



Sustavi

ZNANSTVENO-POPULARNI ČASOPIS ZA RAZUMIJEVANJE SUSTAVA

Godina 1. broj 2-3
Studen 2007.
ISSN 1846-5080

Tema broja

Računalno modeliranje

Primjena računala u inženjerstvu • Modeliranje dinamičkih procesa u moru
• Inverzno njihalo • Programi za višeagentsko modeliranje



Natjecanje
»Opisujemo sustave«
2007./2008.



- Časopis *Sustavi* izlazi **četiri puta godišnje**.
- Cijena časopisa iznosi **18 kn**.
- Pretplata za 2008. godinu iznosi **60 kn** (uključuje 4 broja i poštarinu).
- Časopis *Sustavi* možete naručiti putem naše **narudžbenice**.
- Pretplatu za 2008. godinu uplaćujete na žiro račun Hrvatskog interdisciplinarnog društva: **2360000-1101860595**.
- Potvrdu o uplati (kopiju ili scan uplatnice, ispis naloga internetske uplate, ...) pošaljite na adresu Hrvatskog interdisciplinarnog društva: **Šimunčevečka c. 38b, 10 360 Sesevete**, ili ured@idd.hr
- www.idd.hr, ured@idd.hr

Drage čitateljice i čitatelji,

nakon prvog broja koji je *pronašao* put do vas, u pustolovinu kreće i drugi broj časopisa *Sustavi* i to u novom vizualnom ruhu. Nadamo se da će vam se promjena svidjeti te očekujemo vaše komentare i prijedloge koje nam možete slati putem elektroničke pošte i mrežnog foruma.

Od ovog broja časopisa krećemo u pripremu drugog po redu natjecanja *Opisujemo sustave*. Pravila natjecanja, u kojima ćete saznati koji su elementi natjecanja te kako se oni boduju, također su navedena unutar časopisa. Ako se želite uključiti u natjecanje, a radujemo se svakom prijavljenom radu, pogledajte rok prijavljivanja te adresu gdje prijavu možete poslati. Na prošlogodišnjem natjecanju obrađene su različite teme vezane uz sustave (pogledajte u prvom broju časopisa). Za ovu godinu nadamo se još većoj raznolikosti tema. Očekujemo vas, iz svih škola diljem cijele Hrvatske.

Što možemo nazivati sustavom, koje su njegove značajke te ostale osnovne informacije vezane uz sustave saznajte iz članka *Susret sa sustavima* autorice Nikice Viličić.

Računalo svakodnevno koristimo onoliko koliko nam je potrebno, većinom kao pisaći stroj, opremu za igre, mjesto s kojeg možemo 'zaroniti' u svijet interneta ili sl. U ovom broju upućujemo vas i prikazujemo vam jednu drugačiju primjenu računala, pa smo stoga za temu ovog broja odabrali računalno modeliranje. O računalnom modeliranju možete doznati više iz niza članaka. O primjerima primjene računala u inženjerstvu s različitim funkcijama pročitajte u tekstu Bojana Jerbića. Taj članak sadrži elemente onoga što uče i redovito primjenjuju studenti Fakulteta strojarstva i brodogradnje u Zagrebu. Kao konkretni primjer, Tihomir Žilić opisuje model inverznog njihala. Ne znam jeste li od prije znali koliko smo, primjerice mi sami 'fini' primjer inverznih njihala, ali ako pročitate navedeni članak, možda vam pripomogne u daljnjim saznanjima. Josip Stepanić vam donosi primjere određenih programa koje možete koristiti tijekom višeagentskog modeliranja, jednog od pristupa opisa sustava s mnoštvom karakterističnih jedinki. Kako se modeliranje primjenjuje pri istraživanju mora i razumijevanju nekih pojava vezanih za more, saznat ćete od Ivce Vilibića i Hrvoja Mihanovića.

Rubrika *Pogled u dubinu* donosi nam dva članka. Prvi članak koji na vrlo zanimljiv način govori o fascinantnom sustavu komuniciranja u Staroj Grčkoj napisao je Slobodan Čače. Danas pomoću knjiga, televizije, interneta i ostalih pomagala svijet nam je kao na dlanu, a kako je izgledalo tada... Sljedeći članak, prikaz međunarodne ljetne škole koja se odvijala u Portugalu na temu kolektivne robotike, pripremio nam je Petar Čurković.

Ukoliko imate kakvih pitanja vezanih uz objavljene članke, možete ih postaviti autorima ili uredništvu kao i na mrežnom forumu Hrvatskog interdisciplinarnog društva.

Svakako je neizostavno i potrebno napomenuti nazočnost našeg domaćina i prijatelja, kojeg ćete od ovoga broja redovito susretati u *Sustavima*, našega Soba. Naime, on je pristao doći u naš časopis i družiti se s nama, pa ga ovom prilikom i lijepo pozdravljamo.

Zahvaljujemo svim autorima, stručnjacima u svom području na kvalitetnim i zanimljivim člancima koji su nastali samo za ovaj časopis. Financijski, izdavanje je poduprlo Ministarstvo znanosti, obrazovanja i športa na čemu im se zahvaljujemo. 📦

Mirna Grgec-Pajić



Izdavač:

Hrvatsko interdisciplinarno društvo,
Šimunčevačka 38b, 10360 Sesvete
www.idd.hr

Kontakt:

ured@idd.hr,
www.idd.hr/forum/

Priprema:

Kolumna d.o.o.

Tisak:

Stega tisak d.o.o.

Glavni i odgovorni urednik:

doc. dr. sc. Josip Stepanić

Urednica:

Mirna Grgec-Pajić, prof.

Uredništvo:

dipl. inž. Petar Ćurković,
mr. sc. Predrag Đukić,
dipl. oec. Željko Grgić,
mr. sc. Mladen Iličković
dr. sc. Josip Kasać,
dipl. inž. Zvonko Kostanjčar,
dipl. soc. Boško Kuzmanović,
mr. sc. Armano Srblićinović,
mr. sc. Tatjana Tkalčec,
mr. sc. Nikica Viličić,

Savjet:

prof. dr. sc. Vjekoslav Afrić,
prof. dr. sc. Aleksa Bjeliš,
prof. dr. sc. Juraj Božičević,
doc. dr. sc. Tino Bucak,
prof. dr. sc. Igor Čatić,
prof. dr. sc. Vesna Dušak,
prof. dr. sc. Bojan Jerbić,
prof. dr. sc. Melita Kovačević,
prof. dr. sc. Mirjana Pejić Bach,
Ronald Rasol, prof. savjetnik,
doc. dr. sc. Karin Šerman,
prof. dr. sc. Marko Tadić

Lektorica:

Valerija Karačić, prof.

Prevoditeljica:

mr. sc. Jasmina Božić

Grafičko oblikovanje:

Tomislav Alajbeg

Tehnički savjetnik:

Igor Cerin

ISSN 1846-5080

Naklada: 1000 kom.

Izlazi tri puta godišnje

Časopis financijski podupire Ministarstvo
znanosti, obrazovanja i športa Republike
Hrvatske.

Srednjim školama u Republici Hrvatskoj
časopis se dostavlja besplatno.

Tema broja – računalno modeliranje



12 Primjena računala u inženjerstvu

Bojan Jerbić

18 Modeliranje dinamičkih procesa u moru

Ivica Vilibić i Hrvoje Mihanović

23 Inverzno njihalo

Tihomir Žilić

26 Programi za višegentsko modeliranje

Josip Stepanić

Pogled u dubinu

31 Kolektivna robotika

Petar Ćurković

34 Sustavnost komuniciranja u starogrčkom svijetu

Slobodan Čače

Aktivnosti HID-a

1 Uvodnik

3 Natjecanje *Opisujemo sustave 2007./2008.*

6 Liga kumpanija

Ivo Slade

7 Susret sa sustavima

Nikica Viličić

Nikica Viličić

Hrvatsko interdisciplinarno društvo ove godine po drugi put organizira natjecanje *Opisujemo sustave* za učenice srednjih škola Republike Hrvatske, uz potporu Ministarstva znanosti, obrazovanja i športa. Natjecanje je prvi puta provedeno u školskoj godini 2006./07. kao pilot projekt, a u njemu su sudjelovali učenice i učenici trećih i četvrtih razreda. Ove školske godine, 2007./08. natjecati se mogu svi učenici srednjih škola, od prvog do četvrtog razreda.

Prisjetimo se

Prošle godine bilo je prijavljeno jedanaest tema iz pet škola, a na završnom predavanju, čiji su predstavnici bili pozvani, prezentirano je šest radova. Prema jednoglasnom stavu povjerenstava za ocjenu eseja i javnog izlaganja, teme su pripremljene vrlo kvalitetno, tako da su razlike među brojem bodova pojedinih radova bili relativno mali. Na kraju je za pobjedničku temu izdvojen esej pod nazivom *Nerazmjern broj žena u odnosu na muškarce na području grada Karlovca*, rad učenica Gimnazije Karlovac. Osim toga, iz Karlovačke gimnazije smo imali priliku čuti još tri zanimljiva predavanja s temama: *Vid, Turizam u Karlovačkoj županiji i Hidroelektrana Lešće*, a temu pod

nazivom *Sustav EU*, obradile su učenice Srednje škole Čazma. Među pozvanima bila je i jedna tema izvan konkurencije čiji su autori bili učenici prvog razreda V. gimnazije u Zagrebu. Oni su svoju temu pod nazivom *Sustav uspješnosti filma* prijavili samoinicijativno, neovisno o činjenici kako je natjecanje u 2006./07. bilo predviđeno isključivo za treće i četvrte razrede. Potaknuti visokom kvalitetom predanog eseja vrijednih učenika prvoga razreda, odlučili smo ove godine proširiti natjecanje na sve razrede srednjih škola. Natjecanje će se provesti u dvije kategorije – juniori, prvi i drugi te seniori – treći i četvrti razredi.

Pravila natjecanja

Kao i prošle godine, ciljevi natjecanja *Opisujemo sustave* obuhvaćaju razvoj shvaćanja ideje sustava, opću korisnost razumijevanja sustava te doprinos daljnjeg razvijanja kreativnosti, intelektualnih i društvenih sposobnosti zainteresiranih učenika. U natjecanjima, učenici primjenjuju znanje stečeno većinom u redovitoj nastavi, na opis i razumijevanje sustava kao dijelova svoje okoline. Učenici sami odabiru temu i područje iz kojeg obrađuju određeni sustav, uz obavezu primjenu cjelina iz znanosti o sustavima. Zastupljene cjeline su izdvajanje elemenata sustava i navođenje

Natjecanje *Opisujemo sustave* se najvećim dijelom oslanja na razvoj shvaćanja ideje sustava kod učenika. Oni primjenjuju znanje iz prirodoslovlja, tehnike i društveno-humanističkih znanosti, stečeno većinom u redovitoj nastavi, na opis i razumijevanje sustava kao dijelova svoje okoline. Samostalnim odabirom teme i područja iz kojeg obrađuju određeni sustav, učenici koriste znanstveni pristup u kreativnom razmišljanju te povezuju znanja iz različitih znanstvenih disciplina. Na taj način razvijaju interdisciplinarni pristup u rješavanju različitih problema.

njihovih relacija, prikaz elemenata i relacija u obliku dijagrama uzročnih veza, interpretacija uočenih povratnih veza te naznačivanje vremenske ovisnosti značajnih elemenata.

Učenici i učenice koji žele sudjelovati u natjecanju *Opisujemo sustave* do

3. 12. 2007. godine trebaju poslati poštom ili putem e-pošte prijavu teme s njenim nazivom i sažetkom. Teme se mogu prijaviti u timu od dva učenika. Nadalje, poželjno je odabrati mentora, profesora koji će s povjerenstvom za ocjenjivanje eseja procijeniti primjerenost teme, predznanje i raspoloživo vrijeme učenika-natjecatelja te koji će pratiti proces rada. Bitno je da učenici samostalno obrađuju odabrani sustav i izrađuju svoj esej uz stručno vodstvo mentora. Tijekom izrade eseja na raspolaganju je mrežni forum Hrvatskog interdisciplinarnog društva za rasprave o temama seminara i za konzultacije s članovima povjerenstva natjecanja.

Završeni eseji šalju se do 15. 1. 2008. godine poštom ili putem e-pošte na adresu Društva uz naznaku »Opisujemo sustave – eseji«. Slanjem eseja završen je prvi dio natjecanja. Eseje ocjenjuje povjerenstvo prema kriterijima ocjenjivanja navedenim u desnoj tablici. Struktura eseja je relativno formalne naravi dok je sadržaj vezan uz zastupljenost cjelina iz znanosti o sustavima.

Aritmetička sredina ocjena svih članova povjerenstva bit će navedena kao ocjena eseja. Ocjena se iskazuje kao broj bodova između 0 i 70, što je najveći mogući broj bodova za esej. Učenici i mentori najboljih radova bit će pozvani na završni skup s javnim izlaganjem, odnosno, na drugi dio natjecanja. U javnom izlaganju, u trajanju do 10 minuta, predstavnik grupe samostalno izlaže pretpostavke i zaključke svojih radova. Završnu ocjenu dodijelit će posebno povjerenstvo, a aritmetička sredina ocjena svih članova tog povjerenstva označava ocjenu javnog izlaganja. Najveći broj bodova za javno izlaganje je 30 bodova (tablica 2). Zbrajanjem bodova eseja i jedne desetine bodova pripadnog javnog izlaganja dobivaju se ukupni brojevi bodova pojedine teme, teorijske vrijednosti u rasponu od 0 do 100, te se na temelju navedenog odabire najbolji rad, pobjednik natjecanja.

Kriteriji ocjenjivanja eseja

Ocjenjuje se sadržaj i struktura eseja. Struktura donosi 10 bodova, a sadržaj do 75 bodova, prema sljedećim elementima:

STRUKTURA	BODOVI
1.1. naslov	1
1.2. popis autora	1
1.3. mentor	1
1.4. naziv i adresa škole	1
1.5. izdvojen sažetak	1
1.6. izdvojen zaključak	1
1.7. literaturni navodi	1
1.8. zahvale, ako se koristila pomoć drugih osoba	1
1.9. legende tablica i slika, ako su u eseju	1
1.10. opis uvedenih oznaka i numeriranje formula	1
SADRŽAJ	BODOVI
2.1. istinitost navedenih činjenica	5
2.2. usklađenost teksta s naslovom i sažetkom	5
2.3. jasnoća teksta	5
2.4. opis navedenih elemenata	10
2.5. dijagram uzročnih veza	
2.5.1. identifikacija elemenata sustava	10
2.5.2. usklađenost prikaza i postavljenog cilja	5
2.5.3. potpunost relacija	5
2.6. interpretacija relacija izravno vezanih uz cilj	15

Kao dodatni dijelovi radova prihvaćeni su različiti materijali, ovisno o temi eseja, npr. anketa, prototip, računalni program, multimedijalni prilog i sl. Samo u slučaju više radova koji su prema strukturi i sadržaju jednako ocijenjeni, pristupat će se procjeni kvalitete dodatnog dijela i njegove povezanosti s ocjenjivanom temom eseja.

Kriteriji ocjenjivanja javnog izlaganja

Svaki element nosi do 5 bodova

- 3.1. znanstveno razmišljanje
- 3.2. kreativna sposobnost
- 3.3. razumijevanje
- 3.4. jasnoća izražavanja
- 3.5. vrijednost prikazivanja
- 3.6. stručne i jezične norme

Za kraj

Ovim putem pozivam sve učenike zainteresirane za koncepte sustavnog razmišljanja, njihove mentore te ravnatelje škola Republike Hrvatske da se pridruže natjecanju *Opisujemo sustave*. Također, pozivamo učenike na raspravu o prijedlogu lokacije završnog susreta. Završni susret s izlaganjima radova trajat će dva dana, uz druženje, razmjenu korisnih informacija i učenje. O prijedlozima učenici mogu raspravljati međusobno te s organizatorima natjecanja na mrežnim stranicama Hrvatskog interdisciplinarnog društva (<http://www.idd.hr>).

Nadamo se da ćemo i ove godine potaknuti učenice i učenike srednjih škola na znanstveni pristup kreativnom razmišljanju te da će oni, zauzvrat, ponuditi mnoštvo zanimljivih tema kojima će opisati i objasniti odabrani sustav. 📦

Znatiželja je prethodila istraživanju! U 15. stoljeću dva su njemačka izumitelja, Zaccharias Jaussen i njegov sin Hans tijekom eksperimentiranja sa sedam leća u tubi, otkrili da približavanjem objektu on prima izvanrednu veličinu. To je prethodilo razvoju složenog svjetlosnog mikroskopa i teleskopa. Galileo je 1609. godine, vođen ranijim eksperimentima, načinio mnogo bolji instrument s mogućnošću fokusiranja.
<http://www.biol.pmf.hr/>



- 3.12. 2008.** rok za prijavu teme i sažetka rada
- 15.01. 2008.** rok za zaprimanja završnih eseja
- veljača 2008.** završni susret i javna izlaganja

Teme eseja i završne radove šalžite putem elektroničke pošte na adresu: ured@idd.hr.

Uključite se u raspravu na mrežnom forumu:

<http://www.idd.hr/forum>.

Liga kumpanija

Ivo Slade



Sudionici prvog sastanka za Ligu kumpanija

Liga kumpanija su natjecanja ekipa učenika srednjih škola u upravljanju edukacijskim mobilnim robotima. Ekipe učenika (kumpanije) natječu se u više susreta tijekom školske godine. Natjecanja se ove školske godine provode kao pilot-projekt po prvi puta. U natjecateljskom dijelu sudjeluje sljedećih pet srednjih škola s tradicijom u nastavi robotike:

1. Strojarska tehnička škola, Osijek
2. Tehnička škola, Split
3. Srednja škola »Blaž Jurjev Trogirin«, Trogir
4. Tehnička škola Ruđer Bošković, Zagreb
5. Tehnička škola Tesla, Zagreb

Nadamo se da će se u daljnjim provedbama, kako natjecanja, tako i ostalih aktivnosti broj uključenih škola i ekipa povećavati.

Kako je sve počelo

Projekt je iniciralo Hrvatsko interdisciplinarno društvo kao proširenje edukativnog projekta za studente PRO-ZOR SNOVA (pomoću robota ostvaren je znanstveno obrazovni rad studenata i novaka).

Prvi sastanak inicijalnog odbora, u sastavu Neven Maleš (Tehnička škola Ruđer Bošković – Zagreb), Ivo Slade (I. tehnička škola Tesla – Zagreb) i Josip Stepanić (FSB – Fakultet strojarstva i brodogradnje u Zagrebu) održan je 11. lipnja 2007. na FSB-u.

Na sastanku je odlučeno kako u natjecanju sudjeluju tročlane ekipe koje rješavaju zadatke u međusobnim susretima, razmotreni su mogući zadaci i naznačene propozicije natjecanja. Dogovorena je dostupnost cjelokupne literature i tekstualnih materijala vezanih uz natjecanje, te se pristupilo obavljanju potencijalnih sudionika.

Dosadašnje aktivnosti

Dana 24. listopada 2007. god. u Tehničkoj školi Ruđer Bošković u Zagrebu održan je prvi sastanak sudionika prve Lige kumpanija, a sudionici su:

sa Fakulteta strojarstva i brodogradnje u Zagrebu, djelatnici Josip Stepanić i Petar Ćurković te studenti Teodor Tomić i Nikola Hranj (sva četvorica su i članovi Hrvatskog interdisciplinarnog društva)

- iz** Tehničke škole Ruđer Bošković (Zagreb), mentori Neven Maleš i Goran Nuskern te učenici
- iz** I. tehničke škole TESLA – Zagreb, mentori Ivo Slade, Andrea Štancl i Goran Ecimović
- iz** Tehničke škole Split, mentor Vicko Marušić
- iz** Strojarsko tehničke škole Osijek, mentor Mario Slivka.

Nakon uvodnih predavanja o Ligi kumpanija, mobilnoj robotici te načinu programiranja robota, prešlo se na organizacijske poslove lige. Dogovoren je veći dio propozicija natjecanja i naznačeni su datumi susreta natjecateljskog karaktera. Zaključeno je kako će susreti uključivati rješavanje tri razine zadataka: prvi dio zadatka rješavaju ekipe, zadatak će im biti prosljeđen sedam dana prije natjecanja; drugi dio zadatka je za učenike pojedinačno i dobiva se na samom susretu; treći dio zadatka je udruživanje dviju ekipa protiv ostalih, a zadatak će im biti zadan tijekom samoga susreta.

Zadaci će biti primjereni srednjoškolskom uzrastu, a zahtjevnost će im rasti sa svakim sljedećim susretom. Po završenom susretu svi programi će biti javni i objavljeni na mrežnim stranicama. ☐

RASPORED SUSRETA NATJECATELJSKOG TIPA U 2008. GODINI

26. siječnja Tehnička škola Ruđer Bošković u Zagrebu
 veljača Strojarska tehnička škola Osijek
 ožujak Tehnička škola Split
 travanj I. tehnička škola TESLA – Zagreb
 svibanj Srednja škola Blaž Jurjev Trogirin u Trogiru.

Završni, šesti susret, bit će organiziran od strane Fakulteta strojarstva i brodogradnje u Zagrebu. Na susrete su pozvani i svi koji su zainteresirani, a nisu ovdje navedeni, dok će opisi susreta biti na mrežnim stranicama HID-a kao i u sljedećim brojevima časopisa Sustava.

Susret sa sustavima

Na samome početku ćemo postaviti pitanje što je to – sustav?

Možemo li jedan bicikl, stari gramofon ili možda knjigu nazvati sustavom?

Odgovor je – da. U materijalnom, odnosno pojavnom ili idejnom svijetu u kojem se nalazimo, uočavamo, a potom i pojašnjavamo karakteristike sustava.

Kako opisati jedan sustav?

Jedna od mnogobrojnih definicija opisuje sustav kao skup elemenata vezanih relacijama, dok je sam sustav svrhovit svojoj okolini. Stoga sustav utvrđuju barem tri značajke, a to su: elementi, struktura i funkcija. Elementi čine dijelove određenog sustava, struktura predstavlja sustav veza, dok funkcija označava ulogu sustava u njegovoj okolini. Uzmimo kao primjer sustava neku knjigu. Osnovna sastavnica neke knjige je tekst koji je, nadalje uobličen rečenicama, riječima i slovima. Skup glasova ili slova čini riječ, nekoliko povezanih riječi čine rečenicu, a smislene rečenice stvaraju tekst. Funkcija knjige je prenijeti čitatelju određenu ideju, priču ili informaciju.

Bicikl je, s druge strane mehanički sustav. Dijelovi bicikla zajedno sudjeluju u pokretanju i postizanju određene brzine, kada za to postoji *input* (ulazna informacija) i kontrola sustava. *Input* je u ovom slučaju čovjek, odnosno snaga njegovih nogu koja pokreće cijeli mehanizam. Čovjek ne samo da pokreće bicikl, nego i kontrolira njegovu brzinu, put kojim će se kretati te općenito način vožnje, stoga možemo reći da on uspostavlja kontrolu. Odlučimo li nedjeljno popodne provesti na zraku, sjest ćemo na bicikl i provozati se, primjerice, Savskim nasipom do Jaruna. Tada naš bicikl postavljamo u određenu okolinu. S time u

objašnjavanje sustava uvodimo okolinu kao četvrtu značajku. Kao u kakvoj kompjuterskoj igrici, ovisno o strukturi tla po kojem vozimo bicikl, naša vožnja bit će brža ili sporija, morat ćemo paziti na druge bicikliste i šetače, a u slučaju nenadnog proloma oblaka, okrenut ćemo se i vratiti kući. Prema tome, sustav objašnjavamo kao skup dijelova koji su u međusobnom suodnosu, a sam sustav je u suodnosu s okolinom s kojim stvara širu sliku o većem, kompleksnom sustavu.

U prvom broju časopisa *Sustavi* Armano Srblijinović naveo je niz zanimljivih primjera sustava i njihove povezanosti s odgovarajućom okolinom s kojom čine veće logične sustave koje prepoznajemo u molekulama, gradovima i galaksijama. S ob-



Nikica Viličić

Sustav, što je to?

Sustav – Skup elemenata vezanih relacijama, koji je svrsishodan okolini u kojoj se nalazi.

zirom da nije baš sve što postoji sustav, pokušat ćemo objasniti što karakterizira sustave.

Opća teorija sustava i kibernetika

Interdisciplinarna znanstvena disciplina koja se bavi organizacijom nekog sustava, njegovim dijelovima, kontrolom te vremenskim i prostornim

Knjiga kao sustav. »Knjiga se sastoji od teksta koji se sastoji od rečenica, riječi i slova. Skup slova čini riječ, nekoliko povezanih riječi čine rečenicu, a smislene rečenice stvaraju tekst.«

Cjelina je više od sume dijelova.

Aristotel

očitovanjem zove se Opća teorija sustava (*General Systems Theory, GST*). GST istražuje principe karakteristične za sve sustave i međudjelovanje tih sustava s okolišem. Već smo pojasnili da se svaki sustav sastoji od dijelova ili elemenata povezanih specifičnim vezama koje omogućuju komunikaciju između dijelova istog, stoga se uslijed prijenosa informacija sustav održava i djeluje. Tako sustav kao cjelina funkcionira drugačije nego njegovi dijelovi, a dijelovi ne mogu vršiti funkcije koje može cijeli sustav. Na primjer, čovjek ne može živjeti bez srca, bicikl ne može funkcionirati bez kotača niti knjiga bez teksta. Iako čovjeka, bicikl i knjigu navodimo kao sustave koji su dosta različiti, znanost o sustavima objašnjava da kakogod kompleksan ili različit bio svijet koji doživljavamo, unutar njega ćemo uvijek naći više ili manje slične tipove organizacija.

Uz teoriju sustava, rame uz rame stoji kibernetika (grč. *kibernetes* – upravitelj, kormilar, rukovodilac). Kibernetika i Opća teorija sustava u biti proučavaju isti problem. Moglo bi se reći da se Opća teorija sustava više oslanja na strukturu sustava i modela, a kibernetika na funkciju sustava, odnosno na kontrole unutar njega, komunikaciju s drugim sustavima, okolinom i među vlastitim dijelovima. Već se u djelima starih pisaca spominje kibernetika. Platon je, primjerice, spominjao kibernetiku kao nauku o administrativnom upravljanju provincijama. Kao termin prvi ju je upotrijebio Norbert Wiener 1947. godine određujući je kao »znanost o kontroli i komunikaciji kod životinja i mašina«.

U proučavanju sustava, kibernetika se bavi načinima ponašanja između dijelova nekog sustava



Autorica: N. Viličić



Autorica: M. Grgec-Pajić

Stari bicikl kao sustav? Bicikl se sastoji od dijelova – kotači, pedale, lanac,... Povezani dijelovi sudjeluju u funkciji bicikla, odnosno, njegovom kretanju.

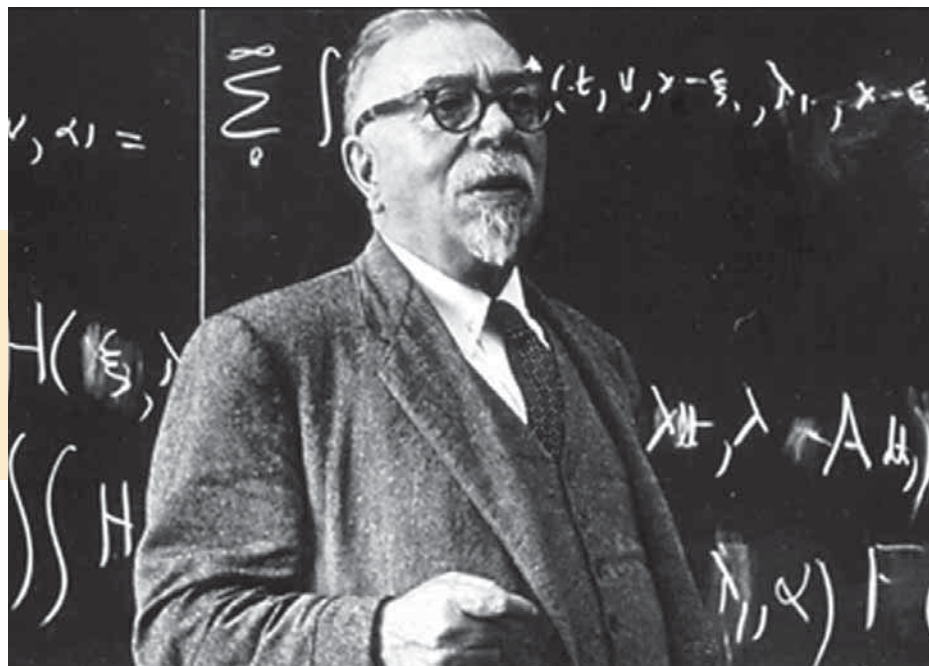
i postavlja pitanje »Što to radi?« umjesto »Što je ovo?« te analizira sve oblike ponašanja sustava prema konceptu povratnih sprega (*feedback*). Sustavi, bilo da su mehanički, električni ili biološki, postižu stanje ravnoteže (*homeostaza*) kontrolom povratnih sprega, koja je jedan od osnovnih mehanizama sustava i kibernetike.

Također, uloga kibernetike uključuje konstrukciju modela kojim se nastoji pojasniti i opisati neki sustav.

CYBERNETICS – *the science and art of understanding*

Humberto Maturana

KIBERNETIKA – *znanost o komunikaciji i kontroli između dijelova nekog sustava.*



Model

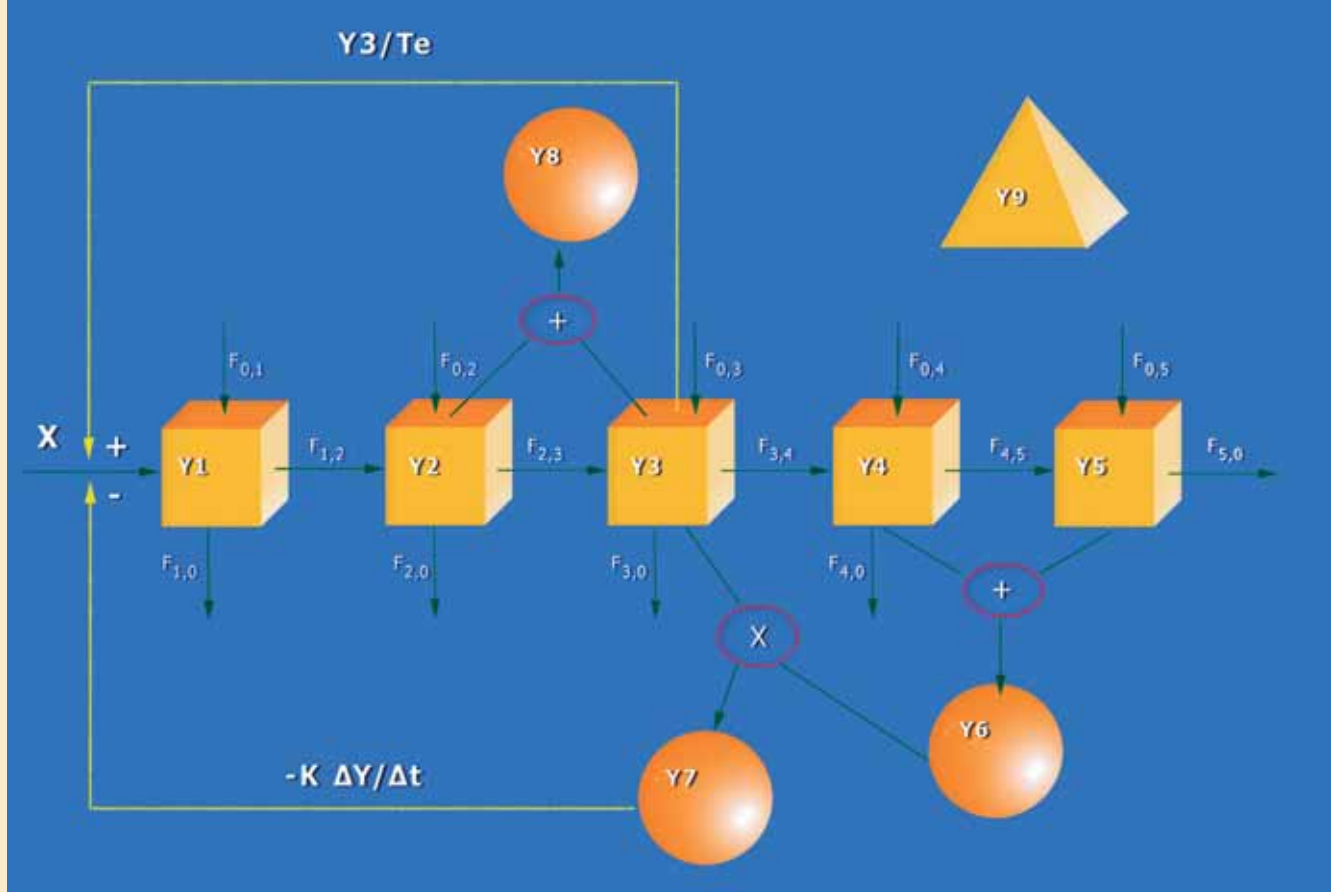
Kada govorimo o nekom sustavu, u bilo kojem smislu, sam opis nije dovoljan za njegovo pojašnjenje. Kako bismo ga pojasnili, potrebno je konstruirati model te ga »osposobiti« da nam daje odgovore na pojedina pitanja. Model je prezentacija određene ideje, stvari ili stanja. Može biti jednostavan, kao što je shematski prikaz dviju kocki povezanih strelicama koje predstavljaju dvije spojene posude ili kompleksan poput ekosustava nekog jezera. Želimo li razumjeti, pojasniti i predvidjeti populacijsku dinamiku somova u nekom jezeru ili pak ljudi na nekom otoku, provest ćemo svoju ideju kroz proces simulacijskog modeliranja. Proces modeliranja je serija koraka koja prevodi ideju prvo u idejni, a nakon toga u kvantitativni model. Kada formiramo glavno pitanje istraživanja i shematski prikažemo sustav stvorili smo konceptualni model koji idejno približava što želimo proučiti. Kvantitativni model je zapravo serija matematičkih izraza čiji su podaci priključeni za kocke i strelice konceptualnih modela. S tim koeficijentima i podacima stvaraju se predviđanja za vrijednosti stanja varijabli u određenim uvjetima, a analizama se istražuje hoće li se zaključci promijeniti, ako se parametri početne vrijednosti ili jednadžbe razlikuju. Na taj način »osposobljavamo« model kojim simuliramo stanje promatranog sustava i njegovu dinamiku na osnovi dosadašnjih spoznaja o sustavu.

Istaknuti znanstvenik u istraživanju sustava bio je biolog Ludwig von Bertalanffy koji je opisao hijerarhijske principe organizacije u biologiji te sredinom 20. stoljeća postavio temelje GST. Bertalanffy je naglasio da su biološki sustavi u međusobnom odnosu s okolišem kroz ulaz i izlaz informacija te na taj način postižu kvalitativno nove prednosti

Norbert Wiener prvi je upotrijebio termin kibernetika.
http://de.wikipedia.org/wiki/Norbert_Wiener

Razmišljanja unutar sustavnih principa su interdisciplinarnog tipa i mogu se primijeniti na razumijevanje, modeliranje i osmišljavanje različitih sustava kao što su fizički, tehnološki, biološki, ekološki, psihološki, socijalni te njihove kombinacije.

svojih struktura kroz kontinuiranu evoluciju. Mehanizam evolucije nastojao je objasniti kroz djelovanje povratnih sprega i konstantno ponavljanje, prijelaz oblika i funkcija s nižeg na viši stupanj. Biološki sustavi su posebno zanimljivi jer imaju svojstva samouređenja. Pozitivne povratne spregе bioloških sustava, replikacija i razmnožavanje omogućuju nekoj populaciji da preživi, dok nega-



Kibernetički model koji se koristi u opisu i predviđanju demografske dinamike.

Kocke predstavljaju populaciju »razbijenu« u dobne skupine prema predreproduktivnim, reproduktivnim i postreproduktivnim značajkama. Krugovi označavaju odjeljke koji sudjeluju u proračunu dinamike sustava, a piramida predstavlja vrijeme u kojem se odvija dinamika populacije. Sustav dobnih skupina (kocke) povezan je relativnom učestalošću prijelaza pojedine starosne populacije iz jednog u drugi odjeljak ($F_{i,i+1}$). Osim ($F_{i,i+1}$) sustav je pod utjecajem specifičnih

stopa mortaliteta, ali i relativne učestalosti emigracije ($F_{i,0}$) te imigracije ($F_{0,i}$). Stanje u sustavu kontrolirano je putem ulaza (input) koji označava godišnji natalitet (X), a samim tim osnovna ideja modela tumači kako reproduktivna i postreproduktivna skupina imaju utjecaj na godišnji natalitet, čime se sustav održava. Model na slici je osmislio i konstruirao Veljko Jovanović te ga primjenjuje u modeliranju dinamike ljudskih populacija.

tivne povratne sprege, odnosno, smrtnost i emigracija ne dopuštaju populaciji da se proširi više no što to njena okolina može podnijeti.

Zašto čovjek svijet oko sebe pokušava objasniti preko koncepta sustavnog razmišljanja? Jedan od mnogobrojnih razloga je potreba za razumijevanjem svijeta oko sebe i svoje uloge u njemu.

Sustav odražava ideju prema kojoj je stvoren, a isto tako i postojeću sistematiku okoline iz koje je izdvojen. Pojašnjavanje mogućih ciljeva i (re)akcija nekog sustava je i pitanje njegove realnosti. Naime, kako je koncept sustav spoznajno sredstvo svijeta u kojem se čovjek nalazi, postoji mogućnost da neke suvremene znanstvene i spoznajne činjenice nisu jedina realnost koja ga okružuje. Zamislimo na trenutak da smo ribe /somovi/

i da živimo u jezeru. Cijeli život proveli bismo u mutnoj vodi s ostalim ribama, a iznad nas bi plutali lopoči. Svijet iznad površine vode, za nas somove, bio bi u potpunosti nepoznanica. Mogli bismo samo nagađati zašto se lopoči pomiču za vrijeme pljuska, ne znajući pravi razlog tomu. Vjerojatno bi svoje jezero smatrali jedinom realnošću, a ne dijelom velikog ekosustava planeta Zemlje.

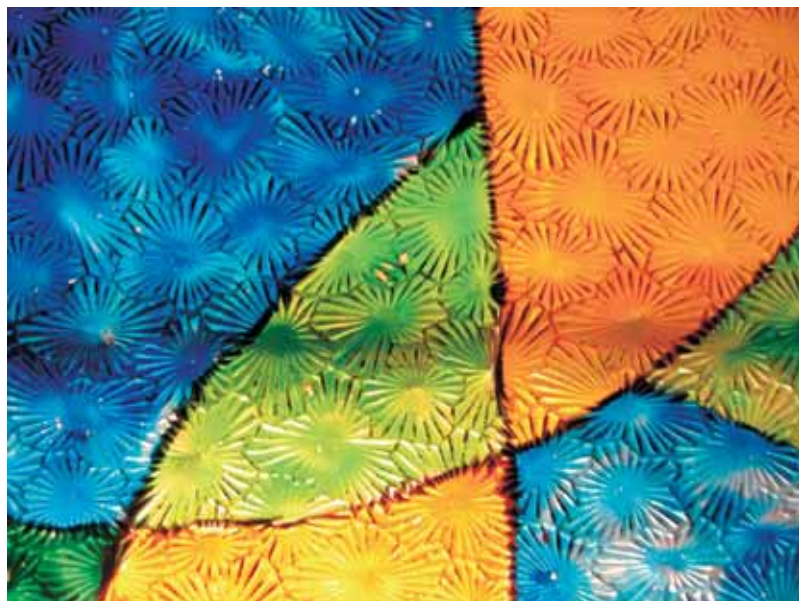
Prisjetimo se zatim kako su nekada nebeska tijela smatrana dijelom mitolojsko – religijskog sustava, a Zemlja središtem svemira. Takav sustav bio je opisan kao geocentričan model. Značajan preokret u shvaćanju svijeta počeo se događati u 16. stoljeću kada je Nikola Kopernik (1473.-1543.) predstavio heliocentričan model, kojim je tvrdio kako Zemlja nije centar svemira, već se okreće oko Sunca. Njegovo glavno djelo o mo-

Ludwig Von Bertalanffy postavio je temelje Opće Teorije sustava (General Systems Theory, GST). www.trans4mind.com/mind-development/systems.html



delu solarnog sustava, *De revolutionibus orbium coelestium*, objavljeno je 1543. i od toga se vremena cijeli postojeći model svijeta postepeno mijenja, dok je tadašnjem čovječanstvu trebalo vremena i vremena kako bi usvojili novi način razmišljanja.

Već godinama, želja da što bolje objasni svijet oko sebe i načine kako sve to zapravo »radi«, potiče čovjeka da proučava sustave i njihovu dinamiku, a on to znanje potom primjenjuje u idejama, tehnologiji, organizaciji svijeta oko sebe i tako redom. 🧠



Autorica: N. Viličić

Dio raznobojnog stakla koji u cjelini čini staklenu pregradu na vratima. Na prvi pogled, raznobojno staklo djeluje kao samostalno umjetničko djelo, dok ga se ne sagleda u odnosu na cjelinu. Tada postaje funkcionalno, dakle, služi kao staklena površina na ulaznim vratima koja u hodniku stvara zanimljivo osvjetljenje.

Dobro se sjećam jedne godine kada sam još bila dijete. Nakon uspješno završenog prvog razreda osnovne škole za nagradu sam od roditelja dobila gramofon. Bila sam presretna! Odmah sam počela sakupljati ploče, a glazba je svakodnevno oplemenjivala atmosferu moga doma. Tijekom jednog kišnog popodneva, zagledala sam se u tu čudesnu kutiju na drvenom stoliću iz koje se preko zvučnika razlijevala glazba. Iako nisam imala pojma kako sve to zapravo funkcionira, zaključila sam da unutar drvene kutije mora biti neki mehanizam koji pokreće ploču, a putem igle do zvučnika dolazi glazba. Znatiželja je bila jača od mene te sam rastavila gramofon da vidim kako izgledaju njegovi dijelovi i da pokušam shvatiti princip po kojem radi. Nakon višesatnog proučavanja i prekapanja po njegovoj unutrašnjosti, gramofon je završio na popravku, a ja sam na par dana ostala bez omiljene igračke.

Moj stari gramofon ne svira već godinama... Zamijenila ga je linija, zatim *cd player* i naposljetku *mp3 player* pa i mobitel koji zvoni tonovima omiljene glazbe. Tehnologija je omogućila da nedjeljno popodne možemo provesti u vožnji biciklom po Savskom nasipu, istovremeno slušajući glazbu s *mp3 player-a* veličine upaljača... Uvjerena sam da nikada neću zaboraviti svoj stari gramofon koji me prije dosta godina naveo na razmišljanje o različitim sustavima, otvorio mi je puno pitanja na koja i dalje tražim odgovore.

Za one koji žele znati više

Ashby, W. R.: *An Introduction to Cybernetics*. Second Impression. Chapman & Hall LTD, London, 1999.

Bertalanffy L.: *Perspectives on General Systems Theory*. Scientific-Philosophical Studies, E. Taschdjan (eds.), New York 1975.

Jovanović, V.: *Anthropological cybernetic model of demographic structures in the Republic of Croatia*. Coll Antropol 23 (1): 99-109, 1999.

Leland J. J., A. S. Trebitz, K. L.: *Cottingham: An Introduction to The Practice of Ecological Modeling*. BioScience 50 (8): 2000.

Kaku, M.: *Hiperprostor*. Algoritam, Zagreb, 2006.

Principia Cybernetica Web

Viličić, N.; Ivković, V.; Janović, T.; Jovanović, V.: *Cybernetic Model (Lopi) Simulation of Demographic Dynamics of Croatian Population*. *Cybernetics and Systems*. 38 (4): 323. – 347., 2007.

Tema broja

Računalno modeliranje



Primjena računala

Razvoj suvremenog svijeta nemoguć je bez inženjerstva, opće djelatnosti stvaranja materijalnih dobara primjerenih potrebama čovjeka. U današnje vrijeme to je gotovo nerazdvojivo od oblikovanja virtualnog svijeta i simulacijskih modela temeljenim na računalnoj primjeni.

Glavna značajka materijalnog svijeta je geometrija pa iz geometrije proizlaze mnoga svojstva poput mehaničkog, funkcionalnog, estetskog itd. Stoga su računalna primjena u inženjerstvu i razvoj računalne obrade geometrijskih podataka blisko vezane, bilo u pogledu vizualizacije, bilo oblikovanja i raščlambe funkcionalnih i fizikalnih svojstava.

CAD/CAM/CAE

Početak razvoja računalne geometrije i njene grafičke interpretacije veže se uz radove Ivana Sutherlanda iz 1963. godine te radove Beziera, Coonsa, Gordona i Fergusona koji su se bavili određivanjem polinomnih krivulja i ploha. Oni su prvi temeljito obradili metode za diskretizaciju geometrijskih elemenata i njihovu interpretaciju pomoću točaka na zaslonu računala. Već 1964. godine IBM predstavlja prvi CAD program za izradu crteža pomoću računala. Nešto ranije pojavili su se strojevi za proizvodnju upravljani računalno, tj. numerički (NC, eng. *Numeric Controlled*). NC stroj razvijen je početkom pedesetih godina na MIT-u na zahtjev američke avionske industrije.



Računala i računalne metode predstavljaju preduvjet za ostvarivanje postavljenih proizvodnih ciljeva koji se jednostavno daju svesti na tri pojma: *brzo, kvalitetno i jeftino.*

u inženjerstvu

Bojan Jerbić

Prof. dr. sc. Bojan Jerbić redoviti je profesor na Fakultetu strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu.

Osnovna uloga CAD sustava je određivanje geometrije, ali i ostalih značajki kao što su materijal, tolerancije i kinematika proizvoda. Osim za mehaničke konstrukcije CAD se jednako koristi u oblikovanju elektroničkih komponenata, arhitektonskih i građevinskih objekata i svih drugih artefakata čiji razvoj implicira geometrijsko oblikovanje.

U današnje vrijeme, uobičajeno se na temelju geometrije proizvoda oblikovanog CAD sustavom generiraju putanje alata s odgovarajućim načinima obrade, čime se odmah pristupa izradi proizvoda. Već ustaljena kovanica CAD/CAM postala je previše uska za inženjerske potrebe. Suvremena podrška inženjerstvu pored CAD/CAM-a uključuje najrazličitije vrste raščlamba: od vibracija, čvrstoće, disipacije (razasutosti) to-

pline, izradbenih postupaka, primjerice – ispunjavanje kalupne šupljine ili naprezanje pri plastičnoj deformaciji obratka, do funkcionalnih značajki proizvoda, npr. upravljivosti aviona.

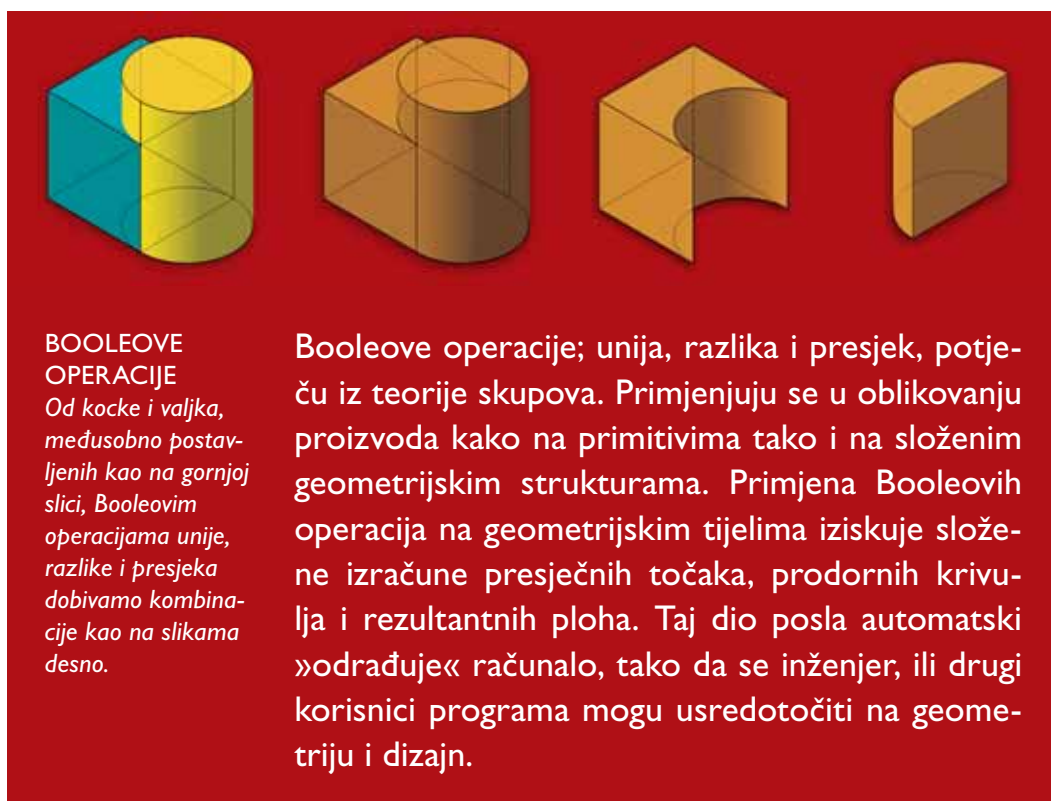
Sve ti razvojni stupnjevi (faze) proučavaju se na posebnim studijima, npr. na Fakultetu strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu. Umjesto njihova nabranjanja, u nastavku teksta usredotočimo se na inženjersko oblikovanje proizvoda na računalu. Budući je i to preopsežna tema, dodatno ćemo upraviti pozornost na detaljno oblikovanje dijelova. To je jedna od tri osnovne razine oblikovanja proizvoda, koja obuhvaća dodavanje oblikovnih detalja (zakošenja, zaobljenja, utora, ojačanja itd.).

CAD (eng. *Computer Aided Drafting* – računalom podržano crtanje), tehnologija koja podrazumijeva upotrebu računala u kreaciji, modifikaciji, analizi i optimizaciji konstrukcije proizvoda.

CAM (eng. *Computer Aided Drafting* – računalom podržana proizvodnja), jedna od NC tehnologija u kojoj se 3D modeli komponenti dobiveni u CAD softveru koriste u upravljanju numerički upravljanih strojeva.

CAE (eng. *Computer Aided Engineering* – računalom podržano inženjerstvo), upotreba informacijskih tehnologija za račšlambu, simulaciju, dizajn, proizvodnju, planiranje, dijagnostiku, popravljanje i druge aktivnosti vezane uz proizvod.

PLM (eng. *Product Lifecycle Management* – upravljanje vijekom proizvoda), je cjelovita nadgradnja CAD/CAM/CAE koja se sastoji od upravljanja cjelokupnog životnog vijeka proizvoda od razvoja njegovog koncepta, putem dizajna i proizvodnje, do servisiranja i naposljetku uklanjanja.



BOOLEOVE OPERACIJE

Od kocke i valjka, međusobno postavljениh kao na gornjoj slici, Booleovim operacijama unije, razlike i presjeka dobivamo kombinacije kao na slikama desno.

Booleove operacije; unija, razlika i presjek, potječu iz teorije skupova. Primjenjuju se u oblikovanju proizvoda kako na primitivima tako i na složenim geometrijskim strukturama. Primjena Booleovih operacija na geometrijskim tijelima iziskuje složene izračune presječnih točaka, prodornih krivulja i resultantnih ploha. Taj dio posla automatski »odrađuje« računalno, tako da se inženjer, ili drugi korisnici programa mogu usredotočiti na geometriju i dizajn.

Funkcije modeliranja

Funkcije modeliranja mogu se podijeliti u pet skupina. **Prva** se skupina temelji na oblikovanju pomoću osnovnih geometrijskih tijela. Osnovna geometrijska tijela, ili primitivi, obično su jednostavnije geometrijske strukture (valjak, prizma, kugla ili njihove kombinacije). Primjenom Booleovih konstrukcijskih funkcija (zbroj, razlika ili presjek) oblikuju se složeniji oblici.

Druga skupina funkcija modeliranja slična je prvoj, s tom razlikom da se za modeliranje koriste, ne geometrijski primitivi, već oblikovne značajke. Primjenom već oblikovanih geometrijskih značajki i odgovarajućih Booleovih operacija stvara se željena geometrija. Takav način oblikovanja se naziva *Feature-Based Modeling* (modeliranje na osnovi značajki).

U **treću** skupinu ubrajamo funkcije koje oblikuju puna tijela na temelju traga krivulje ili plohe. Tipične su funkcije *sweeping* (metenje), *swinging* (nihanje), *skinning* (oguliti ili presvlačiti kožu) i *lofting* (pokrivati krov).

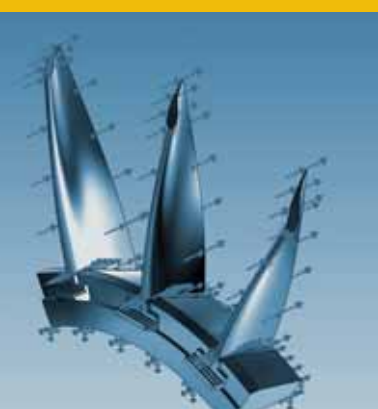
Četvrta skupina funkcija modeliranja uključuje funkcije za preoblikovanje već postojeće

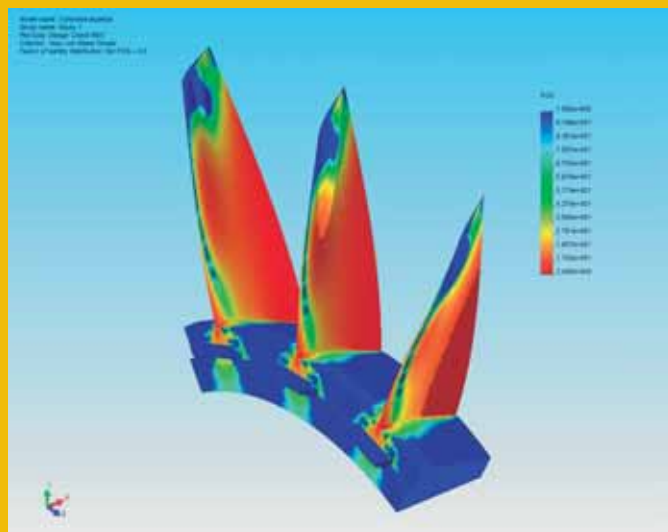
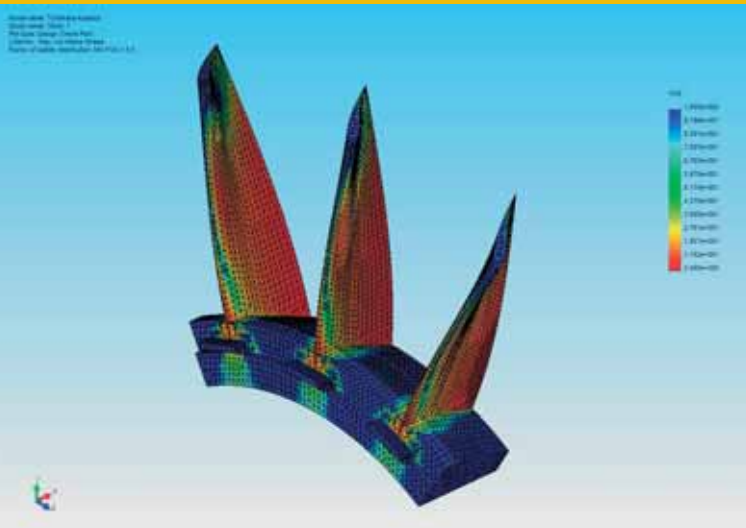
geometrije, kao što su *fillet*, *round*, *draft* i drugo. Služe za oblikovanje detalja kao što su zaobljenja, zakošenja i slično.

Oblikovne funkcije koje se odnose na osnovne geometrijske entitete: plohe, krivulje i točke, ubrajamo u **petu** skupinu. Uključuju funkcije za oblikovanje zasebnih geometrijskih entiteta, neovisno o pripadajućem volumenu punog modela. Tu spadaju funkcije za kreiranje linija, polinomnih krivulja, kružnica, kružnih lukova, točaka, kao i funkcije za oblikovanje ravnih i zakrivljenih ploha, iste ili slične funkcijama iz druge skupine.

Oblikovanje geometrijskim primitivima

U osnovne geometrijske oblike ubrajamo kvadar, valjak, kugla, stožac, prizma i torus. Skup primitiva može obuhvaćati i druge geometrijske oblike (piramidu, romboid i sl.), odnosno sve one za koje se može reći da predstavljaju osnovnu geometrijsku strukturu. Oblike koji su nastali kombinacijom osnovnih geometrijskih tijela nazivamo oblikovnim značajkama, a koriste se kod *Feature-*





Računalna podrška oblikovanju proizvoda temelji se na metodama geometrijskog modeliranja čiji je primarni cilj kreiranje geometrijskog modela koji će kasnije poprimiti sva ostala virtualna fizikalna i funkcionalna svojstva. Računalni programi za geometrijsko oblikovanje nazivaju se CAD programi i zauzimaju središnje mjesto svakog CAE sustava. Razlikujemo: konturne (žičane) modele, modele oblikovane ploham i pune modele.

Konturni modeli opisuju geometriju točkama i linijama. Koriste se 2D (u izradi tehničke dokumentacije) i 3D konturni modeli (za prostornu vizualizaciju). Modeli opisani ploham mogu u potpunosti dočarati zamišljenu geometriju, jer sadrže konture i matematički opis ploha koje ograničavaju određeni volumen. Puni modeli se temelje na interpretaciji volumena. Njihov opis sadrži uz geometriju i informacije koje mu daju fizikalna obilježja.

*Iz proračunavanja
lopatice mlaznog
motora*

Based Modeling tehnika modeliranja. Parametrizirani se primitivi pohranjuju u CAD kataloge. Parametri s jedne strane definiraju topologiju tijela, odnosno relacije između konstitutivnih geometrijskih entiteta (linija, krivulja, ploha i točaka), kao što su paralelnost, okomitost, tangენტnost i slično. S druge strane parametri definiraju mjere ključnih geometrijskih entiteta primjerice visinu i promjer valjka.

Združivanjem osnovnih oblika i Booleovih operacija moguće je oblikovati nesagledivi broj različitih konstrukcijskih rješenja. Oblikovanje primitivima posebno je prikladno za mehaničke konstrukcije koje su uglavnom sačinjene od pravilnih geometrijskih oblika.

Oblikovanje pomoću oblikovnih značajki

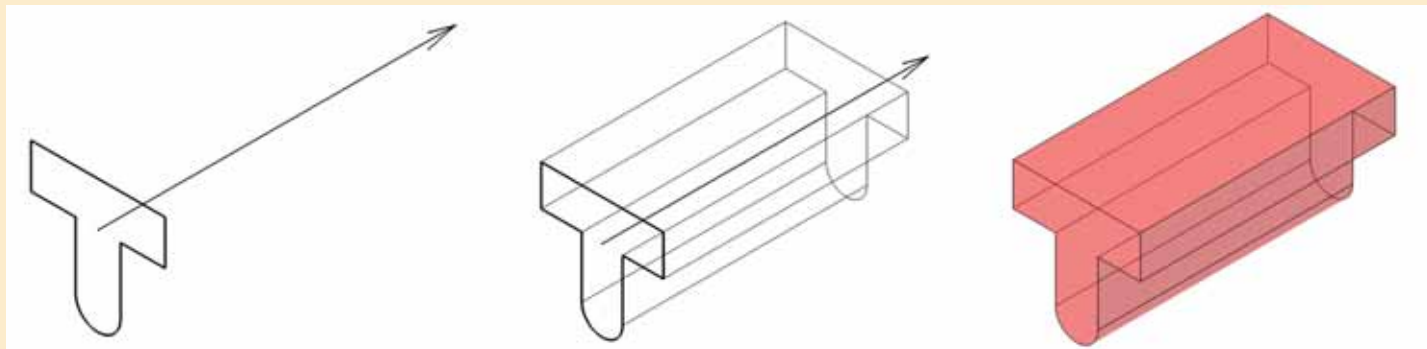
Oblikovanje značajkama je primjena već kreiranih standardnih ili često korištenih konstrukcijskih oblika – provrta, utora, uležištenja, vodičica itd. Oblikovne (konstrukcijske) značajke se pohranjuju u CAD/CAM kataloge u parametričkom/varijantnom obliku ili u programskom obliku kao jedinstvene funkcije modeliranja. Značajke mogu biti, u odnosu na Booleove operacije, *oduzimatelji* ili *pribojnici*, odnosno *cut* ili *join* značajke. Prve služe za oblikovanje utora, provrta i slično, dakle oduzimaju materijal punome modelu. Druga vrsta značajki određuje oblikovne dodatke, iz-

danke, vodilice, navojne završetke i drugo, te kao takve modelu dodaju materijal.

S obzirom da se oblikovne i tehnološke značajke mogu, od proizvoda do proizvoda, značajno razlikovati, nemoguće je osigurati CAD/CAM sustav koji će obuhvatiti zadovoljavajući skup

tipičnih oblika. Tada do izražaja dolazi iskustvo i trud inženjera, što dovodi do svih potrebnih konstrukcija.

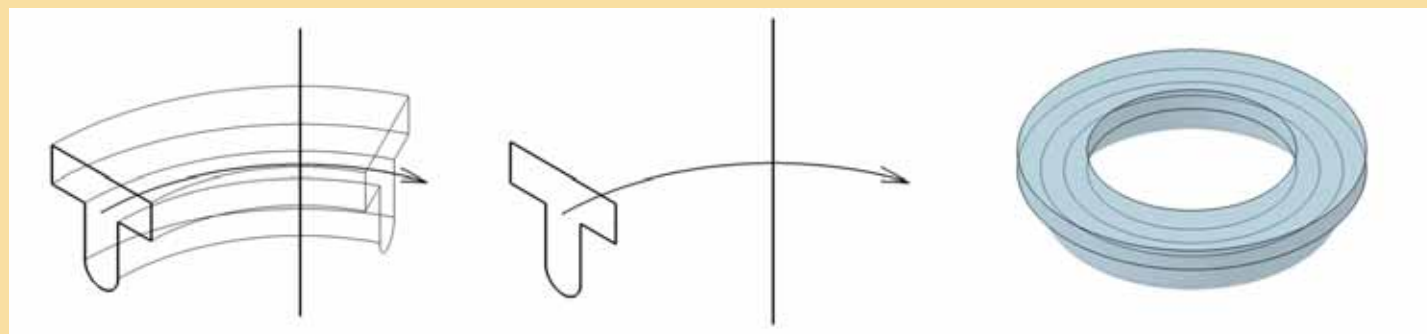
Ilustrirajmo nekoliko češće korištenih funkcija oblikovanja: *Extrude*, *Revolve* i *Loft*.



Extrude

Extrude je najčešće korištena funkcija modeliranja. Služi za oblikovanje treće dimenzije oblikovanog 2D presjeka ili profila ekstrudiranjem,

odnosno izvlačenjem u smjeru vektora okomitog na ravninu presjeka. Ako presjek tvori zatvoreni lik rezultat je puni model. U protivnom model će biti otvorena ploha bez volumena.



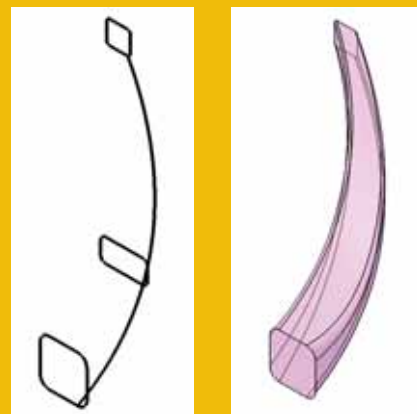
Revolve

Revolve služi za oblikovanje prostornog modela rotacijom 2D presjeka oko zadane osi.

Loft

Funkcija povezivanja više presjeka u prostoru naziva se *loft* ili *skinning*. Ovu funkciju modeliranja možemo usporediti s tehnikom oblikovanja koju nalazimo u brodogradnji. Za željeni nepravilni prostorni model oblikuje se potreban broj »rebara«/presjeka koji se interpoliraju plohama.

Po razradi modela proizvod posjeduje u računalu sve karakteristike materijalnog objekta. Primjenom postupaka prividne stvarnosti ili *rapid prototypinga* moguće je dočarati proizvod i prije njegove stvarne materijalizacije, a o tome više u sljedećem broju časopisa *Sustavi*.





Luka Sumić



Tomislav Solina

Studenti **Luka Sumić** i **Tomislav Solina** su u programu CATIA izradili slike korištene u ovom članku.

Tomislav Solina, student Tehničkog Veleučilišta u Zagrebu, izradio je slike automobila na stranicama 12-13 i 17.

Luka Sumić, student Fakulteta strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu izradio je slike na stranicama 14, 15 i 17. Zajedno s **Vladimirom Vadjlom** izradio je naslovnicu na kojoj je prikazan avionski motor.





Ivica Vilibić

Ivica Vilibić znanstvenik je Instituta za oceanografiju i ribarstvo u Splitu. Bavi se proučavanjem fizičkih procesa u moru, posebice u Jadranskom moru. Jedna od glavnih tema njegovih istraživanja u zadnjih pet godina su i meteorološki tsunamiji. Više podataka možete naći na osobnim stranicama <http://www.izor.hr/~vilibic>.



Hrvoje Mihanović

Hrvoje Mihanović djelatnik je Hrvatskog hidrografskog instituta u Splitu. Bavi se općim oceanografskim temama te sudjeluje u terenskom i znanstvenom dijelu oceanografskih istraživanja u Jadranskom moru. Trenutno intenzivno radi na istraživanju unutar njihovih morskih mijena u Jadranu.

Modeliranje dinamičkih procesa u moru

Bez obzira na poznavanje jednadžbi koje definiraju fizikalne procese u moru i atmosferi, vrlo je teško točno opisati ili predvidjeti neki fenomen. Operativna prognoza stanja mora je tek u začecima...

Svakim danom svjedočimo raznim prirodnim pojavama i fenomenima vezanim uz more, koje nas ponekad iznenadi svojom neočekivanošću te nas podsjetite da je more, kao i cijela Zemlja, vrlo kompleksan i nepredvidiv sustav, upravo zbog složenosti fizikalnih i drugih zakona koji na njoj vladaju. U meteorologiji je poznat, tzv. *efekt leptira* (»butterfly effect«, vidi http://en.wikipedia.org/wiki/Butterfly_effect), koji vrijedi i za gibanja u moru – najbolje da parafraziramo poznatog meteorologa Lorenza:

»Samo jedan zamah leptira u Brazilu, može nakon dovoljno vremena izazvati tornado u Teksasu«.

Bez obzira na poznavanje jednadžbi koje definiraju fizikalne procese u moru i atmosferi, vrlo je teško točno opisati ili predvidjeti neki fenomen. Stoga i vremenska prognoza ponekad »zakaže« te nije vjerodostojna, već nakon tjedan dana. U oceanografiji, koja je bitno mlađa znanost od meteorologije, operativna prognoza stanja mora, koja uključuje prognozu temperature mora, saliniteta, strujnog polja i drugih varijabli, je tek u začecima. No, kvalitativno razumijevanje tih procesa moguće je ishoditi kako pomoću analitičkog modeliranja (egzaktnog i jednoznačnog rješavanja jednadžbi), tako i pomoću numeričkih modela.

Analitičko rješavanje oceanografskih problema temelji se na pojednostavljenim jednadžbama gibanja i kontinuiteta, uz uvažavanje raznih pojednostavljenja u topografiji područja (npr. homogenost dubine mora), kao i u početnim i

rubnim uvjetima. Stoga je za razumijevanje složenosti modeliranja morskih gibanja, potrebno prvo pojasniti jednadžbe koje određuju gibanja u moru, a koje se koriste u oceanografskim modelima.

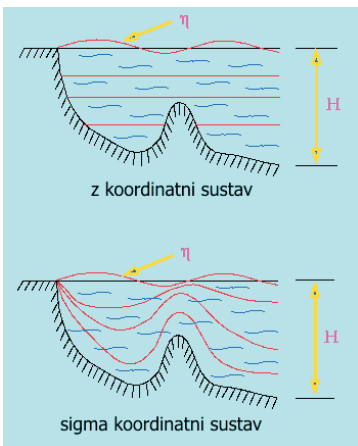
Jednadžbe gibanja

Četiri su osnovne sile koje utječu na gibanja u moru:

1. *Sila teža* – djeluje direktno na vertikalna gibanja, no putem promjene tlaka sudjeluje i u dinamici horizontalnih gibanja.
2. *Sila gradijenta tlaka* – posljedica je različite gustoće i visine mora te stoga i težine stupca mora u nekom području.
3. *Sila trenja* – relaksirajuća sila koja redistribuira energiju u moru putem viskoziteta i turbulentnih gibanja. Na površini mora djeluje sila napetosti vjetra, koja prenosi energiju iz atmosfere u more.
4. *Coriolisova sila* – pseudosila koja se javlja zbog rotacije referentnog sustava, odnosno zbog Zemljine rotacije, a ovisna je o brzini rotacije i o geografskoj širini.

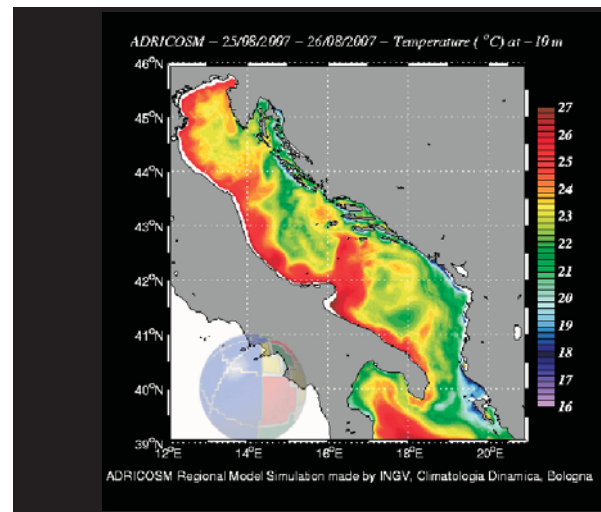
Sve ove sile uzrokuju promjene gibanja u moru u prostoru i vremenu. Za one koji znaju osnove više matematike: jednadžbe gibanja u moru mogu se prikazati kao

$$\frac{d\vec{v}}{dt} = -\frac{1}{\rho} \vec{\nabla} p - 2\vec{\Omega} \times \vec{v} + \vec{g} + \vec{F}_r$$



Shema odnosa kartezijevog (gore) i sigma (dolje) koordinatnog sustava. Kod sigma koordinatnog sustava plohe jednake vrijednosti sigme slijede topografiju dna.

Primjer oceanografske prognoze u Jadranu, temperatura na dubini od 10 metara, na dan 25. kolovoza 2007. godine (preuzeto s <http://www.bo.ingv.it/adriatic-forecast>).



gdje je \vec{v} vektor brzine čestice, ρ gustoća mora, p tlak u moru, Ω je vektor kutne brzine rotacije Zemlje, \vec{g} je vektor sile teže, a \vec{F}_r predstavlja sve ostale sile (sila trenja, plimotvornu silu itd).

Osim jednadžbi gibanja, u moru vrijedi i zakon sačuvanja mase i zakoni sačuvanja soli i topline. Naposljetku, sustav jednadžbi gibanja u moru upotpunjava jednadžba stanja, koja empirijski određuje odnos gustoće i temperature, saliniteta i tlaka u moru. Trenutno je u upotrebi UNESCO-va jednadžba, za čije bi raspisivanje bile potrebne gotovo dvije stranice – predugačko za ovaj članak (pojednostavljena jednadžba može se pronaći na stranicama *Male internet škole oceanografije*, http://skola.gfz.hr/d3_1.htm).

Osim polaznih jednadžbi, gibanja u moru su određena početnim i rubnim uvjetima. Početni uvjeti opisuju stanje mora u određenom trenutku, dok rubni uvjeti određuju kinematičke i/ili dinamičke karakteristike mora na graničnim ploham (površina, dno, bočne granice).

Numerički modeli

Jednadžbe gibanja prikazane u prethodnom poglavlju je gotovo nemoguće analitički riješiti za tipična gibanja u moru. Glavni problem predstavljaju nelinearni izrazi, turbulencija te potreba za stvarnim prikazom batimetrije morskog dna i obalne linije. Unatoč satelitskim mjerenjima i sve većem broju izravnih mjerenja u moru s brodova i automatskih postaja, prostorna razlučivost takvih mjerenja je nedovoljna za detaljan opis giba-

nja u moru. Prema tomu, numerički modeli jedini mogu dati stvaran i detaljan pogled na gibanja u moru.

Numerički modeli imaju niz prednosti, ali uvijek treba imati na umu da diskretne jednadžbe koje modeli koriste, nisu jednake diferencijalnim kontinuiranim jednadžbama koje opisuju gibanje u moru. Područje modela je ispunjeno točkama modela, a prostorna razlučivost određuje i vremenski korak modela. Integracija u vremenu se odvija u diskretnim intervalima, usklađenim tako da se očuva stabilnost numeričkog rješenja. Razvojem informatičke tehnologije i računala u drugoj polovici 20. stoljeća domišljani su i razvijani različiti numerički modeli procesa u moru, koji određuju oceanografske parametre u diskretnim točkama (metoda konačnih razlika) ili područjima (metoda konačnih elemenata) numeričke mreže, koristeći diskretizirane jednadžbe gibanja i kontinuiteta. Budući da je horizontalni razmak između točaka obično nekoliko kilometara, a vertikalni razmak nekoliko stotina metara, nije moguće izravno računati turbulenciju pa se ona parametrizira. Ukoliko bi se htjela modelirati turbulencija (koja se događa na prostornoj ljestvici od nekoliko milimetara) globalni model oceana bi trebao imati 10^{20} puta više točaka u odnosu na postojeći *Parallel Ocean Program Model* (POCM – Los Alamos National Laboratory).

Numeričke oceanografske modele moguće je podijeliti na mehanističke i simulacijske. Mehanistički modeli se uglavnom koriste za proučavanje i učenje, dok se simulacijski koriste za izračun stvarnih morskih gibanja u određenom akvatori-



Fotografija Vele Luke,
21. lipnja 1978.
godine.

ju. Numerički modeli utemeljeni su na izvornim jednažbama gibanja i kontinuiteta u moru (tzv. primitivni modeli) ili na izvedenim jednažbama. Ubrzani razvoj računalne tehnologije kao i primjena superbrzih računala i paralelnih procesora omogućavaju povećanje rezolucije numeričkih modela, a time i detaljniji pogled na morska gibanja.

Prve simulacijske modele razvili su Kirk Bryan i Michael Cox (Geofizički laboratorij dinamike fluida u Princetonu). Ovi, prvonastali modeli imali su dosta grubu razlučivost i zahtjevali su dosta vremena za proračune, ali su unatoč tome, bili temelj za buduće oceanske modele koji su pružili značajan uvid u cirkulaciju (optok) u oceanima. Ovi modeli su uključivali utjecaj protoka topline i vode, kao i dinamiku vrtloga (imaju dovoljnu horizontalnu razlučivost da bi mogli generirati i mezoskalne vrtloge u oceanima koji su veliki i do nekoliko stotina kilometara).

Budući da je obalna zona najzanimljivije područje mora s djelokruga gospodarstva, razvijeni su brojni oceanografski modeli koji opisuju obalnu cirkulaciju, plimne struje i olujne uspo-re (olujni uspori predstavljaju promjene razine mora pod utjecajem meteoroloških parametara,

ponajviše tlaka zraka i vjetra, na granici atmosfera-more). Takvi modeli mogu uključivati stvarnu topografiju dna, obalnu liniju te parametrizaciju protoka rijeka i atmosfersko forsiranje. Kako ovi modeli najčešće proučavaju kontinentalni šelf¹, za njihovo pokretanje potrebne su dodatne informacije o rubnim uvjetima na prekidu šelfa, a za to se često koriste modeli šireg područja i grublje rezolucije, koji su s modelima više razlučivosti povezani tzv. ugniježdivanjem. Jedan od modela koji se dosta primijenjuje za modeliranje gibanja mora u Jadranu je *Princeton Ocean Model (POM)* kojeg su razvili Blumberg and Mellor. Ovaj model uključuje termodinamičke procese, turbulentno miješanje kao i varijaciju *Coriolisovog parametra* (vezanog uz rotaciju Zemlje). Vertikalna koordinata modela je tzv. sigma koordinata, koja se određuje kao:

$$\sigma = \frac{z - \eta}{H - \eta}$$

¹ Eng. šelf – pojas relativno plitkog morskog dna (do 200 metara dubine) što okružuje kontinente.

gdje je H dubina, z vertikalna koordinata u kartezijevu koordinatnom sustavu, a η denivelacija (visina razine) površine mora.

Sigma modeli se često koriste u obalnim područjima, a prednost im je što u cijelom djelokrugu posjeduju isti broj slojeva po vertikali. Tako u plićim područjima, u kojima se odvijaju procesi na manjoj prostornoj ljestvici, gore navedeni modeli imaju veću vertikalnu razlučivost. POM pokreću napetost vjetera, protoci topline i vode izračunani iz amosferskog modela, a na našem području se najčešće koriste rezultati atmosferskog modela ALADIN/HR (grafički rezultati atmosferske prognoze ovog modela dostupni su na <http://meteo.hr>).

Razne primjene modeliranja možemo pronaći pri opisivanju različitih oceanografskih procesa, pa tako postoje tzv. modeli olujnih uspora («storm surge models»), asimilacijski modeli koji korigiraju vlastita rješenja pomoću mjerenih vrijednosti, združeni atmosfersko-oceanografski modeli koji opisuju procese prijenosa između mora i atmosfere, klimatološki modeli koji posjeduju grubu prostornu razlučivost, no u isto vrijeme daju promjene u klimatološki značajnim razdobljima, i slično. Prednosti numeričkih modela su prostorna i vremenska pokrivenost kao i opisivanje procesa koje zbog visoke cijene instrumentarija nije moguće mjeriti. Nedostatak modeliranja su nedovoljno precizne parametrizacije i nepotpuno poznavanje procesa koji djeluju na gibanja u moru, te stoga rješenja modela mogu biti potpuno pogrešna, naročito ako se ne provede njihova verifikacija i kalibracija na mjerenim podacima.

Primjer modeliranja – meteorološki tsunamiji²

Meteorološki tsunamiji su vrsta tsunamija (<http://hr.wikipedia.org/wiki/Cunami>) koji svoje izvorište imaju u atmosferi. Točnije, kod određenih atmosferskih uvjeta (strujanje preko orografskih prepreka, vertikalno smicanje vjetera, vertikalna konvekcija), nastaju težinski atmosferski poremećaji (valovi) koji se mogu gibati preko mora. Ako se gibaju određenom brzinom iznad plitkih obalnih područja, mogu pobuditi barotro-

pne tsunami valove u moru čija je brzina širenja jednoznačno određena dubinom mora (efekt zvan *Proudmanova rezonanca*). Tako nastali valovi, topografski se pojačavaju kada pogode zaljeve s periodom osciliranja približno jednakim periodu stvorenih valova (slobodne oscilacije ili seši, u narodu zvani i šćiga). Ako uz to zaljev ima povoljnu batimetriju (odnosno veliki faktor pojačavanja), tada dolazi do tzv. obalne rezonance pa na krajevima zaljeva mogu nastati valovi visine i nekoliko metara i perioda od nekoliko minuta do oko jednoga sata.

U Sredozemlju ovaj fenomen je, osim u Jadranu, dokumentiran na Balearskim otocima (Menorca), Malti i jugozapadnoj obali Sicilije te Grčkoj, dok je u svijetu zabilježen u: Japanu (Zaljev Nagasaki – 1979. godine, je val perioda 35 min imao visinu gotovo 5 m usmrivši tri osobe), Kini, Novom Zelandu, Baltičkom moru, Argentini. U Americi, na Velikim Jezerima – 1954. godine je tzv. »plimni val« uzrokovao poplavlivanje Chicaga i drugih gradova usmrivši preko sedam osoba.

U Jadranu je, u posljednjih nekoliko desetaka godina, zabilježeno nekoliko izrazitih epizoda meteoroloških tsunamija i to u: Veloj Luci – lipanj 1978. godine; Starom Gradu (Hvar) – lipanj 2003. godine, te nedavno u Istu – kolovoz 2007. godine. Prva epizoda bila je popraćena valovima amplitude do oko 3 metra i perioda od oko 15 minuta, koji su poplavlili velik dio Vele Luke i uzrokovali izuzetno velike štete, dok je starigradska epizoda bila nešto slabija s valovima perioda oko 10 minuta gdje su poplavljeni manja područja; no istovremeno su uništeni nasadi školjkaša u zaljevu Malog Stona (zbog jakih struja). Iščanska epizoda bila je popraćena valovima amplitude od oko 2 metra pa su poplavljene kuće uz obalu, a pričinjena je i velika šteta na brodicama u luci.

Zbog postojanja vrlo male količine mjerenih podataka, pri nailasku meteorološkog tsunamija u lipnju 2003., precizirano – zapisa samo jednog digitalnog i nekoliko analognih mikrobarografa (tlak zraka) te tri mareografa (razina mora), za doznavanje prostornih i vremenskih svojstava ove pojave moralo se pristupiti numeričkom modeliranju. Pri tome se, obzirom na svojstva pojave (barotropnost odnosno zanemarive vertikalne promjene morskih struja), koristio dvodimenzionalni model diskretiziran u obalnom po-



Dvorište u Istu ispunjeno morem, 22. kolovoza 2007. godine. Na zidu je vidljiva maksimalna visina koju je doseglo more. (izvor RTL televizija, www.rtl.hr/vijesti/prikaz/11596)

Tko želi znati više

<http://skola.gfz.hr> – Mala internet škola oceanografije.

<http://jadrn.gfz.hr> – Vrijeme i klima hrvatskog Jadrana.

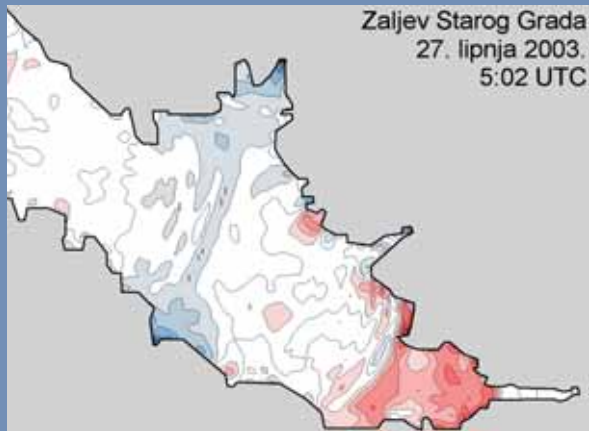
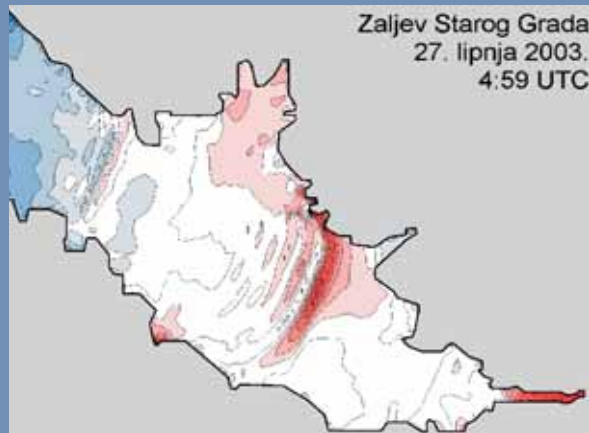
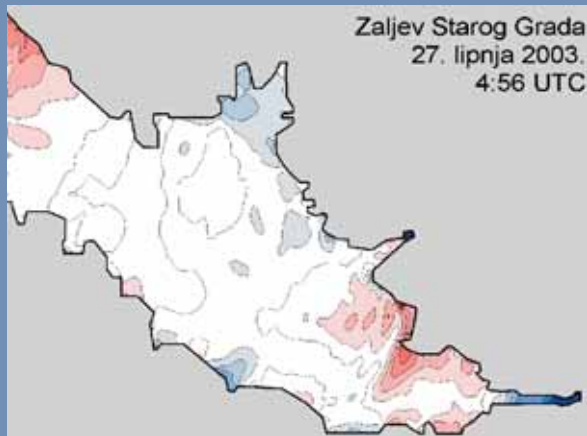
<http://www.ocean-modeling.org>

<http://www.aos.princeton.edu/WWWPUBLIC/htdocs.pom> – Princeton Ocean Model.

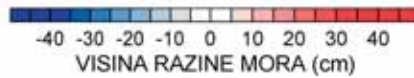
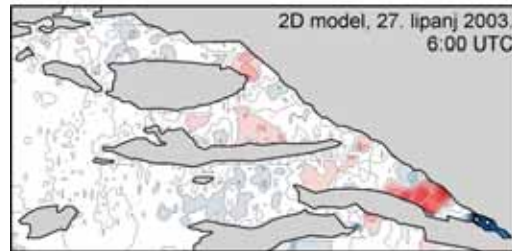
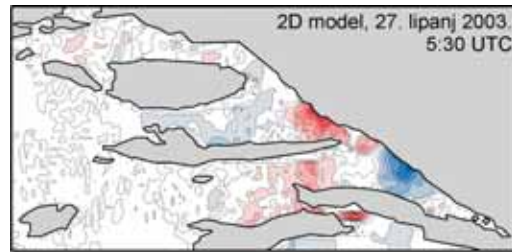
<http://www.moon-oceanforecasting.eu> – Mediterranean Operational Oceanography Network, mjesto gdje se može naći dosta toga o operativnoj oceanografiji i numeričkom modeliranju na Sredozemlju.

http://oceanworld.tamu.edu/ocean410/ocng410_text_book.html – Uvod u fizičku oceanografiju, izvrsna knjiga Roberta H. Stewarta dostupna u pdf i html formatu.

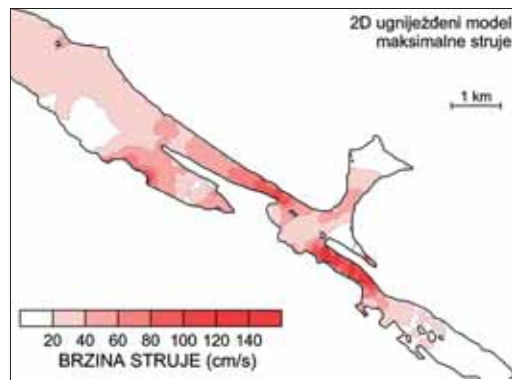
² *Jap. tsunami – visoki morski valovi uzrokovani potresom.*



Trominutni slijed modeliranih visina razine mora u zaljevu Starog Grada, 27. lipnja 2003. godine.



Rezultat modeliranja meteorološkog tsunamija 27. lipnja 2003. godine.



Maksimalne struje u Malostonskomu zaljevu modelirane 27. lipnja 2003. godine.

dručju srednjeg Jadrana mrežom veličine 139×68 točaka i razlučivosti od 1. kilometra. Nadalje, za precizniji opis procesa na finoj prostornoj ljestvici, koji su se dogodili u zaljevu Staroga Grada i Malostonskomu zaljevu, ugniježđena su dva modela prostorne razlučivosti od 50 metara.

Rezultati dobiveni navedenim modelom, uspješno su verificirani na nekoliko postojećih mareografskih postaja te se pristupilo tumačenju rezultata modela, obzirom na dokumentirane događaje. Detaljno je opisano i u modelu praćeno stvaranje i pojačavanje vala u moru, kao i njegovo putovanje prema Malostonskomu zaljevu gdje su se u suženjima javile i najjače struje (vidi slike). Upravo te struje, s brzinama i preko 100 cm/s, su bile odgovorne za pomicanje blokova i uništenja nasada školjkaša, točno na mjestima gdje su najveće štete i zabilježene. Osim toga, ugniježđeni model zaljeva Staroga Grada je dao najjače oscilacije na vrhu zaljeva, u samom Starom Gradu, upravo tamo gdje su i zabilježeni najveći valovi od oko 1,3 metra. ☹



Inverzno njihalo

Zašto ga modelirati i kako upravljati njime?

Pojam ravnoteže izrazito je važan u znanosti i praksi. Roboti, avioni, raketne, različita vozila, strojevi pa na kraju i sami ljudi – nalaze se uvijek u nekoj vrsti ravnoteže. To može biti stabilna, nestabilna ili neutralna ravnoteža. Česta je situacija kada avion, raketu ili nas same, treba održavati u stanju bliskom nestabilnoj ravnoteži. Ako mislite da je to jednostavno, postavite olovku tako da njezinim grafitnim vrhom dodiruje prst i pazite da vam ne padne – to je održavanje tijela oko položaja nestabilne ravnoteže (u slučaju da vam to pođe od ruke, proučite nagradnu igru u ovom broju!).

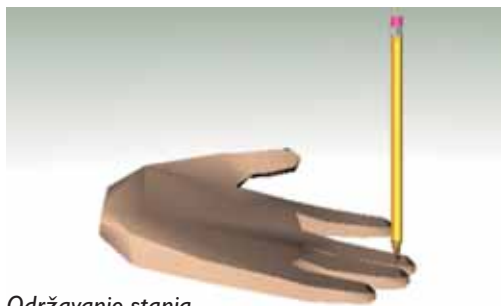
Navedeni primjeri vrlo su složeni. Suštinski, pojednostavljeni sustav koji obuhvaća sve bitne elemente uravnoteženja tijela oko položaja nestabilne ravnoteže je inverzno njihalo. Problem upravljanja za inverzno njihalo sličan je sustavima hodajućeg robota ili aviona *lovca*.

Sličnost između njihala i olovke je jasna, dok je čovjeka koji drži u ravnoteži olovku u uspravnom položaju, potrebno zamijeniti skupom različitih mehaničkih elemenata poput: senzora, pneumatskog cilindra, ventila, kompresora zraka itd., te upravljačkih elemenata poput računala. Računalo sadrži zakon upravljanja u obliku programskog kôda.

Kako se pomoću računala i zakona upravljanja te dinamike pneumatskog cilindra i senzora održava sustav inverznog njihala u željenom uspravnom položaju?

Senzori tlaka zraka u cilindru, pomaka klizača i kuta zakreta njihala daju naponske veličine

koje učitavamo u računalo. Računalo izračunava iznos upravljačke veličine što prosljeđuje ventilima. Ventili se koriste za propuštanje određene količine stlačenog zraka iz kompresora zraka do pneumatskog cilindra. Stlačeni zrak u cilindru pomiče klizač po horizontalnim vodilicama. Dovoljno brzim očitavanjima sa senzora i otvaranjima



Održavanje stanja nestabilne ravnoteže na primjeru održavanja uspravnog položaja olovke na prstu.

ventila cilindar omogućeno je brzo pomicanje lijevo-desno i održavanje uspravnog položaja inverznog njihala.

Kako modelirati i simulirati mehaničke sustave?

Za inverzno njihalo moguće je postaviti matematički model. Primjerice, pripadne jednadžbe su vrlo zahtjevne i u općem slučaju nije ih mo-



Tihomir Žilić

Tihomir Žilić diplomirao je 2003. godine na Fakultetu strojarstva i brodogradnje u Zagrebu. Upisao je doktorski studij na istom Fakultetu, s interesima u području optimalnog upravljanja, upravljanja elektromehaničkim sustavima, računalnim simulacijama i računalnom matematikom.

Pojašnjenje pojmova:

Ravnoteža – stanje tijela ili fizikalnog sustava u kojemu se sve sile koje na njega djeluju, poništavaju. Razlikuju se stabilna, nestabilna i neutralna ravnoteža. Stabilna je ona u koju će se tijelo, tj. sustav vratiti nakon djelovanja poremećaja. Nestabilna ili labilna ravnoteža je ona čije tijelo, tj. sustav gubi uslijed djelovanja i najmanjeg poremećaja. Neutralna ili indiferentna je ona u kojoj će tijelo, tj. sustav ostati i nakon djelovanja poremećaja (sustav zauzima novi ravnotežni položaj blizak početnome)

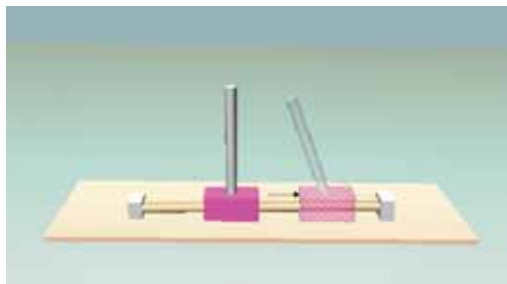
Senzori – komponente koji fizikalne veličine (tlak plina, pomak cilindra, temperaturu, intenzitet svjetla i sl.) pretvaraju u električne veličine (napon, struju).

Pneumatski cilindar – radni element koji energiju stlačnog zraka pretvara u translacijsko gibanje.

Zakon upravljanja – način koji određuje upravljačku veličinu na temelju željenog stanja i mjerenih veličina fizikalnog sustava.

Kompresor – stroj za dobivanje stlačenog zraka.

Realno vrijeme – vrijeme stvarnog fizikalnog sustava. Da bi se upravljačke veličine sa računala mogle slati fizikalnom sustavu u realnom vremenu, rad računalnog programa mora biti također u realnom vremenu.



Lijevi stožac je u stabilnoj ravnoteži, srednji u nestabilnoj, a desni u neutralnoj. Ako se lijevi stožac malo pomakne (nagne), on će se vratiti u početno stanje stabilne ravnoteže. Naprotiv, ako se malo pomakne srednji stožac, on će se sve više udaljavati iz položaja nestabilne ravnoteže, tj. past će.

Inverzno njihalo postavljeno na klizaču pneumatskog cilindra koji se može pomicati uzduž dvije paralelne vodilice cilindra. Desni dio slike prikazuje pomak klizača i inverznog njihala uslijed djelovanja sile.

Postav za računalno upravljanje sustavom inverznog njihala. Ovdje je prikazan 3D model.

guće razriješiti pomoću jedne formule. Zato se promjene stanja inverznog njihala analiziraju na računalu, tj. simuliraju.

Simulacijama predviđamo vremenske promjene stanja modela. Za simuliranje i modeliranje na računalu nije potrebno biti povezan sa stvarnim sustavom jer se simulacija ne izvršava u realnom vremenu. Ali, za upravljanje je nužno biti povezan jer se ono izvršava u realnom vremenu.


Koristeći računala i njihove sve moćnije aplikacije, moguće je simulirati sve zahtijevnije matematičke modele, a isto tako i pritom konstruirati njihove trodimenzionalne (3D) modele pa bi uslijed povezivanja matematičkih i 3D modela simulacije predočavale virtualnu stvarnost.

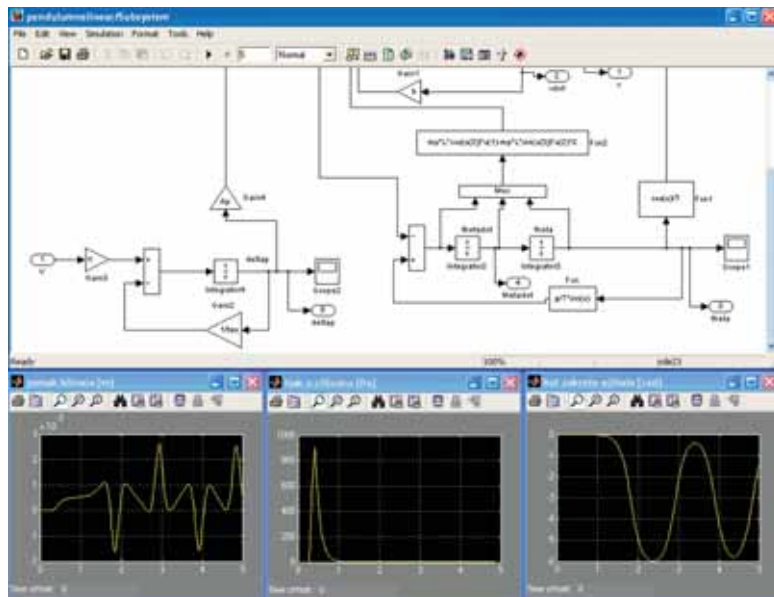
Do danas je razvijeno nekoliko programa za simulaciju pa tako primjerice postoje: *Matlab* (Simulink+Real Time Workshop+Virtual Reality Toolbox), *LabView* i *SciLab*, te je danas, u pravilu, to jedini način za dobivanje uvida u ponašanje i svojstva proučavanog sustava.

Upravljanje

Završna, najviša razina proučavanja modela jest – njegovo upravljanje. Koristeći poznate upravljačke zakone, upravljamo fizikalnim sustavima. Postoje mnogi otvoreni problemi kako naći što učinkovitije upravljačke zakone, tj. matematičke načine kojima će upravljanje biti učinkovitije

od postojećega. Za upravljanje računalom često je potrebno matematičke jednadžbe upravljanja prenijeti u programski kôd u računalu.

U tehničkim znanostima česti su mehanički, elektromehanički, hidraulički, toplinski, pneumatski i električni sustavi. Ponašanje velikog broja njih može se svesti na problem upravljanja inverznog njihala. Iako nam se čini da je mnogo toga napravljeno i usavršeno, ostaje nam činjenica da čovjek ima sve veće zahtjeve koji i dalje rastu, tako da se traži što bolje, efikasnije i brže upravljanje sustavima. Novi načini upravljanja nalaze se u čovjekovoj domišljatosti i njegovoj sposobnosti matematičkog izražavanja. 



Autor teksta postavlja laboratorijski model prema 3D modelu na slici lijevo.

Simulink model sustava inverznog njihala sa tri dijagrama prikaza. Lijevi dijagram prikazuje vremenske promjene pomaka klizača pneumatskog cilindra, srednji vremenske promjene tlaka u cilindru, a desni vremenske promjene kuta zakreta inverznog njihala.

Daljnja literatura

Control Tutorials for Matlab : <http://www.engin.umich.edu/group/ctm/index.html>

Inverzno njihalo pogonjeno pneumatskim sustavom: http://www.fsb.hr/acg/hrvatski/meh_istras.html

Modeliranje i simuliranje hidrauličkih servo sustava: zrno.fsb.hr/katedra/download/materijali/344.ppt

PC Based Control Inverted Pendulum System:

<http://www.active-robots.com/products/inverted-pendulum/inverted-pendulum.shtml>

J. Petrić i Ž. Šitum, »Inverted Pendulum Driven by Pneumatics«, *The International Journal of Engineering Education*, Vol. 19, br. 4., str. 597.-602., 2003.

Real-time inverted pendulum: <http://shark.sssup.it/contrib/pendulum/main.htm>

Matlab softver: <http://www.mathworks.com>

Programi za višeagentsko modeliranje

Želimo li razumjeti kako djeluje neki složeni sustav, u pravilu nam nije dovoljno samo promatranje sustava. U složenim sustavima, kako im i samo ime govori, relacije između elemenata su složene. To znači da su višestruke, različitih jakosti, trajanja, periodičnosti i sl. Mnoge su relacije međusobno vrlo isprepletene, utječu jedna na drugu, a često je niz relacija skriven vanjskom promatraču. Jedan od načina na koji možemo razumijevati djelovanje složenih sustava je korištenje računalnih simulacija postavljenih modela. U ovom članku usredotočiti ćemo se na višeagentne simulacije.

Josip Stepanić

Ajme! Iz izjava poput »složeni sustav možemo razumjeti višeagentskom simulacijom postavljenog modela«, teško da se može išta pojmiti o složenim sustavima. Zato prije no što nastavite s čitanjem ovoga teksta, preporučam da pročitate okvir s pojašnjenjima upotrijebljenih pojmova: modeliranje, simulacija i agenti, kao i iščitavanje članka Armana Srbljinovića, o agentima u modeliranju (koji je objavljen u prvom broju časopisa *Sustavi*).

Nakon pojašnjenja osnovnih pojmova koje se nalazi na rubu sljedeće stranice jasnije nam je i što znači sintagma: »složeni sustav možemo razumjeti višeagentnom simulacijom postavljenog modela« – dakle, uočimo dio okoline koji želimo razumjeti, postavimo model te okoline, numerički simuliramo kako se u vremenu mijenjaju cjeline u modelu – i na kraju povežemo to s promjenama cjelina u okolini.

Računala danas vrlo brzo provode numeričke simulacije vrlo velikih modela s velikim brojem kompliciranih agenata. Ne samo to, budući da znatan broj ljudi koristi modeliranje pomoću agenata, danas je vrlo razvijena i programska podrška

koja pojednostavljuje modeliranje i simulaciju. Podrška pokriva sve pa i gotove programe koje razvijaju velike grupe stručnjaka. U tom smislu, problem ovog članka je iz mnoštva postojećih, dostupnih programa izdvojiti nekoliko reprezentativnih, korisnih i provjerenih.

U sljedećim odlomcima su ukratko pojašnjene osnovne karakteristike nekoliko alata za višeagentsko modeliranje i simulaciju: *NetLogo*, *Breve* i *Entorama*. Ono što veže navedene alate je pristupačnost, dobro razrađena ugrađena vizualizacija, opširna dokumentacija, lakoća korištenja i – kao posebno svojstvo od posebne važnosti mogućnost besplatnog dobivanja i instalacije programa!

Svi predstavljeni alati uključuju i gotove primjere pomoću kojih se može поближе upoznati alat, a dokumentacija je pristupačna i dovoljno opširna, tako da se korisnik vrlo lako može snaći i brzo početi izrađivati vlastite modele. Alati su opisani sa stajališta općeg korisnika koje zanima primjena, a ne tehničke potankosti usporednog testiranja. Postoji još mnogo alata sličnih ovdje opisanima (npr. *Swarm*, *Repast*, ...) koji su isključeni, jer obzirom na pristupačnost korisniku i aktivnost razvojne grupe, ne djeluju kao alati

koji će u budućnosti biti znatno upotrebljavani u istraživanjima i primjenama, neovisno o njihovu značenju u prošlosti.

NetLogo

Jedna od glavnih odlika programa *NetLogo* (<http://ccl.northwestern.edu/netlogo/>), koja je među ostalim zaslužna za njegov uspjeh, je bogato razvijeno sučelje simulacije. Korisnik može lako modelu dodati sve potrebne dijagrame, klizače i slično tomu, kao i ostale kontrole koje olakšavaju praćenje razvoja simulacije i upravljanje njome. Metode iscrtavanja rezultata su jako dobro razrađene i omogućuju brzo i praktično implementiranje raznih vrsta dijagrama i histograma koji se tijekom simulacije konstantno obnavljaju i tako prikazuju stanje modela. Klizači, također mogu biti jako korisni za promjenu neke veličine za vrijeme trajanja simulacije, što uvelike

olakšava eksperimentiranje s različitim vrijednostima koje mogu utjecati na simulaciju.

U programu *NetLogo* postoje tri vrste agenata: pokretni agenti (*turtles*), polja (*patches*) i promatrački objekt (*observer*). Svijet u kojem se kreću pokretni agenti je dvodimenzionalan, pravokutan i pokriven nepomičnim agentima – poljima. Upravo zbog toga što je na taj način prostor simulacije ograničen, postoje mehanizmi za »omatanje« plohe po kojoj se kreću agenti: ploha može biti »neomotana«, ograničena na pravokutnik sastavljen od polja, tako da agenti doživljavaju granice kao zidove; može biti »omotana« u horizontalnom ili vertikalnom smjeru da tvori cilindar, tako da agent dođe do ruba plohe i u sljedećem se trenutku nađe na drugoj strani; ili može biti »omotana« u oba smjera (horizontalno i vertikalno) pa je po izgledu takav svijet sličan

Realni sustav je više ili manje izdvojeni dio stvarnoga svijeta određene funkcije. Realnim sustavom smatra se i ono što u stvarnosti još ne postoji, nego je zamišljeno (planirano) da se izradi u budućnosti.

Model je riječ s više značenja. Ovdje nas zanima model kao pojednostavnjeni prikaz realnoga sustava napravljen kako bi poslužio boljem razumijevanju sustava, njegovom daljnjem proučavanju i eksperimentiranju s istim. Modeli koji nas ovdje zanimaju su, primjerice modeli razvoja grada, rada morske luke, procesa u ljudskom tijelu, sustava prijevoza, ekosustava i sl. Nema gotovih naputaka, kako napraviti dobar model, već se kao smjernica navodi potrebno razumijevanje problema, sposobnost apstrakcije, sistematičan rad, razlučivanje bitno i nebitno, a u svemu je vrlo značajno i iskustvo.

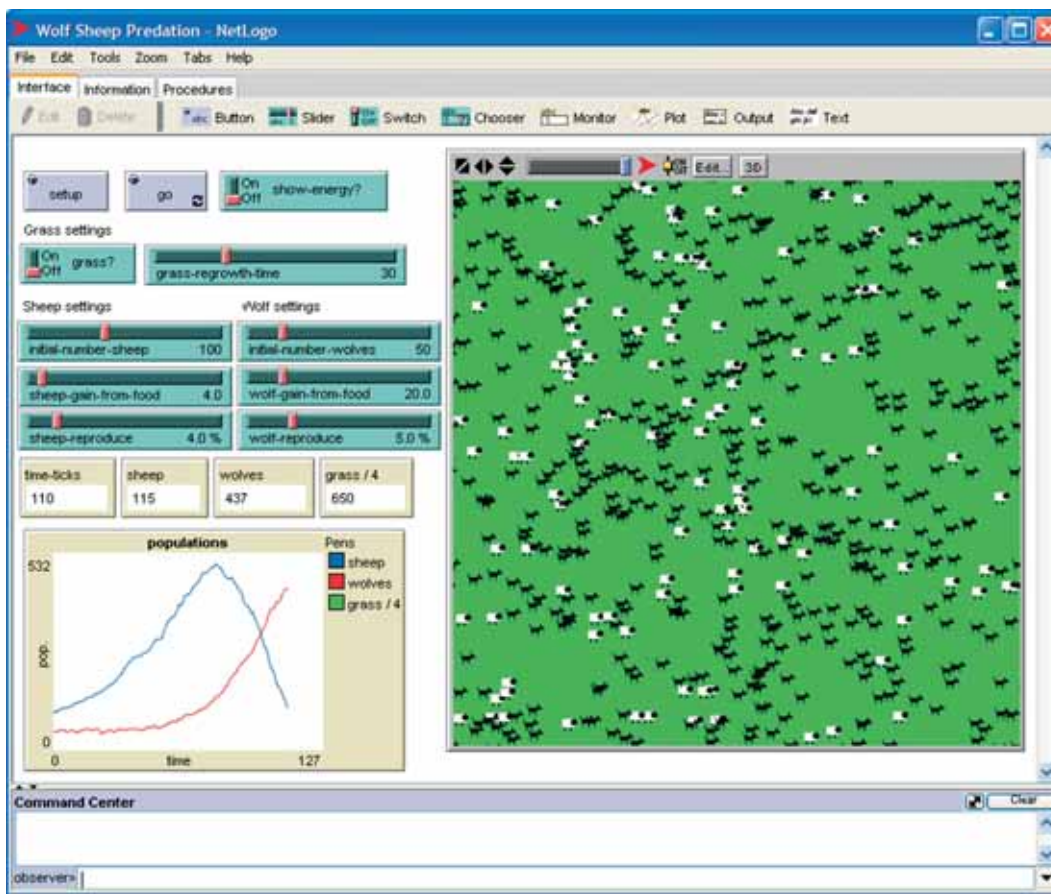
Modeliranje je stvaranje (oblikovanje) modela.

Rješavanje modela je postupak dobivanja traženih svojstava modela. Primjerice, ako nas zanima način na koji će se mijenjati populacija neke vrste životinja u ekosustavu, tada postavljamo model tog istog ekosustava, pratimo kako se model mijenja u vremenu, što znači da pratimo i kako se u vremenu mijenja broj jedinki te vrste životinja. A time smo riješili model.

Simulacija je jedan od načina rješavanja modela (ostali načini su konceptualni i matematički). Numerička simulacija je korištenje računalnih programa za rješavanje modela. U njima je sadržan prikaz ponašanja realnog sustava.

Agenti su elementi u softveru koji međudjeluju u virtualnom okružju.

Individualni agent najčešće odgovara ljudskoj jedinki, ali ponekad agenti predstavljaju kolektive, npr. grupe, zajednice ili organizacije. Na mikrorazini, agenti su dobro definirani i određeni. To znači da je zadana njihova okolina, jasno su postavljena pravila ponašanja i međudjelovanja agenata, a također su određene metode promjene njihovih stanja. Agenata obično u modelu ima puno ili jako puno, zbog čega njihovo ponašanje proračunava računalo.



BOGATO SUČELJE SIMULACIJE U NETLOGO ALATU

Desno, veliko polje predstavlja trenutnu konfiguraciju agenata, lijevo gore su iznosi parametara modela, a lijevo dolje se tijekom simulacije prikazuju vremenske ovisnosti veličina koje odaberete.

torusu¹. Iako izgleda čudno, površinu svijeta prikazivati kao torus je vrlo česti slučaj u modeliranju. S jedne strane, tada je matematički i računalno jednostavnije proračunavati stanje skupa agenata u nekom trenutku. S druge strane, učinci pojava na rubovima relativno su mali jer zahvaćaju samo one agente koji su blizu rubova, a takvih je relativno malen broj u odnosu na ukupni broj agenata.

Polja koja pokrivaju plohu ne mogu se pomicati i pogodna su za izradu modela koji koriste stanične automate. Pokretni agenti kreću se preko polja i služe se njima za komunikaciju s drugim agentima.

Jezik kojim se model postavlja i koji opisuje individualno ponašanje agenata i njihove relacije je relativno jednostavan i učinkovit. Sama sintaksa je jednostavna, što se nadoknađuje brojem primitivnih funkcija i naredbi. Prednost takvog pristupa je to što korisnik lako i brzo može početi izrađivati kompleksne modele, ali je nedostatak što su pojedine naredbe ograničene i ima ih u velikom broju. Na sreću, *NetLogo* nudi opširnu dokumentaciju u kojoj su one detaljno opisane.

Behavior space je poseban alat u sklopu *NetLogo* alata koji omogućuje automatizirano ispitivanje ponašanja modela u raznim uvjetima. Model se pokreće više puta na određeni broj simulacijskih koraka s raznim vrijednostima varijabli koje se mogu mijenjati (vanjski uvjeti sustava), a odabrani rezultati zapisuju se u datoteku i mogu se naknadno analizirati.

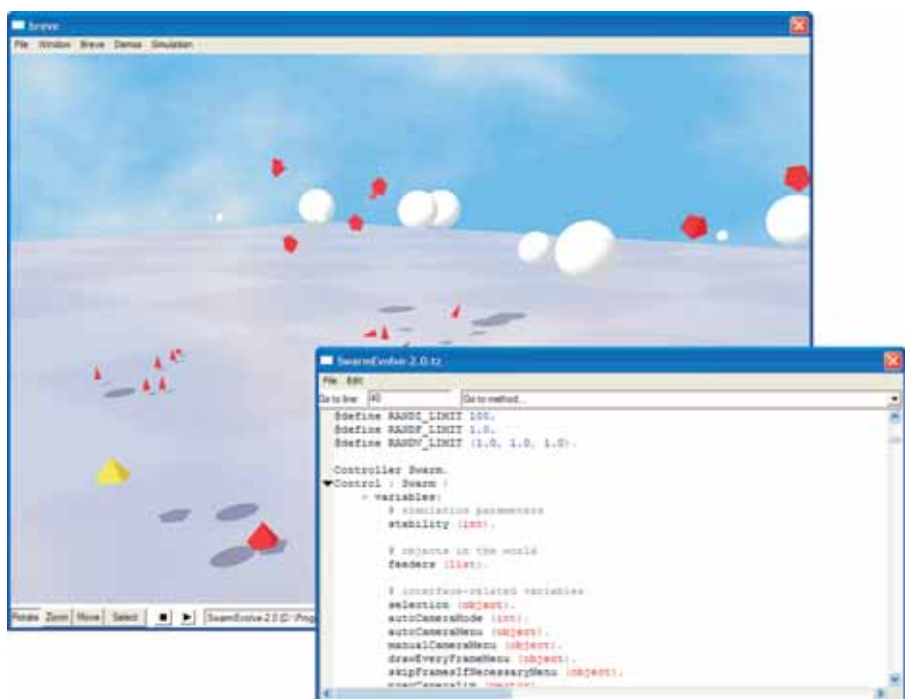
Breve

Breve (<http://www.spiderland.org/breve>) – bogato je razvijen program 3D grafika pomoću kojih se predočavaju simulacije u kojima se agenti različitih oblika, boja i tekstura kreću u neograničenom trodimenzionalnom prostoru. Grafička komponenta je u *Breve* alatu toliko dotjerana, da se može u sklopu modela manipulirati osvjetljenjem, sjenama, teksturama i sl., što rezultira živopisnim simulacijama. Međutim, prema riječima autora, takvi dodaci mogu znatno usporavati simulaciju, tako da korisnici trebaju odabrati između vizualno dojmljive ili učinkovite simulacije.

¹ Lat. torus – ploha u obliku prstena koja nastaje rotacijom kružnice oko pravca koji leži u njezinoj ravnini i ne siječe je.



Net Logo polja i pokretni agenti

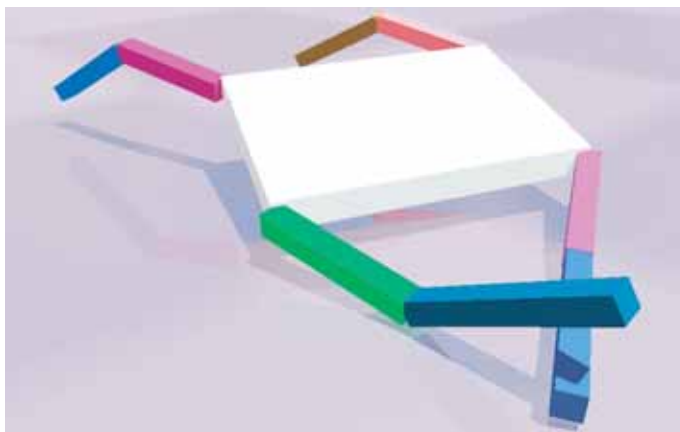


Ponašanje agenata i stanje modela opisani su u kodu koji koristi objektno orijentirani jezik zvan *steve*. Jezik *steve* koristi razrede kao predloške za stvaranje agenata i nudi neke korisne gotove razrede koji se mogu modificirati, kako to korisniku odgovara. Svaki objekt u programu *Breve* ima svoje činjenične članove, ali i metode pomoću kojih sam objekt funkcionira unutar simulacije. Simulacijom upravlja pomoću glavnog kontrolnog

SUČELJE BREVE ALATA
Vidljive su različite vrste agenata u izometrijskom prikazu dvodimenzionalnog svijeta.



Breve: doticaj među agentima koji su dovoljno blizu



Walker: primjer fizičke simulacije i evolucije pomoću jezika Push.

objekta (*controller*) koji se, među ostalima, brine o postavljanju modela na početku simulacije.

Međudjelovanje između agenata je jedna od osnovnih karakteristika višeagentskih simulacija, a da bi se ona ostvarila, potrebno je agente na neki način dovesti u doticaj. U *Breveu* se doticaj među agentima može ostvariti na više načina: kada se dva agenta sudare, kada su dva agenta dovoljno blizu ili kada agent nađe najbližeg drugog agenta.

Ove tri varijacije kontakata, na vrlo praktičan način pokrivaju sve potrebe višeagentskih simulacija, ali u *Breveu*, osim takvih kontakata, postoje i direktni kontakti kao dio fizičke simulacije. Fizička simulacija u *Breveu* je riješena kao skup parametara koji upravljaju korakom integracije, gravitacijom i ostalim fizikalnim karakteristikama simulacije te omogućuju realistično simuliranje stvarnih objekata i njihovog ponašanja prema zakonima mehanike.

Kada je potrebno da agenti mogu evoluirati, odnosno da se sami programi prema kojima se agenti ponašaju mijenjaju, koristi se jezik *Push* koji je stvoren upravo za genetičko programiranje i može se izvoditi iz *Brevea* pomoću interpretera *Push*.

Entorama

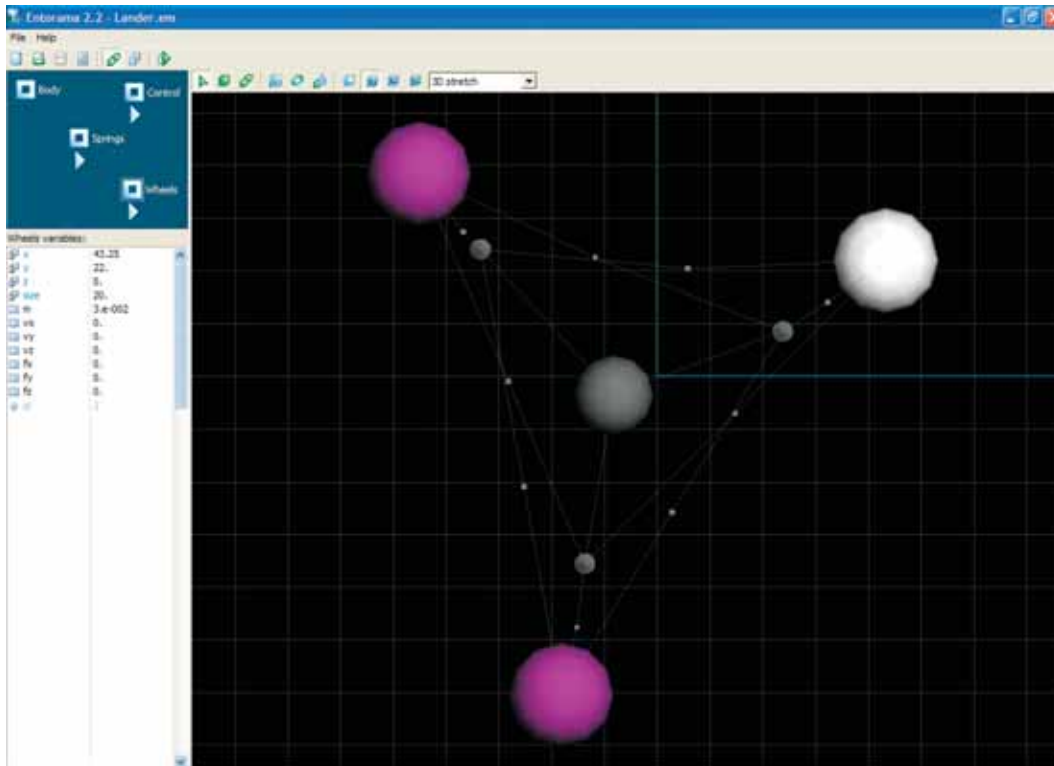
Entoramu je najlakše zapamtiti kao *Fantastoramu* jer ju odlikuje jedno naprosto fantastično svojstvo. Što se tiče dokumentacije, sučelja, mogućnosti instalacije i primjera *Entorama* se u potpunosti uklapa u grupu prethodno opisanih

alata. Ono što ju ističe, vezano je uz »tim« koji ju razvija – a koji se sastoji od jednog jedinog čovjeka. Više o autoru, inače studentu iz Hrvatske i samom programu, navedeno je na <http://www.entorama.com>. Nakon nekoliko godina eksperimentiranja, nedavno je objavljena prva inačica programa za javnost. Razvojni put je tek započet, ali ovaj iznimno kompaktan alat, uz mnoge druge dobre karakteristike, pokazuje kako se višeagentski model može pojednostavniti i učiniti jasnijim uvođenjem strukture modela. Struktura modela sastavljena je od tipova agenata koje korisnik sam definira i koji služe kao »kalup« za stvaranje agenata, percepcija i akcija u kojima se definira individualno ponašanje agenata i njihova interakcija na najnižoj razini.

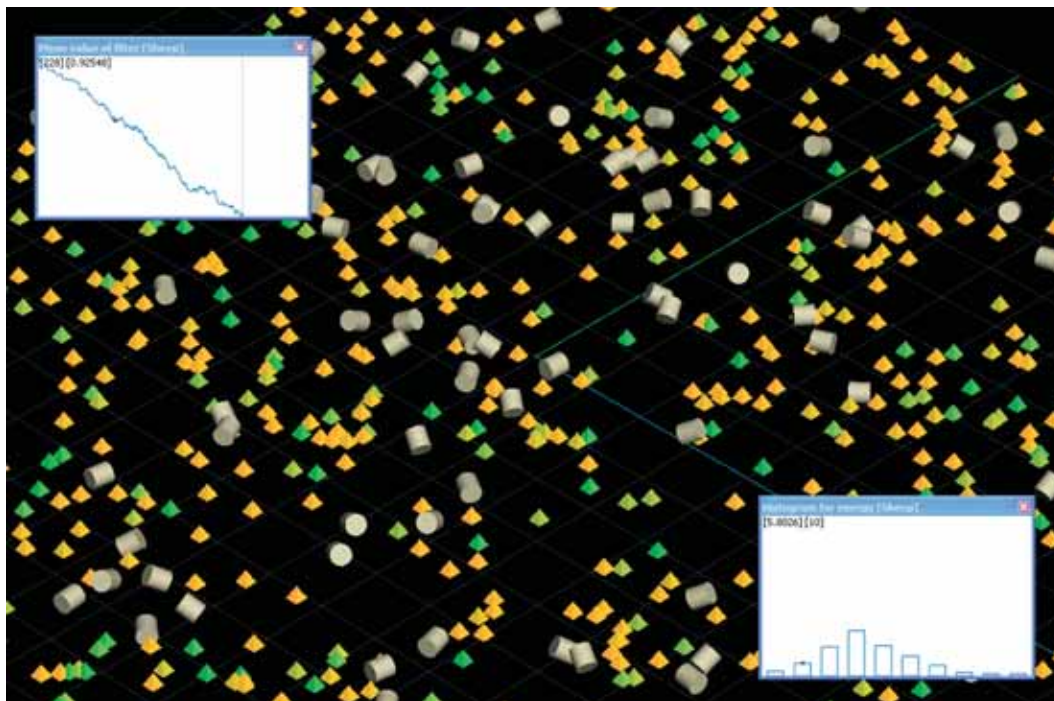
Mogućnost vizualnog uređivanja modela pomoću trodimenzionalnog alata je jedna jedinstvena značajka *Entorame*. Vizualno uređivanje modela znatno olakšava rad na modelu jer obuhvaća stvaranje i razmještanje agenata i postavljanje njihovih varijabli pa se kôd isključivo bavi ponašanjem agenata za vrijeme simulacije. Sve je popraćeno jednostavnim jezikom za definiranje ponašanja agenata.

Svi agenti u *Entorami* su pokretni i kreću se u neograničenom trodimenzionalnom svijetu. Grafički prikaz simulacije je skromniji od onoga u *Breveu*, a korisniku daje pravu sliku događanja u simulaciji uz minimalno opterećenje simulacije.

Doticaj među agentima potreban za ostvarivanje međudjelovanja ostvaruje se na više načina. Jedan način je da se agenti dovode u kontakt po principu »svaki sa svakim« (ukoliko je među



Sučelje Entorame: prostorna konfiguracija agenata zauzima desni okvir, a praćene varijable donji lijevi okvir. U gornjem lijevom okviru je skup definiranih agenata, njihovih međudjelovanja i globalnih varijabli koje se ispisuju pritiskom miša na određeni element. Dodatno se može uključiti prozor za praćenje vremenske ovisnosti pojedinih veličina ili za statističke prikaze stanja agenata u nekom trenutku.



Entorame: Simulacija uz aktivne dijagrame.

njima definirana percepcija, odnosno, ako se ti agenti »vide«), što za veći broj agenata znači relativno sporo izvršavanje simulacije. Brži način je uz uključeno ograničenje percepcije (ukoliko to model dozvoljava) pomoću kojeg samo agenti koji su bliži od zadane udaljenosti dolaze u kontakt. Teći način, pomoću pokazivača na

agente, namijenjen za malo naprednije modele, omogućuje modeliranje raznih mrežnih struktura.

Ako vam se u opisu ova tri programa pojavio pokoji nejasan pojam, nadam se da će vam to biti neki od dodatnih razloga za posjetu mrežnim stranicama programa, navedenim u tekstu. 📦

Kolektivna robotika

Kratki prikaz međunarodne ljetne škole

Krajem kolovoza, u Lisabonu je održana jednotjedna međunarodna ljetna škola EAIA '07 *Summer School in Collective Robotics*. U okviru škole naznačen je prikaz područja kolektivne robotike, mogućnosti primjene i ograničenja koja prate skupine zajednički djelujućih robota. Zašto navodim da je prikaz »naznačen«? Zato jer je kolektivna robotika područje tehnike koje se silno brzo razvija u cijelome svijetu, već je izrazito opsežno i samo je pitanje vremena kad će razvoj robotike biti među kriterijima razvijenosti neke zemlje. Na ljetnoj školi je sudjelovalo s jedne strane šest predavača, redom profesora i voditelja istraživačkih grupa iz robotike više Europskih sveučilišta, a s druge strane pedesetak doktoranata iz Europe, Sjeverne i Južne Amerike te Azije. Pokušat ću vam prenijeti dio atmosfere i dio činjenica koje govore o stanju kolektivne robotike i pravcima njenog razvoja. Činjenice vezane uz samu školu ukratko su navedene u pripadnom okviru. A budući da se sve potankosti o školi mogu naći na internetu, ostali dio članka je priča o stanju kolektivne robotike. Pa krenimo redom ...

Uzor u prirodi

Zajednice su svuda oko nas. Pogledajmo mrave, kod kojih bismo letimičnim pogledom zaključili da svaki ima neki svoj raspored. Promotrimo li ih malo pomnije, primjećujemo da se uvijek kreću istim putevima, grupiraju se, pomažu jedan drugom pri nošenju hrane, prelasku preko prepreka, djeluju kao visoko organizirana skupina. Što je to

što vlada u tom sustavu, izdaje naredbe, donosi odluke? Upravo ti, relativno jednostavni organizmi fasciniraju istraživače u području robotike jer imaju svojstva poželjna u tehničkim sustavima. Neka od svojstava primijećena kod socijalnih insekata (mravi, pčele i sl.), a zanimljiva za primjenu u tehnici su *robustnost* i *emergencija*. Robustnost povezujemo s otpornošću zajednice na lokalne iznenadne promjene. Naime, uklonimo li jednog mrava, dodamo li neku prepreku na put kojim mravi idu po hranu, zajednica mrava se neće urušiti. Hranu koju je nosio izuzeti mrav, preuzet će neki drugi, ispred prepreke će se stvoriti gužva, ali samo dotle dok se ne pronađe novi put. Ovo je vrlo poželjno svojstvo i za primjenu kod tehničkih sustava. Mi želimo graditi pouzdane, robuste sustave, što neosjetljivije na nepredviđene događaje. Također želimo autonomne sustave, koji bi se sami prilagođavali novoj situaciji, bez potrebe da sami značajno interveniramo u sustav. Emergencija je sljedeće svojstvo koje vezujemo uz neke socijalne grupe insekata. Emergencija određuje nastajanje globalnog, zamršenijeg učinka na grupnoj razini, na temelju međudjelovanja između pojedinih jedinki. Dakle, koordinacija na razini grupe posljedica je međudjelovanja među jedinkama. Iako međudjelovanja mogu biti jednostavna, primjerice kao kada jedan mrav prati slabi, mirisni trag koji je ostavio neki drugi mrav, one mogu rezultirati rješavanjem teških problema poput izbora najkraćeg puta od hrane do mravinjaka u ovom slučaju. Rješenje problema izbora najkraćeg, dakle po nekom kriteriju optimalnog, puta od hrane do mravinjaka iz nebrojivo mnogo mo-



Petar Ćurković

Petar Ćurković diplomirao je na Fakultetu Strojarstva i Brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu 2004. godine. Nakon godine dana provedene u industriji, od siječnja 2005. godine zaposlen je na Fakultetu strojarstva i brodogradnje u Zagrebu, pri zavodu za robotiku i automatizaciju proizvodnih sustava u svojstvu znanstvenog novaka-asistenta. Pohađa doktorski studij iz područja robotike i automatizacije. Područje interesa vezano je uz robotiku, posebice uz proučavanje mogućnosti primjene grupa robota na rješavanje realnih problema.



VIRTUALNI MODEL S-BOT ROBOTA I SIMULACIJSKO OKRUŽJE.

(Virtualni model je računalni prikaz, dizajniran i konstruiran u jednom od softvera koji se opisuju u članku B. Jerbića u ovom broju časopisa Sustavi.)



ZAJEDNIČKI PRELAZAK ŠIROKOG PROCIJEPA

Povuci, potegni i procijep je prijeđen.

Roboti, povezujući se u oblik gusjenice mogu svladati prelazak preko procijepa koji je preširok za uspješan prolazak samo jednog robota. U ovoj formaciji roboti su u stanju i popeti se uz stepenice te spustiti se niz strmi zid, što sve ne bi bili u stanju samostalnog djelovanja.

gućih putova nije jednostavno. Sposobnost grupe mrava da nađe najkraći put od hrane do mravinjaka na temelju lokalnih interakcija potakla je Marca Doriga sa Sveučilišta u Bruxellesu kako bi riješio poznati optimizacijski problem, »problem trgovačkoga putnika¹« primjenom simuliranih mrava i njihovog mirisnog, feromonskog traga. Kasnije je njegova metoda uspješno primijenjena i na mnoge druge teške optimizacijske probleme, poput Maximum Quadratic Assignment problema, Maximum Knapsack Problema i drugih.

Grupe robota

Ideja o grupi robota koja zajednički rješava neku zadaću čini se logičnom. Naime, grupa robota robusnija je od samostalnog robota. Ako jedan robot ispadne iz funkcije, a grupa je dovoljno velika, zadatak još uvijek može biti uspješno izvršen. Grupa može izvesti zadatke koje bi jedan robot izveo teško ili ne bi uopće mogao izvesti, primje-

¹ *Problem trgovačkoga putnika:* potrebno je obići sve zadane gradove samo jednom te se vratiti na početnu točku uz najkraći prijeđeni put.

rice nošenje nekog teškog predmeta. Može brže izvršiti neku zadaću, odnosno istražiti neki prostor, stvoriti mapu prostora, pronaći određene objekte u prostoru. Roboti mogu, poput mrava, pomagati jedan drugom pri prelasku preko prepreke koju jedan robot sam ne bi mogao savladati. Sličnih primjera je mnogo. Pitanje koje se postavlja je kako organizirati grupu robota? Treba li organizacija biti centralizirana, s jednim ili nekoliko »glavnih« robota? Je li možda bolje napraviti decentraliziranu, distribuiranu organizaciju, u kojoj će red proizlaziti iz lokalnih interakcija, a neće biti »glavnih« robota? Pokazalo se da se svojstva koja nalazimo kod socijalnih insekata, a poželjna za primjenu u tehnici, ostvaruju prvenstveno primjenom decentralizirane organizacije grupe. Ako ste gledali film »Star Wars Episode I: The Phantom Menace«, onda su vam očiti nedostaci centralizirane organizacije za grupu robota. »Zli« roboti imali su jednu centraliziranu osjetljivu točku; cijela vojska postala je neupotrebljiva nakon uništenja upravljačkog superračunala. Takva je situacija dušu dala za glavnog junaka koji jednim vještim potezom spašava cijeli svemir ili bar galaksiju. Ali, ako želimo otpornu, žilavu, neuništivu, tj. robu-

Predavači:

Francesco Mondada (EPFL Lausanne – Švicarska): Mechatronics for swarm robotics

Guy Theraulaz, Sveučilište Paul Sabatier, Toulouse – Francuska: Collective behaviour in groups of insect-like robots,

Luis Paulo Reis, Sveučilište u Portu, Porto – Portugal: Cooperative robotics: applications in robocup soccer and search and rescue operations.

Stefano Nolfi, Laboratorij za autonomnu robotiku i umjetni život, Institut za kognitivnu znanost i tehnologiju, Rim – Italija: Behaviour as a complex adaptive system: coordinated behaviours and the emergence of simple communication forms

Richard Vaughan, Sveučilište Simon Fraiser, Canada: Assault and batteries: Agressive behaviour and cooperative recharging in multi-robots systems

Alan Winfield, Fakultet komputacijskog inženjerstva i matematičkih znanosti Sveučilišta u zapadnom Bristolu, Bristol – Velika Britanija: Specification and modelling of emergence in swarm-engineering for real-world applications



snu grupu robota, moramo izbjeći takve situacije. Generalno, decentralizirani i distribuirani sustavi (internet) temeljeni na međudjelovanjima između autonomnih jedinki, pokazuju veću robusnost na lokalnim otkazima funkcije, odnosno iznenadnim promjenama u populaciji. Također pokazuju dobra svojstva skalabilnosti tako da nema globalne promjene ponašanja ukoliko se broj članova grupe značajno poveća (preko 30%).

Grupe robota u Europi

Jedan vrlo zanimljiv primjer primjene grupe robota pri svladavanju različitih problema, nastao je u okviru europskog istraživačkog projekta **European Community**, <http://www.swarm-bots.org/>. Rješavani zadaci uključivali su razvoj robota koji će moći: uspostavljati fizičke veze s drugim robotima tvoreći različite ravninske i prostorne formacije, biti u stanju izvoditi koordinirano grupno gibanje fizički spojenih robota, primajući informacije samo sa senzora individualnih robota te promijeniti formaciju kada je to potrebno, primjerice u uskom prolazu.

Projekt je uspješno završen 2006. godine, s proizvedenim robotom imena *S-Bot* i demonstriranim rješenjima problema izvedenih i u simulacijskom i u stvarnom okruženju. Razvoju robota prethodio je razvoj virtualnog modela te simulatora u kojem se, u virtualnom okruženju, moglo eksperimentirati s robotima prije dovršetka njihove stvarne izvedbe.

Bitno je u svim ovim primjerima istaknuti nepostojanje centralnog upravljačkog sustava. Roboti komuniciraju lokalno, dajući ostalim članovima u grupi signal kako im je potrebna pomoć, da je zadatak izvršen te pronalaženje željenog objekta i slično.

Primjene opisanih grupa robota više su nego jasne. Međutim, prije nego takve primjene postanu stvarnost i svakodnevica, potrebno je još dosta razvoja samih robota, njihovih komponenti, a posebno algoritma djelovanja kojim se od većeg broja robota postavljenih jedni blizu drugih dobiva sustav, gotovo zajednica.

Kako doći na EAIA ljetnu školu?

Ako je ovaj članak pobudio u vama zanimanje ili ste još od ranije zainteresirani za kolektivnu robotiku, jedno od pitanja koje vam se može nametnuti je kako sudjelovati na sljedećim ljetnim školama kolektivne robotike? Dakle, škole (odnosno raznovrsna predavanja u navedenim školama), održavaju se svake dvije godine pa s jedne strane za sljedeću školu treba biti ponešto strpljiviji. Robotika je standardno zastupljena na fakultetima i u školama kao i u radu udruga. Među potonjima je i Hrvatsko interdisciplinarno društvo sa svojim projektom *Prozor snova* (<http://www.idd.hr/ps>), namijenjenom studentima koje zanima kolektivna robotika. 📦

ZAJEDNIČKO NOŠENJE OBJEKTA

Kad se male poluge slože, sve se može ...

Objekt je pretežak za jednog robota te on poziva ostale članove tima u pomoć pri izvršenju zadatke, prenošenju predmeta prema izvoru svjetlosti.

Linkovi:

<http://www.swarm-bots.org/>

<http://eaia07.di.fc.ul.pt/>

<http://swis.epfl.ch/>

<http://code.ulb.ac.be/code.home.php>

Sustavnost komuniciranja u starogrčkom svijetu

Svaka civilizacija, po definiciji, ima određeni skup svojstava, svoj prostor (koji može i dijeliti s drugim civilizacijama), kao i svoje trajanje. Samo postojanje u vremenu podrazumijeva da su nositelji civilizacije na određene načine umreženi, odnosno da postoje mnogostruki kanali kojima se ostvaruje, kako se najčešće kaže – protok ljudi, dobara i ideja. No unutar te umreženosti svakako ima posebno značenje ono što se najopćenitije može nazvati protokom informacija.

Slobodan Čače

Slobodan Čače redoviti je profesor Odjela za povijest Sveučilišta u Zadru.

Živimo u vremenu koje se odlikuje brzinom i mnogostrukošću kanala komuniciranja. Internet je učinio mogućim stvarno komunikacijsko umrežavanje cjelokupnog čovječanstva – iako će svi učinci tog povezivanja tek uslijediti, dobri kao i manje dobri, svjesni smo da je stvarnost u kojoj živimo dobila nove dimenzije ili, kako se u takvim prilikama kaže, svijet doista više nije kakav je donedavno bio. Istina, proces globalizacije uvjetovan je i bitnim unapređenjem brzina prometovanja, omogućujući brži prijevoz ljudi i roba, no taj vid povezivanja, budući da smo još daleko od teleportiranja iz znanstveno-fantastičnih serija, nužno ima svoja ograničenja. Informatizacija pak, osigurava kolanje poruka pa i kapitala, brzinom svjetlosti. Napokon, uza sva nastojanja središta moći koja se trude da iz ideoloških, političkih ili naprosto komercijalnih razloga ostvare neki vid kontrole nad sustavom komuniciranja, valja vjerovati da će razvoj težiti prema demokratizaciji odnosno sve slobodnijem komuniciranju unutar sve širega kruga sudionika.

Smatramo dakle da je riječ o novoj epohi s procesima koji su apsolutna novost u povijesti ljudskoga roda.

Kada počinje istraživanje kulture kao sustava?

To dakako ne znači da u prošlosti nije bilo pojava koje bi, u određenoj mjeri, mogle biti zanimljive i za suvremenog čovjeka i to upravo u pogledu sustava komuniciranja. U društvenim i povijesnim istraživanjima odavna je zastupljena ideja prema kojoj bi se određena društva, odnosno konkretne kulture, mogli shvatiti kao složeni sustavi koji imaju svojstva samoregulacije, postojanosti ili homeostatičnosti koji imaju svoj *input* i svoj *output*, a njihova složenost se predočava kao skup podskupova koji su u međusobnoj povezanosti. Štoviše, i odnosi među kulturama (civilizacijama) nastojali su bivati opisani u terminima sustava. Modeli izrađeni na ovakvim pretpostavkama posebno su bili razvijeni u sklopu nekih arheoloških škola koje su bile utjecajne tijekom 70-ih i 80-ih godina 20. stoljeća.

Kao i svako ozbiljno znanstveno promišljanje, tako su i ova znatno pridonijela unapređenju metoda istraživanja pa i samom razumijevanju niza, inače slabo ili pogrešno protumačenih fenomena. Teškoće s kojima se ovakvi postupci suočavaju, načelno govoreći, možemo sažeti na sljedeće:



Grčka kolonizacija
Sredozemlja

Natjecatelji su na
Olimpijske igre
stizali iz svih grčkih
kolonija



proučavanje novijih društava (suvišno je i isticati svu složenost odnosa koji se u društvu ostvaruju!) povezano je s obradom enormnih količina informacija, pri čemu problemi nastaju već pri njihovoj klasifikaciji. S druge strane, društva koja pripadaju daljoj prošlosti ostavila su za sobom tek malen dio ostataka koji nam mogu poslužiti kao izvori informacija – prapovijesna arheologija, primjerice, pokušava stvoriti modele društava – najčešće njihovih aspekata ili dijelova – koristeći materijalne ostatke i tragove jer pisanih podataka za društva kojima se bavi, naprosto nema.

Nosioci kulture

Paradoks s kojim započinjemo razmatranje sastojao bi se u sljedećem.

Svaka civilizacija, po definiciji, ima određeni skup svojstava, svoj prostor (koji može i dijeliti s drugim civilizacijama), kao i svoje trajanje. Samo postojanje u vremenu podrazumijeva da su nositelji civilizacije na određene načine umreženi, odnosno da postoje mnogostruki kanali kojima se ostvaruje, kako se najčešće kaže – protok ljudi, dobara i ideja. No unutar te umreženosti svakako ima posebno značenje ono što se najopćenitije može nazvati protokom informacija; za samu opstojnost određene kulture pak, ključnu važnost imaju načini čuvanja, podržavanja i obnavljanja svojevrstnih »informativskih paketa«, sklopova određenih predodžbi, vjerovanja, tumačenja i sl. koji su u temeljima religije, ideologije i poredaka svojstvenih za određenu civilizaciju.

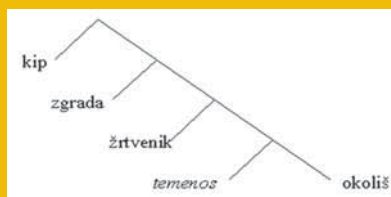
Stare ili, općenitije, predindustrijske civilizacije uistinu uspijevaju postići zavidnu ujednačenost čak i kada se šire na golemim prostranstvima.

One postižu trajno jedinstvo u mnogim aspektima duhovne i materijalne kulture (stari Egipat, drevna Kina, država Inka...).

Kada se pak поближе upoznamo s ovim civilizacijama uočiti ćemo da je jedinstvo često ograničena značaja. S jedne strane jedinstveni jezik (i način bilježenja podataka, odnosno pismo), može biti naprosto jezik vladajuće jezgre, odnosno jezik upravnog aparata i državnih ustanova uopćeno. Dojam jedinstva također stvaraju fascinanti spomenici, najčešće kulturni, kao i bezbrojni izvanredni primjerci umjetničkih izrađevina prepoznatljiva, specifičnog stila, simbolike i sl. Ta vrsta jedinstva je zapravo izraz dominacije elitnog vida kulture koji je tijesno povezan s vladajućim sustavom. Na nekoj, uvjetno rečeno, nižoj razini promatranja, moguće je zapaziti trajanje regionalnih specifičnosti koje mogu biti vrlo izražene.

S druge strane, čak i kada dolazi do 'dubinskog' ujednačavanja na velikim prostranstvima, uočavamo da je snažno izraženo djelovanje središta moći i da je komuniciranje izrazito neuravnoteženo, s potpunom prevagom središta u odnosu na periferiju. Na razini temeljnih jedinica, obiteljskih ili sličnih, te napokon na razini pojedinog pripadnika društva, ova neuravnoteženost je upravo drastična.

Kratko rečeno, to su pojave koje se već u »ideji« razlikuju od modernih sustava općenja. I upravo u ovom pogledu postaje nam zanimljiv starovjekovni grčki svijet. Taj se svijet naime odlikuje izvanredno homogenom kulturom unatoč činjenici da se širi na vrlo velikom prostranstvu i unatoč odsustvu političkog jedinstva u bilo kojem obliku. Za grčki svijet se ne može reći da je



Schema grčkog svetišta (P. Boudon, *Communications* 27, 1977., 133.)

svoje kulturno jedinstvo i svoju samosvijest postigao zahvaljujući djelovanju nekog žarišta moći i utjecaja, kao što bi se smjelo tvrditi u primjerima civilizacija koje smo prethodno spominjali.

Važnost *Ilijade* i *Odiseje*

Izvorno su Grci narod na području oko Egejskoga mora. Njihovo širenje započinje već u okvirima brončanodobne mikenske kulture u drugoj polovici 2. milenija pr. Kr., nastavljajući se tijekom slabije poznatog 'tamnog razdoblja' od 12. do 9. stoljeća. No prava ekspanzija započinje u 8. stoljeću s osnivanjem brojnih naseobina. Rezultat ovog procesa bilo je naseljavanje Grka u predjelima daleko od matičnoga područja. Grke tako nalazimo oko Crnog mora, na Cipru i južnim obalama Male Azije, u Egiptu i u sjeveroistočnoj Libiji, na našem Jadranu, na Siciliji i na jugu Apeninskog poluotoka, na južnim obalama današnje Francuske, a mjestimice i na mediteranskoj obali Španjolske.

Unatoč širenju na doista velikom prostoru, grčka kultura zadržava visoki stupanj jedinstva.

Za samo komuniciranje golemo značenje – iako ne uvijek presudno – ima jezik. I grčki jezik je imao svoje dijalekte koji su se međusobno mogli i podosta razlikovati. Zanimljivo je međutim da je upravo početak kolonizacijske »eksplozije« po prilici istovremen s općegrčkim prihvaćanjem homerske poezije, epova *Ilijade* i *Odiseje*, kao i niza djela koja su se na njih nadovezala. Za ovu pjesničku tradiciju je karakterističan dijalekt, koji se izdvojio kao poseban pjesnički jezik i bio kao takav prihvaćen posvuda među Grcima. Nije dakle samo predaja o podvizima i pustolovinama junaka povezanih s opsadom Troje postala opće i zajedničko helensko dobro, već je to postao i sam jezik. U konačnici, tijekom 4. stoljeća, gusta mreža najrazličitijih veza i odnosa koja se rasprostire grčkim svijetom osigurava i konačnu afirmaciju zajedničkoga književnog jezika, onoga

kojeg danas poznajemo (i eventualno učimo) kao starogrčki.

Zajedništvo grčkog svijeta očituje se inače u polju religije, kulta i obredne prakse te, dakako, mitova. No prividno, baš u ovom pogledu vlada krajnja šarolikost. Novija istraživanja su omogućila da se jasnije sagledaju aspekti koji ukazuju na postojane, sustavne relacije. Ne ulazeći u složeno dokazivanje na polju beskrajno razgranate grčke mitologije, ukazat ćemo na razmjerno jednostavan primjer sustava koji je u podlozi uređenja grčkih svetišta. Najjednostavniji opis bi glasio: kip božanstva (ili predmet koji ga simbolizira) nalazi se u zgradi (priprostoju i maloj ili u nečem poput Partenona u Ateni!), pred kojom je žrtvenik; zgrada i žrtvenik su na umjetno izdignutoj platformi, a ova se nalazi u posebno označenom, svetom prostoru (*temenos*).

Komunikacija preko granica

U kojoj mjeri se u ovom svijetu doista promišljalo i djelovalo »globalno« – dakle na razini njegova obuhvata i, eventualno, i izvan njegovih granica?

Osjećaj grčkog (helenskog) zajedništva općenito je jačao; teške kušnje i velike pobjede nad Perzijancima na istoku i nad Kartazanima na zapadu, u ranom 5. stoljeću, silno su pojačali osjećaj razlikovanja u odnosu na ne-grčki, barbarski svijet.

Grčki svijet je međutim bio umrežen i brojnim posebnim vezama među polisima, čak i vrlo udaljenima. S jedne strane su postojale trajne povezanosti matice i kolonija. S druge, uslijed uhdanih trgovačkih veza neki su međusobno vrlo udaljeni polisi podržavali vrlo srdačne odnose: kada je u ratu sa susjednim Grcima stradao, do tada bogati i moćni Sibarisi u južnoj Italiji, maloazijski Milećani su proglasili javnu žalost. Ili, kada su sam Milet osvojili i razorili Perzijanci, Frinij je napisao o tome tragediju: na izvedbi, Atenjani su se kolektivno rasplakali, zbog čega je autor pozvan na odgovornost.

Mogu poslužiti i primjeri iz političke (i ratne) povijesti. 460-ih godina, vodeći dugotrajnu borbu s Perzijskim Carstvom, Atenjani i njihovi brojni saveznici donose odluku podržati Egipćane koji su se pobunili protiv Perzijanaca. Čitava armada je poslana u Egipat, gdje je, naposljetku, doživje-

la strašan poraz. To nije uvjerilo Atenjane da su ovakve ekspedicije krajnje rizične. Godine 415. smatrajući da će svoje tadašnje neprijatelje Spartance definitivno obeshrabriti i natjerati da priznaju poraz, otpremaju veliku ekspediciju na Siciliju: držali su da će zauzimanjem Sirakuze i drugih tamošnjih grčkih polisa steći konačnu premoć, ne samo u grčkom svijetu nego i na Sredozemlju uopće. I taj je pothvat završio katastrofalno. Ali je činjenica da su u oba navedena slučaja, pothvati ostvareni u okvirima demokratskog poretka, što znači da se radi o »projektima« koji su morali proći redovitu proceduru, a napose žestoku raspravu i glasovanje u narodnoj skupštini, tijelu koje okuplja sve građane. Premda je jasno da su iza inicijativa stajale određene elitne skupine te da se u određenoj mjeri radilo i o manipuliranju masama – kao što se događa i danas – važna je spoznaja da su te mase imale prilično jasnu predodžbu o realnostima, kako o geografiji, tako i o logističkim problemima te da su nakon iznošenja argumenata i protuargumenata, na kraju donijele svoj sud.

Sliku mogu upotpuniti i pojave u drugom aspektu političkog života. Ideje i konkretne reforme političkog i pravnog poretka u grčkom svijetu šire se iz određenih žarišta, ukorjenjujući se u razmjerno kratkim razdobljima po čitavom grčkom svijetu. Primjerice, u 5. stoljeću se afirmira demokracija, no zajedno s njom i ideološka i politička konfrontacija s njoj suparničkim oligarhijskim poretkom. I ta konfrontacija ima »globalni« značaj i jako utječe na zbivanja u 5. i 4. stoljeću.

Važnost javnog mnijenja

Ono što napose fascinira u grčkom svijetu, svakako je nastanak svojevrsnog »javnog mnijenja«. U ozračju natjecateljskog duha, koji vlada među pojedincima, skupinama i političkim zajednicama, silno se nastoji promicati svoje ideje i afirmirati ugled u helenskom svijetu općenito. Poznato je da su čak i uzurpatori-tirani ulagali golemu sredstva da izgrade pozitivni *image*: atenski tiranin Pizistrat i njegovi sinovi (6. st.) sponzoriraju prvo zapisivanje Ilijade, a sirakuški tiranin Dionizije Stariji (4. st.), inače veliki vojskovođa i vladar čitavog imperija, potkraj života smatra svojim najvećim uspjehom dodjelu atenske nagrade za svoj književni rad.



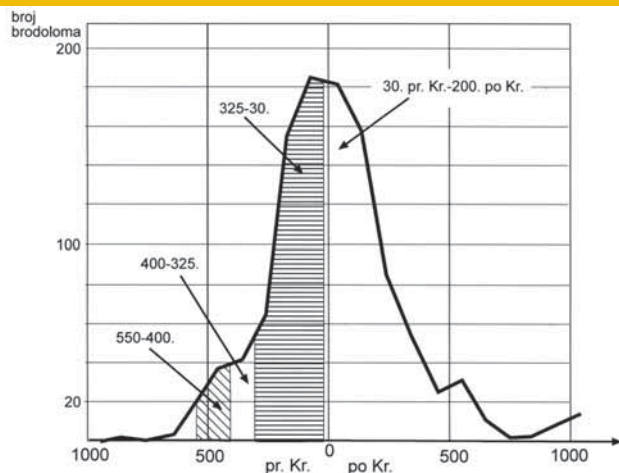
Helena Tomas

Isti ovaj Dionizije (zaslužan i za osnivanje grčkih naseobina na našim otocima Hvaru i Visu), povezuje se s još jednom zabavnom i ilustrativnom epizodom. Silno želeći afirmaciju, učinio je sve da njegov četveropreg pobijedi na trkama u okviru Olimpijade. U tom času ideološko-politički razdor u grčkom svijetu doseže vrhunac. Predvodnica oligarhijskog tabora, Sparta, trenutačno dominira Grčkom, a Dionizije joj pruža novčanu i vojnu pomoć. No grčka javnost se mahom okrenula protiv Sparte i njenih saveznika, poput Dionizija. I kada se tijekom trke dogodilo da je Dionizijev četveropreg izletio sa staze, deseci tisuća gledatelja su to popratili urnebesnim klicanjem.

Kad smo već kod Dionizija, nije suvišno spomenuti da je on, rekli bismo – u promidžbene svrhe, pozivao i ugošćivao Platona, tada već slavnog i u čitavom grčkom svijetu štovanog filozofa, uvjeravajući ga da je spreman reformirati svoju državu po njegovim savjetima.

O razmjerima i kvaliteti informiranosti može posvjedočiti i povijest Peloponeskog rata Atenjanina Tukidida, napisano oko 400. Pišući o spomenutoj tragičnoj atenskoj opsadi Sirakuze, Tukidid je pružio pregled povijesti Sicilije i osnivanja grčkih kolonija na njoj, a potom prikazao samu opsadu s nevjerojatnom preciznošću, tako da je do danas njegovo djelo ključni oslonac povjesničarima grčke Sicilije, ali i arheolozima koji istražuju Sirakuzu. No sam Tukidid tamo nikada nije bio: sve informacije prikupio je iz pisanih vrela i kazivanja upućenih.

Pogled na višku luku iz nekadašnje grčke kolonije Isse



BROJ BRODOLOMA – ODRAZ RAZVITKA POMORSKOG PROMETA NA SREDOZEMLJU
 Grafikon pokazuje broj brodoloma po četvrtinama stoljeća. Učestalost nalaza se pojačava s klasičnim dobom polisa (550.-325. g. pr. Kr.), a kulminira u helenističko doba (325.-30. g. pr. Kr.), te na početku Rimskog Carstva. A. J. PARKER, *Ancient Shipwrecks of the Mediterranean and the Roman Provinces*, Oxford 1992.

Koja je brzina širenja informacije?

Pokušajmo sagledati otkuda tolika *potreba* za komuniciranjem.

Radi se o poretku u kojem su praktički svi pripadnici zajednice zainteresirani sudjelovati u razmjeni dobara i usluga; s obzirom na politički i pravni vid uređenja, ako i ne mogu stalno i aktivno sudjelovati u javnom životu, svi su zainteresirani za razmjenu informacija o tom javnom životu. Budući da i same zajednice, polisi, nužno moraju održavati međusobno komuniciranje, gotovo neizbježno će informacije o raznim vidovima javnog života uključivati i one koje se tiču svijeta izvan polisa; u stvari, imajući u vidu razgranatost trgovačkih, političkih i kulturnih veza, to će značiti i informacije o dobrom dijelu Sredozemlja, pa i Bliskog istoka – imajući u vidu odnose s Perzijskim Carstvom na istoku.

No kakve su stvarne mogućnosti da se komuniciranje i ostvaruje?

Kao što smo napomenuli, prostor Sredozemlja u kojem se smjestio grčki svijet bio je za ondašnja sredstva prometovanja enormno velik. Kopneni promet se odvija brzinom pješaka i zaprežnih kola; samo iznimno važne poruke u izvanrednim okolnostima mogu se prenositi preko glasnikatrkača ili konjanika; jednostavni signali šalju se paljenjem vatri.

Na moru brzina prometovanja nije bitno veća. Antički ratni brodovi, istina, s obzirom na svoju građu i množinu veslača, mogu razviti zavidne brzine, ali samo na ograničenim razdaljinama. Atena, kao vodeća pomorska sila u 5. i dijelu 4. stoljeća raspolaže s dva posebna brza broda koja

uz pomoć jedara i vesala razmjerno brzo prenose važne poruke na većim udaljenostima. No to je apsolutna iznimka: grčka civilizacija živi od sporog prometovanja teretnih brodova koji, s obzirom na svoje navigacijske odlike i uvjete plovidbe u prosjeku postižu oko pet nautičkih milja na sat, odnosno oko pedeset na dan. Na nekim linijama, gdje se plovilo bez zadržavanja, danju i noću, uz očekivane konstantno povoljne vjetrove, moglo se za dvadesetčetiri sata postići oko stotrideset do stočetrideset nautičkih milja. U stvarnosti, imajući u vidu da sezona plovidbe počinje oko sredine proljeća i traje do sredine jeseni, računalo se da plovidbe do udaljenijih odredišta i povratak mogu ostvariti upravo unutar jedne plovidbene sezone. Ako obratimo pozornost na protok samih informacija, jednostavno rečeno, da bi vijesti o događajima iz istočne polovice Sredozemlja dospjele do Grka na zapadnom dijelu areala bili su potrebni tjedni, a u zimskom razdoblju i mjeseci. To je granica koju niti kasnije Rimsko Carstvo, uza sva nastojanja da barem za službene poruke osigura posebna sredstva, nije uspijevalo nadići. Kako pokazuje priloženi grafikon, teškoće i sporst nisu omeli buran razvoj pomorske trgovine.

Živa riječ – teatar, agora...

Općenje unutar polisa nužno je ograničeno na dva načina: živa riječ i pisani tekst. Sudjelovanje velikog broja ljudi u javnom životu podrazumijevalo je česta »zborovanja«: okupljanje svih građana u skupštinama, zasjedanja užih tijela (viječja), sudska zasjedanja (masovne porote i brojno slušateljstvo!), a napose obredna okupljanja u rasponu od onih koja se odvijaju na razini polisa do »lokalnih«; kao što je poznato, iz obrednih svečanosti razvile su se dramske igre koje će u grčkom svijetu uvijek zadržati javni značaj, do te mjere da se vlasti brinu za redovitost održavanja predstava, a čak i sasvim skromni polisi imaju neki prostor priređen da posluži kao teatar. Tehnički gledano, govornici su se mogli obraćati odjednom skupu od nekoliko tisuća ljudi. Uz pomoć posebnog uređivanja prostora radi poboljšanja akustike, moglo se – barem se vjerovalo – postići da govornika čuje deset tisuća ljudi. Aristotel je zato smatrao da je to ujedno i maksimalni broj građana za dobro uređeni polis; kako je golemu većina polisa imala znatno manje građana, čini se

da ovaj način komuniciranja nije predstavljao poseban problem.

No osim ovih institucionaliziranih vidova okupljanja, golemo značenje ima *agora*, glavni trg na kojem se u određeno doba dana uvijek nalazi mnoštvo ljudi. Bez obzira na službeno komuniciranje, agora je osiguravala neprekidni protok informacija i uvelike podržavala stvaranje svojevrsnog »javnog mnijenja«.

Pisana riječ – zakoni i odluke izloženi na javnim mjestima

Pismenost je imala iznimno vrijednu ulogu. Grčki svijet je od Feničana preuzeo alfabet, jednostavni način bilježenja glasova, još u 9. stoljeću, da bi već u 8. stoljeću nastao sustav pisanja izvanredno prilagođen grčkom jeziku. Arheološki nalazi svjedoče da su već sudionici prvih kolonizacijskih pothvata raspolagali razvijenim alfabetom i bili u stanju zapisivati i najsloženije poruke pa i poeziju.

Razvoj političkog sustava uz sudjelovanje velikog broja građana posebno je poticao pismenost. Važne odluke i zakoni naprosto su morali biti zapisani, ali nije bilo dovoljno da se takve tekstove zapiše na papirusni svitak i spremi u gradski arhiv. Bilo je prijeko potrebno da tako važni tekstovi budu trajno na javnom uvidu, što je i dovelo do pravila da se oni moraju postavljati na javnim mjestima u obliku natpisa na drvenim pločama, potom na kamenu. No u procesu demokratizacije javnog života bilo je također važno da građani imaju uvida i u tekstove odluka i zakona koji će tek biti predloženi za raspravu i glasovanje. Upravo zato je na atenskoj agori postojalo posebno uređeno mjesto, nalik na dugi zid na kojem su stajali kipovi desetorice atičkih heroja, gdje su se vješali natpisi na obijeljenim daskama, kako bi građani mogli, pojedinačno ili grupno, proučiti prijedloge o kojima se uskoro moraju izjašnjavati.

No ako zamišljamo da su, primjerice u Ateni, službeni natpisi bili nešto poput naših *Narodnih novina* u kojima se objavljuju tekstovi zakona i podzakonskih akata koje donose Sabor i izvršna vlast Republike Hrvatske, donekle se varamo. Čak i u polisima koji nisu imali razvijeni demokratski poredak, stupanj transparentnosti bio je daleko viši nego se to igdje danas u svijetu prakticira. Demokratska Atena je u tome prednjačila. Vječito pitanje svih političkih zajednica jest tro-

šenje javnih sredstava. Da bi se osiguralo striktno namjensko trošenje, nisu bile dovoljne razne provjere i prijetnje drakonskim kaznama u slučaju zloporabe pa se u samim aktima koji su sadržavali zaključak o dovršenju neke javne investicije često bili navedeni svi troškovi do vrijednosti jednog novčića (*obola*), uz poimenično navođenje svakog pojedinog posla i izvršitelja. Tako raspoložemo ulomcima natpisa na kojima su zabilježeni izdaci za izradu skulptura u vrijeme velikih gradnji na atenskoj Akropoli u drugoj polovici 5. stoljeća.



Marija Krnčević i Jelena Jović

Tek ako shvatimo da je građanstvo bilo naviklo na takvu kvalitetu i podrobnost informiranja, možemo shvatiti i mnoge aspekte grčkog političkog života.

Odnosi u polisima i među polisima

Pokušajmo sve sažeti. Još u ranijoj etapi klasičnog grčkog svijeta, u krugu jonske filozofije 6. stoljeća, stvorena je apstraktna predodžba odnosa u polisima. On je zamišljen kao kružnica u čijem središtu se nalazi moć (*kratos*), kojom nitko pojedinačno ne vlada, odnosno koja je jednako udaljena od svih uokolo – po tome je *kratos* zajednički (*koinon*). Iz toga logično proizlazi da je vladanje polisom zajednička stvar, a odlučivanje se može

Zeusovo svetište u Olimpiji gdje su se održavale Olimpijske igre

ostvariti jedino vijećanjem i izjašnjava-
njem o argumentima, sve do donošenja
odluka nekim racionalno uređenim po-
stupkom (procedurom). Iz ove perspek-
tive postaje sasvim jasno u kojoj mjeri je
presudan slobodan protok informacija.

Pogledajmo sada razmjer odnosa
izvan polisa. Ovdje je moguće razlučiti
nekoliko polja komuniciranja. Prije nego
navedemo ona koja nam se čine najvaž-
nijima, spomenut ćemo da je samo ra-
zlučivanje naše: sa stajališta starih Grka
stvari su zacijelo drukčije izgledale, u
što se i sami možemo uvjeriti zapaža-
jući teškoće na koje nailazimo kada po-
kušavamo »prevesti« grčke kategorije u
nama bliži svijet ideja.

Kolikogod su se polisi, osobito su-
sjedni, međusobno sukobljavali, komu-
niciranje pa i suradnja bili su neophodni.
Izravno općenje među polisima odvijalo
se na razini službenih odnosa, temeljem
odluka nadležnih tijela, putem pregovo-
ra i uglavljivanja odgovarajućih sporazu-
ma. Budući da je u stvarnosti potpuna
neovisnost mnoštva malih jedinica samo
teorijski moguća, postojali su od najra-
nijih vremena određeni oblici suživo-
ta, obično pod okriljem nekog kulta u
određenom šire štovanom svetištu. U 6.
st. nastaje Peloponeski savez pod vod-
stvom Spartanaca, a u 5. i ponovno u 4.
st. razvijao se veliki savez pod vodstvom
Atenjana. Iako su, osobito Atenjani, po-
kušavali dokinuti potpunu autonomiju
polisa unutar svoga saveza, načelno se
polis sve do rimskog doba opire takvim
pokušajima. On nastoji voditi svoju vanj-
sku politiku, zadržati isključivo pravo
svojih građana na posjedovanje nekret-
nina, pravo kovanja srebrnog novca i sl.,
a ako se prave ustupci, onda se to čini
temeljem posebnih, najčešće bilateral-
nih sporazuma s osobito prijateljskim
polisom.

No postoji i drugi vid vanjske poli-
tike. Uslijed isprepletenosti odnosa i
nepredvidivosti događanja, bilo je neza-
misljivo da skromna zajednica uspostavlja
neku posebnu službu ili tijelo koje bi se
bavilo bezbrojnim pitanjima koja su se

svakodnevno javljala u toj sferi. Dovolj-
no se prisjetiti činjenice da je ovo svijet
kojim se mnogo putuje i trguje, što znači
da se lako može dogoditi da Grk, zate-
kavši se u polisu X, daleko od svog poli-
sa Y, zapadne u neke nevolje, eventualno
krivicom Grka iz polisa Z. Kako dobiti
materijalnu pomoć, smještaj, pravnu
zaštitu? Jedan od najučinkovitijih načina
koji je ujedno izvanredno ilustrativan za
grčki sustav komuniciranja, jest ustano-
va *proksenije*. Posebice u znatnijim (dakle
i prometnijim) polisima bilo je uglednih
i svakako imućnih građana koji su sma-
trali čašču da zastupaju interese građana
nekog stranog polisa. Često se ta čast
prenosila u istoj obitelji kroz generacije,
osiguravajući tako da veza bude opće-
nito poznata i čvrsta, zacijelo djelujući
učinkovitije od suvremenih konzularnih
predstavništava.

Konkretno je to značilo da čak i slu-
čaju da među polisima X i Y vlada ratno
stanje, građanin polisa Y koji se zatekao
u polisu X svedeno može računati na
to da će se njegov moralni i materijalni
integritet poštovati.

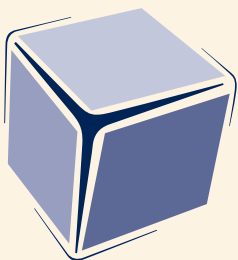
Valja istaknuti barem još jedan vid
»intenzivnog« komuniciranja. Već spo-
minjana redovita kulturna događanja, is-
punjala su godišnji kalendar svakog po-
lisa, svakog pojedinog njegovog dijela pa
i gradskih četvrti kao i sela po okolici.
No za grčki svijet u cjelini, golemo zna-
čenje ima afirmacija panhelenskih kulto-
va i s njima povezanih svečanosti (svaki
helenski polis je uredno slao ugledno
poslanstvo u proročište u Delfima!),
uključujući atletska i druga natjecanja.
Najpoznatije su razumljivo Olimpijske
igre, no svegrčki karakter su imale i Pi-
tijske u Delfima, Istamske kod Korinta
i Nemejske u Argolidi. Karta koja po-
kazuje samo podrijetlo *pobjednika* na
Olimpijadama klasičnoga doba dovoljno
svjedoči o povezanosti grčkog svijeta.
Ovaj vid zajedništva je zanimljiv zbog
repetitivnosti, redovitosti održavanja u
utvrđenim terminima koje ni najžešći
ratovi nisu mogli zaustaviti.

Dostignut domet postmodernog svijeta

Pokušajmo ukratko izložiti.

Društveni poredak, odnosno organi-
zaciju društva grčkog svijeta, kako smo
pokazali, nije bilo moguće ostvariti i re-
producirati tijekom dugih stoljeća bez
sustavnog komuniciranja. Rascjepkanost
na razini političkih jedinica i sudjelovanje
množine građana unutar svake jedinice,
naprosto je zahtijevalo »umreženost«.
Nadam se, da se iz ovih nekoliko šturih
natuknica i malobrojnih primjera ipak
razabire kako je unatoč primitivnim teh-
nikama komuniciranja, ostvaren zavidan
rezultat. Taj uspjeh je zapravo povodom
da razmišljamo i o nekim važnim pitanji-
ma današnjeg, ali i budućeg svijeta ko-
jemu pripadamo. Uočljivo je, naime, da
je zacijelo najviši domet predmodernog
komuniciranja uopće, postignut u kri-
lu grčkog svijeta ostvaren zahvaljujući
tome što je postojao jedinstveni jezik
(i pismo), institucije koje su afirmirale
zajedništvo, razmjerno visok stupanj
prosječne obrazovanosti građana, ali
možda i ponajviše, zahvaljujući tome što
je riječ o svijetu čije su jedinice dijelile
iste ili slične temeljne vrijednosti i ideje.
U neku ruku, nije pretjerano kazati da je
nisku tehničku razinu nadomještalo ovo
drugo i to s priličnim uspjehom.

Ako iz toga valja izvlačiti neki zaklju-
čak vrijedan da se njime bavimo promi-
šljajući probleme suvremenog svijeta,
opredijelili bismo se za sljedeće. Čini
se, naime, da se istinski vrijedni učinci
globalnog povezivanja mogu očekivati
ne samo kroz znanstveno-tehnološki
napredak, nego bi nam morala biti važna
i druga strana stvari. Ako nam znanost
s vremenom osigura premošćivanje je-
zičnih prepreka, još uvijek ostaje silno
važna potreba da se u svijetu ostvare
ustanove koje će jamčiti slobode i inte-
gritet ljudi te da neke temeljne vrijed-
nosti prevladaju kao zajedničko dobro
čovječanstva. 🙏



Sustavi
ZNAJSTVENI POPULARNI ČASOPIS ZA RAZUMJEVANJE SUSTAVA

Nagradna igra

U članku o inverznom njihalu prikazana je ruka u trenutku kada olovka stoji uspravno. Nagradni zadatak je da to napravite i sami! Dakle: postavite zašiljeni vrh olovke na prst i snimajte (vi sami ili netko drugi) koliko dugo držite tako olovku na prstu. Pritom se možete kretati kako god vam odgovara dok je olovka na prstu cijelo vrijeme u kadru.

Na ured@idd.hr nam pošaljite snimku te ime i prezime kao i kontakt podatak spretnog držača olovke.

Nagrađujemo dvoje učenika ili učenica koji najdulje uspiju zadržati olovku na prstu.

Nagradu čine godišnje izdanje (4 broja) časopisa Sustavi i prva nagrada MP4 player, druga nagrada USB.

Dobitnicu ili dobitnika nagrade će među pristiglim odgovorima izvući uredništvo, što će biti objavljeno u broju 5.



SOBNI SUSTAV



*Hm ... Kako bih li se samo predstavio?
Sobovi su ipak osebujne osobe...*



Ups! Već me snimaju!



Ummmm ... Ja sam Sob. Ne znam baš puno o sustavima, ali su mi rekli da ću vas morati voditi sa sobom kroz ovaj sobni sustav ...



- ☞ Časopis *Sustavi* izlazi **četiri puta godišnje**.
- ☞ Cijena časopisa iznosi **18 kn**.
- ☞ Pretplata za 2008. godinu iznosi **60 kn** (uključuje 4 broja i poštarinu).
- ☞ Časopis *Sustavi* možete naručiti putem naše **narudžbenice**.
- ☞ Pretplatu za 2008. godinu uplaćujete na žiro račun Hrvatskog interdisciplinarnog društva: **2360000-1101860595**.
- ☞ Potvrdu o uplati (kopiju ili scan uplatnice, ispis naloga internetske uplate, ...) pošaljite na adresu Hrvatskog interdisciplinarnog društva: **Šimunčevečka c. 38b, 10 360 Sesevete**, ili ured@idd.hr
- ☞ www.idd.hr, ured@idd.hr