

CONTRIBUTION OF DIGITAL SIMULATION USAGE TO THE ADOPTION OF BASIC CONCEPTS OF DIFFUSION AND THERMODYNAMICS EQUILLIBRIUM

Ivana Krulj

The Academy of Applied Technical and Preschool Studies, Serbia, ivana.krulj@gmail.com,
ivana.krulj@akademijanis.edu.rs

Abstract: What is shown in this article is the teaching approach to Molecule-kinetic gas theory and Thermodynamics, which are being studied within Physics in the first year of Studies, more precisely, programs of Mechanical engineering, Road traffic engineering, Furniture design and interior engineering, Food technology and Environment protection, in Vranje Department of The Academy of Applied Technical and Preschool Studies. Based on differences between high school programs, after which students continued their education on the Academy, and adoption of basic physical concepts from previous level of education analysis' results, including those presented in scientific and pedagogical literature, referring to new teaching approaches, what was implemented for studying Molecule-kinetic gas theory and Thermodynamics are the activities of active learning, which would lead to higher degree of adoption of basic physical concepts, but also increase learning motivation. Special problem for adoption of knowledge in these fields are insufficiently adopted concepts of Mechanics. In the basis of difficulties in understanding macroscopical quantities lies the nonunderstanding microscopical processes in gases. In literature, it is said that students adopt new concepts using various virtual labs materials. In the article, digital APLETS and simulation processes used on Physics classes are presented, as well as detected work results, alternate conceptions, and still-present difficulties in understanding the phenomena explored by Molecule-kinetic gas theory and Thermodynamics. The article includes description of digital simulations resources and digital labs usage. Special attention is paid to teaching approach to diffusion gases studying, as well as teaching approach to understanding thermodynamics equilibrium. In classes, resources from the following web addresses were used phet.colorado.edu i educaplus.org. In the article, beside the advantages of these web tools, digital simulations and virtual labs usage, the drawbacks are also noticed. However, in the very end, results of basic concepts adoption analysis are presented and motivation for learning by the mentioned approach level is assessed. It is shown that students learn faster using digital simulations, that adopted knowledge is more permanent and is not on the level of reproduction, but on the level of usage. Despite that, it should be said that certain alternate conceptions are being created, which can be an interference in understanding the content and accomplished conceptual changes

Keywords: Diffusion of gasses, Thermodynamics equilibrium, virtual laboratory, digital simulations, alternative conception

DOPRINOS UPOTREBE DIGITALNIH SIMULACIJA U USVAJANJU OSNOVNIH KONCEPATA DIFUZIJE I TERMIDINAMIČKE RAVNOTEŽE

Ivana Krulj

Akademija tehničko-vaspitačkih strukovnih studija, Odsek Vranje, Serbia, ivana.krulj@gmail.com
ivana.krulj@akademijanis.edu.rs

Rezime: U ovom radu prikazan je nastavni pristup (u školskoj 2019/2020. godini) Molekulsko-kinetičke teorije gasova i Termodinamike, koje se proučavaju u okviru Fizike na prvoj godini osnovnih strukovnih studija na studijskim programima Mašinsko inženjerstvo, Drumski saobraćaj, Inženjerstvo nameštaja i eneterijera, Prehrambena tehnologija i Zaštita šivotne sredine, u Odseku-Vranje, Akademije tehničko-vaspitačkih strukovnih studija. Polazeći od raznolikosti nastavnih programa u srednjim školama, nakon kojih su studenti nastavili školovanje na Akademiji, i od rezultata analize usvojenosti osnovnih koncepata fizike na prethodnom nivou školovanja, uključujući rezultate predstavljene u naučnoj i pedagoškoj literaturi a koja se odnosi na nove nastavne pristupe, za proučavanje Molekulsko-kinetičke teorije gasova i Termodinamike, primenjene su aktivnosti aktivnog učenja kojima bi se postigao veći stepen usvojenosti osnovnih koncepata fizike ali i povećao stepen motivisanoasti za učenje. Poseban problem za usvajanje znanja iz ovih oblasti predstavljaju nedovoljno usvojeni koncepti mehanike. U osnovi poteškoća za razumevanje makroskopskih veličina je nerazumevanje mikroskopskih procesa u gasovima. U dostupnoj literaturi se, između ostalog, navodi i to da studenti uspešnije usvajaju nove koncepte korišćenjem materijala iz različitih virtuelnih laboratorija. U radu su predstavljeni digitalni apleti i simulacije procesa, korišćeni na časovima fizike, kao i detektovani rezultati u radu, alternativne koncepcije, i još uvek prisutne

poteškoće u razumevanju pojava koje proučavaju Molekulska kinetička teorija gasova i Termodinamika. Rad obuhvata opis korišćenih digitalnih resursa simulacija i digitalnih laboratorija. Posebna pažnja posvećena je nastavnom pristupu za proučavanje difuzije gasova, kao i nastavnom pristupu za razumevanje jednačine toplotnog balansa. Na časovima su korišćeni resursi sa veb adresa www.educampus.org i www.phet.colorado.com. U radu su pored prednosti korišćenja ovih veb alata, digitalnih simulacija i virtuelnih laboratorija naznačeni i uočeni nedostaci. Ipak u konačnom, predstavljeni su rezultati ispitivanja usvojenosti osnovnih koncepata i procenjen je nivo motivisanosti za učenje u navedenom nastavnom pristupu. Pokazano je da studenti brže uče koristeći digitalne simulacije, da je usvojeno znanje trajnije i nije na nivou reprodukcije već na nivou primene ali da se uprkos tome stvaraju određene alternativne koncepcije koje mogu biti smetnja razumevanju sadržaja i ostvarenim konceptualnim promenama.

Ključne reči: Difuzija gasova, termodinamička ravnoteža, virtuelna laboratorija, digitalne simulacije, alternativne koncepcije

1. UVOD

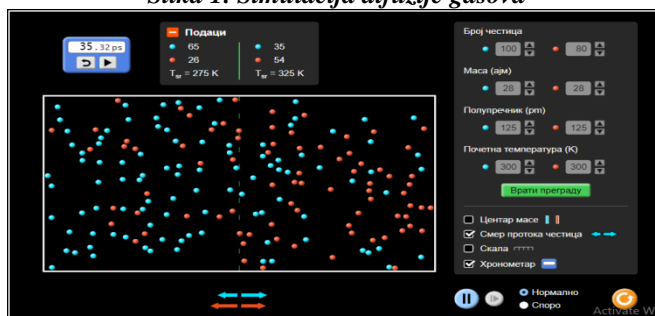
Difuzija je proces čije je razumevanje važno ne samo sa aspekta fizike već i drugih nauka, posebno bioloških kada se treba razumeti funkcionisanje ćelija, ali i tehničkih, kada su u pitanju procesi u supstancama u različitim agregatnim stanjima. Proučavanje difuzije može biti fenomenološko ali i kao takvo zahteva poznavanje strukture supstance i osnovnih karakteristika kretanja molekula. Prema dostupnim rezultatima istraživanja evidentno je da postoje teškoće kod studenata za konceptualno razumevanje difuzije. Kao razlozi za to ne navode se isključivo lične karakteristike studenata već i sami nastavni pristupi koji omogućavaju u većoj ili manjoj meri usvajanje odedenih koncepata. Navodi se u literaturi i to da se nastava ne fokusira na usvajanje koncepata već na memorisanje činjenica, što je u poslednje vreme česta tema posebno u sferi reforme školskih programa. Jedna od utvrđenih i čestih miskoncepcija kod studenata odnosi se na prestanak kretanja molekula mastila rastvorenog u vodi nakon uspostavljanja ravnoteže odnosno postizanja ravnomerne obojenosti vode (Hasni et al.). Digitalne simulacije kretanja molekula uopšte, a posebno u procesu difuzije, mogu doprineti konceptualnoj promeni kod studenta kada je reč o navedenoj alternativnoj koncepciji, i u ovom radu pažnja je posvećena materijalu koji je korišćen na časovima fizike upravo sa ciljem usvajanja ispravnog koncepta ili podsticanja konceptualne promene. U dostupnoj literaturi se, između ostalog, navodi da studenti uspešnije usvajaju nove koncepte korišćenjem materijala iz različitih virtuelnih laboratorija, pre svega zato što se procesi mogu ponavljati, zaustavljati i nastavljati u izabranom vremenu (Bajpai & Kumar). Ipak treba pomenuti račun o meri primene digitalnih predstava o svetu. Ukoliko učenje putem simulacija nije strukturirano studenti se mogu naći u situacijama da zbog velikog broja mogućnosti ne uče zaista, dok ih pak visoko strukturirana upotreba simulacija može ograničiti u istraživačkom pristupu. Scaffolding pristup omogućava studentima izgradnju strukture pojmova i razumevanja određene pojave ali može biti frustrirajuća za njih, dok se Scripting-om ostvaruje kontrola interakcije ali sa prisutnim gubitkom vrednosti otvorenog istraživanja, kako to tvrde Hirsch i Gary u *Using Dynamic Simulation to Teach Physics in a Real-World Context*. Sa druge strane, prema A. Widiyatmoko simulacija je najprimereniji metod za restrukturiranje postojećih znanja i može pomoći studentima da prevaziđu izgrađene pogrešne koncepte i usvoje naučne koncepte. Postoje rezultati o tome šta je u korenu dubokog nerazumevanja koncepata termodinamike, gde se kao najdominantniji faktor prepoznaje nerazumevanje korpuskularnosti materije, kako ističu Sözbilir, Pinarbaşı i Canpolat u *Prospective chemistry teachers' conceptions of chemical thermodynamics and kinetics*. S obzirom na to da aktivno učenje doprinosi boljem usvajanju koncepata termodinamike, pri planiranju aktivnog učenja predavači treba da konstruišu takve pristupe, posebno vežbe koje će imati i kvalitativnu i kvantitativnu komponentu. Prema L. Partanen kvalitativna komponenta treba da bude strukturirana tako da podstiče alternativne koncepcije, sa prilagođenim vremenom trajanja vežbi njihovoj težini, i postepenim uključivanjem viših nivoa revidirane Blumove taksonomije, sledeći D. Krathwohl i O. Tutkun.

2. MATERIJAL KORIŠĆEN NA ČASOVIMA I METOD ISPITIVANJA USVOJENIH KONCEPATA

Početak kursa uključivao je utvrđivanje usvojenih koncepata na prethodnom nivou školovanja i u svakodnevnom životu. Studenti (68) su radili pretest kojim je identifikovano nepoznavanje zakonitosti u procesima obuhvaćenih ovim radom, i određene miskoncepcije koje se odnose na kretanje molekula, uspostavljanje ravnotežnih stanja i veličine termodinamike, posebno poistovećivanje temperature i toplote. U toku izučavanja određenih pojava studenti su imali prilike da odgovore na konceptualna pitanja izborom odgovora među ponuđenima i izborom obrazložena odgovora. Neki studenti su u okviru odgovora na ispitu imali prilike da potvrde usvojenost osnovnih koncepata difuzije i uspostavljanja toplotnog balansa. Takođe bila je pružena mogućnost odgovaranja na određena pitanja otvorenog tipa. Istraživački pristup je relativno nov u nastavi fizike. U nedostatku opreme laboratorijskih uslova,

korisno je neke pojave istražiti primenom digitalnih simulacija tih istih pojava. Učenje putem istraživanja, omogućava utvrđivanje problema, planiranje, istraživanje, postavljanje hipoteza, konstruisanje modela, diskusiju i debatu o rešenjima (M. Chekour at al.). Korišćenje digitalnih simulacija omogućava istraživački pristup, međutim u uslovima ograničenog broja uređaja, predavač je taj koji vodi istraživanje. U pristupu opisanom u radu, predavač je pokretao simulaciju, tržeći pretpostavke o dešavanjima od strane studenata kao i njihove predloge za način provere pretpostavki. Nakon toga, zapažanja i zaključci bivali su suprotstavljani i argumentovani, a studenti su imali zadatak da izaberu jedan od ponudejnih odgovora koji odgovara njihovom zaključku, kao i razlog tog izbora. Vizuelizacija mikroskopskih objekata ostvarena je posredstvom simulacija kojima se definišu određeni parametri tih objekata, i istovremeno mere određene veličine. Simulacija difuzije gasova na www.phet.colorado.edu omogućila je posmatranje procesa preko postavke suda sa pregradom koja sud deli na dve komore u koje su se dodali gasovi. Simulacija je omogućavala razlikovanje čestica u komorama preko boje čestica, pri čemu se moglo odrediti da u pitanju bude ista vrsta gasa izborom atomske jedinice mase gasa, i veličine molekula gasa preko izbora poluprečnika molekula, a takodje, i odrediti da u komorama budu različite vrste gasa preko pomenutih izbornika, istaknutih na slici 1.

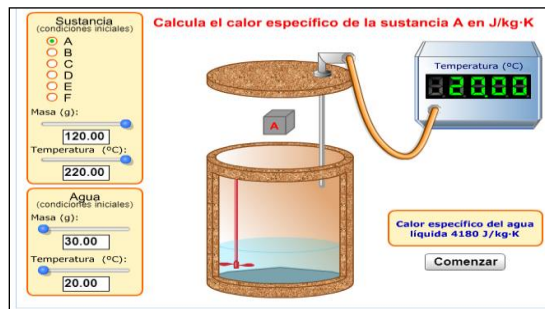
Slika 1. Simulacija difuzije gasova



Moguće je bilo izabrati i da li će početne temperature gasova u komorama biti jednake ili ne, pratiti centar mase svakog od gasova, posmatrati smer protoka čestica, nakon uklanjanja pregrade, kao i postaviti linearnu skalu u nanometrma, i hronometar za merenje vremena u pikosekundama. Nakon uklanjanja pregrade bilo je moguće očitavati promenu temperatura i broj odgovarajućih čestica u pregradama. Inače se simuliranje difuzije moglo sprovesti i u usporenom modu, što nije iskorišćeno na časovima ali jeste bila iskorišćena mogućnost zaustavljanja simulacije u određenim trenucima i birano je vreme pauziranja.

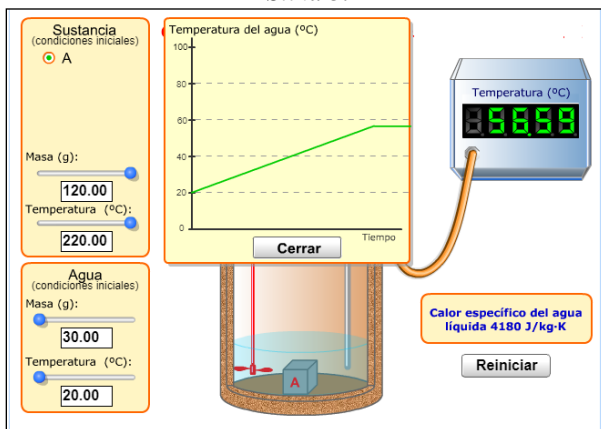
Rad u virtuelnoj laboratoriji podrazumevao je zadatak određivanja vrste supstance od koje je izgrađeno izabrano telo koje je učestvovalo u procesu uspostavljanja termodinamičke ravnoteže. Vrsta supstance određivala se preko izračunatog specifičnog toplotnog kapaciteta. Simulacija je sadržala kalorimetrijski sud u kome se nalazila voda. Masa vode i temperatura vode birane su preko izbornika u polju pored kalorimetra, što se može videti na slici 2. Nakon izbora tela se na isti način su bile određene njegova masa i temperatura, te pokretana simulacija - telo je postavljeno u vodu, kalorimetrijski sud se zatvorio, mešalica koja se nalazi u njemu je rotirala, a zaronjemi termometar omogućio da se na displeju očita temperatura sistema telo-voda. Na ekranu je bio i grfički prikaz promene temperature u funkciji vremena.

Slika 2.



Zadaci za rad sa ovom simulacijom se odnosili su se na izbor masa i temperatura tela i vode, pokretanje simulacije, očitavanje temperature termodinamičke ravnoteže (slika 3) i izračunavanje specifičnog toplotnog kapaciteta. U dostupnoj literaturi beleži se određena neusklađenost matematičkih znanja sa usvojenim znanjima termodinamike (K.Bain at al.) te da poteškoće u usvajanju konceptata termodinamike potiču od nedovoljnog matemtičkog umeća.

Slika 3.



Održivanje vrste supstance od koje je telo izgrađeno vrši se preko dostupne tabele specifičnih toplotnih kapaciteta. Izračunavanje specifičnog toplotnog kapaciteta ostvaruje se posredstvom jednačine toplotnog balansa, koja ne predstavlja veliki matematički zahtev.

3. REZULTATI

Odgovori na određena pitanja sa pretesta zatraženi su tokom simuliranja procesa difuzije, pri čemu je određeni broj studenata na ista pitanja odgovarao i nakon nekoliko meseci. Da se tokom procesa difuzije čestice opšte uzev, kreću sa mesta veće koncentracije ka mestu manje koncentracije, a da je zaključak proistekao iz činjenice da su čestice ravnomerno raspoređene nakon izvesnog vremena u prostoru suda odgovorilo je oko 70% ispitanih studenata. Na ponovljeno pitanje, nakon nekoliko meseci, tačno je odgovorilo 6 od 14 studenata. Da se čestice kreću i nakon uspostavljanja ravnotežnog stanja odgovorilo je oko 60% studenata. Objašnjenja u pitanjima otvorenog tipa su se odnosila na jednu vrstu gasa i kada su u sudu bile dve vrste gasa, zatim u slučaju različitih dijametara molekula da su molekuli manjih poluprečnika pokretljiviji i da su oni ti koji zalaze u prostor između većih molekula, ta da mogu stići do najujdaljenijih tačaka suda a odatle “pogurati” veće molekule. U slučaju difuzije gasova iz komora u kojima su različite temperature pretpostavke su bile da će se temperature izjednačiti jer su gasovi pomešani, i kao primer navedeno je da ukoliko bi se mešali gas plave i gas žute boje da bi mešavina bila zelene boje. Jedno od objašnjenja je bilo da se ti gasovi mogu pomešati tako da se dobije neki treći gas tako da sklanjanje pregrade može da izazove hemijsku reakciju. Jedno od alternativnih objašnjenja tokom simulacije bilo je da se nikada ne može uspostaviti jednaka temperatura u oba dela suda jer će stalno neki molekuli menjati mesta levo i desno od ravni koju je pokrivala pregrada, i da temperatura ima veze sa brojem crvenih odnosno plavih čestica u odgovarajućem delu suda. U odnosu na odgovore na pretestu u kome je evidentirano neprecizno izražavanje kada je reč o toplotnim procesima i zapaženo da većina studenata odgovara da će “toplije telo predati temperaturu hladnijem telu” kao posledica se navodi da će se hladnije telo zagrejati dok se ne navodi hlađenje toplijeg tela, nakon simulacije uspostavljanja termodinamičke ravnoteže korigovani su odgovori koji se tiču posledica ali u veoma malom broju je korigovan odgovor šta se razmenjuje. Oko 20% studenta iznelo je tvrdnju da se razmenjuje energija, ali je i dalje energiju skladištenu u toplijem telu nazivalo toplotom, kroz iskaze “u telu je veća toplota nego u vodi”. U analizi toplotnog procesa, utvđeno je da studenti koncipiraju neki tok nečeg vrućeg što se predaje, ne povezujući sa korpuskularnošću supstance niti sa karakteristikama korpuskula ove procese. Zanimljivo je ipak da je oko 90% studenata uspešno odgovorilo u određivanju intervala vrednosti temperature termodinamičke ravnoteže prema vrednostima početnih temperatura dva tela, izgrađenih od iste supstance jednakih, odnosno različitih, masa, odnosno dva tela izgrađenih od različitih supstanci jednakih odnosno različitih masa. Brzinu procesa uspostavljanja termodinamičke ravnoteže studenti su dovodili u vezu sa razlikom temperatura, zanemarujući mase tela, a u ponovnoj analizi isključivo sa toplotnim kapacitetom ne uzimajući u obzir druge parametre.

4. DISKUSIJA

Nerazumevanje koncentracije, kao broja čestica u jedinici zapremine, osnovni je razlog nepronalaženja tačnog odgovora na pitanje o kretanju čestica tokom difuzije. Vezivanje za interpretaciju koncentracije u procentima prepreka je za prostorno poimanje distribucije čestica. Među odgovorima studenata su oni koji se odnose na to da koncentracija u procentima ne podrazumeva ravnomernu raspodelu rastvorene supstance u rastvaraču. Poistovećivanje termodinamičke sa mehaničkom ravnotežom razlog je tvrdnje da nakon uspostavljanja termodinamičke ravnoteže prestaje kretanje molekula. Iz ovoga proizilazi da studenti ne uspevaju da povežu

temperaturu kao makroskopsku veličinu sa kretanjem molekula, odnosno sa njihovom srednjom kinetičkom energijom. Ispostavilo se da je jedna od miskoncepcija ta da su tela dovoljno dugo u istom prostoru različitih temperatura, što se nalazi i u istraživanju S. Pathare at al. Poreklo ovakvog zaključivanja je u osnovi čulnog opažanja zagrejanosti tela izgrađenih od različitih materijala, što potvrđuje odsustvo koncepta toplotnog provođenja. U analizi odgovora evidentirano je da su pojmovi temperature, energije i toplote, pojmovi svakodnevnog života i kao takvi konstrukti, usvojeni značajno pre naučnog pristupa otežavaju razlikovanje i pravilnu upotrebu u naučnoj komunikaciji. Simulacija uspostavljanja toplotne ravnoteže doprinosi razumevanju procesne prirode toplote, suprotno pogrešnim predznanjima da je toplota akumulirana energija, kako se to može naći i u drugim ispitivanjima, na primer kod Chu at al. Većina studenata na pretestu nije uspela da objasni razliku između toplote i energije. Odgovori “toplota u telu” i “energija u telu” su bili česta zamena za konstrukt “unutrašnja energija tela”. Odavanje toplote često je bilo zamenjeno sa “daje temperaturu” ili “smanjuje temperaturu”. Utvrđeno je ipak da je stvaranje koncepta o termodinamičkoj ravnoteži korišćenjem digitalnih simulacija jednostavan zadatak kada je reč o makroskopskoj veličini-temperaturi dok je sa stanovišta korpuskularnosti tela i dalje izazov za predavače posebno kada je ostvaren pomak u usvajanju koncepta o difuziji gasova. Na pitanje o razmeni energije među molekulima dvaju tela nakon uspostavljanja ravnoteže nije bilo odgovora koji opisuju da i dalje postoji razmena energije u oba smera. Daljim dijalogom otkriveno je razmišljanje dvoje studenata koji su naveli da i ukoliko ima takvih procesa, temperatura bi se menjala. Ovi odgovori su posebno značajni jer ukazuju na razumevanje da temperatura tela zavisi od srednje kinetičke energije njegovih molekula, ali je očigledno da se teško uspostavlja objedinjavanje znanja o makropojavama i mikropojavama. Upoređujući ove odgovore sa odgovorima na pre testu gde su svi studenti odgovorili da je telo toplije ako ima veću temperaturu, odnosno ako mu je veća temperatura to će usloviti da u njemu ima više toplote, na post testu je kod oko 40% studenata evidentirana promena konstruisanog znanja iskazanog kroz tvrdnju da ukoliko telo ima veću unutrašnju energiju to će njegova temperatura biti veća.

5. ZAKLJUČAK

Razumevanje načina konstrukcije znanja kod studenta je posebno važno za predavače pre svega za planiranje sadržaja i načina učenja tokom određenog kursa. S obzirom na to da studenti već imaju o nekim pojavama i formalno stečena znanja, presudan korak za usvajanje tačnih naučnih koncepta je utvrđivanje alternativnih koncepcija i fokus na konceptualnu promenu. U izučavanju difuzije putem digitalnih simulacija ispostavlja se da se usvajaju dugotrajnija znanja o neprekidnom kretanju molekula i koncentraciji supstance povezanoj sa brojem i rasporedom njenih čestica u određenom prostoru, vizuelizovanom simulacijom, i predstavljenom kroz dinamičnost jednog sistema. Ipak određeni broj studenta nije uspeo da rekonstruiše svoja znanja, posebno kada je reč o koncentraciji i toplotnom provodjenju. Činjenica da postoje odgovori da sa uspostavljanjem toplotne ravnoteže prestaje kretanje molekula, što je primer analognog zaključivanja prema ravnoteži u mehanici, uputno je kreirati aktivnosti kojima bi se poredile termodinamička ravnotežna stanja na različitim temperaturama, i omogućio transfer znanja o stanju supstance, u kontekstu kretanja molekula, na temperaturi apsolutne nule. Na osnovu svih odgovora ustanovljeno je da studenti procese ili posmatraju ili analiziraju fragmentarno i da često izgube fokus sa veličine koju treba da posmatraju, mere, dovode u vezu sa drugim veličinama, kao uzrok ili kao posledicu. Ipak, promene koje su evidentirane u toku primene digitalnih simulacija i kasnije na ispitima a sa osvrtom na digitalne simulacije ukazuje na to da su studenti bili samostaljniji, osećali veći stepen slobode za iskazivanje različitih zaključaka, bili otvoreni za saznanja i spremni da otkriju pogrešne koncepte i da rade na njima u smislu promene. Ujedno doživljeni napredak studenata u toku učenja, predstavljen u ovom radu pretpostavlja pitanje uspostavljanja mogućnosti za pružanje aktivnih konstrukcija znanja i koncepta kod studenata, posebno imajući u vidu raznolikost prethodnih znanja i usvojenih koncepta, te se predavač treba da fokusira, u značajno većoj meri, na način predstavljanja sadržaja gradiva u odnosu na same sadržaje kurikuluma, kako bi se izbeglo pribegavanje studenata jednostavnom memorisanju ili mnemotehničkom memorisanju sadržaja u cilju proste reprodukcije napamet naučenih sadržaja, na ispitima.

REFERENCE

- Bain, K., Moon, A., Mack, M., R., & Towns, M., H. (2014). A review of research on the teaching and learning of thermodynamics at the university level. *Chem. Educ. Res. Pract.*, 15, 320—335.
- Bajpai, M., & Kumar, A. (2015). “Effect of virtual laboratory on students’ conceptual achievement in physics”. *International Journal of Current Research* 7 02, pp. 12808-12813.
- Chekour, M., Laafou, M., & Janati-Idrissi, R. (2018). What are the Adequate Pedagogical Approaches for Teaching Scientific Disciplines? Physics as a Case Study. *Journal of Educational and Social Research* Vol 8 No 2, 141-148.

- Chu, H-E., Treagust, D., Yeo, S., & Zadnik, M. (2012). Evaluation of Students' Understanding of Thermal Concepts in Everyday Contexts. *International Journal of Science Education*, 34. 1-26. 1509–1534.
- Hasni, A., Roy, P., & Dumais, N. (2016). Teaching and Learning of Diffusion and Osmosis: What Can We Learn from Analysis of Classroom Practices? A Case Study. *Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology Education* 12(6), 1507-1531.
- Hirsch, G. (2005). Using Dynamic Simulation to Teach Physics in a Real-World Context.
- Krathwohl, D., R. (2002). A Revision of Bloom's Taxonomy: An Overview. *THEORY INTO PRACTICE*, Vol. 41, 4, 212-218.
- Partanen, L. (2016). Student oriented approaches in the teaching of thermodynamics at universities – developing an effective course structure. *Chem. Educ. Res. Pract.*, 17, 766-787
- Pathare, S., Huli, S., Nachane, M., Ladage, S., & Pradhan, H., (2015). Understanding thermal equilibrium through activities, *Physics Education* 50 (2), 146-158.
- Sözbilir, M., Pinarbaşı, T., & Canpolat N. (2010). Prospective chemistry teachers' conceptions of chemical thermodynamics and kinetics. *Eur. J. Math. Sci. Technol. Educ.*, 6, 111–120.
- Tutkun, O., Candan G., Dilek, Koroğlu, M., & İlhan, H. (2012). Bloom's Revised Taxonomy and Critics on It. *TOJCE: The Online Journal of Counselling and Education*. 1.
- Widiyatmoko, A., (2018). The Effectiveness of Simulation in Science Learning on Conceptual Understanding: A Literature Review, *Journal of International Development and Cooperation*, Vol.24, No.1 & No.2, 35-43.