

Implementacija strategije pred-učenja u prirodoznanstvenom obrazovanju

Snježana Smerdel

Prirodoslovno-matematički fakultet Sveučilišta u Splitu

Poslijediplomski sveučilišni studij: *Istraživanje u edukaciji u području prirodnih i tehničkih znanosti - usmjerenje Kemija*,
Split, Hrvatska
ssmerdel@gmail.com

Sažetak - Nastavni sadržaji trebaju biti dostupni učenicima na takav način da se maksimalno omogući smisleno učenje. Stvarno razumijevanje sadržaja ne zahtijeva samo razumijevanje ključnih koncepata već i uspostavljanje smislenih veza za dovođenje tih koncepata u koherentnu cjelinu sa znanjem koje već postoji u učenikovo svijesti. Prema teoriji kognitivnog opterećenja, učenje je ograničeno kapacitetom radne memorije koja treba smjestiti primljene informacije i istovremeno, imati dovoljno prostora za njihovu obradu kako bi se mogle stvoriti vlastite strukture znanja u dugoročnoj memoriji. Preopterećenje radne memorije, kao posljedica učenja većeg broja informacija ili usvojenih metoda poučavanja i ispitivanja, otežava učinkovito zadržavanje informacija. U smislu smanjenja opterećenja radne memorije i postizanja smislenog učenja, u radu se iznosi pregled teorijske utemeljenosti i znanstvenih istraživanja implementacije različitih oblika pred-predavanja i pred-laboratorija u prirodoznanstvenom obrazovanju na srednjoškolskoj i visokoškolskoj razini. Navode se rezultati istraživanja koji ukazuju da sustavna i metodički korektna implementacija dodatnog materijala za pred-učenje može značajno doprinijeti unaprjeđenju poučavanja i učenja.

Ključne riječi - pred-laboratorij, pred-predavanje, smisleno učenje, strategija pred-učenja, teorija kognitivnog opterećenja.

I. UVOD

Glavni je cilj prirodoslovnoga odgoja i obrazovanja uspostaviti prirodoznanstveno opismenjeno društvo. Pojedinaac je prirodoznanstveno opismenjen ako razumije i usvoji potrebu cjeloživotnoga obrazovanja, ako usvoji znanstveni koncept, metode, postupke i načela u donošenju odluka te usmjeri znanje i vještine stečene obrazovanjem na stvaralačko rješavanje problema [1]. Kemija, kao jedna od najvažnijih prirodnih znanosti, omogućuje učenicima da razumiju što se oko njih događa, ali, zbog mnogih apstraktnih pojmova i sadržaja matematičke prirode, učenici je često smatraju teškim školskim predmetom [2]. Kristine [3] navodi da činjenični materijal, matematički izračuni i teorija kao moderna kemijska znanja čine kemiju jednim od intelektualno najzahtjevnijih predmeta na sveučilištu ili u srednjoškolskom kurikulumu. Prema Johnstone [4], sama priroda znanosti čini kemiju

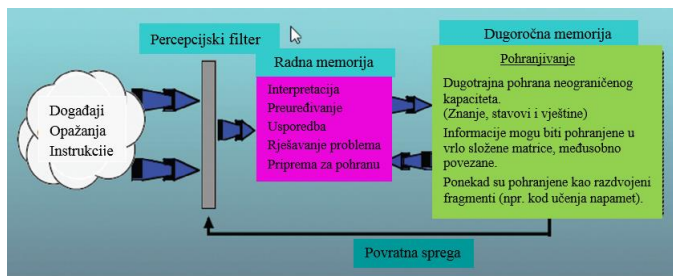
nedostupnom, ali poteškoće potiču i metode kojima tradicionalno poučavamo kao i metode kojima učenici uče.

Stvarno razumijevanje nastavnog sadržaja ne zahtijeva samo razumijevanje ključnih koncepata, već i uspostavljanje smislenih veza za dovođenje tih koncepata u koherentnu cjelinu sa znanjem koje već postoji u učenikovo svijesti. Učenici ne dolaze na nastavu s praznim glavama, miskonepti će se svakako dogoditi. To je u prirodi pojedinca, a proces učenja će uključivati izmjenu ili promjenu prethodno usvojenih ideja. Učenici će moći razviti smislenije ideje ako su pojmovi u praksi pažljivo razrađeni i ako su izgrađeni jezik i misaoni obrasci za pristupanje pojmovima iz nekoliko smjerova [2]. Rezultati brojnih istraživanja u posljednjih nekoliko desetljeća ukazali su na pet glavnih područja poteškoća u učenju kemije i ostalih prirodoznanstvenih predmeta među kojima postoje preklapanja: (a) sadržaj nastavnog plana i programa, (b) radna memorija, (c) jezik i komunikacija, (d) stvaranje koncepata i (e) motivacija. Johnstone je možda prvi prepoznao kapacitet radne memorije kao ključnog činitelja za poteškoće u učenju [5]-[9].

II. RADNA MEMORIJA I MODEL OBRADJE INFORMACIJA

Tijekom protekla dva desetljeća provedena su mnoga istraživanja o tome kako ljudi uče s obzirom na kognitivni kapacitet, odnosno *Teoriju kognitivnog opterećenja* (engl. *Cognitive Load Theory*, CLT) [10] prema kojoj su obrada informacija i izgradnja znanja ograničeni kapacitetom radne memorije. U određenom vremenu, samo će mala količina informacija biti obrađena ili sačuvana u radnoj memoriji dok prekomjerni zahtjevi rezultiraju preopterećenjem koje može otežati učinkovito zadržavanje informacija [11]. Radna memorija je onaj dio mozga gdje se informacije privremeno zadržavaju, gdje radimo na njima i organiziramo ih u cilju postizanja razumijevanja [12]. Model obrade informacija na Slici 1. pokazuje da se nove informacije prvo moraju percipirati, zatim biti obrađene u radnoj memoriji te asimilirati u dugoročnu memoriju [9], [13]. Prema Johnstone [9],

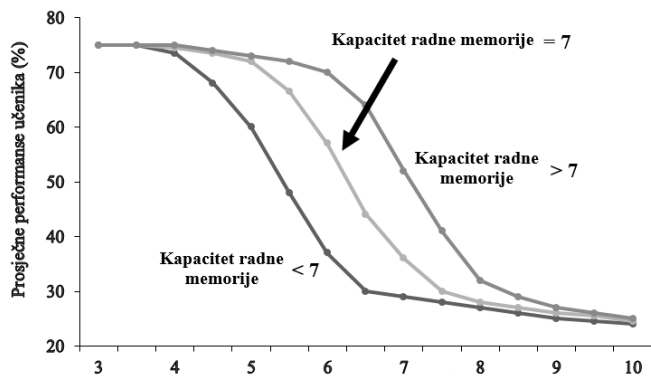
informacije sačuvane u dugoročnoj memoriji od presudne su važnosti za učenje novog materijala.



Slika 1. Model obrade informacija (prilagođeno prema [14], Fig. 2., p. 103)

Percepcijski filter kontrolira ono što se sprema u dugoročnu memoriju, a njegovo je djelovanje određeno dosadašnjim iskustvima, znanjem, interesima i miskoncepcijama [18]. Štoviše, ako taj filter radi na učinkovit način, opterećenje radne memorije je manje vjerojatno tako da više prostora može biti na raspolaganju za obradu novih informacija.

Opterećenje radne memorije definira se kao broj informacija koje učenik mora sačuvati kako bi uspješno obavio zadatak [8], [14]. Kapacitet radne memorije, genetski određen, za odraslu osobu prosječno iznosi sedam dijelova informacija, kod većine osoba između šest i osam [15]. Također, radna memorija ne samo da treba smjestiti primljene informacije, već istovremeno mora imati i dovoljno prostora za njihovu obradu. Zadržavanje i obrada informacija imaju izravan odnos s ograničenim kapacitetom radne memorije. Iz Slike 2. jasno je da kada zahtjevi premašuju kapacitet radne memorije, performanse u smislu razumijevanja naglo opadaju.



Slika 2. Povećanjem informacijskog opterećenja učeničke performanse opadaju (prilagođeno prema [14], Fig. 1., p. 102)

Prekoračeni kapacitet radne memorije ne ostavlja prostor za razmišljanje i organizaciju što rezultira kognitivnim preopterećenjem pri čemu se odvija pogrešno učenje ili se učenje uopće ne odvija [7], [14].

Primanje novih informacija u naš um je selektivan proces. Stručnjak, na temelju predznanja i iskustva, organizira primljene informacije i izdvaja ono što je važno ili zanimljivo dok početnik, zbog nedostatka shema za ugrađivanje novih ideja, prihvaća sve informacije [14]. Dakle, radna memorija nastavnika već je organizirana što nije slučaj kod učenika. U situacijama učenja većeg broja informacija učenici imaju poteškoća pri izdvajanju važnih informacija od drugih manje važnih. Svaki učenik mora analizirati primljene informacije i organizirati ih za sebe. Bez tih aktivnih procesa on pribjegava formulacijama nastavnika što svakako završava učenjem napamet i ne jamči razumijevanje. Preopterećenje radne memorije najčešće je posljedica usvojenih metoda poučavanja i ispitivanja [7]. Ključni aspekt ovdje je sposobnost nastavnika za pedagoško rasuđivanje i djelovanje. Hillocks [16] tvrdi da postoji prepoznatljivo pedagoško znanje koje identificira „dobre nastavnike“. Takvi nastavnici, osim predmetnog znanja, imaju sposobnost da transformiranjem i prezentiranjem sadržaja podrže učenike u izgradnji vlastitog znanja i pruže im mogućnost za konstruktivan proces učenja [17]. Suočeni s novim i često konceptualno složenim materijalom učenici trebaju razviti vještine organiziranja informacija tako da prostor radne memorije ne bude preopterećen [2].

Cilj nastavnika na svim obrazovnim razinama je učiniti sadržaje dostupne učenicima na takav način da se maksimalno omogućiti smislenu učenje za što je potrebno izbjegavati preopterećenje radne memorije. Kapacitet radne memorije ne može se povećati, ali se opterećenje može smanjiti tako da više prostora ostane dostupno za obradu novih informacija [14]. Jedan od najvećih problema je što učenici još uvijek nemaju iskustva u strategijama za smanjenje opterećenja radne memorije [6]. Miller [15] predlaže ideju "komadanja" (engl. *chunking*) kao procesa organiziranja većeg broja informacija u koherentnu cjelinu čime ih radna memorija vidi kao jedan "komad" informacija. Veličina i broj „komada“ uočenih u nekoj situaciji ovisi o znanju osoba (stručnjak ili početnik). Nastavnik, za razliku od učenika, već ima strategije za prikupljanje pojava u manji broj značajnih jedinica. Učenicima to nije lako naučiti, ali je moguće informacije prezentirati na takav način da se potrebne vještine kod učenika lakše razvijaju.

Dakle, kako bi se smanjilo opterećenje radne memorije učenicima treba pružiti nekoliko puteva do smislenog učenja, čime im se omogućuje da razviju svoje vlastite strategije učenja. Sposobnost razvijanja strategija za borbu s opterećenjem informacijama uvelike ovisi o konceptualnom okviru uspostavljenom u dugoročnoj memoriji. Učenici se unutar "bučnog" okruženja (nebitne informacije) moraju usredotočiti na određeni zadatak i u okviru toga odabrati određene informacije koje su za njih relevantne, što je ključna strategija za učinkovito učenje. Visoko konceptualno

razumijevanje će učenicima omogućiti odvajanje bitnog od nebitnog što također smanjuje opterećenje informacijama [2]. Učenici bez predznanja moraju koristiti značajan dio ograničenog kapaciteta radne memorije za prihvatanje novih pojmova dok učenici s predznanjem mogu napredovati povezivanjem novih informacija s postojećim znanjem. Istraživanja su potvrdila da postoji značajna razlika u postignućima na ispitima iz kemije između studenata koji su imali i onih koji nisu imali neko prethodno znanje [19]. Mnogi učenici dolaze u razred zbunjeni pogrešnim idejama ili čak potpuno bez predznanja. Vrlo je bitno da nastavnici znaju kakvo je predznanje učenika i kako su došli do stečenog znanja. Jedna od učinkovitih strategija za rješavanje ovog problema može biti osiguravanje materijala za učenje prije samog predavanja s ciljem smanjenja kognitivnog opterećenja tijekom predavanja.

III. PRIPREMA UMA ZA UČENJE

Ideju kako treba pripremiti um za učenje prvi je razvio Ausubel 1968. godine [20] dok je Johnstone taj prediktivni model razvio u specifični kontekst obrazovanja čija primjena može postati praktična stvarnost, što posebno donosi korist onima koji su u nepovoljnom položaju zbog nedostatka predznanja. U njegovom skupu obrazovnih načela (poznatih kao "Deset zapovijedi") sljedeće su izjave: "Ono što ste naučili kontrolira ono što već znate." i "Ako je učenje smisleno može se nadovezati na postojeće znanje i vještine, čime ih obogaćuje i proširuje." [9]. S obzirom na to da učenici dolaze na nastavu s različitim rasponom predznanja, ponekad s nepotpunim ili netočnim razumijevanjem koncepata ili s idejama koje je teško dohvatiti iz dugoročne memorije, ova opća načela nije lako staviti u praksu. Kada su potrebna znanja i vještine prisutni u umu učenika, važno je prepoznati jesu li dostupni u vrijeme kada se prezentira novi materijal. Također, novi materijal mora biti prezentiran u skladu s načinom na koji su prethodna znanja i vještine pohranjeni u dugoročnu memoriju.

U svakom slučaju, navedena načela pokrivaju ideju o uvođenju pred-predavanja kao skupu aktivnosti koje se provode prije predavanja, osmišljene da osiguraju dostupna temeljna znanja i razumijevanje tako da se nova učenja mogu graditi na ispravnim temeljima [21], [22]. Aktivnosti pred-predavanja mogu olakšati učenje na tri načina. Prvo, učenici upoznaju osnovne pojmove prije predavanja što im može pomoći prepoznati miskoncepte i aktivirati predznanje. Drugo, predavači mogu uključiti pitanja iz pred-predavanja u samo predavanje i dati odgovore kroz otvorenu raspravu. I konačno, vjerojatnije je da će učenici sudjelovati ako su upoznati s materijalom i osjećaju se sigurni u svoje razumijevanje. Stoga, aktivnosti pred-predavanja pomažu u pripremama za predavanja i pružaju osnovu za interaktivno učenje bez utjecaja na količinu nastavnog sadržaja koji se mora obraditi tijekom predavanja [23]. Uporaba pred-predavanja pokazala se kao učinkovit način pripreme uma učenika, pogotovo onih čija su temeljna znanja i iskustva nedovoljna, jer im se pomaže

usredotočiti pažnju na nove informacije i povezati ih s njihovim predznanjem. Slijedom toga, strategija pred-predavanja koristi se s pretpostavkom da, ako učenici znaju više o temi lakše će prepoznati i usredotočiti se na relevantne informacije [21]. Ideje pred-predavanja i pred-laboratorija, kao vrlo učinkovite prakse, detaljno su istražene na visokoškolskoj razini [3], [9], [19], [21]-[32], [38]. Paralelna iskustva na razini srednje škole u znatno su manjem broju, ali također od vitalnog značaja [14], [18], [33]-[35].

IV. ISTRAŽIVANJA IMPLEMENTACIJE AKTIVNOSTI PRED-PREDAVANJA

Različiti oblici pred-predavanja osmišljeni su prvenstveno za načelo u kojemu se navodi da učenje ovisi o prethodnom znanju. Kristine [3] je pred-predavanja uveo kod studenata kemije tijekom jednog semestra. Rezultati završnog upitnika pokazali su da studenti smatraju zadatke korisnima za učenje, da stimuliraju njihovo sudjelovanje u nastavi i olakšavaju aktivno uključivanje u zadatke rješavanja problema.

Značajne studije u ovom području provedene su za situacije u kojima su studenti imali raznoliku paletu prethodnog znanja o kemiji. Na temelju znanja i razumijevanja iskazanog kratkim testom studenti su organizirani u parove ili tročlane grupe. Glavni dio pred-predavanja uključivao je grupni rad studenata s nizom kratkih vježbi za poticanje rasprave kojima su studenti mogli pomoći svojim kolegama sa slabijim predznanjem. Za istraživanje učinka nove nastavne strategije studenti su podijeljeni u dvije grupe prema razini predznanja. Provedeni testovi znanja su pokazali da, tijekom dvije godine kada su pred-predavanja bila u uporabi, ne postoji značajna razlika između grupa dok, nakon prekida primjene pred-predavanja, razlika u znanju postaje značajna [21], [22].

Iz modela obrade informacija (Sl. 1.) vidljivo je da učenici i studenti u memoriji moraju imati predznanje u aktivnom obliku tako da se mogu usredotočiti na obradu podataka i stvoriti vlastite strukture znanja u dugoročnoj memoriji. Nastavnici smatraju da su primjenom pred-predavanja više saznali o načinima kako učenici razmišljaju i rješavaju probleme te da su pronašli novi i zanimljiviji način predavanja kojim mogu bolje odgovoriti na kognitivne izazove teških pojmova za učenike. Također su primijetili da nije uvijek lako izraditi dobre i nedvosmislene zadatke za pred-predavanja. To zahtijeva stalni kritički osvrt na iskustva i sadržaj kao i interakcije s učenicima ili studentima i kolegama. Korištenje pred-predavanja dovelo je do aktivnijeg sudjelovanja u procesu učenja, studenti su proveli više vremena proučavajući nastavne materijale nego ranije i poboljšali su im se rezultati učenja. Pred-predavanja su stvorila okruženje za učenje gdje predavači imaju mogućnost davati redovite povratne informacije kao jedan od najvažnijih elemenata u poboljšanju učenja, a studenti imaju pozitivan stav prema njihovoj uporabi i postaju motivirani za vlastito istraživanje koncepata i promatranje nastavnog materijala iz različitih perspektiva [28].

Studije o primjeni pred-predavanja u nastavi biologije provedene su uglavnom na visokoškolskoj razini. Rezultati su konzistentni s rezultatima primjene u nastavi ostalih prirodosnanstvenih predmeta, što znači da se povećava sudjelovanje studenata na predavanjima i olakšava njihovo interaktivno učenje [27]. U studijama s programom prema metodologiji za kemiju Sirhana i sur. [22] rezultati su također upućivali da pred-predavanja omogućuju studentima s različitim predznanjem da uče zajedno na istoj razini [29]. Isto tako, istraživanja su pokazala jako dobru prihvaćenost pred-predavanja jer većina studenata smatra kako su im pomogla u razumijevanju nastavnog materijala [31].

Novijim istraživanjima utvrđeno je da primjena pred-predavanja dovodi i do poboljšanja razumijevanja u nastavi matematike na srednjoškolskoj razini. Alam je razvio dvadeset pred-predavanja (konceptualno znanje) za ključne teme prema udžbeniku sa isto toliko post-testova bez promjena u sadržaju nastavnog plana i programa. Analiza rezultata post-testa, osmišljenoga za ispitivanje učinkovitosti nove metodologije, pokazala je značajno poboljšanje i kod proceduralnoga znanja [14]. Rezultati su konzistentni sa sličnim istraživanjima u vrlo različitim kontekstima [18], [22], [24], [33], [38] budući da ukazuju na izvanredan napredak u razumijevanju smanjenjem opterećenja radne memorije.

V. ISTRAŽIVANJA IMPLEMENTACIJE AKTIVNOSTI PRED-LABORATORIJA

Laboratorijska iskustva su tradicionalno bitna komponenta svake prirodosnanstvene nastave. Laboratorij obrazuje polaznike u znanstvenim vještinama i postupcima i daje im mogućnost da iskuse znanstvena načela u praksi [36]. Očekivanjem od učenika da se uključe u laboratorijske aktivnosti bez nekog oblika prethodne pripreme može dovesti do toga da se osjećaju nesigurno i rezultirati prilično lošim razumijevanjem onoga što se događa. Učenici često imaju poteškoća u izračunima relevantnim za eksperiment i u pisanju laboratorijskih izvještaja, što može učiniti laboratorijsko iskustvo manje idealnim i dovesti do razvoja negativnih stavova.

Pred-laboratorijske vježbe mogu se koristiti za podsjećanje učenika na ideje koje su zaboravili ili za razvijanje ideja koje tek treba poučavati. Istraživanje literature otkriva nekoliko vrsta pred-laboratorijskih aktivnosti: (a) čitanje laboratorijskog priručnika prije početka eksperimentalnog rada, (b) rješavanje teorijskih problema koji se odnose na eksperiment prije dolaska u laboratorij, (c) računalne simulacije eksperimenata, (d) kratki razgovor o najvažnijim točkama eksperimenata u prvih pola sata rada i (e) razumijevanje audiovizualne pripreme [18]. Konvencionalni način pripreme učenika za rad u laboratoriju jest da ih se potakne na čitanje laboratorijskih priručnika, ali taj postupak svojim mnoštvom informacija obično preopterećuje radnu memoriju. S druge strane, samo mali broj učenika pokušava čitati i razumjeti priručnik prije

ulaska u laboratorij. Kako je dokazano da pred-laboratorij poboljšava razumijevanje učenika za rad u kemijskom laboratoriju [34], korisno je da se uključe u neki oblik aktivnosti koji će im omogućiti da razmisle o tome što će se dogoditi i da provjere informacije za koje nisu sigurni. Priprema učenika prije početka praktičnog rada treba povećati njihovo razumijevanje onoga što rade s namjerom izbjegavanja scenarija „kuharice“ ili „praćenja recepta“ [18].

Prije tridesetak godina Bond i sur. [37] opisali su pred-laboratorij kao aktivnost koja se može obavljati u prvom dijelu laboratorijske vježbe ili prije planiranog rada. Korišteni pristup je bio u obliku pismenih zadataka za koje su učenici odgovore izvodili iz priručnika i udžbenika. Drugi način za izlaganje učenika laboratorijskim aktivnostima, prije i za vrijeme laboratorijskog rada, bio je korištenjem medija kao što su video-kazete i dijapozitivi. Tada su sloveli kao vrlo popularni proizvodi, jeftini za pripremu i odgovarali su bilo kojem nastavniku ili razredu. Prednosti takvih medija su bili višestruki, materijal se mogao ostaviti u knjižnicama ili drugim lako dostupnim mjestima, svi učenici dobivali su iste podatke, materijali su mogli biti postavljeni u laboratoriju za ponovno prikazivanje učenicima te posebni postupci ili tehnike mogli su biti prikazani u dostupnim formatima, primjerice, postupci izbliza koji se teško mogu pokazati velikim grupama učenika u laboratoriju [35].

Rezultati novijih istraživanja ukazuju da primjena pred-laboratorijskih aktivnosti značajno pomaže poboljšati razumijevanje fizikalnog praktičnog rada učenicima i studentima i unaprijediti njihove performanse za izvođenje post-laboratorijskih aktivnosti. Analizom upitnika o stavovima utvrđeno je znatno povećanje pozitivnih stavova prema radu u fizikalnom laboratoriju [18], [38].

Za istraživanje učinka pred-laboratorijskih aktivnosti u nastavi fizike u srednjoj školi, Safdar [33] je za 20 eksperimenata razvio radne listove osmišljene po pitanjima: (a) što učiniti? (b) kako se to radi? (c) što će se mjeriti? (d) što trebam znati prije nego što sam počeo raditi? (prema [38]). Takvim aktivnostima se kod učenika nastojalo razvijati znanstveni stav, moć opažanja, smisao istraživanja i refleksivno razmišljanje, a rezultati su pokazali znatni napredak u razumijevanju teorijskog i praktičnog dijela nastave fizike. Provođenjem sličnog istraživanja nekoliko godina kasnije, autor je potvrdio svoje rezultate, ali je zaključio da u eksperimentalnoj grupi, koja je provodila pred-laboratorijske aktivnosti, neki učenici nauče više, a neki manje. To nas dovodi do ideje o različitim stilovima učenja kod učenika koje je potrebno istražiti u budućnosti [33], [35]. Zaman i sur. [34] su provođenjem paralelnog istraživanja na dječacima i djevojčicama kao ispitanicima došli do zaključka da aktivnosti pred-laboratorija imaju snažniji učinak na poboljšanje akademskog uspjeha dječaka. Dobiveni rezultati konzistentni su s učinkom primjene pred-laboratorijskih aktivnosti u kemijskom laboratoriju dodiplomskog studija [24].

Napretkom informacijsko-komunikacijskih tehnologija (IKT) e-učenje postaje paradigma modernog obrazovanja i sve je veća potražnja obrazovnih ustanova za ovim oblikom obrazovanja. Za prirodnoznastvene predmete na srednjoškolskoj i visokoškolskoj razini mogu se primijeniti i modeli pred-predavanja i pred-laboratorija u virtualnom okruženju za učenje (engl. *Virtual Learning Environment*, VLE).

VI. STRATEGIJA PRED-UČENJA U VIRTUALNOM OKRUŽENJU ZA UČENJE

Primjena suvremenih informacijsko-komunikacijskih tehnologija (IKT) postala je neizbježna u svim životnim područjima pa tako i u procesu učenja [39]. Europski parlament dao je 2006. godine *Preporuku o kompetencijama za cjeloživotno učenje* u kojima se navodi osam ključnih kompetencija, uključujući i digitalnu kompetenciju [40]. Nacionalni okvirni kurikulum predvidio je sustavno obrađivanje međupredmetne teme *Uporaba informacijske i komunikacijske tehnologije* kroz sadržaje svih predmeta. Kao najsuvremenije dostupno nastavno sredstvo i pomagalo, IKT pridonosi razvoju učeničkih sposobnosti samostalnoga učenja i suradnje s drugima te njihovih komunikacijskih sposobnosti, razvoju pozitivnog odnosa prema učenju, unaprijeđenju načina na koji učenici prikazuju svoj rad te njihovim pristupima rješavanju problema i istraživanju [1]. Primjenu IKT-a radi poboljšanja kvalitete učenja većina autora naziva e-učenje. Novije definicije e-učenja naglašavaju suradnju i interakciju s drugim polaznicima i predavačima preko računalnih mreža i digitalnih uređaja [41]. Kako bi e-učenje bilo što učinkovitije, prilikom njegove implementacije treba uzeti u obzir tri teze: (1) korisno je kada se temelji na novim filozofijama učenja i poučavanja, (2) treba biti integrirano u postojeću kulturu poučavanja određene organizacije što se najlakše postiže integriranim pristupom kao što je hibridno učenje i (3) važnija je primjena strategija usmjerenih na učenika umjesto strategija vođenih tehnologijom [39].

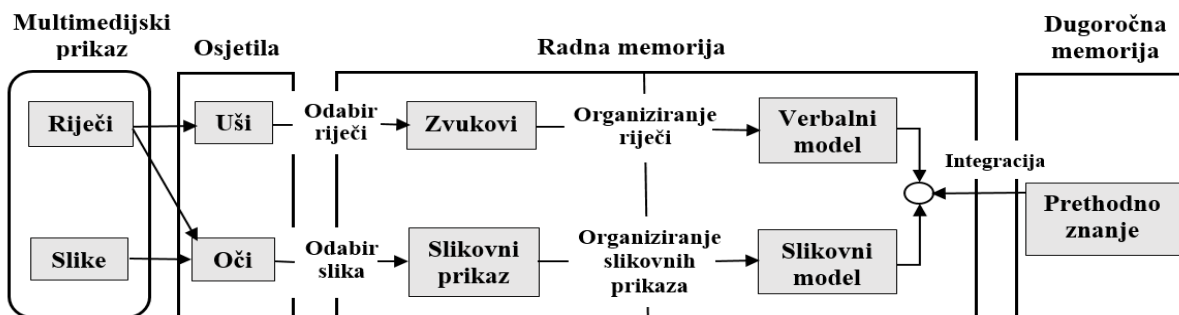
Zbog čega praktičari uključuju bilo kakvu tehnologiju u svoje poučavanje? Razlog za to može biti u pedagoškoj osnovi učenja poboljšanog tehnologijom, odnosno u vrijednosti koju će imati u poučavanju ili olakšavanju učenja. Odluka o tome je li dani pristup koristan vjerojatno će ovisiti o praktičarevom scenariju poučavanja, a možda i o njegovom području rada. Drugo važno razmatranje jest okvir za dizajn, razvoj i implementaciju multimedijjskih i e-izvora. Izum *Svjetske internetske mreže* (engl. *World Wide Web*, WWW), 1992. godine, povećao je dostupnost e-obrazovanja i omogućio nastajanje novih pedagoških modela. Budući da je WWW jednostavan za korištenje i sposoban predstavljati multimediju, proširio se raspon disciplina koje mogu biti ponuđene na internetu [42]. Multimedija u procesu učenja i poučavanja može uključivati različite elemente (tekst, slike, glas, glazbu, ppt prezentacije, elektroničke elemente) koji su međusobno

povezani i podržani informacijsko-komunikacijskom tehnologijom. Tehnologija u prirodnoznastvenom obrazovanju nije uvijek bila dobro primljena što pokazuje i anketa provedena 2008. godine među studentima u Velikoj Britaniji kada je e-učenje bilo najniže rangirano od svih nastavnih metoda. Nepopularnost digitalnih sadržaja može se povećati implementacijom materijala lošeg dizajna ili onog koji je slabo usmjeren na ciljeve učenja [43].

Kako bismo bolje razumjeli na koji način kreirati kvalitetne nastavne materijale, potrebno je upoznati kognitivne procese učenja predstavljene kognitivnim modelom pamćenja. Na kognitivne procese uključene u učenje s multimedijjskim izvorima odnosi se *Kognitivna teorija multimedijjskog učenja* (engl. *Cognitive Theory of Multimedia Learning*, CTML) zasnovana na tri glavne pretpostavke. *Pretpostavka dvostrukog kanala* (engl. *Dual Channel Assumption*) sugerira da ljudi imaju odvojene kanale za primanje i obradu informacija, jedan za verbalne, drugi za vizualne informacije. U području vida informacije se zadržavaju približno 0,5 sekundi, a u području sluha oko 2 sekunde tako da pružanje informacija istovremeno kroz oba kanala može biti prednost za njihovo kodiranje i dohvat. *Pretpostavka ograničenog kapaciteta* (engl. *Limited Capacity Assumption*) upućuje da svaki kanal obrade ima ograničen kapacitet te da radna memorija učenika može zadržati samo mali broj riječi ili slika u danom momentu. I konačno, *Pretpostavka aktivne obrade* (engl. *Active Processing Assumption*) prema kojoj ljudi nisu pasivni primatelji nastavnog sadržaja, već moraju aktivno sudjelovati u obradi izgrađujući tako točan misaoni model novih pojmova [11].

Bolje razumijevanje i zapamćivanje primjenom multimedije može se postići ako postoji učenikova samostalna aktivnost tijekom učenja. Na Slici 3. mogu se uočiti tri aktivna kognitivna procesa potrebna za smisljeno učenje: (1) odabir riječi i slika, (2) organiziranje riječi i slika u koherentne misaone prikaze pri čemu se reducira količina informacija koju treba pohraniti i (3) integracija verbalnog i slikovnog prikaza s postojećim znanjem iz dugoročne memorije [41].

Dizajni multimedijjskih materijala za učenje u kontekstu teorije kognitivnog opterećenja opisani su od raznih istraživača [41], [44]-[46]. Izradu multimedijjskih materijala za učenje treba razmatrati u kontekstu tri vrste kognitivnih opterećenja. Unutarnje (engl. *intrinsic*) opterećenje uzrokovano je nepoznavanjem i/ili složenosti materijala što ovisi o razini stručnosti učenika odnosno mjeri njihovog predznanja. Irelevantno (engl. *extraneous*) opterećenje ovisi o kvaliteti i prirodi nastavnih materijala. Loši materijali kao i oni koji zahtijevaju veliku količinu radne memorije povećat će opterećenje i ostaviti malo kapaciteta za učenje. Relevantno (engl. *germane*) opterećenje odnosi se na mentalni napor potreban za učenje. Zbog ograničenog kapaciteta radne memorije, relevantno opterećenje (stupanj učenja) ovisi o



Slika 3. Kognitivna teorija multimedijnskog učenja (prilagođeno prema [41], Fig. 2.1., p. 36)

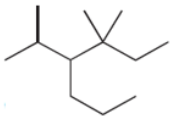
opsegu irelevantnog (nastavni materijal) i unutarnjeg opterećenja (predznanje učenika). Stručnjak je u stanju izvući informacije iz prethodnog znanja i osloboditi kapacitet radne memorije za obradu nastavnog sadržaja. Ukratko, informacije treba prikazati vizualnim i verbalnim kanalima kako bi se maksimalno iskoristila percepcija učenika ("načelo modaliteta"), a međusobno zavisne informacije treba vremenski sinkronizirati i prikazati jedne blizu drugima ("načelo blizine") [19]. Razvoj elektroničkih pred-predavanja prema načelima kognitivne teorije multimedijnskog učenja može se koristiti za smanjenje opterećenja radne memorije učenika početnika. U prirodnoznanstvenom području njihova implementacija je najviše istražena u kemiji [26], [47], [19] i u fizici [30], [48].

Priprema učenika za predavanja minimalno bi trebala uključivati čitanje odgovarajućeg materijala u udžbeniku. Prema iskustvu, to je teško potaknuti, a isto tako, istraživanja pokazuju da učenici imaju poteškoća pri učenju iz udžbenika. Pristup pripremama za predavanja pomoću online pred-predavanja *HWeb* razvijen je upravo zbog percepcije da studenti ne koriste udžbenik učinkovito i da će oni sa slabijim uspjehom uvelike imati koristi od strukturiranog pristupa čitanju udžbenika. Tako stečeno temeljno znanje moglo se koristiti na predavanju za ilustraciju koncepata i pristupe rješavanju problema umjesto za isključivi prijenos znanja. Studenti su tijekom predavanja popunjavali nepotpune predloške ("kostur" bilješke) čime su izbjegnute moguće greške pri prepisivanju bilješki, a više su se bavili nastavnim materijalom i predavanjima. Svako *HWeb* pred-predavanje sastojalo se od tri pitanja višestrukog izbora povezana sa zadatkom čitanja u udžbeniku. Težina pitanja bila je u rasponu od jednostavnog prepoznavanja pojma prema naprednijim problemima sinteze koji zahtijevaju opširnije i kumulativno znanje o materijalu (Sl. 4.). Treba napomenuti da, iako su ta pitanja jednostavna kada postoje iskustva s pojmovima, u ovom slučaju ključni pojmovi nisu bili poznati studentima prije dodjele *HWeb-a*. Oko 66% studenata složilo se s tvrdnjom da im *HWeb* zadaci pomažu unaprijediti korištenje udžbenika i razumjeti predavanja što je dovelo i do poboljšanja uspjeha [26].

HWeb

Pitanje 1. Koje je ispravno IUPAC ime sljedećeg spoja?

1. 2,4,4-trimetil-3-propilheksan
2. 4-propil-3,3,5-trimetilheksan
3. 4-izopropil-3,3-dimetilheptan
4. 2-etil-2,4-dimetil-3-propilpentan



Pitanje 2. Koliko konstitucijskih izomera C_7H_{16} sadrži kvarterni ugljikov atom?

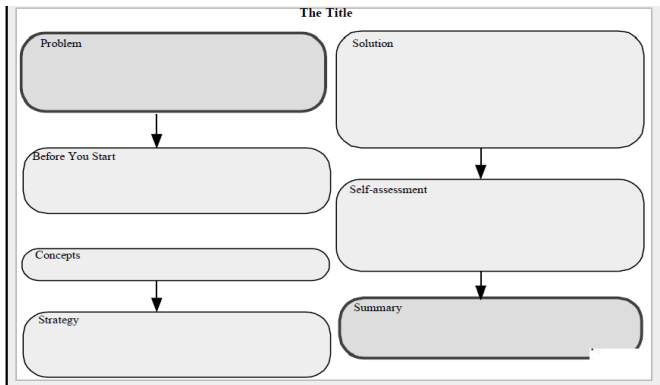
1. jedan
2. dva
3. tri
4. četiri

Pitanje 3. Koji od sljedećih spojeva ima najviše vrelište?

1. heptan
2. 2-metilheptan
3. oktan
4. butan

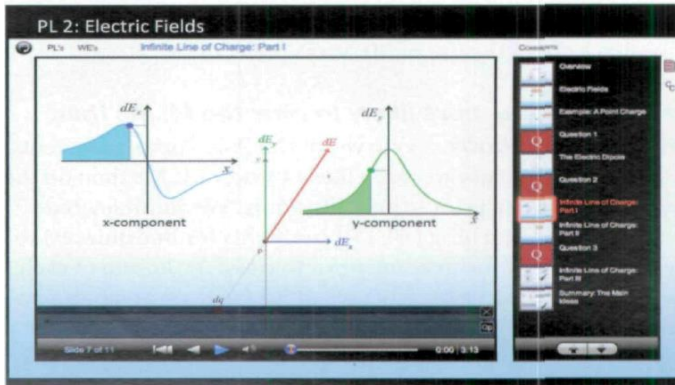
 Slika 4. Primjer *HWeb* zadataka (prilagođeno prema [26], Fig. 1., p. 521)

Sirhan i Reid [22] razvili su i testirali nastavni materijal „*Chemorganisers*“ kojemu je svrha bila kopirati ideju pred-predavanja radi premošćivanja jaza između onoga što studenti već znaju i onoga što trebaju učiti (Sl. 5.). Pripremaju um za učenje tako što pomažu studentima da povežu nove informacije sa svojim predznanjem te načinom prezentiranja materijala smanjuju zahtjeve za prostorom radne memorije. Razvijeno je šezdeset materijala za teme koje bi mogle biti uzrok poteškoća studentima, a svaki je započinjao uvođenjem teme nakon čega su slijedili popis potrebnih informacija i objašnjavanje teme uz primjere. Rezultati dobiveni primjenom *Chemorganisers-a* na prvoj godini studija kemije pokazali su da studenti s više predznanja, zbog manje potrebe za pripremom uma, imaju i manje koristi od ovakvog nastavnog materijala.



Slika 5. Primjer nastavnog materijala *Chemorganisers* ([22], Fig. 1., p. 54)

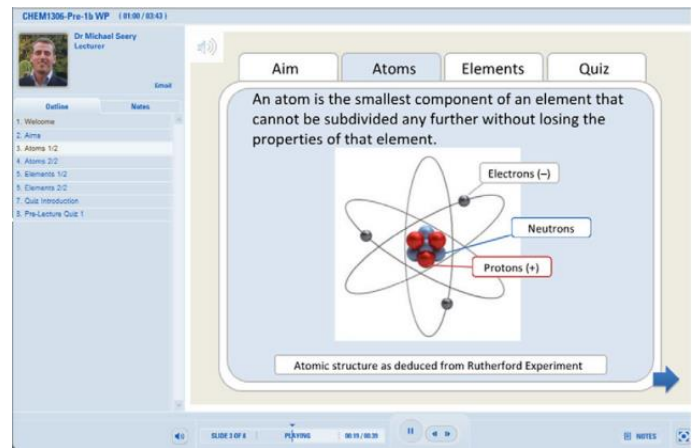
Za studente fizike izrađeni su multimedijски moduli za učenje bazirani na webu (MLMs). Slika 6. prikazuje pregledni prozor za pred-predavanje o električnom polju. Svako pred-predavanje je podijeljeno u približno deset scena, a scene su implementirane kao dinamičke animacije popraćene naracijom, jednadžbama i ilustracijama koje studenti mogu kontrolirati funkcijama pauza, premotaj i zaustavi. Tijekom ukupnog vremena naracije (oko 15 minuta), u svakom pred-predavanju navedena je većina sadržaja narednog predavanja. Formativno procjenjivanje, uključeno nakon svake dvije ili tri scene, sadržavalo je pitanja višestrukog izbora na koja student treba ispravno odgovoriti prije nastavka na sljedeći dio. Rezultati su pokazali da je uvođenjem multimedijских pred-predavanja došlo do znatnog poboljšanja konceptualnog razumijevanja osnovnih fizikalnih pojmova, posebno apstraktnijih pojmova koji zahtijevaju vizualizaciju. To naglašava da aktivnosti pred-predavanja trebaju biti smišljeno dizajnirane budući da njihova učinkovitosti ne ovisi samo o vrsti aktivnosti već i o sadržaju koji pokrivaju. Jednako ohrabruje i poboljšanje u stavovima studenata prema nastavi fizike kao i to što studenti i veći dio predavača smatraju da pred-predavanja znatno pomažu pri učenju nastavnog sadržaja [30], [32].



Slika 6. Pregledni prozor multimedijskog modula za učenje MLMs ([32], Fig. 2. p. 756)

Sadaghiani [48] se u svom istraživanju fokusirao na percepcije studenata fizike i na povratne informacije o primjeni MLMs-a nakon čega navodi da studenti više preferiraju gledanje MLMs-a nego čitanje udžbenika i vjeruju da su im takvi sadržaji korisni za učenje. MLMs postoji kao dio dobro osmišljenog nastavnog plana i programa i nema svrhu zamijeniti predavače. U tom okviru može poslužiti za izlaganje sadržaja slično udžbeniku, ali i omogućiti studentima pravovremeno usmjeravanje i interakcije u učionici tako da mogu sintetizirati sadržaj i primijeniti ga na probleme stvarnog svijeta.

Sličnom strategijom, za studente kemije razvijeni su znatno kraći multimedijски sadržaji koji ih uvode u terminologiju potrebnu za predavanje (Sl. 7.). U svakom su pred-predavanju bile dostupne samo ključne informacije sa izričitom namjerom smanjenja irelevantnog kognitivnog opterećenja. Većinom su to bile verbalne informacije istovremeno predstavljene malom količinom teksta na zaslonu kako bi se uskladile s načelima (“modaliteta“ i “blizine“) izvedenima iz kognitivne teorije multimedijskog učenja. Za izradu zadataka nije bilo potrebno više od pet minuta, a upotpunjeni su kratkim kvizom za provjeru razumijevanja sa specifičnim povratnim informacijama. Implementacija i evaluacija deset takvih pred-predavanja na prvoj godini studija kemije pokazala je da nema značajne razlike u znanju studenata s različitim predznanjem, odnosno značajno su se poboljšale ocjene studenata koji prije studija nisu imali predznanje kemije [19].



Slika 7. Zaslون online pred-predavanja ([19], Fig. 1., p. 5)

U pred-laboratorijskoj ulozi sve se više koristi računalno potpomognuto učenje (engl. *Computer-Assisted Learning, CAL*) kao sredstvo za vođenje učenika kroz teorije povezane s eksperimentom te za uvid u eksperimentalni dizajn. Program daje opći opis eksperimenta nakon čega student izabire nezavisne varijable, a podaci o zavisnim varijablama, koji će biti dobiveni i u laboratoriju, dostavljaju se simulacijom. Sva ova iskustva studentima mogu dati misaonu i fizikalnu praksu za budući rad uz maksimalno učinkovito korištenje

laboratorijskog vremena. U devet pred-laboratorijskih lekcija za organsku kemiju, od deset provedenih, vrijeme laboratorijskog rada skraćeno je i do 26 minuta u usporedbi s kontrolnom grupom bez CAL iskustva [35].

U radu Koessler [49] ispitivan je učinak online pred-laboratorijskih aktivnosti na uspjeh srednjoškolskih učenika u temama vezanim uz sustave i procese na Zemlji. Provedene vježbe sastojale su se od uvodnog sadržaja predstavljenog kao tekst ili video, zatim pregleda ciljeva i laboratorijskih aktivnosti te završnog kviza. Nije bilo značajnog utjecaja na učenje samog sadržaja već više na razinu pripremljenosti učenika za laboratorij. Ankete su pokazale da se učenici osjećaju bolje pripremljeni, više su usredotočeni na rad i manje vremena im je potrebno za izvođenje laboratorijskih aktivnosti nego učenicima koji nisu sudjelovali u pred-laboratoriju.

VII. ZAKLJUČAK

Učenici trebaju steći temeljnu prirodoslovnu kompetenciju kako bi se prilagodili brzom razvoju znanosti i tehnologije te odgovorno odnosili prema prirodi, okolišu i zdravlju. Iskustva iz svakodnevnog života učenika i njihovi kognitivni stavovi značajno utječu na ono što će naučiti i često su u iskušenju učiti napamet. Zadatak nastavnika je omogućiti im smisleno učenje aktivnim uključivanjem u proces izgradnje znanja. Učinkovitije povezivanje novih informacija s postojećim znanjem, a time i smanjenje opterećenja radne memorije, postiže se povećanjem razine predznanja primjenom pred-predavanja.

Implementacija pred-predavanja u nastavni proces dovodi do povećanja aktivnog sudjelovanja učenika i studenata na predavanjima, olakšavanja interaktivnog učenja te poboljšanja uspjeha. S obzirom na to da se povećava razumijevanje nastavnog materijala, kod studenata je primijećen izrazito pozitivan stav i porast motivacije za njihovu daljnju primjenu. Kod pred-laboratorijskih aktivnosti došlo je do povećanja pozitivnih stavova prema radu u laboratoriju kao i do znatnog napretka u razumijevanju teorijskog i praktičnog dijela nastave. Multimedijaska pred-predavanja i pred-laboratoriji znatno poboljšavaju konceptualno razumijevanje osnovnih pojmova, posebno onih apstraktnijih pojmova koji zahtijevaju vizualizaciju. Primjena razvijenih online materijala pomaže unapređenju korištenja udžbenika, učenici se osjećaju bolje pripremljeni za rad i manje vremena im treba za laboratorijske aktivnosti.

Praksa pokazuje da tehnologija ima svoje mjesto u našoj nastavi, ali je za njeno učinkovito uključivanje potrebno izraditi nastavne materijale u kojima učenici početnici mogu brzo prepoznati primarne ciljeve nastave. Informacije moraju biti prezentirane uz jasna objašnjenja te mora postojati mogućnost prakticiranja vještina i znanja uz dobivanje povratnih informacija. U hrvatskom obrazovnom sustavu ne postoje relevantna znanstvena istraživanja koja se odnose na

važnost osiguravanja materijala za učenje prije samog predavanja s ciljem smanjenja kognitivnog opterećenja tijekom predavanja i laboratorijskih vježbi. Iako su pred-predavanja namijenjena kao dodatni materijal, važno je novim empirijskim nalazima utvrditi njihovu prikladnost za implementaciju u naš obrazovni sustav.

LITERATURA

- [1] MZOŠ RH. (2010). Nacionalni okvirni kurikulum za predškolski odgoj i obrazovanje te opće obvezno i srednjoškolsko obrazovanje. [Online]. Available:public.mzos.hr/fgs.axd?id=16803, [27. 01. 2016.]
- [2] K. S. Taber, *Alternative Conceptions In Chemistry: Prevention, Diagnosis And Cure?* London: The Royal Society of Chemistry, 2002.
- [3] F. J. Kristine, „Developing study skills in the context of the general chemistry course: the pre-lecture assignment,“ *Journal of Chemical Education*, vol. 62, no. 6, pp. 509-510, June, 1985.
- [4] A. H. Johnstone, „New stars for the teachers to steer by?“ *Journal of Chemical Education*, vol. 61, no. 10, pp. 847-849, Oct. 1984.
- [5] A. H. Johnstone and N. C. Kellett, „Learning difficulties in school science. Towards a working hypothesis,“ *European Journal of Science Education*, vol. 2, no. 2, pp. 175-181, 1980.
- [6] A. H. Johnstone and H. El-Banna, „Capacities, demands and processes: A predictive model for science education,“ *Education in Chemistry*, vol. 23, no. 3, pp. 80-84, May, 1986.
- [7] A. H. Johnstone and H. El-Banna, „Understanding learning difficulties - a predictive research mode,“ *Studies in Higher Education*, vol. 14, no. 2, pp. 159-168, 1989.
- [8] A. H. Johnstone, „Why is science difficult to learn? Things are seldom what they seem,“ *Journal of Computer Assisted Learning*, vol. 7, pp. 75-83, 1991.
- [9] A. H. Johnstone, „Chemistry teaching - science or alchemy?“ *Journal of Chemical Education*, vol. 74, no. 3, pp. 262-268, 1997a.
- [10] J. Sweller and P. Chandler, „Evidence for cognitive load theory,“ *Cognition and Instruction*, vol. 8, pp. 351-362, 1991.
- [11] R. N. Schwartz, C. Milne, B. D. Homer and J. L. Plass, „Designing and implementing effective animations and simulations for chemistry learning,“ in *Pedagogic Roles of Animations and Simulations in Chemistry Courses*, J. P. Suits and M. J. Sanger, Eds. Washington, DC: American Chemical Society, 2013, pp. 43-76.
- [12] A. D. Baddeley, „Is working memory still working?“ *European Psychologist*, vol. 7, pp. 85-97, June, 2002.

- [13] N. Reid, „A scientific approach to teaching of chemistry: What do we know about how students learn in the sciences, and how can we make our teaching match this to maximise performance?“ *The Journal of Royal Society of Chemistry*, vol. 9, pp. 51-59, Jan. 2008.
- [14] K. Alam, T. U. Zaman and S. Khan, „Reducing information load through pre-lecture assignments to improve secondary level students' understanding in mathematics,“ *FWU Journal of Social Sciences*, vol. 8, no. 2, pp. 101-106, Winter, 2014.
- [15] G. A. Miller, „The magic number seven, plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information,“ *Psychological Reviews*, vol. 63, no. 2, pp. 81-97, March, 1956.
- [16] G. Hillocks, *Ways of thinking, ways of teaching*, New York and London: Teachers College Press, 1999.
- [17] A. Loveless, „Preparing to teach with ICT: subject knowledge, didaktik and improvisation,“ *The Curriculum Journal*, vol. 18, no. 4, pp. 509-522, Dec. 2007.
- [18] T. U. Zaman, „The use of an information processing model to design and evaluate a physics undergraduate laboratory,“ Ph.D. dissertation, Glasgow University, Glasgow, Scotland, UK, 1996.
- [19] M. K. Seery and R. Donnelly. (2011). The implementation of pre-lecture resources to reduce in-class cognitive load: A case study for higher education chemistry. *British Journal of Educational Technology*. [Online]. pp. 1-11. Available: <http://arrow.dit.ie/cgi/viewcontent.cgi?article=1040&context=scschcpsart>, [22. 01. 2016.]
- [20] D. P. Ausubel, *Educational psychology: A cognitive view*, New York: Holt, Rinehart and Winston, 1968.
- [21] G. Sirhan, C. Gray, A. H. Johnstone and N. Reid, „Preparing the mind of the learner,“ *University Chemistry Education*, vol. 3, no. 2, pp. 43-47, 1999.
- [22] G. Sirhan and N. Reid, „Preparing the mind of the learner – Part 2,“ *University Chemistry Education*, vol. 5, no. 1, pp. 52-58, Nov. 2001.
- [23] L. Dindia, „Pre-lecture activities in undergraduate science courses,“ *Teaching Innovation Projects*, vol. 3, no. 1, pp. 1-8, June, 2013.
- [24] A. H. Johnstone, R. J. Sleet and J. F. Vianna, „An information processing model of learning: Its application to an understanding laboratory course in chemistry,“ *Studies in Higher Education*, vol. 19, pp. 77-87, 1994.
- [25] A. H. Johnstone, „And some fell on good ground,“ *University Chemistry Education*, vol. 1, no. 1, pp. 8-13, 1997b.
- [26] D. M. Collard, S. P. Girardot and H. M. Deutsch, „From the textbook to the lecture: Improving prelecture preparation in organic chemistry,“ *Journal of Chemical Education*, vol. 79, no. 4, pp. 520-523, Apr. 2002.
- [27] K. A. Marrs and G. Novak, „Just-in-time teaching in biology: Creating an active learner classroom using the Internet,“ *Cell Biology Education*, vol. 3, no. 1, pp. 49-61, Spring, 2004.
- [28] S. Kolari and C. Savander-Ranne, „Pre-lecture assignments - a method for improving learning in engineering education,“ in Proc. ICEE, 2007, pp. 1-4.
- [29] K. Burke da Silva and N. Hunter, „The use of pre-lectures in a university biology course - eliminating the need for prerequisites,“ *Bioscience Education*, vol. 14, no. 2, pp. 1-7, Dec. 2009.
- [30] Z. Chen, T. Stelzer and G. Gladding, „Using multimedia modules to better prepare students for introductory physics lecture,“ *Physical Review Special Topics-Physics Education Research*, vol. 6, pp. 1-5, June, 2010.
- [31] M. Moravec, A. Williams, N. Aguilar-Roca and D. K. O'Dowd, „Learn before lecture: A strategy that improves learning outcomes in a large introductory biology class,“ *CBE-Life Sciences Education*, vol. 9, no. 4, pp. 473-481, Winter, 2010.
- [32] T. Stelzer, D. T. Brookes, G. Gladding and J. P. Mestre, „Impact of multimedia learning modules on an introductory course on electricity and magnetism,“ *American Journal of Physics*, vol. 78, no. 7, pp. 755-759, Dec. 2010.
- [33] M. Safdar, „A comparative study of Ausublian and traditional teaching methods of teaching physics at secondary school level in Pakistan.“ Ph.D. dissertation, NUML, Islamabad, Pakistan, 2010.
- [34] T. U. Zaman, R. U. Bhatti and F. Ghias, „Effectiveness of pre-labs at secondary school level chemistry lab,“ *Pakistan Journal of Science*, vol. 64, no. 1, pp. 16-19, 2012.
- [35] M. Safdar, I. Shah, Q. Rifat and T. Afzal, „Pre-labs as advance organizers to facilitate meaningful learning in the physical science laboratory,“ *Middle Eastern & African Journal of Educational Research*, no. 7, pp. 30-43, 2014.
- [36] S. Singer, M. Hilton and H. Scheingruber, „Laboratory experiences and student learning. committee on high school science laboratories: Role and vision,“ in *America's Lab Report: Investigations in High School Science*, Eds. Washington, DC: National Academies Press, 2005, pp. 75-115.
- [37] Bond, David, J. and Elizabeth, *Teaching in laboratory*, 1st ed., London: Nffr-Nelson, 1986.
- [38] A. H. Johnstone, A. Watt and T. U. Zaman, „The students' attitude and cognition change to a physics laboratory,“ *Phys. Educ.* vol. 33, no. 1, pp. 22-29, Jan. 1998.
- [39] M. Čukušić i M. Jadrić, *E-učenje: koncept i primjena*, Zagreb: Školska knjiga, 2012, str. 1-50.

- [40] European Council. (2006, December). Recommendation 2006/962/EC of the European Parliament and of the Council of 18 December 2006 on key competences for lifelong learning. [Online]. Available: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32006H0962&from=EN>, [20. 01. 2016.]
- [41] R. C. Clarke and R. E. Mayer, *E-learning and the science of instruction*, 3rd ed., San Francisco, CA: Pfeiffer (Wiley), 2011, pp. 29-48.
- [42] L. Harasim, „Shift happens: Online education as a new paradigm in learning,“ *The Internet and Higher Education*, vol. 3, no. 1-2, pp. 41-61, 2000.
- [43] T. C. Reeves and P. M. Reeves, „Designing online and blended learning,“ in *University teaching in Focus: A Learning-Centred Approach*, L. Hunt and D. Chalmers, Eds. Oxford: Routledge, 2012, pp. 112-127.
- [44] R. C. Clark, F. Nguyen and J. Sweller, *Efficiency in Learning Evidence-Based Guidelines to Manage Cognitive Load*, San Francisco, CA: Pfeiffer (Wiley), 2005, pp. 43-139.
- [45] J. Sweller, „Human cognitive architecture,“ in *Handbook of research on educational communications and technology*, 3rd ed., J. M. Spector, M. D. Merrill, J. Van Merriënboer and M. P. Driscoll, Eds. New York: Routledge, 2008, pp. 369-381.
- [46] P. Ayres and F. Paas, „Interdisciplinary perspectives inspiring a new generation of cognitive load research,“ *Educational Psychology Review*, vol. 21, no. 1, pp. 1-9, 2009.
- [47] K. M. Slunt and L. C. Giancarlo, „Student-centered learning: a comparison of two different methods of instruction,“ *Journal of Chemical Education*, vol. 81, no. 7, pp. 985-988, July, 2004.
- [48] H. R. Sadaghiani, „Online prélectures: an alternative to textbook reading assignments,“ *The Physics Teacher*, vol. 50, pp. 301-303, May, 2012.
- [49] K. C. Koessler, „Effects of online prelab activities on success in laboratory: Exercises in the science,“ M.S. thesis, Montana State University, Bozeman, Montana, USA, 2014.