

# RAČUNALNIŠTVO, INFORMACIJSKA ZNANOST IN INŽENIRSTVO – ZIDAKI NOVE ZNANSTVENE REVOLUCIJE

**Tvrtko M. Šercar**

Institut informacijskih  
znanosti, Maribor

Kontaktni naslov:  
tvrtko.sercar@izum.si

## Izvleček

Osnova nove revolucije v znanosti je premik od uporabe računalništva kot podpore raziskovalnega dela k integraciji konceptov, orodij in teoremov računalniške znanosti v samo strukturo vseh drugih znanosti. Podani so mejniki v razvoju znanstvenega računalništva. Računalništvo, informacijska znanost in inženirstvo so omogočili velikanske spremembe tudi v izobraževanju. Informacijska tehnologija je omogočila razvoj nanotehnologije, nanotehnologija pa povratno razvoj nove informacijske tehnologije (kvantni računalnik). Velikanske baze podatkov, ki jih generirajo avtomatizirani znanstveni instrumenti (npr. v astronomiji in biologiji) zahtevajo uporabo superračunalnikov in laboratorijskih robotov za obdelavo ogromne količine podatkov in rezultatov. Močno raziskovalno sredstvo je tudi internet. Pojavila so se raziskovalna dela novega tipa, ki nastajajo na osnovi rudarjenja po bazah podatkov in se je s tem v zvezi pojavil problem ponovljivosti postopka zbiranja podatkov na isti način. Vse pogostejša praksa v znanstvenem komuniciranju so elektronski preprinti, ki se objavljajo v digitalnih repozitorijih. Nova praksa znanstvenega komuniciranja terja nove standarde za izmenjavo podatkov in semantične slovarje kontroliranih izrazov. Spoznanje o povezanosti gospodarske rasti in vlaganj v R&R je usodnega pomena za celotni razvoj. Nekateri najnovejši primeri v ZDA kažejo na pripravljenost izvršne oblasti, da prepreči informiranje najširše javnosti o odkritjih tudi na področju naravoslovja.

## Ključne besede

filozofija informacij in računalništva, računalništvo, računalniška znanost, inženirstvo, znanosti, nova znanstvena revolucija

## Abstract

The new revolution in science is based on a shift from computational science supporting research towards an integration of concepts, tools and computer science theorems into the very structure of all other sciences. The milestones in the development of scientific computing are indicated. Computational science, information science and engineering have also brought about huge changes in education. Information technology has facilitated the development of nanotechnology and nanotechnology, in turn, the development of new information technology (quantum computers). Enormous databases generated by automated scientific instruments (e.g. in astronomy and biology) require the use of supercomputers and laboratory robots to process huge quantities of data and results. Internet is another powerful research tool. A new, data mining-based type of research has appeared, causing problems of data collection process repeatability. Electronic preprints, deposited in digital repositories, are becoming an increasingly frequent practice in scientific communication. Such new scientific communication requires new data sharing standards and semantic dictionaries of controlled terms. Understanding the correlation between economic growth and investment in R&D is crucial for the overall development. Some recent examples in the USA indicate readiness of the executive branch to deprive the general public of information concerning natural science discoveries.

## Keywords

philosophy of information and computing, computing, computer science, engineering, sciences, new scientific revolution

## KAJ DANES POMENI BITI IZOBRAŽEN

Nezaslišan napredek znanosti, tehnologije in inženirstva prinaša nove možnosti za podaljšanje življenja, zdravljenja, ohranjanja zdravja, pospešuje gospodarsko rast, temeljito spreminja proizvodnjo in poslovanje, preoblikuje demokratične procese, ščiti naravno okolje, krepi obrambo države in nasploh izboljšuje vsakdanje življenje. Biti izobražen je nekoč pomenilo poznati zgodovino, književnost in umetnost, danes pa oseba ni izobražena, če ni razgledana tudi v znanosti in tehnološko pismena (The 2020 Commission on Science and Technology of Virginia University, 2001).

Floridi v svojem zadnjem članku (2007) pravi, da se kot informacijski filozof ukvarja z novim svetovnim nazorom, ki ga oblikujeta informacijska in komunikacijska tehnologija kot tehnologija reontologizacije in vplivata na naša življenja. Drugim, ki znajo to bolje kot on (kot so npr. O'Reilly, 2005; Microsoft Research, 2006; Nature, 2006), pa prepušča predvidevanje razvoja znanosti in tehnologij. Duhovito ugotavlja, da obstajata dve vrsti predvidevanj: napačna in srečna.

## ZIDAKI NOVE ZNANSTVENE REVOLUCIJE

Julija 2005 se je sestala skupina znanstvenikov z mednarodnim ugledom in razpravljala o prihodnosti znanosti do leta 2020 (Microsoft Research 2006), posebej o vlogi in vplivu računalništva in računalniške znanosti na druge znanosti. Skupina je izpostavila sedem glavnih ugotovitev:

1. Dogaja se premik od uporabe računalništva kot podpore raziskovalnega dela k vključevanju konceptov, orodij in teoremov računalniške znanosti v samo strukturo znanosti. Ta razvoj je osnova nove revolucije v znanosti.<sup>1</sup>
2. Računalniška znanost je postala osnova za biologijo, kot je npr. matematika za fiziko. Obstaja fundamentalna podobnost med molekularnimi stroji živih celic in računalniškimi avtomati, med računalniško algebro in biološko signalizacijo ter med računalniškimi logičnimi tokokrogi in regulatornimi sistemi v celicah. To je izhodiščna točka za povsem nov razvoj v biologiji, biotehnologiji in medicini.
3. Koncepti in orodja računalniške znanosti oblikujejo tretjo vitalno komponento zlatega trikotnika, ki ga tvorijo nove matematične in statistične tehnike v znanosti, znanstvene računalniške platforme in aplikacije, integrirane v eksperimentalno in teoretično znanost.
4. Brez obotavljanja je treba na novo preučiti naša stališča o računalniški znanosti ter vključiti nova konceptualna in tehnološka sredstva računalniške znanosti v

druge znanosti. Računalniška znanost je poleg eksperimentov in teorij tretji steber znanosti.

5. Računalniška infrastruktura, ki povezuje podatke, znanje in znanstvenike, vodi k preoblikovanju znanstvene komunikacijske paradigme, zlasti znanstvenega publciranja.
6. Ta razvoj ni samo izhodišče za razvoj biologije, biotehnologije in medicine, ampak tudi za razvoj računalništva. Novo pojmovanje in znanje o bioloških procesih so novi zidaki naslednjega stoletja računalništva.
7. Znanstveniki naj bi bili računalniško in matematično pismeni, to pa ima velike posledice za politiko izobraževanja. Nova znanstvena paradigma pomeni tudi novo ekonomsko dobo „inovacij, temelječih na znanosti“, ki so pol stoletja prej temeljile na tehnologiji. Zahvaljujoč tej spremembi je pred nami novi val socialne, tehnološke in gospodarske rasti.

Po mnenju članov skupine predstavlja kulminacijo ugotovitev načrt *Towards 2020 science: A draft roadmap*, ki stimulira razpravo in usmerja znanstvenike, politike in vlade kot tudi inspirira današnje otroke, da postanejo jutrišnji znanstveniki.

Iz teh ugotovitev je skupina izpeljala tri zaključke:

1. V znanosti se začne nova revolucija. Zidaki te revolucije so koncepti, orodja in teoremi računalniške znanosti.
2. To je izhodišče za fundamentalni napredek v biologiji, biotehnologiji in medicini ter za razumevanje sistemov, ki podpirajo življenje na zemlji in od katerih je odvisna usoda našega planeta in naše vrste.
3. Ne smemo spregledati pomembnosti stičišča računalništva, računalniške znanosti in drugih znanosti.

Skupina je izpostavila tudi 10 priporočil za znanstveno skupnost, politike in predsednike vlad:

1. Postaviti znanost in inovacije, temelječe na znanosti, na vrh političnega programa.
2. Takoj znova premisliti način, na kakšen način izobraževati jutrišnje znanstvenike.
3. Pritegniti javnost v znanost.
4. Na novo premisliti, kako financirati znanost in programe znanstvene politike.
5. Ustanoviti nove vrste raziskovalnih inštitutov.
6. Na novo spodbuditi računalniško znanost, da se spoprime z "velikimi izzivi".
7. Pognati razvoj novih konceptualnih in tehnoloških orodij.
8. Razviti inovativno partnerstvo med javnim in privatnim sektorjem in tako pospešiti na znanosti temelječe inovacije.
9. Najti boljše mehanizme za finančno vrednotenje inte-

lektualne lastnine, temelječe na znanosti.  
10. Uporabiti ugotovitve skupine, ki je pripravila dokument *Towards 2020 science*.

## MEJNIKI V RAZVOJU ZNANSTVENEGA RAČUNALNIŠTVA

Ruttmannova (2006) je pripravila naslednjo kronologijo mejnikov v znanstvenem računalništvu:

- |      |  |      |  |
|------|--|------|--|
| 1946 | prvi elektronski digitalni računalnik ENIAC, projektiran za balistične izračune  | 1976 | S. Cray pri Los Alamosu instalira prvi superračunalnik Cray  |
| 1951 | M. Minsky skonstruira SNARC, prvi stroj za oponašanje mreže nevronov   | 1983 | D. Hillis razvije Connection Machine, prvi superračunalnik za paralelno procesiranje (uporablja se za umetno inteligenco)                          |
| 1954 | J. Backus s svojim timom pri IBM-u začne razvijati programski jezik fortran  | 1985 | NSF v ZDA ustanovi 5 nacionalnih centrov za superračunalništvo   |
| 1956 | prvi računalnik za šah MANIAC (Leta 1996 je računalnik IBM Deep Blue porazil svetovnega prvaka v šahu Garija Kasparova.)   | 1989 | T. Berners-Lee pri CERN-u razvije svetovni splet (WWW) kot pomoč fizikom povsod po svetu za sodelovanje v raziskavah                               |
| 1959 | J. Kendrew uporabi računalnike za izdelavo atomskega modela myoglobina z uporabo kristalografskih podatkov   | 1990 | bioinformacijski program BLAST za hitro iskanje sekvenc aminokislin in lužnih parov  |
| 1962 | Ch. Molnar in W. Clark pri MIT-ju sprojektirata računalnik LINC za raziskovalce v National Institutes of Health (NIH), prvi računalnik za obdelavo podatkov v realnem času | 1996 | G. Woltman skombinira različne baze podatkov in lansira Great Internet Mersenne Prime Search   |
| 1963 | Raicho Arm, prvi robot, ki ga upravlja računalnik  | 1996 | C. Venter razvije tehniko, ki uporablja računalnike za sestavljanje velikih fragmentov kode DNA in pospeševanje sekvencioniranja človeškega genoma |
| 1966 | C. Levinthal pri MIT-ju sprojektira prvi program za prikazovanje in prepoznavanje beljakovinskih struktur  | 1998 | prvi delovni kvantni računalnik, ki temelji na nuklearni magnetni resonanci  |
| 1967 | ARPANET, predhodnik interneta  | 2001 | v ZDA se začne projekt National Virtual Observatory, njegov cilj je razviti metode za rudarjenje velikih naborov astronomskih podatkov             |
| 1969 | S. Manabe in K. Bryan objavita model, ki je kasneje uporabljen za simulacije vremena (le-te so postale učinkovito orodje za raziskave globalne otopleitve)                 | 2001 | NIH lansira Biomedical Informatics Research Network (BIRN), mrežo superračunalnikov za vzajemno izmenjavo podatkov med številnimi institucijami    |
| 1971 | prototip prve naprave za računalniško tomografijo (CT)   | 2002 | na Japonskem začne online delovati Earth Simulator, ki izvaja 35 milijard izračunov v sekundi za modeliranje planetarnih procesov                  |
| 1971 | v ZDA ustanovljena banka podatkov o beljakovinah   | 2005 | računalnik IBM za modeliranje obnašanja nevronov v neokorteksu (novi možganski skorji – najbolj zapletenemu delu možganov)                         |
| 1972 | Hewlett Packard lansira HP-35, prvi ročni znanstveni kalkulator  | 2007 | začne delovati največji akcelerator za delce pri CERN-u.   |

## KVANTNI RAČUNALNIK

Različnosti makroskopskih bioloških, kemijskih in fizičnih lastnosti substanc povzročajo zapletene interakcije med relativno majhnim številom atomskih elementov in njihovimi okolji. Nanotehnološki instrumenti, tehnike in naprave omogočajo opazovanje in sestavljanje elementov

na atomskem nivoju, tako da raziskovalci lahko testirajo hipoteze in gradijo nove snovi in naprave. Rezultat tega je bil nastanek novega znanstvenega področja kvantne in nanoznanosti ter inženirstva, ki vključuje sintezo in vzpostavljajanje sistemov velikih od nekaj atomov do 100 (tj. 1–100 nanometrov). Posledice so revolucionarne, saj je nanotehnologija bistveno premaknila meje raziskovanja v znanostih o življenju, biokemiji, kemijskem inženirstvu, fiziki, kemiji, elektrotehniki in znanosti o materialih.

Razvoj nanotehnologije je omogočila informacijska tehnologija. Zdaj pa je nanotehnologija omogočila razvoj nove informacijske tehnologije. Sodobni digitalni računalniki temeljijo na klasični binarni logiki, po kateri je vrednost bita 0 ali 1. Raziskovalci danes proučujejo uporabo kontroliranih kvantnih sistemov in kvantne binarne logike, kubitov, ki imajo lahko istočasno vrednosti 0 in 1, za razvoj analognih kvantnih računalnikov, sposobnih reševati probleme, ki jih zaradi njihove zapletenosti ne more rešiti noben sodoben računalnik s klasično arhitekturo.

Odnos med znanostjo in računalništvom je dvosmeren (Foster, 2006). Če je stopnja napredka v računalniški industriji dober kazalec, bodo čez 15 let nanotokokrog stvarnost in je povsem mogoče, da bomo leta 2020 uporabljali kvantni računalnik, kot napoveduje Foster, vendar je razvoj na tem področju očitno hitrejši, kot se pričakuje, saj je bila namreč že 14. 2. 2007 predstavitev kvantnega računalnika Orion v živo. Razvila ga je družba D-Wave Systems iz Britanske Kolumbije in predvideva se, da se bo uporaba novega kvantnega računalnika začela v prvi četrtini leta 2008 (Kanellos, 2007). Proizvajalec ga bo dajal v najem kot "storitev", ne bo ga pa prodajal kot proizvod, kar se ujema z napovedjo O'Reillyja (2005), da bo to praksa v prihodnosti.<sup>2</sup>

## SPREMEMBE V IZOBRAŽEVANJU

Izhodišče Komisije za znanost in tehnologijo do leta 2020 na Univerzi v Virginiji (2001) je, da so računalništvo, informacijska znanost<sup>3</sup> in inženirstvo (Computer and Information Science and Engineering – CISE) omogočili velikanske spremembe tudi v izobraževanju. Ne gre samo za to, da informacijska tehnologija zagotovi študentom tradicionalne informacije čim bolj učinkovito. Informacijska tehnologija predvsem spreminja način, na katerega ljudje vstopajo v odnos z informacijami in drug z drugim. Informacijska tehnologija je preoblikovala način, kako poučujemo, kako se učimo in kako gledamo na naše izobraževalno poslanstvo: razviti CISE in jih vključiti v vse učne programe.

Eden izmed izzivov je razviti uspešen model za izgradnjo mostov med računalništvom, informacijsko znanostjo,

inženirstvom in drugimi disciplinami. Uspešen model lahko razvijejo samo strokovnjaki za CISE. Model, po katerem naj bi razvijali uporabo tehnologije ljudje brez ustreznih kvalifikacij za CISE, ni dober. Nova tehnologija vključuje znanje s področja CISE, ki praviloma ni starejše od 5 do 10 let. Obstoječi tehnologiji je lastno, da omejuje kreativne možnosti. Strokovnjaki za CISE pa so tisti, ki posedujejo znanje za projektiranje novih orodij po novi znanstveni paradigmi.

Partnerstvo med strokovnjakom CISE ter učiteljem in znanstvenikom z drugih področij je nuja. Znanja CISE so že globoko spremenila naravo znanstvenih raziskav. Modeliranje, vizualizacija, algoritmi in računalniki velikih zmogljivosti so uvedli računalništvo kot tretjo paradigmo znanstvenega raziskovanja poleg eksperimentiranja in teorije. Računalniško modeliranje prispeva tako h kvantnim in nanoraziskavam kot tudi k biološkim raziskavam. Reševanje problemov na področjih, kot so zgodovinopisje, arhitektura, pravo, jeziki in študij religije, v sodelovanju s strokovnjaki CISE kot partnerjem preoblikuje ta področja in odpira nove poti za raziskave CISE.

## EKSPLOZIJA ZNANSTVENIH INFORMACIJ

Znanstveniki danes uporabljajo avtomatizirane instrumente za zbiranje znanstvenih podatkov. En sam eksperiment v biologiji lahko generira več kot 1 GB podatkov dnevno, avtomatizirano zbiranje podatkov v astronomiji pa več kot 1 TB podatkov v eni noči. Gre za največjo eksplozijo znanstvenih informacij v zgodovini. V 21. stoletju bodo računalniki imeli še bolj pomembno vlogo tudi pri avtomatiziranem zastavljanju hipotez iz podatkov in odnosov med njimi v relevantnih bazah, pri testiranju hipotez in pri integraciji znanstvenih modelov, ki so bili do sedaj pogosto nekompatibilni. Velikanske baze podatkov, ki jih generirajo avtomatizirani instrumenti, zahtevajo tudi avtomatizirano oblikovanje računalniških modelov znanstvenih podatkov, saj je ta količina podatkov in rezultatov brez uporabe računalnikov in laboratorijskih robotov neobvladljiva s tradicionalnimi metodami obdelave podatkov (Mugleton, 2006).

Za predvidevanje kvantitativnega vedenja bioloških sistemov, ki ga močno determinira genom kot "centralno shranjen program", ter za globlje razumevanje in grafične prikaze bioloških funkcij potrebujemo formalizme iz računalništva, saj se pomen biološkega vedenja molekul ne da opisati z uporabo naravnega jezika (Brent in Bruck, 2006).

V prihodnje bo treba rešiti zlasti dva problema. En problem je, da v tem hipu pogosto ni možna ponovitev nekaterih eksperimentov. Drugi problem je pomanjkanje stan-



dardnih formatov za izmenjavo podatkov med različnimi raziskovalnimi skupinami.

Močno raziskovalno sredstvo je tudi internet, ki je veliko več od njegovih delov (računalniki + omrežja + ljudje). Čež 15 let bomo imeli procesorsko moč 1000-krat večjo kot danes in še večjo rast števila mrežno povezanih naprav (Vinge, 2006).

## RUDARJENJE IN ELEKTRONSKI PREPRINTI

Veliko znanstvenikov ne izvaja več eksperimentov na stari način. Namesto tega rudarijo po dostopnih bazah podatkov. S tem v zvezi se zastavlja več vprašanj. Hitrost interneta ne spremlja rasti naborov znanstvenih podatkov in so veliki arhivi podatkov zaradi tega "izolirani" glede na uporabljivost. Zastavlja se tudi vprašanje objavljanja člankov, ki so nastali s pomočjo rudarjenja, saj v članku uporabljeni podatki niso dosegljivi neposredno in mora bralec ponoviti postopek rudarjenja. Za ponovljivost bo treba zagotoviti arhiviranje tako podatkov kot orodij. Publiciranje je po večini elektronsko, novi pa so tudi načini, kot je objavljanje elektronskih preprintov v repozitorijih (npr. arXiv.org), vendar še ne obstaja standard za publiciranje velikih zbirk podatkov. V prilozi k članku namreč ne gredo vsi podatki, ki so potrebni za ponovitev rezultatov. Vse to zahteva nove standarde za izmenjavo podatkov in semantične slovarje kontroliranih izrazov (Szalay, 2006).

## POVEZANOST GOSPODARSKE RASTI IN VLAGANJ V R&R

Gospodarska rast v državah OECD (OECD, 2006) je v nekaj zadnjih letih pozitivno vplivala tudi na vlaganja v znanost, tehnologijo in inovacije. Čeprav so glavne regije OECD imele različno stopnjo rasti, so poslovna vlaganja rasla in se je povečevala potrošnja povsod, predvsem v ZDA. To je terjalo inovativne proizvode, procese in storitve in s tem tudi povpraševanje po znanstvenem in tehnološkem znanju. Izboljšana profitabilnost korporativnega kapitalizma je utirala pot povečanim vlaganjem v intelektualno premoženje, vključno z R&R, človeškimi viri in intelektualno lastnino. Obeti za nadaljnje povečevanje vlaganj v znanost, tehnologijo in inovacije so ugodni, čeprav obstaja tudi tveganje. V državah OECD je za obdobje 2006–2007 načrtovana realna gospodarska rast povprečno triodstotna, vendar lahko negativne zunanje trgovske bilance posameznih držav OECD, rast stroškov za energijo in drugi dejavniki rizika spodkopljejo pričakovano rast in negativno vplivajo tudi na bodoča vlaganja v znanost, tehnologijo in inovacije. Najvišjo letno stopnjo rasti vlaganj v R&R so v preteklem obdobju imele ZDA (4 % v obdobju 2002–2004), potem EU-25 (2,3 % v obdobju 2000–2003) in Japonska (2,1 % v obdobju 2000–

2004). V letu 2004 je Japonska dosegla intenziteto R&R v BDP 3,13 odstotka, ZDA 2,68 odstotka in EU-25 1,81 odstotka. Nižja intenziteta R&R v EU-25 je poleg strukturnih dejavnikov posledica relativno majhne proizvodnje informacijske tehnologije in storitvenega sektorja, predvsem pa majhnih vlaganj zasebnega sektorja v raziskave in inovacije v nekaterih državah EU. Kot je videti, je povezanost gospodarske rasti in vlaganj v R&R usodnega pomena za celotni razvoj.

## GROŽNJE NEODVISNOSTI ZNANOSTI

Toda opaziti je mogoče tudi pojave neupoštevanja znanstvenih spoznanj (Nature, 2006). Znanstveniki v ZDA so namreč prepričani, da je neodvisnost znanosti ogrožena v državnih znanstvenih institucijah. Tega mnenja je tudi Davide Baltimore, Nobelov nagrajenec za biologijo in predsednik Ameriške asociacije za napredek znanosti (AAAS). Pomembnejše državne znanstvene institucije v ZDA, kot so NASA, NSF in NIH, so deli izvršne oblasti, kar pomeni, da naj bi zaposleni bili odgovorni samemu predsedniku ZDA. Obstajajo primeri, ki dokazujejo da vladni "varuhi" cenzurirajo in manipulirajo z rezultati raziskovalnega dela. Baltimore je mnenja, da omejevanje znanosti ni naključno. To je del vedno bolj razširjene teorije, po kateri se izvršna oblast lahko izogne zakonodajni in sodni oblasti in vlada sama. Vlada ZDA je včasih pripravljena ne samo ignorirati znanstvena dejstva pri odločanju, ampak tudi prepričati informiranje širše javnosti o odkritjih, ki niso v skladu z vladnimi prioritetami. Tako je NASA – kot da bi živeli v predrazsvetljenski dobi – preprečila svojemu sodelavcu J. Hansenu, strokovnjaku za klimo, da v intervjuju za medije spregovori o povezanosti uraganov s klimatskimi spremembami in otoplitvijo, vlada ZDA pa, kot je znano, to povezanost zanika.

## ZAKLJUČNA MISEL

Trenutna informacijska eksplozija, nova znanstvena revolucija in povezanost gospodarske rasti in vlaganj v R&R terjajo od vseh akterjev, da v svojih strategijah za 21. stoletje upoštevajo ta dejstva. Znanstveniki pa se morajo aktivno spoprijeti s pojavom vmešavanja izvršne oblasti ter se boriti za neodvisnost in svobodo v znanosti.

## Opombe

- 1 Primere povezanosti znanosti je Rinia (2007) predstavil analitično kot razmerje med različnimi tipi interdisciplinarnosti in tipi inovacij. Obstajata "mala" in "velika" interdisciplinarnost ter socialne, ekonomske in tehnološke inovacije. "Mala" interdisciplinarnost je povezovanje specialnosti znotraj neke širše discipline. "Oddaljenost" med temi specializacijami je majhna. "Velika" interdisciplinarnost je povezovanje različnih znanstvenih disciplin,

med katerimi je "oddaljenost" velika. Tabela prikazuje shematski prikaz odnosov s tipičnimi primeri.

Interdisciplinarnost Inovacije	Mala	Velika
	Znanstvene	Biološka fizika
Socialne, ekonomske, tehnološke	Nuklearna magnetna resonanca	Raziskave jedrske cepitve

- 2 IZUM programsko opremo COBISS ponuja kot "storitev" in ne kot "proizvod" že preko 20 let.
- 3 Zins (2007) predlaga preimenovanje informacijske znanosti (angl. *information science*) v znanost o znanju (angl. *knowledge science*).

## Reference

- [1] Brent, R. in Bruck, J. (2006). Can computers help to explain biology? *Nature*, 23 March, 416–417.
- [2] Floridi, L. (2007). A Look into the Future Impact of ICT on Our Lives. *The Information Society* 23, 59–64.
- [2] Foster, I. (2006). A two-way street to science's future. *Nature* 23 March, 419.
- [4] Kanellos, M. (2007). Start up demos quantum Computer.
- [5] Dosegljivo na spletnem naslovu: [http://www.news.com/2102-1008\\_3-6159152.html](http://www.news.com/2102-1008_3-6159152.html) (14. 2. 2007).
- [6] Microsoft Research (2006). Towards 2020 Science. Microsoft Corporation.
- [7] Dosegljivo na spletnem naslovu: <http://research.microsoft.com/towards2020science/background.overview.htm> (5. 2. 2007).
- [8] Muglleton, S. H. (2006). Exceeding human limits. *Nature* 23 March, 409–410.
- [9] Nature (2006). 2020 Vision: How computers will change the face of science. *Nature* 23 March.
- [10] Nature (2006). US scientists fight political meddling. *Nature* 23 February, 891, 896–897.
- [11] OECD (2006). OECD Science, Technology and Industry Outlook. Paris: OECD.
- [12] O'Reilly, T. (2005). What Is Web. 2.0 – Design Patterns and Business Models for the Next Generation of Software. Dosegljivo na spletnem naslovu: <http://www.oreillynet.com/lpt/a/6228> (13. 2. 2007).
- [13] Rinia, E. J. (2007). Measurement and evaluation of interdisciplinarity research and knowledge transfer (doktorska disertacija), Universiteit Leiden.
- [14] Ruttimann, J. (2006). Milestones in Scientific Computing. *Nature*, 23 March, 399, 401, 403, 405.
- [15] Szalay, A. in Gray, J. (2006). Science in an exponential world. *Nature* 23 March, 413–414.
- [16] The 2020 Commission on Science and Technology (2001).

Report of the 2020 Commission on Science and Technology of Virginia University.

- [17] Dosegljivo na spletnem naslovu: [http://www.virginia.edu/virginia2020/science2020\\_3-01.pdf](http://www.virginia.edu/virginia2020/science2020_3-01.pdf) (12. 2. 2007).
- [18] Vinge, V. (2006). The creativity machine. *Nature* 23 March, 411.
- [19] Zins, Ch. (2007). Classification Schemes of Information Science: Twenty-Eight Scholars Map the Field. *JASIST* 58, 5, 645–672.