

2021 < ŠTEVILKA 1 < JAN. FEB. MAR. < LETNIK XXIX < ISSN 1318-1882

01 UPORABNA INFORMATIKA

U P O R A B N A I N F O R M A T I K A

2021 ŠTEVILKA 1 JAN/FEB/MAR LETNIK XXIX ISSN 1318-1882

▣ Strokovni prispevki

- Mateja Lokar, Maja Mujkić
Računalniško tekmovanje Pišek – oblika vzpodbujanje učenja programiranja za vse 3
- Mateja Bevčič, Jože Rugelj
Coding4Girls - pristop za učenje programiranja s snovanjem iger 16

▣ Kratki znanstveni prispevki

- Žiga Pušnik, Miha Moškon
Integracija strukturnih omejitev pri izpeljavi gensko regulatornih omrežij 25

▣ Znanstveni prispevki

- Alenka Kavčič, Bojana Boh Podgornik, Ciril Bohak, Katja Depolli Steiner, Alenka Gril, Aleš Hladnik, Vid Klopčič, Luka Komidar, Žiga Lesar, Matija Marolt, Sonja Pečjak, Matevž Pesek, Tina Pirc, Anja Podlesek, Melita Puklek Levpušček, Cirila Peklaj
E-učno okolje z oporami za samoregulacijo učenja 30
- Blaž Gašperlin, Mirjana Kljajić Borštnar
Vpliv uporabe visokozmogljivega računalništva v oblaku na inoviranje poslovnih modelov 47

▣ Informacije

- Iz slovarja** 62

Ustanovitelj in izdajatelj

Slovensko društvo INFORMATIKA
Litostrojska cesta 54, 1000 Ljubljana

Predstavniki

Niko Schlamberger

Odgovorni urednik

Saša Divjak

Uredniški odbor

Andrej Kovačič, Evelin Krmac, Ivan Rozman, Jan Mendling, Jan von Knop, John Taylor, Jurij Jaklič, Lili Nemeč Zlatolas, Marko Hölbl, Mirjana Kljajič Borštnar, Mirko Vintar, Pedro Simões Coelho, Saša Divjak, Sjaak Brinkkemper, Slavko Žitnik, Tatjana Welzer Družovec, Vesna Bosilj-Vukšič, Vida Groznik, Vladislav Rajkovič

Recenzentski odbor

Alenka Kavčič, Andrej Brodnik, Andrej Kovačič, Bor Plestenjak, Borut Werber, Borut Žalik, Boštjan Žvanut, Božidar Potočnik, Ciril Bohak, Danijel Skočaj, David Jelenc, Dejan Georgiev, Dejan Lavbič, Denis Trček, Dobravec Tomaž, Domen Mongus, Eva Krhač, Franc Solina, Gregor Weiss, Igor Kononenko, Irena Nančovska Šerbec, Janez Demšar, Jurij Jaklič, Jurij Mihelič, Katarina Puc, Lovro Šubelj, Luka Pavlič, Luka Čehovin, Marina Trkman, Marjan Heričko, Marjan Krisper, Marko Bajec, Marko Hölbl, Martin Vodopivec, Matevž Pesek, Matija Marolt, Mihaela Triglav Čekada, Mirjana Kljajič Borštnar, Mojca Indihar Štemberger, Monika Klun, Peter Trkman, Sandi Gec, Saša Divjak, Slavko Žitnik, Tomaž Erjavec, Uroš Godnov, Uroš Rajkovič, Vida Groznik, Vladislav Rajkovič, Vlado Stankovski, Živa Rant

Tehnični urednik

Slavko Žitnik

Lektoriranje angleških izvlečkov

Marvelingua (angl.)

Oblikovanje

KOFEIN DIZAJN, d. o. o.

Prelom in tisk

Boex DTP, d. o. o., Ljubljana

Naklada

200 izvodov

Naslov uredništva

Slovensko društvo INFORMATIKA
Uredništvo revije Uporabna informatika
Litostrojska cesta 54, 1000 Ljubljana
www.uporabna-informatika.si

Revija izhaja četrtletno. Cena posamezne številke je 20,00 EUR. Letna naročnina za podjetja 85,00 EUR, za vsak nadaljnji izvod 60,00 EUR, za posameznike 35,00 EUR, za študente in seniorje 15,00 EUR. V ceno je vključen DDV.

Revija Uporabna informatika je od številke 4/VII vključena v mednarodno bazo INSPEC.

Revija Uporabna informatika je pod zaporedno številko 666 vpisana v razvid medijev, ki ga vodi Ministrstvo za kulturo RS.

Revija Uporabna informatika je vključena v Digitalno knjižnico Slovenije (dLib.si).

© Slovensko društvo INFORMATIKA

Vabilo avtorjem

V reviji Uporabna informatika objavljamo kakovostne izvirne članke domačih in tujih avtorjev z najširšega področja informatike v poslovanju podjetij, javni upravi in zasebnem življenju na znanstveni, strokovni in informativni ravni; še posebno spodbujamo objavo interdisciplinarnih člankov. Zato vabimo avtorje, da prispevke, ki ustrezajo omenjenim usmeritvam, pošljejo uredništvu revije po elektronski pošti na naslov ui@drustvo-informatika.si.

Avtorje prosimo, da pri pripravi prispevka upoštevajo navodila, objavljena v nadaljevanju ter na naslovu <http://www.uporabna-informatika.si>.

Za kakovost prispevkov skrbi mednarodni uredniški odbor. Članki so anonimno recenzirani, o objavi pa na podlagi recenzij samostojno odloča uredniški odbor. Recenzenti lahko zahtevajo, da avtorji besedilo spremenijo v skladu s priporočili in da popravljeni članek ponovno prejmejo v pregled. Uredništvo pa lahko še pred recenzijo zavrne objavo prispevka, če njegova vsebina ne ustreza vsebinski usmeritvi revije ali če članek ne ustreza kriterijem za objavo v reviji.

Pred objavo članka mora avtor podpisati izjavo o avtorstvu, s katero potrjuje originalnost članka in dovoljuje prenos materialnih avtorskih pravic. Nenaročenih prispevkov ne vračamo in ne honoriramo. Avtorji prejmejo enoletno naročnino na revijo Uporabna informatika, ki vključuje avtorski izvod revije in še nadaljnje tri zaporedne številke.

S svojim prispevkom v reviji Uporabna informatika boste prispevali k širjenju znanja na področju informatike. Želimo si čim več prispevkov z raznoliko in zanimivo tematiko in se jih že vnaprej veselimo.

Uredništvo revije

Navodila avtorjem člankov

Članke objavljamo praviloma v slovenščini, članke tujih avtorjev pa v angleščini. Besedilo naj bo jezikovno skrbno pripravljeno. Priporočamo zmernost pri uporabi tujk in – kjer je mogoče – njihovo zamenjavo s slovenskimi izrazi. V pomoč pri iskanju slovenskih ustreznih priporočamo uporabo spletnega terminološkega slovarja Slovenskega društva Informatika Islovar (www.islovar.org).

Znanstveni članek naj obsega največ 40.000 znakov, strokovni članki do 30.000 znakov, obvestila in poročila pa do 8.000 znakov.

Članek naj bo praviloma predložen v urejevalniku besedil Word (*.doc ali *.docx) v enojnem razmaku, brez posebnih znakov ali poudarjenih črk. Za ločilom na koncu stavka napravite samo en prazen prostor, pri odstavkih ne uporabljajte zamika.

Naslovu članka naj sledi za vsakega avtorja polno ime, ustanova, v kateri je zaposlen, naslov in elektronski naslov. Sledi naj povzetek v slovenščini v obsegu 8 do 10 vrstic in seznam od 5 do 8 ključnih besed, ki najbolje opredeljujejo vsebinski okvir članka. Pred povzetkom v angleščini naj bo še angleški prevod naslova, prav tako pa naj bodo dodane ključne besede v angleščini. Obratno velja v primeru predložitve članka v angleščini. Razdelki naj bodo naslovljeni in oštevilčeni z arabskimi številkami.

Slike in tabele vključite v besedilo. Opremite jih z naslovom in oštevilčite z arabskimi številkami. Vsako sliko in tabelo razložite tudi v besedilu članka. Če v članku uporabljate slike ali tabele drugih avtorjev, navedite vir pod sliko oz. tabelo. Revijo tiskamo v črno-beli tehniki, zato barvne slike ali fotografije kot original niso primerne. Slik zaslonov ne objavljamo, razen če so nujno potrebne za razumevanje besedila. Slike, grafikoni, organizacijske sheme ipd. naj imajo belo podlago. Enačbe oštevilčite v oklepajih desno od enačbe.

V besedilu se sklicujte na navedeno literaturo skladno s pravili sistema APA navajanja bibliografskih referenc, najpogosteje torej v obliki (Novak & Kovač, 2008, str. 235). Na koncu članka navedite samo v članku uporabljeno literaturo in vire v enotnem seznamu po abecednem redu avtorjev, prav tako v skladu s pravili APA. Več o sistemu APA, katerega uporabo omogoča tudi urejevalnik besedil Word 2007, najdete na strani <http://owl.english.purdue.edu/owl/resource/560/01/>.

Članku dodajte kratek življenjepis vsakega avtorja v obsegu do 8 vrstic, v katerem poudarite predvsem strokovne dosežke.

▣ Računalniško tekmovanje pišek – oblika vzpodbujanja učenja programiranja za vse

Matija Lokar¹, Maja Mujkič²

¹Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko, Jadranska ulica 19, Ljubljana

²Osnovna šola Koseze, Ledarska ulica 23, Ljubljana

matija.lokar@fmf.uni-lj.si, maja.mujkic@gmail.com

Izveček

Sodelovanje učencev in dijakov na različnih oblikah tekmovanj v znanju je lahko zanje koristna učna izkušnja, ki pripomore k lažjemu in uspešnejšemu učenju. Tudi na področju računalništva lahko v Sloveniji zasledimo kar nekaj računalniških tekmovanj. Žal pa na prehodu iz osnovne v srednjo šolo zasledimo precejšen upad v številu udeležencev, še posebej, če upoštevamo vodilni računalniški tekmovanji: v osnovni šoli tekmovanje Bober in v srednji šoli ACM tekmovanje v znanju računalništva RTK. Del tega upada lahko pripišemo temu, da gre pri prvem za tekmovanje v računalniškem mišljenju in pri drugem za tekmovanje v algoritmih in programiranju. Ob upoštevanju upada in zaradi večkrat izkazane potrebe, da naredimo programiranje bolj privlačno prav za vse, smo v okviru tekmovanj ACM Slovenije pripravili novo tekmovanje imenovano Pišek, tekmovanje v programiranju z delčki. Gre za tekmovanje, ki je prilagojeno začetnikom. Skupaj z uporabo programskega jezika, ki omogoča sestavljanje programov brez sintaktičnih napak in uporabe takih nalog, ki se navezujejo na računalniško mišljenje, kot ga razvija tekmovanje Bober, smo pripravili tekmovanje, v katerem se lahko preizkusijo tako začetniki kot tudi tisti, ki so programiranja bolj veščji. Glavni cilj samega tekmovanja pa je predvsem v popularizaciji programiranja za vse, saj bodo tako naši učenci in dijaki snovalci digitalne prihodnosti in ne le njeni uporabniki.

Ključne besede: Blockly, poučevanje programiranja, programiranje z delčki, računalniško mišljenje, računalniško tekmovanje

Abstract

Competing in different forms of programming and computer thinking can be a useful experience for students and can result in easier and more successful learning. Even in the field of computer science, many competitions are held. But unfortunately, there is a large gap between the number of competitors in primary schools and secondary schools, especially if we look at the numbers of competitors in the two biggest computer science competitions, i.e. Bober in primary schools and RTK in secondary schools, both organized by ACM Slovenia. The reason is probably that the first is about computer thinking and the second is about algorithms and programming. Considering the gap and the need to make programming more likable for everybody, we have organized a new competition in the scope of ACM Slovenia dubbed Pišek – competing in a visual programming language. The competition is adapted for beginners. By combining a programming language that prevents syntactic errors and exercises about computer thinking that are also encouraged by Bober, we have created a new competition that is appropriate for complete beginners and also for those that already possess more programming skills. The main goal of the competition remains to popularize programming for everybody and to make students the designers of a digital future instead of merely its users.

Keywords: Blockly, teaching programming, visual programming language, computer thinking, computer science competition

1 UVOD

Sodelovanje učečih se na različnih oblikah tekmovanj v znanju so lahko zanje koristna učna izkušnja, ki pripomore k lažjemu in uspešnejšemu učenju. Obstajajo številne raziskave, ki to potrjujejo. Tako npr. Katz

s sodelavkama v knjigi *Engaging children's minds: The project approach* (Katz, Chard, & Chard, 2000) kjer proučujejo načine motivacije otrok za učenje, pravijo, da lahko vsako tekmovanje naredi poučevanje različnih predmetov bolj privlačno. Enako velja

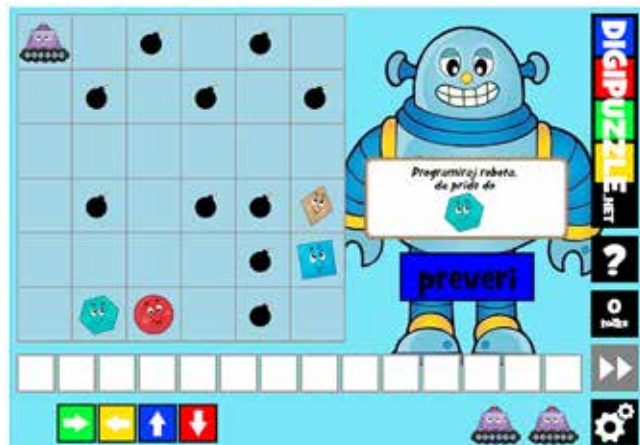
tudi za poučevanje in učenje računalništva. Valentina Dagiene v (Dagiene, *Competition in Information Technology-learning in an attractive way*, 2006) trdi, da so računalniška tekmovanja lahko ključ k polnemu izkoristku novo pridobljenega znanja in zanimiv način za povezovanje tehnologije in izobraževanja.

Tekmovanja, ki se v taki ali drugačni obliki nanašajo na znanje s področja računalništva, lahko zasledimo v najrazličnejših oblikah. Pokrivajo različna področja računalništva od robotike, umetne inteligence do uporabe pisarniških orodij. Prav tako se izvajajo v različnih oblikah (glej npr. (Pohl, 2006)). Lahko so enkratni dogodki, lahko večstopenjska tekmovanja od šolske ravni pa vse do mednarodnega tekmovanja. Prav tako so to lahko enodnevna tekmovanja, lahko pa zasnovana kot večmesečna priprava in predstavitev izdelka, lahko kot reševanje določenega skupka nalog ...

V strokovnih krogih se vodi živahna razprava, kakšna oblika računalniških tekmovanj je najprimernejša v povezavi z učnim procesom. Poleg oblike, ki jo razvija tekmovanje Bober (Bebras International Challenge on Informatics and Computational Thinking, 2020), (ACM Tekmovanja, 2020), kot tudi matematično tekmovanje Kenguru (KSF, 2020), (DMFA, 2020) in še nekatera druga tekmovanja, kjer je poudarek na razvoju mišljenja in ob tem izbire ustreznega odgovora, je še vedno prevladujoča oblika računalniških tekmovanj reševanje programerskih nalog, torej oblika, kot jo uporablja Mednarodna olimpijada iz informatike (International Olympiad in Informatics, 2020). Pri tovrstnih tekmovanjih tekmovalci rešujejo naloge, ki zahtevajo rešitev določenega algoritmičnega problema v obliki programov. Pravilnost teh programov se preverja samodejno in temelji na primerjavi izhodnih rezultatov.

2 PROGRAMIRANJE, PROGRAMSKI JEZIKI IN ZAČETNIKI

Računalniško razmišljanje številni strokovnjaki pojmujejo kot eno ključnih spretnosti 21. stoletja in jo postavljajo ob bok osnovnim učnim spretnostim branja, pisanja in računanja (Barr, Harrison, & Conery, 2011), (Astrachan, Hambrusch, Peckham, & Settle, 2009), (Wang, 2020) in mnogi drugi. Kot kažejo številne raziskave (za pregled glej npr. (Bers, 2020)) se računalniško mišljenje učinkovito razvija pri spoznavanju osnov programiranja. Po iSlovarju (<http://www.islovar.org/>) je programiranje »pripravljanje algoritma, zapisovanje algoritma v izvorno kodo, prevajanje in povezovanje



Slika 1: Programiranje s piktogrami

v izvršljiv računalniški program«, programski jezik pa je »umetni jezik za pisanje računalniških programov«.

Računalniško mišljenje in algoritmično mišljenje lahko začnemo razvijati že zelo zgodaj. Otroci hitro razumejo zaporedje in pomembnost vrstnega reda. Težko pa jih učimo programirati v »pravem« programskem jeziku. Pri tem si lahko pomagamo s piktogrami in s slikami.

Če jih učimo algoritmičnega mišljenja preko interaktivnih nalog, torej, da takoj dobijo povratno informacijo, bodo dobili občutek, da igrajo igrico. Z zbiranjem točk si bodo želeli biti uspešni in bodo zato večkrat poskusili.

Uspešni učenci pa se radi preizkusijo tudi na tekmovanjih in s tem praviloma še nadgrajujejo svoja znanja in sposobnosti. Treba je »le« prilagoditi način tako, da se bodo znali izražati, da pri računalniškem mišljenju ne bo ovira bralna pismenost.

S tekmovanjem Bober smo že dosegli (tekmovanja se udeležuje preko 11 % vseh učencev in dijakov), da učence in dijake zanima računalniško mišljenje in da radi sodelujejo na tem tekmovanju. S Tekmovanjem Pišek pa bi radi to dosegli tudi na področju osnovnega znanja programiranja, še posebej, ker smo prepričani, kot so zapisali avtorji študije RINOS (Brodnik, 2018), da morajo naši učenci biti snovalci digitalne prihodnosti in ne le njeni uporabniki. In z osnovnim poznavanjem programiranja prav med vsemi učenci in dijaki bomo to lažje dosegli.

3 RAČUNALNIŠKA TEKMovanja V SLOVENIJI

Računalniška tekmovanja imajo v Sloveniji zavidljivo zgodovino. Vse se je začelo že leta 1977 z idejo o

organizaciji tekmovanja (Batagelj, et al., 1988), ki naj bi dopolnjevalo poučevanje računalništva. Pouk računalništva se je na slovenskih šolah začel v šolskem letu 1969/1970 na Šubičevi gimnaziji (danes Gimnazija Jožeta Plečnika) v Ljubljani (Krapež, Rajkovič, Batagelj, & Wechtersbach, 2001). Računalništvo se je poučevalo v okviru izbirnega predmeta Praktična znanja. V naslednjem šolskem letu se je računalništvo poučevalo še na dodatnih dveh gimnazijah (Gimnaziji Bežigrad in Gimnaziji Škofja Loka), še bolj pa se je razmahnilo, ko je leta 1974 izšel učbenik za učence.

Kot kažejo podatki v Tabela 1, povzeti iz (Batagelj, et al., 1988), je bilo tekmovanje zelo dobro sprejeto.

Tabela 1: Število tekmovalcev v prvih letih

1977	47
1978	79
1979	92
1980	88
1981	101
1982	101
1983	137
1984	213

Kot pravi Grobelnik v (Brank, 2006) »se je na slovenskih srednješolskih računalniških tekmovanjih prekalo veliko generacij dijakov, ki dandanes po večini predstavljajo okostje slovenske računalniške skupnosti. Bivši tekmovalci so dandanes profesorji na univerzah, raziskovalci na institutih, predvsem pa si brez njih ni mogoče predstavljati slovenske računalniške industrije.«

V teh štirih desetletjih je poučevanje računalništva dosegalo svoje vzpone in padce, pojavljala so se različna mnenja glede vsebine predmetnika in oblike izvedbe z računalništvom povezanih predmetov. To je vsekakor vplivalo tudi na tekmovanja in danes lahko slovenski učenci, dijaki in študenti sodelujejo na zelo različnih tipih računalniških tekmovanj. Omejili

se bomo na tekmovanja, ki potekajo v sklopu ACM Slovenija (Slika 2).

Trenutno so uradna tekmovanja pod okriljem ACM Slovenija tri:

- **Bober** – Mednarodno tekmovanje iz računalniškega razmišljanja
- **RTK** – Srednješolsko tekmovanje ACM iz računalništva in informatike
- **UPM** – Univerzitetni programerski maraton

Prvi dve tekmovanji sta namenjeni predvsem osnovnošolcem in srednješolcem, tretje pa univerzitetnim študentom. Vsa so po svoji osnovni obliki zasnovana in vpeta v mednarodna tekmovanja (Bebras, IOI in ACM ICPC). V Tabela 2 so zbrani podatki zadnjih 10 let tekmovanj. Ker imajo tekmovanja različne nivoje, so podatki dani za prvi, najmnožičnejši, šolski nivo. Tam ni omejitve glede števila udeležencev.

Tabela 2: Število tekmovalcev osrednjih tekmovanj ACM v zadnjih letih

leto	Bober	RTK	UPM
2011/2012	3380	273	174
2012/2013	8147	234	153
2013/2014	11653	278	159
2014/2015	16797	306	210
2015/2016	24714	309	186
2016/2017	29124	351	171
2017/2018	29561	310	156
2018/2019	33356	341	126
2019/2020	28803	306	123

Kot kažejo podatki, obstaja precejšen »prepad« med številom sodelujočih na tekmovanju Bober in na tekmovanju ACM RTK.

Tako sta A. Brodnik in M. Lokar od leta 2015 dalje imela številne razgovore o tekmovanju za »vmesno stopnjo«, še posebej pa po uvedbi izbirnega predme-



Slika 2: Tekmovanja v okviru ACM Slovenija

ta Računalništvo v drugi triadi OŠ. Primarna naloga tega tekmovanja naj bi bila popularizacija učenja programiranja.

Skupna ugotovitev še z drugimi kolegi je bila tudi ta, da naj bi bilo to tekmovanje v reševanju problemov z zapisom algoritmov, kjer bi kot programski jezik uporabljali programski jezik z delčki, kot so na primer Scratch, Snap in podobni. Predvsem na pobudo J. Demšarja je bila sprejeta odločitev, da pri tekmovanju ne bi uporabili jezika Scratch, pa čeprav je bil (in je še) ta po slovenskih šolah med vsem jeziki, ki omogočajo programiranje z delčki, najbolj razširjen. Podlaga za to odločitev je bilo prepričanje, da Scratch prvenstveno ni programski jezik, namenjen reševanju problemov in zapisu algoritmov, ampak bolj jezik in okolje, namenjeno ustvarjalnemu izražanju učencev. Prav tako je pri Scratchu velik poudarek na medsebojnem sodelovanju učencev, deljenju izdelkov in njihovem spreminjanju (Maloney, Resnick, Rusk, Silverman, & Eastmond, 2010).

Zelo smeli načrti glede tekmovanja so bili taki, da bi poskusili zajeti med četrtino in polovico sodelujočih na tekmovanju Bober. Ker to pomeni, da naj bi sodelovalo med 8 in 14 tisoč tekmovalci, je bilo očitno, da je potreben sistem, ki bi omogočal avtomatsko preverjanje pravilnosti rešitev.

Na srečo smo leta 2017 na mednarodni delavnici za pripravo nalog za tekmovanje Bober navezali stike s kolegi iz Francije. Spoznali smo njihov sistem Algorea (<http://www.france-ioi.org>). Ta izstopa med tistimi redkimi sistemi za preverjanje pravilnosti

programskih rešitev, ki podpirajo jezike za programiranje z delčki.

V sodelovanju s kolegi iz Francije smo njihov sistem priredili za uporabo tudi v slovenskem jeziku, ga poimenovali Pišek in postavili na spletni naslov <https://pisek.acm.si/>. Pri prevajanju in postavitvi sistema so sodelovali G. Jerše, M. Lokar in J. Vičič, G. Anželj pa je prispeval prevod jezika Blockly.

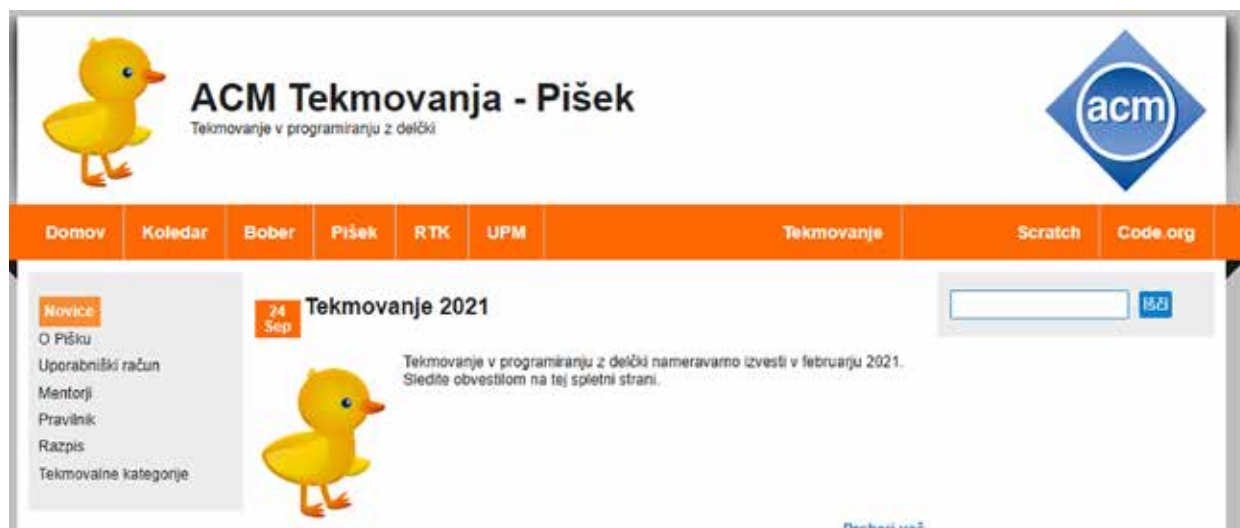
Naslednjega leta, 2018, so v okviru ŠPIK projekta ProNAL študentje različnih fakultet Univerze v Ljubljani pod vodstvom M. Lokarja in G. Jeršeta sestavili nekaj nalog za Piška in pokazalo se je, da bi na sistemu Pišek lahko vzpostavili tekmovanje, ki bi bil most med Bobrom (tekmovanjem v računalniškem mišljenju) in ACM RTK-jem (tekmovanju v algoritmih).

Konec leta 2018 sta dva študenta (K. Špenko in Ž. Flajs) v sodelovanju z M. Lokarjem dodala vrsto nalog. Prav tako so se uvedli novi tipi nalog. Še bolj pa je Pišek postal uporaben spomladi 2019, ko so v okviru novega ŠPIK projekta Pišek študentje pod vodstvom M. Lokarja, G. Jeršeta in K. K. Ošljak v sam sistem dodali preko 300 različnih nalog.

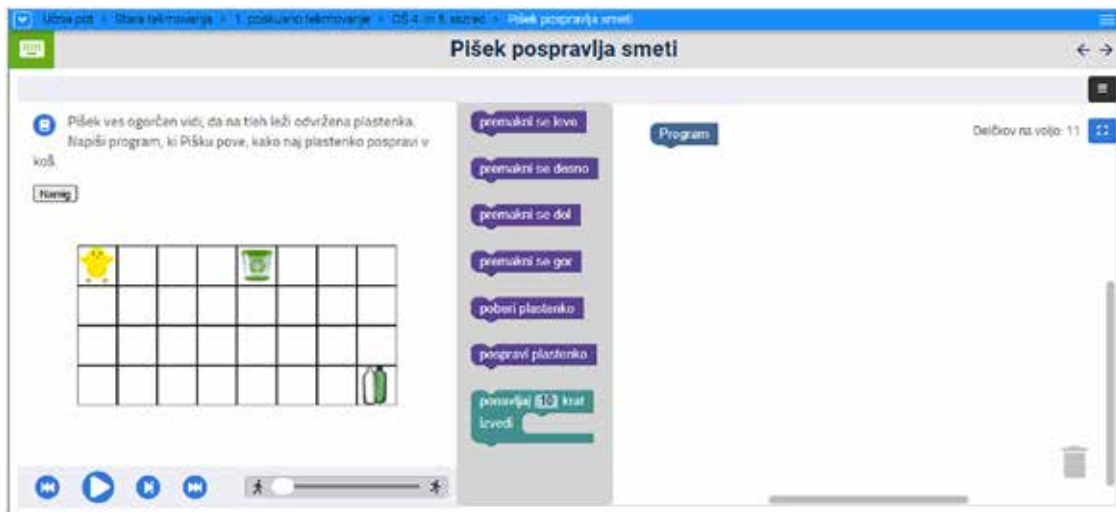
4 PIŠEK – TEKMOVANJE V PROGRAMIRANJU Z DELČKI

4.1 Priprava poskusnega tekmovanja

Ker smo s šol dobivali zelo pozitivna mnenja glede uporabe sistema Pišek in ker je želja, premostiti omejeni prepad v številu udeležencev res velika, smo se odločili poskusiti s tekmovanjem.



Slika 3: Spletišče tekmovanja Pišek



Slika 4: Primer naloge za 4. in 5. razred

Septembra 2019 je M. Lokar na sestanek povabil učitelje z osnovnih in srednjih šol ter profesorje s fakultet, ki so že prej sodelovali pri tekmovanjih ACM. Odzvalo se jih je 19, iz zelo različnih ustanov – osnovnih šol, srednjih šol, z univerz, Zavoda RS za šolstvo. Decembra 2019 je ACM Slovenija formalno ustanovil Programski svet Tekmovanja Pišek.

Razdelili smo se v skupine, določili vodje in začeli priprave. Poleg najbolj očitnega, torej nalog, smo potrebovali še tekmovalce.

4.2 Izvedba prvega poskusnega tekmovanja

V šolskem letu 2019/2020 smo načrtovali tri poskusna tekmovanja, preko katerih bi lahko dobili čim več iz-

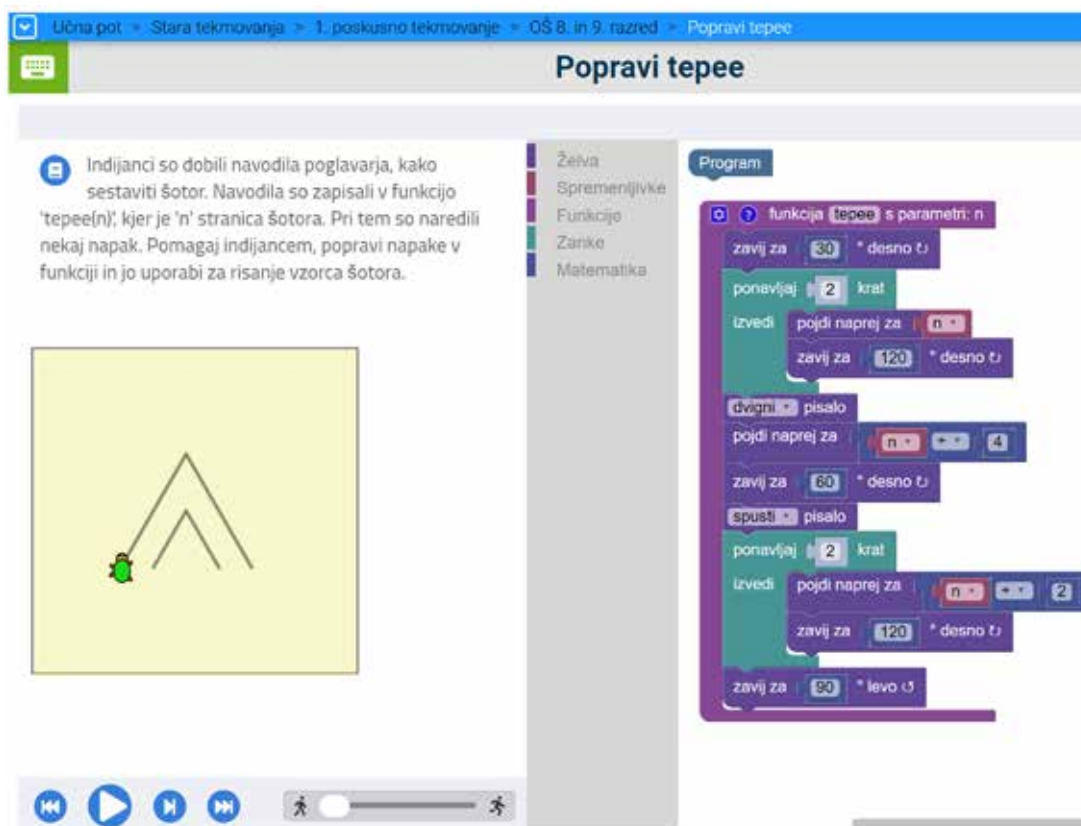
kušenj, na podlagi teh pa bi v šolskem letu 2020/2021 pripravili prvo »pravo« tekmovanje.

Večina sodelujočih pri organizaciji tekmovanja smo bili hkrati tudi mentorjih učencem in dijakom. Povabili pa smo še nekaj učiteljev osnovnih in srednjih šol, vendar smo pazili, da število ne bi bilo preveliko, saj nismo poznali zmožnosti francoskega strežnika. Vedeli smo tudi, da nas po tekmovanju čakajo obsežnejše vsebinske analize. Zanimalo nas je predvsem, kako smiselno razdeliti tekmovalce v kategorije in katere programske koncepte uporabiti.

Tekmovanje smo izvedli v petih kategorijah glede na starost tekmovalcev:



Slika 5: Naloga Parsonsovega tipa



Slika 6: Naloga tipa »popravi kodo«

- 4. in 5. razred osnovne šole,
- 6. in 7. razred osnovne šole,
- 8. in 9. razred osnovne šole,
- 1. in 2. letnik srednje šole,
- 3. in 4. letnik srednje šole.

Tekmovalci so imeli na voljo 40 minut, naloge so lahko oddajali večkrat, sistem pa jim je takoj javil, ali je naloga rešena pravilno ali ne.

Večina nalog za osnovno šolo je bila v obliki naloge na mreži, kjer se glavna figura premika in izvaja »naloge«. Pogosto smo uporabili tudi naloge z željavo grafiko.

Pri sestavljanju nalog se je pokazala tudi prednost uporabe jezika Blockly, saj ta omogoča, da v programsko okolje dodajamo delčke s čisto novimi ukazi kot npr. poberi lešnik, naberi med, izvedi pirueto ... Tako so delčki, ki so sicer konceptualno enaki (na primer naredi nekaj s predmetom, ki je na polju, kjer je trenutno lik), v različnih nalogah poimenovani različno (poberi plastenko, pojej deteljico ...). Prav tako pri sestavljanju naloge tvorimo nove delčke in tako v posamezni ukaz »skrijemo« določeno kompleksnost

(npr. v nalogi uporabimo delček »nariši kvadrateg« ali pa »preberi podatke v tabelo«).

Prav tako smo sledili določenim dognanjem s področja didaktike računalništva. Tako smo na tekmovanje vključili naloge Parsonsovega tipa (Ericson, Foley, & Rick, 2008) in med nalogami večkrat uporabili tudi tipe nalog, kjer problem že vsebuje napisan program, ki pa ga je bilo potrebno ali popraviti ali pa le urediti (Slika 5 in Slika 6).

Pri prvem poskusnem tekmovanju februarja 2020 je sodelovalo 10 osnovnih in 7 srednjih šol oz. 374 učencev in 269 dijakov. Njihov odziv je bil odličen. Tekmovalce in mentorje smo pozvali, da po tekmovanju izpolnijo anketo, s katero smo pridobili povratne informacije. Mentorji so pohvalili sistem, pripravljenost, obveščanje, tekmovalci so bili večinoma zadovoljni z nalogami in si takega tekmovanja želijo.

4.3 Priprava in izvedba drugega poskusnega tekmovanja

Pri načrtovanju drugega poskusnega tekmovanja smo upoštevali rezultate tekmovanja ter mnenja, ki smo jih dobili preko anket, ki so jih izpolnili tekmovalci in

Tabela 3: Rezultati prvega poskusnega tekmovanja

Kategorija	Št. tekmovalcev	Št. možnih točk	Povprečno št. doseženih točk	Št. tekmovalcev z vsemi točkami	Št. tekmovalcev z 0 točkami
4. in 5. razred	179	600	417	92	24
6. in 7. razred	167	600	233	7	18
8. in 9. razred	48	600	252	1	10
1. in 2. letnik	203	500	59	4	131
3. in 4. letnik	66	500	59	0	42

mentorji po prvem poskusnem tekmovanju. Tako smo upoštevali dejstvo, da so bili tekmovalci v nekaterih kategorijah izjemno uspešni (npr. v kategoriji 4. in 5. razred je izmed 179 tekmovalcev kar 92 njih prejelo vse točke), v nekaterih kategorijah pa so bili rezultati zelo slabi (v kategoriji 3. in 4. letnih dveh nalog ni rešil nihče od tekmovalcev, v kategoriji 1. in 2. letnik več kot polovica tekmovalcev ni dosegla nobene točke) – več prikazuje Tabela 3. Prav tako smo imeli številne razgovore glede primernosti starostne razdelitve v luči besedil nalog ter kako upoštevati zelo različno predznanje učencev istih starostnih kategorij. Zato smo se odločili, da spremenimo kategorije. Med tekmovalci v osnovni šoli so velike razlike, ki pa niso odvisne od njihove starosti, ampak predvsem od tega, koliko let so obiskovali izbirni predmet računalništvo. Seveda je treba upoštevati tudi kognitivni razvoj otrok in učni načrt v šoli. Tako so nastale nove kategorije:

- 4.-6. razred osnovne šole – začetniki
- 4.-6. razred osnovne šole – napredni
- 7.-9. razred osnovne šole – začetniki
- 7.-9. razred osnovne šole – napredni
- Srednja šola – začetniki
- Srednja šola – napredni
- Srednja šola – poznavalci

Drugo poskusno tekmovanje je bilo načrtovano v mesecu aprilu 2020, vendar je prišlo do epidemije in smo morali najti novo rešitev. Izpeljali smo poskusno odprto spletno tekmovanje, ki pa žal ni bilo tako obiskano, kot smo si želeli. Prav tako smo preko anket dobili precej manj povratnih informacij s strani mentorjev in tekmovalcev. Sodelovalo je 296 tekmovalcev, večina med njimi se je preizkusila v več kategorijah. Oglejmo si povzetek rezultatov tekmovanja po kategorijah (vsi rezultati so objavljeni na spletni strani <https://tekmovanja.acm.si/?q=node/618>):

Kot vidimo, je daleč največ tekmovalcev sodelovalo v kategoriji 4.-6. razred ZAČETNIKI, kjer je tudi največ tistih, ki so dosegli vse možne točke. Nekoliko zaskrbljujoče je dejstvo, da v več kategorijah polovica tekmovalcev ni dobila nobene točke, v kategoriji 7.-9. razred – napredni pa je takih skoraj 70 %. Vendar je podrobnejša analiza zapisov tekmovalnega sistema pokazala, da velika večina teh sploh ni poskusila nalog reševati »zares«, ampak so si naloge le ogledali. Možno je tudi, ker je tokratni način omogočal, da so se z istim uporabniškim imenom lotili reševati naloge v več kategorijah, da se med tekmovanjem v eni in drugi kategoriji niso odjavili in ponovno prijavi in jim je zato zmanjkalo časa.

Tabela 4: Rezultati drugega poskusnega tekmovanja

Kategorija	Št. tekmovalcev	Št. možnih točk	Povprečno št. doseženih točk	Št. tekmovalcev z vsemi točkami	Št. tekmovalcev z 0 točkami
4.-6. razred začetniki	170	500	269	35	17
4.-6. razred napredni	54	500	103	3	23
7.-9. razred začetniki	80	600	136	7	40
7.-9. razred napredni	35	600	100	2	24
srednja šola začetniki	63	500	198	12	29
srednja šola napredni	12	500	291	3	2
srednja šola poznavalci	10	600	300	4	4

Število doseženih točk je precej bolj enakomerno razporejeno kot pri prvem poskusnem tekmovanju, zato ustvarjalci tekmovanja ocenjujemo, da smo bolj primerno razvrstili kategorije in izbrali naloge, ki so omogočale realno razvrstitev.

Zelo malo tekmovalcev se je odločilo za reševanje nalog v najtežji kategoriji Srednja šola – poznavalci, zato smo se odločili, da v prihodnjih tekmovanjih te kategorije verjetno ne bo. Verjamemo pa, da, ko se bodo učenci, dijaki in mentorji sistema navadili, da se jih bo več opogumilo in se preizkusilo v najtežjih kategorijah. Hkrati pričakujemo, da se bodo tisti najspretnější raje udeležili tekmovanj, kjer se programira v »pravih« programskih jezikih, s tem pa bo naš cilj, da zapolnimo vrzel med Bobrom in RTK tekmovanjem izpolnjen.

4.4 Tretje poskusno tekmovanje

Tretjega poskusnega tekmovanja iz očitnih razlogov nismo izpeljali. Kljub vsemu smo se odločili, da bomo v šolskem letu 2020/2021 izpeljali pravo tekmovanje. Predvideni termin je februar 2021.

Vse naloge z obeh poskusnih tekmovanj so dostopne na spletni strani <https://pisek.acm.si>, kjer objavljamo tudi naloge za pripravo na tekmovanje.

5 TEKMOVANJE V ŠOLSLEM LETU 2020/2021

Oglejmo si nekaj vodil, ki sestavljavce vodijo pri načrtovanju in izbiri nalog za tekmovanje.

5.1 Kategorije in programski koncepti

Ob določitvi sedmih tekmovalnih kategorij smo določili tudi, kateri programski koncepti bodo uporabljeni v izbranih tekmovalnih nalogah za posamezno kategorijo. Seznam je objavljen na spletni strani tekmovanja, na <https://tekmovanja.acm.si/?q=pisek/tekmovalne-kategorije>. Seveda ni nujno, da bodo v nalogah za posamezno tekmovanje pokriti vsi naštetki koncepti.

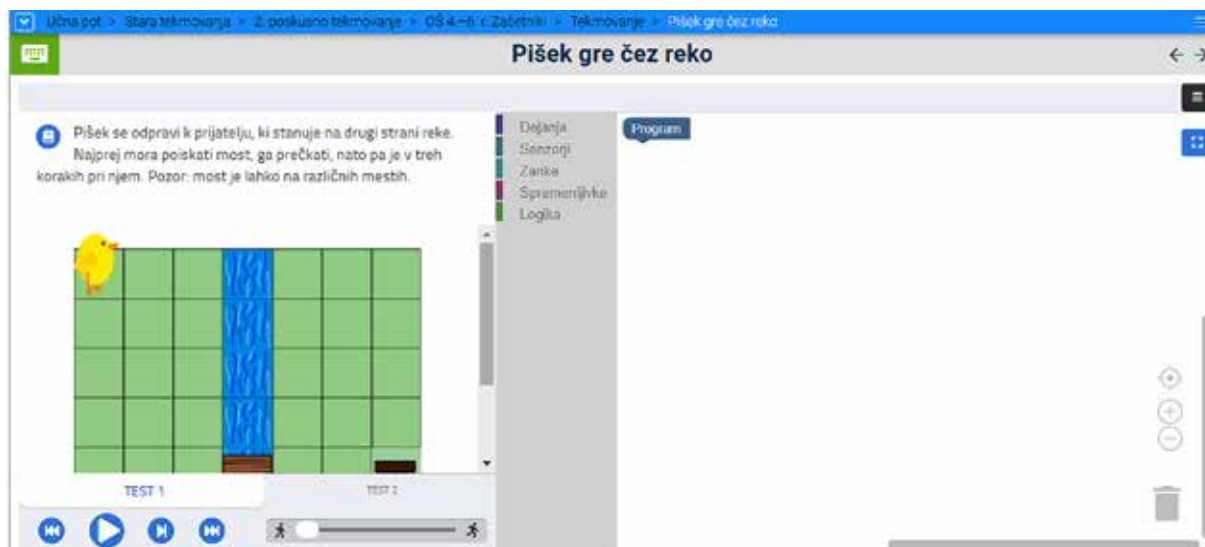
Tako bodo mentorji lažje svetovali svojim tekmovalcem pri izbiri kategorije.

5.2 Naloge

Posamezna kategorija vsebuje 5 ali 6 nalog. Naloge so različnih tipov. Tako določene naloge zahtevajo, da tekmovalci sestavijo program. Spet druge so naloge Parsonsovega tipa, torej morajo tekmovalci dane ukaze urediti v ustrezno zaporedje, pri tretjih pa je potrebno v danem programu poiskati in odpraviti napake.

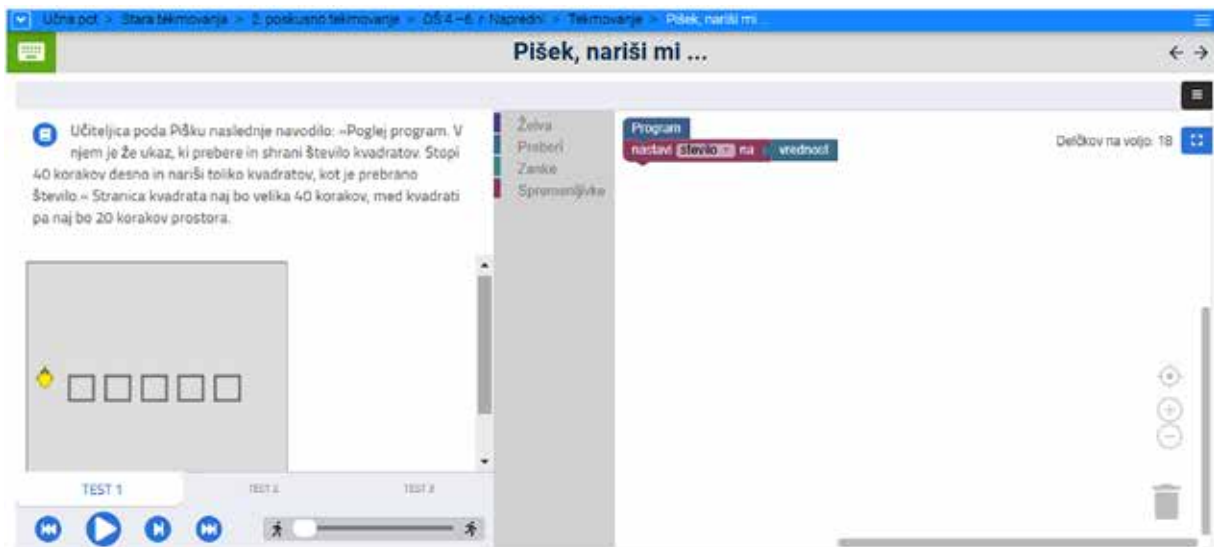
Naloge vsebujejo različne programske koncepte in so različnih težavnostnih stopenj. Praktično pri vseh kategorijah pazimo, da je vsaj ena naloga taka, da jo lahko rešijo vsi tekmovalci,

Naloge za osnovno šolo so večinoma naloge na mreži (Slika 7).



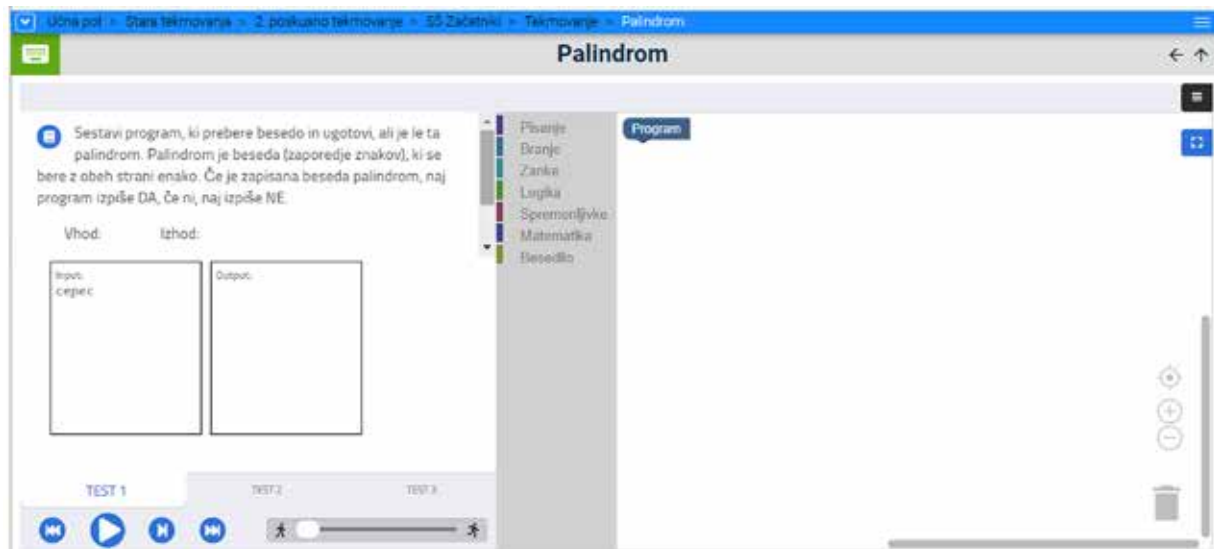
Slika 7: Naloga na mreži z več testi

Pogoste so tudi naloge z željvo grafiko (Slika 8).



Slika 8: Naloga z željvo grafiko

Nekaj (predvsem med nalogami za srednjo šolo) pa je tudi »klasičnih« programerskih nalog, kot je na primer ta, prikazana na Slika 9.

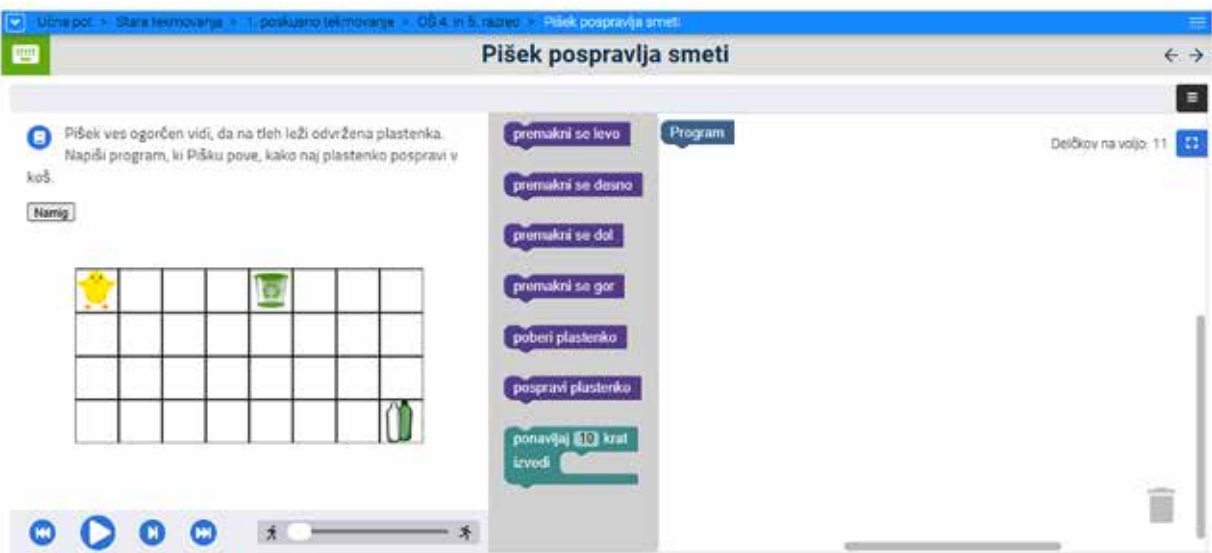


Slika 9: »Klasična« programerska naloga

Naloga lahko otežimo na različne načine. Predvsem pri mlajših kategorijah se je pokazalo, da je precejšnja razlika, če pri nalogi ponudimo tudi nepotrebne delčke (in jih morda še »skrijemo« v kategorije – npr. naloga na Slika 7) ali pa so dani le delčki, potrebni za rešitev (npr. naloga na Slika 10).

Prav tako lahko nalogo otežimo, če omejimo število delčkov, ki jih lahko uporabi program (glej podatek desno zgoraj pri nalogi na Slika 10).

Tako je naloga *Pišek pospravlja smeti* rešljiva le z uporabo delčkov, ki se nanašajo na premikanje ter z delčkoma poberi platenko in pospravi platenko.

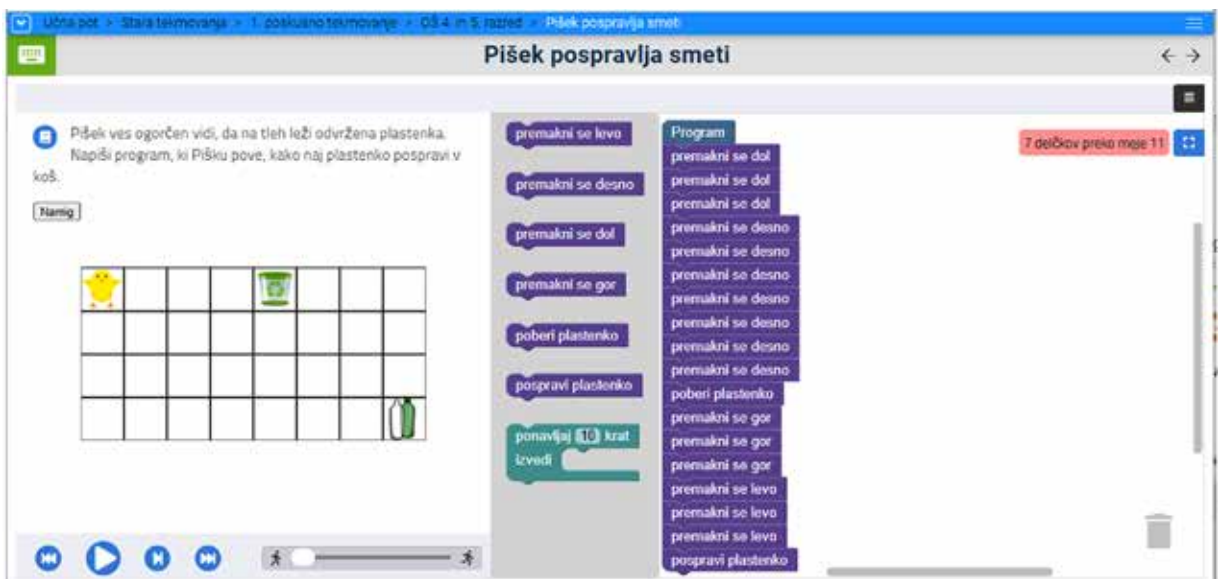


Slika 10: Naloga z omejitvijo števila delčkov

Vendar bi v tem primeru tekmovalec potreboval 18 delčkov. A pri tej nalogi piše, da je na voljo le 11 delčkov. Torej mora tekmovalec uporabiti zanko ponavljaj in s tem zmanjšati število ukazov v svojem programu.

Kakor hitro program porabi preveč delčkov, sistem rešitve ne sprejme, niti je ne »pregleda«. Takrat le zapiše, »Uporabljaš preveč delčkov!« (Slika 11).

Prav tako pri nalogah, ki preverjajo zahtevnejše programske koncepte, pogosto uporabimo več testov. Vsi so tekmovalcem vidni. Prav tako sistem označi, kateri testi so bili opravljeni in kateri ne (Slika 12). Z uporabo več testov se izognemo temu, da bi tekmovalci rešili nalogo, ki bi delovala izključno za dane vhodne podatke.

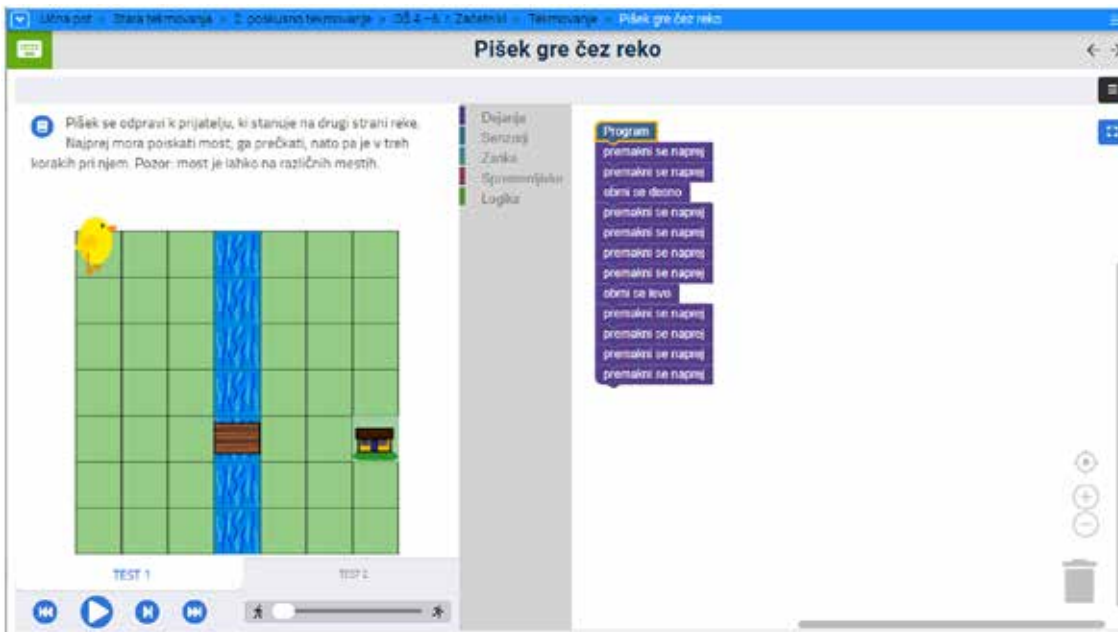


Slika 11: Opozorilo ob uporabi prevelikega števila delčkov



Slika 12: Rezultati testov

Primer take naloge je *Pišek gre čez reko*.



Slika 13: Naloga z več testi – test 1



Slika 14: Naloga z več testi – test 2



Slika 15: Naloga z več testi – opozorilo

Na Slika 13 vidimo, kako bi tekmovalc lahko rešil prvi test zgolj z osnovnim poznavanjem zaporedja ukazov. Vendar pa to zaporedje ne reši drugega testa. Ko program zaženemo, se izpiše opozorilo, da je ob izvajanju drugega testa prišlo do napake (Slika 15).

Opozoriti velja, da je zasnova tekmovanja taka, da delne rešitve (in s tem del točk) niso predvidene. Naloga mora biti rešena v celoti.

5.3 Termin tekmovanja

V koledarju je že veliko tekmovanj. Določiti primeren termin je precej zahtevno. Poleg tekmovanj so tu obdobja, ko so učenci, dijaki in učitelji dodatno obremenjeni z ocenjevanjem, nacionalnimi poskusi znanja, maturo, ali pa so celo odsotni zaradi obvezne prakse. Po obširnem usklajevanju smo se odločili, da bomo izvajali tekmovanje v februarju. Glede na to, da bo tekmovanje potekalo (tako kot tekmovanje Bober) vsaj teden dni (posamezen mentor bo sam izbral enega ali več terminov v sklopu odprtosti tekmovanja) menimo, da bodo vsi, ki jih sodelovanje zanima, lahko tekmovali. Pri določitvi datuma smo upoštevali, da bomo v prihodnjih letih tekmovanje morda nadgradili tudi s tekmovanjem na državni ravni.

6 ZAKLJUČEK

Želja ustvarjalcev Piška in organizatorjev ACM tekmovanja v programiranju z delčki ni organizirati še

eno tekmovanje, ki bi le preverjalo poznavanja programiranja, temveč ta, da bi se čim več učencev in dijakov sploh srečalo s programiranjem in ugotovilo, kako zabavna dejavnost je to lahko.

Celotna organizacija tekmovanja poteka na povsem prostovoljni osnovi. Sodelujejo študentje, učitelji in profesorji, ki verjamejo, da je programiranje veččina, ki nam pride prav na vseh področjih in ki želijo, da bi stavek »Programiranje je težko.« zamenjal stavek »Programiranje je zabavno.«.

Vse, ki vas sodelovanje pri tekmovanju na kakršen koli način zanima (sestavljanje nalog, prispevanje idej za naloge, sodelovanje pri organizaciji, pri tehničnem razvoju portala Pišek, pri razgovorih o primernosti določene naloge...), vabimo, da nam pišete na naslov pisek@acm.si. Prav vsak sodelavec je resnično dobrodošel!

LITERATURA

- [1] ACM Tekmovanja, . (2020). *Mednarodno tekmovanje iz računalniškega razmišljanja*. Retrieved from ACM Tekmovanja – Bober: <https://tekmovanja.acm.si/?q=bober>
- [2] Astrachan, O., Hambrusch, S., Peckham, J., & Settle, A. (2009). The present and future of computational thinking. *ACM SIGCSE Bulletin*, 549-550.
- [3] Barr, D., Harrison, J., & Conery, L. (2011). Computational thinking: A digital age skill for everyone. *Learning & Leading with Technology*, 20-23.
- [4] Batagelj, V., Dolenc, T., Martinec, M., Mohar, B., Reinhardt, R., Tvrđy, I., & Vitek, A. (1988). *Enajsta šola računalništva*. Ljubljana: DMFA Založništvo.

- [5] *Bebras International Challenge on Informatics and Computational Thinking*. (2020). Retrieved from <https://www.bebas.org/>
- [6] Bers, M. U. (2020). *Coding as a playground: Programming and computational thinking in the early childhood classroom*. Routledge.
- [7] Brank, J. (2006). *Rešene naloge s srednješolskih računalniških tekmovanj: 1988-2004*. Ljubljana: Institut Jožef Stefan.
- [8] Brodnik, A. (2018). *RINOS: Snovalci digitalne prihodnosti ali le uporabniki?*. Retrieved from <https://redmine.lusy.fri.uni-lj.si/documents/267>
- [9] Dagiene, V. (2006). Competition in Information Technology-learning in an attractive way. In W. Pohl (Ed.), *Perspectives on Computer Science Competitions for (High School) Students*. Retrieved from <http://www.bwinf.de/competitionworkshop/papers.html>
- [10] Dagiene, V. (2009). Supporting computer science education through competitions. *Proc. 9th WCCE 2009*.
- [11] Daginene, V. (2010). Sustaining informatics education by contests. *International Conference on Informatics in Secondary Schools-Evolution and Perspectives* (pp. 1 – 12). Berlin, Heidelberg: Springer.
- [12] DMFA. (2020). *Tekmovanje Kenguru*. Retrieved from <https://www.dmfa.si/Tekmovanja/Kenguru/>
- [13] Ericson, B. J., Foley, J. D., & Rick, J. (2008). Evaluating the efficiency and effectiveness of adaptive parsons problems. *Proceedings of the 2018 ACM Conference on International Computing Education Research* (pp. 60-68). ACM.
- [14] *International Olympiad in Informatics*. (2020). Retrieved from IOI Official Website: <https://ioinformatics.org/>
- [15] Katz, L. G., Chard, S. C., & Chard, S. (2000). *Engaging children's minds: The project approach*. Greenwood Publishing Group.
- [16] Krapež, A., Rajkovič, V., Batagelj, V., & Wechtersbach, R. (2001). Razvoj predmeta računalništvo in informatika v osnovni in srednji šoli. *Zbornik posvetovanja Dnevi slovenske informatike*. Portorož. Retrieved from https://www.drustvo-informatika.si/fileadmin/dsi2001/sekcija_e/krapez_rajkovic_batagelj_wechtersbach.doc
- [17] KSF. (2020). *Association Kangourou sans Frontières*. Retrieved from <http://www.aksf.org/>
- [18] Maloney, J., Resnick, M., Rusk, N., Silverman, B., & Eastmond, E. (2010). The scratch programming language and environment. *ACM Transactions on Computing Education (TOCE)*, 1-15.
- [19] Pohl, W. (2006). Computer Science Contests for Secondary School Students: Approaches to Classification. *Informatics in education*, 125–132.
- [20] Wang, P. S. (2020). Understanding Computational Thinking and Its Importance—An Overview. Retrieved from <http://www.cs.kent.edu/~pwang/m/ctblog/JAMC-20090701.pdf>

■

Matija Lokar je višji predavatelj na Fakulteti za matematiko in fiziko Univerze v Ljubljani. Vso svojo poklicno pot sodeluje pri različnih dejavnostih v povezavi z uvajanjem računalništva v šolski sistem, pa naj bo to pri računalniškem izobraževanju učiteljev, računalniških tekmovanjih, študentskih projektih in podobno. Je eden od idejnih avtorjev tako Univerzitetnega programerskega maratona kot tekmovanja Pišek – tekmovanje z delčki. Je tudi avtor več knjig in člankov s teh področij.

■

Maja Mujkić je učiteljica matematike in računalništva, ROID in knjižničarka na OŠ Koseze v Ljubljani. Kot učiteljica računalniških izbirnih predmetov največ časa nameni navduševanju osnovnošolcev nad vsakodnevnimi novostmi na področju računalništva in nad uporabnostjo osnovnih računalniških znanj. V organizacijskem odboru tekmovanja Pišek skrbi predvsem za obveščanje šol.

▣ Coding4girls – pristop za učenje programiranja s snovanjem iger

Mateja Bevčič¹, Jože Rugelj²

¹Univerza v Ljubljani, Kongresni trg 12, Ljubljana

²Univerza v Ljubljani, Pedagoška fakulteta, Kardeljeva pl. 16, Ljubljana

mateja.bevcic@uni-lj.si, joze.rugelj@pef.uni-lj.si

Izvleček

Cilj projekta Coding4Girls v programu Erasmus+, ki ga izvajamo s partnerji iz šestih evropskih držav, je zasnova in izdelava inovativnega pristopa k poučevanju računalniškega programiranja v osnovni in srednji šoli. Poseben poudarek je na spodbujanju deklet za učenje programiranja in nadaljevanju njihovega izobraževanja ter njihovemu zaposlovanju na področju računalništva. Številne študije namreč ugotavljajo, da učenci in še posebej dekleta v zadnjih letih osnovne šole izgubijo zanimanje za to področje, čeprav je na trgu dela v vseh evropskih državah veliko pomanjkanje strokovnjakov s tega področja. V članku predstavljamo inovativen pristop za učenje programiranja s snovanjem iger z uporabo blokovnih vizualnih programskih jezikov ter pripravljene učne scenarije, gradiva za učence in učitelje in razvito spletno okolje za učenje z elementi igrifikacije, ki jih lahko učitelji uporabijo pri pouku. Predstavili smo tudi rezultate testiranja razvitih didaktičnih pristopov in učnih gradiv, ki smo ga izvedli skupaj s projektnimi partnerji.

Ključne besede: algoritmično razmišljanje, blokovni vizualni programski jeziki, učenje programiranja, učenje s snovanjem iger

Abstract

The goal of the Coding4Girls project within the Erasmus+ programme, which we are implementing with partners from six European countries, is to design and develop an innovative approach to teaching computer programming in primary and secondary schools. Particular emphasis is placed on encouraging girls to learn programming and to continue their education and employment in the field of computer science. Numerous studies show that pupils and especially girls lose interest in this field during the last years of primary school, although there is a great lack of experts in this field on the labour market in all European countries. The article presents an innovative approach to learning programming by designing games using visual block programming languages and prepared learning scenarios, materials for students and teachers and a developed online learning environment with gamification elements that can be used by teachers in the classroom. We also presented the results of testing the development of didactic approaches and learning materials that we have carried out with project partners.

Keywords: Algorithmic thinking, visual block-based programming language, learning programming, learning by designing games

1 UVOD

Poučevanje programiranja z izdelavo računalniških iger je inovativna učna metoda z uporabo IKT, ki ima pozitiven vpliv na motivacijo in učinkovitost učenja, zasnovan pa je na osnovi konstruktivistične teorije o učenju. Pri programiranju enostavnih iger je učenec postavljen v aktivno vlogo, v kateri se odloča, izbira in rešuje probleme ter ustvarja nove vsebine. Pomen igre za otrokovo učenje so izpostavljali že vodilni psihologi prejšnjega stoletja in ji pripisovali eno najpomembnejših vlog pri razvoju življenjsko pomembnih veščin, ne glede na starost ali razvojno stopnjo otroka. Otrok se hitro prilagaja novim okoliščinam,

z lahkoto obvladuje spremembe in odkriva osnovne koncepte iz resničnega sveta (Rugelj in Lapina, 2019).

Na področju izobraževanja prihajajo vedno bolj v ospredje aktivne oblike učenja, kjer se korenito spremenita vlogi učitelja in učenca. Pri tem je naloga učitelja, da pripravi primerno učno okolje in izzive za učence ter jih pri aktivnih oblikah učenja usmerja in jim podaja povratne informacije. Učenec pa v učnem procesu razmišlja, vrednoti predstavljene informacije ter samostojno gradi znanje. Pri tem mu je lahko v veliko pomoč tudi informacijsko-komunikacijska tehnologija (Rugelj idr., 2018), ki ima v tem kontekstu mnogo večji pomen kot pri transmisivnih oblikah poučevanja.

2 UČENJE S SNOVANJEM IN IZDELOVANJEM IGER

Wu in Wang (2012) opredeljujeta učenje s snovanjem in izdelovanjem iger (angl. *game design based learning*) kot učni pristop, pri katerem učence spodbujamo k snovalskim odločitvam pri razvoju svojih lastnih ali pri spreminjanju obstoječih iger na osnovi izbranega okolja z orodji za razvoj iger. Z ustreznimi orodji za razvoj iger in ob preišljeni izbiri obsega in zahtevnosti iger se ta pristop lahko uporablja za vse starosti in stopnje razvoja.

Učinkovitost omenjenega pristopa za poučevanje in učenje so prepoznali tudi številni drugi raziskovalci na tem področju. Kafai (2012) trdi, da je učenje najbolj učinkovito, v kolikor so učenci vključeni v postopek snovanja, saj le-to spodbuja njihovo razmišljanje in učenje, zlasti če snujejo nekaj osebnega in smiselnega. Rieber s sodelavci (1998) ter Zapušek in Rugelj (2014) pa so celo ugotovili, da je učenje programiranja z izdelovanjem iger lahko učinkovitejše od tradicionalnih metod.

Pristop z snovanjem in izdelovanjem iger predpostavlja, da je gradnja igre sama po sebi pot do učenja, ne glede na to, ali se potem izdelana igra izkaže za zanimivo drugim. Pomembna je aktivna udeležba učencev v procesu načrtovanja in razvoja, saj na tak način ohranjamo motivacijo učencev in njihovo pripravljenost za učenje novih programskih konstruktorov in konceptov, ki so potrebni za izdelavo igre s programiranjem. Ta pristop postaja vedno bolj uporaben tudi zaradi vedno večje ponudbe ustreznih računalniško podprtih orodij za oblikovanje iger z relativno enostavnimi uporabniškimi vmesniki (Rugelj, 2015).

Integracija učenja s snovanjem iger v procese učenja se uspešno uporablja v številnih disciplinah (Rugelj in Zapušek, 2018). Čeprav je pristop najbolj razširjen na področju računalništva, zlasti pri programiranju, konceptualnem razmišljanju, pridobivanju kompetenc za delo z IKT in pri umetni inteligenci, pa lahko najdemo tudi primere z drugih področij, kot so jezikovna pismenost, oblikovanje ter tudi umetnost (Wu in Wang, 2012; Spieler in Slany, 2018; Carbonaro idr., 2010). Za učitelje pa je bistvenega pomena, da je pristop dokazano učinkovit pri poučevanju za pridobivanje digitalnih kompetenc (Rugelj, 2016).

V okviru projekta Coding4Girls (C4G) je naš cilj tudi promocija učnih okolij, ki so dobra za učenje in kjer med igralcem in oblikovalcem ni nobene stroge meje in učenec vidi ti dve vlogi kot komplementarni.

2.1 Učne teorije

V tem poglavju si bomo ogledali številne učne teorije, ki podpirajo uporabo učenja s snovanjem iger v izobraževalnih okoljih.

2.1.1 Konstruktivizem

Piagetova konstruktivistična teorija učenja pravi, da morajo biti učenci aktivni ustvarjalci v procesu pridobivanja znanja ter poudarja pomen razumevanja in znanja o svetu in okolju, kjer naše izkušnje in ideje sodelujejo pri oblikovanju tega znanja (Piaget, 1976). Duffy in Jonassen (1991) kot bistven pojem konstruktivizma navajata še sodelovanje in socialna pogajanja, saj ponujata možnosti za razvijanje novega razumevanja s pomočjo razprav, kjer lahko učenci spoznajo še stališča. Učenci v procesu snovanja iger komunicirajo s svojimi učitelji, vrstniki in kontekstom, zato takšno učno okolje zagotavlja ustrezna pogoje za proces oblikovanja znanja (Gee, 2003).

2.1.2 Območje bližnjega razvoja

Koncept območja bližnjega razvoja je opredelil Vygotsky (1978), ki poudarja vlogo odraslega človeka ali izkušenejšega vrstnika v razvoju učenca. Pri snovanju iger imajo učenci možnost sodelovanja v skupinah, kjer si lahko pomagajo, skupaj oblikujejo igre in razvijajo dodatne kompetence (Zapušek in Rugelj, 2014), pri čemer imajo tudi pomoč učitelja za nasvete in usmeritev.

2.1.3 Konstrukcionizem

Papertova konstrukcionistična teorija poudarja, da se učenci največ naučijo, ko sami gradijo svoje znanje (Papert in Harel, 1991). Teorija zagovarja dve bistveni predpostavki – prva je miselna konstrukcija znanja, do katere pride preko izkušenj iz resničnega sveta, druga pa zagovarja, da lahko učenci učinkoviteje ustvarijo novo znanje z izdelavo izdelka, ki je zanje osebno pomemben (Wu in Wang, 2012). Igra ima za učence vlogo artefakta in je po mnenju Caportona (2010) primerna za konstrukcionistično učenje, saj so postale igre pri mladih zelo priljubljene, kar pomeni, da je postopek oblikovanja le-teh zanje vznemirljiv in pomemben.

2.1.4 Trialoško učenje

Za trialoško učenje je bistvenega pomena interakcija, do katere pride med ustvarjanjem konkretnih artefaktov. Aktivnosti so organizirane tako, da učenci v

obliki sistematičnega procesa med seboj sodelujejo in razvijajo nek artefakt na osnovi skupnega znanja, npr. ideje, pravila, cilje ali igro (Kafai, 1995). Vlogo artefakta ima lahko tudi računalniška igra, saj jo učenci oblikujejo od začetne ideje ter jo skupaj izboljšujejo z upoštevanjem različnih pogledov. Različna IKT orodja (npr. Google Drive) omogočajo takojšnje deljenje idej in nadaljevanje dela, kar lahko izboljša ustvarjanje novega znanja in vpliva na nadaljnje delo drugih učencev (Paavola idr. 2011).

2.1.5 Problemsko učenje

Problemsko učenje poudarja uporabo problemov iz resničnega sveta in proces skupinskega odkrivanja pri učenju, pri čemer je vloga učitelja zagotoviti ustrezna učna gradiva in vire (Zapušek in Rugelj, 2014), obenem pa je pomembno, da so učenci čim bolj samostojni. Pri snovanju iger gredo skozi različne faze – izdelava prototipa (faza izdelave), izvedba (faza konstrukcije) in evalvacija igre (prehodna faza) (Wu in Wang, 2012).

Pristop učenja s snovanjem iger, ki smo ga uporabili v okviru projekta Coding4Girls, zajema veliko elementov zgoraj omenjenih učnih teorij in zato predstavlja odlično izhodišče za učenje programiranja. Pri tem pomaga tudi dejstvo, da je igranje iger vedno bolj popularno in si veliko učencev želi svojo igro tudi izdelati. Pri tem morajo skozi zahteven postopek od osnovne ideje do razčlenitve na manjše dele in povezave v smiselno celoto. Za pomoč imajo na voljo učitelja in vrstnike, vseeno pa igro oblikujejo sami in imajo na koncu svoj lasten izdelek, kar jih še posebej motivira.

3 PROJEKT CODING4GIRLS

Coding4Girls je projekt, ki ga financira Evropska unija v programu Erasmus+. Zasnovali smo ga z željo, da bi vzbudili večje zanimanje za učenje računalniškega programiranja in računalništva nasploh, saj je v naši družbi med mladimi za to področje zelo malo zanimanja, kljub zelo hitri rasti uporabe digitalnih tehnologij na vseh področjih in s tem zelo velikimi potrebami za strokovnjake s področja računalništva. Še posebej pa smo poudarili skrb za promocijo tega področja med dekleti, ki se zelo redko odločajo za študij računalništva in še bolj redko potem za zaposlitev na tem področju, stanje pa se v zadnjih desetletjih še vztrajno poslabšuje. Z različnimi dejavnostmi se v projektu trudimo odpravljati stereotype in napačne predstave o

vlogi žensk na področju računalništva in zmotno prepričanje o njihovih manjših sposobnostih za računalniško programiranje. Predvsem smo se osredotočili na razvoj sodobnih didaktičnih pristopov z aktivnimi oblikami učenja, ki še posebej pritegnejo učence in dijake iz tako imenovanih digitalnih generacij, ki imajo glede učenja specifične potrebe in pričakovanja (Prensky, 2001; Sharpe, Beetham in de Freitas, 2010).

Glavni cilj projekta je torej ozaveščanje učencev in dijakov v osnovnih in srednjih šolah pri nas in v drugih evropskih državah o širokem naboru možnosti, ki jih področje računalništva in programiranja ponuja za profesionalni in osebni razvoj ter priprava učencev in dijakov na nadaljnje izobraževanje na tem področju. Pri tem z izborom ustreznih didaktičnih pristopov in tematik pri snovanju in izdelovanju iger namenjamo posebno pozornost dekletom, pri katerih je zelo majhno zanimanje za programiranje in računalništvo še posebej zaskrbljujoče. (Coding4Girls – Newsletter 1, 2019).

3.1 Rezultati projekta

V tem razdelku so predstavljeni rezultati projekta Coding4Girls.

3.1.1 Metodološki okvir za reševanje problemov

Pripravili smo metodološki okvir, ki temelji na snovalskem razmišljanju (angl. *design thinking*) in mlade spodbuja k izbiri poklicne poti na področju računalništva. Okvir bo učence spodbudil, da si pred oblikovanjem podrobne rešitve problema ustvarijo širšo sliko ter razmišljajo o tem, kako lahko digitalna tehnologija pomaga reševati probleme iz vsakdanjega življenja (Coding4Girls – Newsletter 1, 2019).

3.1.2 Spodbujanje razvoja programerskih spretnosti s pomočjo izobraževalnih iger

Učence in dijake med 10. in 16. letom starosti želimo spodbujati k sodelovanju v programerskih aktivnostih s pripravljenimi aktivnostmi. Le-te si sledijo po težavnosti, od lažjih do težjih, ki so namenjene predvsem uspešnejšim učencem (*low entry – high ceiling approach*) (Izobraževalne vsebine za učitelje, 2020). Učenci tako dobijo delno rešene naloge, ki jih morajo sami dokončati v vizualnem programskem jeziku Snap!

3.1.3 Izobraževalne vsebine za učitelje

Pripravili smo 22 učnih scenarijev, ki omogočajo integracijo predlaganega pristopa s snovalskim razmi-

šljanjem in učenja s pomočjo izobraževalnih iger v šolsko prakso (Coding4Girls – Newsletter 1, 2019). Učni scenariji so v pisni obliki na voljo na spletni strani projekta¹ v angleškem in slovenskem jeziku ter v jezikih vseh ostalih partnerjev v projektu. Na YouTube kanalu² pa so objavljeni tudi videovodiči s podrobnejšo razlago učnih scenarijev v angleščini.

3.2 Učni scenariji

Aktivnosti smo skušali povezati s problemi iz resničnega sveta kot so na primer zbiranje in ločevanje odpadkov ter onesnaževanje zraka. Pred pripravo učnih scenarijev smo tudi raziskali, kakšne so preference deklet pri igranju iger. Ugotovili smo, da imajo dekleta rada igre vlog (Krassmann idr., 2015) ter igre z raziskovanjem (Hamlen, 2011), rada svoj lik urejajo (Adams, 2013), motivira jih zgodba v ozadju (Abdul Jabbar, 2015), samo pripovedovanje zgodb (Carvalho idr., 2020) in povratne informacije (McClarty idr., 2012), v igri pa so dekletom pomembni tudi izzivi in zabava med igranjem (Pourabdollahian idr., 2012; Van Reijmersdal idr., 2012).

Pripravljeni učni scenariji se delijo na dva dela: v prvem delu učenci v enem scenariju spoznajo po en programerski koncept, v drugem delu pa se koncepti prepletajo. Učitelji lahko uporabijo predlagani vrstni red scenarijev ali pa ga po želji priredijo. Prav tako lahko priredijo aktivnosti ali dodajo svoje naloge. Scenariji vsebujejo specifikacijo pričakovanega predznanja, splošne ter specifične učne cilje, koncepte, pričakovane rezultate, navodila za izvedbo aktivnosti po korakih, vprašanja za spodbujanje razprave ter dodatne naloge za sposobnejše učence (Izobraževalne vsebine za učitelje, 2020). Pripravili smo tudi navodila za učence za posamezno aktivnost, ki učenecem pomagajo pri samostojnem reševanju nalog.

3.2.1 Vsebine učnih scenarijev

V pripravah na zasnovano učnega pristopa in izdelavo učnih scenarijev smo izbrali ključne koncepte, ki jih je potrebno predstaviti učencem v okviru tečaja uvodnega programiranja. Spodnji seznam predstavlja splošne in specifične učne cilje za posamezen učni scenarij. Pri enostavnejših aktivnostih so zapisani cilji, s katerimi se učenec sreča prvič:

- 1) Seznanjanje z vizualnim programskim jezikom Snap! (dodajanje lika, obleke, dodajanje in urejanje ozadja).
- 2) Sestavljanje zaporedja delčkov za premikanje lika in uporaba delčka reci (sestavljanje ustreznega zaporedna delčkov).
- 3) Sestavljanje smiselnega zaporedja delčkov (postavljjanje lika na določeno mesto, premikanje v x in y smeri, uporaba zanke »ponovi x-krat«).
- 4) Sestavljanje smiselnega zaporedja delčkov (menjava obleke lika in izdelava animacije, obračanje lika).
- 5) Dodajanje, snemanje in predvajanje zvoka (uporaba knjižnice, uvoz iz računalnika oz. snemanje lastnega zvoka).
- 6) Premikanje preko dogodkov, zaznavanje barve, Boolean vrednosti (premikanje lika s tipkami, zaznavanje dotikanja barve, uporaba logičnih izjav za preverjanje dotikanja barve, uporaba pogojnega stavka »če-sicer«).
- 7) Premikanje po koordinatah, risanje (nastavljanje koordinat, uporaba svinčnika za risanje).
- 8) Uporaba zanke »ponovi«, obračanje lika, menjava ozadja (uporaba zanke ponovi za ponavljanje istih korakov, obračanje za x stopinj, spreminjanje ozadja z uporabo dogodka).
- 9) Spoznavanje spremenljivk, prikazovanje/skrivanje/podvojevanje lika, podvojevanje kode, pogojni stavek (uvod v spremenljivke, upraba pogojnega stavka za preverjanje prikazovanja lika).
- 10) Spreminjanje vrednosti spremenljivke, nastavljanje vrednosti spremenljivke znotraj in zunaj zanke, uvod v for zanko, naključna števila, združevanje nizov, uporaba logičnih operatorjev, vnos uporabnika (razlika med nastavljanjem vrednosti spremenljivke znotraj in zunaj zanke, uporaba bloka vprašaj in pridobivanje uporabnikovega vnosa, uporaba operatorjev za izračunavanje pravičnega odgovora).
- 11) Spoznavanje zanke »ponavljaj dokler« in operatorjev za primerjavo vrednosti (uporaba zanke »ponavljaj dokler« in operatorjev za preverjanje pravilnosti vnosa, dokler vrednost ni pravilna).

Pri naprednejših aktivnosti pa učenec:

- 12) Združi znanje spremenljivk, pogojnega stavka, zanke, obračanja v smeri, naključnega števila (spozna uporabo naključnega števila za hitrost premikanja in premikanja na naključno pozicijo).

¹ Spletna stran projekta Coding4Girls: <https://www.coding4girls.eu/>

² YouTube kanal projekta Coding4Girls: <https://www.youtube.com/channel/UCODEdwkV9PsJ4Fb70MAJQrg>

- 13) Spozna pošiljanje in prejemanje obvestil, strukturo zgodbe (uporaba pošiljanja obvestil za sinhronizacijo dialogov).
- 14) Spoznava koncepta paralelizma (uporaba sporočil za paralelno izvajanje dogodkov, risanje kroga).
- 15) Združi znanje neskončne zanke, naključnih števil, števca in spozna časovnik (uporabi časovnik za konec igre).
- 16) Združi znanje spremenljivk, pogojnega stavka in operatorjev (uporaba operatorjev za spreminjanje vrednosti spremenljivk).
- 17) Združi znanje spremenljivk, pogojnega stavka, zank, zaznavnih blokov, pošiljanja obvestil (uporaba pošiljanja obvestil za spremembo lika in izračun končnega rezultata).
- 18) Se nauči igro razdeliti na manjše dele in z njimi sestaviti celoto ter ustrezno prilagoditi del kode.
- 19) Učitelj uporabi scenarij 1) ali 2):
 - 1) Združi znanje spremenljivk, pogojnega stavka, zanke, pošiljanja obvestil, zvoka ter spozna sestavljanje kode za melodijo.
 - 2) Združi znanje pogojnega stavka in spremenljivk (uporabi zanko za predvajanje melodije).
- 20) Igro razdeli na manjše dele in z njimi sestavi celoto (uporabi pošiljanje obvestil in menjavo ozadja za postavljanje vprašanj).

- 21) Se spozna s kloniranjem objektov, definiranjem klona (uporabi kloniranje lika za sestavo igre Pacman) (Izobraževalne vsebine za učitelje, 2020).

3.3 Coding4Girls okolje

Spletno okolje za učenje z elementi igrifikacije je bilo izdelano kot dodatek k učnim scenarijem. Sestavljeno je iz platforme za učitelje ter igre za učence³. Učitelj v platformi izdelava tečaj (učni predmet) ali uporabi že narejenega (tečaji so na voljo za vsako aktivnost v Snap!-u v vseh jezikih), postavi učencem izzive, kjer lahko vključi dodatne elemente igrifikacije, doda nalogo v Snap!-u. Učenci potem znotraj tečaja programirajo in igrajo mini igre iz spletnega okolja, ki so elementi igrifikacije v učnem procesu.

3.4 Potek učenja

Učitelj na začetku predstavi glavni problem tako, da učencem poda pisno navodilo. Nato lahko postavi učencem vprašanja in pripravi oglasno desko z listki in vprašanji, na katera učenci odgovarjajo (slika 2). Učenci lahko vprašanja tudi sami postavljajo, prilagajajo slike, sodelujejo med seboj pri reševanju problema in izmenjujejo mnenja. Učitelj lahko nato v izziv vključi mini igro, torej element igrifikacije, ki je povezava z aktivnostjo v Snap!-u. Sledi programiranje v Snap!-u. Po oddaji naloge lahko učitelj nastavi, da



Slika 1: Oder in del kode iz učnega scenarija 11 – Mačje zavetišče

³ Na spletni strani projekta sta dostopna tako platforma kot tudi igra. Učiteljem in učencem so na voljo podrobna navodila v pisni in video obliki.



Slika 2: Primer viharjenja možganov (angl. Brainstorming)

učenec oddano nalogo vidi, učitelj pa na platformi dobi vse oddane naloge učencev.

3.5 Mini igre

V mini igrah se učenec sprehaja po virtualnem 3D svetu. Vsaka igra se odvija v svojem okolju v naravi, na primer v gozdu, ob reki, na peščeni plaži, in vsaka izmed njih je povezana s programerskim konceptom. Slika 3 spodaj prikazuje mini igro, ki učencem približa koncept pogojnega stavka. Če je odgovor pravi, bo učenec pot nadaljeval po levi poti, sicer pa po desni.

Ostale mini igre predstavljajo:

- zvok, kjer mora učenec pozorno poslušati oglašanje ptic;
- naključna števila, kjer igralec proti računalniku igra igro z igralnimi kockami;

- operatorje, kjer učenec izbira pravilna števila in operacijo, ki rešijo enačbo;
- zaporedja, kjer učenec stopa po črkah in tvori besedo;
- zanke, kjer učenec ponavlja isti korak in zлага tri enake znake v vrsto;
- spreminjanje videza; kjer učenec igra igro kače, ki spremeni videz vsakič, ko poje hrano;
- spremenljivke, kjer učenec zbira žogice različnih barv in nato z združevanjem tvori žogice nove barve;
- risanje, kjer učenec na tabli povezuje pot med dvema točkama;
- kviz, kjer učenec odgovarja na učiteljeva vprašanja.

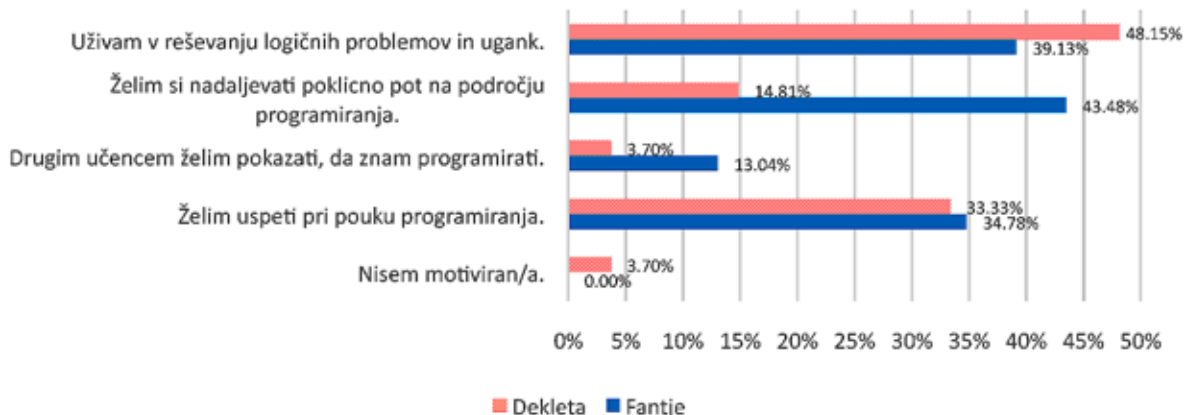
4 METODE IN REZULTATI

Raziskava, s katero smo evalvirali novi didaktični pristop in izdelana učna gradiva, je bila kvantitativ-



Slika 3: Vnešeno učiteljevo vprašanje v platformi (levo) se učencu prikaže v mini igri (desno)

Motivacija za učenje programiranja



Slika 4: **Odgovori učencev o motivaciji za učenje programiranja**

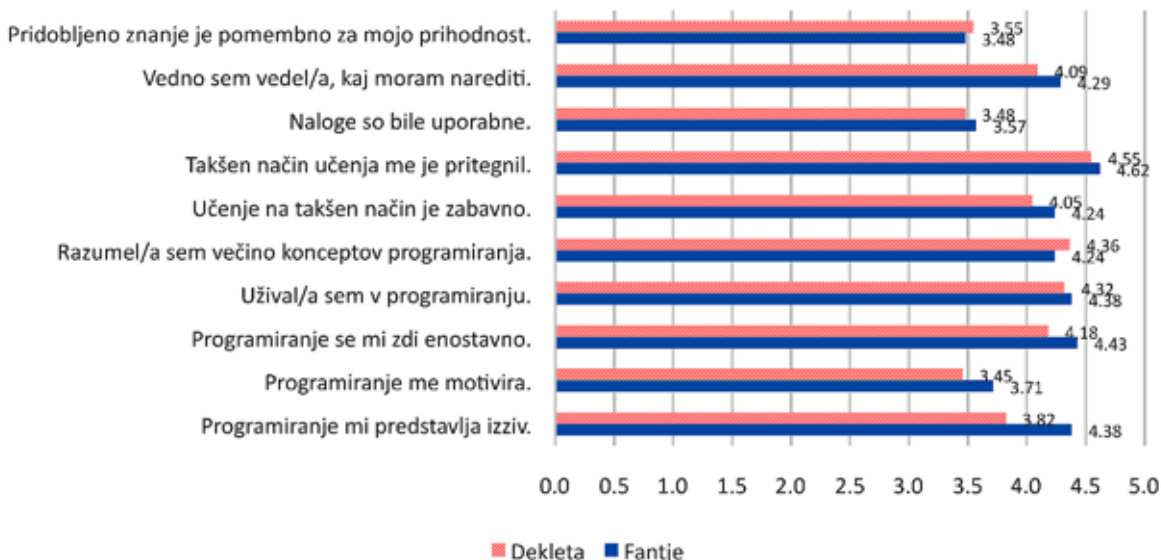
na in kvalitativna. Podatke smo zbirali z začetnim in končnim vprašalnikom za učence ter s pomočjo zbranih opazovanj učiteljev in komentarjev učencev, učiteljev in drugih strokovnjakov s področja računalništva. V testiranju so sodelovali učenci, dijaki, študenti, učitelji ter drugi strokovnjaki s področja računalništva iz sedmih držav: Bolgarije, Grčije, Hrvaške, Italije, Portugalske, Turčije in Slovenije.

Testirali smo aktivnosti v Snap!-u ter spletno okolje Coding4Girls. Na testiranju je do sedaj sodelovalo več kot 150 učiteljev in 900 učencev iz vseh držav, testiranje pa še poteka.

V nadaljevanju predstavljamo nekaj rezultatov testiranja v Sloveniji, kjer smo v letošnjem letu izvedli zimsko šolo, krožek ter dve delavnici, na katerih je skupaj sodelovalo 50 učencev. Mnenja učiteljev pa smo zbrali po spletnem dogodku projekta, kjer je do sedaj v anketi sodelovalo 12 učiteljev.

Z začetnim vprašalnikom, ki ga je izpolnilo 50 učencev od 4. do 9. razreda osnovne šole (27 deklet in 23 fantov), smo zbirali podatke o tem, koliko časa na teden uporabljajo digitalne naprave, kakšno je njihovo predznanje programiranja, katere programerske koncepte že poznajo ter kaj jih motivira za

Zadovoljstvo s C4G metodologijo



Slika 5: **Odgovori učencev o zadovoljstvu s C4G metodologijo**

učenje programiranja. Slika 4 prikazuje odgovore na vprašanje o motivaciji za učenje programiranja. Največ deklet uživa v reševanju logičnih problemov in ugank (48,15%), pri fantih pa je bil najpogostejši odgovor, da si želijo nadaljevati poklicno pot na področju programiranja (43,48%). Pri tem vprašanju je prišlo tudi do največje razlike med spoloma, saj karijera na področju računalništva predstavlja motivacijo le za 14,81% deklet.

Na vprašalnik po izvedenih učnih aktivnostih je odgovorilo 43 učencev od 5. do 9. razreda osnovne šole (22 deklet in 21 fantov). Od učencev smo želeli dobiti povratno informacijo o zadovoljstvu s C4G metodologijo, o uporabnosti spletnega okolja z elementi igrifikacije, ponovno pa smo jim zastavili tudi vprašanje o njihovem znanju programiranja. Zgornja slika (5) prikazuje povprečne odgovore učencev, ki so odgovarjali na 5-stopenjski lestvici, kjer je 1 pomenilo, da se popolnoma ne strinjajo, 5 pa, da se popolnoma strinjajo s trditvijo. Vidimo lahko, da so bili vsi odgovori zelo pozitivni, saj je bil najslabši rezultat pri dekletih 3,45 (*Programiranje me motivira*), pri fantih pa 3,48 (*Pridobljeno znanje je pomembno za mojo prihodnost*). Trditev, da *jih takšen način učenja pritegne*, pa je dosegel najvišjo povprečno oceno tako pri dekletih (4,55), kot tudi pri fantih (4,62).

O ustreznosti in učinkovitosti učenja z uporabo iger za gradnjo veščin programiranja in specifičnega C4G učnega pristopa ter o primernosti aktivnosti v izdelanih učnih scenarijih za dekleta smo spraševali udeležence spletnega dogodka *Učenje programiranja s snovanjem iger*, ki je potekal novembra 2020. Predstavljamo odgovore 12 učiteljev, ki se jim takšen pristop zdi ustrezen, interaktiven, učinkovit in motivacijski, kar je po njihovem mnenju pomembno, še posebej pri dekletih. Menijo, da je učenje skozi igro bolj zanimivo, saj se učenci učijo, ne da bi to opazili, hkrati pa od tega veliko odnesejo. Na vprašanje o primernosti iger za dekleta so učitelji odgovorili, da so teme iger dobro izbrane, uporabne ter primerne tako za dekleta tudi za fante.

5 ZAKLJUČEK

Rezultati kažejo, da je bila C4G metodologija dobro sprejeta pri učiteljih in tudi pri učencih. Novo razviti pristop učenja s snovanjem iger se je izkazal za motivacijskega in zelo učinkovitega, saj učenci pridobijo veliko dragocenih izkušenj, izboljšujejo algoritmično razmišljanje in usvajajo programerske koncepte. Pri-

dobljeno znanje je zanje koristno, četudi se ne odločijo za študij računalništva, saj so ta znanja potrebna za življenje v digitalni dobi. Z izdelanimi učnimi scenariji tudi spodbujamo učitelje računalništva, da v učne ure vključijo programiranje, saj so jim na voljo vsa potrebna navodila in gradiva lahko po želji prilagodijo potrebam in možnostim v učnem procesu.

6 ZAHVALA

Delo je nastalo v okviru Erasmus+ projekta Coding4Girls (2018-1-SI01-KA201-047013).

LITERATURA

- [1] Abdul Jabbar, A. I. And Felicia, P. (2015). »Gameplay engagement and learning in game based learning: A systematic review,« *Review of educational research* 85.4, pp. 1–40.
- [2] Adams, E. (2013). »Fundamentals of Game Design,« *Design, Third Edit., New Riders*, p. 576.
- [3] Caperton, I. H. 2010. Toward a theory of game-media literacy: Playing and building as reading and writing. *International Journal of Gaming and Computer-Mediated Simulations (J-GCMS)*, 2(1), 1-16.
- [4] Carbonaro, M., Szafron, D., Cutumisu, M. and Schaeffer, J. (2010). Computer-game construction: A gender-neutral attractor to computing science. *Computers & Education*, 55(3), 1098–1111.
- [5] Carvalho, C. V., Cerar, Š., Rugelj, J., Tsalapatias, H., Heidmann, O. Addressing the gender gap in computer programming through the design and development of serious games. *IEEE-RITA*. 2020, vol. 15, no. 3, str. 242-251. ISSN 1932-8540. Dostopno na: <http://pefprints.pef.uni-lj.si/6429/>.
- [6] Coding4Girls – Newsletter 1. (2019). Dostopno na: https://www.coding4girls.eu/upload/web_comp/add/doc/000000333_1554129506.pdf
- [7] Coding4Girls – Newsletter 3. (2020). Dostopno na: https://www.coding4girls.eu/upload/web_comp/add/doc/000000494_1585754616.pdf
- [8] Duffy, T. M. In Jonassen, D. H. (1991). Continuing the dialogue: An introduction to this special issue. *Educational Technology*, 31(9), 9-11.
- [9] Gee, J. P. (2003). What video games have to teach us about learning and literacy. *Computers in Entertainment (CIE)*, 1(1), 20-20.
- [10] Hamlen, K. R. (2011). »Children's choices and strategies in video games,« *Computers in Human Behavior* 27.1, pp. 532-539.
- [11] Izobraževalne vsebine za učitelje. Zbirka učnih scenarijev za učenje programiranja na osnovi oblikovanja iger. (2020). Coding4Girls projektna dokumentacija. Dostopno na: https://www.coding4girls.eu/upload/web_comp/add/doc/000000538_1595834682.pdf
- [12] Kafai, Y. (1995). Making game artifacts to facilitate rich and meaningful learning. Annual Meeting of the American Educational Research Association, 1–20.
- [13] Kafai, Y. B. (2012). Minds in play: Computer Game Design As A Context for Children's Learning. Constraint Satisfaction and Debugging for Interactive User Interfaces. Doctoral Thesis. UMI Order Number: UMI Order No. GAX95-09398., University of Washington.

- [14] Krassmann, A. L., Paschoal, L. N., Falcade, A. in Medina, R. D. (2015). »Evaluation of game-based learning approaches through digital serious games in computer science higher education: a systematic mapping,« 2015 14th Brazilian Symposium on Computer Games and Digital Entertainment (SBGames). IEEE.
- [15] McClarty, K. L., Orr, A., Frey, P. M., Dolan, R. P. Vassileva, V. in McVay, A. (2012). »A literature review of gaming in education,« *Gaming in education*, pp. 1-35.
- [16] Paavola, S., Lakkala, M., Muukkonen, H., Kosonen, K. in Karlgren, K. (2011). The roles and uses of design principles in a project on triological learning. *Research in Learning Technology*.
- [17] Papert, S. in Harel, I. (1991). Situating constructionism. *Constructionism*, 36(2), 1-11.
- [18] Piaget, J. (1976). Piaget's theory. In Piaget and his school (pp. 11-23). Springer, Berlin, Heidelberg.
- [19] Pourabdollahian, B., Taisch, M. in Kerga, E. (2012). »Serious games in manufacturing education: Evaluation of learners' engagement,« *Procedia Computer Science* 15, pp. 256-265.
- [20] Prensky, M. (2001). »Digital Natives, Digital Immigrants,« *On the Horizon*. 9 (5): 1-6.
- [21] Rieber, L. P., Smith, L., in Noah, D. (1998). »The value of serious play«. *Educational Technology*, 38(6), 29-37.
- [22] Rugelj, J. (2015). »Serious games design as collaborative learning activity in teacher education«. In: Busch, C. (ed.). *Proc. of the 9th European Conference on Games Based Learning: Steinkjer, Norway 8-19 October 2015*. Reading: Academic Conferences and Publishing International Limited, 456-460.
- [23] Rugelj, J. (2016). »Serious computer games design for active learning in teacher education«. In: Carvalho, C., Escudeiro, P., Coelho, A. (Eds.). *Serious games, interaction, and simulation*, Lecture notes of the institute for computer sciences, social informatics and telecommunications engineering, vol. 161. Dordrecht: Springer, 94-102.
- [24] Rugelj, J., Zapušek, M. (2018). »Innovative and flexible forms of teaching and learning with information and communication technologies«. In: *Education and research in the information society: proceedings*. Sofia: Institute of Mathematics and Informatics Bulgarian Academy of Sciences, 11-20.
- [25] Rugelj, J. in Lapina, M. (2019). »Game design based learning of programming,« *Proceedings of SLET-2019 – International Scientific Conference Innovative Approaches to the Application of Digital Technologies in Education and Research*, Stavropol – Dombay, Russia, 20-23 May 2019. Aachen: CEUR workshop proceedings, vol. 2494.
- [26] Rugelj, J., Jedrinović, S. in Bevčič, M. (2018). A comprehensive model of a cooperative role-playing game. Ljubljana: University of Ljubljana. http://game-it.net/images/results/A_comprehensive_model_of_a_cooperative_role-playing_game_UL.pdf
- [27] Sharpe, R., Beetham, H. in de Freitas, S. (2010). *Rethinking Learning for a Digital Age: How Learners are Shaping their Own Experiences*. Routledge.
- [28] Spieler, B. in Slany, W. (2018). Game Development-Based Learning Experience: Gender Differences in Game Design. arXiv preprint arXiv:1805.04457.
- [29] Van Reijmersdal, E. A., Jansz, J., Peters, O. in Van Noort, G. (2013). »Why girls go pink: Game character identification and game-players' motivations,« *Computers in Human Behavior* 29.6, pp. 2640-2649.
- [30] Vygotsky, L. S. (1978). The development of higher psychological processes. *Mind in society*, 1-91.
- [31] Wu, B. in Wang, A. I. (2012). A guideline for game development-based learning: a literature review. *International Journal of Computer Games Technology*, 8.
- [32] Zapušek, M., in Rugelj, J. (2014). Achieving teachers' competences in the serious game design process. V: Busch, C. (ur.). *Proceedings of the 8th European Conference on Games Based Learning : Berlin, Germany October 2014. Vol.2*. Reading: Academic Conferences and Publishing International Limited, 662-665.

■

Mateja Bevčič je magistrica profesorica matematike in računalništva. V okviru Centra Univerze v Ljubljani za uporabo IKT v pedagoškem procesu visokošolskim učiteljem in sodelavcem svetuje pri uporabi različnih didaktičnih pristopov ter pri uporabi informacijsko-komunikacijskih tehnologij v podporo kakovostnejšemu pedagoškemu procesu. Na področju raziskovanja se ukvarja z inovativnimi oblikami poučevanja, predvsem z učenjem z uporabo iger. Po končanem študiju na UL Pedagoški fakulteti je v zadnjih treh letih sodelovala v dveh nacionalnih projektih s področja uporabe IKT v izobraževanju ter v treh mednarodnih projektih s področja učenja z uporabo iger. Rezultate svojega raziskovanja je predstavila v štirih člankih in na petih konferencah na nacionalni in mednarodni ravni.

■

Dr. Jože Rugelj je na Univerzi v Ljubljani redni profesor za računalništvo v izobraževanju. Na Pedagoški fakulteti predava predmete s področja didaktike računalništva in uporabe IKT v izobraževanju na vseh treh bolonjskih stopnjah študija. Na raziskovalnem področju se ukvarja s področjem računalniško podprtega sodelovalnega učenja in z aktivnimi triološkimi oblikami učenja s posebnim poudarkom na učenju s snovanjem in izdelavo računalniških iger. V zadnjih 15 letih je bil nacionalni koordinator 11 mednarodnih projektov s področja uporabe IKT v izobraževanju in učenja z igrami. Rezultate svoje raziskovanja je objavil v več kot 20 člankih v mednarodnih revijah in v poglavjih v monografijah pri priznanih mednarodnih založbah, ki so bili citirani 90-krat v WoS in 204-krat v SCOPUS.

Integracija strukturnih omejitev pri izpeljavi genesko regulatornih omrežij

Žiga Pušnik, Miha Moškon

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za računalništvo in informatiko, Večna pot 113, Ljubljana
ziga.pusnik@fri.uni-lj.si, miha.moskon@fri.uni-lj.si

Izvleček

Inferenca genesko regulatornih omrežij (GRO) iz ekspresijskih podatkov je še vedno težak problem. Število genov je velikokrat večje od števila poskusov, kjer genesko izražanje še dodatno spremlja določena mera šuma. Zato predlagamo uporabo strukturnih omejitev pri izpeljavi GRO na podlagi predhodnega znanja v obliki referenčnih omrežij. Naša ideja izvira iz dejstva, da vsebujejo GRO vzorce, tako imenovane motive, ki se pojavljajo bistveno pogosteje, kot bi to pričakovali v naključno generiranih omrežjih. Uporabo predhodnega znanja dosežemo s spreminjanjem uteži posameznega gena v cenovni funkciji linearne regresije. Uteži spreminjamo iterativno z gradientnim spustom. Naš pristop temelji na že uveljavljeni parcialno korelacijski metodi SPACE. S spreminjanjem uteži na podlagi prisotnosti motivov, porazdelitve stopenj genov in pričakovanega števila regulatornih genov za odtenek izboljšamo točnost, natančnost, priklic in F1 oceno omrežij izpeljanih iz GRO bakterije *E. coli*.

Ključne besede: Genesko regulatorna omrežja, Inferenca omrežij, Integracija strukturnih podatkov, Referenčna omrežja

Abstract

The inference of gene regulatory networks (GRNs) from the gene expression data remains a challenging task. The number of genes is significantly larger than the number of experiments, where each experiment contains a noise component. We impose structural constraints on the inferred gene regulatory network based on the structure of reference GRNs. Our idea is motivated by the fact that GRNs contain a vast number of patterns, i.e. motifs, that are significantly more common than in randomized networks. We impose these constraints by modifying the weights of genes contributing to the joint loss function in the regression problem. We modify weights iteratively with gradient descent. Our approach is based on the already established partial correlation method dubbed SPACE. By extracting the expected number of regulatory genes, gene degree distribution and motifs from the reference network, we have improved by a small margin the inference accuracy, precision, recall and F1 score in the inference of GRNs derived from the GRN of the *E. coli* bacteria.

Keywords: Gene regulatory network, integrative data, network inference, reference network

1 UVOD

Izpeljavo genesko regulatornih omrežij (GRO) iz ekspresijskih podatkov lahko umestimo v širši kontekst računske biologije kot ključen korak za odkrivanje zapletenih bioloških procesov. Metode za inferenco omrežij v splošnem delimo na (1) verjetnostne pristope, (2) korelacijske in parcialno korelacijske pristope, ter (3) pristope na podlagi teorije informacij [Allen et al., 2012]. Rezultat teh metod je usmerjen graf, neusmerjen graf, Bayesovska mreža ali Boolova mreža.

Težava, s katero se srečujemo pri izpeljavi GRO iz ekspresijskih podatkov, je nizko število eksperimen-

tov. Tipično je število eksperimentov veliko manjše od števila vozlišč (genov) v omrežju. Slednje močno vpliva na pravilnost izpeljanega omrežja. Da bi zmanjšali velikost prostora rešitev, nekateri pristopi najprej združijo gene s podobno dinamiko v tako imenovane meta-gene [Martin et al., 2007].

Nekoliko naprednejše metode, kot je na primer metoda SPACE [Peng et al., 2009], ohranijo število genov in so zato primernejše za inferenco omrežij z večjo biološko relevantno. SPACE določi povezave GRO na podlagi ocene parcialnih korelacij, pridobljenih z minimizacijo regularizirane cenovne funkcije.

Problem obstoječih metod za inferenco omrežij je neupoštevanje predhodnega znanja o splošni strukturi podobnih omrežij. Zaradi majhnega števila eksperimentov in prisotnosti šuma so lahko izpeljana omrežja nerealna, oziroma se prekomerno prilagodijo podatkom. V primerjavi z naključno generiranimi omrežji so GRO redko povezana in vsebujejo gene z velikim številom povezav. Ti imajo ključno vlogo pri genski regulaciji, saj nadzirajo gene s skupno globalno funkcijo, kot je na primer celični odziv. Poleg tega GRO vsebujejo pogosto ponavljajoče se vzorce vozlišč oziroma fragmente, ki se pojavljajo pogosteje, kot bi pričakovali v naključnih omrežjih. Take fragmente imenujemo motivi. Zaradi evlucijskih prednosti, ki izhajajo iz načina izvedbe različnih funkcij, so se motivi razvili neodvisno v različnih organizmih. Predhodno poznavanje prisotnosti motivov in njihove strukture je moč uporabiti za izboljšanje rezultatov inference.

Nekatere metode predhodno znanje v omejenem obsegu že upoštevajo. Parcialno korelacijski pristop ESPACE [Yu et al., 2017], ki izhaja iz metode SPACE, uvede dodatno kazen. Ta je nižja za gosto povezane gene z več kot sedmimi povezavami [Yu et al., 2017]. ESPACE se na realnih omrežjih odreže bolje kot SPACE, če predhodno vemo, katera vozlišča so gosto povezana. Če to znanje ni na voljo, je ESPACE enaka metodi SPACE. Poleg tega metoda ESPACE ne upošteva dodatnega predhodnega znanja o omrežju, kot so motivi, povezanost omrežja in splošna struktura GRO.

Naš pristop temelji na metodi SPACE, je kontekstno odvisen in vključuje integracijo predhodnega znanja, ki ga podamo v obliki referenčnih omrežij. Cilj takšnega pristopa je izpeljati GRO iz transkrip-

tomskih podatkov in v omrežju ohraniti strukturne lastnosti referenčnih omrežij, kot je povezanost omrežja in prisotnost motivov. Na tak način želimo zagotoviti izpeljavo pravih in biološko verodostojnih GRO. Integracijo predhodnega znanja dosežemo z iterativnim spreminjanjem uteži cenovne funkcije. Uteži spreminjamo glede na pričakovano število povezav, porazdelitev stopnje vozlišč in prisotnostjo fragmentov s tremi vozlišči. Tak pristop lahko uporabimo v različnih aplikacijah. V kontekstu sistemske biologije in medicine pogosto poznamo strukturo referenčnega omrežja (npr. zdrava celica), spremembe, ki pripeljejo do določene bolezni (npr. mutacije) pa so neznane ali poznane le delno. V kontekstu sintezne biologije lahko rešujemo podoben problem. Želen odziv sintetičnega sistema je poznan, pri čemer so spremembe referenčnega omrežja, na primer omrežja gostiteljske celice, potrebne za pridobitev takega odziva, poznane le delno. Uporabo predlaganega pristopa v nadaljevanju ponazorimo na podlagi desetih referenčnih omrežij in štirih testnih omrežij. Omrežja smo z orodjem GeneNetWeaver [Schaffter et al., 2011] izpeljali na podlagi GRO *E. coli*.

2 INTEGRACIJA STRUKTURNIH OMEJITEV


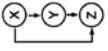

Naj ima naključno generirano omrežje N vozlišč in E povezav. V naključnem Erdos-Renyi omrežju [Erdős and Rényi, 1959] je verjetnost povezave enaka $p = E/N^2$. Če primerjamo vzorce, ki se pojavljajo v bioloških GRO, lahko ugotovimo, da je pojavnost določenih fragmentov bistveno večja, kot bi to pričakovali v naključno generiranih omrežjih [Alon, 2007]. Tabela 1 prikazuje različne vrste motivov GRO

E. coli in njihovo Z -vrednost [Alon, 2006]. V tem primeru predstavlja Z -vrednost število standardnih odklonov pojavnosti motivov v bioloških GRO v primerjavi z naključnimi omrežji z enakim številom vozlišč in povezav [Alon, 2006].

Splošno strukturo GRO narekujejo motivi in regulatorni geni z velikim številom povezav. Podatke o motivih GRO lahko poleg same strukture omrežja v proces inference vključimo posredno preko referenčnega omrežja. Referenčno omrežje se lahko v tem primeru nanaša na omrežje sorodnega organizma, za katerega strukturo že poznamo, ali pa na omrežje pred izvedbo določene perturbacije (npr. pred pojavom bolezni).

Izhajamo iz parcialno korelacijske metode SPACE [Peng et al., 2009]. Parcialna korelacija je mera line-

Tabela 1: Primeri motivov organizma *E. coli*. Negativna avtoregulacija pripomore k povečanju robustnosti sistema. Naprej usmerjena zanka generira in zakasni pulz. Geni motiva bi-fan imajo skupno globalno funkcijo, kot je na primer odziv sistema na zunanje dražljaje. Vsebina tabele je povzeta po [Alon, 2006, Alon, 2007].

Motiv	Struktura	Z-vrednost
Negativna avtoregulacija		32
Naprej usmerjena zanka		10
Bi-fan		13

arne povezanosti dveh spremenljivk, pri čemer omlimo vpliv vseh ostalih spremenljivk. Gena v GRO sta povezana, če je njuna parcialna korelacija različ-

na od nič. Parcialno korelacijo lahko izrazimo tudi preko inverza kovariančne matrike oziroma matrike natančnosti Σ^{-1} z enačbo

$$\rho^{ij} = \frac{-\sigma^{ij}}{\sqrt{\sigma^{ii}\sigma^{jj}}}, \quad (1)$$

kjer je σ^{ij} element i -te vrstice j -tega stolpca matrike natančnosti. Peng in sodelavci reformulirajo problem iskanja povezav v omrežju v regresijski problem is-

kanja neničelnih parcialnih korelacij [Peng et al., 2009]. Zato predlagajo sledečo cenovno funkcijo

$$L(\Theta, \sigma, Y) = \frac{1}{2} \left(\sum_{i=1}^m w_i \left\| Y_i - \sum_{i \neq j} \rho^{ij} \sqrt{\frac{\sigma^{jj}}{\sigma^{ii}}} Y_j \right\|^2 \right) + \lambda \sum_{ij} |\rho^{ij}|, \quad (2)$$

kjer je $\Theta = (\rho^{12}, \dots, \rho^{(p-1)p})$, $\sigma = \text{diag}(\Sigma^{-1})$ in λ regularizacijski parameter. Uteži w_i predstavlja prispevek napake gena Y_i k skupni napaki. Regularizacija $L1$ dodatno spodbuja k inferenci redko povezanih omrežij, ki so v naravi pogostejša. Metoda SPACE deluje po korakih. V prvem koraku parameter σ le ocenimo $1/\hat{\sigma}^{ii} \approx \text{var}(y_i)$ in ga v sledečih iteracijah posodabljam. Metodo ustavimo ob konvergenci ali po preteku maksimalnega števila iteracij. Neničelne parcialne korelacije predstavljajo povezave izpeljanega omrežja [Peng et al., 2009, Yu et al., 2017]. Zaradi slednjega metoda SPACE izpelje neusmerjen graf.

Topološke značilnosti referenčnega omrežja v pristop vključimo s prilagajanjem uteži cenovne funkcije. Vhodni argumenti našega pristopa so podatki genske ekspresije Y ter matrike povezanosti referenčnih omrežij. Iz referenčnih omrežij na začetku izluščimo pričakovano število povezav p_r , porazdelitev vozlišč

d_r in prisotnost fragmentov s tremi vozlišči f_r [Gal et al., 2020]. Pričakovano število povezav je skalar. Pri porazdelitvi vozlišč opazujemo vozlišča, ki imajo od 0 do vključno 10 povezav, pri čemer agregiramo vsa vozlišča z več kot desetimi povezavami v skupen razred. Ker se ukvarjamo z neusmerjenimi grafi, sta možna samo dva različna fragmentka s tremi vozlišči, to sta trikotnik (angl. *triangle*) in pot (angl. *path*). Želimo si izpeljati omrežje, ki je topološko podobno referenčnemu omrežju.

Naš pristop deluje iterativno. V prvi iteraciji topološke lastnosti izpeljanega omrežja še niso na voljo, zato utežimo vsak gen z enako utežjo $w_i = 1$. Nato apliciramo metodo SPACE. Na podlagi pričakovane števila povezav p_i , porazdelitve stopenj vozlišč d_i in prisotnosti fragmentov f_i izpeljanega omrežja minimiziramo cenovno funkcijo

$$C(d_i, f_i, p_i) = aS(\|d_i - d_r\|_2) + bS(\|f_i - f_r\|_2) + cS(p_i - p_r). \quad (3)$$

Zaradi različnih magnitud pri posameznih topoloških lastnostih cenovno funkcijo še dodatno normaliziramo s sigmoidno funkcijo S . Koeficiente a , b in c smo določili eksperimentalno, in sicer $a = 0,6$, $b = 0,2$, $c = 0,2$. Uteži iterativno v stotih iteracijah pri-

lagajamo z gradientnim spustom in stopnjo učenja $\alpha = 0,1$

Naš pristop poleg iterativnega popravljanja uteži vnaša dodatno računsko zahtevnost z numeričnim odvajanjem.

$$w_i = w_i - \alpha \frac{\delta C}{\delta w_i}. \quad (4)$$

Tabela 2: prikazuje rezultate izpeljave inferenca omrežij z metodo SPACE brez modifikacij in z modificiranimi uteži. Kljub nizki natančnosti in F1 oceni naš pristop v določeni meri izboljša rezultate inferenca. Omrežja

Omrežje	Osnoven				Prilagojene uteži			
	Točnost	Natančnost	Priklic	F1	Točnost	Natančnost	Priklic	F1
1	0,823	0,252	0,514	0,338	0,833	0,266	0,514	0,351
2	0,68	0,122	0,39	0,186	0,684	0,124	0,39	0,188
3	0,663	0,166	0,776	0,274	0,668	0,168	0,776	0,277
4	0,811	0,22	0,465	0,299	0,82	0,231	0,465	0,308

3 DISKUSIJA IN REZULTATI

Pristop smo ovrednotili na sintetičnih podatkih štirih GRO, ki smo jih izpeljali iz večjega GRO *E. coli*. Takšna omrežja so za naš pristop še vedno obvladljiva, hkrati pa izhajajo iz realnega omrežja, ki vsebuje že omenjene lastnosti GRO, kot je prisotnost motivov. Izpeljana omrežja vsebujejo 40 vozlišč in imajo vsaj 20 regulatornih genov. Podatke genske ekspresije smo z orodjem GeneNetWeaver generirali na enak način kot v izzivu DREAM4 [Marbach et al., 2009, Marbach et al., 2010, Prill et al., 2010] s stohastičnimi diferencialnimi enačbami. Za inferenco omrežij smo uporabili časovno serijo genskega izražanja in izražanje z utišanimi geni (t.i. knockout in knockdown geni).

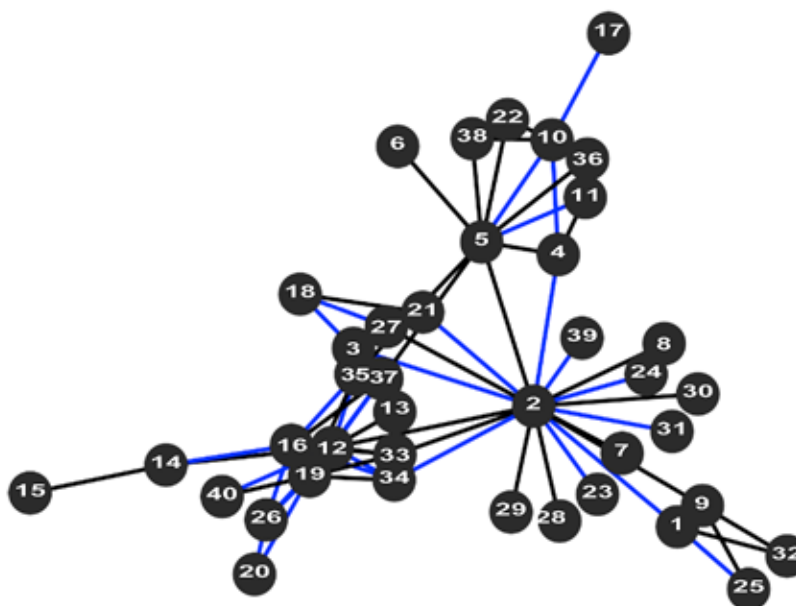
Tabela 2 prikazuje rezultate izpeljave inferenca omrežij z metodo SPACE brez modifikacij in z modificiranimi uteži. Kljub nizki natančnosti in F1 oceni naš pristop v določeni meri izboljša rezultate

inferenca. Omrežja izpeljana s prilagajanjem uteži imajo manj lažno pozitivnih povezav, kar je razvidno iz ocene natančnosti. Slika 1 prikazuje graf omrežja 1, izpeljanega z modifikacijami uteži. Zaradi preglednosti lažno pozitivnih povezav ne prikazujemo. Že na manjšem grafu, kot je ta, so razvidne topološke lastnosti GRO. Opazimo lahko prisotnost gosto povezanih vozlišč, manjše število trikotnikov in večje število vozlišč stopnje 1.

Tabela 2: Primerjava rezultatov inferenca omrežij pridobljenimi z osnovno metodo SPACE in z metodo SPACE s prilagojenimi uteži. Omrežja s štiridesetimi vozlišči smo iz GRO *E. coli* pridobili z orodjem GeneNetWeaver.

4 ZAKLJUČEK

Predlagali smo pristop integracije strukturnih omejitev pri izpeljavi GRO s spremembami uteži, preko



Slika 1: Rezultati inferenca omrežja 1, pridobljeni z uporabo metode SPACE s prilagojenimi uteži. Črne povezave so pravilno izpeljane, modre povezave so prisotne a niso izpeljane. Napačno izpeljanih povezav zaradi večje preglednosti ne prikazujemo.

katerih smo posredno opisali pričakovane lastnosti referenčnih omrežij. Te smo določili na podlagi pričakovanega števila povezav, porazdelitve stopenj vozlišč in prisotnosti motivov s tremi vozlišči. Te informacije pristop avtomatsko pridobi iz podanih referenčnih omrežij. Predlagani pristop temelji na parcialno korelacijski metodi SPACE [Peng et al., 2009]. Pokazali smo, da takšna integracija predhodnega znanja lahko izboljša točnost izpeljanih omrežij, četudi le za odtenek.

Naša ideja je izhajala iz dejstva, da struktura GRO sledi določenim pravilom. Taka omrežja so redko povezana ter vsebujejo motive in regulatorne gene z velikim številom povezav [Alon, 2006]. Naš pristop zato lahko uporabimo v primeru izpeljave GRO na podlagi poznanega referenčnega omrežja sorodnega organizma ali poznanega omrežja pred izvedbo sekvence določenih perturbacij omrežja. Pomankljivost našega pristopa je višja časovna zahtevnost. Ker naš pristop prilagaja uteži iterativno, s tem vpeljemo dodaten računski čas. Naša druga skrb je prekomerno prilagajanje strukture izpeljanega GRO omrežja k referenčnemu omrežju. Slednji problem bi lahko naslovili z vpeljavo dodatnega skalirnega faktorja. Če bi nastavili vrednost skalirnega faktorja na 0, bi izpeljali omrežje brez omejitev referenčnega omrežja. V nasprotnem primeru bi upoštevali topološke značilnosti referenčnega omrežja sorazmerno z velikostjo skalirnega faktorja. V nadaljnjem delu bomo pristop uporabili na realnih omrežjih genske regulacije. Pri tem bomo kot referenčna omrežja preizkusili omrežja sorodnih organizmov. Zanimalo nas bo predvsem, kako se pristop obnese pri večjih omrežjih ter kakšna je občutljivost metode na perturbacije referenčnega omrežja. Zaradi nekoliko slabših rezultatov inferenčne metode SPACE se bomo osredotočili na drugačne pristope, kot so hevristični algoritmi in multikriterijska optimizacija.

LITERATURA

- [1] [Allen et al., 2012] Allen, J. D., Xie, Y., Chen, M., Girard, L., and Xiao, G. (2012). Comparing statistical methods for constructing large scale gene networks. *PLoS one*, 7(1):e29348.
- [2] [Alon, 2006] Alon, U. (2006). *An introduction to systems biology: design principles of biological circuits*. Chapman and Hall/CRC.
- [3] [Alon, 2007] Alon, U. (2007). Network motifs: theory and experimental approaches. *Nature Reviews Genetics*, 8(6):450.
- [4] [Erdős and Rényi, 1959] Erdős, P. and Rényi, A. (1959). On random graphs, i. *Publicationes Mathematicae (Debrecen)*, 6:290–297.
- [5] [Gal et al., 2020] Gal, E., Perin, R., Markram, H., London, M., and Segev, I. (2020). Neuron geometry underlies universal network features in cortical microcircuits. *bioRxiv*, page 656058.
- [6] [Marbach et al., 2010] Marbach, D., Prill, R. J., Schaffter, T., Mattiussi, C., Floreano, D., and Stolovitzky, G. (2010). Revealing strengths and weaknesses of methods for gene network inference. *Proceedings of the national academy of sciences*, 107(14):6286–6291.
- [7] [Marbach et al., 2009] Marbach, D., Schaffter, T., Mattiussi, C., and Floreano, D. (2009). Generating realistic in silico gene networks for performance assessment of reverse engineering methods. *Journal of computational biology*, 16(2):229–239.
- [8] [Martin et al., 2007] Martin, S., Zhang, Z., Martino, A., and Faulon, J.-L. (2007). Boolean dynamics of genetic regulatory networks inferred from microarray time series data. *Bioinformatics*, 23(7):866–874.
- [9] [Peng et al., 2009] Peng, J., Wang, P., Zhou, N., and Zhu, J. (2009). Partial correlation estimation by joint sparse regression models. *Journal of the American Statistical Association*, 104(486):735–746.
- [10] [Prill et al., 2010] Prill, R. J., Marbach, D., Saez-Rodriguez, J., Sorger, P. K., Alexopoulos, L. G., Xue, X., Clarke, N. D., Altan-Bonnet, G., and Stolovitzky, G. (2010). Towards a rigorous assessment of systems biology models: the dream3 challenges. *PLoS one*, 5(2):e9202.
- [11] [Schaffter et al., 2011] Schaffter, T., Marbach, D., and Floreano, D. (2011). GeneNetWeaver: in silico benchmark generation and performance profiling of network inference methods. *Bioinformatics*, 27(16):2263–2270.
- [12] [Yu et al., 2017] Yu, D., Lim, J., Wang, X., Liang, F., and Xiao, G. (2017). Enhanced construction of gene regulatory networks using hub gene information. *BMC bioinformatics*, 18(1):186.

■
Žiga Pušnik je asistent in doktorski študent na Fakulteti za računalništvo in informatiko Univerze v Ljubljani. Njegovi raziskovalni interesi so računska in sintezna biologija, strojno učenje in inferenca omrežij. Trenutno poučuje pri predmetih Osnove digitalnih vezij, Računalniška arhitektura ter Brezžična in mobilna omrežja.

■
Miha Moškon je izredni profesor na Fakulteti za računalništvo in informatiko Univerze v Ljubljani. Raziskovalno se ukvarja z vzpostavitvijo in uporabo metod za računsko-podprto modeliranje in analizo bioloških sistemov na področju sistemske biologije in medicine ter za računsko-podprto snovanje bioloških sistemov na področju sintezne biologije.

E-učno okolje z oporami za samoregulacijo učenja

Alenka Kavčič¹, Bojana Boh Podgornik³, Ciril Bohak¹, Katja Depolli Steiner², Alenka Gril⁴, Aleš Hladnik³, Vid Klopčič¹, Luka Komidar², Žiga Lesar¹, Matija Marolt¹, Sonja Pečjak², Matevž Pesek¹, Tina Pirc², Anja Podlesek², Melita Puklek Levpušček², Cirila Peklaj²

¹Univerza v Ljubljani, Fakulteta za računalništvo in informatiko, Večna pot 113, Ljubljana

²Univerza v Ljubljani, Filozofska fakulteta, Aškerčeva 2, Ljubljana

³Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška fakulteta, Snežniška 5, Ljubljana

⁴Pedagoški inštitut, Gerbičeva 62, Ljubljana

alenka.kavcic@fri.uni-lj.si, bojana.boh@a.ntf.uni-lj.si, ciril.bohak@fri.uni-lj.si, katja.depolisteiner@ff.uni-lj.si, alenka.gril@guest.arnes.si, ales.hladnik@ntf.uni-lj.si, vid.klopccic@fri.uni-lj.si, luka.komidar@ff.uni-lj.si, ziga.lesar@fri.uni-lj.si, matija.marolt@fri.unilj.si, sonja.pecjak@ff.uni-lj.si, matevz.pesek@fri.uni-lj.si, tina.pirc@ff.uni-lj.si, anja.podlesek@ff.uni-lj.si, melita.puklek@ff.uni-lj.si, cirila.peklaj@ff.unilj.si

Izvleček

E-gradiva in e-učbeniki si počasi utirajo pot v naše šole. Njihov pravi pomen se je pokazal tudi ob zadnji epidemiji, ko so bile šole zaprte, učenci pa večkrat prepuščeni sami sebi in angažiranosti svojih staršev. Za uspešno učenje z uporabo e-gradiv mora učenec uporabiti primerne strategije samoregulacije učenja, ki mu omogočajo, da doseže zastavljene učne cilje. Učencem s slabše razvitimi samoregulacijskimi spretnostmi lahko pri učenju pomaga umestitev učnih opor med vsebino obravnavane snovi. V članku je predstavljena pilotna raziskava na vzorcu 91 devetošolcev, v kateri smo preverjali delovanje učnih opor. V ta namen smo razvili e-učno okolje za prikaz učne enote z vstavljenimi različnimi vrstami učnih opor (kognitivne, metakognitivne in motivacijske), ki omogoča tudi beleženje aktivnosti učenca. Rezultati so pokazali, da so po ocenah učencev najboljša pomoč pri učenju kognitivne opore.

Ključne besede: e-učno okolje, samoregulacijsko učenje, sledenje aktivnosti, učne opore

Abstract

E-materials and e-textbooks are slowly making their way into our schools. Their true value was demonstrated during the last epidemic, when schools were closed and students were often left to themselves and the engagement of their parents. For the successful learning with e-materials, students need to use appropriate self-regulated learning strategies that enable them to achieve the learning goals set. Students with less developed self-regulation skills can be helped in their learning by setting up learning scaffolds within the learning content. In the article, we present a pilot study on a sample of 91 ninth-graders on which the efficiency of learning scaffolds was tested. For this purpose, an e-learning environment was developed to present the content of the learning unit with different embedded types of learning scaffolds (cognitive, metacognitive and motivation), which also allowed for the tracking of student activities. The results showed that, according to the students, the evaluation cognitive scaffolds are recognized as the best learning support.

Keywords: E-learning environment, self-regulated learning, activity tracking, learning scaffolds

1 UVOD

Tehnologija je lahko koristen pripomoček pri poučevanju in učenju, predvsem kadar fokus ni na njej sami, ampak predstavlja le orodje, ki omogoča kognitivni proces pridobivanja znanja. E-učbenik je tako nadgradnja klasičnih učbenikov, ki poleg pridobivanja novega znanja omogoča tudi dodatne

vaje, ponavljanje in preverjanje znanja, vsebina pa je predstavljena z avdiovizualnimi in interaktivnimi elementi, ki omogočajo oplemeniteno pridobivanje znanja (Vidrih 2020).

E-učno gradivo omogoča vključevanje različnih medijev (poleg besedila in slik, ki jih poznamo že iz klasičnih učbenikov, se uporabljajo tudi avdio in vi-

deo posnetki, animacije ter simulacije), največja dodana vrednost pa je interaktivnost. S tem postavlja učenca v aktivno vlogo in spodbuja razvoj kompetenc. Vse to pomaga pri kognitivni obdelavi gradiva, omogoča vizualizacijo odnosov med pojmi, osmišljanje vsebine ter konstrukcijo novega znanja (Mayer, 2014).

Pri e-učenju lahko predstavlja veliko težavo predvsem pomanjkanje samoregulacijskih veščin pri učencih. Te veščine vključujejo postavljanje ciljev učenja, spremljanje procesa svojega učenja ter reguliranje procesa učenja glede na cilje in zahteve v okolju. Ker so pri e-učenju učenci manj vodeni in se lahko bolj samostojno premikajo skozi učno enoto, to omogoča učencu večjo fleksibilnost in individualno prilagajanje spoznavanja snovi v takem zaporedju in s tako hitrostjo, kot mu to najbolj ustreza. Ravno zato je pomembno, da zna učenec sam dobro voditi proces svojega učenja, saj je tu potrebno veliko več samonadzora in samoorganizacije (Azevedo, 2005).

Če učenci teh samoregulacijskih spretnosti nimajo dobro razvitih, jim lahko pomagamo z različnimi učnimi oporami, ki jih vključimo v e-učno enoto. Ustrezno pripravljeno e-učno gradivo lahko spodbudi samoregulacijske procese učenja in s tem bistveno vpliva na rezultate učenja. Katere učne opore v e-gradivih so učinkovite in pomagajo pri pridobivanju in konstrukciji novega znanja, je odvisno tudi od individualnih značilnosti učenca (kot so kognitivne, motivacijske in osebnostne značilnosti, poleg tega pa tudi od učenčevega predznanja, sposobnosti, poznavanje strategij učenja, samoregulacijske kompetence in podobno).

Za boljši vpogled v uporabljene strategije učenja in samoregulacijske procese smo izdelali testno e-učno enoto, v kateri beležimo vse aktivnosti učenca. V učno enoto smo dodali tudi različne vrste opor, kar omogoča proučevanje vpliva opor na samoregulacijske procese in posledično na rezultate učenja. Razvita enota bo služila za nadaljnje raziskave na področju samoregulacije učenja v e-učnem okolju.

2 TEORETIČNO OZADJE

Za boljše razumevanje samoregulacije učenja in učinkovitosti učnih strategij je potrebno podrobneje preglejati nekaj osnovnih pojmov na tem področju.

2.1 Računalniško podprto učno okolje

Računalniško podprta učna okolja so postala del

vsakdana in učenci jih uporabljajo tako doma kot tudi v šoli (Azevedo, 2005). Omogočajo uporabo novih, multimedijско podprtih učnih tehnologij, ki lahko predstavijo informacije na različne načine glede na značilnosti učnega materiala in potrebe učenca, ter lahko s tem hkrati podpirajo različne načine učenja (Schar & Krueger, 2000).

Vendar je tako okolje lahko učinkovito le v primeru, ko učenec regulira svoje učenje, tj. uporabi metakognitivne in samoregulacijske procese, ki so potrebni za učinkovito učenje podane snovi (Azevedo, 2005). Učenje naravoslovnih vsebin s pomočjo računalniško podprtih učnih okolij je še posebej zahtevno, ker so te vsebine konceptualno bogate in zahtevajo od učenca, da analizira učno situacijo, postavi pomembne učne cilje, izbere učne strategije, ki jih bo uporabil, oceni, ali so strategije učinkovite za doseg učnih ciljev, ter na koncu še evalvira svoje razumevanje snovi (Azevedo, 2005). Pri tem mora učenec uporabiti več metakognitivnih procesov, da ugotovi, ali razume, kaj se uči, in da po potrebi spremeni svoje načrte, cilje, strategije in vložen napor.

Računalniško podprta učna okolja nudijo pomembne priložnosti za samouravnavanje učenja in učencu omogočajo visoko stopnjo kontrole (Azevedo, 2005). Zato so zelo primerna za razvijanje učenčeve zmožnosti za regulacijo učenja.

2.2 Samoregulacija učenja

Samoregulirano učenje je aktiven proces, v katerem si učenec postavi cilje svojega učenja in nato poskuša nadzorovati in uravnavati svoje znanje, motivacijo in obnašanje, pri tem pa ga vodijo in omejujejo postavljeni cilji in zahteve v okolju (Pintrich, 2000).

Kompleksen in večplastni značaj samoregulacijskega učenja se kaže v treh ključnih komponentah (Vandevelde et al., 2013): kognitivni, metakognitivni in motivacijski. Metakognitivne aktivnosti, ki jih učenci izvajajo ob različnih mejnikih tekom celotnega učnega procesa, zajemajo načrtovanje, postavljanje ciljev, organiziranje, samonadzorovanje in samoevalvacijo. Kognitivne komponente se nanašajo na različne učne strategije in taktike, ki jih učenci izberejo in uporabijo za učenje, ter tudi na sam način, kako učenci izberejo, strukturirajo in ustvarijo okolje za optimizacijo učenja. Za uspešno uporabo (meta) kognitivnih strategij učenec ne potrebuje le ustreznih veščin, temveč je tu zelo pomembna tudi motivacija. Tako je pri samoregulacijskem učenju zelo po-

membna tudi motivacijska komponenta, ki vključuje notranjo motivacijo, samopodobo, zaupanje v svojo učinkovitost, zanimanje za nalogo in tudi strategije za uravnavanje motivacije in emocij.

Različne študije so že pokazale, da imajo opore za samoregulacijo učenja v računalniško podprtih učnih okoljih pozitiven učinek na rezultate učenja (Zheng, 2016). Tudi razvita e-učna enota, opisana v tem prispevku, bo služila za preučevanje različnih metod za spodbujanje samoregulacije učenja.

2.2 Učne opore

Ideja o učnih oporah izhaja iz poučevanja predšolskih otrok, kjer učitelj nudi otroku podporo, ki omogoča, da otrok reši problem, izvede nalogo ali doseže določen cilj, ki ga brez pomoči ne bi zmožel (Wood et al., 1976).

Učne opore (Devolder et al., 2012) so orodja, strategije in vodila, ki jih vključimo v eučno enoto in pomagajo učencem, da dosežejo višji nivo znanja in razumevanja, kot bi ga brez opor. Brez takega vodstva učenci ne bi mogli doseči tega višjega nivoja razumevanja. Opore imajo različne funkcije in različne načine uporabe, pri učenju pa zahtevajo in spodbujajo tudi različne psihične procese. Lahko bi rekli, da je učna opora strukturirana podpora učencu pri učenju, ki mu omogoča, da doseže višjo raven znanja, kot bi ga brez nje, in na tej ravni tudi ostane, potem ko umaknemo podporo.

Raziskave kažejo, da opore za samoregulacijo učenja v splošnem pozitivno vplivajo na uspešnost učencev (Zheng, 2016). Poleg tega se opore v spletnih učnih okoljih izkažejo za bolj učinkovite kot v ostalih učnih okoljih. Rezultati raziskav tudi kažejo, da so splošne opore bolj učinkovite kot opore, specifične za določeno področje, vendar pa je najbolj učinkovita prav kombinacija obeh vrst opor (splošnih in specifičnih). Opore pomagajo učencem pri iskanju rešitev kompleksnih problemov in pozitivno vplivajo na kognitivne rezultate (Belland, Walker, & Kim, 2017).

V literaturi najdemo različne vrste opor (Devolder et al., 2012), ki se ločijo po svoji funkciji oz. po tem, katere procese spodbujajo (tj. kognitivne, metakognitivne, motivacijske), po vsebini (tj. specifične za določeno snov ali splošne, ki so neodvisne od trenutne učne vsebine), po načinu podajanja ali po orodju oz. mehanizmu, s katerim jih predstavimo (npr. namigi, opomniki, ekspertni nasveti, pedagoški agenti idr.). Glede na način podajanja so opore lahko

vključene (vključene v učno okolje tako, da jih učenec mora upoštevati, da lahko nadaljuje z učenjem) ali ne vključene (učenec oporo uporabi na lastno pobudo), fiksne/statične (učencu nudijo nespremenljivo obliko smernic, postopkov in informacij) ali prilagodljive/dinamične (omogočajo interaktivno ocenjevanje učenčevega napredka in se prilagajajo glede na trenutno znanje učenca) (Devolder et al., 2012).

Meta-analiza uporabe opor pri reševanju odprtih problemov na področju naravoslovja (Belland, Walker, Kim, et al., 2017) je pokazala, da so bili rezultati spodbujanja učnih dosežkov podobni pri uporabi specifičnih in splošnih opor, na rezultate pa ni vplivalo niti spreminjanje opor v času učenja (tj. odvzemanje ali dodajanje opor) niti način implementacije opor (tj. fiksne, prilagodljive, (ne)vključene). Tako se dajanje opor pri računalniško podprtem učenju lahko načrtuje na zelo različne načine.

3 PRIPRAVA E-UČNEGA OKOLJA

Pri e-učenju je zelo pomembna kakovost pripravljениh učnih enot. Mayer (2014) v svoji kognitivni teoriji učenja z multimedijo in v e-učnem okolju ugotavlja, da so pri multimedijem oblikovanju trije najpomembnejši cilji:

- 1) Zmanjšanje procesiranja nebitnih vsebin, ki je posledica neustrezno oblikovanih multimedijev gradiv (npr. preveč slikovnega gradiva, ki se ne nanaša neposredno na učno vsebino).
- 2) Uravnavanje procesiranja bistvenih vsebin (npr. če je gradivo zelo kompleksno in presega kognitivno kapaciteto učenca, je potrebno prepoznati in izluščiti najpomembnejše dele).
- 3) Spodbujanje generativnega procesiranja (npr. povezovanje vsebine slik z besedilom ali uporaba animacije za boljše razumevanje razlage).

Navedene cilje smo upoštevali tudi pri pripravi naše testne e-učne enote. Učno vsebino zanjo smo izbrali med vsebinami, ki so nastale v okviru projekta *E-učbeniki s poudarkom naravoslovnih predmetov v osnovni šoli*,¹ in sicer iz interaktivnega učbenika s področja kemije, ki pokriva vsebino kurikulumuma za 9. razred OŠ.² Prednost izbire že obstoječe enote je predvsem v tem, da je enota že preizkušena v praksi v razredu. Odločili smo se za enoto Barve in vonj (po-

¹ Zavod Republike Slovenije za šolstvo (vodja projekta dr. Igor Pesek), ESS in MIZŠ, 2011 – 2014 (<https://www.zrss.si/projektiess/default.asp?pr=9>)

² <https://eucbeniki.sio.si/kemija9/index.html>

glavje Zaznava vonja in lastnosti dišečih spojin), ki jo v šolah obravnavajo v okviru izbirnega predmeta Kemija v življenju. S tako izbiro smo lažje preprečili situacijo, da bi učenci v razredih, ki bodo sodelovali pri raziskavi, že poznali vsebino te učne enote. Enoto smo dodatno spremenili tako, da je bolj primerna za prikaz preko spleta, jo ustrezno prilagodili in jo pripravili za učenje v e-obliki, obravnavane koncepte pa še dodatno dopolnili z multimedijskimi vsebinami, upoštevajoč tudi Mayerjeve principe oblikovanja multimedijskih vsebin (Mayer, 2014).

Enoto smo vključili v spletno učno okolje, ki smo ga namensko razvili za predvajanje (tj. prikaz) vsebine e-učnih enot. Učno okolje omogoča tudi administracijo uporabnikov in dodeljevanje pravic za prikaz določenih e-učnih enot ter hkrati tudi spremlja in sproti beleži aktivnosti učenca pri učenju z e-učno enoto. Funkcionalnosti tega učnega okolja so podrobneje opisane v razdelku 3.2.

3.1 Vključitev učnih opor

V pripravljeno e-učno enoto smo vgradili različne opore v obliki spodbud, opomnikov, namigov in vprašanj, ki pomagajo učencu pri samoregulaciji učenja. Tako smo dobili več različnih e-učnih enot (vsaka različica z drugimi oporami), ki so bile pripravljene za uporabo pri izvedbi raziskave na področju samoregulacije učenja.

Pregled raziskav o učinkovitosti opor za samoregulacijo učenja v računalniško podprtih učnih okoljih pri naravoslovnih predmetih (Devolder et al., 2012) pokaže, da se večina študij osredotoča predvsem na kognitivne opore, le malo raziskav pa se ukvarja z nekognitivnimi področji samoregulacije učenja. Rezultati raziskav kažejo, da kognitivne in metakognitivne opore podobno spodbujajo učne dosežke, medtem ko je bilo za motivacijske opore opravljenih zelo malo raziskav in njihovi rezultati niso bili enoznačni (Belland, Walker, Kim, et al., 2017). Zato je bilo pomembno, da pripravimo in v učno enoto vključimo tudi nekognitivne opore, saj smo želeli preveriti učinkovitost opor s širšega vidika. Tako smo pripravili tri skupine opor: kognitivne, metakognitivne in motivacijske.

Pred pripravo konkretnih opor za našo e-učno enoto smo morali poiskati še odgovore na vprašanja glede vsebine opor, načina podajanja opor ter števila v učno enoto vključenih opor.

Rezultati meta-analize raziskav (Belland, Walker, Kim, et al., 2017) kažejo, da ni razlik v spodbuja-

nju dosežkov učencev, če uporabimo splošne ali pa specifične opore. Podobno tudi ni razlik, če so opore fiksne ali prilagodljive oziroma če so vključene ali ne.

Tako smo se odločili, da v enoto dodamo nekaj splošnih in nekaj specifičnih opor. Izbrali smo le fiksne opore, saj so prilagodljive veliko bolj zahtevne za pripravo in navadno zajemajo tudi modeliranje učne domene in znanja učenca. Nekatere opore v enoti so vključene, tako da učenec ne more nadaljevati, dokler opore ne odpre oz. uporabi, druge pa omogočajo, da jih učenec lahko sam izbere ali nadaljuje brez uporabe opore (ne vključene).

Glede mehanizma dajanja opor so predhodne raziskave pokazale (Zheng, 2016), da ni razlik ob uporabi posameznih mehanizmov, vendar je najbolje, da so opore vključene v vse faze samoregulacijskega učenja (tj. načrtovanje, spremljanje, uravnavanje). Sledili smo tem priporočilom in pri izbiri opor poskrbeli, da so bile vključene v vse tri faze samoregulacijskega učenja.

Pri številu opor smo izhajali iz obsega e-učne enote. Ta je bila razdeljena na šest poglavij (po eno stran), zato smo se odločili, da vključimo šest opor, predvidoma po eno v vsako poglavje. Opor ne sme biti preveč, da ne motijo procesa učenja, pa tudi ne premalo, da se ne izgubi njihov učinek.

3.1.1 Kognitivne opore

Kognitivne opore so tiste, ki se nanašajo na zapornitev informacij. To so vodila, ki učenca usmerjajo k določenim kognitivnim procesom in ga vodijo pri tem, ko usvaja novo znanje oz. ko poskuša prenesti informacije v dolgoročni spomin tako, da jih bo kasneje lahko priklical in uporabil. Kognitivne opore torej lahko opredelimo kot orodja ali tehnike, ki podpirajo učence pri razvoju konceptualnega in proceduralnega znanja in razumevanja.

Za uspešne rezultate učenja so pomembni trije sklopi kognitivnih strategij: strategije ponavljanja, elaboracije in organizacije (Weinstein & Mayer, 1986). Strategije vsakega sklopa lahko razdelimo še na osnovne in kompleksne. Strategije ponavljanja pomagajo, da učenci iz snovi razberejo pomembne informacije in jih ohranijo v spominu (npr. ponavljanje imen z urejenega seznama, prepisovanje, označevanje in podčrtovanje učnega materiala). Strategije elaboracije uporabi učenec za preoblikovanje informacij in odnosov med različnimi deli snovi (npr. vi-

zualna predstava določenega prizora, povzemanje, parafraziranje, analogije, povezovanje novih informacij z obstoječim znanjem). Strategije organizacije pomagajo učencu iz obravnavane snovi izluščiti ključne koncepte in jih organizirati na bolj smiseln način (npr. grupiranje in urejanje, ustvarjanje hierarhij, sheme, miselni vzorci, iskanje podobnosti in razlik) (Zabret et al., 2006).

Med kognitivnimi oporami se kot najbolj učinkovite izkažejo spodbude (Devolder et al., 2012). Opora lahko učencu predlaga, naj označi ali izpiše ključne besede v odstavku, našteje dejstva, razmisli o povezavi med koncepti, se vrne nazaj, še enkrat pojasni prikazan odnos, ponovi del snovi, napiše povzetek prebranega, poveže dva koncepta in podobno.

V nadaljevanju je opisanih vseh šest kognitivnih opor, ki smo jih vključili v učno enoto. Kognitivne opore so nazorno prikazane (v modrem okvirčku je navodilo, temu pa lahko sledi še sivi del za reševanje naloge), tako da se ločijo od ostalega besedila v učni enoti. Slika 1 prikazuje izseke z oporami iz enote, kjer so opore prikazane po vrsti, kot se pojavijo v enoti, od zgoraj navzdol.

Učna enota vključuje tudi slovar s pojasnili manj znanih izrazov in novih pojmov iz enote. Slovar je dosegljiv kadarkoli tekom učenja. Kot prvo kognitivno oporo (oznaka kog1) smo dodali navodilo, da si učenec pogleda slovar in kje lahko najde povezavo na slovar (zgornja opora na sliki 1). Ta opora spodbuja strategije ponavljanja. Druga kognitivna opora (z oznako kog2) se nanaša na prebrano besedilo z navodilom, da v besedilu učenec označi ključne besede. Opora spodbuja osnovne strategije elaboracije. Tretja kognitivna opora (kog3) je naloga, da učenec postavi podane besede, ki sestavljajo obravnavan proces, v pravilno zaporedje. Opora spodbuja kognitivne strategije organizacije. Četrta kognitivna opora (kog4) se nanaša na ogled interaktivnega modela dveh molekul in učenec mora zapisati razlike, ki jih je opazil med molekulama. Ta opora podpira strategije kompleksne organizacije. Pri peti kognitivni opori (kog5) mora učenec razvrstiti podane besede v dve kategoriji. S tem opora spodbuja strategije elaboracije in organizacije. Zadnja kognitivna opora (kog6) od učenca zahteva, da zapiše tri vprašanja, ki bi mu jih lahko o snovi zastavil učitelj, in s tem spodbuja kognitivne strategije elaboracije.



Slika 1: Uporabljene kognitivne opore. V e-učno enoto smo vključili šest različnih kognitivnih opor. Na sliki so po vrsti prikazane opore oz. njihovi izseki, kot so bile predstavljene v enoti. Od zgoraj navzdol se nahajajo naslednje opore: uporaba slovarja (kog1), označevanje ključnih besed (kog2), vrstni red v procesu (kog3), opis razlik (kog4), razvrščanje po lastnostih (kog5) in sestavljanje vprašanj (kog6).

3.1.2 Metakognitivne opore

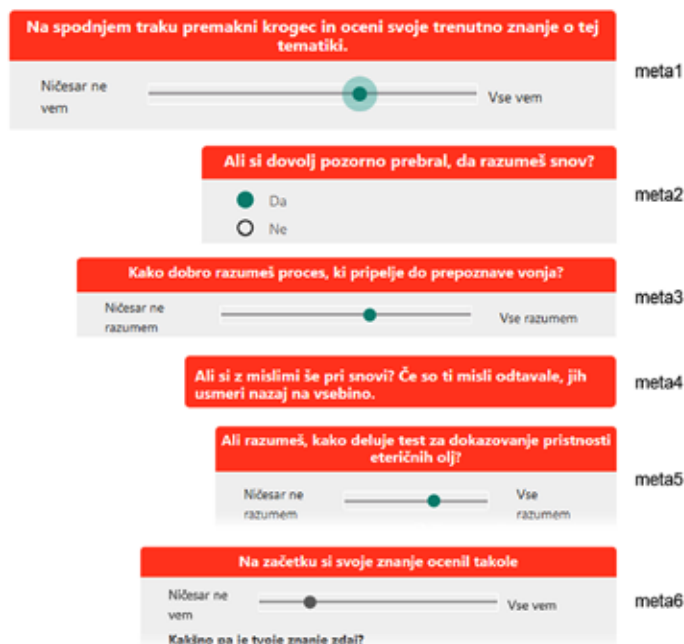
Metakognitivne opore so tista vodila, ki usmerjajo učenca k razmišljanju o učenju, torej k načrtovanju, spremljanju in ovrednotenju procesa učenja. Učenca spodbujajo k razmisleku o tem, katero obstoječe znanje mu lahko pomaga pri učenju, kaj se je že naučil, ali razume prebrano in podobno. Lahko ga tudi spodbudi, da si postavi kratkoročne cilje in pregleduje, kako napreduje pri učenju.

Metakognitivne strategije, ki nam pomagajo nadzorovati različne vidike mišljenja in učenja, lahko razdelimo na tri sklope (Zabret et al., 2006): načrtovanje, spremljanje in uravnavanje. Načrtovanje vključuje strategije, ki jih učenec uporabi pred učenjem, kot je na primer postavljanje ciljev. Na tem mestu mu lahko ponudimo opore v obliki opomnikov (npr. navodilo, kakšen je cilj naloge, ali vprašanje, kaj o snovi že ve ali kaj bi se rad naučil). Spremljanje se nanaša na sam proces učenja ali reševanja problemov; s temi strategijami učenec ocenjuje učinkovitost uporabe različnih učnih strategij. Tudi tu učencu lahko pomagajo ponujene opore v obliki opomnikov z vprašanji, ali je na pravi poti, ali razume pojme v snovi, ali gre morda prehitro skozi snov, ali je z mislimi še pri snovi oz. ali razmišlja o čem drugem. Strategije uravna-

vanja učenja uporabi učenec po končanem učenju ali ob zaznavi problemov v procesu učenja. Opore mu lahko nudimo v obliki opomnikov z vprašanji, ali je ponovno pogledal gradivo, če nečesa ni razumel, ali je dobro pogledal sliko oz. animacijo.

V učno enoto smo vključili tudi šest metakognitivnih opor, ki so prikazane v rdečih okvirčkih, tako da se tudi metakognitivne opore ločijo od ostalih opor in od besedila obravnavane snovi. Izseki z oporami iz enote so prikazani na sliki 2; opore so tudi tu razvrščene od zgoraj navzdol, kot se pojavijo v e-učni enoti.

Prva metakognitivna opora (označena kot meta1) od učenca zahteva, da na traku označi, kako ocenjuje svoje dosedanje znanje (tj. pred učenjem s to e-učno enoto) o obravnavani snovi. Glede na faze samoregulacijskega učenja ta opora pri učencu spodbuja strategije načrtovanja, medtem ko vse naslednje opore spodbujajo strategije spremljanja in uravnavanja. Pri drugi metakognitivni opori (meta2) mora učenec odgovoriti (da ali ne) na vprašanje, ali je dovolj pozorno prebral, da razumeš snov. Tudi tretja metakognitivna opora (meta3) prikazuje trak, na katerem mora učenec označiti, kako dobro razume obravnavan proces. S četrto oporo (meta4) učenca opomnimo, da naj misli



Slika 2: Uporabljene metakognitivne opore. V e-učno enoto smo vključili šest različnih metakognitivnih opor. Na sliki so po vrsti prikazane opore oz. njihovi izseki, kot so bile predstavljene v enoti. Od zgoraj navzdol se nahajajo naslednje opore: ocena trenutnega znanja (meta1), razumevanje snovi (meta2), ocena razumevanja predstavljenega procesa (meta3), opomnik o fokusu na vsebino (meta4), ocena razumevanja prikazanega video posnetka (meta5) in ocena znanja po zaključeni enoti (meta6).

usmeri nazaj na vsebino, če so mu medtem odtavale, in s tem spodbudimo njegovo uravnavanje pozornosti. Peta metakognitivna opora (meta5) je podobna tretji, le da učenec ocenjuje svoje razumevanje vsebine video posnetka, ki si ga je pred tem ogledal. Zadnja metakognitivna opora (meta6) pravzaprav dopolnjuje prvo metakognitivno oporo, saj učenec na traku ocenjuje svoje znanje o obravnavani snovi po zaključnem učenju. Ta opora se nanaša na evalvacijo naučenega, kar omogoča nadaljnje uravnavanje učenja.

3.1.3 Motivacijske opore

Motivacijske opore učenca motivirajo za učenje in ga spodbujajo, da pri učenju vztraja. Z njimi spodbujamo učenčev interes za učenje, zaznavo pomembnosti in uporabnosti učne snovi ali naloge, samoučinkovitost, ciljno naravnost v odličnost, pripadnost, regulacijo čustev in avtonomijo. S tem se poveča aktivno vključenost učencev v učenje.

Motivacijska opora na primer nudi pohvale pri učenju ter spodbude o tem, kako učenec napreduje skozi gradivo (kot je trak napredovanja pri učenju ali število pravih odgovorov pri vprašanjih). Lahko so to provokativna vprašanja, podani razlogi za po-

membnost snovi za sedanje in bodoče življenje, ali pa pri opisu vsebine ali naloge izhajamo iz vsakodnevnih izkušenj.

Dodatnih šest opor, ki smo jih vključili v učno enoto, je prikazanih v zelenih okvirčkih, ki predstavljajo motivacijske opore. Izseke z oporami iz enote, razvrščenimi od zgoraj navzdol, prikazuje slika 3.

Motivacijske opore se začnejo s provokativnim vprašanjem (opora mot1), ki je neposredno povezano z obravnavano snovjo. Druga opora (mot2) prikaže zanimivost iz našega življenja in hkrati poda razloge za pomembnost snovi. Tretja opora (mot3) obvesti učenca, da je že na polovici in ga s tem spodbudi, da nadaljuje z učenjem. Četrta motivacijska opora (mot4) je vprašanje z več možnimi odgovori, ki se nanaša na tik pred tem razloženo snov, hkrati pa izpostavi pomembnost snovi za sedanje in bodoče življenje. Učenec lahko poskuša poiskati pravi odgovor večkrat, a če mu v treh poskusih ne uspe, se prikaže pravi odgovor. Peta motivacijska opora (mot5) ponovno ponudi zanimivost iz življenja, tokrat iz manj znanega živalskega sveta. Zadnja motivacijska opora (mot6) pa je spodbuda pred opravljanjem testa znanja po zaključenem učenju.



Slika 3: Uporabljene motivacijske opore. V e-učno enoto smo vključili šest različnih motivacijskih opor. Na sliki so po vrsti prikazane opore oz. njihovi izseki, kot so bile predstavljene v enoti. Od zgoraj navzdol se nahajajo naslednje opore: provokativno vprašanje (mot1), zanimivost iz življenja (mot2), spodbuda na polovici snovi (mot3), kviz iz vsakdanjega življenja (mot4), zanimivost iz živalskega sveta (mot5) in spodbuda pred testom (mot6).

3.1.4 Pripravljene različice e-učnih enot

Za pilotno testiranje smo pripravili štiri različice e-učne enote, ki so se razlikovale le po številu in vrsti vključenih učnih opor:

- 1) e-učna enota s kognitivnimi učnimi oporami (vključuje 6 opor),
- 2) e-učna enota z metakognitivnimi učnimi oporami (vključuje 6 opor),
- 3) e-učna enota z motivacijskimi učnimi oporami (vključuje 6 opor),
- 4) e-učna enota z vsemi tremi vrstami učnih opor (vključuje 18 opor).

Za nadaljnje raziskave smo dodali še dve različici: brez dodanih učnih opor ter z mešanimi učnimi oporami, v kateri smo imeli po dve opori vsake vrste, smiselno porazdeljene po e-učni enoti. Primer ene strani iz e-učne enote, v katero smo vstavili vse tri vrste učnih opor, je prikazan na sliki 4.

3.2 Spletno učno okolje

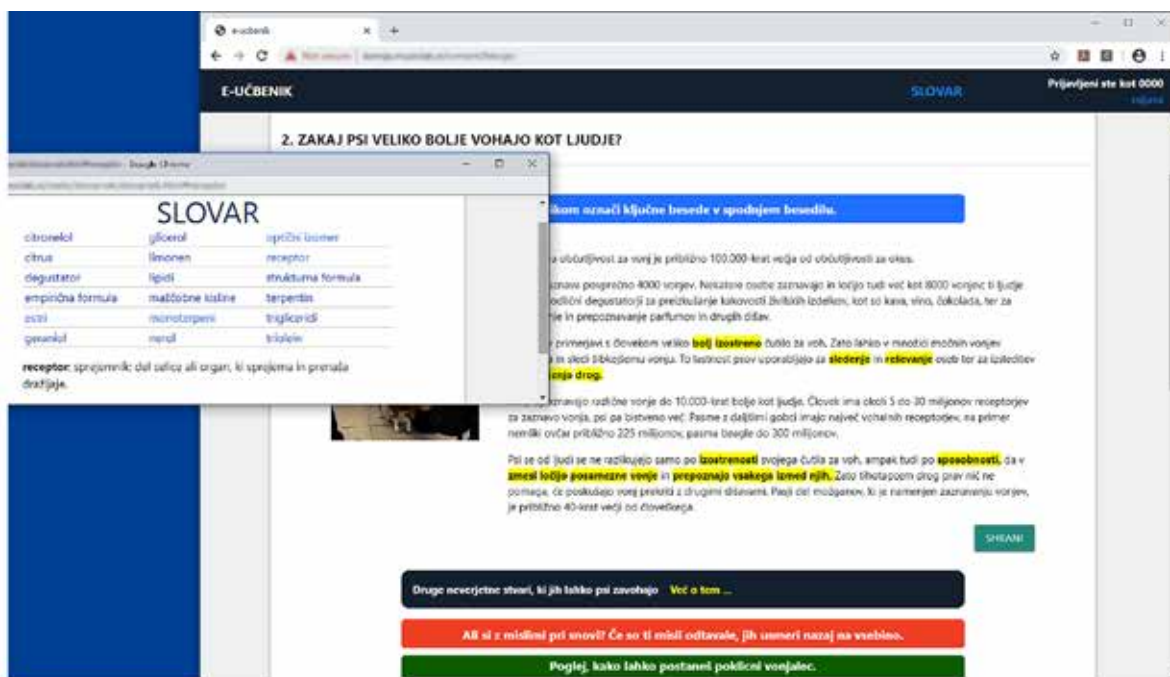
Za ustrezen prikaz vsebine e-učne enote in vključenih učnih opor smo pripravili tudi spletno učno

okolje, v katerem smo izvajali vse aktivnosti učenja. Okolje je bilo namensko izdelano za podporo našim raziskavam in ni namenjeno kot neko splošno okolje za prikaz e-učnih vsebin oz. za vsakodnevno uporabo doma ali v šoli. Specifika našega okolja je namreč sprotno beleženje interakcije učenca s sistemom, kar nam daje vpogled tudi v dejansko aktivnost učenca v postopku učenja snovi iz e-učne enote in v uporabo postavljenih učnih opor.

Spletno učno okolje je izdelano z uporabo programskega jezika Python v spletnem ogrodju Django. V ozadju uporablja relacijsko podatkovno bazo, v katero shranjuje vse podatke, zabeležene pri interakciji uporabnika s sistemom.

Na sliki 4, ki prikazuje e-učno enoto z oporami, lahko vidimo, da je vsebina le-te prikazana znotraj aplikacije, ki se izvaja v spletnem brskalniku (poimevali smo jo E-UČBENIK).

Pri izdelavi aplikacije smo predvideli, da bo delovala na računalnikih s HD-ločljivostjo zaslona, zato smo ustrezno nastavili fiksno širino spletne strani; po potrebi se pri daljših straneh ob strani pojavi navpični drsnik.



Slika 4: E-učna enota z vključenimi vsemi tremi vrstami učnih opor. Vsebina e-učne enote je prikazana v spletnem brskalniku. Učenec se mora prijaviti s svojo šifro (na sliki je šifra 0000), nato lahko pregleduje vsebino e-učne enote. Slovar pomembnih pojmov iz obravnavane snovi se prikaže na zahtevo (klik na povezavo SLOVAR) v pojavnem oknu. Učne opore so vključene v besedilo enote, označene pa so z barvnimi okvirčki: na sliki vidimo modro kognitivno oporo označevanja ključnih besed (kog2), rdečo metakognitivno oporo z opomnikom o fokusu na vsebino (meta4) ter zgornji del zelene motivacijske opore z zanimivostjo iz življenja (mot2).

3.2.1 Administratorski del

Administratorski vmesnik potrebujemo za ustvarjanje prijavnih šifer za učence, ki bodo uporabljali e-učno enoto. Vsak učenec se mora namreč prijaviti v enoto, da lahko spremljamo njegovo delo med učenjem. Za prijavo smo uporabili posebne šifre, s katerimi smo poskrbeli za anonimnost učencev (povezavo šifre z imenom učenca je imel le učitelj v razredu tega učenca). Šifre smo grupirali po šolah, kar omogoča lažjo organizacijo šifer in boljši pregled nad njimi.

Vsaki šifri lahko dodelimo tudi učne opore, ki se prikazujejo skupaj s snovjo enote. Opre lahko dodelimo že pri ustvarjanju skupine šifer za določeno šolo ali naknadno pri urejanju posamezne šifre. Izberemo lahko različne kombinacije vrst opor: samo kognitivne, samo metakognitivne, samo motivacijske, vnaprej določena kombinacija treh vrst opor (mešane opore), brez opor, ali pa vse tri vrste opor (slednja opcija prikaže vseh 18 opor v učni enoti).

Administratorski vmesnik omogoča tudi pregled podatkov, ki so zabeleženi za vsako šifro. Ker je teh podatkov zelo veliko (v bazi je 14 tabel), je ta opcija namenjena bolj posameznim primerom, če bi bile potrebne intervencije na podatkih v bazi. Sicer smo za dostop do podatkov v bazi pripravili posebne skripte, ki ne poskrbijo le za izvoz teh podatkov v standardnem formatu, ampak hkrati izvedejo tudi ustrezno pretvorbo in agregacijo, da kot rezultat dobimo zelene mere, ki jih lahko uporabimo v nadaljnjih analizah.

3.2.2 Beleženje interakcije učenca

Za spremljanje učenčeve aktivnosti med potekom učenja iz e-učne enote smo v učno okolje vgradili beleženje vseh aktivnosti, ki jih lahko zaznamo preko interakcije uporabnika s sistemom, to je sledenje njegove aktivnosti z miško in tipkovnico. Tako sistem neprestano sledi premikanju miške (samodejno shranjevanje koordinat miške na določen časovni interval), beleži vse pritiske na miškine gumbe in premikanje kolesčka na miški, poleg tega pa beleži tudi vsak pritisk tipke na tipkovnici. Oboje se seveda beleži in shranjuje le v kontekstu dela znotraj e-učne enote (tj. ne zanima nas pritiskanje miškinih gumbov na splošno, ampak nas zanima, kam v enoti je učenec kliknil, npr. na kateri gumb, in ob katerem času).

Tako nas je pri učenčevem delu z e-učno enoto zanimalo predvsem odpiranje poglavij v e-učni enoti,

klikanje na posamezne gumbe, reševanje nalog, odgovori učenca itd. Beležili so se predvsem naslednji dogodki:

- nalaganje ali sprememba aktivne strani,
- izbira povezave »Več ...«, ki odpre okno z dodatno (izbirno) vsebino,
- izbira stikala,
- izbira iz spustnega seznama,
- izbira izključujočega stikala,
- izbira na drsniku,
- označevanje besed v besedilu,
- miškini dogodki (koordinate, kliki na gumbe, premik kolesčka),
- zapisano besedilo (odgovori na vprašanja),
- ogled video posnetka in interakcija z njim (zaustavitev, ponovno predvajanje, se je posnetek odvrtel do konca),
- vlečenje besed v več kategorij (npr. besedo potegni v ustrezen stolpec glede na lastnosti),
- vlečenje besed v pravilni vrstni red.

Poleg tega smo pri vseh zabeleženih dogodkih dopisali še čas, v katerem se je ta zgodil (timestamp), tako da lahko na koncu izračunamo, koliko časa je preteklo med dvema poljubnima dogodkoma. Pri vsakem uporabniku smo shranili še dodatne zabeleške glede njegove seje, kot so čas začetka dela, čas zaključka, ali je opravil določeno aktivnost ali nalogo (npr. dokončal kviz) in podobno. Pri vsakem učencu smo shranili tudi vidnost posameznih opor, tj. katere učne opore so bile učencu prikazane.

Vsi zabeleženi podatki se shranjujejo neposredno v podatkovno bazo, kjer so na voljo za nadaljnjo obdelavo.

4 PILOTNO TESTIRANJE

V predraziskavi smo na vzorcu 91 devetošolcev pilotno preverili relevantnost in razumljivost vsebin e-učne enote in učnih opor ter ustreznost delovanja platforme za beleženje učenčeve interakcije. Poleg tega smo učence povprašali še za mnenje o vključenih učnih oporah.

Pripravljeni e-učno enoto smo testirali v razredu na šoli v okviru rednega pouka. Učenci so najprej dobili ustna navodila glede načina dela, nato so samostojno predelali e-učno enoto in se poskušali kar največ naučiti. Na koncu so imeli tudi test znanja, ki je vključeval 6 vprašanj odprtega tipa in 10 vprašanj izbirnega tipa. Učenci so med učenjem lahko prosi-

li tudi za pomoč, tako tehnično kot glede navodil in izvedbe, niso pa dobili dodatne razlage ali pojasnil v zvezi z obravnavano snovjo.

Za posamezno testiranje smo predvideli dve šolski uri (uro in pol), a naj bi predvideno učenje z e-učno enoto trajalo približno eno uro. Za primerljivost rezultatov testiranj smo poskrbeli tako, da smo za vsako testiranje na šoli vzpostavili enako učno okolje: prenosniki z HD-ločljivostjo zaslona, zunanja miška in slušalke. Za povezavo v internet smo poskrbeli s postavitvijo lokalnega omrežja v učilnici. Tako pri testiranju nismo bili vezani na računalniške učilnice na šolah, ki so lahko različno opremljene, različnih prostorskih kapacitet in morda tudi zasedene v železnem terminu.

Učna enota deluje v spletnem brskalniku Chrome. Pri vsaki izvedbi so bili prisotni dva testatorja, ki sta poskrbela za ustrezna navodila učencem in izvedbo učne ure, ter dva računalničarja, ki sta poskrbela za pripravo učilnice in za tehnično pomoč učencem med izvajanjem učne ure.

Po končanem učenju z e-učno enoto in po opravljenem testu so učenci odgovorili še na vprašanje, kateri dve opori sta jim pri učenju snovi najbolj pomagali in kateri dve najmanj. Učencem smo opore predstavili kot spodbude za učenje v rdečih/modrih/zelenih okvirčkih poleg besedila. Učenec je imel prikazan seznam s slikami vseh opor, ki jih je dobil v enoti (kot so prikazane na slikah 1, 2 in 3), in opore je s tega seznama potegnil v dve okenci, eno za najboljšo pomoč pri učenju in drugo za najslabšo. Za vsako okence je moral učenec izbrati natanko dve opori in iste opore ni mogel hkrati postaviti v obe okenci. Na podlagi ocen učencev smo nato izbrali opore za enoto s kombinacijo opor za nadaljnje raziskave.

4.1 Ocenjevanje opor

Učno enoto smo pilotno testirali na skupini 99 devetošolcev (štirje razredi) iz treh različnih slovenskih osnovnih šol. Vsak razred je predstavljal eno testno

skupino, poimenovali smo jih A1, A2, B3 in C4, v njih pa je sodelovalo 27, 28, 23 in 21 učencev. Testiranje je potekalo aprila in maja 2019.

Vsaka testna skupina je dobila učno enoto z drugo vrsto vključenih opor: kognitivne opore, motivacijske opore, metakognitivne opore ter vse tri vrste opor.

V skupini s kognitivnimi oporami je bilo 27 učencev, a je le 22 učencev odgovorilo na vprašanja o najboljših in najslabših oporah. V skupini z motivacijskimi oporami je bilo 28 učencev, od teh en učenec ni odgovarjal na vprašanja o učnih oporah, dva učenca pa nista imela soglasja za sodelovanje v raziskavi, zato njunih rezultatov nismo beležili. Tako smo skupaj zbrali odgovore 91 sodelujočih učencev. Podatki o testiranju so združeni v tabeli 1.

4.2 Rezultati

Za posamezno učno uro, v kateri so učenci predelali snov e-učne enote, je bilo predvideno okoli 50 minut. Učenci so zanj v povprečju porabili 31,4 minute (najmanj 14 minut in največ 69 minut, mediana 28 minut). Ta rezultat je povprečen čas, ne glede na uporabljeno različico e-učne enote. Učenci so v povprečju snov predelali precej hitreje, kot smo predvideli.

Skupina s kognitivnimi oporami (A1) je v povprečju za učno enoto porabila 38,4 minute (od 14 do 59 minut, mediana 40 minut), skupina z motivacijskimi oporami (A2) 26,0 minut (od 14 do 44 minut, mediana 24 minut) ter skupina z metakognitivnimi oporami (B3) 26,4 minute (od 15 do 48 minut, mediana 24 minut). Skupina z vsemi tremi vrstami opor (C4), ki je imela trikrat več opor kot ostale skupine, ima povprečen čas 36,1 minuto (od 16 do 69 minut, mediana 40 minut). Glede na porabljen čas za e-učno enoto lahko sklepamo, da so učenci porabili največ časa za kognitivne opore, saj imata različici s kognitivnimi oporami in z vsemi oporami zelo podoben povprečen čas in enako mediano. Metakognitivne in motivacijske opore so po drugi strani zahtevale manj

Tabela 1: Sodelujoči učenci v pilotnem testiranju e-učne enote z različnimi vrstami opor.

Skupina	Število učencev	Število odgovorov	Vrsta opor	Število opor v e-učni enoti
A1	27	22	kognitivne opore	6
A2	28	25	motivacijske opore	6
B3	23	23	metakognitivne opore	6
C4	21	21	vse tri vrste opor	18

Tabela 2: **Ocene posameznih kognitivnih opor v testni skupini A1. Oznaki ++ in -- pomenita število učencev, ki so to oporo izbrali za najboljšo oz. najslabšo kot prvo izbiro, oznaki + in – pa kot drugo izbiro. Število ocen pove, koliko učencev je to oporo izbralo kot tisto, ki jim je najbolj oz. najmanj pomagala pri učenju (torej je vsota vseh štirih predhodnih stolpcev). Točke skupaj za določeno oporo pomenijo vsoto točk vseh učencev skupine. V tabeli sta posebej označeni opori, ki sta v tej skupini izbrani kot najboljša (zelena) ali kot najslabša (rdeča) pomoč pri učenju.**

opora	skupina	++	+	--	-	število ocen	točke skupaj
kog1	A1	2	3	3	1	9	0
kog2	A1	10	1	2	1	14	16
kog3	A1	9	7	0	2	18	23
kog4	A1	0	2	6	10	18	-20
kog5	A1	1	7	3	4	15	-1
kog6	A1	0	2	8	4	14	-18

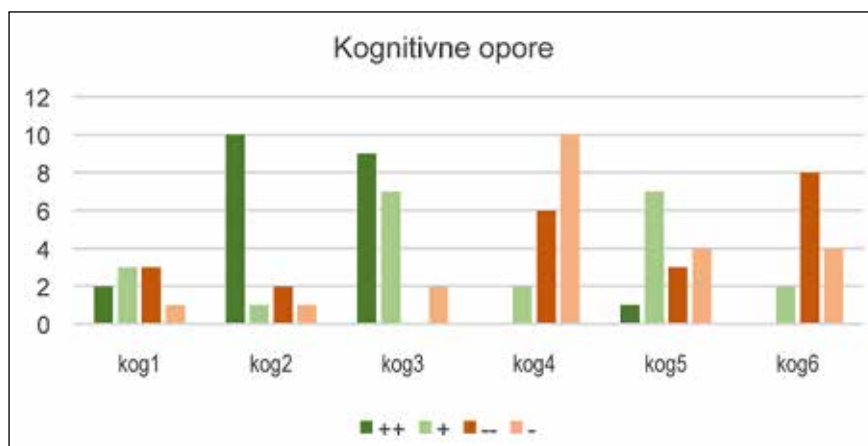
časa (manj dela) in tudi ti dve različici imata podoben povprečen čas in enako mediano. Rezultat ni prese- netljiv, saj so kognitivne opore od učenca zahtevale več dela, ker so morali v okviru naloge iz opore de- jansko nekaj narediti, izvesti. S tem je bila daljša tudi njihova interakcija s sistemom (npr. zapis vprašanja ali označevanje ključnih besed ob ponovnem branju odstavka).

Vse opore smo točkovali glede na to, ali so jih učenci izbrali kot najboljšo oz. najslabšo pomoč pri učenju. Opori, ki jo je učenec kot prvo potegnil v okence za najboljšo pomoč pri učenju, smo dodelili 2 točki. Druga izbrana opora v okencu najboljše pomo- či je dobila 1 točko. Podobno je opora, ki jo je učenec kot prvo potegnil v okence za najslabšo pomoč pri učenju, dobila -2 točki, druga opora v tem okencu pa -1 točko. Vse ostale opore so pri tem učencu dobile 0 točk. Za vsako oporo smo nato sešteli točke vseh učencev v skupini. Rezultati so prikazani v tabelah 2,

3, 4 in 5, za vsako skupino posebej, pripadajoči stolp- čni grafi pa so na slikah 5, 6, 7 in 8.

Pri kognitivnih oporah kot najboljša opora izrazi- to izstopa opora z oznako kog3, pri kateri mora uče- nec postaviti podane besede v pravilni vrstni red, kot si sledijo v obravnavanem procesu. Naloga zahteva razmišljanje o prebrani snovi, a je zanimiv izziv in zelo interaktivna. Kot najboljšo pomoč pri učenju jo je izbralo 16 učencev od 22 in le dva učenca sta ozna- čila, da jima je bila ta opora najmanj v pomoč. Tudi oporo, ki zahteva označevanje ključnih besed v бесе- dilu (kog2), je polovica učencev (11 od 22 učencev) določila za najboljšo pomoč pri učenju. Obe opori se nanašata na osnovno razumevanje snovi, kar zahte- va bolj enostavne miselne procese.

Po drugi strani je kar 16 od 22 učencev kot naj- slabšo kognitivno oporo izbralo oporo kog4, pri ka- teri so morali zapisati razlike, ki so jih opazili med molekulama (po ogledu interaktivnega modela mo-



Slika 5: **Stolpčni graf, ki prikazuje število učencev, ki so posamezno kognitivno oporo (skupina A1) izbrali za najboljšo oz. najslabšo pomoč pri učenju kot prvo oz. drugo izbiro (številčni podatki iz tabele 2).**

Tabela 3: **Ocene posameznih motivacijskih opor v testni skupini A2. Oznaki ++ in -- pomenita število učencev, ki so to oporo izbrali za najboljšo oz. najslabšo kot prvo izbiro, oznaki + in - pa kot drugo izbiro. Število ocen pove, koliko učencev je to oporo izbralo kot tisto, ki jim je najbolj oz. najmanj pomagala pri učenju (torej je vsota vseh štirih predhodnih stolpccev). Točke skupaj za določeno oporo pomenijo vsoto točk vseh učencev skupine. V tabeli sta posebej označeni opori, ki sta v tej skupini izbrani kot najboljša (zelena) ali kot najslabša (rdeča) pomoč pri učenju.**

opora	skupina	++	+	--	-	število ocen	točke skupaj
mot1	A2	7	3	5	4	19	3
mot2	A2	4	4	4	5	17	-1
mot3	A2	8	10	5	1	24	15
mot4	A2	3	2	5	5	15	-7
mot5	A2	1	4	4	5	14	-7
mot6	A2	2	2	2	5	11	-3

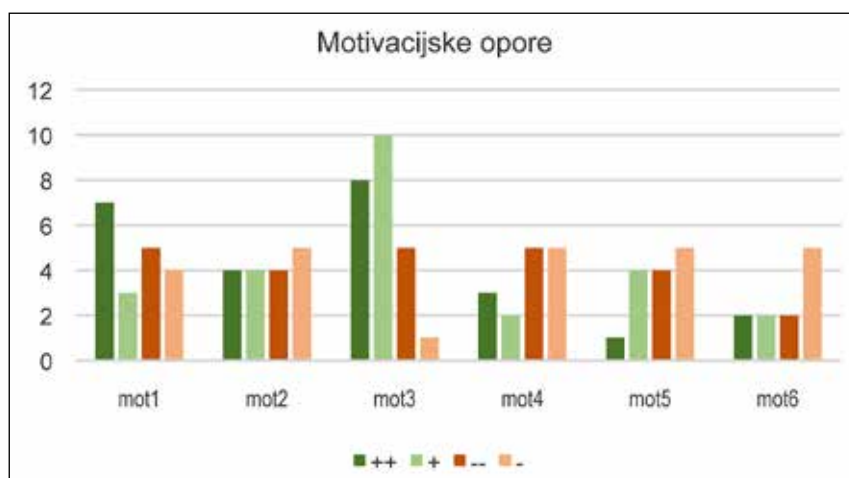
lekule). Le dva učenca sta to oporo prepoznala kot dobro pomoč pri učenju. Opora zahteva vnos nekoliko daljšega besedila in pri tem mora učenec dobro preučiti oba modela molekul ter razmisliti, kje so razlike med njima. Tudi opora kog6, pri kateri mora učenec sestaviti tri vprašanja, ki bi mu jih o snovi lahko postavil učitelj, je bila več kot polovici učencev (12 od 22 učencev) najmanj v pomoč pri učenju. Tudi ta opora zahteva razmislek o predelani snovi in vnos nekoliko daljšega besedila. Obe opori se nanašata na poglobljeno razumevanje snovi, zahtevata bolj kompleksne miselne procese in več učenčevega napora.

Pri motivacijskih oporah kot najboljša pomoč pri učenju izstopa opora mot3, ki učenca obvesti, da je že na polovici snovi, in ga s tem spodbudi k nadaljevanju. Kot najboljšo jo je izbralo kar 18 od 25 učencev. Vendar je 6 učencev to oporo izbralo tudi kot najslabšo pomoč pri učenju. Opora od učenca ne

zahteva nobene interakcije, poda le spodbudo za nadaljevanje.

Pri vseh ostalih oporah so bili učenci precej razdvojeni: večina opor je bila izbrana tako za najboljšo kot za najslabšo pomoč pri učenju. Kljub precejšnji izenačenosti bi vseeno kot najslabšo pomoč pri učenju lahko označili opori mot4 in mot5. Prva je vprašanje z več možnimi izbirami, ki povezuje obravnavano snov s primerom iz vsakdanjega življenja in poda pozitivno podkrepitev za pravilni odgovor, druga pa napoveduje predstavitev zanimivosti iz živalskega sveta.

Metakognitivne opore so, podobno kot kognitivne, prinesle dva bolj izrazita favorita. Kot najboljša pomoč pri učenju se je pokazala opora meta4, ki učenca opomni, naj misli ponovno usmeri nazaj na vsebino. Kot najboljšo jo je prepoznalo 14 učencev od skupaj 23.



Slika 6: **Stolpčni graf, ki prikazuje število učencev, ki so posamezno motivacijsko oporo (skupina A2) izbrali za najboljšo oz. najslabšo pomoč pri učenju kot prvo oz. drugo izbiro (številčni podatki iz tabele 3).**

Tabela 4: **Ocene posameznih metakognitivnih opor v testni skupini B3. Oznaki ++ in -- pomenita število učencev, ki so to oporo izbrali za najboljšo oz. najslabšo kot prvo izbiro, oznaki + in – pa kot drugo izbiro. Število ocen pove, koliko učencev je to oporo izbralo kot tisto, ki jim je najbolj oz. najmanj pomagala pri učenju (torej je vsota vseh štirih predhodnih stolpcev). Točke skupaj za določeno oporo pomenijo vsoto točk vseh učencev skupine. V tabeli sta posebej označeni opori, ki sta v tej skupini izbrani kot najboljša (zelena) ali kot najslabša (rdeča) pomoč pri učenju.**

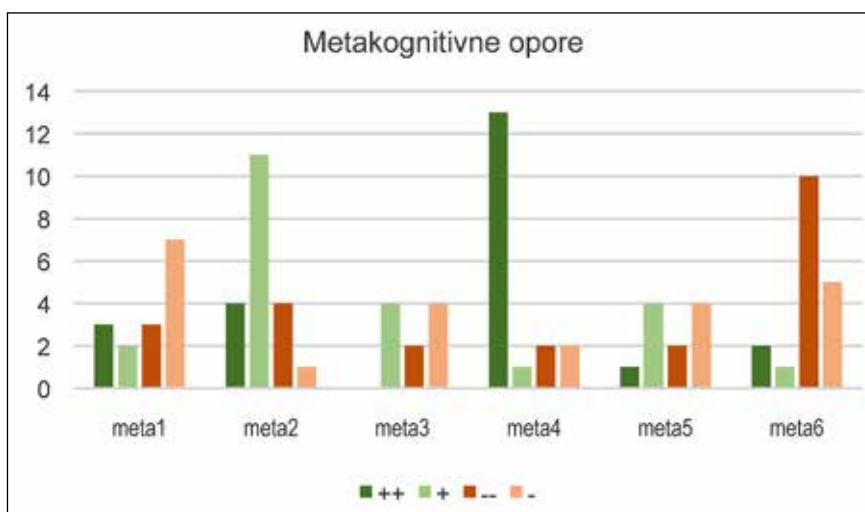
opora	skupina	++	+	--	-	število ocen	točke skupaj
meta1	B3	3	2	3	7	15	-5
meta2	B3	4	11	4	1	20	10
meta3	B3	0	4	2	4	10	-4
meta4	B3	13	1	2	2	18	21
meta5	B3	1	4	2	4	11	-2
meta6	B3	2	1	10	5	18	-20

Najslabša pomoč pri učenju je po mnenju učencev (15 od 23) opora meta6, pri kateri mora učenec po zaključenem učenju oceniti svoje znanje, tudi v primerjavi z oceno tega znanja pred začetkom učenja. Trije učenci so oporo meta6 izbrali kot najboljšo. Zanimivo je, da so učenci oporo meta1, kjer morajo svoje znanje oceniti pred začetkom učenja, ocenili precej bolje: le 10 učencev jo je označilo kot najslabšo in kar 5 učencev kot najboljšo pomoč pri učenju. Vendar rezultat to oporo še vedno uvršča na drugo mesto med najslabšimi.

Pri vseh treh skupinah A1, A2 in B3 so imeli učenci v e-učni enoti le 6 različnih opor, med katerimi so morali izbrati po dve najboljši in dve najslabši pomoči pri učenju. Ker so morali izbrati 4 opore, torej kar dve tretjini vseh, ki so na voljo, je prišlo pri rezultatih do večjega prekrivanja. Vse posamezne opore so bile vsaj enkrat izbrane tako za najboljšo kot tudi za naj-

slabšo pomoč pri učenju. Zato smo posebej pogledali še rezultate pri skupini C4, pri kateri so bile v e-učno enoto vključene vse tri vrste opor, tako da so imeli učenci skupaj kar 18 učnih opor. V tej skupini so lahko učenci pri izboru najboljših in najslabših pomoči pri učenju med seboj primerjali tudi različne vrste opor, predvsem pa so izbirali po dve opori iz večjega nabora opor. Rezultati so prikazani v tabeli 5 in na diagramu na sliki 8.

V skupini C4 se je kot najboljša pomoč pri učenju izkazala kognitivna opora, pri kateri postavimo podane besede v pravilni vrstni red glede na sosledje v obravnavanem procesu (kog3). Skoraj polovica učencev jo je izbrala kot najboljšo pomoč (10 od 21 učencev), nihče pa je ni uvrstil med najslabše pomoči. Ta opora je kot najboljša izstopala že pri ocenjevanju kognitivnih opor v skupini A1.



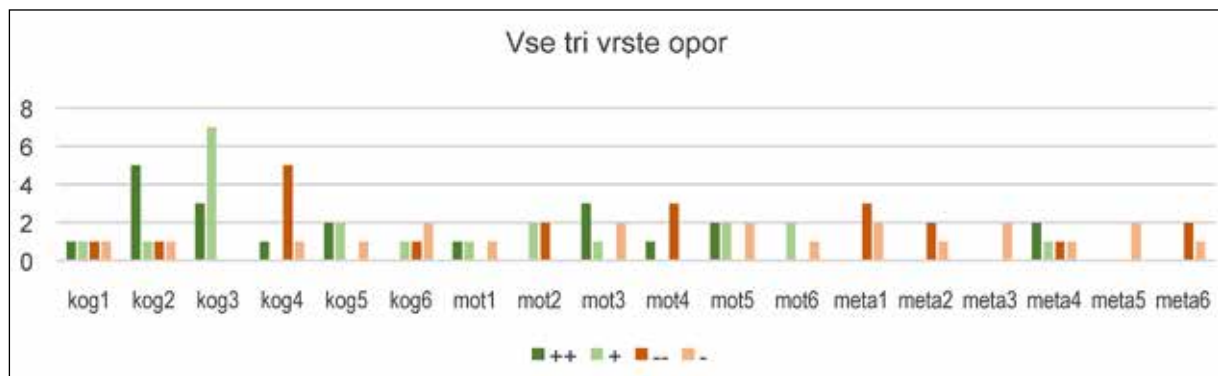
Slika 7: Stolpčni graf, ki prikazuje število učencev, ki so posamezno metakognitivno oporo (skupina B3) izbrali za najboljšo oz. najslabšo pomoč pri učenju kot prvo oz. drugo izbiro (številčni podatki iz tabele 4).

Tabela 5: **Ocene vseh treh vrst opor v testni skupini C4. Oznaki ++ in -- pomenita število učencev, ki so posamezno oporo izbrali za najboljšo oz. najslabšo pomoč pri učenju kot prvo izbiro, oznaki + in - pa kot drugo izbiro. Število ocen pove, koliko učencev je to oporo izbralo kot tisto, ki jim je najbolj oz. najmanj pomagala pri učenju (torej je vsota vseh štirih predhodnih stolpcev). Točke skupaj za določeno oporo pomenijo vsoto točk vseh učencev skupine. V tabeli sta posebej označeni opori, ki sta med vsemi oporami izbrani kot najboljša (zelená) ali kot najslabša (rdeča) pomoč pri učenju.**

opora	skupina	++	+	--	-	število ocen	točke skupaj
kog1	C4	1	1	1	1	4	0
kog2	C4	5	1	1	1	8	8
kog3	C4	3	7	0	0	10	13
kog4	C4	1	0	5	1	7	-9
kog5	C4	2	2	0	1	5	5
kog6	C4	0	1	1	2	4	-3
mot1	C4	1	1	0	1	3	2
mot2	C4	0	2	2	0	4	-2
mot3	C4	3	1	0	2	6	5
mot4	C4	1	0	3	0	4	-4
mot5	C4	2	2	0	2	6	4
mot6	C4	0	2	0	1	3	1
meta1	C4	0	0	3	2	5	-8
meta2	C4	0	0	2	1	3	-5
meta3	C4	0	0	0	2	2	-2
meta4	C4	2	1	1	1	5	2
meta5	C4	0	0	0	2	2	-2
meta6	C4	0	0	2	1	3	-5

Kot boljše pomoči pri učenju so učenci prepoznali tudi opore kog2, kog5, mot3, mot5 (glej diagram na sliki 8). Za opori kog2 in mot3 to ni presenetljivo, saj sta bili izbrani kot boljši pomoči pri učenju že v skupinah A1 in A2 (mot3 je celo močno izstopala kot najboljša v skupini A2). Drugače velja za kog5 in mot5. Za oporo kog5 je bilo mnenje učencev skupine A1 precej deljeno, saj so jo uvrščali tako med

najboljše kot tudi med najslabše pomoči. Razlog za tak rezultat v skupini A1 bi lahko iskali v tem, da je bilo število opor pri skupini A1 precej manjše in se je šele pri večjem številu opor pri skupini C4 opora pokazala kot boljša pomoč pri učenju (manj učencev jo je izbralo kot najslabšo pomoč, saj so menili, da je bilo veliko drugih opor slabših). Opora mot5, ki je bila pri skupini A2 izbrana kot najslabša pomoč pri



Slika 8: **Stolpčni graf, ki prikazuje število učencev, ki so posamezno oporo (skupina C4, vse tri vrste opor) izbrali za najboljšo oz. najslabšo pomoč pri učenju kot prvo oz. drugo izbiro (številčni podatki iz tabele 5).**

učenju, se tukaj izkaže precej bolje: čeprav jo je podobno število učencev uvrstilo med najboljše opore (5 učencev v skupini A2 in 4 v C4), sta jo v skupini C4 le dva učenca uvrstila med najslabše (v skupini A2 9 učencev). Razlog lahko poiščemo v tem, da je bilo v skupini C4 na razpolago več vrst opor in učenci so v splošnem prepoznali metakognitivne opore kot slabšo pomoč pri učenju, zato se motivacijske opore niso tolikokrat uvrstile med najslabše pomoči.

Kognitivna opora, pri kateri so morali učenci zapisati razlike, ki so jih pri ogledu interaktivnega modela molekul opazili med dvema molekulama (kog4), je bila tudi v skupini C4 prepoznana kot najslabša pomoč pri učenju. Kot najslabšo jo je prepoznalo kar 6 učencev (od skupaj 21) in le enemu učencu se je ta opora zdela najboljša pomoč pri učenju. Rezultati niso presenetljivi, saj je bila ta opora prepoznana kot daleč najslabša pomoč pri učenju tudi v skupini A1. Razlog za tak rezultat je verjetno v tem, da opora zahteva bolj kompleksne miselne procese in je za večino učencev v testni skupini prezahtevna, zato jim tudi ni bila v pomoč pri učenju.

Metakognitivne opore so se v skupini C4 uvrstile zelo slabo. Vse metakognitivne opore, razen meta4 (opomnik, da naj učenec usmeri misli nazaj na snov), so se znašle le na seznamu najslabših pomoči pri učenju. To pomeni, da jih nobeden od učencev ni prepoznal kot najboljšo pomoč pri njegovem učenju. Edina izjema pri metakognitivnih oporah je meta4 (»Ali si z mislimi še pri snovi...«), ki je tudi v skupini B3 močno izstopala kot najboljša pomoč pri učenju.

Poglejmo še primerjavo boljših in slabših pomoči pri učenju glede na posamezno vrsto opore (torej

skupen rezultat vseh šestih opor posamezne vrste), ki je prikazana na sliki 9.

Analiza odgovorov skupine C4 pokaže, da učenci na splošno smatrajo kot najboljšo pomoč pri učenju kognitivne opore (te izrazito odstopajo od ostalih), sledijo pa motivacijske opore. Metakognitivne opore se zdijo učencem najslabša pomoč pri učenju. Vendar so pri večini opor, razen nekaj izrazitih favoritov (kot je na primer kognitivna opora kog3 pri najboljših ali večina metakognitivnih opor pri najslabših), mnenja učencev precej deljena, saj so se opore pogosto znašle na obeh seznamih, tako med najboljšimi kot med najslabšimi pomočmi pri učenju.

V splošnem lahko rečemo, da so opore, ki zahtevajo od učenca več napora, manj priljubljene in prepoznane kot slabša pomoč pri učenju. Po drugi strani so kot bolj priljubljene in boljša pomoč pri učenju označene opore, ki zahtevajo bolj enostavne miselne procese, in tudi opore, ki so bolj zanimive, interaktivne in kažejo elemente poigravitve (tj. uporabljajo mehanizme iger, kot je npr. vlečenje besed na pravo mesto).

5 SKLEP

Pri samostojnem učenju iz e-učnih gradiv in učbenikov je za učence največja ovira na poti do dobrih učnih rezultatov ravno pomanjkanje samoregulacijskih spretnosti pri učenju. Primanjkljaj učenca na tem področju skušamo premostiti z uporabo učnih opor, ki učenca spodbujajo k uporabi ustreznih učnih strategij in mu pomagajo, da doseže višji nivo znanja in razumevanja. Rezultati izvedene pilotne raziskave o delovanju učnih opor so pokazali, da so učenci kot najboljšo pomoč pri učenju označili tiste kognitivne



Slika 9: Stolpčni graf prikazuje število učencev skupine C4, ki so posamezno vrsto opore izbrali kot boljše oz. slabše pomoči pri učenju (agregirani podatki iz tabele 5).

opore, ki se nanašajo na osnovno razumevanje snovi, njihova uporaba pa je od učencev zahtevala bolj enostavne miselne procese. Med boljše pomoči so se uvrstile tudi tiste motivacijske opore, ki od učencev niso zahtevale dodatnih aktivnosti ali kompleksnih miselnih procesov. Po drugi strani so učenci kot najslabšo pomoč pri učenju označili večino metakognitivnih opor. Te od učencev zahtevajo bolj poglobljeno razmišljanje, da dosežejo primeren učinek.

ZAHVALA

Članek je nastal v okviru temeljnega raziskovalnega projekta J5-9437 *Učinkovitost različnih vrst učnih opor pri samoregulaciji e-učenja*, ki ga financira ARRS – Javna agencija za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije – iz državnega proračuna.

LITERATURA

- [1] Azevedo, R. (2005). Computer Environments as Metacognitive Tools for Enhancing Learning. *Educational Psychologist*, 40(4), 193-197. https://doi.org/10.1207/s15326985ep4004_1
- [2] Belland, B. R., Walker, A. E., & Kim, N. J. (2017). A Bayesian Network Meta-Analysis to Synthesize the Influence of Contexts of Scaffolding Use on Cognitive Outcomes in STEM Education. *Review of Educational Research*, 87(6), 1042-1081. <https://doi.org/10.3102/0034654317723009>
- [3] Belland, B. R., Walker, A. E., Kim, N. J., & Lefler, M. (2017). Synthesizing Results From Empirical Research on Computer-Based Scaffolding in STEM Education: A Meta-Analysis. *Review of Educational Research*, 87(2), 309-344. <https://doi.org/10.3102/0034654316670999>
- [4] Devolder, A., van Braak, J., & Tondeur, J. (2012). Supporting self-regulated learning in computer-based learning environments: systematic review of effects of scaffolding in the domain of science education. *Journal of Computer Assisted Learning*, 28(6), 557-573. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2729.2011.00476.x>
- [5] Mayer, R. E. (2014). Introduction to multimedia learning. In *The Cambridge handbook of multimedia learning*, 2nd ed. (pp. 1-24). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9781139547369.002>
- [6] Pintrich, P. R. (2000). Chapter 14 – The Role of Goal Orientation in Self-Regulated Learning. In M. Boekaerts, P. R. Pintrich, & M. Zeidner (Eds.), *Handbook of Self-Regulation* (pp. 451-502). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-012109890-2/50043-3>
- [7] Schar, S. G., & Krueger, H. (2000). Using new learning technologies with multimedia [Article]. *IEEE Multimedia*, 7(3), 40-51. <https://doi.org/10.1109/93.879767>
- [8] Vandeveld, S., Van Keer, H., & Rosseel, Y. (2013). Measuring the complexity of upper primary school children's self-regulated learning: A multi-component approach. *Contemporary Educational Psychology*, 38(4), 407-425. <https://doi.org/10.1016/j.cedpsych.2013.09.002>
- [9] Vidrih, M. (2020). E-učbeniki v slovenskih šolah – kje se je zataknilo? *Monitor*, 30(2), 48-49.
- [10] Weinstein, C. E., & Mayer, R. E. (1986). The teaching of learning strategies. In C. M. Wittrock (Ed.), *Handbook of research in teaching* (pp. 315-327). Macmillan.
- [11] Wood, D., Bruner, J. S., & Ross, G. (1976). THE ROLE OF TUTORING IN PROBLEM SOLVING*. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 17(2), 89-100. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7610.1976.tb00381.x>
- [12] Zabret, E., Pečjak, S., & Peklaj, C. (2006). Kognitivni in metakognitivni procesi pri samoregulaciji učenja [Cognitive and metacognitive processes in self-regulation of learning]. *Psihološka obzorja*, 1(15), 75-92.
- [13] Zheng, L. (2016). The effectiveness of self-regulated learning scaffolds on academic performance in computer-based learning environments: a meta-analysis. *Asia Pacific Education Review*, 17(2), 187-202. <https://doi.org/10.1007/s12564-016-9426-9>

Alenka Kavčič je višja predavateljica na Fakulteti za računalništvo in informatiko Univerze v Ljubljani. Raziskovalno se ukvarja z inovativno uporabo informacijskih tehnologij v izobraževanju, multimedijskimi in spletnimi tehnologijami, igrifikacijo ter računalniško podprtem učenju, predvsem s prilagodljivimi hipermedijskimi sistemi in modeliranjem uporabnika.

Bojana Boh Podgornik je redna profesorica za področje naravoslovnotehniške informatike na Naravoslovnotehniški fakulteti Univerze v Ljubljani. Njene raziskave se osredotočajo zlasti na informacijske metode v kemiji, naravoslovju in tehniki, informacijsko pismenost v visokem šolstvu, interaktivne sisteme ter tehnologije mikrokapsuliranja.

Ciril Bohak je asistent na Fakulteti za računalništvo in informatiko Univerze v Ljubljani in podoktorski raziskovalec na King Abdulah University of Science and Technology. Njegovi raziskovalni interesi so na področjih interakcije človek-računalnik, e-učenja, tehnologije iger in računalniške grafike.

Katja Depolli Steiner je docentka na Filozofski fakulteti Univerze v Ljubljani, na Oddelku za psihologijo. Raziskovalno se zanima za proces učenja in poučevanja, še zlasti z vidika (bodočih) učiteljev.

▪

Alenka Gril je višja znanstvena sodelavka, vodja centra za preučevanje kognicije in učenja na Pedagoškem inštitutu. Preučuje učinke socialnih kontekstov na učenje in razvoj mladostnikov. Raziskuje odnos do znanja mladih v družbi znanja, spodbudno učno okolje za motivirano učenje, participacijo mladih in medkulturne odnose v šoli.

▪

Aleš Hladnik je zaposlen kot izredni profesor na Oddelku za tekstilstvo, grafiko in oblikovanje Naravoslovnotehniške fakultete Univerze v Ljubljani. Raziskovalno se posveča uporabi statističnih metod v naravoslovju in tehniki, obdelavi in analizi slik, znanosti o barvah in različnim področjem informacijsko-komunikacijske tehnologije.

▪

Vid Klopčič je raziskovalec na Fakulteti za računalništvo in informatiko Univerze v Ljubljani, v Laboratoriju za računalniško grafiko in multimedije. Ukvarja se s snovanjem in implementacijo uporabniških vmesnikov ter zalednih sistemov.

▪

Luka Komidar je docent na Oddelku za psihologijo Filozofske fakultete Univerze v Ljubljani. Raziskovalno se ukvarja z razvojem in validacijo psiholoških testov, kognitivnimi treningi in alternativnimi pristopi k merjenju v psihologiji (ignifikacija merskih postopkov in uporaba navidezne resničnosti za psihološke meritve).

▪

Žiga Lesar je asistent in doktorski študent na Fakulteti za računalništvo in informatiko Univerze v Ljubljani. Ukvarja se z računalniško grafiko in visoko zmogljivim računalništvom, raziskuje pa interaktivno upodabljanje volumetričnih podatkov s spletnimi tehnologijami. Za svoje delo je leta 2014 prejel univerzitetno Prešernovo nagrado.

▪

Matija Marolt je izredni profesor na Fakulteti za računalništvo in informatiko Univerze v Ljubljani. Je predstojnik Laboratorija za računalniško grafiko in multimedije. Raziskuje na področju pridobivanja informacij iz glasbe s poudarkom na semantičnih opisih in razumevanju zvočnih signalov.

▪

Sonja Pečjak je redna profesorica za pedagoško psihologijo na Oddelku za psihologijo Filozofske fakultete Univerze v Ljubljani. Raziskovalno in strokovno se ukvarja s preučevanjem procesov učenja (samoregulacijskega učenja in učenja s pomočjo branja), z vprašanji začetnega opismenjanja, problematiko medvrstniškega nasilja ter karierne orientacije v osnovni in srednji šoli.

▪

Matevž Pesek je docent in raziskovalec na Fakulteti za računalništvo in informatiko Univerze v Ljubljani, kjer je diplomiral leta 2012 in doktoriral leta 2018. Njegova raziskovalna področja so e-izobraževanje, biološko navdihnjeni modeli, globoke arhitekture, vključno s kompozicionalnim hierarhičnim modeliranjem in večmodalnim zaznavanjem glasbe, kot tudi komunikacija človek-računalnik in vizualizacija za analizo zvoka in ustvarjanje glasbe.

▪

Tina Pirc je docentka na Katedri za pedagoško psihologijo na Oddelku za psihologijo Filozofske fakultete Univerze v Ljubljani. Ukvarja se z raziskovanjem psihosocialnih odnosov v razredu, medvrstniškega nasilja, karierne orientacije v osnovni in srednji šoli ter samoregulacijskih procesov pri učenju.

▪

Anja Podlesek je izredna profesorica za psihološko metodologijo na Oddelku za psihologijo Filozofske fakultete Univerze v Ljubljani. Raziskuje na področju kognitivne psihologije, psihofizike, psihometrije in razvoja psiholoških testov, sodeluje pa tudi v raziskavah o samomorilnem vedenju in raziskavah s področja pedagoške psihologije.

▪

Melita Puklek Levpušček je redna profesorica za pedagoško psihologijo na Oddelku za psihologijo Filozofske fakultete Univerze v Ljubljani. Raziskovalno se ukvarja z učno motivacijo, aktivnimi pristopi k poučevanju in psihosocialnimi značilnostmi mladih.

▪

Dr. Cirila Peklaj je redna profesorica za pedagoško psihologijo na Filozofski fakulteti Univerze v Ljubljani. Od leta 1987 je zaposlena na Oddelku za psihologijo, na katerem predava različne predmete s področja pedagoške psihologije. Njeno raziskovalno delo je usmerjeno na področje učenja. Ukvarja se s preučevanjem samoregulacije pri učenju, sodelovalnega učenja, učenja v različnih kontekstih in z učiteljskimi kompetencami.

▣ Vpliv uporabe visok ozmogljivega računalništva v oblaku na inoviranje poslovnih modelov

Blaž Gašperlin, Mirjana Kljajić Borštnar
Univerza v Mariboru, Fakulteta za organizacijske vede, Kidričeva cesta 55a, 4000 Kranj
blaz.gasperlin1@um.si, mirjana.kljajic@um.si

Izvleček

Visoko zmogljivo računalništvo rešuje kompleksne znanstvene in inženirske probleme, vse bolj tudi poslovne in družbene. V prispevku obravnavamo razvoj storitev visoko zmogljivega računalništva v oblaku, v luči inoviranja poslovnih modelov, s posebnim poudarkom na malih in srednje velikih podjetjih. V ta namen smo analizirali 20 primerov poskusov, ki so bili izvedeni v okviru evropskih projektov za spodbujanje uporabe visoko zmogljivega računalništva. Izsledki analize kažejo, da se uporaba širi iz tradicionalnih proizvodnih podjetij na storitveno industrijo ter vpliva na hitrejše prilagajanje zahtevam potrošnikov, oblikovanje novih izdelkov in storitev in oblike sodelovanja celotnega poslovnega ekosistema. Poleg tega prispeva k razvoju in uporabi metod umetne inteligence, procesiranju vele podatkov in dosegljivosti kompleksnih računalniških storitev za vse deležnike na trgu.

Ključne besede: visoko zmogljivo računalništvo, digitalna preobrazba, mala in srednje velika podjetja, poslovni modeli

Abstract

High Performance Computing solves complex scientific and engineering problems, and increasingly also business and social problems. The paper discusses the evolution of High Performance Cloud Computing services in the light of business model innovation, with emphasis on small and medium-sized enterprises. We analysed 20 experiments carried out in the context of European projects, which promote the use of High Performance Computing. The results showed that the use is expanding from traditional manufacturing companies to a service-oriented industry and that it has an impact on the faster adaptation to consumer requirements, the creation of new products and services and the cooperation forms of the entire business ecosystem. In addition, it contributes to the development and use of artificial intelligence methods, big data processing and the availability of complex computer services for all the stakeholders in the market.

Keywords: High performance computing, digital transformation, small and medium-sized enterprises, business models

1 UVOD

V zadnjih letih smo priča hitremu razvoju in rasti uporabe digitalnih tehnologij in storitev na vseh področjih življenja in poslovanja. Tehnologije kot so na primer internet stvari, vele podatki (ang. Big Data), umetna inteligenca, robotika in visoko zmogljivo računalništvo, omogočajo nove načine dela, reševanja problemov, poslovanja in ustvarjanje nove vrednosti v organizacijah in med njimi (European Commission, 2018). Spreminjanje procesov in produktov iz

analognega v digitalnega imenujemo digitalizacija. Kompleksnim spremembam, ki so rezultat procesov digitalizacije in prilagajanja organizacij hitrim spremembam v okolju ob uporabi digitalnih tehnologij pa digitalna preobrazba. Rezultat digitalne preobrazbe zaznamo kot spremembo v uporabniški izkušnji, procesih in poslovnih modelih (Morakanyane, Grace in O'Reilly, 2017; Vial, 2019; Westerman, Bonnet in McAfee, 2014). Kljub temu, da digitalna tehnologija ni edini dejavnik digitalne preobrazbe (Kane,

Palmer, Phillips, Kiron in Buckley, 2015) se bomo v tem prispevku osredotočili na eno izmed tehnologij, ki je v preteklih desetih letih pomembno vplivala na uporabo ostalih tehnologij in s tem prispevala k razmahu digitalne preobrazbe (Boranguiu, Trentesaux, Thomas, Leitão in Barata, 2019; European Commission, 2020b).

Visoko zmogljivo računalništvo zagotavlja potrebno infrastrukturo za izvedbo znanstvenih in industrijskih raziskav (Clarke in Larmour, 2016) in predstavlja nepogrešljiv vir v globalni podatkovni ekonomiji (European Commission, 2019). Evropska komisija prepoznava visoko zmogljivo računalništvo kot ključno tehnologijo pri naslavljanju družbenih izzivov, pri povečanju konkurenčne prednosti industrije, vključno z malimi in srednje velikimi podjetji (MSP). Omogoča kompleksno modeliranje in simulacije ter odkrivanje znanja iz ogromnih količin podatkov na različnih področjih (na primer: kibernetika, varnost, napovedovanje vremena, molekularna kemija, finančno trgovanje) (European Commission, 2019). Zaradi visokih stroškov uporabe je bil sprva dostopen raziskovalnim inštitutom in velikim podjetjem (Kljajić Borštnar in Ilijaš, 2019). Kasnejši razvoj je s prehodom na oblak povzročil pocenitev in omogočil uporabo tudi majhnim in srednjim podjetjem (MSP), ki si prej tega niso mogla privoščiti (Gašperlin, 2019). V literaturi se pogosto pojavlja in uporablja izraz »superračunalništvo«, ki predstavlja sinonim za visoko zmogljivo računalništvo (Dongarra idr., 2008), v praksi pa se najpogosteje uporablja kratica HPC, zato bomo tudi sami uporabljali to kratico.

Večja dostopnost tehnologije visoko zmogljivega računalništva je omogočila pospešeno uporabo nekaterih drugih digitalnih tehnologij (masovnih podatkov, umetne inteligence, idr.), posledično se je spremenila tudi namembnost uporabe HPC. Če je bil pred desetletjem HPC namenjen predvsem kompleksnim znanstvenim simulacijam (podnebne spremembe, astrofizika, genetika), danes vse večji delež uporabe HPC predstavljajo podatki in z njim povezane metode umetne inteligence. Spreminjanje osnovne ponudbe vrednosti, segmentov strank, aktivnosti in virov za doseganje le-teh ter načinov za dostavo vrednosti, kažejo na spremembo v poslovnih modelih. Vendar pa se spremembe v poslovnih modelih ne kažejo zgolj pri ponudnikih HPC rešitev, temveč s širitvijo na sektor MSP tudi v celotnem poslovnem ekosistemu. To pomeni, da se spremembe odražajo

v mreži vseh deležnikov, ponudnikov HPC storitev, programskih rešitev, podjetij uporabnikov HPC storitev, regulatornih institucij in končnih potrošnikov (Souza, Wortmann, Huitema in Velthuijsen, 2015). Na področju spodbujanja uporabe storitev HPC v malih in srednjih podjetjih je evropska komisija aktivna skozi različne iniciative, kar ni presenetljivo, saj evropsko gospodarstvo predstavlja kar 99,8 % mikro, malih in srednje velikih podjetij (Muller idr., 2019). Namen teh iniciativ je spodbuditi uporabo HPC in drugih digitalnih tehnologij v MSP, po drugi strani pa preveriti poslovne modele, ki jih uporaba HPC prinaša (i4MS, 2020; Kalbe, 2019).

Dosedanje raziskave na področju HPC so se osredotočile predvsem na razvoj arhitekture, programske opreme in aplikacij (Artigues idr., 2017; Pérez-Sánchez, Fassihi, Cecilia, Ali in Cannataro, 2015; Wang, Kulkarni, Lang, Arnold in Raicu, 2016; Xie, Fang, Hu in Wu, 2010) ter uporabo v smeri tehnoloških izboljšav izdelkov in storitev, ki jih tovrstna tehnologija lahko prinese (Chiariello, Formisan in Martone, 2015; Keswani, 2008; Lowther, Ghorbanian, Mohammadi in Ibrahim, 2020). Priložnosti uporabe storitev HPC v oblaku, v MSP, so bile raziskovane v okviru različnih evropskih iniciativ (i4MS, 2020; Kalbe, 2019), vendar pa se je kmalu izkazalo, da je potencial za uporabo tovrstnih storitev izražen v manjšem naboru proizvodnih podjetij. V ta namen so (Kljajić Borštnar, Ilijaš in Pucihar, 2015) razvili večkriterijski model za oceno potenciala podjetij za uporabo storitev HPC v oblaku, ki je bil uporabljen v okviru projekta Sesame.net. V ocenjevanju je sodelovalo 60 malih in srednjih proizvodnih podjetij iz celotne EU, kar nakazuje na majhen interes podjetij za uporabo HPC. Analiza je pokazala, da večina sodelujočih podjetij izkazuje šibak potencial za uporabo HPC storitev, hkrati pa se kaže pozitivna povezava med razvitostjo infrastrukture in pripravljenostjo podjetij (Gašperlin, Ilijaš in Kljajić Borštnar, 2019; Kljajić Borštnar in Ilijaš, 2019). Analiza je odprla dve ključni usmeritvi nadaljnjih raziskav. Prvo se nanaša na potrebo po širši empirični študiji ocene potenciala uporabe storitev v posameznih segmentih MSP. Drugo pa na potrebo po razumevanju inoviranja poslovnih modelov v širšem kontekstu ponudnikov in uporabnikov HPC ter ostalih organizacij, ki tvorijo kompleksno strukturo poslovnega ekosistema (dobavitelji, velika in mala podjetja, banke, raziskovalne institucije, javna uprava, konkurenti) (Moore, 1993).

Področje inoviranja poslovnih modelov je v zadnjih letih zelo aktualno, kar kažejo številne raziskave. Bouwman, Nikou in de Reuver (2019) so se osredotočili na vpliv deleža dodelitve virov na inoviranje poslovnih modelov. V ta namen so izvedli empirično študijo 321 evropskih MSP podjetij, ki za inoviranje poslovnih modelov uporabljajo digitalne tehnologije kot so vele podatki in družbena omrežja. Cilj študije je bil ugotoviti ali so podjetja pri tem uspešnejša, če zato namenijo več virov (časovnih in finančnih). Rezultati so pokazali, da večja dodelitev virov pripomore k večji zmogljivosti in povečanju časa za inoviranje. Bocken in Geradts (2020) sta raziskovala ovire in dejavnike, ki vplivajo na inoviranje trajnostnih poslovnih modelov. Pri tem sta zajela velike korporacije kot so Philips, Johnson & Johnson, idr. Rezultati so pokazali, da so ključna: sodelovanje, jasna strategija, razvoj miselnosti zaposlenih ter sistematske institucionalne spodbude. Veliko nedavnih raziskav zajema predvsem študije primerov (Franceschelli, Santoro in Canelo, 2018; Kukkamalla, Bikfalvi in Arbussa, 2020; Liu in Bell, 2019), kjer je podrobneje predstavljeno, kako so podjetja pristopila k inoviranju poslovnih modelov. Študije, ki bi raziskala spreminjanje poslovnih modelov v povezavi z uporabo HPC nismo zasledili.

V prispevku analiziramo, kako so razvoj visoko zmogljivega računalništva (HPC), možnost oddaljenega dostopa do virov in evropske spodbude vplivale na spreminjanje poslovnih modelov posameznega podjetja, pa tudi širšega poslovnega ekosistema. Najprej predstavimo pregled razvoja visoko zmogljivega računalništva in inoviranje poslovnih modelov.

Sledita metodologija raziskave in rezultati analize izbranih primerov poskusov uporabe visoko zmogljivega računalništva v malih in srednjih podjetjih. Na koncu podamo sklepne ugotovitve in priporočila za nadaljnje raziskave na tem področju.

2 VISOKO ZMOGLJIVO RAČUNALNIŠTVO

Pri pregledu literature smo naleteli na različne opredelitve visoko zmogljivega računalništva. Tomašević in drugi (2020, str. 1) opredeljujejo HPC kot »računalniško arhitekturo visoke zmogljivosti, z možnostjo obdelave velikih količin podatkov, v zelo kratkem času«. Ezell in Atkinson (2016, str. 1) to opredeljujeta kot »sistem, sposoben hitrega reševanja kompleksnih računskih problemov na različnih znanstvenih in poslovnih področjih«. Kljajić Borštnar, Ilijaš in Pucihar (2015, str. 23) pa HPC opredelijo kot »izjemno visoke računalniške zmogljivosti za reševanje kompleksnih računskih problemov, ki jih ni mogoče rešiti pravočasno, ob uporabi običajnih namiznih računalnikov«.

Čeprav se visoko zmogljivo računalništvo ob razvoju digitalnih tehnologij, kot so vele podatki (ang. Big Data), umetna inteligenca in strojno učenje, kaže kot pomemben člen (Imran idr., 2019) in podpora tovrstnim tehnologijam, njegovi začetki segajo že v leto 1943 (Fernández-González, Rosillo, Miguel-Dávila in Matellán, 2015). V Tabeli 1 prikazujemo kronološki razvoj s ključnimi dogodki, ki so zaznamovali razvoj visoko zmogljivega računalništva. Najhitreje se razvijajo Amerika (ZDA), Japonska in Kitajska, medtem, ko Evropa zaostaja. Kot razlog (Gagliardi, Moreto, Olivieri in Valero, 2019) navajajo umanjkanje lokalnih evropskih dobaviteljev opreme. Evropski trg se

Tabela 1: Razvoj HPC računalništva – povzeto po (Fernández-González idr., 2015; Imran idr., 2019; Sterling, Brodowicz in Anderson, 2018; Top500, 2020)

Leto uvedbe	Ime HPC sistema	Namen
1943	Collosus (Prvi razviti HPC)	Dešifriranje komunikacij (2. sv. vojna)
1964	CDC 6600	Prva uporaba v komercialne namene
1976	Cray-1	Uvedba vektorskih računalniških sistemov
1985	Cray-2	Uvedba porazdeljenega pomnilnika
1994	Beowulf računalniška gruča	Osnova današnjih HPC sistemov
2008	Roadrunner (ZDA)	Prvi HPC računalnik »peta« zmogljivosti (1026 PF/s)
2009	Tianhe-1 (Kitajska)	izboljšava »peta« zmogljivosti (1206 PF/s)
2020	HPC5 (Italija)	izboljšava »peta« zmogljivosti (35,5 PF/s)
2020	Summit (ZDA)	izboljšava »peta« zmogljivosti (148,6 PF/s)
2020	Fugaku (Japonska)	izboljšava »peta« zmogljivosti (415,5 PF/s)

od svetovnih velesil na področju HPC razlikuje tudi po strukturi podjetij. Kar 99,8 % vseh podjetij v EU pripada sektorju mikro, malih in srednjih podjetij. Le-ta prispevajo preko 66 % delovnih mest in so v letu 2018/2019 v povprečju ustvarila 56,4 % dodane vrednosti (Muller idr., 2019). Pri tem med članicami obstajajo razlike v strukturi velikosti podjetij, ustvarjanju dodane vrednosti sektorja MSP ter tehnološki razvitosti. Poseben primer so zagonska podjetja (ang. start-up companies), kjer pa je bilo v letu 2019 med najboljših 30 v svetovnem merilu uvrščenih 8 evropskih zagonskih podjetij.

Pomembnejši mejnik na tem področju se je zgodil leta 2008, ko je bil razvit računalnik, ki je dosegel hitrost na ravni »peta« zmožljivosti (ali 10^{15} operacij/sekundo) (Fernández-González idr., 2015). Hitrosti HPC sistemov so izražene in merjene s številom operacij s plavajočo vejico na sekundo (ang. FLOPS – Floating point per second) (Sadiku, Eze in Musa, 2018). Seznam najnovejših HPC sistemov in njihovih hitrosti podaja lista top500 (Top500, 2020). Razvoj se na ravni »peta« zmožljivosti ni ustavil (Tabela 1) in je trenutno usmerjen v doseganje zmožljivosti na »eksa« ravni (ali 10^{18} operacij/sekundo) (Reaño, Prades in Silla, 2019). Po ocenah evropske iniciative »EuroHPC Joint Undertaking« je pričakovati, da bo Evropa takšno raven dosegla okrog leta 2023 (European Commission, 2020a). Slovenija je k iniciativi pristopila leta 2018 in se zavezala, da do leta 2021 vzpostavi HPC računalnik, z zmožljivostjo 6,8 petaflopov/sekundo (Institut informacijskih znanosti (IZUM), 2020)

2.1 Evropske iniciative in projekti

Najvidnejša evropska iniciativa je »EuroHPC Joint Undertaking« (EuroHPC, 2020), ki spodbuja izmenjavo izkušenj in sodelovanje raziskovalnih centrov, malih in srednjih podjetij in zasebnih industrij (Becciani in Petta, 2019), ki skupaj tvorijo raznolik HPC ekosistem. Iniciativa je bila ustanovljena leta 2018, glavne aktivnosti pa so razvoj visoko zmogljive infrastrukture ter podpora javnim in privatnim uporabnikom, kamor sodijo tudi mala in srednja podjetja. Glavni cilj je krepitev znanj o HPC tehnologijah, kjer pomemben člen predstavljajo tudi HPC kompetenčni centri, ki na lokalnem nivoju različnim industrijskim sektorjem nudijo dostop do HPC storitev (EuroHPC, 2020). Iniciativa je usmerjena k razvoju HPC sistemov na »eksa« ravni. V ta namen bodo do

leta 2021 postavljeni trije HPC sistemi na prehodu na »eksa« ravni (ang. pre-exascale) in sicer v Španiji, na Finskem in Italiji. V tej smeri je bila ustanovljena tudi iniciativa EPI (ang. European Processor Initiative), katere namen je razvoj procesorjev za visoko zmogljivo infrastrukturo, kot je HPC (Gagliardi idr., 2019).

Razvoj HPC sistemov se seli tudi na področje podatkov, kjer se je v ta namen razvila Evropska iniciativa odprtega oblaka, EOSC (ang. European Open Science Cloud), katere namen je ponuditi okolje za shranjevanje podatkov, njihovo izmenjavo in ponovno uporabo (European Commission, 2019). Slednje bo podprla Evropska podatkovna infrastruktura (ang. European Data Infrastructure), ki bo malim in srednjim podjetjem (MSP) zagotovila HPC zmožljivosti za dostop in obdelavo teh podatkov preko oblaka, s čimer se odpravi potreba po fizični hrambi podatkov (European Commission, 2016).

Iniciative prihajajo tudi iz raziskovalno-izobraževalne sfere. Ena od teh je združenje ETP4HPC, (ang. European Technology Platform for HPC), ki pomaga pri oblikovanju prednostnih nalog raziskav in programskih vsebin na področju uporabe HPC (ETP4HPC, b. d.). Pomembna iniciativa na tem področju je evropsko združenje PRACE (Partnerstvo za napredno računalništvo v Evropi) (PRACE, 2020), ki skrbi za spodbujanje razvoja visoko zmogljivega računalništva, z združevanjem vodilnih nacionalnih centrov za superračunalništvo v Evropi (Fakulteta za strojništvo UL, b. d.). Predstavniki 26. držav, med katerimi je tudi Slovenija, skupaj zagotavljajo HPC infrastrukturo, za kompleksne znanstvene in inženirske aplikacije. V okviru združenja je bil razvit tudi program SHAPE, ki pomaga malim in srednjim podjetjem pri uvedbi HPC v podjetje (PRACE, b. d.).

V Evropi imajo države v večini izdelano jasno strategijo razvoja visoko zmogljivega računalništva in redno vlagajo v posodobitev tovrstne tehnologije. Prednjačijo predvsem države zahodne Evrope, ki nudijo zmožljivosti do 500 TF/s (Univerza v Mariboru, 2019a). S trenutno najhitrejšim HPC računalnikom v Evropi razpolaga Italija (Tabela 1). Poglavitni delež uporabe HPC v Evropi, še vedno predstavljajo univerze in raziskovalni centri (90 %), preostalih 10 % pa uporabljajo podjetja, kamor sodi tudi segment malih in srednje velikih podjetij (Gigler, Casorati in Verbeek, 2018). Uporaba se počasi širi tudi na področja, ki so tradicionalno manj tehnološka, kot sta na primer

kmetijstvo in turizem (Misra, Kurkure, Das, Das in Gupta, 2011; Starc Peceny, Urbančič, Mokorel, Kuralt in Ilijaš, 2019).

Tudi Slovenija nenehno vlaga v razvoj HPC sistemov. Uporaba HPC v Sloveniji še vedno prevladuje v akademskem okolju, kjer se HPC uporablja predvsem za izvedbo simulacij in modeliranje (Gašperlin, 2019). Edino podjetje, ki ponuja HPC storitve tudi malim in srednjim podjetjem preko oblaka pa je, v vlogi evropskega kompetenčnega centra, podjetje Arctur (ARCTUR, b. d.). V letu 2018 je bil na Univerzi v Mariboru vzpostavljen evropski projekt HPC RIVR (Univerza v Mariboru, 2019b), z namenom zagona HPC centra za izvajanje razvojnih in raziskovalnih aktivnosti in ciljem doseči zmogljivost 1,5 PF/s. S tem se bo Slovenija približala Poljski in Češki, kjer je taka infrastruktura že vzpostavljena. Spodbudo za koriščenje HPC virov za mala in srednja podjetja, omogoča tudi Slovensko nacionalno superračunalniško omrežje (SLING) – konzorcij za razvoj omrežja grid/HPC in upravljanje razpršenih računskih infrastruktur v Sloveniji (SLING, b. d.).

2.2 Okvirji za oblikovanje in analiziranje poslovnih modelov

Visoko zmogljivo računalništvo se je ob razvoju digitalnih tehnologij (internet stvari, vele podatki (ang. Big Data), umetna inteligenca, idr.), razširil tudi na področje poslovnih modelov in na inoviranje le teh. Poslovni model opisuje način, kako podjetje posluje ter ustvarja vrednost za potrošnika in podjetje (Bouwman, Faber, Haaker, Kijl in de Reuver, 2008; Osterwalder in Pigneur, 2010; Teece, 2010). Za opis poslovnega modela uporabljamo različne ontologije, s katerimi predstavimo splošne komponente poslovnega modela (Bouwman idr., 2008; Osterwalder in Pigneur, 2010). V tem prispevku sledimo najbolj razširjeni definiciji Osterwalderja in Pigneurja (2010, str. 14), ki pravi, da »poslovni model opisuje logiko, kako organizacija ustvarja, dostavlja in zajema vrednost«. Opis poslovnega modela se sicer nanaša na trenutno stanje, vendar le-ta ni statičen, saj se mora nenehno prilagajati trgu in se razvijati (Amit in Zott, 2012; Chesbrough, 2007; Teece, 2010; Zott, Amit in Massa, 2011) executives must first understand what it is, and then examine what paths exist for them to improve on it. This article aims to examine this issue. Design/methodology/approach – The article provides a practical definition of business models and offers a Busi-

ness Model Framework (BMF. Spremembe v logiki poslovanja, ki so nove za podjetje, vendar ne nujno novost na trgu in se odražajo kot opazne spremembe v poslovnem modelu pa imenujemo inoviranje poslovnih modelov (Pucihar, Kljajić Borštnar, Heikkilä, Bouwman in de Reuver, 2015). Inoviranje poslovnega modela lahko opazujemo z vidika vzrokov (kaj vpliva na inoviranje poslovnega modela – pritisk trga, tehnologija, zmanjšanje stroškov), z vidika sprememb v elementih poslovnega modela (kakšen je vpliv na posamezne elemente poslovnega modela) in z vidika tipa spremembe (postopno ali radikalno inoviranje). Inoviranje poslovnega modela je opredeljeno kot proces načrtnega preoblikovanja ključnih elementov podjetja in logike poslovanja, z namenom izboljšanja notranjih procesov podjetja in ustvarjanja vrednosti (operativni nivo) ter tržnih priložnosti in poslovne rasti (strateški nivo) (Morris, Schindehutte in Allen, 2005; Pucihar, Lenart, Kljajić Borštnar, Vidmar in Marolt, 2019). Najbolj znani okvirji na tem področju so model STOF (Solaimani, Heikkilä in Bouwman, 2018) the concept of the business model (BM, iz katerega izhaja model C-SOFT (Heikkilä, Heikkilä in Tinnilä, 2008), ki naslavlja pet elementov (Stranka, Storitev, Organizacija, Finance in Tehnologija). Večkrat omenjen je tudi VISOR model (Guo, Nikou in Bouwman, 2020), ki se osredotoča na interakcijo med človekom in računalnikom. Poleg tega, obstajajo tudi različni pristopi k modeliranju poslovnih ekosistemov. Med najbolj znanimi sta model sistemske dinamike in agentni model, iz katerega izhaja tudi več-agentni model (den Hartigh, Tol, Wei, Visscher in Zhao, 2005; Ma, 2019), s katerimi prikazemo stanje in relacije, ki obstajajo med deležniki ekosistema. Vsak agent predstavlja posamezno entiteto (deležnika) v poslovnem ekosistemu. V tej smeri so se razvili tudi različni okvirji kot sta BEAM (ang. Business Ecosystem Analysis and Modeling framework) (Tian, Ray, Lee in Cao, 2008) in TEAM (ang. The Ecosystem Architecture Management framework) (Wieringa, Engelsman, Gordijn in Ionita, 2019).

V raziskavi smo za analizo sprememb elementov poslovnega modela uporabili kanvas poslovnega modela, ker je najširše sprejet model. Osterwalder in Pigneur (2010) sta predlagala, da se model predstavi v obliki platna – kanvasa, na katerem je 9 elementov, s katerimi opišemo poslovni model podjetja (Slika 1).

Pomen posameznih elementov je naslednji (Lee in Jeong, 2020; Osterwalder in Pigneur, 2010):



Slika 1: Kanvas poslovnega modela – povzeto po (Osterwalder in Pigneur, 2010)

Ključni partnerji predstavljajo mrežo partnerjev (dobavitelji, ponudniki, druga podjetja), s katerimi podjetje nadgradi omejitve lastnih virov, z viri partnerjev in tako optimizira svoj poslovni model. Ključne aktivnosti opisujejo aktivnosti, ki so potrebne za ustvarjanje dodane vrednosti podjetja, doseganje novih trgov, ohranjanje odnosov s strankami in ustvarjanje prihodkov. Za delovanje teh aktivnosti so potrebni ključni viri. Viri so lahko fizični, finančni ali človeški, v lasti podjetja ali pa jih zagotovijo ključni partnerji. Element ponudba vrednosti naslavlja probleme in potrebe strank, z ustvarjanjem vrednosti, ki je lahko kvalitativna (na primer vrednost cene, hitrost storitve) ali kvantitativna (na primer izboljšanje zasnove izdelka in uporabniške izkušnje). Vse skupaj se odraža na odnosu s strankami, ki zajema tri različne tipe (pridobivanje strank, zadržanje strank in povečanje prodaje). Odnosi vplivajo na segment strank (skupino ljudi ali organizacij), ki jih podjetje želi zadržati ali ustvariti nov segment. Za komunikacijo s strankami se uporabljajo različni kanali, s katerimi podjetje naslavlja obstoječe in nove stranke. Elementa v spodnjem delu platna pa zajemata stroške in prihodke, ki se ustvarjajo tekom poslovanja.

3 METODOLOGIJA

Osnovni raziskovalni pristop je študija primera, ki je vedno bolj priznan pristop na področju informacijskih sistemov in ga umeščamo med kvalitativne pristope (Maimbo in Pervan, 2005; Yin, 2018). Običajno jo izberemo, kadar želimo podrobno analizirati pojav v realnem okolju oziroma je raziskovalno vprašanje opisne narave in imamo na voljo primere, ki jih je

mogoče poglobljeno raziskati. Raziskovalno vprašanje, ki vodi našo raziskavo je: »Na katere elemente poslovnega modela vpliva uporaba visoko zmogljivega računalništva v oblaku, v malih in srednje velikih podjetjih?« Za povečanje veljavnosti rezultatov raziskave smo razvili protokol za izvedbo študije primera (Yin, 2009).

Primer oziroma enota raziskovanja se nanaša na posamezen poskus, ki je bil izveden v okviru evropskih projektov Fortissimo, CloudfLOW, SesameNet in CloudiFactoring. Namen poskusov je bil testirati uporabnost storitev visoko zmogljivega računalništva v oblaku v proizvodnih malih in srednje velikih podjetjih, s tem pa preučiti zrelost tehnologije in vzdržnost poslovnih modelov ter prispevati k sprejetosti HPC v sektorju MSP. Podjetja, ki so sodelovala v poskusih so bila izbrana na javnih razpisih, ki so enovito določali opis poskusa in merila za izbiro. Poskusi so bili v vseh projektih izvedeni na enak način (zagotovitev HPC infrastrukture in storitev ter zagotovitev programske opreme s strani ponudnikov -> testiranje uporabe HPC -> odraz sprememb v poslovnih modelih podjetij). To nam je omogočilo primerljivost izvedenih poskusov preko različnih gospodarskih panog.

Podatke smo črpali iz javno dostopnih virov (Tabela 2), večinoma iz poročil o izvedenih poskusih na spletnih straneh projektov ter iz raziskave o oceni potenciala uporabe visoko zmogljivega računalništva v oblaku za mala in srednja proizvodna podjetja (Kljajić Borštnar in Ilijaš, 2019).

V študijo smo izmed 156 izvedenih poskusov vključili tiste, ki so izpolnjevali naslednje kriterije:

predstavljali različne industrijske panoge, različne geografske dele Evrope ter so bili dovolj podrobno dokumentirani. Izbranih 20 primerov smo opisali po elementih kanvas poslovnega modela (Osterwalder in Pigneur, 2010) ter analizirali spremembe v elementih poslovnih modelov, ki so nastale kot posledica poskusa uporabe HPC storitev v oblaku. Izsledke analize smo združili in pripravili zaključke ter priporočila.

V tabeli 2 podajamo seznam projektov, število vseh izvedenih poskusov pri posameznem projektu, panoge, ki jih je posamezen projekt naslavljal, število primerov, ki smo jih analizirali, leto izvedbe in podatkovni vir. Vsi primeri so po definiciji mala in srednje velika podjetja (European Commission, 2003), večinoma proizvodna podjetja, ki so bili izbrani na javnem razpisu za dodelitev sredstev, za izvedbo poskusov uporabe storitev HPC v oblaku z enim izmed sodelujočih ponudnikov HPC oblačnih storitev.

4 ANALIZA INOVIRANJA POSLOVNIH MODELOV

V rezultatih predstavljamo analizo primerov poskusov, ki so bili izvedeni v okviru evropskih projektov Fortissimo in Fortissimo 2 (Fortissimo, 2019b), CloudFlow (CloudFlow, b. d.) in Cloudifactoring (Cloudifactoring, 2018). Pretekle raziskave so bile usmerjene predvsem v analizo učinkov poskusov in so pokazale, da se uporaba HPC v malih in srednjih podjetjih odraža v skrajšanih časih za izvedbo razvoja (simulacije) in prispeva k povečanju denarnih prihrankov na letni ravni (Gašperlin, 2019). V pričujoči raziskavi

pa smo usmerjeni v analizo vpliva uporabe HPC v oblaku na posamezne elemente poslovnega modela.

Iz začetnega nabora 156 primerov eksperimentov (Tabela 2), ki so bili izvedeni med leti 2013 in 2020 smo jih za analizo izbrali 20, ki izpolnjujejo kriterije, ki smo jih opredelili v poglavju 3. Izmed dvajsetih primerov jih 6 prihaja iz Španije, po trije primeri iz Italije in Nemčije ter dva primera iz Slovenije. Preostali primeri prihajajo iz Nizozemske, Litve, Bolgarije, Velike Britanije, Češke in Srbije (iz vsake države po en). Primeri pokrivajo 6 panog: aeronavtiko, avtomobilsko industrijo, gradbeništvo, okolje in energijo, zdravstvo ter proizvodnjo. Pri vsaki panogi smo v analizo vključili po 3 primere, razen v primeru zdravstva (2 primera) in proizvodnje (6 primerov). V nadaljevanju podrobneje predstavimo pet izmed dvajsetih primerov, s katerimi želimo ponazoriti izvedene poskuse.

Podjetje A

Prvi primer predstavlja podjetje, ki deluje na področju letalske industrije. Dejavnost podjetja zajema razvoj in proizvodnjo lahkih in ultralahkih letal, kjer je ključnega pomena poznavanje in obnašanje pretoka zračnih tokov med letom letala (Fortissimo, 2015). Podjetja v ta namen običajno uporabljajo vetrovne tunele, ki pa so za majhna in srednja podjetja predraga. Zato to nadomeščajo s simulacijami. Te zagotovijo natančno simuliranje zračnih tokov in s tem primerljive možnosti testiranja, kot so pri vetrovnih tunelih. Kljub temu, da so v podjetju simulacije uporabljali že

Tabela 2: Število izbranih primerov glede na projekt (Fortissimo, Cloudflow, SesameNet, Cloudifactoring) in leto izvedbe

Projekt	Št. vseh poskusov	Panoga	Izbrani primeri	Leto izvedbe	Podatkovni vir
Fortissimo	79	Aeronautika	3	2013 – 2016 (Fortissimo I) 2015 – 2018 (Fortissimo II)	https://www.fortissimo-project.eu/success-stories Spletne strani analiziranih podjetij
		Avtomobilska ind.	3		
		Gradbeništvo (Splošno – civilno inženirstvo)	3		
		Okolje in energija	3		
		Zdravstvo	1		
		Proizvodnja	2		
Cloudflow	20	Proizvodnja	1	2014 – 2015	https://eu-cloudflow.eu/experiments/third-wave.html
SesameNet*	36	Zdravstvo	1	2015 – 2017	(Gašperlin, 2019)*
Cloudifactoring	21	Proizvodnja	3	2017 – 2021	https://www.cloudifactoring.eu/experiments/

* Spletna stran projekta SesameNet nazadnje dostopna 12.9.2019 – zato smo podatke povzeli iz lastne magistrske naloge

prej, so se odločili za uporabo HPC, zaradi prednosti, ki jo takšna rešitev ponuja. Uporaba HPC je prispevala k večji natančnosti simulacij razvoja letal ter hitrejšemu razvoju novih izdelkov. Sprememba se je pokazala tudi na ključnih aktivnostih, pri načrtovanju procesa izdelave letala in izvedbi kompleksnih izračunov. Uporaba HPC je povzročila tudi spremembo na virih podjetja, kjer so nadgradili lastne računalniške vire. Prej so za celotno modeliranje potrebovali 1 mesec, ob uporabi HPC so ta čas skrajšali na 2 dni in pol. Kot posledica spremenjenega načina dela, so se spremembe pokazale tudi na odnosu do strank, v smeri boljšega prilagajanja zahtevam strank in hitrejši izdelavi letal. Podjetje je zmanjšalo tudi svoje stroške simulacij in sicer za 90 % (iz 300.000 EUR na 3.000 EUR). Kot najvidnejši prispevek, je uporaba HPC spodbudila k sodelovanju v podobnih projektih, kot je Mikangelo (MIKELANGELO, b. d.).

Podjetje D

Med vidnejšimi področji, kjer ima uporaba HPC velik vpliv na spreminjanje poslovnih modelov, je tudi avtomobilska industrija. Kot primer izpostavljamo podjetje D, ki proizvaja elektromotorje za električna in hibridna vozila (Fortissimo, 2019a). Na tem področju je pri razvoju poglaviti cilj optimizacija hrupa, vibracij in trdnosti, ki vplivajo na vožnjo vozila. Podjetje je želelo zmanjšati število fizičnih prototipov in s tem materiala ter fizičnih meritev. Uporaba HPC je v tem primeru prispevala k razvoju in avtomatizaciji več fizikalnih izračunov, potrebnih pri določanju omenjenih karakteristik med razvojem in testiranjem elektromotorjev. HPC je pomembno prispeval k združitvi elektromagnetnih (EM) in strukturno akustičnih simulacij, kar se je odrazilo v optimizaciji različnih nivojev hrupa, z nespremenjenimi vplivi na zmogljivost elektromotorjev. V podjetju so s tem vpeljali nov koncept, kjer so za dosego cilja uporabili 3 različne programske opreme in sicer Altair Flux (za analizo magnetnih silnic pri vibracijah), Altair Hyperworks (za oblikovanje elektromotorjev) in GNU Octave (za numerične matematične izračune). S tem se je sprememba odrazila tudi na virih podjetja, saj so zaposleni z uporabo HPC dobili nova znanja. Za stranke je to pomenilo kvalitetnejši izdelek ter hitrejšo dobavo izdelka (za 80 %). Z uporabo HPC se je sprememba odrazila tudi na zmanjšanju stroškov (v povprečju 135.000 EUR/leto) in povečanju prihodkov (20 % povečanje prodaje).

Podjetje G

Spremembe poslovnih modelov se ob uporabi HPC odražajo tudi na področju gradbeništva (splošnega – civilnega inženirstva), kamor deloma sodijo tudi sistemi in storitve za železniški sektor, ki jih nudi podjetje G. Ena od storitev, ki jih podjetje zagotavlja je popravilo železniških tirov. Podjetje je želelo klasičen način meritev posodobiti z modernejšim pristopom (Fortissimo, 2018). Uvodoma smo omenili, da je za uspešno spremembo pomembna vključitev zunanjih partnerjev (HPC strokovnjakov in ponudnikov programske opreme). Ponudnik programske opreme je kot partner zagotovil namensko aplikacijo, ponudnik HPC pa infrastrukturo in znanje pri uporabi HPC storitev. S sodelovanjem obeh, je podjetje zamenjalo klasični način kontrole železniških tirov in nadgradilo proces, v obliki programske opreme in simulacij z uporabo HPC v oblaku. Programska oprema je prispevala k hitrejšemu odkrivanju napak in vizualizaciji, vpeljava simulacij pa je omogočila simulacijo obremenitev ob tranzitu visoko hitrostnih vlakov. Podjetje s tem ni spremenilo le osnovnega procesa. Pridobili so novo storitev v obliki orodja za diagnostiko in izboljšano načrtovanje železniških tirov, kar posledično vodi do večje varnosti potnikov. Omenjene spremembe so povzročile tudi zmanjšanje stroškov (280.000 EUR/leto). Spremembe se v tem primeru niso odrazile samo pri podjetju kot uporabniku, vendar tudi pri ponudniku programske opreme, ki je dobil dodatna inženirska znanja. Slednjemu je to omogočilo ponudbo novih storitev na področju računalniško podprtih simulacij (CAE – ang. Computer Aided Engineering).

Podjetje M

Uporaba HPC je vse bolj prisotna tudi na področju zdravstva. HPC namreč izboljšuje natančnost izračunov na podlagi meritev, kot je to v primeru podjetja M, katerega dejavnost je diagnostika očesnih bolezni (Fortissimo, 2017). S prilagoditvijo simulacijskega modela očesne arterije za delo na HPC, se je omogočila bolj natančna analiza krvnega pretoka v očesu in s tem lažje odkrivanje očesnih bolezni. Skrajšal se je tudi simulacijski čas. Poleg tega je HPC z novo metodo omogočil razširitev dejavnosti in kot posledica omenjene spremembe, omogočil vstop na novo področje (diagnostika glavkomov in odkrivanje slepote). Podjetje zaradi tega pričakuje tudi povečanje prihodkov v višini 100 milijonov evrov na letni rav-

ni. Pri prilagoditvi simulacijskega modela sta sodelovala ponudnik programske opreme in HPC strokovnjak. Ponudniku programske opreme bo to omogočilo povezavo s partnerji na sorodnih projektih ter potencialni dostop do novih trgov in strank. HPC strokovnjaku pa se je s sodelovanjem odprl dostop na področje biomedicine.

Podjetje S

Kot zadnje izpostavljamo podjetje na področju proizvodnje, kjer je HPC vplival na spremembo klasičnega načina proizvodnega procesa pri vodnem hlajenju (znano tudi kot dušenje) jeklenih proizvodov (CloudiFacturing, b. d.). S pomočjo HPC je bil razvit podroben numerični simulacijski model celotnega stroja za hlajenje kovinskih izdelkov. Rezultati simulacijskega modela se potrdijo s fizičnimi preizkusi. Vpeljava HPC se je odrazila tudi na spremembi aktivnosti podjetja, v smeri novega procesa pri razvoju svojih izdelkov. Vpeljana rešitev je poleg tega povzročila spremembo tudi na virih podjetja, kjer so s pridobitvijo novih znanj oblikovali novo generacijo vodnih šob, ki bolj učinkovito hladijo tudi izdelke kompleksnejših struktur. To bo podjetju omogočilo pridobitev večjega števila strank, pričakujejo pa tudi povečanje prihodkov (500.000 EUR/leto). Slika 2 prikazuje značilnosti primerov po elementih poslovnega modela, povzetih v matriki. Pri nekaterih elementih ni bilo izraženih sprememb, zato smo tista polja posivili.

Na sliki 3 prikazujemo ugotovitve sprememb po elementih poslovnega modela za vseh dvajset podjetij. V oklepaju je podano število podjetij, kjer je bila sprememba zaznana.

Analiza je pokazala, da je uporaba HPC povzročila spremembe v vseh elementih poslovnega modela (Slika 3). Na področju ključnih partnerjev so vsaj v času poskusa vstopili ponudniki HPC storitev, v nekaterih primerih tudi ponudniki programske opreme, s čimer so posredno vplivali tudi na spremembe drugih elementov poslovnega modela podjetij. Pri tem so ponudniki HPC in ponudniki programske opreme, podjetjem ponudili nove digitalne kanale za dostavo storitev preko elektronske tržnice in dostopom preko oblaka, s čimer se je sprememba v poslovnem modelu odrazila tudi pri njih. Po drugi strani pa so tudi ponudniki HPC storitev in programske opreme pridobili nova znanja na posameznih področjih (4 primeri) ter priložnost za vstop na nove trge

(6 primerov). Tako spremembe v poslovnem modelu vplivajo na širši poslovni ekosistem in niso omejene zgolj na analizirano podjetje.

Spremembe so se pri ponudbi vrednosti (storitev in izdelkov) v največji meri odrazile v izboljšanju izdelkov (8 podjetij) in možnosti večjega prilagajanja strankam (4 podjetja) in s tem k ponudbi bolj prilagojenih rešitev za stranko (na primer podjetje S). Spremembe so se odrazile tudi v izboljšanju storitev (3 podjetja), kot je na primer hitrejšo odkrivanje in vizualizacija napak na železniških tirih (podjetje G) ali podrobnejša analiza očesnih bolezni (podjetje M) in hitrejši dobavi izdelkov (2 podjetji). Hitrejša dobava zajema hitrejšo izdelavo in sproščanje izdelkov na trg ter možnost obdelave večjega števila naročil za stranke. Pri dveh primerih je bilo iz podatkov razvidno, da je uporaba HPC vplivala tako na hitrejšo dobavo izdelka kot tudi na večje prilagajanje potrebam strank.

Pri ključnih aktivnostih je analiza pokazala, da uporaba visoko zmogljivega računalništva v oblaku ni vplivala le na hitrejšo izvedbo načrtovanja in računalniških izračunov in s tem k skrajšanju časa simulacij, ampak predvsem k skrajšanem ali novem procesu razvoja in s tem izboljšanju izdelkov (14 podjetij). V štirih primerih pa je bilo iz analize zaznati oboje, tako skrajšanje časa simulacij kot izboljšave razvojnega procesa.

Pri analizi ključnih virov se je izkazalo, da je večina podjetij že uporabljala programsko opremo (6 podjetij), v večini primerov za simulacije, razen v štirih primerih, ko so programsko opremo v delovni proces uvedli na novo, v dveh primerih pa je HPC omogočil bolj enostavno uporabo programske opreme in s tem povečal krog uporabnikov znotraj podjetja. Z vidika tehnoloških virov je vpeljava HPC povzročila spremembe z nadgradnjo računalniških virov in zmogljivosti. Spremembe so se odrazile tudi pri pridobitvi novih znanj pri zaposlenih.

Izboljšal se je odnos do strank v smeri bolj osebnega pristopa, prilagojenega strankam. Pri segmentu strank bodo podjetja s hitrejšo dobavo izdelkov in večjo prilagoditvijo strankam dosegla večje število novih strank ter širjenje na nove trge (5 primerov podjetij), medtem ko drugi vplivi niso jasno določeni ali pa podatki niso bili na voljo. Omenjene spremembe so vodile k zmanjšanju stroškov in povečanju prihodkov podjetij. Pri tem so znižanje stroškov v 60 % poskusih beležili takoj, 40 % podjetij pa le-to pričaku-

Sektor	Podježe	Ponudba vrednosti	Ključni partnerji	Ključne aktivnosti	Ključni viri	Odnos s strankami	Segment strank	Kanali	Stroški	Pridobitki
Aeronavtika	A	izboljšava izdelka, večje prilagajanje strankam	Ponudnik HPC, HPC ekspert	izvedba simulacij s storilnimi HPC v oblaku (uporaba cloud HPC)	nadgradnja lastnih (in-house) računalniških virov za izvedbo simulacij	na stranko naravnani pristop		oblak in elektronska tiskina	Zmanjšanje stroškov	
	B	kvalitetnejši izdelek (izboljšanje in varnostni sistem proti nabiranju ledu letalskih propelerjev)	Posrednik programske opreme, povečanje prodaje in dvig prepoznavnosti Ponudnik HPC, (povečanje prodaje s platformo kot storitev (PaaS) in programsko opremo kot storitev (SaaS))	Skrajšanje časov za simulacije in izračuni z numeričnim programom UderEa	nadgradnja računalniških zmogljivosti s pomočjo programske opreme UderEa in HPC		novi trgi (pričakuje se večja prodaja)	oblak in elektronska tiskina	Zmanjšanje stroškov	
	C	kvalitetnejši izdelek (izboljšava struktura materiala letalskih komponent in njegove kakovosti)	Posrednik programske opreme, Povečanje konkurenčnosti na trgu Ponudnik HPC in ekspert	nov algoritem in izboljšani napovedni model - (izboljšanje modeliranja materialov za dve letalski leti)	izboljšava programske opreme (Pivota)				oblak in elektronska tiskina	
Avionobilska ind.	D	izboljšava izdelka (višja stopnja trdnosti, elektromotorji), hitrejša dobava izdelka	Ponudnik HPC, pričakovano povečanje števila kupcev in višji letni zaslužek	razvoj, optimizacija in avtomatizacija večih fizikalnih izračunov za vplodil nad akustičnim hrupom (Celovit pristop k združitvi elektromagnetnih stopenj in strukturno-akustičnih simulacij za dosego optimizacije stopnje hrupa)	nov razvojni koncept z uporabo programske opreme - Altair Flux (analiza magnetnih silnic pri vibracijah), Altair Hyperworks (oblikovanje elektromotorjev) in GNU Octave (numerični matematični izračuni)			oblak in elektronska tiskina	pričakovano zmanjšanje stroškov	pričakovano povečanje prihodkov
	E	izboljšava izdelka (kompleksnejši validacijski sistem, pospeševanje natančnosti validacije v prometu)	Posrednik HPC, HPC ekspert	prehod iz klasičnega postopka validacije na virtualno validacijo	nadgradnja znanj pri postopku validacije in certifikacije			oblak in elektronska tiskina	zmanjšanje stroškov	
	F	hitrejša dobava izdelka	Ponudnik HPC in ekspert, pričakovano povečanje števila strank in višji zaslužek Domestri ekspert, pričakovano povečanje prihodkov in zmanjšanje stroškov pri razvoju programske opreme	prehod iz klasičnih testiranj na simulacijsko modeliranje v oblaku platforme	pri načrtovanju je omogočeno sodobnejše večje število zaposlenih - poenostavljen GUI			oblak in elektronska tiskina	pričakovano zmanjšanje stroškov	
Gradbeništvo (splošno - civilno inženirsko)	G	izboljšana storitev (hitrejša odzivnost in vizualizacija napak, avtomatizirano naprejanje popravil in servisnih intervencij, hitrejša pridobivanja rezultatov)	Ponudnik HPC in ekspert, Ekspert aplikacije, nadgradnja inženirskih znanj, pričakovano povečanje prihodkov pri nadaljnjih projektih	zamenjava fizičnih meritev na terenu z nadgradnjo na računalniško podprto simuliranje obremenitev	vpejliva progr. oprema za simulacijo in kontrolo železniške infrastrukture			oblak in elektronska tiskina	zmanjšanje stroškov	
	H	izboljšava izdelka (kompleksnejši simulacijski modeli pri načrtovanju ladjskih konzolacij in bolj celovita analiza cene trdnosti transportnih ledi (bankeja))	Posrednik programske opreme, predvideno povečanje števila strank in višji zaslužek Ponudnik HPC, pričakovano povečanje števila HPC storitev in strank, predvideno povečanje prihodkov Domestri ekspert	optimizacija procesa izvedbe simulacij (skrajšanje časa)	izboljšanje obstoječe programske opreme (skrajšanje časov simulacij)			oblak in elektronska tiskina		pričakovano povečanje prihodkov
	I	izboljšana storitev (poglobljeno razumevanje in vpogled v proces logorovanj pilotov v dinamični, pohitro testiranje diravnikov)	Ponudnik HPC, predvideno povečanje prodaje računalniških (CPU) virov, izboljšanje storitev za vizualizacije in dvig prepoznavnosti HPC ekspert Ekspert aplikacije	nadgradnja numeričnih orodij na simulacije in uporaba HPC v oblaku (izboljšanje časa in načrtovanja)	zmanjšanje števila človeških virov v procesu načrtovanja		Pričakovani vstop na nove trge in dvig prepoznavnosti	oblak in elektronska tiskina	zmanjšanje stroškov	pričakovano povečanje prihodkov
Okoje in energija	J	večje prilagajanje strankam (računalniško modeliranje in uporaba simulacij, poglobljeno razumevanje fizikalnih lastnosti produktov) in hitrejša sproščanje na trg	Ponudnik programske opreme Ponudnik HPC, predvideno povečanje števila strank in višji zaslužek HPC ekspert, predvideno povečanje poslovne rasti in dobička	nadgradnja empiričnega pristopa na uporabo simulacij ob uporabi HPC v oblaku	vpejliva programske opreme za načrtovanje vodnih turbin	na stranko naravnani pristop		oblak in elektronska tiskina	zmanjšanje stroškov	pričakovano povečanje prihodkov
	K	večje prilagajanje strankam (prilagoditev za mestno okoje)	Posrednik HPC, HPC ekspert, nadgrajevanje znanj in izkušenj s sodobnim v eksperimentu Ekspert aplikacije, predvidena nova delovna mesta, povečanje števila uporabnikov in višine prihodkov HPC center in ekspert, v letu 2015 je bilo predvideno povečanje števila na 15 novih mestih in srednjih podjetij Domestri ekspert, s ponajno rešitvijo (numerična simulacija), predvideno povečanje storitev na druge sektore (železnica)	nov pristop k analizi postavbe vodnih turbin v mestnih okoljih	novo orodje za simulacijo vodnih tokov	na stranko naravnani pristop	širitev na nove trge	oblak in elektronska tiskina	pričakovano zmanjšanje stroškov	pričakovano povečanje prihodkov
	L	kvalitetnejši in varnejši izdelek	Posrednik HPC, Povečanje prodaje storitev HPC in strank, povečanje nabora strank Univerza iz Acadia (Canadski inženirski)	posodobitev postopka modeliranja in podrobna vizualizacija zategovanja priručne (nov računalniški simulacijski model s ključnimi deli priručnice in ocena različnih scenarijev zategovanja priručnice)	vpejliva programske opreme za simulacije			potencial za pridobitev novih projektov in podjetij (gradbeni, petrokemični podjetja, inženirski)	oblak in elektronska tiskina	zmanjšanje stroškov
Zdravstvo	M	izboljšava storitve (bolj natančna diagnostika obojnih boleznih)	HPC ekspert (dva) ekspert aplikacije, Posrednik HPC, razširitev HPC storitev na biomedicinski trg	izboljšava meritev in diagnostike pri obojnih boleznih in skrajšanje simulacijskih časov (razvil simulacijski model obojne arterije za podrobno analizo krvnega pretoka)	izboljšanje programske opreme za simulacije		širjenje trga - diagnostika glaukoma in slepota	oblak in elektronska tiskina		pričakovano povečanje prihodkov
	N	izboljšava izdelka (Simulacija 3D modela jeter za simuliranje prenosa toplote pri procesu odstranjevanja tumorjev)	biogenski inštitut za ICT, zagotovitev 3D simulacij na HPC infrastrukturi	virtualni vpogled v spremembo strukture (jeter) in simulacija prenosa toplote	nadgrajevanje znanj z uporabo HPC v oblaku			oblak in elektronska tiskina		pričakovano povečanje prihodkov
Proizvodnja	O	kvalitetnejši izdelek in hitrejša prilagajanje strankam	Posrednik HPC, HPC ekspert	poglobljena slika kompozitne strukture med načrtovanjem (vpogled v sloje), optimizacija načrtovanja (uporaba algoritmov strojnega učenja)	nadgradnja programske opreme	na stranko naravnani pristop	pričakovano povečanje števila strank	oblak in elektronska tiskina	zmanjšanje stroškov	
	P	izboljšava izdelka (podpora za obdelavo naročil večjega obsega)	HPC ekspert, Posrednik HPC (dva) HPC ekspert, Povečanje prodaje storitev (večje število najema CPU virov)	prilagoditev lastne aplikacije za delovanje v oblaku ob uporabi HPC, skrajšanje časov optimizacije večjih naročil	izboljšanje programske opreme za simulacije		Početa (povečanje števila uporabnikov - malih in srednjih podjetij)	oblak in elektronska tiskina	zmanjšanje stroškov	pričakovano povečanje prihodkov
	R	večje prilagajanje strankam	Posrednik HPC, Povečanje prodaje storitev HPC in strank, povečanje nabora strank Univerza iz Acadia (Canadski inženirski)	prilagoditev klasičnega proizvodnega procesa za delovanje v oblaku ob uporabi HPC	nadgrajevanje znanj z uporabo HPC v oblaku	na stranko naravnani pristop		oblak in elektronska tiskina	pričakovano zmanjšanje stroškov	
	S	večje prilagajanje strankam in ponudba novih izdelkov	Posrednik virov in O&E, predvideno povečanje števila strank in dohodkov	vpejliva numeričnega modela celotnega stroja za vodno dušenja in simulacijskega procesa	uporaba nadgrajenih znanj za načrtovanje nove generacije vodnih čolov	na stranko naravnani pristop		oblak in elektronska tiskina		pričakovano povečanje prihodkov
	T	večje prilagajanje strankam	Posrednik programske opreme Univerza v Štali (Krauzendek)	nadgradnja programske rešitve za optimizacijo proizvodnega postopka pri načrtovanju transportnih paket	nadgradnja računalniških virov, povečanje števila zaposlenih	na stranko naravnani pristop		oblak in elektronska tiskina	pričakovano zmanjšanje stroškov	pričakovano povečanje prihodkov
	U	kvalitetnejši izdelek (večja kontrola med proizvodnjo izdelka)	Posrednik programske opreme	izboljšanje zanesljivosti delovanja stroja za 3D iskanje raznovrstnih (vpejliva koncepta "digitalnega dvojčka") za napoved okvare stroja in napoved opozoril preventivnega vzdrževanja)	nadgradnja tehnoloških virov (izvedba strojnega učenja pri kontrol izdelkov)			oblak in elektronska tiskina	pričakovano zmanjšanje stroškov	

Slika 2: Povzetek analize opisanih poskusov po elementih poslovnega modela

Ključni partnerji Povezovanje z novimi partnerji (ponudniki HPC storitev, programske opreme)	Ključne aktivnosti Skrajšanje časa simulacij (2) Izboljšave procesa (14) Skrajšanje časa in izboljšave procesa (4)	Ponudba vrednosti Izboljšava izdelka (8) Izboljšava storitve (3) Večje prilagajanje strankam (4) Hitrejša dobava izdelka (2)	Odnosi s strankami Na stranko naravnani pristop (7)	Segment strank Širitev na nove segmente in trge (5+6*)
Ključni viri Tehnološki viri (4) Progr. oprema (12) Nova znanja (4+4*)	Hitrejša dobava izdelka in večje prilagajanje strankam (2) Izboljšava izdelka in večje prilagajanje strankam (1)	Kanali Oblak in elektronska tržnica (20)		
Stroški Zmanjšanje stroškov (9) Pričakovano zmanjšanje stroškov (6)		Prihodki Pričakovano povečanje prihodkov (11)		

*spremembe so zaznane v poslovnem ekosistemu – pri ključnih partnerjih

Slika 3: Analiza sprememb elementov poslovnega modela Canvas

je v prihodnosti. Medtem, ko velika večina podjetij, zajetih v poskuse, dvig prihodkov pričakuje šele v prihodnosti.

5 ZAKLJUČKI

V prispevku smo obravnavali vpliv razvoja visoko zmogljivega računalništva (HPC) in njegove uporabe v oblaku na spreminjanje elementov v poslovnih modelih malih in srednje velikih podjetij. V ta namen smo izvedli študijo dvajsetih izbranih primerov poskusov, izvedenih v okviru evropskih projektov Fortissimo, Cloudflow, SesameNet in CloudiFacturing. Analizirana podjetja so pokrivala 6 gospodarskih panog: aeronavtiko, avtomobilsko industrijo, gradbeništvo, okolje in energijo, zdravstvo ter proizvodnjo. Spremembe elementov poslovnega modela smo analizirali skozi okvir kanvas poslovnega modela (Osterwalder in Pigneur, 2010). Omejitve raziskave je omejen nabor analiziranih primerov, saj večina poskusov ni bila dovolj podrobno dokumentirana. Kljub temu smo v nabor primerov zajeli sektorsko in geografsko raznolike poskuse, ki zagotavljajo poglobljeno analizo posameznega primera, kot tudi medsebojno primerjavo.

Rezultati analize kažejo, da ima visoko zmogljivo računalništvo pomemben vpliv na spremembe elementov poslovnega modela na nivoju posame-

znega podjetja (novi ali izboljšani izdelki in storitve, skrajšan čas razvoja in dostave na trg, zmanjšanje stroškov). Glavni rezultat poskusov uporabe HPC se kaže v zmanjševanju stroškov in časa potrebnega za razvoj izdelkov in storitev, kar sovpada z ugotovitvami predhodnih raziskav (Kergroach, 2020). Zaznali smo tudi vpliv na širši poslovni ekosistem (ponudniki HPC storitev, programske opreme, celotna dobavna veriga), predvsem na področju povezovanja v nova partnerstva in s tem pridobivanje kompetenc, novih trgov, novih izdelkov in storitev ter načinov dostave le-teh strankam. Ker pa je kanvas poslovni model namenjen analizi posameznega podjetja, tega vidika podrobneje nismo analizirali. Raziskava prispeva k razumevanju vloge storitev visoko zmogljivega računalništva v oblaku k inoviranju poslovnih modelov v proizvodnih malih in srednje velikih podjetjih. V prihodnjih raziskavah velja podrobneje raziskati poslovne modele širših ekosistemov. Prav tako ostajajo odprta vprašanja potenciala uporabe visoko zmogljivega računalništva na drugih področjih (npr. kmetijstvo, turizem) ter oceni učinkov spodbud za uporabo visoko zmogljivega računalništva in povezanih digitalnih tehnologij. Pomemben napredek na tem področju gre namreč pričakovati le ob natančno usmerjenih spodbudah in celoviti oceni učinkov le-teh.

LITERATURA

- [1] Amit, R., & Zott, C. (2012). Creating Value Through Business Model Innovation. *MIT Sloan Management Review*. Pridobljeno od <https://sloanreview.mit.edu/article/creating-value-through-business-model-innovation/>
- [2] ARCTUR. (b. d.). Spletna stran podjetja ARCTUR. Pridobljeno 7. oktober 2020., od <https://www.arctur.si/>
- [3] Artigues, A., Cugnasco, C., Becerra, Y., Cucchiatti, F., Houzeaux, G., Vazquez, M., ... Labarta, J. (2017). ParaView + Alya + D8tree: Integrating High Performance Computing and High Performance Data Analytics. V *Procedia Computer Science* (Let. 108, str. 465–474). doi: 10.1016/j.procs.2017.05.170
- [4] Becciani, U., & Petta, C. (2019). New frontiers in computing and data analysis – the European perspectives. *Radiation Effects and Defects in Solids*, 174(11–12). doi: 10.1080/10420150.2019.1683840
- [5] Bocken, N. M. P., & Geradts, T. H. J. (2020). Barriers and drivers to sustainable business model innovation: Organization design and dynamic capabilities. *Long Range Planning*, 53(4), 1–23. doi: 10.1016/j.lrp.2019.101950
- [6] Borangiu, T., Trentesaux, D., Thomas, A., Leitão, P., & Barata, J. (2019, junij 1). Digital transformation of manufacturing through cloud services and resource virtualization. *Computers in Industry*. Elsevier B.V. doi: 10.1016/j.compind.2019.01.006
- [7] Bouwman, H., Faber, E., Haaker, T., Kijl, B., & de Reuver, M. (2008). Conceptualizing the STOF Model. V Harry Bouwman, H. De Vos, & T. Haaker (Ur.), *Mobile Service Innovation and Business Models* (str. 31–70). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. doi: 10.1007/978-3-540-79238-3_2
- [8] Bouwman, H., Nikou, S., & de Reuver, M. (2019). Digitalization, business models, and SMEs: How do business model innovation practices improve performance of digitalizing SMEs? *Telecommunications Policy*, 43(9), 1–18. doi: 10.1016/j.telpol.2019.101828
- [9] Chesbrough, H. (2007). Business model innovation: It's not just about technology anymore. *Strategy and Leadership*, 35(6), 12–17. doi: 10.1108/10878570710833714
- [10] Chiariello, A. G., Formisan, A., & Martone, R. (2015). A high-performance computing procedure for the evaluation of 3D coils inductance. *COMPEL – The international journal for computation and mathematics in electrical and electronic engineering*, 34(1), 248–260. doi: 10.1108/COMPEL-03-2014-0070
- [11] Clarke, E., & Larmour, I. (2016). THE IMPACT OF NATIONAL HIGH PERFORMANCE COMPUTING – An analysis of the impacts and outputs of investment in national HPC. Pridobljeno 8. december 2020., od <https://epsrc.ukri.org/newsevents/pubs/impactofnationalhpc/>
- [12] CloudFlow. (b. d.). Spletna stran projekta CloudFlow. Pridobljeno 27. december 2020., od <https://eu-cloudflow.eu>
- [13] CloudiFacturing. (b. d.). NUMERICAL MODELLING AND SIMULATION OF HEAT TREATING PROCESSES. Pridobljeno 6. november 2020., od <https://www.cloudifacturing.eu/experiment-4-numerical-modelling-and-simulation-of-heat-treating-processes-2/?cookie-state-change=1604955347175>
- [14] CloudiFacturing. (2018). CloudiFacturing project home page. Pridobljeno 6. november 2020., od <https://www.cloudifacturing.eu>
- [15] den Hartigh, E., Tol, M., Wei, J., Visscher, W., & Zhao, M. (2005). Modeling a business ecosystem: An agent-based simulation. Pridobljeno 3. februar 2021., od https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/31071213/den-hartigh-tol-wei-visscher-zhao_2005_modeling-a-business-ecosystem.pdf?1364857159=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DModeling_a_business_ecosystem_An_agent_b.pdf&Expires=1612351145&Signature
- [16] Dongarra, J., Graybill, R., Harrod, W., Lucas, R., Lusk, E., Luszczek, P., ... Tikir, M. (2008). DARPA's HPCS Program: History, Models, Tools, Languages. *Advances in Computers*, 72. Pridobljeno od <https://www.icl.utk.edu/files/publications/2008/icl-utk-368-2008.pdf>
- [17] ETP4PHC. (b. d.). EUROPEAN HPC EXASCALE EFFORT. Pridobljeno 7. oktober 2020., od <https://www.etp4hpc.eu/euexascale.html>
- [18] EuroHPC. (2020). Spletna stran initiative EuroHPC. Pridobljeno 6. oktober 2020., od <https://eurohpc-ju.europa.eu/>
- [19] European Commission. (2016). *Communication: European Cloud Initiative – Building a competitive data and knowledge economy in Europe*. Pridobljeno od <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/news/communication-european-cloud-initiative-building-competitive-data-and-knowledge-economy-europe>
- [20] European Commission. (2019). European Cloud Initiative. Pridobljeno 7. oktober 2020., od <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/european-cloud-initiative>
- [21] European Commission. (2003). *Commission Recommendation concerning the definition of micro, small and medium-sized enterprises*. Pridobljeno od <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32003H0361&from=EN>
- [22] European Commission. (2018). Digital Transformation Scoreboard 2018 – EU businesses go digital: Opportunities, outcomes and uptake. doi: 10.2826/821639
- [23] European Commission. (2019). High Performance Computing, Cloud Infrastructures and Artificial Intelligence to better protect our planet. Pridobljeno 22. januar 2021., od <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/news/high-performance-computing-cloud-infrastructures-and-artificial-intelligence-better-protect-our>
- [24] European Commission. (2020a). Call to acquire a new European world-class supercomputer. Pridobljeno 12. april 2020., od <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/news/call-acquire-new-european-world-class-supercomputer>
- [25] European Commission. (2020b). High Performance Computing. Pridobljeno 9. november 2020., od <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/high-performance-computing>
- [26] Ezell, S. J., & Atkinson, R. D. (2016). *The Vital Importance of High-Performance Computing to U.S. Competitiveness*. Pridobljeno od <http://www2.itif.org/2016-high-performance-computing.pdf>
- [27] Fakulteta za strojništvo UL. (b. d.). Partnership for Advanced Computing in Europe (PRACE). Pridobljeno 11. april 2020., od <http://hpc.fs.uni-lj.si/prace>
- [28] Fernández-González, A., Rosillo, R., Miguel-Dávila, J. A., & Matellán, V. (2015). Historical review and future challenges in Supercomputing and Networks of Scientific Communication. *The Journal of Supercomputing*, 71, 4476–4503. doi: 10.1007/s11227-015-1544-3
- [29] Fortissimo. (2015). HPC-Cloud-based simulation of light-aircraft aerodynamics. Pridobljeno 6. januar 2021., od https://www.fortissimo-project.eu/sites/default/files/documents/stories/Fortissimo_SuccessStory_401_Pipistrel_1.pdf
- [30] Fortissimo. (2017). Cerebral blood flow simulations. Pridobljeno 6. januar 2021., od https://www.fortissimo-project.eu/sites/default/files/documents/stories/Fortissimo_SuccessStory_603_Vittamed.pdf
- [31] Fortissimo. (2018). Cloud-based-HPC simulation of railway infrastructure for high-speed trains. Pridobljeno 6. januar

- 2021., od https://www.fortissimo-project.eu/sites/default/files/documents/stories/Fortissimo_SuccessStory_713_Alstom_Ferroviana.pdf
- [32] Fortissimo. (2019a). HPC-Cloud-based simulation of coupled electromagnetic and structural-acoustics in in-wheel electric motors. Pridobljeno 6. december 2020., od https://www.fortissimo-project.eu/sites/default/files/documents/stories/Fortissimo_SuccessStory_911_Elaphe.pdf
- [33] Fortissimo. (2019b). Spletna stran projekta Fortissimo. Pridobljeno 4. december 2020., od <https://www.fortissimo-project.eu>
- [34] Franceschelli, M. V., Santoro, G., & Candelo, E. (2018). Business model innovation for sustainability: a food start-up case study. *British Food Journal*, 120(10), 2483–2494. doi: 10.1108/BFJ-01-2018-0049
- [35] Gagliardi, F., Moreto, M., Olivieri, M., & Valero, M. (2019). The international race towards Exascale in Europe. *CCF Transactions on High Performance Computing volume*, 3–13. doi: 10.1007/s42514-019-00002-y
- [36] Gašperlin, B. (2019). ANALIZA PRILOŽNOSTI ZELO-ZMOGLJIVEGA RAČUNALNIŠTVA ZA MALA IN SREDNJA PODJETJA. Faculty of Organizational sciences, University of Maribor. Pridobljeno od <https://dk.um.si/Dokument.php?id=134642>
- [37] Gašperlin, B., Ilijaš, T., & Kljajić Borštnar, M. (2019). OPPORTUNITIES OF CLOUD HIGH PERFORMANCE COMPUTING FOR SMES – A META-ANALYSIS. V U. of L. Zadnik Stirn, L., U. of M. Kljajić Borštnar, M., U. of L. Žerovnik, J., U. of L. Drobne, S., & U. of L. Povh, J. (Ur.), *Proceedings of the 15th International Symposium on OPERATIONAL RESEARCH* (str. 149–154). Bled, Slovenia: Slovenian Society Informatika, Section for Operational Research. Pridobljeno od <http://fgg-web.fgg.uni-lj.si/~sdrobne/sor/SOR'19-Proceedings.pdf>
- [38] Gigler, B.-S., Casorati, A., & Verbeek, A. (2018). Financing the future of supercomputing – How to increase investments in high performance computing in Europe. Pridobljeno 20. marec 2019., od https://www.eib.org/attachments/pj/financing_the_future_of_supercomputing_en.pdf
- [39] Guo, J., Nikou, S., & Bouwman, H. (2020). Theoretical framework for the study. V Information Resources Management Association (Ur.), *Sustainable Business: Concepts, Methodologies, Tools and Applications* (str. 272). IGI Global. Pridobljeno od <https://books.google.si/books?id=kJvLDwAAQBAJ&pg=PA272&lpg=PA272&dq=business+model+stof+visor&source=bl&ots=4U-3E-eL99&sig=ACfU3U1urs7cMBCLKunPY1vftMnccdU4kg&hl=en&sa=X&ved=2ahUKEwjc8qZpKbuAhUhaAIHYqDC1kQ6AEwEXoECBEQAg#v=onepage&q&f=false>
- [40] Heikkilä, J., Heikkilä, M., & Tinnilä, M. (2008). The Role of Business Models in Developing Business Networks. V *Electronic Commerce: Concepts, methodologies, Tools, and Applications* (str. 221–231). doi: 10.4018/978-1-59140-629-7.ch016
- [41] i4MS. (2020). i4MS. Pridobljeno 22. januar 2021., od <https://i4ms.eu/>
- [42] Imran, H. A., Wazir, S., Ikram, A. J., Ikram, A. A., Ullah, H., & Ehsan, M. (2019). HPC as a Service: A naïve model. V *2019 8th International Conference on Information and Communication Technologies (ICICT)*. Karachi, Pakistan: IEEE. doi: 10.1109/ICICT47744.2019.9001912
- [43] Institut informacijskih znanosti (IZUM). (2020). Atosov Bull-Seqvana XH2000 izbran za EuroHPC superračunalnik Vega v Mariboru. Pridobljeno 9. november 2020., od <https://www.izum.si/>
- [44] Kalbe, G. (2019). The European Approach to the Exascale Challenge. *Computing in Science and Engineering*, 21(1), 42–47. doi: 10.1109/MCSE.2018.2884139
- [45] Kane, G. C., Palmer, D., Phillips, A. N., Kiron, D., & Buckley, N. (2015). Strategy, Not Technology, Drives Digital Transformation. Pridobljeno 11. maj 2020., od <https://sloanreview.mit.edu/projects/strategy-drives-digital-transformation/>
- [46] Kergroach, S. (2020). Giving momentum to SME digitalization. *Journal of the International Council for Small Business*, 1(1), 28–31. doi: 10.1080/26437015.2020.1714358
- [47] Keswani, U. (2008). *HIGH PERFORMANCE CLUSTER AND GRID COMPUTING SOLUTIONS FOR SCIENCE*. The University of Texas at Arlington. Pridobljeno od <https://search-proquest-com.ezproxy.lib.ukm.si/pqdtglobal/docview/304824796/fulltextPDF/CAD8467C69284112PQ/1?accountid=28931>
- [48] Kljajić Borštnar, M., & Ilijaš, T. (2019). Assessment of High Performance Computing Services Potential of SMEs. V *42nd International Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics (MIPRO)* (str. 1414–1418). Opatija: IEEE. Pridobljeno od <https://ieeexplore-ieee-org.ezproxy.lib.ukm.si/stamp/stamp.jsp?tp=&number=8756681>
- [49] Kljajić Borštnar, M., & Ilijaš, T. (2019). Preliminarna analiza pripravljenosti malih in srednje velikih podjetij na storitve zelo zmogljivega računalništva. V P. Šprajc, I. Podbregar, D. Maletič, & dr. M. Radovanović (Ur.), *38. mednarodna konferenca o razvoju organizacijskih znanosti-Ekosistem organizacij v dobi digitalizacije: konferenčni zbornik* (str. 419–430). Portorož, Slovenia: Univerzitetna založba Univerze v Mariboru, Slomškova trg 15, 2000 Maribor, Slovenija. doi: 10.18690/978-961-286-250-3.34
- [50] Kljajić Borštnar, M., Ilijaš, T., & Pucihar, A. (2015). ASSESSMENT OF CLOUD HIGH PERFORMANCE COMPUTING POTENTIAL FOR SMES. V L. Zadnik Stirn, J. Žerovnik, M. Kljajić Borštnar, & S. Drobne (Ur.), *Proceedings of the 13th International Symposium on Operational Research SOR 2015* (str. 23–28). Bled, Slovenia. Pridobljeno od <http://fgg-web.fgg.uni-lj.si/~sdrobne/sor/SOR%2715-Proceedings.pdf>
- [51] Kukkamalla, P. K., Bikfalvi, A., & Arbussa, A. (2020). The new BMW: business model innovation transforms an automotive leader. *Journal of Business Strategy*. doi: 10.1108/JBS-02-2020-0021
- [52] Lee, S. M., & Jeong, S. C. (2020). A study on strategy for invigorating utilization of HPC in industry based on business building blocks model. *Nonlinear Theory and Its Applications, IEICE (NOLTA)*, 11(1), 78–89. doi: 10.1587/nolta.11.78
- [53] Liu, P., & Bell, R. (2019). Exploration of the initiation and process of business model innovation of successful Chinese ICT enterprises. *Journal of Entrepreneurship in Emerging Economies*, 11(4), 515–536. doi: 10.1108/JEEE-09-2018-0094
- [54] Lowther, D., Ghorbanian, V., Mohammadi, M. H., & Ibrahim, I. (2020). Design tools for electromagnetic- driven multi-physics systems using high performance computing. *COMPEL – The international journal for computation and mathematics in electrical and electronic engineering*, 39(1), 198–205. doi: 10.1108/COMPEL-06-2019-0234
- [55] Ma, Z. (2019). Business ecosystem modeling- the hybrid of system modeling and ecological modeling: an application of the smart grid. *Energy Informatics*, 2(35), 1–24. doi: 10.1186/s42162-019-0100-4
- [56] Maimbo, H., & Pervan, G. (2005). Designing a Case Study Protocol for application in IS research. V *9th Pacific Asia Conference on Information Systems: I.T. and Value Creation*,

- PACIS 2005 (str. 1281–1292). Pridobljeno od <http://www.pacis-net.org/file/2005/113.pdf>
- [57] MIKELANGELO. (b. d.). MIKELANGELO project – OpenFoam use case. Pridobljeno 9. november 2020., od <https://www.mikelangelo-project.eu/use-cases/openfoam/>
- [58] Misra, G., Kurkure, N., Das, A., Das, S., & Gupta, A. (2011). HPC – A Benediction for Agriculture. V *2011 International Conference on Information Communication and Management* (str. 130–135). Pridobljeno od https://www.researchgate.net/profile/Goldi_Misra/publication/264847357_HPC_-_A_Benediction_for_Agriculture/links/5501cba00cf2d60c0e60ef33.pdf
- [59] Moore, J. F. (1993). Predators and Prey: A New Ecology of Competition. *Harvard Business Review*. Pridobljeno od <https://hbr.org/1993/05/predators-and-prey-a-new-ecology-of-competition>
- [60] Morakanyane, R., Grace, A. A., & O'Reilly, P. (2017). Conceptualizing Digital Transformation in Business Organizations: A Systematic Review of Literature. V A. Pucihar, M. Kljajić Borštnar, C. Kittl, P. Ravesteijn, R. Clarke, & R. Bons (Ur.), *30TH BLED ECONFERECE: DIGITAL TRANSFORMATION – FROM CONNECTING THINGS TO TRANSFORMING OUR LIVES* (str. 427–444). Bled, Slovenia. doi: 10.18690/978-961-286-043-1.30
- [61] Morris, M., Schindehutte, M., & Allen, J. (2005). The entrepreneur's business model: toward a unified perspective. *Journal of Business Research*, 58(6), 726–735. doi: 10.1016/j.jbusres.2003.11.001
- [62] Muller, P., Robin, N., Jessie, W., Schroder, J., Braun, H., Becker, L. S., ... Cooney, T. (2019). *Annual Report on European SMEs 2018/2019*. Pridobljeno od https://ec.europa.eu/growth/smes/sme-strategy/performance-review_en#annual-report
- [63] Osterwalder, A., & Pigneur, Y. (2010). *Business Model Generation*. (T. Clark, Ur.). John Wiley & Sons, Inc. Pridobljeno od https://profesores.virtual.uniandes.edu.co/~isis1404/dokuwiki/lib/exe/fetch.php?media=bibliografia:9_business_model_generation.pdf
- [64] Pérez-Sánchez, H., Fassih, A., Cecilia, J. M., Ali, H. H., & Cannataro, M. (2015). Applications of High Performance Computing in Bioinformatics, Computational Biology and Computational Chemistry. V H. Perez-Sanchez, A. Fassih, J. M. Cecilia, H. H. Ali, & M. Cannataro (Ur.), *International Conference on Bioinformatics and Biomedical Engineering (IWBBIO 2015)* (str. 527–541). Pridobljeno od <http://kt.ijs.si/interno/Proceedings/IWBBIO2015/papers/9044/90440051.pdf>
- [65] PRACE. (b. d.). SHAPE Access For SMEs. Pridobljeno 27. avgust 2020., od <https://prace-ri.eu/prace-for-industry/shape-access-for-smes/>
- [66] PRACE. (2020). Spletna stran združenja PRACE. Pridobljeno 11. april 2020., od <https://prace-ri.eu/about/introduction/>
- [67] Pucihar, A., Kljajić Borštnar, M., Heikkilä, M., Bouwman, H., & de Reuver, M. (2015). Envision Case Study Protocol. Unpublished internal document-Envision project.
- [68] Pucihar, Andreja, Lenart, G., Kljajić Borštnar, M., Vidmar, D., & Marolt, M. (2019). Drivers and Outcomes of Business Model Innovation—Micro, Small and Medium-Sized Enterprises Perspective. *Sustainability*, 11(2). doi: 10.3390/su11020344
- [69] Reaño, C., Prades, J., & Silla, F. (2019). Analyzing the performance/power tradeoff of the rCUDA middleware for future exascale systems. *Journal of Parallel and Distributed Computing*, 132(344–362). doi: 10.1016/j.jpdc.2019.04.021
- [70] Sadiku, M. N. O., Eze, K. G., & Musa, S. M. (2018). High-Throughput Computing. Pridobljeno 4. oktober 2020., od www.researchgate.net/publication/327152859_High-Throughput_Computing
- [71] SLING. (b. d.). Spletna stran slovenske iniciative SLING. Pridobljeno 11. november 2020., od <http://www.sling.si/sling/>
- [72] Solaimani, S., Heikkilä, M., & Bouwman, H. (2018). Business Model Implementation within Networked Enterprises: A Case Study on a Finnish Pharmaceutical Project. *European Management Review*, 15, 79–96. doi: 10.1111/emre.12124
- [73] Souza, A. D., Wortmann, H., Huitema, G., & Velthuisen, H. (2015). A business model design framework for viability; a business ecosystem approach. *Journal of Business Models*, 3(2), 1–29. doi: 10.5278/ojs.jbm.v3i2.1216
- [74] Starc Peceny, U., Urbančič, J., Mokorel, S., Kuralt, V., & Ilijaš, T. (2019). Tourism 4.0: Challenges in Marketing a Paradigm Shift. V *Consumer Behavior and Marketing*. IntechOpen. doi: 10.5772/intechopen.84762
- [75] Sterling, T., Brodowicz, M., & Anderson, M. (2018). *High Performance Computing: Modern Systems and Practices*. Katey Birthcher. Pridobljeno od https://books.google.si/books?id=qOHIBAAQBAJ&pg=PA30&lpg=PA30&dq=Chapter+1+++Introduction++ThomasSterling+Matthew+Anderson+Maciej+Brodowicz&source=bl&ots=rLDCDp-bC3&sig=ACfU3U2A-vX_tE5JaV2hk0ZvvguPTrfp_g&hl=sl&sa=X&ved=2ahUKEwis1or4jOPoAhXQs4sKHSsYAegQ6A
- [76] Teece, D. J. (2010). Business Models, Business Strategy and Innovation. *Long Range Planning*, 43(2–3), 172–194. doi: 10.1016/j.lrp.2009.07.003
- [77] Tian, C., Ray, B. K., Lee, J., & Cao, R. (2008). BEAM: A framework for business ecosystem analysis and modeling. Pridobljeno 3. februar 2021., od https://www.researchgate.net/publication/220353589_BEAM_A_framework_for_business_ecosystem_analysis_and_modeling
- [78] Tomašević, M., Lapuh, L., Stević, Ž., Stanujkić, D., & Karabašević, D. (2020). Evaluation of Criteria for the Implementation of High-Performance Computing (HPC) in Danube Region Countries Using Fuzzy PIPRECIA Method. *Sustainability*, 12(7). doi: 10.3390/su12073017
- [79] Top500. (2020). top500. Pridobljeno 4. oktober 2020., od <https://www.top500.org/lists/top500/2020/06/>
- [80] Univerza v Mariboru. (2019a). HPC RIVR v svetu. Pridobljeno 7. oktober 2020., od <https://www.hpc-rivr.si/hpc-rivr-v-svetu/>
- [81] Univerza v Mariboru. (2019b). Projekt HPC RIVR. Pridobljeno 7. oktober 2020., od <https://www.hpc-rivr.si/>
- [82] Vial, G. (2019). Understanding digital transformation: A review and a research agenda. *The Journal of Strategic Information Systems*, 28(2), 118–144. doi: 10.1016/j.jsis.2019.01.003
- [83] Wang, K., Kulkarni, A., Lang, M., Arnold, D., & Raicu, I. (2016). Exploring the design tradeoffs for extreme-scale high-performance computing system software. *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*, 27(4), 1070–1084. doi: 10.1109/TPDS.2015.2430852
- [84] Westerman, G., Bonnet, D., & McAfee, A. (2014). The Nine Elements of Digital Transformation. Pridobljeno 11. maj 2020., od <https://sloanreview.mit.edu/article/the-nine-elements-of-digital-transformation/>
- [85] Wieringa, R., Engelsman, W., Gordijn, J., & Ionita, D. (2019). A business ecosystem architecture modeling framework. V *21st IEEE Conference on Business Informatics (CBI)* (Let. 1, str. 147–156). IEEE. doi: 10.1109/CBI.2019.00024
- [86] Xie, X., Fang, X., Hu, S., & Wu, D. (2010). Evolution of supercomputers. *Frontiers of Computer Science in China*, 4(4), 428–436. doi: 10.1007/s11704-010-0118-z

- [87] Yin, R. K. (2009). *Case Study Research: Design and Methods*. (L. Bickman & D. J. Rog, Ur.) (Fourth). SAGE Publications, Inc. Pridobljeno od https://books.google.si/books?id=FzawIAiilHkC&pg=PA24&hl=sl&source=gbs_toc_r&cad=3#v=onepage&q&f=false
- [88] Yin, R. K. (2018). *Case Study Research and Applications, Design and Methods* (6. izd.). SAGE Publications.
- [89] Zott, C., Amit, R., & Massa, L. (2011). The business model: Recent developments and future research. *Journal of Management*. doi: 10.1177/0149206311406265

■

Blaž Gašperlin je doktorski študent in mladi raziskovalec na Fakulteti za organizacijske vede, Univerze v Mariboru. Leta 2016 je diplomiral na Fakulteti za elektrotehniko, Univerzi v Ljubljani. Leta 2019 je magistriral na Fakulteti za organizacijske vede. Njegovo raziskovanje je trenutno usmerjeno na področje digitalne preobrazbe in raziskovanje vloge digitalnih tehnologij in podatkov na inoviranje poslovnih modelov v malih in srednje velikih podjetjih. Sodeluje tudi pri organizacijskih aktivnostih priprave Blejske e-konference in se udeležuje domačih in tujih mednarodnih konferenc.

■

Mirjana Kljajić Borštnar je izredna profesorica za področje informacijskih sistemov na Fakulteti za organizacijske vede, Univerze v Mariboru. Njeno raziskovalno delo je usmerjeno v sisteme za podporo odločanju, odkrivanje znanja v podatkih in organizacijsko učenje. Izsledke raziskav objavlja v mednarodnih znanstvenih revijah in konferencah, med drugim Expert Systems with Application, PLOS ONE, Industrial Management & Data Systems, System Dynamics Review. Sodelovala je v več evropskih in domačih projektih. Je sovodja programskega odbora Blejske e-konference in Simpozija o operacijskih raziskavah v Sloveniji ter članica programskih odborov konferenc DSI, DataScience, WorldCist in drugih. V domačem okolju je aktivna kot predstavnica raziskovalnih organizacij v SRIP PMIS za področje HPC & Big Data, članica izvršnega odbora pobude AI4Slovenia in članica uredniškega odbora revije Uporabna informatika.

Iz Islovarja

Islovar je spletni terminološki slovar informatike, ki ga objavlja jezikovna sekcija Slovenskega društva INFORMATIKA na naslovu <http://www.islovar.org>. Slovar je javno dostopen za vpogled in vnašanje novih izrazov.

3D-modeliranje -a s (*angl. 3D modeling*) izdelava 3D-modela z uporabo namenske programske opreme

3D-tiskanje -a tridé s (*angl. 3D-printing*) postopek izdelave tridimenzionalnih predmetov iz digitalnega modela s tiskalnikom; sin. aditivna proizvodnja

digitalno modeliranje -ega -a (*angl. digital modeling and fabrication*) proizvodnja, ki pri 3D-tiskanju uporablja 3D-modeliranje ali računalniško oblikovanje

metapodatki -ov mn. m (*angl. metadata*) podatki o podatkih, o njihovem pomenu, odnosih in lastnostih

modeliranje -a s (*angl. modeling*) postopek izdelave modela

modelirnik -a m (*angl. modeller*) namenska programska oprema, namenjena izdelavi 3D-modelov

podatkovni katalóg -ega -a m (*angl. data catalog*) podatkovni slovar, ki omogoča iskanje in poizvedovanje

podatkovni modél -ega -a m (*angl. data model*) model, ki opisuje entitete in povezave med njimi v računalniški obdelavi podatkov

podatkovni slovár -ega -rja m (*angl. data dictionary*) zbirka, ki vsebuje metapodatke

simulácija -e ž (*angl. simulation*)

1. ponazoritev delovanja sistema, 2. izvajanje eksperimenta z modelom

simulácijski modél -ega -a m (*angl. simulation model*) model, na katerega vpliva simulacijsko okolje in je namenjen uporabi v simulaciji

umestítev -tve ž (*angl. deployment*) izdaja, namestitev in prilagoditev programske rešitve za delovanje v produkcijskem okolju; sin. postavitev, uvedba; prim. vzpostavitev

vzpostavítev -tve ž (*angl. implementation*) uresničitev podrobnega načrta razvoja računalniškega programa ali informacijskega sistema, namestitev in uvedba v uporabo programja in podatkov, usposobitev uporabnikov; sin. implementacija, izvedba; prim. umestitev

Izpitni centri ECDL

ECDL (European Computer Driving License), ki ga v Sloveniji imenujemo evropsko računalniško spričevalo, je standardni program usposabljanja uporabnikov, ki da zaposlenim potrebno znanje za delo s standardnimi računalniškimi programi na informatiziranem delovnem mestu, delodajalcem pa pomeni dokazilo o usposobljenosti. V Evropi je za uvajanje, usposabljanje in nadzor izvajanja ECDL pooblaščen ustanova ECDL Foundation, v Sloveniji pa je kot član CEPIS (Council of European Professional Informatics) to pravico pridobilo Slovensko društvo INFORMATIKA. V državah Evropske unije so pri uvajanju ECDL močno angažirane srednje in visoke šole, aktivni pa so tudi različni vladni resorji. Posebno pomembno je, da velja spričevalo v 148 državah, ki so vključene v program ECDL. Doslej je bilo v svetu izdanih že več kot 11,6 milijona indeksov, v Sloveniji več kot 17.000, in podeljenih več kot 11.000 spričeval. Za izpitne centre v Sloveniji je usposobljenih osem organizacij, katerih logotipe objavljamo.



Strokovni prispevki

Matija Lokar, Maja Mujkič

RAČUNALNIŠKO TEKMOVANJE PIŠEK – OBLIKA VZPODBUJANJE
UČENJA PROGRAMIRANJA ZA VSE

Mateja Bevčič, Jože Rugelj

CODING4GIRLS - PRISTOP ZA UČENJE PROGRAMIRANJA
S SNOVANJEM IGER

Kratki znanstveni prispevki

Žiga Pušnik, Miha Moškon

INTEGRACIJA STRUKTURNIH OMEJITEV PRI IZPELJAVI
GENSKO REGULATORNIH OMREŽIJ

Znanstveni prispevki

Alenka Kavčič, Bojana Boh Podgornik, Ciril Bohak, Katja Depolli Steiner,
Alenka Gril, Aleš Hladnik, Vid Klopčič, Luka Komidar, Žiga Lesar,
Matija Marolt, Sonja Pečjak, Matevž Pesek, Tina Pirc, Anja Podlesek,
Melita Puklek Levpušček, Cirila Peklaj

€-UČNO OKOLJE Z OPORAMI ZA SAMOREGULACIJO UČENJA

Blaž Gašperlin, Mirjana Kljajič Borštnar

VPLIV UPORABE VISOKOZMOGLJIVEGA RAČUNALNIŠTVA
V OBLAKU NA INOVIRANJE POSLOVNIH MODELOV

Informacije

IZ ISLOVARJA

ISSN 1318-1882



9 771318 188001

