

Uloga interaktivnih modela u poučavanju sadržaja organske kemije

Marijana Zaninović
 marijanazaninovic@hotmail.com

Sažetak-Učenje nastavnih sadržaja organske kemije na srednjoškolskoj razini temelji se primarno na razumijevanju strukture organskih molekula. Sposobnost ispravnog razumijevanja struktura, promjena u strukturi te reakcijskih mehanizama između organskih molekula dovodi do usvajanja ispravnih koncepata u nastavnom sadržaju organske kemije. Model, materijalni ili mentalni, temeljen na ideji koja ima specifičan cilj, predstavlja opravdano nastavno sredstvo koje omogućuje smislenu učenje, modeliranje i uporaba modela dovodi do ispravnog razumijevanja struktura organskih molekula, a rad s modelima utječe i na razvoj vještina predviđanja kod učenika. Razvojem i dostupnošću informacijsko-komunikacijske tehnologije te primjenom multimedijalne nastave u učionice kemije, stvoreni su dobri preduvjeti za poticanje razvoja vizualno prostornih sposobnosti učenika što doprinosi povećanoj motivaciji za učenjem sadržaja organske kemije kroz integraciju senzornih doživljaja, boljem kognitivnom postignuću te stvaranju jasnijih i točnijih predodžbi o strukturi organskih molekula te odvijanju reakcijskih mehanizama.

Cljučne riječi - model, srednjoškolsko kemijsko obrazovanje, konceptualno znanje, vizualno prostorne sposobnosti, struktura organskih molekula.

I. UVOD

Svi modeli, materijalni ili mentalni, neovisno predstavljaju li konkretan koncept, proces, dijagram,

sliku ili matematičku formulu, ključni su u procesu produkcije, diseminacije i prihvaćanja znanstvenog znanja [16]. U procesu poučavanja kemijih sadržaja modeli se koriste da bi apstraktne strukture i promjene atoma i molekula te fizikalno-kemijski procesi postali učenicima konkretni, opipljivi, vidljivi, jednostavniji, uz nužan uvjet zadržavanja znanstvene točnosti. Modeli imaju dinamičnu ulogu jer u procesu aktivnog učenja kod učenika izazivaju znatiželju, potiču na postavljanje problemskog pitanja, istraživanje, donošenje zaključaka, preispitivanje zaključaka i usvajanje ispravnih koncepata.

Dosadašnja istraživanja pokazuju da učenici imaju nepotpunu sliku o ulozi modela u procesu poučavanja i učenja, najčešće ih doživljavaju kao igračke [19]. Tradicionalni nastavni plan i program organske kemije, što se vidi i po zastupljenosti prikaza modela u udžbenicima koji se koriste u nastavi organske kemije [48], [52], [61] i koji su primarno sredstvo učeniku u procesu učenja, od učenika traži stjecanje konceptualnih informacija i deklarativnog znanja o strukturi organskih molekula korištenjem kalotnih ili štapić-kuglica modela upitne znanstvene točnosti. U takvom okruženju motivacija rada s modelima kao nastavnim sredstvom za usvajanja ispravnih organskih koncepata kod učenika nije prepoznata, a argumentacija opravdanosti korištenja modela koja treba stajati iza razvoja, vrednovanja i revizije modela nije jasna.

Računalni modeli, dostupni kroz veliki broj otvorenih alata (npr. Jmol, Avogadro, Chemtube3D, MDLChime...), interaktivni su i dinamični te nude veliki broj znanstveno točnih informacije o organskoj molekuli, ispravnu 3D strukturu, veličinu pojedinog

atoma u molekuli, duljinu kemijskih veza, elektronegativnost atoma,...., a sama mogućnost odabira traženog podatka te brzina povratne informacije kod učenika izaziva veću motivaciju za učenjem organskih sadržaja, ali i utječe na razvoj digitalnih, lingvističkih i kreativnih sposobnosti [13].

Poučavanje kemije u suvremenoj nastavi, bez obzira na uzrast učenika ili poučavani sadržaj, treba biti aktivno, a kod učenika izazvati potrebu za istraživanjem problema procesom otkrivanja. Različite vrste materijalnih modela koje se nude učenicima, bilo da se radi o kuglica-štapić statičnom modelu ili interaktivnom dinamičnom modelu, na različitom stupnju odgovaraju zahtjevima suvremene nastave. No sigurno je da ako se učenike od početnih godina učenja kemije, stavi u okruženje u kojem je modeliranje i uporaba modela razumljivo i opravdano, učenje kemijskih sadržaja biti će razumljivije i zanimljivije.

II. VIZUALIZACIJA

Što je vizualizacija? Prema World English Dictionary, riječ vizualizacija (eng. *visualization*), definira se kao tehnika koja zahtjeva fokusiranje na stvaranje pozitivnih ispravnih mentalnih slika kako bi se postigao željeni cilj. Prema Farlexovom rječniku, vizualizacija je definirana kao pokušaj da se vidljivim učini opisana situacija, nešto *“apstraktno se učini vidljivim”*. U računalnim rječnicima, pod pojmom vizualizacije podrazumijeva se izrada vidljivih brojevanih podataka, najčešće prikazanih u obliku grafičkog prikaza.

Vizualizacija je proces koji podrazumijeva stvaranje mentalne slike kao produkta percepcije objekta, proces je konvertiranja sirovih podataka u formu koja je vidljiva, lakše razumljiva te obuhvaća niz tehnika za stvaranje slika, dijagrama ili animacija kako bi se podaci preveli u vidljivu formu. Vrlo je važna u kemijskom obrazovanju jer od učenika traži uporabu, a time i razvoj određenih vještina za interpretaciju i razumijevanje različitih molekularnih prikaza koji omogućuje objašnjenje kemijskog

koncepta. Omogućuje objašnjenje uzroka i posljedica fenomena i procesa koji su učeniku nevidljivi i apstraktni, a koji su dio stvarnog svijeta. Vizualizacija ima važnu ulogu u poučavanju, ali sama po sebi nije i ne bi smjela biti cilj. Bez obzira kojom se definicijom pokušava objasniti pojam vizualizacija, važno je da su unutar objašnjenja zadovoljeni sljedeći uvjeti:

1) vizualizacija se mora temeljiti na *“ne-vidljivim podacima”* te proizlaziti iz podataka koji su apstraktni ili na prvu ne daju vidljive odgovore,

2) produkt procesa vizualizacije je stvaranje mentalne slike,

3) slika kao produkt procesa mora biti čitka, ispravna i prepoznatljiva.

Razvoj informacijsko-komunikacijske tehnologije omogućio je vizualizacijskom procesu veću informativnost, a ujedno i jednostavnost prilikom rukovanja.

Uporaba računalnih modela kao alata u vizualizacijskom procesu postaje sve važnija komponenta u procesu znanstvenog istraživanja, ali i u procesu aktivnog učenja. Aktivno učenje kod učenika podrazumijeva razvoj i implementaciju planiranih aktivnosti s ciljem da učenik *“uči radeći”*. Učenici u procesu aktivnog učenja (npr. kroz laboratorijski rad ili procesom izrade i korištenja modela) značajno postižu bolje rezultate u učenju i razumijevanju kemijskog sadržaja, učenje je dublje, smislenije, a razumijevanje koncepata kontekstualno opravdano i integrirano što dovodi do značajnog poboljšanja u retenciji znanja učenika, lakšem učenju novih koncepata, uživanju u samom procesu učenja i povećanoj motivaciji za daljnjim učenju zahtjevnih kemijskih sadržaja.

Računalna vizualizacija omogućuje sistemsko i fokusirano prikazivanje informacija [44] i kao takva vrlo je korisna u procesu aktivnog učenja, olakšava učenicima povezivanje kemijskih sadržaja kroz makroskopsku, sub-mikroskopsku i simboličku razinu te smisleno razumijevanje kemijskih sadržaja. Korištenjem računalnih modela, razvijaju se i

usavršavaju računalne vještine, razvija se kritičko mišljenje kod učenika, dolazi do preispitivanja vlastitih saznanja, predviđanja, lakšeg usvajanja i razumijevanja kemijskih koncepta. Vizualizacija može proširiti vizualnu memoriju i proces razmišljanja omogućujući učeniku da učeći kemiju „*vidi*“ teoriju u podlozi vizualizacijskog procesa [50].

III. VIZUALIZACIJA I PROSTORNO-VIZUALNE SPOSOBNOSTI

U stručnoj psihološkoj literaturi veliki je broj različitih definicija inteligencije. Svjetski priznati psiholozi, počevši od Bineta, Freemana, Gardnera, Jensena, Piageta, Thurstona pa sve do Younga, različito definiraju inteligenciju, ali se svi slažu da se inteligencija temelji na metalnom potencijalu koji sadrži elemente različitih sposobnosti s ciljem snalaženja u novoj nepoznatoj situaciji.

Ključni faktori za inteligenciju su opći ili generalni, *g-faktor*, koji podrazumijeva manifestaciju mentalnog potencijala na svim poljima ljudske djelatnosti te specifični, *s-faktor*, koji se manifestira na specifičnim poljima. Generalni faktor raščlanjuje se na sedam različitih faktora, definirajući pritom sedam primarnih sposobnosti: verbalna fluentnost, verbalno razumijevanje, pamćenje, vizualno-prostorna sposobnost, numerička sposobnost, perceptivna brzina uočavanja i induktivno zaključivanje.

Vizualno-prostorna sposobnost je vrlo važna u vizualizacijskom procesu jer od učenika traži vještinu kodiranja prostornih informacija iz senzorne memorije te održavanje unutarnjih prikaza u radnoj memoriji. Učenik treba obavljati prostorne transformacije kako bi se informacije integrirale u dugotrajno pamćenje [17]. Prostorna sposobnost uključuje prikaz, rotaciju i inverziju objekata u 3D koji je prikazan u 2D. S obzirom na složenost transformacije, razlikuje se nekoliko vizualizacijskih vještina:

1) *prostorna vizualizacija* koja podrazumijeva vještinu razumijevanja i crtanja 3D strukture iz 2D prikaza i obrnuto,

2) *prostorna orijentacija* koja uključuje sposobnost zamišljanja kako će prikaz ili struktura izgledati s druge pozicije gledanja,

3) razumijevanje *prostornih odnosa* koji nastaju kao posljedica rotacije, refleksije i inverzije prikaza ili strukture.

Da bi učenici razumjeli apstraktne kemijske koncepte i smjestili ih u kontekst stvarnog svijeta nužna je uporaba vizualnih prikaza. Od početnog učenja čestične građe tvari, preko modela atoma pa sve do složenih organskih struktura i njihovih transformacija, vizualni prikazi su neizbježni. Nastavnici kemije i istraživači u području kemijskog obrazovanja prepoznali su važnost vizualizacije u učenju kemije, iako uporaba vizualizacije povlači za sobom nekoliko pitanja [53], [63]:

1) *U kojoj mjeri individualne razlike u prostorno vizualnim sposobnostima učenika mogu predvidjeti uspjeh učenika u učenju kemijskih sadržaja?*,

2) *U kojoj mjeri konceptualne pogreške nastale učenjem kemijskih sadržaja proizlaze iz poteškoća razumijevanja, prevođenja i pretvaranja unutarnjeg i vanjskog vizualnog prikaza?*,

3) *U kojoj mjeri vizualizacijski alati (od statičkih fizičkih modela do dinamičkih interaktivnih računalnih modela), mogu pridonijeti boljem vizualno prostornom razumijevanju u učenju kemijskih sadržaja?*

Istraživanja koja su mjerila učenička postignuća u razumijevanju kristalne strukture tvari i stehiometriji, pokazuju postojanje korelacije između prostorno-vizualnih sposobnosti učenika i njihova uspjeha u rješavanja zadataka koji uključuju razumijevanje prostornih kemijskih struktura, ali i u zadacima iz stehiometrije koji ne uključuju prostorne strukture [6]. Bolji rezultati u zadacima iz stehiometrije, objašnjeni su činjenicom da rješavanje stehiometrijskih problema zahtjeva nekoliko koraka računanja da bi se približilo konačnom rješenju, a

prilikom formiranja više koraka potrebno je vizualno prostorno razmišljanje koje od učenika zahtjeva preispitivanje opravdanosti izvedivosti svakog sljedećeg koraka, manipuliranje relevantnim podacima i restrukturiranje problema [6]. Potvrda navedenog zaključka očituje se iz rezultata istraživanja uloge prostornog razmišljanja u matematici koji pokazuju da su prostorne sposobnosti učenika u korelaciji sa geometrijskim (prostornim) zadacima i algebarskim (ne-prostornim) zadacima što je objašnjeno činjenicom da prilikom rješavanja algebarskih zadataka, učenici također moraju prostorno razmišljati, odnosno mentalno manipulirati brojevima i procjenjivati kvantitet [47]. Prilikom procjenjivanja i manipuliranja brojčanim podacima stimulirani su isti dijelovi mozga kao i prilikom rješavanja prostornih zadataka [16].

Istraživanja pokazuju da uporaba vizualizacijskih zadataka koji od učenika zahtjevaju manipuliranje sa 2D prikazima iz područja organske kemije, a koji ujedno pridonose i razvoju prostorne sposobnosti, dovode do poboljšanja uspjeha na testu iz organske kemije za čak 10 % nakon prvog semestra, iako je uočena početna mala pozitivna korelacija između prostornih sposobnosti i uspjeha u organskoj kemiji [8], [50]. Značajna korelacija ustanovljena je između prostornih sposobnosti i postignuća u zadacima koji zahtijevaju vještine rješavanja problema, dok je manji utjecaj prostornih sposobnosti vidljiv u zadacima koji uključuju memoriranje ili korištenje jednostavnih algoritama [10]. Vrlo su slični rezultati istraživanja koji pokazuju da vizualno prostorne sposobnosti učenika značajno utječu na točnost rješavanja zadataka koji traže izjednačavanja kemijske jednadžbe [58]. Pronađene su tri zajedničke varijable koje utječu na rezultat: razmišljanje, rotacija te sposobnost izlaženje iz okvira kognitivne rekonstrukcije što podupire tezu o restrukturiranju problema u prostornoj domeni prilikom rješavanja problema u kemiji [6].

IV. VIZUALIZACIJA U KEMIJSKOM OBRAZOVANJU

Kemija je vizualna znanost, a vizualizacija igra važnu ulogu u smještanju kemijskih koncepata u kontekst stvarnog svijeta. Poučavanje kemijih sadržaja temelji se na proučavanju građe tvari, fizikalnih i kemijskih svojstava tvari te načinima interakcija među tvarima. Da bi učenik razvio sposobnosti istraživanja, preispitivanja i razumijevanja prirodnih procesa i fenomena kroz ideju molekule, atoma i subatomske čestice, kemijsko obrazovanje se temelji na učenju na tri razine, a samim time se i kemijski prikazi kategoriziraju na tri razine [49]:

1). *makroskopska razina* koji obuhvaća slike i dijagrame koji opisuju promatrani fenomen,

2). *mikroskopska razina* koja se temelji na modelima i vizualnim prikazima rasporeda i kretanja čestica te

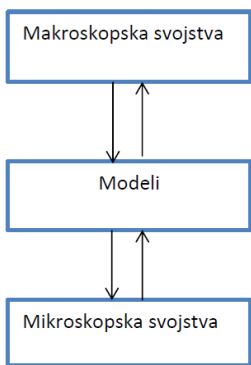
3). *simbolički razina* koja uključuje simbole, brojeve i znakove koji predstavljaju atome, molekule, smjese i kemijske procese.

Istraživanja pokazuju da učenici imaju velike poteškoće u interpretaciji mikroskopskih i simboličkih prikaza iako pokazuju razumijevanje vizualnog prikaza na makroskopskom nivou, na svim razinama obrazovanja [2], [14], [15], [29], a najveće poteškoće, a samim time i najmanji interes imaju za učenje sadržaja organske kemije [1], [8], [23], [30], [42], [50], [55]. Poteškoće su vidljive u nemogućnosti izrade ekvivalentnog prikaza u odnosu na zadani prikaz, djelomično zbog nedostatka znanja o poučavanom sadržaju, djelomično zbog nedovoljno razvijenih vizualno-prostornih vještina te se najjače izraze u razumijevanju sadržaja iz područja organske kemije [38]. Shvaćanje i razumijevanje strukture, a samim time i fizikalnih i kemijskih svojstava organskih molekula, učenicima predstavlja problem zbog nemogućnosti točnog predviđanja i objašnjenja građe i ponašanja tvari, procesa ili sustava [16].

Vizualizacija se koristi i kao komunikacijsko sredstvo u nastavi kemije, npr. da bi se objasnio pojam izomerizacije, odnosno izomera, učenik treba prevesti kemijsku formulu u molekularne strukture, vizualno izraziti sposobnost 3D konfiguracije molekula te verbalizirati učinjeno. Razvijanje sposobnosti mentalnog manipuliranja kemijskim prikazima iz 2D u 3D i obrnuto, kod učenika će dovesti do smislenijeg učenja koncepta iz područja organske kemije, razumijevanja i povezivanja sadržaja te do razvoja naprednog znanstvenog istraživanja nužnog za uočavanje ispravnih veza u prirodnim procesima.

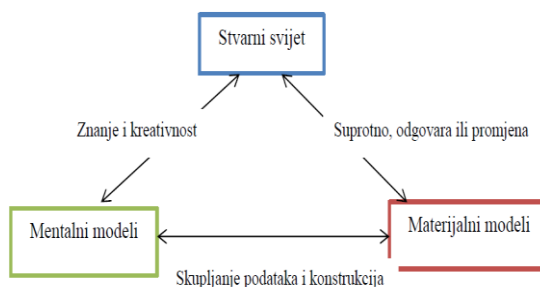
A. Modeli.

Zadnjih 50 godina, istraživači u području obrazovanja kemije, kao i edukatori, svatko iz svog kuta gledišta, u centar istraživanja stavljaju modele, njihovu opravdanost korištenja u procesu učenja i razumijevanja kemijskog sadržaja. H. R. Harré, britanski filozof i psiholog navodi da slika ili objekt, stvaran ili zamišljen, ne predstavlja model. Model jest i opravdan je jedino u slučaju ako pridonosi uočavanju veza između objekata ili fenomena [24]. U kemijskom obrazovanju, model predstavlja ili je konkretan objekt ili proces, prikaz temeljen na znanstvenoj ideji koji ima specifičan cilj, često ne nudi potpuno objašnjenje, ali omogućuje predviđanje te pridonosi uspostavljanju veza između poučavanja i razumijevanja kemijskog sadržaja.



Slika 1: Modeli povezuju mikroskopsko i makroskopsko (prema [32])

Modeli su prikazi temeljeni na analogiji koja označava vezu utemeljenu na strukturalnoj sličnosti između cilja, odnosno nepoznatog objekta, fenomena ili sistema i baze, odnosno izvora, poznatog fenomena ili sistema koji pridonosi objašnjenju cilja [25]. U tom smislu modeli u kemijskom obrazovanju predstavljaju vezu između teorije koja se poučava i učeničkog razumijevanja kemijskih koncepta i procesa. Definiraju se kao prikazi, pravila ili strukturalna objašnjenja koja učeniku omogućuju aktivnost u procesu istraživanja, znanstveno ispravno razumijevanje kemijskih koncepta i predviđanje promjena unutar poučavanog kemijskog sadržaja.



Slika 2: Veza između modela i stvarnog svijeta (prema [8])

Postoji veliki broj vrsta i podjela modela, od podjele na materijalni i mentalni do podjele na statički i dinamički model. Model u kemijskom istraživanju je *znanstveni model*, koji opisuje i prezentira znanstvene podatke, namijenjen je znanstvenoj zajednici te je podložan promjenama kroz vrijeme, a u poučavanju kemijskih sadržaja može biti *obrazovni model* koji ima specifičan cilj u procesu poučavanja i učenja te *učenički model* pomoću kojeg učenik izražava svoja saznanja i objašnjenja kemijskih koncepta [21]. Modeli predstavljaju važan instrument u znanosti i obrazovanju, a da bi bili vjerodostojni, moraju ponuditi odgovor na pitanja:

- 1) Što je model?
- 2) Koja je funkcija modela?
- 3) Kako učiti pomoću modela?
- 4) Na koji su način modeli povezani s teorijom?

5) *Koje su moguće implikacije pristupa temeljenog na učenju pomoću modela?*

Postojanje velikog broja različitih vrsta modela pomaže nastavnicima u odabiru najprikladnijeg u procesu poučavanja ciljanog znanstvenog koncepta s obzirom na dob, predznanje i kognitivne sposobnosti učenika. Istraživanje na uzorku od 228 srednjoškolskih učenika pokazuje da većina učenika smatra modele konkretnim replikama kemijskog fenomena ili procesa, a čak 43% ispitanika smatra da je model točna replika. 20% ispitanika smatra da je model „malo više“ od kopije originala [64].

Greške u poimanju značenja modela proizlaze iz neispravno konstruiranog mentalnog modela kojeg učenici stvaraju na temelju informacija koje su prikupili u procesu učenja kemijskog sadržaja i koje su sposobni razumijeti.

Mentalni modeli su refleksije utemeljene na predviđanju ili objašnjenju situacije i kao takve nestabilne su jer se stvaraju trenutno na temelju vizualnog prikaza materijalnog modela. Odbacuju se čim za njima nestane potreba pa ih se često smatra i pretečama različitih miskonceptata [20].

Istraživanje pokazuje da 75% učenika smatra da model treba biti što sličniji stvarnom pojmu i nuditi točne informacije [64]. Na ovaj zahtjev bolje će odgovoriti računalni model nego fizički model .

Aktivno učenje, koje učeniku daje centralnu ulogu u procesu učenja, omogućuje da učenik uporabom modela uspješno zaokruži ciklus koji se sastoji od istraživanja, izražavanja, konstrukcije, primjene i revizije uloge modela u procesu učenja. U procesu poučavanja kemijskih sadržaja, nastavnici najčešće koriste 2D prikaze te 3D fizičke, opipljive modele, a rjeđe računalne, dinamične i interaktivne modele. Za razliku od fizičkih modela koji su manje vjerodostojni i ograničeni u svojoj ulozi zbog statičnosti, nepotpunih i netočnih znanstvenih informacija, računalni modeli imaju veći potencijal za poticanje razvoja vještina crtanja i modeliranja kod učenika te pritom pridonose ispravnom razumijevanju poučavanih kemijskih sadržaja i

stvaranju ispravnih mentalnih prikaza kemijskih konceptata.

B. Računalna vizualizacija.

Razvoj računalnog modeliranja, CMM-a (*eng. Computerized Molecular Modeling*) kasnih 60-ih godina i postavljanje učenika u aktivnu ulogu u procesu modeliranja pridonosi razvoju kreativnosti kod učenika te potiče veću motivaciju za učenjem složenijih kemijskih sadržaja.

Istraživanje provedeno na uzorku od 614 srednjoškolskih učenika pokazuje poboljšanje sa 75% uspješnosti u rješavanju zadataka koji zahtjevaju transformacije molekulske formule organske molekule u strukturnu formulu na predtestu na 80% uspješnosti na posttestu te poboljšanje u točnosti rješavanja zadataka koji zahtjevaju transformaciju molekulske i strukturne formule u model organske molekule sa 40 % uspješnosti u rješavanju zadataka na predtestu na 80% uspješnosti na posttestu [18]. Računalno modeliranje poboljšava vještinu modeliranja što se očituje u boljim rezultatima na testu znanja iz organske kemije, ali i boljim rezultatima učenika koji imaju lošije ocjene iz kemije [18].

Sposobnost transformacije 2D strukturnih prikaza organskih molekula i 3D prikaza u računalnom okruženju se poboljšava. Učenje koje se odvija u drugačijem, interaktivnom okruženju, potiče jasnije rješavanje problema kroz crtanje i manipuliranje 3D prikazima struktura organskih molekula korištenjem računalnih programa te kao takvo, računalno modeliranje predstavlja moćan, zanimljiv i dostupan alat koji pomaže u razumijevanju i predviđanju prostorne strukture i fizikalnih i kemijskih svojstava organske molekula.

Interaktivna, računalnom potpomognuta, molekularna vizualizacija potiče učenike na razmišljanje o kemijskom sadržaju kroz termine molekula, modela i simbola uz mogućnost aktivnog samostalnog rada u procesu učenja. Razvoj računalne tehnologije nudi mogućnost individualnog

učenja te crtanja, simuliranja i demonstriranja modela molekula na mikro i makro skali što tradicionalno korištenje statičkih fizičkih modela ne pruža [17], [18]. Mnogi sadržaji u kemiji, pogotovo u organskoj kemiji, zahtijevaju od učenika razumijevanje 3D strukture, znanstveno točno objašnjenje fizikalnih i kemijskih promjena koje se odvijaju u određenom vremenu te uočavanje uzročnosti. Da bi učenici bili uspješni u konceptualnom razumijevanju kemijskog sadržaja moraju biti sposobni interpretirati simbole, razumjeti čestičnu građu tvari i promjene prostorne strukture. Nužno je poticanje konceptualnog razmišljanja kod učenika i ne-algoritamsko rješavanje problema. Razvojem i uporabom informacijsko-komunikacijske tehnologije u procesu poučavanja stvoreni su praktični pristupi za premošćivanje razina na kojima se poučavaju i uče kemijski sadržaji, a napredak se najviše očituje na mikroskopskoj razini. Primjenom multimedijskog pristupa poučavanja stvoreni su idealni uvjeti za poticanje i razvoj vizualno-prostornih sposobnosti učenika kroz različite senzorne integracije što dovodi do smislenog učenje kemijskih sadržaja, pojmova i procesa. Poticanjem više osjetila pri poučavanju i učenju, stvaraju se jasnije i bogatije predodžbe te se putem senzornih integracija utječe na osvješćivanje kognitivne samoeфикаsnosti.

Jedna od suvremenih pedagoških metoda koja se koristi u poučavanju sadržaja organske kemije uključuje računalno modeliranje, korištenje računalnih animacija i simulacija koji omogućuju učenicima aktivno istraživanje i razumijevanje kemijskih koncepta [17], [18]. Računalne animacije i simulacije imaju heurističku vrijednost, potiču stvaranje novih modela i hipoteza te zornije učenje kemijskih konceptata i zakonitosti. Računalna vizualizacija pridonosi konceptualnom razumijevanju kemijskih sadržaja te je dobra podrška učeniku u procesu znanstvenog istraživanja. Pridonosi samostalnom postavljanju istraživačkog pitanja, omogućuje izradu nacрта istraživanja,

podupire planiranje pokusa kroz konstruiranje aparature, prikupljanje i analizu podataka, izvođenje i preispitivanje zaključaka te predstavljanje rezultata.

Informacijsko-komunikacijska tehnologija je nužna i neizbježna u suvremenom pristupu poučavanja. Ima važnu ulogu u razvoju: (i) *kritičkog mišljenja* - korištenjem vizualizacije kroz simulacije i modeliranje, (ii) *kritičkog vrednovanja* - kroz online rasprave, (iii) *procesu sabiranja znanja* - korištenjem digitalnih izvora znanja i (iv) *analiziranje podataka* - kroz računalno prikupljanje i analizu podataka.

Istraživanja koja koriste računalnu vizualizaciju kao metodu u procesu poučavanja pokazuju da ona utječe na točnije razumijevanje trodimenzionalne strukture molekula [17], [18], razumijevanje koncepta modela i na povećanje vizualno-prostorne sposobnosti [59]. Mnoga istraživanja [12], [17], [18], [34], [35], [36], [37], [39], [42], pokazuju da računalna vizualizacija temeljena na korištenju interaktivnih modela i omogućavanju učeniku da bude aktivni sudionik procesa modeliranja utječe na poboljšanje učeničkog razumijevanja kemijskih konceptata i razvoj vještina 3D vizualizacije.

Danas je dostupan veliki broj različitih računalnih „pomagala“ u obliku digitalnih izvora ili kognitivnih alata. Digitalni izvor kao računalno dostupan izvor sadrži činjenice važne za objašnjenje određenog kemijskog sadržaja te vrijedne znanstvene informacije predstavljene u formi teksta, slike, animacije, simulacije, videa ili nekog drugog interaktivnog formata. Zabrinutost je opravdana u slučaju česte upotreba većeg broja gotovih animacija što može dovesti do učenja na nižoj razini te nemogućnosti održavanja motivacije i koncentracije. Kognitivni alat je računalni izvor dostupnih informacija koji predstavlja fokusirane informacije posebno prilagođene za određeni cilj učenja za određenu populaciju. Omogućuje učeniku da u interaktivnom motivirajućem okruženju, kroz vlastito interpretiranje i organiziranje konceptata te

razvoj kritičkog mišljenja bude kreator vlastitog znanja.

C. Modeliranje

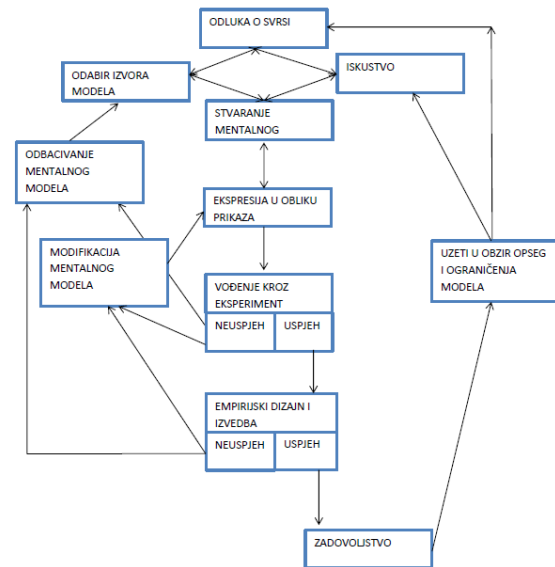
Modeliranje je ključni proces u razumijevanju znanstvenih spoznaja, zahtjeva korištenje fizičkih ili računalnih modela kao ekspresijskog sredstva ispravno stvorenog mentalnog modela. To je proces produkcije, vrednovanja i diseminacije znanstvenog znanja, način stimulacije znanstvenog razmišljanja [20], [21]. Konstruktivno modeliranje od učenika zahtjeva:

- 1) odabir i stvaranje objašnjenja,
- 2) definiranje i reviziju problema kroz vrijeme,
- 3) potragu za informacijama i podacima,
- 4) uspostavljanje veza između podataka za izgradnju modela što dovodi do odabira kvalitetnih informacija,
- 5) kontekst za znanstveno argumentiranje,
- 6) kontekst za opravdavanje tvrdnji, daje smisao znanosti i znanstvenim alatima (modelima).

Modeliranje ispravlja slabosti tradicionalnog demonstracijskog korištenja modela, uključujući i fragmentaciju znanja, učeničku pasivnost i konzistenciju u naivnom shvaćanju prirode [2]. Proces modeliranja kao središnja aktivnost u procesu poučavanja i učenja, pruža učeniku mogućnost progresivnog učenja, preispitivanje vlastitih zaključaka te bolje razumijevanje složenih fenomena. Kroz interakciju s razredom, učenici svoje modele dijele, objašnjavaju, kritiziraju i unaprjeđuju. Aktivno učenje kroz proces modeliranja ne pridonosi samo konceptualnom razumijevanju kemijskog sadržaja, nego i razumijevanju prirode modela i njegove uloge u objašnjenju znanstvenog znanja. Kroz proces modeliranja učenici uočavaju važnost odabira modela i procesa modeliranja u kontekstu koji prikazuje prepoznatljive probleme iz perspektive učenika.

Proces modeliranja od učenika zahtjeva stvaranje mentalnog modela s obzirom na svrhu uporabe modela i prijašnje iskustvo, ekspresiju mentalnog

modela u obliku odgovarajućeg prikaza, testiranje odabranog modela koje može dovesti do preispitivanja uporabe ili modifikacije modela te razmišljanje o djelokrugu i ograničenjima modela [22].



Slika 3: Dijagram modeliranja (prema [22])

Uloga nastavnika u procesu modeliranja je pretvaranje učionice u istraživačko okruženje, pomaganje i usmjeravanje učenika prilikom izvođenja svih faza procesa modeliranja i razvoja potrebnih vještina modeliranja [20] [21] [25], [32]. Modeliranje predstavlja kompromis između sličnosti i razlika prilikom prikazivanja dijela nevidljivog svijeta modelom. Ako model ne odgovara, empirijski podaci mogu se objasniti i ispraviti.

Istraživanje razumijevanja čestične građe tvari u kojem su animacije korištene kao digitalni alat, a učenici aktivni sudionici procesa modeliranja, pokazuje da najbolje rezultate postižu učenici od kojih se zahtjevalo dizajniranje animacije, evaluacija dizajniranog i interpretacija [12]. Izostajanjem bilo kojeg zadatka unutar procesa modeliranja dovelo je do lošijih rezultata objašnjenja čestične građe tvari [12]. Iako učenici pozitivno reaguju i prepoznaju važnost modeliranja u procesu razumijevanja

kemijskog sadržaja, nužno je nastavnikovo vođeno istraživanje kroz sve faze modeliranja [18].

V. ZAKLJUČAK

S učenjem apstraktnih kemijskih sadržaja, učenik se susreće od početka učenja kemijskih sadržaja. Učenje čestične građe tvari, građe atoma, fizikalnih i kemijskih promjena, fenomena i procesa, složenih organskih struktura i transformacija, zahtjeva razumijevanje na submikroskopskoj i objašnjenje na makroskopskoj razini. Složeno, apstraktno i kognitivno zahtjevno poučavanje i učenje kemijskih sadržaja temelji se na teorijama, pokusima i modelima. Modeli su uvedeni u proces poučavanja kemijskih sadržaja davne 1811. g. kada je Dalton prikazao prvi model građe atoma. Zlatno doba izrade, a time i uporabe modela počinje proliferacijom setova modela molekula temeljenih na Stuartovom "modelu punjenja" 20-ih godina prošlog stoljeća. Danas za objašnjenje kemijskih sadržaja nastavnici koriste od tradicionalnih 3D fizičkih modela do stereokemijskih projekcija i virtualnih računalnih modela.

Neovisno o odbranom modelu koji se koristi u poučavanju kemijskog sadržaja, njegova nužnost je opravdana jer model omogućuje učeniku povezivanje teorije i fenomena, pomaže mu u razvoju teorije iz dobivenih podataka te smještanje teorije u stvarni svijet. Važnost postavljanja učenika u aktivnu ulogu u procesu modeliranja prilikom učenja, razumijevanja i objašnjenja kemijskih koncepata prepoznata je i od strane istraživača, ali i od strane nastavnika. Vizualizacija kemijskih koncepata procesom stvaranja ispravnog mentalnog modela i njegovom ekspresijom u procesu modeliranja pokušaj je viđenja nevidljivog, realiziranje opisanog. U tom procesu vrlo važan faktor je vizualno-prostorna sposobnost učenika koja se očituje u sposobnosti kodiranja prostornih informacija iz senzorne memorije te stvaranja i održavanja unutarnjih prikaza u radnoj memoriji. Vizualno-prostorna sposobnost važan je kognitivni

faktor koji se razvija uporabom različitih vizualizacijskih alata. Interaktivni računalni modeli omogućuju multiple znanstveno točne prikaze i opise, prikazuju dinamičnu i interaktivnu prirodu kemijskih sadržaja, omogućuju učeniku jednostavniju transformaciju prikaza strukture tvari iz 2D u 3D. Pri tome, za razliku od fizičkih modela, povećavaju motivaciju za učenjem i preispitivanjem te smanjuju kognitivno opterećenje u procesu integracije informacija što je nužno za razumijevanje kemijskih koncepata [56].

LITERATURA

- [1] Abraham, M., Varghese, V., Tang, H.(2010) Using Molecular Representations to Aid Student Understanding of Stereochemical Concepts, *Journal of Chemical Education*, (pp1425-1429)
- [2] Adbo, K. , Taber, K. S. (2009) Learners' Mental models of the Particle Nature of Matter: A Study of 16 – years – old Swedish Science Students, *International Journal of Science Education*, 31, (pp. 757 – 786)
- [3] Al – Balushi, S. M. (2013) The Relationship between Learners' Distrust of Scientific Models, Their Spatial Ability and the Vividness of Their Mental Images, *International Journal of Science and Mathematics Education*, 11, (pp. 707 – 732)
- [4] Aldahmash, A.H., Abraham, M. R. (2009) Kinetic versus Static Visuals for Facilitating College Students' Understanding of Organic Reaction Mechanisms in Chemistry, *Journal of Chemical Education*, (pp1442-1446)
- [5] Bodner, G.,M., Guay, R., B., (1997). The purdue visualization of rotations test,*The chemical Educator*, 2, No.4
- [6] Bodner G. M. , McMillan T. B.L.,(1986), Cognitive restructuring as an early stage in problem solving, *Journal.Res.Sci.Teach.*,23,727-37.
- [7] Boljat, I. (1996) Modeli u pedagogiji – nužno zlo i/ili krajnji doseg, *Školski vjesnik*, 45, (pp. 5-14)

ULOGA INTERAKTIVNIH MODELA U POUČAVANJU SADRŽAJA ORGANSKE KEMIJE

- [8] Bowen, C., Barsalou, L. Spatial ability and other predictors of success in organic chemistry, *Journal of Research in Science Teaching*
- [9] Cai, S., Wang, X., Chiang, F.-K. (2014) A case study of Augmented Reality simulation system application in a chemistry course, *Computers in Human Behavior*, 37, (pp.31–40)
- [10] Carter, C.S., LaRussa, M.A., & Bodner, George M. (in press). A study of two measures of spatial ability as predictors of success in different levels of general chemistry, *Journal of Research in Science Teaching*.
- [11] Chamizo, J., A. (2011) A new definition of models and modeling in chemistry teaching, *Springer*
- [12] Chang, H. Y., Chang, H. C., (2013). Scaffolding Students' Online Critiquing of Expert and Peer – generated Molecular models of Chemical Reactions, *International Journal of Science Education*, 35, (pp. 2028 – 2056)
- [13] Chi, H., Jain, H. (2011) Teaching Computing to STEM Students via Visualization Tools, *Procedia Computer Science*, 4, (pp. 1937–1943)
- [14] Devetak, I., Glazar, S. A. (2010) The Influence of 16 – years – old Students' Gender, Mental Abilities, and Motivation on Their Reading and Drawing Submicrorepresentations Achievements, *International Journal of Science Education*, 32, (pp. 1561 – 1593)
- [15] Devetak, I., Hajzeri, M., Glazar, S. A., Vogrinc, J. (2010) The Influence of Different Models on 15-years-old Students' Understanding of the Solid State of Matter, *Acta chimica slovenica*, 57, (pp. 904-911)
- [16] D'Esposito M, Aguirre G., K, Zarahn E, Ballard D, Shin R., K, Lease J. (1998) Functional MRI studies of spatial and nonspatial working memory, *Brain Res Cogn Brain Res*;7,1, (pp.1-13)
- [17] Dori, Y.J, Barak, M. (2000) Computerized Molecular Modeling: Enhancing Meaningful Chemistry Learning
- [18] Dori, Y. J., Kaberman, Z. (2012) Assessing high school chemistry students' modeling sub-skills in a computerized molecular modeling learning environment, *Instructional Science*, 40, (pp.69–91)
- [19] Ferreira, C, Baptista, M., Arroio, A. (2013) In Service Training of Chemistry Teachers; The Use of Multimedia in Teaching Chemistry, *Eurasia Journal of Mathematics Science and Tehnology Education*, 9, (pp.301 -310)
- [20] Gilbert, J., K. (2006) Visualization in Science Education, *Springer*
- [21] Gilbert, J., K (2005) Visualization: A Metacognitive Skill in Science and Science Education, *Springer* (pp. 9-27)
- [22] Gilbert, J., K (2010) The role of visual representations in the learning and teaching of science: An introductory Asia-Pacific Forum on Science Learning and Teaching, Volume 11, Issue 1, Foreword, p.1
- [23] Gunersel, A. B., Fleming, S. A., (2013) Qualitative Assessment of a 3D Simulation Program: Faculty, Students and Bio – Organic Reaction Animations, *Journal of Chemical Education*, 90, (pp. 988 – 994).
- [24] Harré, R. (2004). Modeling: Gateway to the unknown. Amsterdam: Elsevier.
- [25] Harrison, A., G., Treagust, D., F. (1998) Modelling in Science Lesson: Are There Better Ways to Learn With Models?, *School science and mathematics*, 98, 8, (pp.409-460)
- [26] Hesse, M. (1966). Models and analogies in science. Notre Dame: University of Notre Dame Press.
- [27] Hinze, S.R., Rapp, D. N., Williamson, V. M., Shultz, M. J., Deslongchamps, G., Williamson, K. C. (2013) Beyond Ball and-Stick: Students' Processing of Novel STEM Visualizations, *Learning and Instruction*, (pp.12-21)
- [28] Hoffmann, R. (2003) Thoughts on Aesthetics Visualization in Chemistry, *HYLE – International Journal for Philosophy of Chemistry*, 9, (pp.7-10)
- [29] Holbrook, J. (2005) Making chemistry teaching relevant (2005) *Chemical Education International*, 6
- [30] Horowitz, G., Rabin, L.A., Brodale, D. L. (2013) Improving student performance in organic chemistry: Help seeking behaviors and prior chemistry aptitude, *Journal of the Scholarship of Teaching and Learning*, 13, (pp. 120 – 133)
- [31] Jackson, J., Dukerich, L. (2008) Modeling Instruction: An Effective model for Science Education, *Science Educator*, 17,

(pp. 10-17)

[32] Justi, R. (2009) Learning how to model in science classroom: key teacher's role in supporting the development of students' modelling skills, *Educacion Quimca*

[33] Jones, L. L. (2013) How Multimedia-Based Learning and Molecular Visualization Change the Landscape of Chemical Education Research, *Journal of Chemical Education*, 90, (pp. 1571-1576)

[34] Jones, L. L., Jordan, K. D., Stillings, N. A. (2005) Molecular visualization in chemistry education: the role of multidisciplinary collaboration, *Chemistry Education Research and Practice*, 6, (pp.136-149)

[35] Karacop, A., Doymus, K., (2013) Effects of Jigsaw Cooperative Learning and Animation Techniques on Students' Understanding of Chemical Bonding and Their Conceptions of the Particulate Nature of Matter, *Journal of science education and technology*, 22, (pp. 186-203)

[36] Kibarkin, J., C., Brick, C. (2002) Research Methodologie in Science Education: Visualization and the Geosciences, *Journal of Geoscience Education*, 50, (pp. 449 - 455)

[37] Korakakis, G., Boudouvis, A., Palyvos, J., Pavlatou, E. A. (2012) The impact of 3D visualization types in instructional multimedia applications for teaching science, *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 31, (pp.145 – 149)

[38] Kozma, R. (2003). Material and social affordances of multiple representations for science understanding. *Learning and Instruction*, 13(2), 205-226.

[39] Levy, D. (2013) How Dynamic Visualization Technology can Support Molecular Reasoning, *Journal of Science Education and Technology*, 22, (pp. 702 – 717)

[40] Levy, S.T., Wilensky, U. (2009) Students' Learning with the Connected Chemistry (CC1) Curriculum: Navigating the Complexities of the Particulate World, *Journal of Science Education & Technology*, 18, (pp. 243–254)

[41] Lewthwaite, B. (2013) Thinking about practical work in chemistry: teachers' considerations of selected practices for the macroscopic experience

[42] Lou, S.-J., Lin, H.-C., Shih, R.-C., Tseng, K.-H. (2012) Improving the effectiveness of organic chemistry experiments

through multimedia teaching materials for junior high school students, *The Turkish Online Journal of Educational Technology*, 11, (pp. 135-141)

[43] Mahaffy, P. (2004) The future shape of chemistry education, *Chemistry Education Research & Practice*, 5, (pp.229-245)

[44] Merchant, Z., Goetz, E. T., Keeney – Kennicutt, W., Cifuentes, L., Kwok, O., Davis, T. J., (2013). Exploring 3D virtual reality for spatial ability and chemistry achievement, *Journal of Computer Assisted Learning*, 29, (pp. 579 – 590)

[45] Oliver-Hoyo, M., Sloan, C. (2014) The development of a Visual-Perceptual Chemistry Specific (VPCS) assessment tool, *Journal of Research in Science Teaching*, 51, (pp.963–981)

[46] Özmen, H. (2011) Effect of animation enhanced conceptual change texts on 6th grade students' understanding of the particulate nature of matter and transformation during phase changes, *Computers & Education*, 57 (pp.1114–1126)

[47] Pattison, P., E., Grieve, N (1984) Do spatial skills contribute to sex differences in different types of mathematical problems? *Journal of Educational Psychology*, 76,4,(pp.678-689)

[48] Petrović Pleroković, V., Turčinović, D., Halasz, I (2014) Kemija ugljikovih spojeva, udžbenik za četvrti razred gimnazije, Školska knjiga

[49] Pickering, M. (1990) Further studies on concept learning versus problem solving, *Journal of Chemical Education*, 67 (3), (p 254)

[50] Pribyl, J. R., Bodner, G. M. (1987) Spatial ability and its role in organic chemistry: A study of four organic courses, *Journal of Research in Science Teaching*, 24, (pp. 229-240)

[51] Rapp, D., N. (2005) Mental Models: Theoretical Issues for Visualizations in Science Education, *Models and Modeling in Science Education*, 1, (pp. 43-60)

[52] Ribarić, N., Futivić, I., Sakač, N. (2014) Kemija 4, udžbenika za četvrti razred gimnazije, Alfa

[53] Rieber, L. P. (1995) A historical review of Visualization in human cognition, *Educational Technology Research and Development*, 43, (pp. 45-56)

ULOGA INTERAKTIVNIH MODELA U POUČAVANJU SADRŽAJA ORGANSKE KEMIJE

- [54] Rizman Herga, N., Ivanuš Grmek, M., Dinevski D. (2014) Virtual laboratory as an element of visualization when teaching chemical contents in science class, *The Turkish Online Journal of Educational Technology*, 13, (pp.157-165)
- [55] Sabbaghana, M., Akbarib, F., Sedghpour; B. S.(2013) Conceptual Map Modelling of the Relationship between Three Factors: Structure, Properties and Applications, *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 90, (pp. 319 – 323)
- [56] Savec, V. F., Vrtačnik, M., Gilbert, J. K., Peklaj, C. (2006) In – Service and Pre – Service Teachers' Opinion on the Use of models in Teaching Chemistry, *Acta Chimica Slovenica*, 53, (pp. 381 – 390)
- [57] Shepard, R.N., Cooper, L.A. (1982). Mental images and their transformations. Cambridge, MA/London, England, MIT Press
- [58] Staver, J., R., Jacks, T. (1988)The influence of cognitive reasoning level, cognitive restructuring ability, disembedding ability, working memory capacity, and prior knowledge on students' performance on balancing equations by inspection, *Journal of Research in Science Teaching*, 25, 9, (pp. 763–775)
- [59] Stevens, S. Y., Delgado, C., Krajick, J. S. (2010). Developing a Hypothetical Multi – Dimensional Learning Progression for the Nature of Matter, *Journal of Research in Science Teaching*, 47, (pp. 687 – 715)
- [60] Stieff, M., Scopelitis, S., Lira, M. E., DeSutter, D. (2016) Improving Representational Competence with Concrete Models, *Science Education*, 100 (pp. 344-363)
- [61] Stričević, D., Sever, B. (2014) Temelji organske kemije, udžbenik za četvrti razred gimnazije, Profil
- [62] Supasorn, S. (2012) Enhancing undergraduates' conceptual understanding of organic acid-base-neutral extraction using inquiry-based experiments, *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 46, (pp. 4643 – 4650)
- [63] Teruya, L. C., Marson, G. A., Ferreira, C. R., Arroio, A. (2013) Visualization in Chemistry Education: Directions for Research and Development of Educational Resources, *Quimica Nova*, 36, (pp.561 – U127)
- [64] Treagust, D. F., Chittleborough, G., Mamiala, T. L. (2002) Students' understanding of the role of scientific models in learning science, *International Journal of Science Education*, 24, 4, (pp. 357 - 368)
- [65] Tufte, E. R. (2001) The visual display of quantitative information
- [66] Urhahne, D., Nick, S., Schanze, S. (2009) The Effect of Three-Dimensional Simulations on the Understanding of Chemical Structures and Their Properties, *Research in science education*, 39, (pp. 495-513)
- [67] Vrtačnik, M., Ferik, V., Dolničev, D., Savojec, M. (1999) Pomen vizualizacije za razvijanje predstav o pojmihi in procesnih v kemiji, *Organizacija*, 32, (pp.454 - 460)
- [68] Wang, C.,Y., Barrow, L., H.(2011). Characteristics and Levels of Sophistication: An Analysis of Chemistry Students' Ability to Think with Mental Models, *Research in Science Education*, 41(pp. 561–586)
- [69] Wu, H. – K., Shah, P. (2004) Exploring Visuospatial Thinking in Chemistry Learning, *Science Education*, 88, (pp. 465-492)
- [70] Zhang, Z. H., Linn, M. C. (2013) Learning from Chemical Visualizations: Companion generation and selection, *International Journal of Science Education*, 35, (pp.2174 – 2197)