

Mogućnosti primjene računalne animacije u inženjerskom obrazovanju

Jovanović, Marko

Undergraduate thesis / Završni rad

2015

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Rijeka, Faculty of Humanities and Social Sciences / Sveučilište u Rijeci, Filozofski fakultet u Rijeci**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:186:855497>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-13**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Humanities and Social Sciences - FHSSRI Repository](#)



SVEUČILIŠTE U RIJECI
FILOZOFSKI FAKULTET
ODSJEK ZA POLITEHNIKU

**Mogućnosti primjene računalne animacije u
inženjerskom obrazovanju**

Završni rad

Student : Marko Jovanović

Rijeka, 2015.

SVEUČILIŠTE U RIJECI
FILOZOFSKI FAKULTET
ODSJEK ZA POLITEHNIKU

Marko Jovanović

Matični broj : 0009055790

**Mogućnosti primjene računalne animacije u
inženjerskom obrazovanju**

Završni rad

Mentor završnog rada : prof. Damir Purković

Rijeka, 2015.

FILOZOFSKI FAKULTET U RIJECI

Odsjek za Politehniku

U Rijeci, rujan 2015. godine.

ZADATAK ZA ZAVRŠNI RAD

Pristupnik: **Marko Jovanović**

Studij: **Sveučilišni preddiplomski studij politehnike**

Naslov završnog rada: **Mogućnosti primjene računalne animacije u inženjerskom obrazovanju**

Kratak opis zadatka: Istražiti suvremene trendove u primjeni računalne animacije u odgojno-obrazovnom procesu i utjecaj animacije na procese učenja i poučavanja. Na temelju istraživanja osmisliti okvirni koncept i mogućnosti primjene animacije u inženjerskom obrazovanju.

Zadatak uručen pristupniku: **12. rujna 2015 . godine**

Ovjera prihvatanja završnog rada od strane mentora: _____

Završni rad predan: 14.09.2015

Datum obrane završnog rada: _____

Članovi ispitnog povjerenstva: 1. predsjednik - _____

2. mentor - _____

3. član - _____

Konačna ocjena: _____

Mentor

Prof. Damir Purković

IZJAVA

Izjavljujem da sam Završni rad izradio samostalno, koristeći se vlastitim znanjem, literaturom i izvorima sa interneta, koju sam većim dijelom samostalno preveo sa engleskog jezika.

U radu mi je pomagao savjetima i uputama mentor završnog rada prof. Damir Purković na čemu sam mu izuzetno zahvalan.

Sažetak

Tema završnog rada nosi naziv „Mogućnosti primjene računalne animacije u inženjerskom obrazovanju“ u kojem sam istraživši suvremene trendove u primjeni računalne animacije u odgojno-obrazovnom procesu i utjecaj animacije na procese učenja i poučavanja, ponajviše u inženjerstvu, dao obol u shvaćanju i korištenju računalne animacije u obrazovanju.

Kako bi se utjecaj animacije u obrazovanju inženjera mogao shvatiti, bilo je potrebno napisati osnovno o samom inženjerstvu kao izuzetno važnoj vještini u svijetu u kojem živimo.

Jedna od glavnih inovacija edukacijske tehnologije je pojava novih načina prezentiranja gradiva, kao što su animacije, multimedija i virtualna stvarnost. Svaka inovacija pozdravljena je sa mnogo entuzijazma i raznih popratnih istraživanja, no kako su istraživanja pokazala nejednakost rezultata, entuzijazam je nestao, a nastala su mnoga pitanja na koja sam u ovom radu pokušao odgovoriti.

Prikladna primjena računalnih animacija može doprinijeti oplemenjivanju kontekstualne nastave, kao segment koji može upotpuniti jaz između suhoparne teorijske podloge i praktičnih tehničko-tehnoloških vještina. U tom smislu u radu se iznose podjele, uvjeti i ograničenja primjene računalne animacije u metodičkom i tehničkom smislu. Prikazana su kognitivna, afektivna, perepcijska, strateška i mnoga druga obilježja i utjecaji koji su, u primjeni animacije u obrazovanju, međusobno povezani, a zbog kojih je potrebno još mnogo istraživanja novim metodologijama na ovom području znanosti.

Sadržaj

Uvod	1
Inženjerstvo	2
Podjela inženjerskih područja	3
Primjena računala u inženjerstvu.....	4
Trendovi u primjeni računalne animacije u obrazovanju.....	5
Opisna animacija	6
Interaktivna animacija.....	6
Utjecaj računalne animacije na učenje	11
Ekspresivna obilježja	13
Kognitivna, perceptivna i motorička obilježja.....	14
Afektivna i motivacijska obilježja	16
Strategijska obilježja	17
Metakognitivna obilježja.....	18
Retorička obilježja	18
Primjena animacije u obrazovanju inženjera	20
Slika 5.5 3D animacija u graditeljskom inženjerstvu.	26
Zaključak	27
Literatura.....	28

Uvod

Tradicionalno studiranje inženjerstva, odnosno tehnike sastojalo se ili se još uvijek sastoji od „naoružavanja“ studenta cijelim „arsenalom“ fundamentalnog znanja koje će ga pripremiti za život, no ne i za „stvarnost“, odnosno posao u struci - u inženjerstvu. Poanta je bila negdje između pripremanja prvostupnika, pa čak i magistara za daljnju akademsku karijeru istraživača ili inženjera i rada u poduzeću gdje će ih starije kolege – „majstori“, po principu šegrtovanja, naučiti kako se inženjerski posao stvarno radi. Predmet ovog rada je izbor alata, odnosno (ne)korištenje računalne animacije u obrazovanju jer veoma je relevantno znanje koje se studentima nudi i koje oni ponesu sa fakulteta u svome „arsenalu“.

Tehničko odgojno-obrazovno područje i tehničko obrazovanje u cjelini svoju pravu odgojno-obrazovnu vrijednost može i mora iskazati danas, u uvjetima izraženog komunikacijskog hendikepa mlađih generacija i stoga bitno narušenog razvoja metakognitivnih sposobnosti mladih. Naime, današnji rapidni rast tehničko-tehnoloških spoznaja i dinamika radno-socijalnih odnosa determiniraju kompetencije koje učenici trebaju steći tijekom obrazovanja, zbog čega do izražaja dolazi potreba za razvojem samosvijesti i samoučinkovitosti, a posebno samoreguliranog učenja, potrebnih za brzu prilagodbu novom tehničko-tehnološkom okružju koje se svakim danom nezadrživo razvija. [1], [2], [3],

Od pojave računala animacija igra sve važniju ulogu u učionicama. Mnoštvo sadržaja je razvijeno za razne oblike profesionalnog treninga i usavršavanja. Od slikovnih galerija do kompliciranih numeričkih simulacija, animacija nam omogućuje dopunsko iskustvo kod učenja što je posebno bitno i potrebno kod edukacije inženjera jer kako da student koji nikada nije bio u npr. tvornici, ili čak u malo bolje opremljenoj tehničkoj radionici vizualizira npr. stroj, turbinu ili energetski sustav - ono o čemu uči, ono za što će dobiti titulu inženjera.

Tradicionalnim edukacijskim metodama uglavnom je nedostajao efektivan način oslikavanja sadržaja, dok animacija te nedostatke nadoknađuje upotrebom novih softverskih i hardverskih tehnika.

Animacijski sadržaj može se podijeliti na dvije temeljne vrste animacija uz još jednu, zasad, u manjoj mjeri upotrebljavanu o kojima sam, između ostalih objašnjenja animacijskih vještina, kao i softverskih i hardverskih problema na koje računalna animacija u obrazovanju nailazi, pisao u ovom radu.

- opisna animacija– korisnici gledaju opisni sadržaj na ekranima
- interaktivna animacija - korisnici mogu djelovati sa sadržajem na višoj razini
- kvizovi - korisnici se testiraju o specifičnom sadržaju [4].

Inženjerstvo

Inženjerstvo je disciplina, vještina i profesija koja se bavi primjenom nauke, odnosno korištenjem znanosti i tehnike za potrebe čovječanstva. To je ostvareno znanjem iz teorije i iskustvom i primjenjeno kroz projektiranje upotrebljivih objekata, procesa i sustava.

Inženjerstvo je bitno za razvoj društva. Države s razvijenim inženjerstvom odskoču od država u razvoju, koje često imaju ograničeno i slabo razvijeno inženjerstvo. Projekti u inženjerstvu variraju od pojedinačnih do divovskih skupnih projekata.

Smatra se da je inženjerstvo projektiranje rješenja praktičnih problema. Znanstvenici postavljaju pitanje "zašto?" i istražuju da bi odgovorili na ovo pitanje. Sa druge strane, inženjeri nastoje znati *kako* da bi riješili problem, i kako njihovo rješenje može biti primjenjeno. Drugim riječima, znanstvenici istražuju fenomene, za koje inženjeri stvaraju rješenja problema ili poboljšanje postojećih rješenja. Inženjerska istraživanja imaju drugačiji karakter od znanstvenih istraživanja. Često rade na poljima gdje su osnovna fizika i kemija dobro razumljivi, ali su problemi suviše kompleksni da bi bili egzaktno riješeni. Zadatak inženjera je da istraživanjem pronađu idealna rješenja koja će riješiti problem.

Inženjeri su osobe obrazovane za inženjerstvo. Naziv potječe od latinske riječi (*ingeniosus*), što znači sposoban. Inženjeri koriste svoje poznavanje znanosti i matematike, i empirijsko (racionalno/odgovarajuće) iskustvo da pronađu odgovarajuće rješenje problema. Stvaranje odgovarajućeg matematičkog modela problema omogućuje im da analiziraju i isprobaju potencijalna rješenja. Obično postoji više prihvatljivih rješenja, tako da inženjeri moraju znati ocijeniti različita (konstrukcijska) rješenja u pogledu njihovih osobina i da odaberu ono rješenje koje ispunjava najviše njihovih kriterija i zahtjeva. Kompromisi su u srži svakog inženjerskog projektiranja. Najbolji projekt je obično onaj koji ispunjava što je moguće više zahtjeva.

Inženjeri pokušavaju predvidjeti koliko uspješno će njihovi projekti zadovoljiti postavljene zahtjeve, prije nego što projekt u potpunosti naprave. Da bi se utvrdilo koliko će projekt biti funkcionalan, ili koliko će trajati i pod kojim uvjetima, koriste se između ostalog razni prototipovi, makete, simulacije te razna testiranja poput destruktivnog, nedestruktivnog i testiranja naprezanja odnoso kvalitete materijala, a to u današnjem svijetu ne bi bilo moguće bez računalne animacije. Testovi daju sigurnost da će se projekt ponašati kao što je planirano.

Podjela inženjerskih područja

- a) kemijsko inženjerstvo - uporaba kemijskih zakonitosti za velik broj kemijskih procesa i nastanak novih materijala i goriva
- b) električno inženjerstvo - dizajniranje električnih proizvoda i sustava
- c) mehaničko inženjerstvo - osmišljavanje mehaničkih proizvoda i sustava poput motora i strojeva
- d) civilno inženjerstvo - izgradnja javnih i privatnih dobara poput cesta, mostova, telekomunikacija, vodovoda, željeznice itd.
- e) vojno inženjerstvo - izrada oružja i vojne tehnike
- f) biološko inženjerstvo - procesi i tehnologije u poljoprivredi, šumarstvu, proizvodnji hrane i sl.
- g) inženjerstvo materijala - istraživanje mikroskopskih i makroskopskih materijala
- h) aeronautičko inženjerstvo - izrada zrakoplova i svemirskih letjelica

Razvojem znanosti i tehnologije pojavile su se nove grane inženjerstva poput: nanotehnologije, mehatronike, geoinženjerstva i informatičkog inženjerstva.



Slika 2.1 Izrada turbina zahtijeva suradnju inženjera s više različitih područja.

Primjena računala u inženjerstvu

Kao i u svim drugim znanstvenim i tehnološkim poduhvatima, računala i programi igraju važnu ulogu. Numeričke metode i simulacije pomažu u predviđanju performansi projekta preciznije nego što je to ranije bilo moguće.

Korištenjem CAD programa (computer-aided design - računalno podržano projektiranje) inženjeri neusporedivo lakše modeliraju projekte ili objekte. Računalnim modelima se mogu provjeravati stanja objekta izloženog raznim utjecajima bez dodatnih financijskih ulaganja ili prototipova za čiji je razvoj potrebno izdvajanje dodatnih financijskih sredstava, a također (pre)dugo vrijeme. Upotrebom računala lako se mijenjaju postojeći modeli, a moguće ih je i spremati u biblioteci prethodno definiranih elemenata spremnih za korištenje u novim projektima.

U posljednjih nekoliko desetljeća, Metoda konačnih elemenata, FEM (Finite Element Method), omogućio je razvoj programa za analizu naprezanja, temperature, protoka, ali i elektromagnetnih polja. Razvijeno je mnoštvo softvera, a mnogi od njih su dizajnirani i namijenjeni i za analizu dinamičkih sustava.

Elektronski inženjeri koriste razne softvere za rješavanje problema strujnih krugova kao pomoć pri projektiranju kruga koji će izvoditi određene elektroničke operacije kada se koristi u okviru računalnih čipova.

Prije ili kasnije elektronička računala će biti prošlost. Inženjeri današnjice probleme rješavaju čak i uporabom mobilnih telefona, odnosno mobilnih aplikacija u situacijama kada nije potrebna upotreba prijenosnih računala ili stolnih računala. Međutim, do inženjerskih spoznaja i potpune osposobljenosti inženjera za rješavanje problema, potrebno je s razumijevanjem shvatiti mnoge tehničko-tehnološke koncepte i tehnologije, čemu i računalne animacije mogu doprinijeti.

Trendovi u primjeni računalne animacije u obrazovanju

Od pojave računala animacija igra sve važniju ulogu u učionicama. Mnoštvo sadržaja je razvijeno za razne oblike profesionalnog treninga i usavršavanja. Od slikovnih galerija do kompliciranih numeričkih simulacija, animacija nam omogućuje dopunsko iskustvo kod učenja što je posebno bitno i potrebno kod edukacije inženjera. Tradicionalnim edukacijskim metodama uglavnom je nedostajao efektivan način oslikavanja sadržaja, dok animacija te nedostatke nadoknađuje upotrebom novih softverskih i hardverskih tehnika. Najčešće, animacijski sadržaj se razvija koristeći univerzalne programe poput Jave ili Flash-a do specijaliziranih aplikacija kao što su *GoAnimate*, *Moviestorm*, *Maya*, *Blender* i sl.

Danas se animacija u obrazovanju različito shvaća i tumači, zbog čega se često poistovjećuje s video-zapisom i s računalnim simulacijama, što nikako nije točno. Naime, video-sadržaji su izvorno namijenjeni prikazivanju stvarnih objekata, dok animacija prikazuje simulirane sadržaje i objekte [6]. S druge strane, u prirodoslovnom, matematičkom i tehničkom obrazovanju računalne simulacije se uglavnom odnose na relativno složene simulacije procesa, sustava, pojava, modela ili tehnologije. Dok simulacija treba odražavati stvarne ulazno-izlazne veličite bitne za rad sustava, primarno svojstvo animacije je dinamička vizualizacija sadržaja na simboličkoj razini. Uporaba simulacija u nastavi ovog područja često je uvjetovana dostupnošću specijaliziranih softverskih alata, specijaliziranim znanjem nastavnika i visoko razvijenim kognitivnim i mentalnim modelima studenta potrebnim za praćenje i razumijevanje sadržaja. Dakle, računalna simulacija i nastavna animacija u pozadini mogu dijeliti istu strukturu, ali se bitno razlikuju u primarnoj namjeni, ali i u percepcijskoj i interakcijskoj prilagodbi krajnjeg produkta mentalnim modelima studenta.

Suvremene nastavne animacije razvijaju se većim dijelom kao računalne animacije, a koriste se onda kad se pokaže potreba za prikazivanjem onog što studentu nije lako ili moguće razumijeti ili vidjeti u stvarnosti, apstraktnih prikaza koji nisu sami po sebi vizualni [5], te kada je stvarna provedba određene aktivnosti nepraktična, opasna za uče(s)nike ili su sredstva za provedbu aktivnosti nedostupna što je u našem okruženju nažalost čest slučaj.

Većina sadržaja razvijena je u 2D tehnologiji, s jako malim postotkom razvijenim u 3D-u. Sadržaj se najčešće prikazuje na 2D ekranima bez obzira na tehnologiju kojom je razvijen sadržaj ponajviše zbog skupe, a samim time i nepristupačne opreme. Danas, razvitkom raznih novih tehnologija, učenje se približava potpunom 3D iskustvu. To bi omogućilo stapanje korisnika sa 3D okolinom i interakciju sa objektima sadržaja [3], [8].

Animacije se prema načinu prikazivanja sadržaja može podijeliti na dvije temeljne vrste, uz još jednu, zasad, u manjoj mjeri upotrebljavanu :

- a) opisna animacija - korisnici gledaju opisni sadržaj na ekranima
- b) interaktivna animacija - korisnici mogu djelovati sa sadržajem na višoj razini
- c) kvizovi - korisnici se uz pomoć animacije testiraju o specifičnom sadržaju

Opisna animacija

Opisni animacijski sadržaj, koji je i najčešće korišten u nastavi, znači uporabu animiranih video sadržaja. Korisnici koriste specifične softvere kako bi stvorili individualne crtane (animirane) filmove, pa i animirane slike oslikavajući temu koja se obrađuje na nastavi. Neke softverske kompanije su razvile razne softverske alate kojima se omogućuje usavršavanje u svim profesionalnim disciplinama. Npr, GoAnimate.com tvrdi da je njihov edukacijski odjel pružio razne alate u čak 2500 škola od prosinca 2011. godine. Xtranormal.com bilježi okvirni porast korisnika od 800000 do 2.5 mil. u 2013. godini. Uz Twitter, blogove i YouTube, postoji mnogo opisnih animacijskih tutoriala (digitalnih udžbenika) za prenošenje kompleksnih tema u učionici. Provedena su razna istraživanja o učinkovitosti opisne animacije u učenju. Istraživanje je uspoređivalo statičke i animirane prikaze raznih sadržaja. Rezultati pokazuju da nema velike razlike u animacijskom i tradicionalnom načinu prikaza. Ključna stvar je demonstrirati i organizirati sadržaj pojedine lekcije. Za neke studente animirani video kompleksne teme je iznad njihovih mogućnosti učenja. Zaustavljanje videa ili dodavanje teksta riješava ovaj problem. Kontroliranje tempa animacije također utječe na bolje svladavanje gradiva. Razvijanje opisnog videa, prema podacima GoAnimate.com, Xtranormal.com i Animasher.com-a, sastoji se od sljedećih točki:

- Izaberi simbol/lika - korisnici prilagođavaju simbole ili likove raznim oblicima ovisno od svrhe za koju koriste animaciju.
- Izaberi pozadinu - ovisno koje pozadine su dostupne u softveru i o kojem se nastavnom području radi
- Dodaj razgovor - korisnici sami pišu razgovore i biraju naglaske. Moguće je i dodavanje raznih zvučnih efekata kao npr. pozadinski zvuk
- režiraj - korisnici prilagođavaju scenu, dodaju pauze, prilagođavaju kut kamere itd [4].

Interaktivna animacija

U korist povećanja produktivnosti učenja cilj je u nastavu integrirati najnovije tehnologije u animaciji, 3D animacijama. Pomoću tih novih tehnologija korisnici puno lakše vizualiziraju i razvijaju svoje razmišljanje i kognitivne sposobnosti. Tehnologija 3D interaktivnih animacija, simulacija i tzv. virtualne stvarnosti permanentno se razvija već više od dva desetljeća, a napredak je osobito uočljiv u svijetu igračih konzola, profesionalnih simulacija i računalnih igara. Nažalost, primjena u nastavnom procesu još uvijek je daleko od željene i široko prihvaćene.

Problemi primjene u nastavi mogu se svesti na tri razine: složena je za korištenje od strane studenta – zahtijeva posebno osposobljavanje studenta; izrada animacija je vrlo složeni proces – neophodno je profesionalno osposobljavanje nastavnika; tehnološki je zahtjevna – primjena zahtijeva skupu specijaliziranu opremu, softver i računalnu podlogu. Unatoč tome očekivanja

od 3D animacije u nastavi su velika jer se predviđa stjecanje iskustava bliskih iskustvima koja bi učenici stekli u stvarnom svijetu [4].

Mennell Media razvija interaktivnu 3D platformu i dizajnira nekoliko prototipova za pismenost, strane jezike i znanost. Glavna ideja projekta je kombiniranje 3D animacijskog sadržaja sa efektivnim zvučnim dizajnima, poglavito glazbom. Ovakve tehnologije uvelike podižu motivaciju i želju za znanjem. *ISN Virtual Worlds* je još jedna softverska tvrtka koja koristi web 3D i virtualne svjetove za posao i 3D trening simulacije te su iskusni u korištenju web 3D-a, virtualnih svjetova, 3D simulacije za učenje i 3D interaktivne platforme. Međutim, iz njihovih demo radova, nije moguće doživjeti visoku razinu realističkog okruženja i stapanja s gradivom. 3D animacijski sadržaj bi trebao ponuditi novu perspektivu kroz koju bi privukla korisnike te ih približila real-life iskustvu. U svakom od tih virtualnih svjetova korisniku je prikazana scena sa raznim interaktivnim objektima s kojima može upravljati sukladno zakonima fizike. Arhitektura takvog sustava (svijeta) je sljedeća:

- senzori - prate korisnikove pokrete. U najgorem slučaju ti senzori su tipkovnica i miš
- upravljački programi (eng. *drivers*) - omogućuju sensorima interakciju sa sadržajem
- fizikalni model - odrađuje računanja i utvrđuje ponašanje raznih komponenti u sceni prema korisnikovim interakcijama
- 3D zaslon - stvara veću razinu virtualne stvarnosti

Ovakvi 3D interaktivni sustavi također bi trebali imati:

- utvrđenu razinu interakcije subjekta sa 3D okolinom
- osnovni demonstrativnu razinu sa 3D opisnom prezentacijom - glavna interakcija ostaju u 2D-u te samo neki prikazi u 3D-u
- 3D interakcija sa mišom koja ima ograničeni pristup virtualnom svijetu
- level virtualne stvarnosti - 3D interakcija koristeći senzore i 3D izlaze za realistični doživljaj korisnika
- utvrđivanje emocionalnog utjecaja i njegov odnos sa subjektom
- utvrđivanje fizičkog utjecaja na korisnike
- strategije kombiniranja 2D i 3D sadržaja za dijelove u kojima bi 3D prezentacija bila nedovoljno utjecajna ili preteška za izradu
- sinkroniziranje interakcije u realnom vremenu koristeći zvuk, chat i video. Ovo korisnicima na dajinu daje iskustvo suradničkog učenja sa interaktivnim sučeljem [4].

Svrha ovog odjeljka je pokazati moguće trendove u 3D animaciji u učionicama koristeći postojeću hardversku arhitekturu. Prema tome, interakcija će biti većinom preko miša i tipkovnice dok se rezultati prikazuju na konvencionalnim ekranima. Dodaci, kao što su 3D naočale i specijalizirani senzori koji čitaju pokrete korisnika biti će spomenuti no nećemo gledati na njih kao glavni dio ovog dijela teksta. Ovi skupi uređaji biti će eksperimentalna pomagala. Koristeći tako naprednu i skupu opremu onemogućuje korisnike koji nemaju pristup tako skupim hardverskim uređajima. Slijedi konceptualni opis hardversko-sotverskog dizajna za razvoj takvih 3D interaktivnih prototipnih sustava:

Senzorna deskripcija

Danas postoji mnogo senzora koje možemo koristiti za čitanje korisnikovih kretnji i akcija. Ipak, zbog praktičnih razloga i limitacija prototip će moći kontrolirati 3D okolinu pomoću miša i tipkovnice. Za veću razinu interakcije korisnici će moći koristiti razne vrste senzora, npr. haptičke senzore.

Upravljački programi (eng. *drivers*)

Arhitektura sustava traži mogućnost spajanja senzora na centralnu procesorsku jedinicu kao i na razne periferne jedinice (3D ekrani, 3D naočale). Ovo treba gledati kao arhitekturu rađenu po narudžbi za najbolji učinak.

Fizikalni model (jezgra)

Fizikalni (fizički) model je jezgra cijelog sustava koja preuzima ulazne signale od senzora, računa putanje tijela prema njihovim svojstvima i dobivenim podacima te tada šalje dobivene podatke zaslonima(3D ekrani, 3D naočale i sl.). Fizikalni (fizički) model koristi napredne numeričke metode modeliranja da bi simulirao fiziku koliko god je realnije moguće.

3D prikazni uređaj

Kao izlaznu jedinicu sustav će koristiti konvencionalni zaslon, ponajviše zbog cijene i potrebe da se napravi 3D interaktivni animacijski sustav koji će raditi na postojećim uređajima. Ipak, za veći osjećaj interaktivnosti ostaje mogućnost i drugih izlaznih jedinica, npr 3D ekrani (Toshiba, Sony već posjeduju neke moguće uređaje), ili 3D naočale(za vizualiziranje cijelog 3D scenarija). Većina 3D zaslona rade na jednom principu - navodi naš

mozak da vidi dubinu u 2D objektima. To se izvodi stereoskopijom - naše oči svako za sebe vidi jednu sliku, koju naš mozak spaja u 3D prizor. Stereoskopske slike mogu se proizvesti na više različitih načina. Slike se spremaju u PNS ili JPS formatu.

Stereoskopske slike

Koriste se za doživljaj 3D okruženja. Sastoje se od dvije leće, jedne crvene i jedne plave. Na taj način svako oko vidi jednu sliku koju naš mozak spaja u jedno, dajući nam iluziju 3D okoline.

Polarizacijski sustavi

Ovaj sustav je načinjen od dva polarizirana filtera koji su ortogonalni (45° i 135°). Da bi se prezentirala stereoskopska slika, oba filtera projektiraju svoju sliku spojenu na jedan ekran. Gledatelj koristi jeftine 3D naočale koje također koriste par polariziranih filtera. Zato svako oko vidi samo jednako polariziranu sliku, dajući nam dvije zasebne slike. Tako nastaje 3D efekt u oba oka, te cijela publika može gledati jednu stereoskopsku sliku istovremeno.

Pullfrich effect

Pullfrich 3D naočale koriste se u dinamičnoj stereoskopiji ili 3D vizualizaciji u virtualnoj realnosti. Glavni princip ovih naočala je da naš mozak sporije reagira na vizualne informacije pri slabom svjetlu. Ako selektivno smanjimo pristup svjetla jednom oku, stvara se iluzija dubine. Dakle ako smanjimo svjetlo jednom oku i pomičemo objekt lijevo – desno (NE gore-dolje) činit će nam se da nam se objekt približava ili se udaljuje od nas. Međutim, ovaj sustav ovisi o pokretima i ne može se iskoristiti za nepokretne objekte [7].

Metoda pomračenja

Ova metoda koristi mehaničke kapke koji blokiraju svjetlo prikladnom oku dok se slika za suprotno oko projicira na ekranu. Projektor mijenja lijevo i desno oko prema potrebi. Postoji i varijacija ovih naočala koja koristi LCD naočale koje nepropuštaju svjetlo pojedinom oku te rade na istom principu. Da bi bile sinkornizirane sa projektorom naočale moraju biti i žicano spojene.

Volumetrijski zaslon

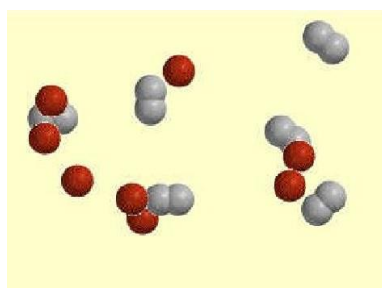
Volumetrijski 3D zasloni definirani su kao vizualna reprezentacija objekta u 3D prostoru, za razliku od tradicionalnog stereo ekrana koji simulira dubinu pomoću planarnih parova slika. Neki uređaji koji koriste ovu tehnologiju su već izrađeni za specijalne potrebe, npr. magleni zaslon, itd. Moguće je da u budućnosti ovakvi zasloni zamijene današnje zaslone na dodir [4], [7].

Kao komplementarni pristup nastavi, animacija stimulira studente te čini gradivo zanimljivijim. Samo je potrebno integrirati animirani sadržaj u nastavne jedinice. Ovaj pregled se oslanja na hardverska poboljšanja i predstavlja nove moguće trendove animacijskog gradiva u nastavi. Hardver je i dalje glavni problem računalne animacije. U budućnosti ćemo također proučavati pedagoške probleme temeljene na posljednjim 3D animacijskim sadržajima.

Utjecaj računalne animacije na učenje

Animacije su oblik dinamičkog prikaza koje prikazuju procese koji se mijenjaju tijekom vremena. Npr. mogu pokazati tok polja visokog i niskog tlaka na meteorološkoj mapi, rezultate rada kompjuterskog programa (algoritamska animacija), prikazati pumpanje krvi oko srca, ili pokazati nevidljive procese kao što je kretanje molekula. Animacija se sve više koristi u edukacijskim tehnologijama od ranih 80-tih godina prošlog stoljeća. Njihova dostupnost i sofisticiranost raste, tako raste i proizvodnja novih hardverskih i softverskih komponenta za njihovu upotrebu. Poslužiti će se definicijom koju su iznijeli Betrancourt i Tversky koji kažu da je „animacija serija slika u kojoj je svaka slika alternacija prethodne slike“. Također obuhvatiti će i animacije koje su pod sistemskom ili učeničkom kontrolom. Međutim, video je isključen iz definicije, jer video prikazuje kretanje stvarnih objekata dok animacija prikazuje kretanje simuliranih objekata. Animacije se koriste iz mnogo razloga i mogu obuhvatiti velik broj tema. Najčešće se koriste kada se treba prikazati nešto što nije vidljivo golim okom, npr. kretanje molekula u plinovitom stanju, ili promjene kretnji kontinenata. Koriste se i za prezentiranje apstraktnijih fenomena koji nisu vizualno dostupni u svijetu, kao što su računalni algoritmi ili faze matematičkog rješenja. Animacija se sve više koristi i za animiranje likova kako bi im se dodale geste i izrazi lica. Glavni razlog povećanja korištenja animacije je mišljenje da uvelike pomaže u razumijevanju kompleksnih ideja. Međutim, razlozi zašto animacija toliko pomaže su različiti. Neki ljudi vjeruju da je razlog za to motivirajući faktor animacije. Neki vjeruju da su računalna svojstva animacija povoljnija za kognitivne procese pri učenju. Neki pak animaciji pristupaju sa mnogo sumnje te preporučuju limitiranu upotrebu animacije. Razlog za ovakvo mišljenje je uvjerenje da je nekim učenicima teže shvatiti animaciju. Prema tome, nije teško zaključiti da su istraživanja učinka animacije na ishode učenja došla do raznih rezultata - pozitivnih, negativnih i neutralnih. Istraživanja su varirala sa raznim faktorima-mjere pri rezultatima, populacija anketiranih i okolinom istraživanja [5], [10]. Lowe nalazi 3 varijante animacije:

- a) transformacija - u kojoj se mijenjaju svojstva objekta kao što su veličina, oblik i boja.
- b) translacija - u kojoj objekti putuju sa jedne lokacije prema drugoj.
- c) tranzicija - u kojoj objekti nastaju ili nestaju.



a)

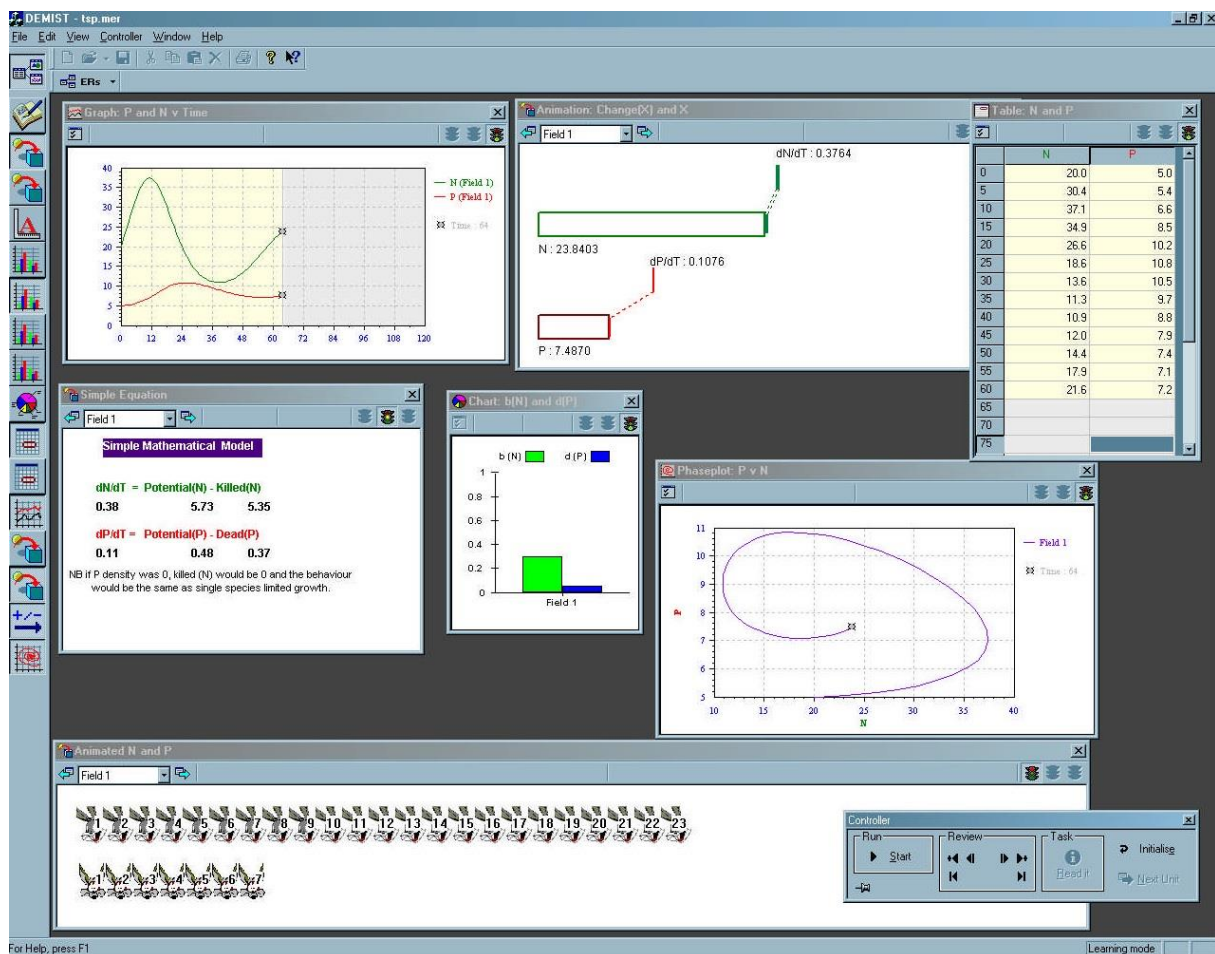


b)

Slika 4.1 a) Animacija molekula, b) animacija vremenske prognoze [5]

Shaaron Ainsworth i Nicolas Van Labeke tvrde da su animacije specifična forma dinamičnog prikaza i da se pojam animacije ne treba koristiti za sve forme dinamičkog prikaza.

Slika 4.2 Pokazuje simulaciju tri vrste dinamičkog prikaza. Vremensko dosljedni prikazi pokazuju raspon vrijednosti tijekom vremena(gore lijevo i desno na slici). Vremensko zapleteni prikazi također pokazuju raspon vrijednosti ali bez vremena kada se vrijednosti događaju (sredina desno na slici). Jedinstveno vremenski prikazi pokazuju samo jedan trenutak u vremenu.



Slika 4.2 Simulacija tri vrste dinamičkog prikaza [5]

Očigledno je da postoji više faktora koji utječu na način kako ljudi uče animacijama, te da uspješnost aplikacije ovisi o interakciji raznih faktora. Prema tome, pitanje „Da li animacija pomaže pri učenju?“ nije prikladno, već sada istražujem pod kojim uvjetima je učenje s animacijom korisno. Značajna otkrića su „pronađena“ u tom području, npr. radije kombiniramo animaciju sa naracijom nego sa tekstom. Međutim trebamo uzeti u obzir još

mnogo faktora pri istraživanju animacije. Zato ću u ovom poglavlju pokazati da postoji još najmanje 6 raznih faktora koje trebamo gledati pri razumijevanju učenja animacijom:

- a) ekspresivnost
- b) kognitivnost, motorika i percepcija
- c) afektivnost i motivacija
- d) strategija
- e) metakognitivnost
- f) retorika.

U ovom dijelu zanemarujem tehničku razinu animacije (računala, mreže, zasloni i dr.), za razliku od Schnotza i Lowea i njihove 3 razine prikaza učenja, ali proširujem njihovu semiotičku i senzornu razinu (vizualni ili zvučni modalitet) u 6 razina, od njihova 2. Slijedeći dijelovi poglavlja će obuhvatiti svaki level zasebno. Ovakav redoslijed nije slučajna, jer gradi od fundamentalnih svojstava do faktora koji su socijalno i kulturološki fleksibilniji. Ipak, ne znači da svaki level počiva samo na onome prije njega. Svaki odjeljak prati sličnu strukturu. Počinjemo sa opisivanjem teorija koje se bave objašnjivim razinama (kognitivnost i afektivnost) učenja putem prikaza (diagrami, tekst), prelazimo na neke dokaze o istom, te na kraju pregledavamo istraživanja koja se bave specifičnom animacijom. Stoga ne čude varijacije u količini istraživanja animacije po ovim obilježjima, dok kod nekih obilježja istraživanja su vrlo selektivna, kod drugih su veoma iscrpna.

Ekspresivna obilježja

Ova razina obilježja, odnosno objašnjenja najviše se povezuje sa radovima Keitha Stenninga. Fokusira se na pitanje kako inherentna svojstva prikaza djeluju na dobivanje zaključaka te je neovisan o prirodi tumača. Stenning tvrdi da nedostatak prikaza (osobito grafičkog prikaza) dolazi od njihove limitirane sposobnosti da prikažu apstrakciju. Ovo ograničava količinu pretraživanja koju korisnik (sa osnovnim znanjem semantike sustava) mora proći da bi došao do valjanog zaključka. Prema tome, ekspresivnost prikaza ima veliki utjecaj na memoriju i obradu podataka koje korisnik treba savladati da bi uspješno koristio prezentaciju. Npr. jedan od razloga zašto nam je lakše riješiti logičke probleme uz pomoć određenog dijagrama je njihova specifičnost. Tekst „svaki A je B“ možemo shvatiti na dva načina - A je podskup B-a, ili A i B su identični. Određeni dijagram nam objašnjava koja od tvrdnji je točna, što ne možemo naći u tekstu. Do problema može doći kada ne ekspresivno sredstvo mora izraziti apstrakciju. Kada biste htjeli grafički prikazati rečenicu „pas je pored mačke“, teško biste to učinili bez da odredite s koje strane mačke. Gotovo je nemoguće kroz grafičke prikaze izraziti razdvajanja bez uporabe „apstraktnih trikova“. U slučaju animacije,

glavni problem koji nalazimo kod expresivnog levela analize je vremensko ograničenje. Pod tim se misli da animacija, kao prolazan medij, nemože biti dvosmislena s obziron na vrijeme, te zbog toga aktivnosti se prikazuju po specifičnom redoslijedu. Npr. konstrukcija dijela namještaja kojem treba pričvrstiti 4 noge možemo prikazati tekstem kao „sada zakucajte sve 4 noge“. Međutim, animacija mora pokazati noge postavljene po specifičnom redoslijedu ili možemo iskoristiti „apstrakcijski trik“ te prikazati kako zakucati sve 4 noge istovremeno. Očito ovo može dovesti gledatelje do krivih zaključaka. Još jedan problem je potreba da se svi aspekti dinamične situacije prikažu istovremeno. Ponovno je problem vrijeme u animacijama. Ako se animacija fokusira na jedan aspekt događaja, korisnici mogu krivo zaključiti što se događa sa aspektima koji se ne vide u animaciji. Uzmimo za primjer protok krvi kroz srce. Ako bi se animacija fokusirala na jedan dio srca, to bi moglo dovesti do mnogo krivih zaključaka(samo jedan dio srca može biti pun krvlju ili da obje strane sadrže oksidiranu krv). Međutim, ako pokušate prikazati sve aspekte odjednom, korisnik nezna koji je aspekt glavni i na što se treba fokusirati.

Kognitivna, perceptivna i motorička obilježja

Fokusira na interakciju između forme prikaza i znanja, kapaciteta i vještine individue. Prema tome, svaki slučaj će ovisiti o kognitivnoj arhitekturi i osobnom iskustvu pojedinca. Različiti načini prikazivanja informacija dovode do različitih limitacija sustava, pogotovo memorijskih limitacija, te tako smanjuju količinu napora potrebnu za učenje animacijom.

Kognitivna obilježja

Smatraju se jednom od glavnih, te mnogi znanstvenici baziraju svoje radove na ovoj vrsti obilježja. Tversky je sve sabrao u svoj Princip Podudarnosti, a Scaife i Roger isto nazivaju zabludom o sličnosti. Ukoliko želite da učenici stvore točan prikaz dinamične situacije, animacija je prirodan izbor. Larkin i Simon opisuju kognitivan napor kao: a) operacije potrage, koje lociraju skup elemenata koji zadovoljavaju specifične uvjete, b) operacije prepoznavanja, koje određuju da li nađeni elementi odgovaraju traženim elementima, c) operacije zaključivanja, koje djeluju sa nađenim elementima i stvaraju nova znanja. Najopsežnija kognitivna teorija o ulozi animacije u učenju je djelo Richarda Mayera. Teorija se sastoji od tri fundamentalne kognitivne pretpostavke:

- 1) postoje dva zasebna kanala za procesuiranje vizualnih i verbalnih prikaza,
- 2) svaki od ova dva kanala može procesuirati limitiranu količinu informacija u jedinici vremena, te
- 3) razložno učenje se sastoji od spajanja novih činjenica sa starim znanjima koja pretvaramo u novo znanje.

Prema ovoj teoriji narativnim animacijama najlakše savladavamo kompleksne informacije. Mayer kaže „Studenti puno dublje uče uz animaciju i naraciju nego samo uz

naraciju“, te je svoje riječi i potvrdio raznim istraživanjima. Schnotz govori o dva načina na koji animacije mogu proizvesti kognitivnu obradu. Prvi način zove se omogućavajuća funkcija animacije. Animacija daje dodatne informacije koje ne mogu biti prikazane u slikama. Te dodatne informacije pokreću kognitivnu obradu. Drugi način zove se olakšavajuća funkcija. Animacija pomaže korisnicima izgradnju dinamičkih mentalnih modela situacije, te tako olakšavaju kognitivni proces. Međutim, animacija ne olakšava uvijek kognitivne procese. Najčešće se govori o kognitivnim limitacijama u obradi dinamičke animacije. Mnoga istraživanja pokazuju i probleme s memorijom. Naime, moramo pamtit i informacije koju su nam važne kroz cijelu animaciju. Tu dolazimo do problema pošto naša radna memorija nije beskonačna, te često završi zatrpama nevažnim informacijama. Da bi se riješio ovaj problem potrebno je imati i slike najvažnijih dijelova animacije kako bi se korisnici mogli podsjetiti bez puno napora. Prema Loweu, najveći problem animacije je upravo to zatrpavanje informacijama koje dovodi do nemogućnosti obrade svih informacija. Neke pak animacije djeluju predirektno te korisnici obračuju pažnju samo na dinamiku animacije te samu dinamiku smatraju važnom, te tako niti ne pokrenu nikakvu kognitivnu obradu. Ovu pretpostavku dokazali su Schnotz i Rasch. Pokazali su učenicima animaciju Zemlje koja se vrti sa svojim vremenskim zonama te upitali „ zašto je Magellan mislio da je stigao u srijedu, iako je stigao u četvrtak?“. Dokazali su da su učenici bolje shvatili gledajući u slike nego u animacije, upravo zato jer nisu ni pokrenuli kognitivnu obradu podataka nego su se oslonili na vanjske čimbenike koje im je pružala animacija.

Motorička obilježja

Jako malo teksta postoji na temu kako fizičke akcije utjecaj na učenje pomoću animacije. Ipak postoji duga tradicija proučavanja motoričkih akcija u edukacijskim teorijama. Piaget vjeruje da motorički pokreti formiraju temelj cjelokupnog učenja. Prema njemu, imitiranje pojava je fundamentalno za kasniji razvitak mentalnih simbola kojima sebi dočaravamo tu pojavu. Martin i Schwartz tvrde da fizičke akcije pomazu učenju na 4 načina: indukcija, rasterećenje prenamjena i fizički raspodijeljeno učenje. Za indukciju tvrde da ako ljudi djeluju u stabilnim okolinama koje daju jasne povratne informacije i imaju jasna ograničenja, takve dosljednosti pomažu otkriti strukturalne regularnosti u ovim okolinama(npr. djeca koja toče vodu iz jedne čaše u drugu različitog oblika). Kod rasterećenja ljudi se oslanjaju na okolinu kako bi smanjili kognitivne procese kod zadatka te tako povećavaju učinkovitost rješavanja zadatka. Prenamjenom ljudi se prilagođavaju okolini kako bi lakše došli do cilja (npr. igrajući tetris). Fizički raspodijeljenim učenjem ideje i akcije zajedno se razvijaju kako bi se došlo do novih ideja(djeca koja uče razlomke). Vazno je spomenuti i geste koje koriste djeca prilikom učenja kompleksnijih zadataka, no nepostoji dovoljno dokaza da se dokaze važnost geste pri motoričkom učenju. Prema svemu ovome da se zaključiti da učenje animacijom može biti pod utjecajem motoričkog objašnjenja, no ne postoji dovoljno istraživanja na tu temu. Animacijama možemo naučiti razne pokrete, kao udaranje golf palicom, plivanje, itd. no ostaje činjenica da ljudi koji se koriste animacijama za učenje pokreta neće razviti iste senzorno motoričke pokrete kao ljudi koji će učiti stvarnim kretnjama i manipuliranjem raznih objekata.

Perceptivna obilježja

S obzirom da su animacije vizualne slike, postoji malo tekstova na temu percepcije animacije. Animacije mogu biti jako teške za percipirati. Ljudski vizualni sustav je sposoban predvidjeti i otkriti kretanje, no ipak nam je teško percipirati interakcije u brzim prikazima. Percepcija je još problematičnija kada animacije prikazuju kompleksne dinamičke procese, koji od korisnika zahtijevaju istovremeno gledanje više događaja u jednoj cjelini. Naša percepcija kretanja objekata u animaciji uvelike ovisi o kretanjama objekata oko zadanog objekta. Najveći problem percepcije kod animacija su dijelovi animacije koje lako percipiramo, no ti dijelovi nisu najvažniji kod animacije. Gestalt psiholozi su još 1912. godine predložili skup zakona koji opisuju percepciju vizualnih prikaza, koji važe i danas. Zakoni uključuju blizinu (stvari koje su blizu jedna drugoj gledamo kao grupu), kontinuitet (konstruiramo vizualne entitete lakše od glatkih objekata nego kutnih), sličnost (slične oblike grupiramo zajedno), simetrija (simetrične uzorke vidimo kao jedan objekt), zatvaranje (zatvorene oblike vidimo kao pravilne objekte), te najvažnije za animaciju, zajednička sudbina (objekti koji se kreću u istom smjeru percipiramo kao kolektiv ili grupu). Ovi principi mogu pomoći pri vizualnom dizajnu. Jedan od važnijih pristupa nam govori kako bi trebali elemente od veće važnosti isticati od okoline, te tako korisnike natjerati da prate važne dijelove animacije. Na primjer kretanju koju uočimo perifernim vidom odmah će nam odvratiti pozornost na taj dio animacije. Ukoliko želimo slike zamijeniti animacijama, moramo znati kako ljudi percipiraju pojedine elemente kako bi zamjena bila uspješna.

Afektivna i motivacijska obilježja

Novo vrste prikaza se tradicionalno prihvaćaju sa mnogo entuzijazma zbog svojih afektivnih i motivacijskih prednosti. Isto se dogodilo i sa animacijom. Animacije su zabavne i logično je zaključiti da se uz animaciju puno lakše uči. Istina je mnogo kompleksnija. Danas postoje mnoga istraživanja na tu temu, spomenut ćemo najvažnija. Jedno od takvih je rad Thomasa Malonea. On je predložio četiri kategorije individualne motivacije: izazov, fantazija, znatiželja i kontrola. Najvažnije za animaciju su fantazija i znatiželja. Npr. Malone je istražio različite verzije računalne igre „Breakout“ te je saznao da su animirani efekti kao što je razbijanje cigle na zidu najvažniji za privlačnost igre. Elementi fantazije često uključuju animaciju, npr. u igri „Darts“ fantazija je napravljena razbijajući balone sa strelicama. Igra je bila jako popularna među dječacima, no djevojčicama se igra nije svidjela, te je Malone zaključio da im fantazija ne odgovara i smanjuje im motivaciju. Pozitivna emocija kojoj se pripisuje poboljšano učenje je tok (eng. *flow*). Tok je mentalno stanje u kojem su ljudi potpuno koncentrirani na ono što rade. Karakteriziran je osjećajem fokusiranosti, potpunom predanošću i uspjehom u danj aktivnosti. Mnogi faktori utječu na stvaranje toka (neposredna povratna informacija, jasni ciljevi i prikladna razina izazova) te neki znanstvenici tvrde da žive i interaktivne animacije također mogu potaknuti tok. Ukoliko je to istina, animacija može poboljšati tok (u nekim slučajevima i smanjiti). Ljudi će uvijek izabrati animaciju ukoliko

imaju tu mogućnost. Rieber(1991) je pokušao izmjeriti motivacijske prednosti različitih oblika računalnih prikaza za učenje fizike. Nakon par lekcija animiranih simulacija Newtonovih zakona kretanja, djeci je dano na izbor da li žele i dalje raditi sa animacijama, odgovarati na pitanja i odgovore o Newtonovom zakonu, ili nevezan uz temu zadatak sa nalaženjem riječi. Djeca su izabrala animaciju. Prema istraživanju Wrighta, Milroya i Lickorisha animacije povećavaju želju za učenjem za obzirom na statičke dijagrame. Još jedno područje u kojem emocije i motivacije su povećane uporabom animacije su animirani likovi. U ovom slučaju animacija se koristi za učenje pokreta. Kretanje, pogled, i geste se koriste za dobivanje pažnje korisnika. Likovi iz prirodne okoline imaju ocharavajući utjecaj na djecu i uvelike povećavaju pozitivnu percepciju i volju za učenjem. Ponekad ovakav pristup učenju može imati i negativne efekte za motivaciju. Naime, neki od ispitanika su se osjećali manje samopouzdana i zadovoljni, te ih je animacija odvrćala pažnju i zbunjivala ih [9].

Strategijska obilježja

Poznato je da različiti prikazi pobuđuju i trebaju različite strategije da bi se učinkovito koristili. Ovo vrijedi za ljude koji gledaju prezentacije kao i za one koji ih izrađuju. Različite forme uvelike mijenjaju ponašanje korisnika i vjerojatnost da će točno riješiti problem. Npr. ukoliko prezetiramo problem 21 puta sedamnaest na načine 21×17 ili $XXI \times XVII$ to uvelike mijenja moguće strategije za rješavanje problema. Ainsworth i Loizou su zaključili u svojim istraživanjima da prezentiranje informacije kao tekst ili sliku utječe da li će korisnici koristiti učinkovitu strategiju za učenje.- takozvano samo objašnjenje. Samoobjašnjenje je dodatno znanje koje učenici stvaraju kako bi objasnili nešto više od naučenog teksta. Npr. ukoliko učenici pročitaju „ Srce je mišićni organ koji pumpa krv kroz tijelo“, tipično samoobjašnjenje bi trebalo biti „ znači to mora biti jak mišić kad pumpa krv kroz cijelo tijelo“. Učenici koji su učili pomoću dijagrama su stvorili točnija samoobjašnjenja od onih koji su učili pomoću teksta. Također postoje dokazi da je izrada prikaza različitih formi povezana sa različitim strategijama. Studentima je dan tipičan problem(čovjek ima 3 puta više lipa nego lipica(u originalu quarters and dimes). Vrijednost lipa je za jednu kunu i 30 lipa veća nego vrijednost lipica. Koliko lipa ima čovjek?). Studenti su izradili 6 različitih prikaza sa 4 različite strategije. Neki prikazi su napravljeni s jednom strategijom, dok su neki uključivali više strategija. Nije postojala jedna strategija koja je bila najuspješnija; uporaba više strategija je donjela bolji učinak. Lowe je istražio strategije koje novi korisnici koriste pri traženju bitnih informacija u animaciji meteorološke karte.

Strategije su slijedeće:

- a) Zatvorena strategija koja se koncentrira na mali i ograničen dio karte
- b) raspodijeljena strategija koja također koristi mali dio karte ali uključuje okvire koji se pojavljuju kroz cijeli vremenski period

c) apstraktna strategija koja traži specifične pojave kako bi se našao opći princip

d) integrativna strategija koja traži kombinacije događaja koji se mijenjaju jedan naprema drugom. Također moramo uzeti u obzir dokaze da li razočaravajuće karakteristike animacija također mogu utjecati na strategije koje učenici koriste. Ovaj problem se može uzeti kao metakognitivni neuspjeh te ću o njemu pričati i u sljedećem poglavlju.

Metakognitivna obilježja

Metakognitivnost se definira kao proces „razmišljanja o rašmišljanju“ i uključuje aktivnu kontrolu nad procesima u učenju. Učenje ponašanja koja su povezana sa metakognitivnosti su planiranje kako izvršiti zadatak, nadgledanje koliko uspješno se uči i procijenjivanje da li si blizu rješavanja problema. Nepostoji mnogo istraživanja na ovu temu, te je nejasna razlika između metakognitivnog i strateškog objašnjenja, jer se metakognitivnost također bavi uporabom najboljih strategija za reguliranje učenja. Ako su grafički prikazi efektivniji nego tekstualni kao što smo zaključili iznad, tada zaključujemo da su i metakognitivno učinkovitiji, ali dokaza za ovu tvrdnju ima vrlo malo. Također treba uzeti u obzir i probleme koje animacija stvara za našu radnu memoriju, te iz toga zaključiti da je moguća manja metakognitivna aktivnost tijekom učenja animacijom ostalim formama prikaza. Jedan od prvih ljudi koji je istraživao vezu između vrste prikaza i metakognitivnosti je Salomon. Proučavao je koliko truda učenici su spremni odvojiti za učenje. Učenici sa dobrim metakognitivnim sposobnostima bi trebali uložiti točno truda koliko je potrebno. Trud varira s obzirom na težinu materijala koji treba savladati. Dokazao je da djeca upotrebljuju puno manje napora dok uče putem televizije nego dok čitaju tekst. Televiziju se percipira kao zabavu, dok je tekst učenje. Isto vrijedi i za animaciju. No problem je što dok učimo animacijom gradivo percipiramo kao lako, i ne dajemo mu dovoljnu važnost. Također je dokazano da ukoliko se istreniramo koristiti animacije puno lakše ćemo učiti od njih i prihvaćati ih kao znanje. Čak i učenici koji su imali nastavnika koji im je objašnjavao i vodio ih kroz procese su puno više naučili nego oni koji su sami pokušali učiniti isto.

Retorička obilježja

Poslijednji level objašnjenja kako animacija utječe na učenje je razmatranje kada ljudi uče u socijalnim situacijama. Na učenje se gleda kao na proces u kojem ljudi uče kroz interakciju s drugim ljudima. Prikazi služe kao posrednik socijalnog učenja. Suthers i Hundhausen su predstavili još neke uloge:

a) pregovaranje o značenju kada korisnici osjećaju potrebu dobiti suglasnost od ostalih

b) služe kao temelj za neverbalnu komunikaciju jer korisnici mogu pokazivati na prikaz da bi dokazali svoja mišljenja

c) služe kao grupna memorija, podsjećajući korisnike na prijašnje ideje i vjerojatno dodatne elaboracije o njima.

Tabachneck, Leonardo i Simon su pokazali kako jedan profesor ekonomije koristi mnoge prikaze dok objašnjava kompleksne koncepte te usput objašnjava iste koncepte riječima. Kada su mu oduzeli prezentaciju, profesor nije mogao objasniti koncept. Ipak, upotreba vanjskih prikaza ne garantira uspjeh suradničkog učenja, što su dokazali Fischer i Mandler. Nepostoji mnogo istraživanja na ovu temu, i poglede možemo podijeliti na optimistične, koji pretpostavljaju da animacija stvara suradnju i povećava mogućnosti interakcije i istraživanja, i pesimistične, u kojima se naznačuju kognitivne i percepcijske razlike koje izazivaju animacije. Jedno od provedenih istraživanja pokazuje studente koji su izradili prikaz algoritma, te tada pokazali isti svojim vršnjacima koji su ga ocijenili na više razina, te na kraju svi zajedno sudjeluju u diskusiji o prikazu. Učenici koji su izradili prezentaciju naučili su više od onih koji su samo promatrali i kritizirali. Učenici su mogli koristiti bilo kakvu verziju prikaza uključujući tekst, grafike i animacije. Dok su na početku istraživanja učenici koristili gotovo samo animaciju, kasnije su se sve više opredjeljivali za jednostavniji tekst i grafike. Ova tendencija je i podržana i od ostalih studenata koji su najbolje ocijenili jednostavan tekstualan (i humorističan) prikaz. Još jedan način za korištenje animacije u socijalnom učenju je zamjenjivanje suradnika sa animiranim agentom. Animirani agenti mogu pomoći učenicima prikazujući zadatke, reagiranjem na njihove odgovore (kimanjem glave kada razumiju komunikaciju) te pomaganje učenicima sa navigacijom kroz kompleksne virtualne svjetove [5].

Primjena animacije u obrazovanju inženjera

U ovom poglavlju osvrnuo bih se na najčešće probleme na koje nailazi računalna animacija u inženjerskom obrazovanju. Faktora koji utječu na učinak korištenja animacije je iznimno mnogo, počevši od tehnoloških zahtjeva, skupe specijalizirane opreme, odnosno financijskih mogućnosti institucija pa do mentalnih sklopova i kognitivnih sposobnosti studenta.

Kao što smo već rekli, animacija se prema načinu prikazivanja sadržaja najčešće dijeli na opisnu i interaktivnu koje se smatraju temeljnim i najčešće korištenim animacijama, i na kvizove kojima se kroz računalnu animaciju testira znanje studenta, a koje je po mojem skromnom mišljenju jednim dijelom zapostavljeno. Mišljenja sam da učenici, a posebno se odnosi na one sa slabijim predznanjem i „ograničenim“ kognitivnim sposobnostima, te samim time često i nižim voljnim momentom, da bi spoznali i učili njima apstraktan sadržaj a koji u tehnologiji koja se danas rapidno razvija često i jest apstraktan i u početku nerazumljiv, potreban interaktivni sadržaj i slikovit prikaz što se integriranjem animacije u nastavni proces može postići. Ključna stvar je demonstrirati i organizirati sadržaj pojedine lekcije. Za neke studente animirani video kompleksne teme je iznad njihovih mogućnosti učenja. Zaustavljanje video simulacije ili dodavanje dijaloga riješava ovaj problem. Kontroliranje tempa animacije također utječe na bolje svladavanje gradiva. Logičnom se time nameće činjenica da učenici slabijeg interesa, što zbog ne mogućnosti razumijevanja određenog nastavnog(opisnog) sadržaja, što zbog „nekompetencije“ nastavnika ili institucije, od želje za spoznajom istoga često odustaju. Primjenom interaktivnog sadržaja mnogo bi se lakše takve studente motiviralo i zainteresiralo, samim time i postiglo „prodiranje znanja“ i proširivanje njihovih spoznaja, a vjerujem i dokazalo da su ljudi često „ograničeni“ samo ako sami sebe u to uvjere, drugim riječima, odustanu.

Istraživanja pokazuju i probleme s memorijom. Naime, moramo pamtit i informacije koju su nam važne kroz cijelu animaciju. Tu dolazimo do problema, odnosno činjenice da naša radna memorija nije beskonačna, te često završi zatrpana nevažnim informacijama. Da bi se riješio ovaj problem potrebno je imati i slike najvažnijih dijelova animacije kako bi se korisnici mogli podsjetiti na najvažnije segmente bez puno napora. Prema Loweu, najveći problem animacije je upravo to zatrpavanje informacijama koje dovodi do nemogućnosti obrade svih informacija. Neke pak animacije djeluju predirektno te korisnici obračuju pažnju samo na dinamiku animacije te samu dinamiku smatraju važnom, a na taj način niti ne pokrenu nikakvu kognitivnu obradu. Ovu pretpostavku dokazali su Schnotz i Rasch. Pokazali su učenicima animaciju Zemlje koja se vrti sa svojim vremenskim zonama te upitali „, zasto je Magellan mislio da je stigao u srijedu, iako je stigao u četvrtak?“. Dokazali su da su učenici bolje shvatili gledajući u slike nego u animacije, upravo zato jer nisu ni pokrenuli kognitivnu obradu podataka nego su se oslonili na vanjske čimbenike koje im je pružala animacija.

Jedan primjer isticanja bitnog kod primjene animacije u obrazovanju je primjer Malonea koji, je spomenut u objašnjenju afektivnih i motivacijskih obilježja animacije, no kojeg ću zbog potrebe ponavljanja bitnih segmenata ponovit.

Malone je istražio različite verzije računalne igre „Breakout“ te je saznao da su animirani efekti kao što je razbijanje cigle na zidu najvažniji za privlačnost igrice. Drugim

riječima, bitne segmente lekcije koju animacijom pokušavamo približiti učenicima potrebno je „izdvojiti“ raznim audio i video efektima.

Činjenica da svaki čovjek mora sam sebe trenirati, težiti uvijek nečemu višem od trenutnog stanja, može se primjeniti i na animaciji. Mnogo je studenta u trenucima upoznavanja sa animacijom zbunjena i ne zna na što se koncentrirati, a na to ponajviše utječe kompleksnost materijala koji treba savladati, a o čemu je Salomon proučavajući došao do zanimljivih saznanja.

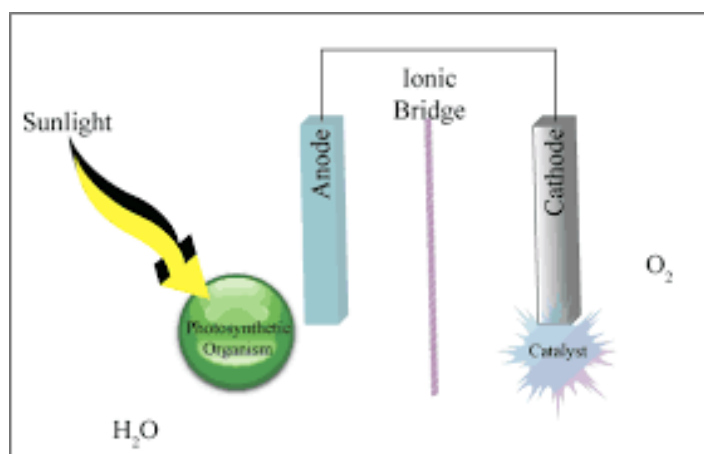
Salomon je proučavao koliko truda su učenici spremni odvojiti za učenje. Učenici sa dobrim metakognitivnim sposobnostima bi trebali uložiti točno onoliko truda koliko je potrebno. Trud varira s obzirom na kompleksnost materijala koji treba savladati. Dokazao je da djeca upotrebljavaju puno manje napora dok uče putem televizije nego dok čitaju tekst. Televiziju se percipira kao zabavu, dok je tekst učenje. Isto vrijedi i za animaciju. No problem je što dok učimo animacijom gradivo percipiramo kao lako, i ne dajemo mu dovoljnu važnost. Također je dokazano da ukoliko se istreniramo koristiti animacije puno lakše ćemo učiti od njih i prihvaćati ih kao znanje. Čak i učenici koji su imali nastavnika koji im je objašnjavao i vodio ih kroz procese su puno više naučili nego oni koji su sami pokušali učiniti isto.

Kako bi se nastavnicima olakšalo donošenje odluke o razvoju i primjeni animacije u području tehnike, razrađen je okvirni model primjene računalne animacije u pojedinim područjima inženjerskog obrazovanja, usklađen s metodičkim okvirom za primjenu animacije u nastavi [11]. U modelu su prikazana pojedina područja inženjerskog obrazovanja, moguća obilježja animacije koje navodi Ainsworth [5], a uvaženi su i opći uvjeti bitni za svaku nastavu tehničkog obrazovanja [11]. Među tim uvjetima, donošenje početne odluke o primjeni animacije u nastavi izravno je u svezi s mogućnostima uporabe izvorne stvarnosti na kojoj će se graditi glavne aktivnosti studenta. Animaciju u nastavi ne samo da je moguće, već je i poželjno, koristiti i uz aktivnosti na izvornoj stvarnosti. Animacija pri tom možda gubi prioritet, no, ako se postigne cilj razumijevanja određenog tehničkog koncepta, procesa, sustava, tvorevine ili tehnologije, onda animacija ima svoju svrhovitost.

I. Animacija u inženjerskom obrazovanju u području kemijskog inženjerstva

Područje kemijskog inženjerstva od neizmjerne je važnosti za razvoj tehnologije, osobito pri razvoju novih materijala, goriva i elektro-energetskih koncepata. Posebnost ovog područja je u tome što dinamičke kemijske procese, važne za razumijevanje tehnologije, nije moguće vidjeti „prostim“ okom ili ih postojećim nastavnim sredstvima nije moguće predočiti. Stoga se, zbog zornosti prikaza kemijskih procesa koji su predmet proučavanja, a koje bi bilo neusporedivo skuplje i vremenski zahtjevnije predočiti uz pomoć izvorne stvarnosti, često pribjegava uporabi simulacija i animacija u nastavi. Kako su simulacije često nedostupne, skupe ili zahtjevne, računalne animacije ostaju jedini izbor. S obzirom da ovakvi animirani sadržaji mogu pozitivno utjecati na kognitivne mehanizme i na motivaciju studenata, najčešće se i primjenjuju kao motivacijske i kognitivno značajne animacije. Motivacijske animacije trebaju slikovito i simbolički prikazivati procese čiji tempo je prilagođen dinamici uvođenja u nastavni sadržaj. Iz takvih animacija se ne može očekivati razumijevanje procesa, već samo poticaj na složenije aktivnosti u nastavi. Kognitivno značajne animacije nužno trebaju

sadržavati određene elemente interakcije sa studentima, pri čemu će oni moći prilagođavati tempo animacije, te će dobiti dodatne informacije (poveznice, objašnjenja i sl.) o procesu nakon zaustavljanja iste. Važno je istaknuti kako se ovakve animacije, s obzirom na očekivano predznanje koje studenti posjeduju, trebaju koristiti paralelno uz glavnu aktivnost studenata, čime se postiže bolje razumijevanje procesa, koncepata, sustava ili tehnologije. Pri tom se glavna aktivnost u inženjerskom obrazovanju može odnositi na različite proračune učinkovitosti sustava ili koncepta s obzirom na odvijanje kemijskog procesa, mogućnosti predviđanja promjena i ishoda procesa u promijenjenim uvjetima i/ili ulaznim parametrima, pravilan izbor materijala, parametara, goriva i sl.

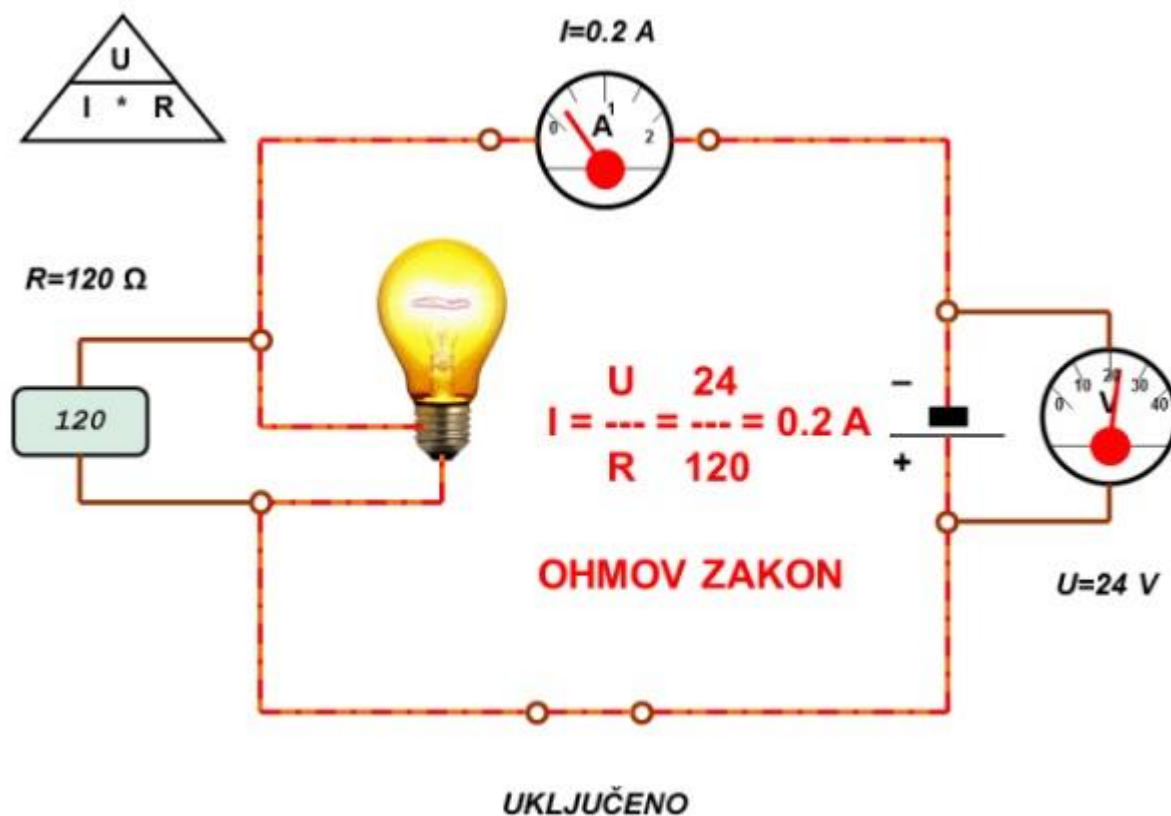


Slika 5.1 Animacija bio-fotonaponskih uređaja u kemijskom inženjerstvu.

II. Animacija u inženjerskom obrazovanju u elektrotehničkom području:

U području elektrotehnike i elektronike računalna animacije i simulacije, različitih sklopova (strujnih krugova), rada tvorevina ili procesa, mogu biti od velike je važnosti za razumijevanje istih. Pri tom se ističe važnost animacije kojom se zorno mogu prikazati procesi i tijekovi električnih impulsa ili električne energije (struje) koji nisu vidljivi. Animacije ujedno mogu biti važne i iz aspekta izbjegavanja mogućih opasnosti pri eksperimentiranju s izvornom stvarnosti. Primjenimo li interaktivnu animaciju u kojoj student djeluje kroz računalnu animaciju implementirajući parametre potrebne za rješavanje zadanog problema, a pritom nije prethodno osposobljen (što interaktivna animacija modernih softverskih rješenja zahtjeva) dolazi do mogućnosti pogreške, kratkih spojeva i sl., koji su nedopustivi u radu s izvornom stvarnošću. Stoga je u inženjerskom obrazovanju u elektrotehničkom području nastavni rad s motivacijskim i kognitivno značajnim animacijama važno provoditi prije glavnih aktivnosti studenata, koje će ujedno biti popraćene intenzivnom formativnom evaluacijom razumijevanja procesa, koncepata, procedura, rada tvorevina i sl. U ovom području glavne aktivnosti su češće povezane s različitim osmišljavanjem, razvojem,

mjerenjima i ispitivanjima izvorne stvarnosti pri čemu je visoko razumijevanje istih iznimno važno za uspješnost takvih aktivnosti. Ipak, animacija može izazvati i tzv. iluziju o razumijevanju. Primjerice, ukoliko se u primjeni interaktivne animacije kojom upravlja student fokusira na jedan aspekt (npr. strujni krug), može propustiti druge, jednako važne aspekte i polučiti neuspjeh aktivnosti. Ovaj detalj ukazuje na to kako je prethodno i paralelno stručno osposobljavanje te praćenje i vrednovanje napredovanja od izuzetne važnosti.

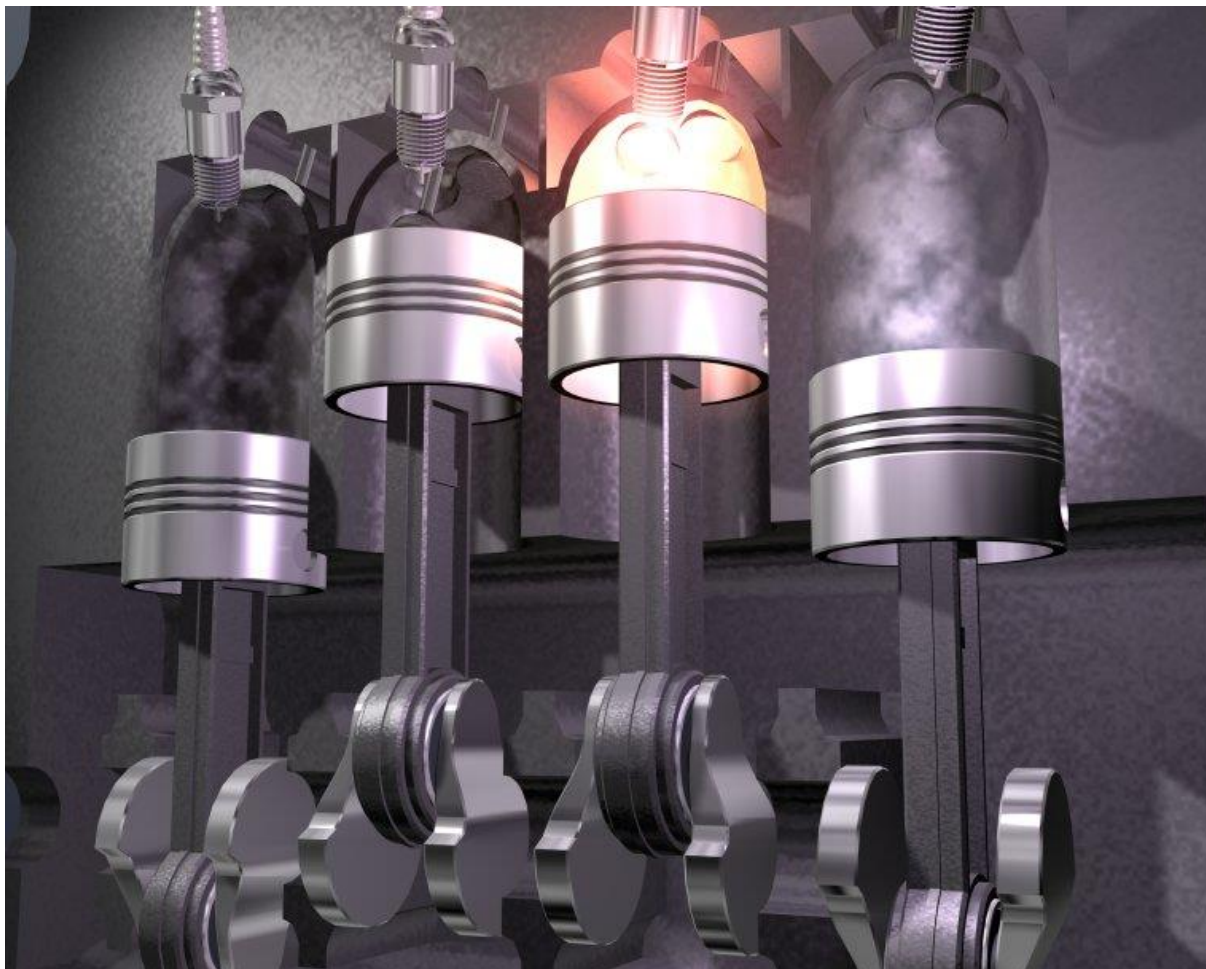


Slika 5.2 Animacija Ohmovog zakona.

III. Animacija u inženjerskom obrazovanju u području strojarstva:

Područje strojarstva u inženjerstvu jedno je od najcjeljenijih grana, između ostalog zbog zahtjevnog kognitivnog mehanizma koji kod studenata mora biti na visokoj razini kako bi mogao percipirati složenu shemu strojeva i procesa koje kao inženjer proizvodi ili poboljšava. Činjenica je da se strojarstvo oslanja na razne prirodne znanosti poput matematike, fizike, kemije, računalstva, kao i na praktično iskustvo koje strojar stječe izradom korisnih konstrukcija, procesa i sustava. S obzirom na navedeno smatram da je zbog motivacijskog segmenta potrebno računalnu animaciju u obrazovanju strojar primjenjivati paralelno s glavnom aktivnosti, odnosno da stručno osposobljeni nastavnici koriste računalnu

animaciju uz dodatno objašnjenje teorijskog dijela kako studenti ne bi krivo razumjeli složenu shemu zadane konstrukcije ili sustava.



Slika 5.3 3D animacija četverotaktnog motora.

IV. Animacija u inženjerskom obrazovanju u području graditeljstva:

Računalnu animaciju u području graditeljstva imamo priliku pratiti na primjeru gradnje novog nogometnog stadiona Kandrida u Rijeci. Koliko je to složen proces svjedoči činjenica da je zaposlen iznimno veliki broj inženjera s raznih područja. Simulacija novog stadiona nedavno je predstavljena javnosti zajedno s brojnim problemima na koje je ovaj projekt nailazio. Primjenom računalnih animacija inženjeri su došli do idealnog način pristupanja problemu podzemnih voda, a isto tako i čestih, do 200 km/h jakih udara bure na tom području.



Slika 5.4 Animacija nogometnog stadiona Kantrida u Rijeci.

Kod obrazovanja studenata, budućih inženjera u području graditeljstva, računalne animacije i simulacije su česte jer nije moguće jednostavno upoznati i razvijati objekte i projekte iz izvorne stvarnosti. Dakle, bez animacija i simulacija bi procesi pripreme projekata i valorizacije istih u obrazovnom procesu trajali neusporedivo dulje što bi neminovno dovelo i do većih troškova, kako u obrazovanju tako i za saniranje posljedica „lošeg“ obrazovanja. Računalne aplikacije, koje se učestalo koriste u obrazovanju, su i različite CAD aplikacije koje danas pružaju brojne mogućnosti za studentsku samostalnu izvedbu i korištenje složenijih modela, simulacija i animacija te tako i kognitivno razumijevanje zahtjevnih objekata i procesa u graditeljstvu. Stoga se animacije u ovom području mogu primijeniti kao motivacijske, koje će potaknuti studenta na glavnu aktivnost, te kao kognitivno značajne ali i studentske animacije. Valja napomenuti da kognitivno značajne i studentske animacije u ovom području trebaju odražavati objekte, procese i tehnologiju iz izvorne stvarnosti, na kojima će studenti moći valorizirati rezultate vlastitih aktivnosti. Glavne aktivnosti studenata u ovom području najčešće se odnose na planiranje, projektiranje te poboljšavanje objekata, procesa, tehnologije ili sustava koji već egzistiraju u stvarnosti, te na valorizaciju vlastitih rješenja. Animacija pri tom može bitno doprinijeti razumijevanju, kako strukture i osobina objekata u graditeljstvu, tako i metodologije njihova nastajanja i valoriziranja.

Uzevši u obzir navedene činjenice, aspekte i teorijsku podlogu, u okvirnom modelu uporabe animacije u obrazovanju inženjera ističe se važnost primjene iste u uvjetima u kojima nije moguće apstraktne i nevidljive pojave i procese predočiti drugim načinima ili ih nije moguće predočiti u realnom vremenu. Osim toga, ništa manje važan metodički aspekt ukazuje na to kada je u nastavi poželjno primijeniti animaciju u odnosu na glavnu aktivnost studenta. Primjena u odnosu na glavnu aktivnost uvelike ovisi o razvijenim kognitivnim modelima studenata, ali i o vrsti glavne aktivnosti te dostupnosti sredstava izvorne stvarnosti. Okvirni

model je ovdje razrađen samo za neka temeljna područja u inženjerskom obrazovanju, za koja imam vlastite spoznaje nastale tijekom studija Politehnike. Međutim, animaciju je na vrlo sličnim osnovama moguće primijeniti i u drugim područjima inženjerskog obrazovanja, poput bio-inženjerstva, inženjerstva materijala te mnogih drugih, danas razgranatih područja inženjerskog obrazovanja.



Slika 5.5 3D animacija u graditeljskom inženjerstvu.

Zaključak

Primjenu animacije uvjetuje početno iskustvo studenta, kontekstualno organizirana glavna aktivnost, krajnji ciljevi nastave i obilježja kojima animacija može doprinijeti postignućima studenta.

Razna istraživanja pokazala su da korištenje samo animacijskih sadržaja može i nepovoljno utjecati na studente pogotovo u obrazovanju inženjera. Kako do toga ne bi došlo nastavni procesi i način predavanja znanja učenicima mora biti raznovrstan, egzaktn, nedvosmislen i razumljiv, a najbitnije segmente lekcije, u samoj animaciji, treba naglasiti kako bi učenicima bilo lakše raspoznati važno od manje važnog.

Zbog nedostatnog iskustva studenta sa računalnom animacijom i još uvijek ne dovoljno dobrih uvjeta školskog okružja, aktivnosti se moraju prilagođavati studentima, a izvornu stvarnost često nadopunjavati didaktički prerađenom. Kontekstualizacija izuzetno važan segment nastavnog procesa pri čemu, uz prioritetu izvornu stvarnost, različiti artefakti i tehnike, poput računalne animacije, mogu doprinijeti postignućima studenata i motivirati ih za rad.

Kako bi se studente motiviralo i potaknulo, a sve sa ciljem što većeg broja visoko obrazovanih inženjera za praktične aktivnosti preporučuje se primjena motivacijskih animacija prije glavne aktivnosti studenta.

Primjena računalne animacije paralelno uz aktivnosti na izvornoj stvarnosti može imati izvanredan utjecaj na buduće shvaćanje nastavnih sadržaja kroz računalnu animaciju. Animacija pri tom gubi prioritet, ali u tom momentu to je manje bitno ukoliko se kod korisnika koji istovremeno gleda animaciju i izvornu stvarnost poboljša kognitivna konstrukcija, a time je cilj postignut.

U radu je istaknut mogući model primjene računalne animacije po područjima inženjerskog obrazovanja, koji čini okvir za implementaciju animacije u nastavi. Modelom se ističe kako animacija rijetko kada može biti osnova za razumijevanje sadržaja, ali može biti važan element u razvoju kognitivnih mehanizama i spoznaje studenata, koji su u inženjerskom obrazovanju iznimno važni.

Želim još istaknuti kako su dosadašnje spoznaje o primjeni računalne animacije u obrazovanju inženjera i učenju općenito zasnovane na teorijskim pretpostavkama i empirijskim istraživanjima u laboratorijskim uvjetima. Stoga daljnja istraživanja treba usmjeriti na uvjete i utjecaj animacije u stvarnim uvjetima i situacijama i u različitim nastavnim područjima. Rezultati takvih istraživanja mogu bitno utjecati na dosadašnje spoznaje o utjecaju animacije na studente, pa tako i na način i okvir za primjenu računalne animacije u inženjerskom obrazovanju.

Literatura

- [1] T. Kelley, N. Kellam, "A Theoretical Framework to Guide the ReEngineering of Technology Education", *Journal of Technology Education*, Vol. 20 (2), pp. 37-49, 2009.
- [2] S. Kovačević, *Kurikulumska matrica tehničkih kompetencija u odgoju i općem obrazovanju (Doktorska disertacija)*, Zagreb: Filozofski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 2012.
- [3] J. Milat, "Tehnička kultura bitna je odrednica sustava obrazovanja", *Društvena istraživanja*, Vol. 5 (1, 21), pp. 109-128, 1996.
- [4] L. Xiao, "Animation Trends in Education", *International Journal of Information and Education Technology*, Vol. 3 (3), pp. 286289, June, 2013.
- [5] S. Ainsworth, "How do animations influence learning?", in *Current Perspectives on Cognition, Learning, and Instruction: Recent Innovations in Educational Technology that Facilitate Student Learning*, D. Robinson and G. Schraw, Eds., pp. 37-67, 2008.
- [6] W. Schnotz, R. K. Lowe, "External and internal representations in multimedia learning", *Learning and Instruction*, Vol. 13, pp. 117– 123, 2003.
- [7] E. Luader, *3D Displays*. Chichester, UK: John Wiley & Sons (ISBN: 978-1-119-99151-9), 2012.
- [8] Moviestorm. [Online]. Using animation in schools: a practical handbook for teachers. Moviestorm Ltd, 2011, Available: <http://www.moviestorm.net> [Accessed:12.05.2014].
- [9] J. Bezjak, "Contemporary engineer pedagogic's project research - using multimedia at technology classes in technical and vocational schools", *Procedia Social and Behavioral Sciences*, Vol. 2, pp. 407–411, 2010.
- [10] M. Bétrancourt, B. Tversky, "Effect of computer animation on users' performance: a review", *Le Travail Humain*, Vol. 63(4), pp. 311-330, 2000.
- [11] Damir Purković, *Primjena računalne animacije u nastavi općeg obveznog tehničkog odgoja i obrazovanja*

<http://www.telfor.rs/>

<https://sh.wikipedia.org/wiki/In%C5%BEenjerstvo>

<https://hr.wikipedia.org/wiki/In%25C5%25BEenjerstvo+%&cd=1&hl=hr&ct=clnk&gl=hr>