

Primljeno: 16.04.2013.

Stručni rad

UDK: 371.3:004.925

PEDAGOŠKI POTENCIJAL ALGORITAMSKE VIZUALIZACIJE U NASTAVI INFORMATIKE

dr. sc. Ivica Boljat, docent
Prirodoslovno-matematički fakultet
Split, Nikole Tesle 12
boljat@pmfst.hr

mag. Ivana Pletikosa - Grgić
Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje
Split, Ruđera Boškovića 32
ivana.grgic@fesb.hr

SAŽETAK

Prema konstruktivističkoj teoriji, vizualizacija pomaže učenicima u stvaranju vlastitog mentalnog modela. Ne bismo joj trebali namijeniti ulogu pomoćnog sredstva kojim nastavnik preslikava mentalni model iz svoje glave u glavu učenika principom epistemološke vjernosti. Učinkovita upotreba novih obrazovnih tehnologija mora uzeti u obzir teoriju multimedijalnog dizajna temeljenu na istraživanjima kako studenti uče. Ipak, odlučujući faktor za učinkovitost vizualizacije nije atraktivnost korištenog alata već način i stupanj uključenja učenika u razine aktivnosti koje su više od samog gledanja.

Iako nastavnici dobrobiti vizualizacije smatraju značajnima, nedovoljno je koriste. To se ne može objasniti samo naporom potrebnim za traženje i učenje dobrih primjera i potrebnom prilagodbom vizualizacije predavačkom pristupu i sadržaju podučavanja. Objasnjenje može biti i u mogućoj želji nastavnika da zadrže svoju poziciju autoriteta.

Ključne riječi: algoritmi; animacija; pedagogija; vizualizacija

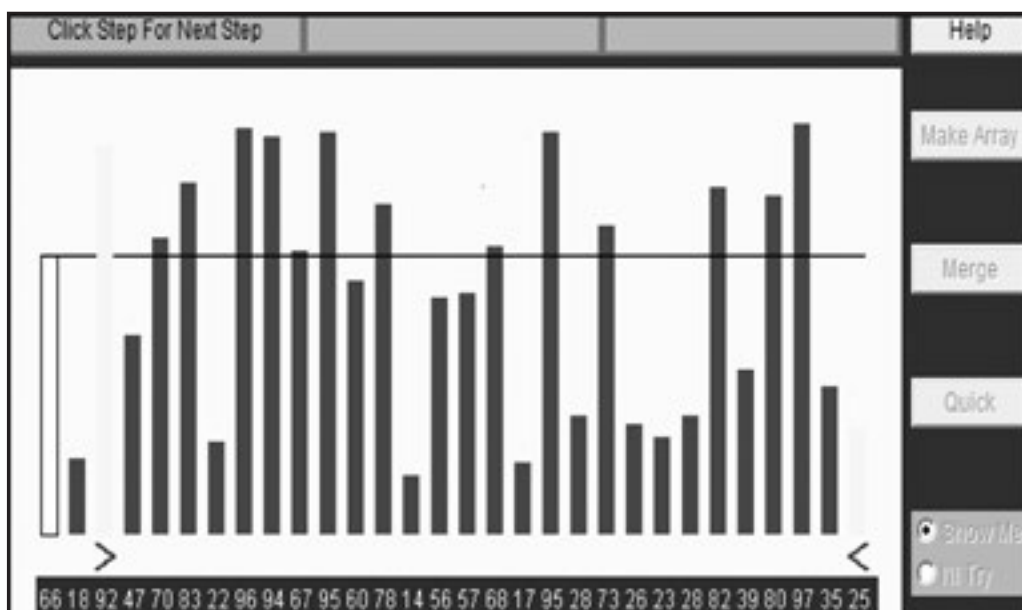
UVOD

Analizu i dizajn algoritama studenti informatike smatraju vrlo zahtjevnim poslom. Metode poučavanja koje koriste tekst i statične slike često su u raskoraku s prirodom algoritama jer oni opisuju apstraktne i dinamične procese. To je potaknulo istraživače

da ispitaju mogućnosti korištenja animacija za konkretizaciju prikaza dinamičkog ponašanja algoritama. Slika 1. prikazuje vizualizaciju algoritma quick-sort u jednom takvom sustavu kojeg su kreirali Jarc, Feldman i Heller (2000).

Poslovice koja kaže da “slika vrijedi tisuću riječi” neodoljiva je i intuitivno nepitna, na njenom tragu dizajnirane su zanimljive animacije algoritama. Istraživanja u Marko Polo stilu najčešće su bila bez formalne, sustavne procjene. Cilj starijih studija uglavnom bio je utvrditi je li vizualizacija uspješnija od konvencionalnih metoda, a novije istražuju utjecaj raznih formi uključenosti studenata u radu s tehnologijom za algoritamsku vizualizaciju (Stasko i Hundhausen, 2004.). Pojedinačne empirijske studije u velikom broju nisu našle uvjerljive dokaze da animacije pospešuju rezultate učenja (Hansen i sur., 2002.; Lawrence i sur., 1994.).

Slika 1. Vizualizacija Quick sorta (*Interactive Data Structure Visualization...*)

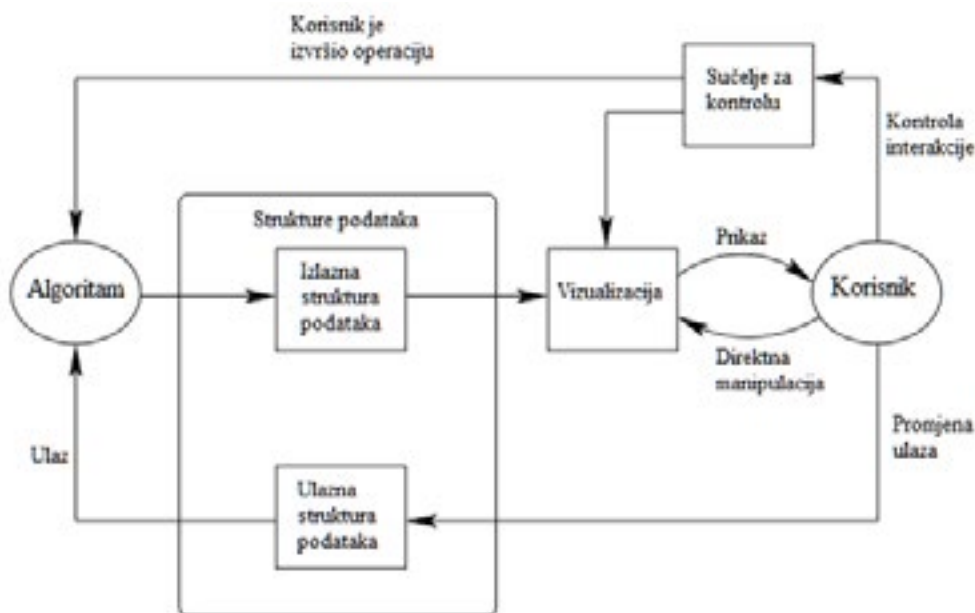


Iako se vizualizacija koristi za objašnjavanje raznih informatičkih tema poput virtualne memorije (Null i Rao, 2005.), baza podataka (Allenstein i sur., 2008.), arhitekture računala (Yehezkel i sur., 2005.), najviše istraživačkih napora uloženo je u proučavanje tehnoloških karakteristika sustava za softverske vizualizacije. Tek u novije vrijeme naglasak je stavljen na njihove pedagoške učinke.

Softverska vizualizacija pokriva dvije domene: vizualizaciju izvršavanja programa i algoritamsku vizualizaciju. Vizualizacija izvršavanja programa ima za cilj otkrivanje i uklanjanje pogrešaka u algoritmu praćenjem njegovog izvršavanja korak po korak. Takav pogled niske razine nije dovoljno izražajan za prikaz načina kako algoritam funkcionira. Algoritamska vizualizacija, bilo dinamička, bilo kao serija statičkih slika, vizualizira sva stanja podatkovnih struktura tijekom izvršavanja algoritma i time omogućava eksplicitno

razumijevanje logike i ponašanja algoritma. Tipičnu arhitekturu sustava za algoritamsku animaciju prikazuje slika 2. (Korhonen, 2003.). Korisnik putem sučelja kontrolira interakciju: način izvođenja korak po korak ili kontinuirani prikaz izvršenja cijelog algoritma, brzinu izvođenja, s predviđanjem sljedećeg koraka ili samo gledanje, rad s podacima koji se slučajno generiraju ili koje korisnik sam zadaje.

Slika 2. Tradicionalni pogled na sustav za algoritamsku animaciju



TEORIJE EFIKASNOSTI ALGORITAMSKIH VIZUALIZACIJA

Privlačno teorijsko obrazloženje zašto bi vizualizacija mogla popraviti učenje kaže da ona pomaže u stvaranju kognitivne strukture koju zovemo mentalni model, a služi nam za predstavljanje znanja o stvarnom svijetu i predviđanje ponašanja u njemu (Ben-Ari, 2001.). Za konstruktiviste učenje se ostvaruje kada učenika izložimo iskustvima koja od njega traže modifikaciju starih mentalnih modela. To zahtijeva od nastavnika da ima jasnu ideju o postojećim mentalnim modelima učenika i da precizira karakteristike novih mentalnih modela koje želi postići i ulogu vizualizacije u tranziciji prema novom modelu. Sasvim je jasno da to nije trivijalan zadatak jer svaki učenik posjeduje unikatni mentalni model, ciljevi učenja se rijetko izražavaju u terminima poželjnih mentalnih modela, a pravi učinci korištenja animacije mogu se otkriti samo dugotrajnim istraživanjima, a to se rijetko radi. **Meta-analiza** algoritamske vizualizacije potvrdila je da je ovaj konstruktivistički pristup bio uspješan u 70% proučavanih studija, za razliku od 30% uspješnosti sustava temeljenih na principu epistemološke vjernosti po kojem je

vizualizacija samo pomoćno sredstvo da nastavnik preslika mentalni model iz svoje glave u glavu učenika (Hundhausen i sur., 2002.). Nisu se puno korisnijim pokazale ni nešto rjeđe korišteni sustavi bazirani na teoriji individualnih razlika po kojoj više profitiraju učenici s nižom razinom znanja i boljom prostornom inteligencijom niti sustavi zasnovani na teoriji dualnog kodiranja (Paivio, 1986.).

U toj meta-analizi obuhvaćena su 24 eksperimenta, od kojih je 14 eksperimenata zahtijevalo dodatne aktivnosti. Te dodatne aktivnosti dovele su do statistički značajnog poboljšanja u učenju studenata u 10 eksperimenata, dok u četiri eksperimenta nije bilo značajnih razlika. Najinteresantnije opažanje koje iznosi taj rad jest da odlučujući faktor učinkovitog korištenja vizualizacije nije toliko u karakteristikama alata za algoritamsku vizualizaciju koliko u načinu i stupnju uključenja učenika u aktivnosti koje nisu samo gledanje vizualizacije. Prema Radnoj skupini, šest je različitih formi uključenosti učenika u obrazovne situacije: *bez gledanja* - ne koristi se vizualizacijska tehnologija, *gledanje*, *odgovaranje*, *mijenjanje* podataka, *konstruiranje* vlastite vizualizacije, ne uključuje nužno kodiranje algoritma, *predstavljanje* vizualizacije publici. Viša razina i /ili korištenje više formi uključenosti je uspješnije (Naps i sur., 2002.). Kasnije su Myller i sur. (2009.) dodali još nekoliko razina uključenosti: *gledanje s kontrolom*, npr. brzine izvođenja vizualizacije, *unos podataka* za vrijeme izvođenja, *modifikacija* npr. koda algoritma, *osvrt* i sugestije u vezi s vizualizacijom.

Dodatni kriteriji za meta-analizu bili su način testiranja (početni-završni test bolji nego samo završni test), količina uloženog napora studenata (ako je vizualizacija motivirala studente da ulože više napora algoritamska vizualizacija bila je uspješnija nego kad to nije bio slučaj). Neke studije čak imaju potpuno porazne rezultate, animacijske grupe su nazadovale nakon gledanja animacija (Jarc i sur., 2000.).

PRIMJERI EMPIRIJSKIH STUDIJA

Byrne, Catrambone i Stasko (1999.) **kontroliranim eksperimentima** potvrdili su da su animacija i predviđanje iza kojeg odmah slijedi povratna informacija jednako učinkoviti, a bolji su nego kad se ne koristi niti jedno od njih. Sama upotreba animacija ne poboljšava automatski i značajno učenje kako su se neki istraživači nadali. Lawrence, Badre i Stasko (1994.) utvrdili su da nema značajne razlike između animacije i slajdova u poučavanju algoritama, no potvrđena je prednost kad se studentima dozvolilo da unose vlastite podatke u algoritam, naročito kod znanja na dubljem nivou.

Kehoe, Stasko i Taylor (2001.) u **opservacijskoj studiji** koriste metodologiju simuliranja scenarija domaće zadaće. Potvrdili su da je pedagoška vrijednost algoritamskih animacija očitija u otvorenijim, interaktivnim obrazovnim situacijama (kao što je scenarij domaće zadaće). Smatraju da animacije nisu tako korisne kada se koriste izolirano. Animacije zahtijevaju pažljivu koordinaciju s ostalim obrazovnim materijalima i treba pratiti predavača koji objašnjava kako animacija simulira algoritamske operacije. Čak ako animacije i ne pridonose razumijevanju algoritma one poboljšavaju pedagoški čineći algoritam pristupačnijim i manje zastrašujućim, povećavajući tako motivaciju.

Animacije aktiviraju studente, čineći učenje interaktivnim iskustvom, a ne zahtjevnom obavezom. Kao posljedica toga je provođenje više vremena na zadatku i olakšano učenje.

PEDAGOŠKESMJERNICE ZA DIZAJNIRANJE SUSTAVA ALGORITAMSKE VIZUALIZACIJE

Na razini znanja (prepoznavanja i neformalnog definiranja specifičnih koncepata algoritma) te na razini razumijevanja (općih principa, koncepata, formalnog definiranja i implementacije algoritma) uloga algoritamske vizualizacije je osigurati neograničenu količinu podataka nad kojima se može gledati izvršenje algoritma (Naps, 2001.). Sustav algoritamske vizualizacije mora osigurati sučelje koje korisnicima omogućava povratak na prethodne korake jer će se često izgubiti u gledanju vizualizacije. S postupnim napredovanjem na ovoj razini, kao i na razini primjene (prilagodbe algoritama specifičnim zahtjevima) na raspolaganju bi trebali imati sučelje za unos vlastitih podataka.

Kod analize (sposobnosti analize i dekompozicije kompliciranih algoritama, identifikacije bitnih objekata i dokazivanja točnosti algoritma) te sinteze, odnosno kreacije (dizajniranja rješenja kompleksnih problema koristeći složenije algoritme i strukture podataka, vodeći računa o kompleksnosti algoritama) sustav algoritamske vizualizacije nije samostalan već je dio razvojnog okruženja za programiranje pri čemu se odmah mogu vidjeti učinci izvršenja koda kojeg je napisao student. Kod vrednovanja (definiranja razloga za i protiv upotrebe raznih algoritama koji služe rješavanju istog problema) vizualizaciju treba popratiti hipertekstom (ili, još bolje, govorom).

Učinkovita upotreba novih obrazovnih tehnologija mora uzeti u obzir teoriju multimedijalnog dizajna temeljenu na istraživanjima kako studenti uče (Mayer i Moreno, 1998.). Sukladno teoriji učenik ima sustave za procesuiranje vizualnih i verbalnih informacija. Selekcijom informacija dobijemo tekstualnu bazu i baza slika. Organizacijom dobijemo dva modela sustava, verbalni i vizualni. Integracija se događa kad učenik stvara veze između odgovarajućih događaja u tim modelima.

Serijom eksperimenata ustanovilo se pet glavnih principa kako koristiti multimediju. Njihove preporuke su: bolje je predstaviti objašnjenje koristeći dva načina predstavljanja nego jedan jer se stvaraju dvije različite mentalne reprezentacije, bolje je predstaviti odgovarajuće slike i riječi zajedno nego odvojeno zato što moraju biti u radnoj memoriji u isto vrijeme da bi se olakšalo stvaranje važnih veza među njima, bolje je predstaviti riječi kao auditornu naraciju nego vizualni tekst na ekranu zato što pisani tekst i animacije mogu kognitivno preopteretiti vizualni sustav, učenici s manjim znanjem i boljim prostornim sposobnostima više profitiraju od animacije, bolje se uči iz koherentnog sažetka koji naglašava važne riječi i slike nego iz dužih verzija teksta

HalVis je sustav usredotočen na korisnika i implementirao je ove preporuke (Hansen i sur., 2002.). Fokus nije na animaciji već na pružanju dostatnih i važnih informacija u kognitivno prikladnom mediju. Koristi tri načina animacije. Osnovnu ideju algoritma ilustrira animirana analogija s pridruženim tekstualnim objašnjenjem. Animacija na mikro razini, prikazuje specifične algoritamske operacije na malom skupu

podataka, uz pseudo kod i tekstualno objašnjenje. Animacija na makro razini ilustrira ponašanje algoritma na relativno velikom broju podataka.

KAKO NASTAVNICI DOŽIVLJAVAJU UPOTREBU ALGORITAMSKE VIZUALIZACIJE

Radna skupina provela je istraživanje kojim se potvrdila snažna percepcija među predavačima da vizualizacija pomaže (Naps i sur., 2002.). Barem jednom u 2 tjedna koristi je 26% ispitanika, a 45% samo jedan ili dva puta po semestru. Studenti najviše gledaju vizualizacije u učionici, nešto manje ih koristi na laboratorijskim vježbama, konstruira vlastite vizualizacije i eksperimentira s različitim skupovima podataka.

Dobrobiti su, prema njihovu iskustvu, ugodnije poučavanje, povećana motivacija i angažman studenata, osiguravanje baze za raspravu o konceptualnim osnovama algoritama i uspješnije **učenje** studenata.

Glavni razlozi zašto više ne koriste vizualizacije su vrijeme potrebno za traženje i učenje dobrih primjera (93%), vrijeme potrebno za izgradnju vizualizacije, nedostatak razvojnih alata te vrijeme potrebno za prilagodbu vizualizacije predavačkom pristupu i/ili sadržaju podučavanja. Neke ispitanike brine i nedostatak dokaza o učinkovitosti, činjenica da su studenti previše pasivni ako samo gledaju prezentacije u zamračenoj prostoriji, mogućnost da algoritamske vizualizacije mogu sakriti važne detalje i koncepte.

R. Ben-Bassat Levy i M. Ben-Ari proveli su istraživanje (2007.) kako nastavnici doživljavaju upotrebu animacijskih sustava kao pedagoških alata. Veća prihvaćenost takvih alata od strane nastavnika ovisi o integraciji alata s drugim nastavnim materijalima i o naglašavanju uloge nastavnika u korištenju takvih alata.

Nastavnici su poveznica između učenika i pedagoških alata kao što su sustavi za animaciju i o njima ovisi široka primjena alata. Trebaju biti nositelji inovacija i oni koji ih integriraju u svoje učionice. Nekonzistentnost između pozitivnih reakcija nastavnika prema inovacijama i njihova oklijevanja da unesu te inovacije u svoje učionice posljedica je želja da zadrže svoju poziciju autoriteta pa se opiru promjenama koje pomiču fokus učenja s nastavnika na učenika (tzv. centralnost nastavnika). Inovatori trebaju potrošiti više vremena kako bi promijenili stavove nastavnika i potaknuli ih da unesu neke promjene u svoja predavanja, a vizualizaciju uključe u primarne, nastavne materijale za kolegij.

ZAKLJUČAK

Velika većina nastavnika praktičara vjerojatno neće samostalno izgraditi sustav za algoritamsku vizualizaciju jer je to vrlo zahtjevan posao. Danas je dostupno mnoštvo takvih alata, pogotovo onih koji podržavaju samo neke teme iz kurikuluma pa to stvara problem jer za svaki takav alat treba naučiti njegov specifični vizualni jezik i sučelje. Nastavnici bi trebali poznavati pedagoški potencijal AV, teoriju i principe multimedijalnog učenja kako bi mogli kompetentno odabrati najprikladniji sustav i kvalitetno ga integrirati u svoju nastavu.

LITERATURA

1. Allenstein, B., Yost, A., Wagner, P., Morrison, J. (2008), A Query Simulation System To Illustrate Database Query Execution. *SIGCSE '08*, March 12–15, 2008, p. 493-497.
2. Ben-Ari, M. (2001), Program visualization in theory and practice. *The European Online Magazine for the IT Professionals, II* (2), p. 8–11.
3. Ben-Bassat Levy, R., Ben-Ari, M. (2007), We Work So Hard and They Don't Use It: Acceptance of Software Tools by Teachers, *ITiCSE'07*, June 23–27, 2007, Dundee, Scotland, United Kingdom, p. 246-250.
4. Byrne, M. D., Catrambone, R. C. & Stasko, J. T. (1999), Evaluating animations as student aids in learning computer algorithms. *Computers & Education* 33 (4), p. 253-278.
5. Hansen, S., Narayanan, N. H., Hegarty M. (2002), Designing Educationally Effective Algorithm Visualizations, *Journal of Visual Languages and Computing*, 13 (3), Academic Press, 2002., p. 291-317.
6. Hundhausen, C. D., Douglas, S. A. & Stasko, J. T. (2002), A meta-study of algorithm visualization effectiveness, *Journal of Visual Languages and Computing*, 13 (3), p. 259-290.
7. Interactive Data Structures Visualizations Efficient Sorts (2002.), <http://www.student.seas.gwu.edu/~idsv/idsv.html> , dostupno 4.4.2013.
8. Jarc, D. J., Feldman, M. B. and Heller, R. S. (2000), Assessing the Benefits of Interactive Prediction Using Web-based Algorithm Animation Courseware. *ACM SIGCSE Bulletin*, 32, (1), March 2000, p. 377 – 381.
9. Kehoe, C., Stasko, J. T. & Taylor, A. (2001), Rethinking the evaluation of algorithm animations as learning aids: An observational study. *International Journal of Human-Computer Studies*, 54 (2), p. 265-284.
10. Korhonen, A. (2003), *Visual Algorithm Simulation*, PhD thesis, Department of Computer Science and Engineering, Helsinki University of Technology, 2003, <http://lib.tkk.fi/Diss/2003/isbn9512267950/isbn9512267950.pdf> , dostupno 15.12.2012.
11. Lawrence, A., Badre, A. & Stasko, J. T. (1994), Empirically evaluating the use of animations to teach algorithms. *Proceedings of the IEEE Symposium on Visual Languages*, IEEE Computer Society Press, Piscataway, NJ, p. 48-54.
12. Mayer, R. E., Moreno, R. A. (1998), Cognitive Theory of Multimedia Learning: Implications for Design Principles, <http://www.unm.edu/~moreno/PDFS/chi.pdf>, 15.12.2012.
13. Myller, N., Bednarik R., Sutinen E, Ben – Ari, M. (2009) Extending the engagement taxonomy: Software visualization and collaborative learning, *ACM Transactions on Computing Education, TOCE*, 9 (1), p. 1–27.
14. Naps, T. L., (2001), Incorporating algorithm visualization into educational theory: A challenge for the future, *The European Online Magazine for the IT Professionals, II* (2), p. 17–21.
15. Naps, T. L., Rößling G., Almstrum, V., Dann, W., Fleischer, R., Hundhausen, C., Korhonen, A., Malmi, L., McNally, M., Rodger S. and Velázquez-Iturbide, J. Á..(2002),

- Exploring the Role of Visualization and Engagement in Computer Science Education, Report of the Working Group on "Improving the Educational Impact of Algorithm Visualization". In *Working Group Reports from ITiCSE on Innovation and Technology in Computer Science Education*, New York, USA, 2002. ACM Press. , p. 131–152.
16. Null, L., Rao, K. (2005), CAMERA: Introducing memory concepts via visualization. In *ACM SIGCSE Bulletin*, 37 (1), p. 96-100.
 17. Paivio, A. (1986), *Mental representations: A dual coding approach*, Oxford, England: Oxford University Press.
 18. Stasko, J. T., Hundhausen, C. D. (2004), *Algorithm Visualization in* Fincher, S., Petre, M., *Computer Science Education Research*, Taylor & Francis, 2004, p. 199–228.
 20. Yehezkel, C., Ben-Ari, B., Dreyfus, T. *Computer Architecture and Mental Models*, *SIGCSE'05*, February 23–27, 2005, St. Louis, Missouri, USA, p. 101-106.

PEDAGOGICAL POTENTIAL OF ALGORITHM VISUALIZATIONS IN COMPUTER SCIENCE TEACHING

SUMMARY

According to the constructivist theory, visualization helps students create their own mental models. Visualization should not have a role of an assisting device which translates the teacher mental model from his head to the head of a student by principle of epistemological fidelity. Effective use of educational technologies must take into account the theory of multimedia design based on studies of how students learn. However, the deciding factor for the effectiveness of visualization is not the attractiveness of used tools, but the manner and degree of engagement of students in the activity levels that are more than just viewing.

Although the benefits of visualization teachers deem important, they use them insufficiently. This cannot be explained only by the effort necessary to find and learn good examples nor by adaptation of the visualization to the teaching approach and content. The explanation could also lie in the possible desire of teachers to maintain their position of authority.

Keywords: algorithms; animation; pedagogy; visualization