

# ONTOLOGIJE NA SEMANTIČKOM WEBU

Catherine Legg

University of Waikato, Hamilton-Tauranga, New Zealand

## Uvod

Kao informacijska tehnologija, World Wide Web doživljava zadivljujući uspjeh. U samo deset godina promijenio je način na koji se informacije proizvode, pohranjuju i raspačavaju u različitim područjima, kao što su kupovanje, obiteljski foto albumi i akademska istraživanja visoke razine. Konstruktori proglašavaju “semantički web” jednako revolucionarnim, iako ni približno tako široko prihvaćenim kao što je web. Semantički web pokušava nadići trenutno ograničenje samog weba – indeksiranje koje se obavlja pukim pregledavanjem niza znakova. Stoga, osoba koja traži informaciju o “turkey” (puranu), dobiva na postojećim tražilicama mnoge beznačajne stranice o “Turkey” (Turskoj), a ništa o španjolskom “pavo” (puranu), čak i ako je govornik španjolskog jezika koji može razumijeti takve stranice. Vizija semantičkog weba jest razviti tehnologiju koja olakšava pronalaženje informacija pomoću *značenja*, a ne samo *izgovora*.

Da bi to postalo moguće, kako mnogi komentatori vjeruju, aplikacije semantičkog weba trebale bi se približiti nekoj vrsti zajedničke, strukturirane, strojno čitljive konceptualne sheme. Zato je i došlo do približavanja istraživačke zajednice semantičkog weba i jedne starije tradicije koja ima korijene u istraživanju klasične umjetne inteligencije (*Artificial Intelligence, AI*) na koju se ponekad upućuje izrazom *predstavljanje znanja*<sup>1</sup> i čiji je cilj razvoj *formalne ontologije*. Formalna ontologija je strojno čitljiva teorija najtemeljnijih pojmova ili “kategorija” potrebnih da bi se shvatila pripadnost pojedine informacije određenoj domeni znanja.

---

<sup>1</sup> Knowledge representation – teorija predstavljanja znanja, jedna iz skupa teorija na kojoj se temelji sustav umjetne inteligencije prema kojoj znanje mora biti pozitivno, jednostavno i iskazano pogodno za primjenu u računalu. Za predstavljanje tako oblikovanog znanja najprije su se koristile semantičke mreže i jednostavniji logički izrazi, Booleovi operatori. Kasnije dolazi do razvoja i primjene složenijih konceptualnih struktura koje su izražajnije, iako ne uvijek i kompletnije, u formaliziranju postupka rasuđivanja. Nakon 90-ih dolazi ponovo do vrlo intenzivnih istraživanja u ovom području i s naglaskom na razvijanju hibridnih logika (npr., deskriptivnih modalno temporalnih logika koje ugrađuju dodatne logičke operatore) na kojima se temelje vrlo složeni, tzv. ontološki jezici posljednjeg naraštaja. Usp.: Knowledge representation and reasoning [citirano: 2009-8-12]. Dostupno na: [http://en.wikipedia.org/wiki/Knowledge\\_representation\\_and\\_reasoning](http://en.wikipedia.org/wiki/Knowledge_representation_and_reasoning), kao i članak Logic and Artificial Intelligence [citirano: 2009-08-12]. Dostupno na: <http://plato.stanford.edu/entries/logic-ai/>. (Nap. prev.)

Pregled pokušaja da se ostvari taj cilj pruža mogućnost da se na najkonkretniji način razmisli o sljedećim pitanjima:

- Do koje je mjere moguće praktično izgraditi eksplicitnu strojno razumljivu teoriju značenja?
- Do koje je mjere moguće praktično izgraditi univerzalnu strojno razumljivu teoriju značenja?
- Koliko je (i koje vrste) sposobnosti zaključivanja potrebno da se ostvari strojno razumljiva teorija značenja?
- Što to opće znači da je teorija značenja strojno razumljiva?

### ***World Wide Web***

Ključna zamisao World Wide Weba zasigurno potiče od vizije Vannevara Busha iz 1940. o Memexu – kao fluidno organiziranom radnom prostoru u kojem korisnik ili skupina korisnika mogu razviti “knjižnicu” tekstualnih i slikovnih resursa po svojoj mjeri, uljepšavajući je povezanim bilješkama i komentarima u taj stalno rastućoj mreži.<sup>2</sup> Ipak, tek je 1989. Tim Berners-Lee (tada zaposlen u Organisation Européenne pour la Recherche Nucléaire, CERN) potaknuo razvoj koji je postao današnji web, čiji se zapanjujući uspjeh može pripisati sljedećim oblikovnim činionicima: hipertekstualnom označiteljskom jeziku (HTML), univerzalnim identifikatorima resursa (URI) i hipervezama.

### ***Hipertekstualni označiteljski jezik (HTML)***

HTML (Hypertext Markup Language) omogućuje protokole za oblikovanje predstavljanja informacija na predvidiv način u ogromnoj raznolikosti aplikacijskih programa. Time se prvi put učinkovito zaobilazi specifičnost pojedinih aplikacija, omogućujući svakome da pomoću običnog “preglednika” čita svaki dokument označen HTML-om. Ti su protokoli posjedovali “gotovo neugodnu jednostavnost”<sup>3</sup> pa su ubrzo prihvaćeni općim sporazumom. Posebno privlačno obilježje HTML-a je u tome da je označitelj za oblikovanje potpuno odvojen od samoga mrežnog resursa uglatim zgradama “metaoznaka”. Iako naziv “metapodatak” postaje učestao u ono vrijeme, koncept koji predstavlja – informacija o informaciji – nije nov, knjižnični kataložni listići savršeni su primjer pred-web metapodataka.

### ***Univerzalni identifikator resursa (URI)***

HTML je iskoristio internetski rastući sustav jedinstvenih imena za svako umreženo računalo, čime svaki mrežni resurs dobiva jedinstvenu “lokaciju”, čijom interpretacijom, ponovimo, upravlja jednostavan i jasan protokol. To je mrežne resurse učinilo dostupnima sa svih strana svijeta, u tako nisko tehnološkoj maniri da, u svega nekoliko godina, svatko s osobnim računalom može preuzimati i pre-

<sup>2</sup> Bush, V. As we may think. // Atlantic monthly 176(1), (1945), 101-108.

<sup>3</sup> McCool, R.; R. Fikes; R. Guha. Semantic issues in web-scale knowledge aggregation (KSL 03-15). Stanford (CA) : Stanford University; Knowledge Systems AI Laboratory, 2003. [citirano: 2006-02-26]. Dostupno na: [http://www-ksl.stanford.edu/KSL\\_Abstracts/KSL-O3-15.html](http://www-ksl.stanford.edu/KSL_Abstracts/KSL-O3-15.html)

gledavati bilo koji sadržaj na webu i svatko tko posudi ili zakupi prostor na serveru može dopunjavati mrežne resurse koji time trenutno postaju dostupni svim mrežnim korisnicima (bilo to dobro ili loše).

Međutim, URI (Universal Resource Identifier) ne obuhvaća samo Jedinstveni lokator resursa (Uniform Resource Locator, URL), nego i Jedinstvena imena resursa (Unique Resource Names, URN). URL *locira* informacijski resurs, tj. kaže korisničkoj aplikaciji gdje je ista udomljena na webu – URN je namijenjen da služi jedino i isključivo kao *ime* resursa kojim ukazuje na njegovu jedinstvenost. Stoga, resursi, čije kopije postoje na različitim mjestima na webu, mogu imati dva URL-a i jedan URN. Obratno, dva dokumenta na istoj mrežnoj stranici mogu imati jedan URL i dva URN-a, odražavajući time različitost samih dokumenata. Naravno, sustav jedinstvenog imenovanja informacijskih resursa ostvaren je ranije (npr., International Standard Book Number : ISBN, International Standard Serial Number : ISSN, North American Industry Classification System : NAICS i United Nations Standard Products and Services Code : UNSPSC). Ne iznenađuje da su oblikovatelji semantičkog weba pokušali ugraditi ovaj stari sustav imenovanja.

Općenitost (i očekivana moć) URN-a je takva da nije ograničena na mrežne stranice, nego se može koristiti za imenovanje bilo kojeg objekta stvarnog svijeta koji želimo jedinstveno identificirati (zgrade, ljude, organizacije, glazbene snimke). Očekuje se da će općenitost ovog koncepta u semantičkom webu imati široku primjenu.<sup>4</sup> Ukratko, pritisak za razvoj URN-a je velik, dosad nezabilježeni napor u *kanonizaciji imena*.<sup>5</sup> Istovremeno, međutim, krštenje objekata URN-ima zamišljeno je da bude potpuno decentralizirano na webu – svatko može provoditi takvo imenovanje i zabilježiti ga u “imenskom prostoru”. Ta napetost između kanonizacije i decentralizacije jedan je od najvećih izazova semantičkog weba.

### **Hiperveze**

World Wide Web omogućuje i jedinstvenu funkcionalnost u povezivanju bilo kojeg mrežnog resursa s bilo kojim drugim(a) bez obzira na njihova mjesta. Da ponovimo, protokol koji to omogućuje iznimno je jednostavan i doveo je do velike “informacijske demokratičnosti” omogućujući korisnicima da povezuju svoje resurse sa svim drugim(a) neovisno o tome koliko je službeno odobrena takva koop-

<sup>4</sup> Berners-Lee, T; J. Hendler; O. Lassila. The semantic web. // Scientific American 284, 5(2001), 34-43.

<sup>5</sup> Canonical name (CNAME) – u informacijskoj znanosti, kanonsko ime ili naziv je slog u bazi podataka koji označava točno ili kanonsko ime internetskog računala s kojim se povezuju aliasi tj. alternativna imena za objekte. Aliasi su različita imena za isti dokument i služe kao veze prema njima, zavisno od operacijskog sustava to mogu biti ikone - icon, prečaci - shortcut, poveznice - link. Treba razlikovati takva kanonska imena od “kanonikalizacije” koja u računalnoj znanosti podrazumijeva standardizaciju ili normalizaciju koja se može odnositi na imena, postupke, algoritme, procedure, uopće podatke. Usp.: Englesko-hrvatski informatički enciklopedijski rječnik / autor i urednik Željko Panian. Zagreb : Europapress, 2005. (Nap. prev.)

<sup>6</sup> Guha, R.; R. McCool. TAP : a semantic web platform. // Journal of network computing 42(2003), 557-577.

tacija resursa. (Tako, npr., mrežna stranica sveučilišnog odjela za matematiku može se povezati na stranicu koja zagovara zaokruživanje broja  $\pi$  na 4 decimale.) Međutim, nema nikakvog jamstva da će taj novi resurs itko pročitati.

World Wide Web Consortium (W3C) ([www.w3c.org](http://www.w3c.org)) su 1994. osnovali Tom Berners-Lee i drugi kako bi omogućili uzajamnu kompatibilnost temeljnih tehnologija na brzo rastućem webu ("interoperabilnost"). Konzorcij trenutno okuplja preko 350 organizacija članica, od akademija, vlada do privatnih industrija. Konstruktori predlažu Konzorciju na odobrenje svoje nove mrežne tehnologije. Ako se prihvate, izvještaji se objavljuju kao novi mrežni standardi. Takav postupak upravo se provodi u razvoju semantičkog weba.

## Semantički web

Semantički web je najambiciozniji projekt koji je W3C do sada poduzeo. Bio je to dio vizije World Wide Weba Berners-Leea od samog početka,<sup>7 8</sup> a zadivljujući uspjeh prve faze njegove vizije izgleda da daje dobre razloge za pokušaj ostvarenja i njezina ostatka.

### *Ciljevi semantičkog weba*

Najtemeljniji cilj projekta mogao bi se jednostavno (iako pomalo zagonetno) iskazati na sljedeći način: omogućiti da se metapodaci ne odnose samo na sintaksu mrežnih resursa (tj. njihovo oblikovanje, njihove nizove znakova), nego također na njihovu semantiku, s ciljem da, kako je to Berners-Lee postavio, zamijene "mrežu poveznica" (*web of links*) s "mrežom značenja" (*web of meaning*).<sup>9</sup> Kako je već naznačeno mnogo puta,<sup>10 11 12</sup> tradicionalno postoji značajna razlika između načina na koji je informacija predstavljena za *ljudsku* potrošnju (npr., tiskani mediji, slike, filmovi) i načina na koji je predstavljena za *strojnu* potrošnju (npr., relacijske baze podataka). Web je uglavnom radije slijedio ljudske, negoli strojne formate što je rezultiralo, u osnovi, jednom velikom knjigom hiperveza. Semantički web teži premostiti taj jaz između ljudske i strojne čitljivosti. Radi ogromnoga i stalno rastućega broja mrežnih stranica (za kolovoz 2005. Google-ov pretraživački stroj tvrdi da ih je indeksirao preko 8 milijardi), moguće se otvara nezamisliva

---

<sup>7</sup> Berners-Lee, T; J. Hendler; O. Lassila. The semantic web. // *Scientific American* 284, 5(2001), 34-43.

<sup>8</sup> Berners-Lee, T. Foreword. // *Spinning the semantic web : bringing the World Wide Web to its full potential* / ed. by Fensel, D. Cambridge (MA) : MIT Press, 2003.

<sup>9</sup> Heflin, J.; J. Hendler; S. Luke. SHOE : a blueprint for the semantic web. // *Spinning the semantic web : bringing the World Wide Web to its full potential* / ed. Fensel, D. et al. Cambridge (MA) : MIT Press, 2003.

<sup>10</sup> McCool et al. (2003). Nav. dj.

<sup>11</sup> McGuinness, D. Ontologies come of age. // *Spinning the semantic web : bringing the World Wide Web to its full potential* / ed. Fensel, D. J. et al. Cambridge (MA) : MIT Press, 2003.

<sup>12</sup> Patel-Schneider, P. F.; D. Fensel. Layering the semantic web : problems and directions. // *Proceedings of the First international semantic web conference* (2002), 16-29.

količina informacija za bilo koje aplikacije koje bi ih trebale prevesti u strojno čitljive podatke i, također, za bilo kojeg čovjeka koji bi trebao koristiti takve aplikacije.

Zamišljene aplikacije semantičkog weba kreću se unutar velikog raspona složenosti i ambicioznosti. Kao relativno najjednostavniji, postavljen je zadatak rješavanja dvosmislenosti pretraživanja – npr., razlikovanje “Turkey” kao države od “turkey” kao ptice u ranije citiranom primjeru.<sup>13</sup> Nakon toga dolazimo do znatno složenijeg zadatka u pretraživanju informacija kao što je pronalazjenje “semantičkih veza” (*semantic joins*) u bazama podataka,<sup>14</sup> istodobno indeksiranje teksta i semantičko označivanje u cilju poboljšavanja pronalazačkih postupaka širom weba,<sup>15 16</sup> ili čak pretvaranja cjelokupnog weba u jednu ogromnu distribuiranu bazu podataka.<sup>17 18 19</sup> Najambiciozniji cilj semantičkog weba uključuje izvedbu autonomne integracije informacija za proizvoljan raspon resursa pomoću softverskih agenata.<sup>20 21 22 23</sup>

Ne iznenađuje da je vizija utemeljitelja semantičkog weba fokusirana na ambicioznom kraju ovog spektra. Berners-Lee et al.<sup>24</sup> zamislili su automatskoga medicinskoga informatički pismenoga osobnog pomoćnika koji će dogovoriti liječnički pregled bolesne majke, istodobno preraspoređujući druge obveze njene kćerke kako bi majku mogla otpratiti na pregled, istovremeno ispitujući status njenoga zdravstvenog osiguranja. Zagovaratelji semantičkog weba vide kao daljnji cilj svrhu mrežnih usluga, a ta je – da “omoguće pristup ne samo dokumentima

<sup>13</sup> Lesons learned from applying AI to the web. / Fensel, D. et al. // International journal of cooperative information systems 9(4), (2000), 361-382.

<sup>14</sup> Piazza : data-management infrastructure for semantic web applications / Halevy, A. Y. et al. // Proceedings of the 12th international World Wide Web conference 12(2003), 556-567.

<sup>15</sup> Guha, R; R. McCool. (2003). Nav. dj.

<sup>16</sup> Information retrieval on the semantic web. / Shah, U. et al. // Proceedings of the 11th international conference on information and knowledge management 46(2002), 461-468.

<sup>17</sup> Lesons learned from applying AI to the web / Fensel, D. et al. // International journal of cooperative information systems 9(4), (2000), 361-382.

<sup>18</sup> Guha, R; R. McCool. (2003). Nav. dj.

<sup>19</sup> Maedche, A.; B. Motik; L. Stojanovic. Managing multiple and distributed ontologies on the semantic web. // VLDB journal 12(2003), 286-302.

<sup>20</sup> ITTalks : a case study in the semantic web and DAML+OIL / Cost, R.S. et al. // IEEE intelligent systems 17, (1), (2002), 40-47.

<sup>21</sup> Goble, C.; D. De Roure. The Grid : an application of the semantic web. // SIGMOD record 31, (4), (2002), 65-70.

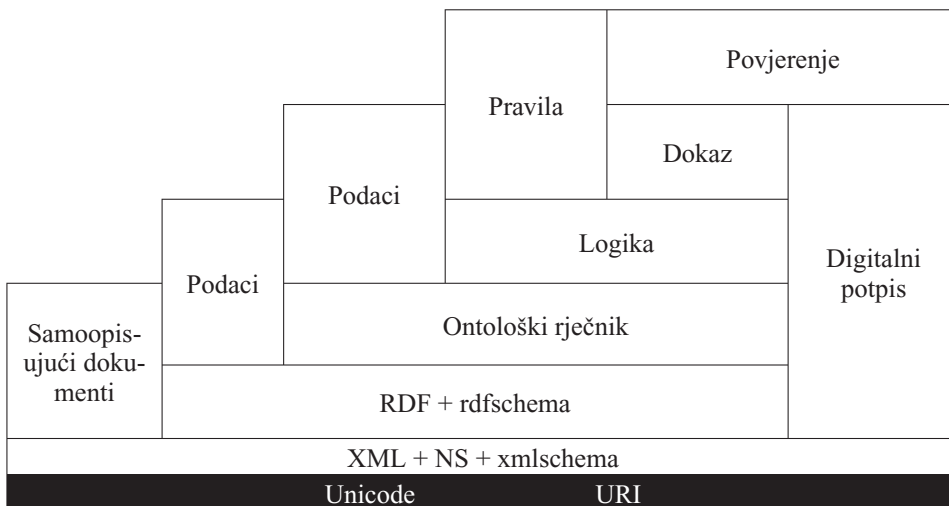
<sup>22</sup> Hendler, J. Agents and the semantic web. // IEEE intelligent systems 16, (2), (2001), 30-37.

<sup>23</sup> Agent – program koji u pozadini prikuplja ili obrađuje podatke. Posebni softveri omogućuju podešavanje agenta za pretraživanje određenih tipova informacija na internetu. Neki istraživači AI-a smatraju da ljudski um funkcionira kao da milijuni agenata rade u usporednim sustavima te da za stvaranje umjetne inteligencije treba izgraditi računalne sustave koji se sastoje od agenata i od supersustava koji upravlja njihovim djelovanjem. Nadalje, modeli zasnovani na agentu koriste se u računalnoj simulaciji, oni oponašaju neke stvarne fenomene, bilo na mikro ili makro razini i tako modeliraju tzv. umjetni život. Usp.: Englesko-hrvatski informatički enciklopedijski rječnik. (Nap. prev.)

<sup>24</sup> Berners-Lee et al. (2001). Nav. dj.

koji okupljaju korisne informacije, nego i postupcima koji opisuju ili čak omogućuju korisno ponašanje”.<sup>25 26</sup> Ta dimenzija semantičkog weba, međutim, nadilazi svrhu ovog članka.

Valja naglasiti da se od semantičkog weba ne očekuje da zamijeni, nego da proširi postojeći web. Taj vid vizije iskazao je Berners-Lee<sup>27</sup> u poznatom “torta dijagramu” (Slika 1).



Slika 1. Berners-Leejev torta dijagram semantičkog weba

Ovaj dijagram (Slika 1) pokazuje niz sve obuhvatnijih slojeva informacijske interoperabilnosti. Prvi sloj predstavlja pred-semantički web. Taj sloj omogućuje sveopće prepoznavanje znakova, a URI sustav upućivanja (referenciranja) koji podržava hiperveze. Na drugom sloju, aplikacije razmjenjuju metaoznake, ali ih razumiju jedino kao nizove znakova. Na trećem i četvrtom sloju, uvođenjem Općeg okvira za opisivanje resursa (*Resource Description Framework, RDF*) i ontoloških rječnika, značenje je dodano oznakama, tako da se može reći da aplikacije počinju razumijevati nazive koje razmjenjuju u metapodacima. Peti i šesti sloj dodaju sposobnost izvođenja zaključaka nad podijeljenim znanjem. Posljednji sloj osigurava mehanizme za provjeru i ustanovljenje vjerodostojnosti znanja (što će očito biti vrlo važno, ali prostor ovog članka ne dopušta raspravu o tome).

<sup>25</sup> Klein, M.; A. Bernstein. Towards high-precision service retrieval. // IEEE Internet computing 8(2004), 30-36.

<sup>26</sup> McIlraith, S.; T. C. Son; H. Zeng. Semantic web services. // IEEE intelligent systems 16(2001), 46-53.

<sup>27</sup> Berners-Lee, T. Semantic web [citirano: 2006-02-26]. Dostupno na: <http://www.w3c.org/2000/Talks/1206-xml2k-tbl/slide10-0.html>

U jednoj sličnoj raspravi, Decker, S. et al.<sup>28</sup> definiraju tri razine uvjeta koje se mora zadovoljiti da bi se znanje moglo dijeliti na webu u strojno razumljivom obliku. Prvi je *sveopća moć izražavanja*, koja se sastoji u sposobnosti da se izrazi informacija iz bilo koje domene znanja. Drugi je *sintaktička interoperabilnost*, što znači da svaka aplikacija može “čitati” svaki podatak tako da ga može barem raščlaniti (*parse*) i individualizirati njegove riječi ili simbole. Treći je *semantička interoperabilnost*, odnosno uvjet da podaci budu (strojno) “razumljivi”; autori, međutim ne nude konkretno ili operativno objašnjenje ove vrlo opće definicije.

S druge strane, Euzenat<sup>29</sup> dijeli problem interoperabilnosti na pet različitih slojeva. Sloj 1 sastoji se od *kodirajuće* interoperabilnosti, tj. “sposobnosti segmentiranja predstavljenih (podataka) u znakove”, i *leksičke* interoperabilnosti, tj. “sposobnosti segmentiranja predstavljenih (podataka) u riječi (ili simbole)”. Sloj 2 odnosi se na *sintaktičku* interoperabilnost, koja se opisuje kao “sposobnost strukturiranja predstavljenih (podataka) u strukturirane rečenice (odnosno formule ili tvrdnje)”. Slojevi 3, 4 i 5. *semantički* su po značaju, zahtijevaju “sposobnost da se od predstavljenog (podatka) konstruira tvrdnja koja ima značenje”. Sloj 6 je *pragmatički*, tiče se “sposobnosti konstruiranja pragmatičkog značenja iz predstavljenog (podatka) (ili njegovog značenja u kontekstu)”.<sup>30</sup> Posljednje tri kategorije dovode do tradicionalne podjele u filozofskoj i lingvističkoj analizi značenja gdje sintaksa obrađuje gramatičku ili formalno logičku strukturu jezika; semantika, upućivanje riječi na objekte vanjskog svijeta; i pragmatika, način na koji je značenje određenih upotreba jezika pod utjecajem njihovoga konkretnog konteksta upotrebe.<sup>31 32</sup>

Rasprave o Berners-Leejevoj torta viziji uglavnom se slažu da su (1) sintaksa i semantika odvojive, uz možda dodatni problem pragmatike koji se odnosi na upotrebu jezika u kontekstu, i (2) da je određena vrsta sposobnosti zaključivanja vitalna za autentično predstavljanje značenja na webu. Izvan toga, međutim, pojavljuje se određeno neslaganje s ovim konceptom. Na primjer, Patel-Schneider i Fensel<sup>33</sup> primjećuju da nije precizno riješeno i nije tehnički jasno kako i gdje “semantika počinje”. Također su predložili da analizirati zaključivanje kao odvojeni sloj može biti pogreška jer je zaključivanje tako tijesno isprepletano sa značenjem da bi trebalo biti moguće u trećem i četvrtom sloju. Osim toga, tvrde oni, “povje-

<sup>28</sup> The semantic web : on the respective roles of XML and RDF. / Decker, S. et al. // IEEE Internet computing 4(5), (2000), 63-74.

<sup>29</sup> Euzenat, J. Towards a principal approach to semantic interoperability. // Proceedings of the International joint conference on artificial intelligence workshop on ontologies and information sharing (2001), 19-25 [citirano: 2006-03-28]. Dostupno na: <http://ftp.informatik.rwth-aachen.de/Publications/CEUR-WS/Vol-47>

<sup>30</sup> Isto, str. 20.

<sup>31</sup> Cruse, D. A. Meaning in language : an introduction to semantics and pragmatics. Oxford (UK) : Oxford University Press, 2006.

<sup>32</sup> Sowa, J. Ontology, metadata, and semiotics. // Conceptual structures : logical, linguistic, and computational issues / ed. Ganter, B; G. W. Mineau. // Lecture notes in computer science 1867(2000), 55-81. Berlin : Springer, 2000.

<sup>33</sup> Patel-Schneider, P. F.; D. Fensel. (2002). Nav. dj.



renje” u znanje ne pripada torti jer to nije sloj značenja, nego daljnje pitanje koje se treba rješavati posebnim aplikacijama.

### *Izazovi*

Kao što je rečeno, semantički web još nije doživio brzo i naizgled neumljivo shvaćanje izvornog weba. Treba se suočiti s još četiri izazova.

Prva veliki izazov je *provodljivost zaključivanja (inferential tractability)*. Namjena semantičkog weba nije da bude silos za spremanje i pronalaženje izoliranih podataka. Njegovo ostvarenje zahtijeva i zaključivanje koje će asimilirati podatke i izvući njihove logičke posljedice. Blago je rečeno da su informacije na webu jako razdijeljene. U najboljem scenariju htjeli bismo postići sposobnost odgovora na upite prikupljanjem informacija iz proizvoljnog broja nevezanih stranica te zaključivanje o informacijama pronađenim inteligentnim odabirom, bez obzira na to koja se od najprikladnijih metoda istraživanja koristi u pojedinom slučaju. Međutim, svaka moguća primjena takve funkcionalnosti pokazuje velike nesrazmjere u rezultatima. Važno je pitanje na ovome mjestu je li problem *odlučiv*, tj. formalno sposoban da bude procijenjen kao onaj na koji se može odgovoriti unutar konačnoga vremenskog razdoblja.<sup>34</sup> Ako aplikacije semantičkog weba ne mogu dovršiti obradu problema jer isti nije odlučiv, takve aplikacije neće biti od velike koristi; jasno, aplikacije semantičkog weba trebat će neka sredstva i načine za predviđanje i zaobilaženje takvih problema. Osim toga, ako je aplikacija samo veoma spora zbog velike količine podataka koje obrađuje, bit će također od male koristi.<sup>35</sup> Problem od ogromnog utjecaja na provodljivost zaključivanja je logička izražajnost jezika korištenih za predstavljanje i ispitivanje ontologija. To se razmatra u odjeljku “Logička izražajnost ontoloških jezika”.

Mnoga pomagala za predstavljanje znanja u klasičnoj umjetnoj inteligenciji polaze od tzv. pretpostavke zatvorenog svijeta, kojom postuliraju da sustav zna sve što treba znati u datoj domeni. Takva pretpostavka, iako često upitna u praksi, čini zaključivanje mnogo djelotvornijim jer aplikacija može pretpostaviti da ukoliko ne može dokazati da je izjava istinita, onda je izjava lažna. (Praktičan primjer bio bi dopustiti informacijskom sustavu za ljudske resurse da, ukoliko ne zna da je određena osoba zaposlenik kompanije, zaključi da ona nije zaposlenik kompanije.) Na sadašnjem webu nemoguće je proizvesti takvu tvrdnju.

Druga teškoća odnosi se na *logičku dosljednost*. Vizija strojnog rasuđivanja na semantičkom webu sastoji se prvenstveno u deduktivnom (nasuprot induktivnom ili abduktivnom) zaključivanju. (U obranu ove tvrdnje, kao i za definiciju ovih triju različitih formi zaključivanja, vidi Sowa<sup>36 37</sup>). To se može pripisati, barem jednim dijelom, činjenici da mnogi projekti imaju korijene u klasičnoj umjetnoj intelligen-

<sup>34</sup> Rozenberg, G.; A. Salomaa. Cornerstones of undecidability. New York : Prentice Hall, 1994.

<sup>35</sup> Guha, R; R. McCool. (2003). Nav. dj.

<sup>36</sup> Sowa, J. Signs, processes, and language games [citirano: 2006-02-26]. Dostupno na: <http://www.jfsowa.com/pubs/signproc.htm>

<sup>37</sup> Sowa, J. The challenge of knowledge soup [citirano: 2006-02-26]. Dostupno na: <http://www.jfsowa.com/pubs/challenge.pdf>



ciji. Međutim, opće je poznato da se bilo koja tvrdnja može deducirati iz logičkog protuslovlja, naravno, u neizmjenom informacijskom prostoru i demokratskom značaju weba, pronaći ćemo logički proturječne izjave. To će uključiti izjave koje su istinite u različitom vremenu i okolnostima (npr., “New Orleans je izbjegao veće štete od uragana”, što može biti istinito 30. kolovoza 2005., i “New Orleans nije izbjegao veće štete od uragana”, što može biti istinito 31. kolovoza 2005.), namjerno pogrešne informacije i prividna proturječja koja proizlaze iz različitih interpretacija istog naziva (na primjer, tvrdnja “John Brown je rođen 1945.” i “John Brown je rođen 1967.” kada se osobno ime “John Brown” odnosi na dvije različite osobe).

Srodan problem je *brza promjenjivost* informacija na webu. Čak je i *stopa* promjene tih informacija nepredvidljiva – kako unutar stranica (neke se mijenjaju ekstremno brzo; druge su sasvim statične), tako i unutar vremena (neke se stranice, nakon dužeg mirovanja, izmjene iznenada bez upozorenja).<sup>38</sup> Stoga, daljnja dimenzija problema dobivanja pouzdane informacije od semantičkog weba, kako primjećuju Guha i McCool,<sup>39</sup> jest *predvidivost*. Ako aplikacija semantičkog weba dostavlja jedan odgovor na pitanje danas, a drugi odgovor na isto pitanje sutra jer su postavke datuma neznatno izmijenjene, onda to postaje problem (osim ako se svijet stalno mijenjao zajedno s izmijenjenim odgovorima, u tom slučaju takav ishod je poželjan). To bi nas trebalo pokolebati, posebno radi bezbrižnih predviđanja konstruktora da semantički web neće činiti određena aplikacija, nego sveprisutna infrastruktura, poput električne energije,<sup>40</sup> jer ovakvo popuštanje u zahtjevima mora bezuvjetno uključiti tzv. aplikacije za kritična stanja. Čini se da bi neka vrsta ontološke prilagodljivosti<sup>41</sup> mogla biti neophodan dio rješenja problema promjenjivosti.<sup>42 43 44</sup>

Odlučujući veliki izazovi semantičkog weba nisu toliko tehničke koliko političke prirode. Prije svega, tko će označiti mrežne stranice s potrebnim semantičkim metapodacima? Odgovor bi mogao biti: Tko je označio World Wide Web s HTML oznakama? Međutim, to je različit, mnogo složeniji zadatak. HTML se može

<sup>38</sup> Heflin, J. et al. (2003). Nav. dj

<sup>39</sup> Guha, R.; R. McCool. (2003). Nav. dj.

<sup>40</sup> Berners-Lee, T. Foreword. // *Spinning the semantic Web : bringing the World Wide Web to its full potential* / ed. by Fensel, D. Cambridge (MA) : MIT Press, 2003.

<sup>41</sup> “Ontology versioning” odnosi se na prilagodljivost ontološke aplikacije, preciznije na prilagodljivost koda u kojem je izvedena. Nakon što je aplikacija dulje vrijeme aktivna u određenom okruženju, potrebne su prilagodbe i proširenja tj. stručnjaci moraju imati mogućnost izvođenja varijanti za specifične potrebe, a da se ne dovodi u pitanje funkcioniranje osnovne strukture aplikacije; npr., dodavanje novih izraza (klasa) i svojstava ili njihovo povezivanje dodatnim odnosima, a da se ne remeti struktura cjeline. (Nap. prev.)

<sup>42</sup> Heflin, J.; Z. Pan. A model theoretic semantics for ontology versioning. // *Proceedings of the third international semantic Web conference* 3(2004), 62-76.

<sup>43</sup> Noy, N.; M. Klein. Ontology evolution : not the same as schema evolution. // *Knowledge and information systems* 6(2004), 428-440.

<sup>44</sup> Noy, N.; M. Musen. Ontology versioning in an ontology-management framework. // *IEEE intelligent systems* 19, 4(2004), 6 -13.

naučiti za sat ili dva, ali, kao što će se vidjeti, za razumijevanje jezika semantičkog weba potreban je logički, i u mnogim slučajevima filozofski, nus.<sup>45</sup> Može se činiti kao samorazumljivo rješenje automatizirati takvo označivanje, i doista, nekoliko istraživačkih programa energično je prionulo tom cilju. Neki od primjera su SHOE (o kojem će se raspraviti u odjeljku “Ontologije s (uglavnom) izražajnošću deskriptivnih logika”), “MnM”<sup>46</sup> i OntoAnnotate.<sup>47 48 49</sup> Međutim, takvo automatsko označivanje izgleda da zahtjeva podršku već funkcionalnoga semantičkog weba, što stvara problem neprestane regresije.

Nadalje, ambiciozna uputa da se generalizira URI od pukog lokatora adrese za preuzimanje datoteka u kanonska imena za stvari stvarnoga svijeta, sadrži mnogo političkih implikacija. U oštroj suprotnosti s webom, gdje se genijalnost sustava sastoji u tome da nije nužan nikakav prethodan odnos između proizvođača i potrošača informacija, kanonizacija imena čini nužnim njihove “veoma intenzivne odnose”, tj. da se proizvođači i potrošači informacija moraju sporazumjeti oko upućivanja svakog URI-a.<sup>50</sup> Kako postići takav sporazum?

Opće je mišljenje da dok web sadrži značajnu količinu semantičkih metapodataka, konstruktori imaju malo poticaja za stvaranje aplikacije za semantički web; ali ako postoji malo aplikacija semantičkog weba, malo je i poticaja za autore na mreži da semantički označavaju stranice. Ironično, ta je činjenica jednim razlog za pesimizam glede budućnosti semantičkog weba, dok je drugima razlog za optimizam, s obrazloženjem da će (semantički web) vlastitim snagama ubrzati razvoj.<sup>51</sup> Bray<sup>52</sup> smatra da Yahoo!-ova ručno kodirana predmetna kazala (koja su sastavljena uza znatne troškove za kompaniju) daju vrlo malo rezultata u pretraživanju iako su posljedica ljudskog posredovanja. Usprkos tome, ljudi rado koriste ova kazala, tvrdi Bray, sugerirajući da će isto tako biti i s informacijama na

<sup>45</sup> Nus – grč., um, duh. Pojam koji je u filozofiju uveo Anaksagora, za njega je nus začetnik kretanja i oblikovanja materije. Kod Platona i Aristotela nus je najviši i najaktivniji od tri dijela duše. Usp. Filozofijski rječnik / red. V. Filipović. Zagreb : MH, 1989. (Nap. prev.)

<sup>46</sup> Ontology-driven semi-automatic and automatic support for semantic markup. / Vargas-Vera, M. et al. // Proceedings of the 13th international conference on knowledge engineering and management 13(2002), 379-391.

<sup>47</sup> Staab, S.; A. Maedche; S. Handschuh. An annotation framework for the semantic Web. // Proceedings of the First workshop on multimedia annotation, (2001) [citirano: 2006-03-19]. Dostupno na: [http://www.aifb.uni-karlsruhe.de/VBS/ama/publications/mma01\\_staabetal.pdf](http://www.aifb.uni-karlsruhe.de/VBS/ama/publications/mma01_staabetal.pdf)

<sup>48</sup> Roesner, D.; M. Kunze; S. Kroetzsch. Transforming and enriching documents for the semantic Web [citirano: 2006-02-26]. Dostupno na: <http://arxiv.org/PS-cache/cs/pdf/O501/0501096.pdf>

<sup>49</sup> Automated OWL annotation assisted by a large knowledge base / Witbrock, M. et al. // Workshop notes of the 2004 workshop on knowledge markup and semantic annotation at the 3rd international semantic Web conference 3(2004), 71-80.

<sup>50</sup> McCool, R; R. Fikes; R. Guha. (2003). Nav. dj.

<sup>51</sup> Berners-Lee, T. Notation 3. [citirano: 2006-02-26]. Dostupno na: <http://www.w3c.org/DesignIssues/Notation3>

<sup>52</sup> Bray, T. What is RDF? [citirano: 2006-02-26]. Dostupno na: <http://www.xml.com/pub/a/2110/01/24/rdf.html?page=2>

semantičkom webu. Drugi komentatori, kao Shirky,<sup>53</sup> upozoravaju na pogrešno zaključivanje tipa “to će raditi jer bi bilo dobro da radi”.

### ***Tehnologije semantičkog weba***

Osnovna je tehnologija semantičkog weba, kako je rečeno, generalizacija označiteljskih tagova sa ukazivanja određenog *oblika* mrežnog resursa prema ukazivanju na njegovo određeno *značenje*. To se zbiva prvenstveno kroz razvoj niza novih označiteljskih jezika.

### ***Extensible Markup Language (Proširivi označiteljski jezik)***

Proširivi označiteljski jezik (Extensible Markup Language, XML)<sup>54</sup> izvorno je zamišljen kao zamjena za Standardni poopćeni jezik za označivanje (Standard Generalized Markup Language, SGML), koji je bio namijenjen za zajedničko korištenje dokumenata između vlade i zrakoplovne industrije.<sup>55</sup> XML nije razvijen upravo za semantički web, ali su ga njegovi konstruktori prihvatili. U začetku je zamišljen kao jednostavan način za slanje dokumenata preko weba.<sup>56</sup> U suprotnosti s HTML-ovom unaprijed određenim popisom formatirajućih tagova, XML dopušta autorima na mreži da definiraju svoje vlastite oznake i, stoga, vlastiti format dokumenta, podvrgnut sintaksi specificiranoj u XML Preporukama (*Recommendations*). Prvobitno su definicije oznaka bile zabilježene u odvojenom dokumentu nazvanom Definicija tipa dokumenta (*Document Type Definition, DTD*). Međutim, taj sustav su sada potisnule XML scheme. Kad je dokument usklađen s XML sintaksom, kaže se da je dobro oblikovan; kada je, dodatno, usklađen sa skupom definicija oznaka, onda se kaže da je valjan. Razdvajanje ovih mjerila izgleda da, barem u načelu, omogućuje razdvajanje sintakse dokumenta od njegove semantike.<sup>57</sup>

Za ilustraciju, možemo definirati sljedeće oznake:

```
<album></album>
<artist></artist>
<genre></genre>
```

Potom je moguće – bez korištenja bilo kakve softverske infrastrukture baze podataka, drugim riječima, pomoću skupa nepovezanih datoteka – konstruirati kratak dokument opisujući glazbenu zbirku od tri jedinice koja sadrži sljedeća polja:

<sup>53</sup> Shirky, C. The semantic web, syllogism, and worldview [citirano: 2006-02-26]. Dostupno na: <http://www.shirky.com/writings/semantic-syllogism.html>

<sup>54</sup> Extensible Markup Language (XML) 1.0 (Third edition) / Bray, T. et al. [citirano: 2006-02-26]. Dostupno na: <http://www.w3c.org/TR/REC-xml>

<sup>55</sup> Web and semantic web query languages : a survey / Bailey, J. et al. [citirano: 2006-02-26]. Dostupno na: <http://www.pms.ifi.lmu.de/publikationen/PMS-FB/PMS-FB-2005-14.pdf>

<sup>56</sup> Swartz, A. The semantic web in breadth [citirano 2006-02-26]. Dostupno na: <http://logicerror.com/semantic-Web-long>

<sup>57</sup> Sowa, J. (2000). Nav. dj.

```

<album>I
  <artist>The Magnetic Fields</artist>
  <genre>Alternative</genre>
</album>
<album>Midnight Love
  <artist>Marvin Gaye</artist>
  <genre>R&B</genre>
</album>
<album>Hounds of Love
  <artist>Kate Bush</artist>
  <genre>Rock</genre>
</album>

```

Za takav se dokument kaže da ima tri glavna elementa (<album>), i da svaki od njih posjeduje dva elementa potomka (*child elements*) (<artist>, <genre>). XML dopušta i atribute u definiranju oznaka, kao u slijedećem primjeru:

```

<album genre='Rock'>Hounds of Love
  <artist>Kate Bush</artist>
</album>

```

Međutim, obično se daje prednost definiranju novih elemenata potomaka, a ne korištenju ovako definiranih atributa. U svakom slučaju, svaki XML dokument je građen kao stablo, ima istaknuti korjenski element koji sadrži elemente, znakove podataka i atribute.<sup>58</sup>

U ovim primjerima, podaci kao što su nizovi znakova “Kate Bush” i “Marvin Gay” jasno dobivaju neku vrstu “značenjske oznake”. Kada čovjek čita ovaj zapis, vjerojatno zaključuje da oznaka <artist> primijenjena na “Kate Bush” znači da imenuje umjetnika koji je snimio album naveden neposredno prije toga. Ali kakvo značenje te oznake imaju za stroj? Koliko je do sada prikazano, apsolutno nikakve. Zbog toga ih treba povezati s nekom vrstom definicija. Ta se funkcija obavlja pomoću XML imenskih prostora. Mogu definirati imenski prostor (koji ću nazvati “mc”) umetanjem oznake u moj dokument na sljedeći način:

```
<h:html xmlns:mc=HYPERLINK “http://www.musiccollections.com/myCDs”>
```

Zatim mogu naziv moga imenskog prostora staviti kao prefiks svih tagova u mom dokumentu, kako slijedi:

```

<mc: album>I
<mc:artist>The Magnetic Fields</mc:artist>
<mc:genre>Alternative</mc:genre>
<mc:/album>

```

[ ... ]

<sup>58</sup> Web and semantic web query languages : a survey / Bailey, J. et al. [citirano: 2006-02-26]. Dostupno na: <http://www.pms.ifi.lmu.de/publikationen/PMS-FB/PMS-FB-2005-14.pdf>

Iako naziv “imenski prostor” može sugerirati neki daljnji dokument koji uključuje definicije za nazive u oznakama, u praksi je imenski prostor često samo URI, koji nužno ne upućuje na neku daljnju lokaciju. Stoga, imenski prostori su u biti samo način (jedinственog) indeksiranja različitih oznaka pomoću prefiksa.

Naravno, može postojati bilo koji broj XML imenskih prostora. Svatko ih može definirati. Dakle, kako se ti imenski prostori međusobno odnose, semantički govoreći? Treba li odrediti da dvije oznake iz različitih imenskih prostora imaju isto značenje onda i samo onda ako se sastoje od istog niza znakova? To bi, naravno, bila loša zamisao. Oznaka <artist> u mome imenskom prostoru “znači” (tj. namijenjena je da se primijeni samo na) glazbenike, dočim oznaka <artist> u drugom imenskom prostoru može “značiti” (tj. namijenjena je da se primijeni samo na) slikare. Obratno, neka druga osoba može dokumentirati glazbenu zbirku koristeći oznaku <musician> s istim značenjem s kojim sam ja koristila svoju <artist> oznaku. Stoga, koliko god korištenje imenskih prostora kao prefiksa omogućuje jasno razlikovanje između oznaka koje koriste iste nizove znakova, jednako toliko drastično smanjuje mogućnost zajedničkog korištenja oznaka. Svaka oznaka s imenskim prostorom u prefiksu sada je posve različita. Kako to može utjecati na njihovo prevođenje?

Usprkos novoj slobodi kojom XML definira oznake po volji, još uvijek uvjerljivo omogućuje sintaktičku interoperabilnost.<sup>59</sup> Vidjeli smo da Decker et al.<sup>60</sup> razlikuju uvjete za interoperabilnost sveopće izražajne moći, sintaktičku interoperabilnost i semantičku interoperabilnost. Oni tvrde da XML zadovoljava prvi i drugi, ali ne i treći uvjet; štoviše, smatraju da se jedina prednost njegova korištenja sastoji u “višekratnoj upotrebi račlanjenih softverskih komponenti”. Prema njihovoj procjeni, to je “korisno u razmjeni podataka između strana koje poznaju podatke, ali nije u okolnostima kada se često dodaju novi komunikacijski suradnici”.<sup>61 62</sup>

To nas ne treba previše iznenaditi jer, kao što je rečeno, XML nije zamišljen da bi prenosio značenje dokumenta, nego njegov format, a format je, u stvari, veoma općenit koncept koji obuhvaća sve vrste struktura unutar podataka (uključujući npr., dokument koji sadržava samo četiri elementa). Drugim riječima, XML ne uvažava načelnu razliku između “specifično sadržajnih” i “specifično predstavljajućih” oznaka.<sup>63</sup>

### *XML sheme*

Pokušaj da se nadoknadi nedostatak semantičkog pomagala XML-a učinjen je izgradnjom niza “shema” koje mu se mogu dodavati. Najšire korištena je jednostavno i ponekad zbunjujuće nazvana “XML shema”, jer je bila prva koja je usvoji-

<sup>59</sup> Swartz, A. Nav. dj.

<sup>60</sup> The semantic web : on the respective roles of XML and RDF. / Decker, S. et al. // IEEE Internet computing 4(5), (2000), 63-74.

<sup>61</sup> Isto, 68.

<sup>62</sup> Heflin, J.; J. Hendler; S. Luke. (2003). Nav. dj.

<sup>63</sup> Isto.

la Preporuke W3C-a u svibnju 2001.,<sup>64</sup> njeno drugo izdanje objavljeno je u listopadu 2004.<sup>65</sup> Uglavnom ju je razvio Microsoft. Jedna je verzija XML sheme nazvana XML Schema Definition (XSD). Svaka primjena XML sheme na XML dokument proizvodi daljnju datoteku koja ispisuje svoj rječnik (tj. elemente i imena atributa), svoj model sadržaja (tj. odnose i strukturu podataka) i svoje tipove podataka. Takva se datoteka zove Post-Schema Validation Infoset (PSVI) i omogućuje interoperabilnost s mnogim objektno usmjerenim programskim pomagalima.

Sljedeći XML dokument je vrlo jednostavan:

```
<h:html xmlns:mc="http://www.musiccollection.com/myCDs">
  <mc:album>I
    <mc:artist>The Magnetic Fields</mc:artist>
    <mc:genre>Alternative</mc:genre>
  </mc:album>
```

može se opisati korištenjem slijedećeg XML shema dokumenta:

```
<xs:schema xmlns:xs="http://www.w3c.org/2001/XMLSchema">
  <xs:element name="album" type="xs:string"/>
  <xs:complexType>
    <xs:sequence>
      <xs:element name="artist" type="xs:string"/>
      <xs:element name="genre" type="xs:string"/>
    </xs:sequence>
  </xs:complexType>
</xs:element>
</xs:schema>
```

Očito je, nažalost, da je za ljudskog čitača često lakše razumijeti XML dokument, nego njegovu shemu. Drugi XML shema jezici su japanski RELAX (Regular Language description for XML, [www.xml.gr.jp/relax](http://www.xml.gr.jp/relax)), TREX (Tree Regular Expressions for XML, <http://thaiopensorce.com/trex>) i RELAX NG koji je proizašao spajanjem tih dvaju jezika.<sup>66</sup> Ovi su jezici popularni jer su znatno jednostavniji za uporabu nego sama XML shema; svedjedno, ni njih nije lako naučiti.

Može se uočiti da XML sheme na *neki* način kategoriziraju XML podatke. Međutim, to je tek nešto malo više od uobičajenog tipiziranja podataka u izvedbi relacijske baze podataka (npr., “sequence” ili “ComplexType”). Što nam takvo tipiziranje govori o *značenju* podataka? Takva razmišljanja bude zanimljivo istraživačko pitanje, na koji način, općenito, razlikovati strukturu od značenja in-

<sup>64</sup> Fallside, D. XML schema part 0: primer [citirano: 2006-02-26]. Dostupno na: <http://www.w3c.org/TR/2001/REC-xmlschema-0-20010502>

<sup>65</sup> Fallside, D.; P. Walmsley. XML schema part 0: primer (2nd ed.) [citirano: 2006-02-26]. Dostupno na: <http://www.w3c.org/TR/xmlschema-0>

<sup>66</sup> Clark, J.; M. Makoto. RELAX NG specification [citirano: 2006-02-26]. Dostupno na: <http://www.oasis-open.org/committees/relax-ng/spec-20011203.html>

formacije u načelnom smislu (da ne spominjemo u strojno razumljivom smislu). Unatoč na prvi pogled jasnom Berners-Leeovom torta modelu, ovo se pokazao kao vrlo tegoban problem u praksi (vidi, npr., Patel-Schneider i Fensel,<sup>67</sup> koje će se detaljno razmatrati u odjeljku “DAML+OIL/OWL”). Istraživanje ovih pitanja postaje još tegobnije s filozofskog vida koji su potaknuli neki (premda rijetki) komentatori – naime, da struktura informacije može tvoriti dio njenog značenja. Na primjer, Sowa<sup>68</sup> predlaže da će biti nužno pronaći način za predstavljanje “strukture ili geometrije” podataka s isključivim ciljem reproduciranja analoškog rasuđivanja, koje on smatra značajnim dijelom ljudskog zaključivanja i, stoga, značenja.<sup>69</sup> Stoga konstruktori semantičkog weba istražuju kako razviti načine za predstavljanje značenja u čistijem i eksplicitnijem obliku, nego što je to moguće u XML-u; to nas dovodi do RDF-a.

### ***Resource Description Framework (Opći okvir za opisivanje resursa)***

Rad na Općem okviru za opisivanje resursa (Resource Description Framework, RDF) započeo je R. V. Guha dok je radio za Apple Computer, i njegova prva verzija stekla je status W3C Preporuke 1999. Nova verzija<sup>70</sup> objavljena je 2004. kao skup srodnih specifikacija.

Strogo govoreći, RDF nije jezik, nego model podataka za opisivanje strojno čitljive semantike za “mrežne resurse” (u vrlo općenitom smislu “resursa” određenom u ranijoj raspravi o URI-ima). Matematički govoreći, ovaj model sastoji se od usmjerenih grafikona sa čvorovima koji su povezani označenim lukovima. (Za osnovne upute u ovaj koncept, vidi Bollobas.<sup>71</sup>) Kao ključni napredak u odnosu na XML, RDF uvodi strukturu izjavne rečenice u svoje podatke. Svaka RDF rečenica ima tri dijela. Oni se označuju ili kao “subjekt”, “predikat” i “objekt”<sup>72 73</sup> ili kao “objekt”, “atribut” i “vrijednost”.<sup>74</sup> Subjekt/objekt odnosno objekt/vrijednost trebaju biti shvaćeni kao da leže na čvorovima RDF-ovih usmjerenih grafikona, a predikati/atributi na lukovima. Semantički govoreći, u svakoj rečenici subjekt/objekt trebaju biti shvaćeni kao “stvar” o kojoj se u rečenici nešto kazuje, predikat/atribut kao svojstvo koje je pripisano subjektu/objektu, a objekt/vrijednost kao vrijednost (ili neki drugi kvalifikator) doznačena tom subjektu/objektu kao da mu specifično pripada. Kao primjer, uzmimo tvrdnju:

Kate Winslet’s age is 27.

<sup>67</sup> Patel-Schneider, P.; D. Fensel. (2002). Nav. dj.

<sup>68</sup> Sowa, J. (2004). Nav. dj.

<sup>69</sup> Sowa, J.; A. Majumdar. Analogical reasoning. // Conceptual structures for knowledge creation and communication / ed. Moore, A. de; W. Lex. // Lecture Notes in computer science 2746(2003), 16-36. Berlin : Springer, 2003.

<sup>70</sup> Beckett, D. RDF/XML syntax specification (Revised) [citirano: 2006-02-26]. Dostupno na: <http://www.w3.org/TR/2003/REC/rdf-syntax-grammar-20040210>

<sup>71</sup> Bollobas, B. Modern graph theory. Berlin : Springer, 2002.

<sup>72</sup> Beckett, D. (2004). Nav. dj.

<sup>73</sup> Swartz, A. Nav. dj.

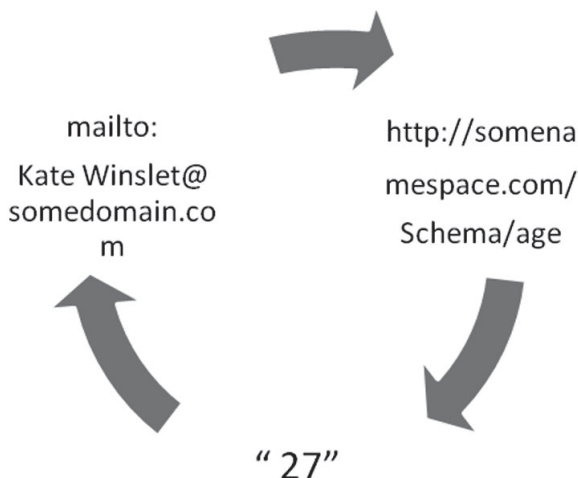
<sup>74</sup> Decker, S. et al. Nav. dj.



*Kate Winslet* je ovdje subjekt/objekt, predikat/atribut je *age*, a objekt/vrijednost je 27. Stoga, može se smatrati da je svaka RDF rečenica istovrijedna jednoj ćeliji u tabeli baze podataka; postoji žarka nada da će se jednog dana svjetske baze podataka “posrkat” u semantički web u RDF formatu.<sup>75</sup>

Kada RDF grafikoni postanu dostupnima na semantičkom webu, njihovi će se čvorovi sastojati od URI-a koji će opisivati mrežne resurse; tzv. “literala” (prilagodljiv podatak koji predstavlja stalnu vrijednost, koja može biti znak ili broj); ili praznih (neoznačenih) čvorova, koji se mogu koristiti da grupiraju ili “skupljaju” svojstva.<sup>76</sup> Stoga, predstavljanje rečenice o *Kate Winslet* sastojat će se u predstavljanju trojnog odnosa između entiteta kako je ilustrirano na Slici 2.

Jedan RDF iskaz može sam postati subjekt/objekt odnosno objekt/vrijednost unutar tročlanog grafa, postupak poznat kao popredmećivanje (*reification*). To je, naravno, neophodno ako je potrebno bilo kakvo rasuđivanje o istinitosti ili stupnju pouzdanosti iskaza semantičkog weba (šesti semantički sloj Berners-Leea). Popredmećivanje, međutim, unosi znatnu nespretnost u provedbu RDF-a: kada neka aplikacija obrađuje (tj. čita) RDF grafikon preko njegovih iskaza uvažavajuća dana svojstva, popredmećeni iskazi obrađuju se drugačije od ne-popredmećenih.<sup>77</sup>



Slika 2. Odnosi između entiteta koji predstavljaju tvrdnju *Kate Winslet's age is 27*.

<sup>75</sup> Hendler, J.; T. Berners-Lee; E. Miller. Integrating applications on the semanticWeb. // Journal of the Institute of electrical engineers of Japan 122(2002), 676-680.

<sup>76</sup> Web and semantic web query languages : a survey / Bailey, J. et al. [citirano: 2006-02-26]. Dostupno na: <http://www.pms.ifi.lmu.de/publikationen/PMS-FB/PMS-FB-2005-14.pdf>

<sup>77</sup> Garshol, L. M. Living with topis maps and RDF [citirano: 2006-02-26]. Dostupno na: [http://www.idelliance.org/papers/dx\\_xml03/papers/02-03-06/02-03-06.pdf](http://www.idelliance.org/papers/dx_xml03/papers/02-03-06/02-03-06.pdf)

Budući da je RDF podatkovni model, a ne jezik, potrebno ga je iskazati u jeziku. Često se prikazuje u XML-u, kakav je u službenoj specifikaciji W3C-a.<sup>78</sup> Međutim, ta je izvedba očito nezgrapna u pogledu sintakse.<sup>79</sup> Nešto jednostavnija pretvorba uključuje N3 i njegov još jednostavniji podskup N-Triples.<sup>80 81</sup> Drugi jezik, razvijen na Sveučilištu u Bristolu, jest TURTLE (Terse RDF Triple Language) koji neznatno proširuje N-Triples;<sup>82</sup> predložene su i mnoge druge izvedbe. Za uspješnu semantičku interoperabilnost, koja je cilj semantičkog weba, aplikacije koje koriste RDF trebaju izvesti pretvorbu RDF-a na neovisan način. Međutim, u praksi to još nije slučaj.<sup>83</sup>

Bray<sup>84</sup> tvrdi da RDF-ova trodijelna struktura iskaza čini ovaj okvir vrlo prilagodljivim jer proizvoljan broj tripleta može biti “naslagan” po bilo kojem redu. Nasuprot tome, u XML-u, raspored u kojem se elementi pojavljuju u dokumentu jest značajan: to podosta otežava razmjenu podataka. Strukture podataka koje se definiraju u XML-u također su dosta složene i sintaktički nezgrapne jer se mogu sastojati od proizvoljnih mješavina stabala, grafikona i nizova znakova. Haarslev i Möller<sup>85</sup> također ističu da RDF-ov triplet usmjeren stil modeliranja podataka nudi sredstva koja omogućuju grafičko strukturiranje podataka raznovrsnih dokumenata; s druge strane, XML može iskazati grafikone samo unutar datog dokumenta.

Standardni RDF upitni jezik već postoji; svaki je jezik na tipičan način povezan s određenom provedbom. Koristan i temeljit pregled i usporedba upitnih jezika za XML, RDF i predmetne mape (o kojima se govori u odjeljku “Ontologije s (uglavnom) izražajnošću deskriptivnih logika”) dao je Bailey et al.<sup>86</sup> prikazujući pojedinačno jezike kroz niz test pitanja.

Usprkos prednosti RDF-a pred XML-om, bilo bi preuranjeno zaključiti da RDF čini mogućim semantički web. U ogleđnom iskazu o Kate Winslet, za dvije

<sup>78</sup> Beckett, D. (2004). Nav. dj.

<sup>79</sup> De Bruijn, J. Using ontologies : enabling knowledge sharing and reuse on the semantic web (DERI technical report, DERI-2003-10-29). Innsbruck : Digital enterprise research institute, 2003. [citirano: 2006-02-26]. Dostupno na: <http://www.deri.org/fileadmin/documents/DERI-TR-2003-10-29.pdf>

<sup>80</sup> Berners-Lee, T. Notation 3. [citirano: 2006-02-26]. Dostupno na: <http://www.w3c.org/DesignIssues/Notation3>

<sup>81</sup> Berners-Lee, T. Primer : getting into RDF and semantic web using N3. [citirano: 2006-02-26]. Dostupno na: <http://www.w3c.org/2000/10/swap/Primer.html>

<sup>82</sup> Beckett, D. TURTLE : Terse RDF triple language [citirano: 2006-02-26]. Dostupno na: <http://ilrt.org/discovery/2003/11/ntriplesplus>

<sup>83</sup> Web and semantic web query languages : a survey / Bailey, J. et al. [citirano: 2006-02-26]. Dostupno na: <http://www.pms.ifi.lmu.de/publikationen/PMS-FB/PMS-FB-2005-14.pdf>

<sup>84</sup> Bray, T. (2001). Nav dj.

<sup>85</sup> Haarslev, V.; R. Möller. Racer : a core inference engine for the semantic web. // Proceedings of the 2nd international workshop on evaluation of ontology-based tools 2(2003), 27-36 [citirano: 2006-02-26]. Dostupno na: <http://www.racer-systems.com/technology/contributions/2003/HaMo03e.pdf>

<sup>86</sup> Web and semantic web query languages : a survey / Bailey, J. et al. [citirano: 2006-02-26]. Dostupno na: <http://www.pms.ifi.lmu.de/publikationen/PMS-FB/PMS-FB-2005-14.pdf>

od tri komponente u strukturi iskaza doznačen je URI. Međutim, vidjeli smo da su URI samo jednostavni putokazi. Na što ukazuju? RDF to ne određuje. Problemi višeznačnosti (polisemije) za izraze metapodataka sastavljenih od istovjetnih nizova znakova i skrivena istoznačnost (sinonimija) za izraze sastavljene od različitih nizova znakova, koji se odnose na XML, još nisu riješeni. Osim toga, Heflin et al.<sup>87</sup> primjećuju da RDF osigurava “vrlo mali skup semantičkih prvobitnosti”<sup>88</sup> i, zbog toga je logički sasvim bezizražajan. Doista, RDF ne podržava ni nasljedenu hijerarhiju. (Ovaj pojam je objašnjen u odjeljku “Povijest ontologije”). Također je primijećeno da RDF ima relativno slab mehanizam za upravljanje “shemom evolucije” (tj. ontološkim prilagođivanjem<sup>89</sup>).

Potrebno je nešto više da bi se značenje odredilo u potpunosti. Ontologije se prikazuju kao semantički “srebrni metak”.<sup>90 91</sup> Stoga, da bi ostvarili “ontološki sloj” semantičkog weba, konstruktori su se postavili zadatak izgradnje dodatnih jezika. To uključuje RDF Schemu i DAML-OIL/OWL, koji se razmatraju kasnije. Najprije se, međutim, predstavlja uvod i rasprava o ontologijama općenito.

## Uvod u formalnu ontologiju

### *Povijest ontologije*

Ontologija (koja se općenito, ali ne sveopće, smatra sinonimom za “metafiziku”) potiče iz filozofske discipline stare kao i sam Aristotel, a koju je on nazvao “prva filozofija”. Etimološki, izvodi se iz grčke riječi *ontos*: (particip od *einai*: “biti”, tj. “biće”, “bivstvujće”) i *logos*: (“riječ/govor”). Ontolozi teže izgraditi teoriju, na najopćenitijoj razini, o svim različitim vrstama stvari koje postoje (uključujući odnose između različitih vrsta stvari koje postoje). Kako su to Smith i Welty<sup>92</sup> postavili, “filozofska ontologija je znanost o onome što jest, o vrstama i strukturama objekata, svojstava, događaja, postupaka i odnosa u svim područjima stvarnosti”.<sup>93</sup> Naziv koji su ontolozi skovali ili prilagodili da upućuje na ove najtemeljnije “vrste i strukture”, nazvali su kategorije (nazivlje koja je preneseno u ontologiju informacijske znanosti). “Materijalni objekt”, “Osoba”, “Vrijeme” i “Broj” samo su neke od temeljnih kategorija koje su predložili tradicionalni ontolozi.

<sup>87</sup> Heflin, J.; J. Hendler; S. Luke. (2003). Nav. dj.

<sup>88</sup> “Semantic primitives” možemo prevesti kao semantičke prvobitnosti. To su prvobitni ili početni teorijski elementi jednog sustava koji je usmjeren na definiranje i prikazivanje značenja, a po strukturi se želi približiti aksiomatskom sustavu. (Nap. prev.)

<sup>89</sup> Vidi tumačenje u bilješci pod crtom br. 40. (Nap. prev.)

<sup>90</sup> Izvorno u eng. tekstu: “silver bullet” – srebrni metak, prema mitološkom kazivanju jedino sredstvo kojim se mogu ubiti vampiri, ovdje u značenju metafore tipa: “čarobni štapić”, “magični lijek” ili slično. (Nap. prev.)

<sup>91</sup> De Bruijn, J. Nav. dj.

<sup>92</sup> Smith, B.; C. Welty. *Ontology : towards a new synthesis.* // Proceedings of the International conference on formal ontology in information systems (2001), iii-x.

<sup>93</sup> Smith, B. *Ontology.* // Blackwell guide to the philosophy of computing and information / ed. Floridi, L. Oxford (UK) : Blackwell, 2003.

Aristotelovo djelo *Kategorije* uvjerljivo predstavlja prvi pokušaj čovječanstva da odredi sustavnu formalnu ontologiju. Važno je napomenuti da je to djelo značajno isprepleteno s Aristotelovom logikom – stoga, razumijevanje pravila zaključivanja po kojima znanje razvrstano u određene kategorije može biti pretvoreno u daljnje, kategorizirano znanje bilo je za Aristotela neodvojivo od razumijevanja samih kategorija. Zanimljivo, iako kasniji filozofi teže nastavljanju s ontologijom i formalnom logikom kao odvojenim disciplinama, formalna ih je ontologija u aplikacijama informacijske tehnologije bila prisiljena ujediniti. Aristotel je razradio prvu sustavno logičko razlikovanje između subjekta i predikata iskaza – značajan napredak u Zapadnoj misli. Na temelju toga definirao je svoje najosnovnije kategorije (“supstancija”, “kvantiteta”, “kvaliteta”, “odnos”, “mjesto”, “vrijeme”, „položaj”, “imanje”, “djelovanje” i “trpljenje”) kao grupacije predikata u skladu s vrstama entiteta kojima oni valjano pripadaju. Primjena predikata iz jedne kategorije na entitet iz druge (npr., “Broj 8 je crven”) proizvodi besmisleni tzv. kategorijalnu grešku, nešto što će, naravno, trebati razaznati na semantičkom Webu.

Općenito je poznato da je upravo Aristotel prvi formalno definirao *genus/species/differentia* kao okvir za kategorizaciju skupina objekata (gdje je *species* definirana pomoću svoga *genus-a* – pod koji *species* potpada – i svoje *differentia* – što razlikuje jednu *species* od druge unutar tog *genus-a*).<sup>94</sup> Tako je rođena znanost o klasifikaciji: prvi put znanje može biti organizirano *taksonomski* – tj. u hijerarhiju gdje se znanje “nasljeđuje” (gdje je zaključivo naniže, kroz proizvoljan broj *genus-species* odnosa – značenje koje naziv “nasljeđivanje” danas ima u inženjerstvu znanja<sup>95</sup>). Ova značajka sama po sebi uvećava snagu i organizaciju sustava znanja. Konačno, u 19. stoljeću, ovaj logički okvir razvijen je i matematiziran u modernu teoriju skupova, koja, kao što ćemo vidjeti, jeste osnova za velik dio današnje formalne ontologije. Vrlo ambiciozno, Aristotel je pokušavao organizirati *sve* grane znanja taksonomski, razlučujući temeljna načela koja ih definiraju i organiziraju u integrirani sustav.<sup>96 97</sup>

Srednjovjekovna filozofija je uvelike građena na Aristotelovim ontološkim temeljima. Genus-species odnos bio je značajno razrađen i organiziran u “stablo znanja”.<sup>98</sup> Međutim, u ranom modernom razdoblju, razvoj formalne ontologije kao intelektualne discipline trpi nazadak, jer je novo razumijevanje (a time i zanos) unutar znanstvene revolucije za znanstveni eksperiment dovelo do širenja *empirizma* – zamisli da se izvorno znanje stiče jedino iskustvom realnog svijeta

<sup>94</sup> Smith, R. Aristotle’s logic. // Stanford encyclopedia of philosophy. Stanford (CA) : Stanford University [citirano: 2006-02-26]. Dostupno na: <http://plato.stanford.edu/entries/aristotle-logic>

<sup>95</sup> Tj. izgradnji ekspertnih sustava. (Nap. prev.)

<sup>96</sup> Sowa, J. Signs, processes, and language games [citirano: 2006-02-26]. Dostupno na: <http://www.jfsowa.com/pubs/signproc.htm>

<sup>97</sup> Sowa, J. The challenge of knowledge soup [citirano: 2006-02-26]. Dostupno na: <http://www.jfsowa.com/pubs/challenge.pdf>

<sup>98</sup> Sowa, J. Knowledge representation : logical, philosophical, and computational foundations. Pacific Grove (CA) : Brooks Cole, 1999.

– a time do odgovarajućeg gubljenja zanimanja za formalna istraživanja. Bilo je vrlo malo stvarnog napretka u logici za vrijeme ovoga razdoblja.

Takav empirizam do određenog stupnja osporava racionalist poput Kanta, koji je težio dokazati da učenje iz iskustva već pretpostavlja apriorne (moguće urođene) pojmovne sheme i koji je smislio svoj vlastiti sustav kategorija.<sup>99</sup> <sup>100</sup> Rani empiristi bili su, u cjelosti, logički atomisti koji su vidjeli znanje kao rastavljivo u temeljne gradivne blokove (doslovno, pojedinačna osjetilna iskustva); Kant, međutim, zauzima više holističko gledište. Fizički objekt kao što je stolica, može biti presiječen na pola, primjećuje Kant, ali što bi, pita on, predstavljalo pola iskaza? Značenje iskaza (npr., “Stabla su zelena”.) ne može se svesti na značenje njegovog subjekta (“stabla”) i njegovog predikata (“su zelena”), nego čini jedinstvo koje je omogućeno umnim razumijevanjem njihove kombinacije, kaže on.

Ipak, duh znanstvene revolucije nastavio je prožimati mnoge struje filozofskog mišljenja, kulminirajući, u ranom dvadesetom stoljeću, u potpunom odbacivanju spekulativne metafizike unutar logičkog pozitivizma.<sup>101</sup> U razdoblju formiranja glavne struje analitičke filozofije, iznimno utjecajni Quine, podržavajući ovaj prezir prema spekulativnoj metafizici, predstavlja svoje čuveno logičko mjerilo za ontološku obavezu, u skladu s kojim je jedini način bivstvovanja “biti vrijednost (vezane) varijable (u našoj najboljoj znanstvenoj teoriji)”.<sup>102</sup> Tako je rad na formalnom definiranju kategorija izgubio naklonost glavne filozofske struje, s nekoliko uglednih iznimaka.<sup>103</sup> <sup>104</sup> <sup>105</sup>

Formalna logika, međutim, dobiva novi životni poticaj krajem 19. stoljeća izumom predikatne logike Fregea<sup>106</sup> i Piercea.<sup>107</sup> To je prvi veći napredak u logici od Aristotela, koji je daleko odmakao od Aristotelovog koncepta jednostrukih odnosa i zaključaka s dvije premise, prema odnosima s proizvoljnom složenošću i zaključcima proizvoljne duljine, što je izazvalo strahovito uzbuđenje. Teorija skupova izumljena je s namjerom kako bi se koristila da utemelji cjelokupnu matematiku na logici. Sam Frege snivao je da bi to moglo stvoriti temelje izvorno čiste i objektivne teorije značenja koja bi “prekinula dominaciju svijeta nad ljudskim

<sup>99</sup> Kant, I. Critique of pure reason. Cambridge (UK) : Cambridge University Press, 1998.

<sup>100</sup> Sowa, J. The challenge of knowledge soup [citirano: 2006-02-26]. Dostupno na: <http://www.jfsowa.com/pubs/challenge.pdf>

<sup>101</sup> Schlick, M. Meaning and verification. // Philosophical Review, 45(1936), 339-369

<sup>102</sup> Quine, W. V. On what there is. // From a logical point of view : 9 logico-philosophical essays (1-19). Cambridge (MA) : Harvard University Press, 1953.

<sup>103</sup> Chisholm, R. A realistic theory of categories : an essay on ontology. Cambridge (UK) : Cambridge University Press, 1996.

<sup>104</sup> Lowe, E. J. Ontological categories and natural kinds. // Philosophical papers, 26(1997), 29-46.

<sup>105</sup> Weiss, P. Modes of being. Carbondale : Southern Illinois University Press, 1958.

<sup>106</sup> Frege, G. Begriffsschrift : a formula language, modeled upon that of arithmetic, for pure thought. // Van Heijenoort, J. Frege and Goedel : two fundamental texts in mathematical logic. Cambridge (MA) : Harvard University Press, 1970.

<sup>107</sup> Peirce, C. S. Collected papers. Cambridge (MA) : Harvard University Press, 1931-1958.

duhom ogoljujući zablude glede odnosa između pojmova, koje upotrebom jezika često gotovo neizbježno nastaju”.<sup>108</sup> Frege se nadao da bi sada bilo moguće izgraditi ukupno znanje unutar integriranog, *deduktivno potpuno*, taksonomskog sustava (tj. takvog u kojem sve istinito može biti dokazano kao istinito). Nažalost, taj je san bio razbijen kad je Russell otkrio proturječje u srcu novoga logičkog sustava koji ga je učinio nedosljednim – riječju, čuvena klasa sviju klasa koja ne sadrži samu sebe, a koja mora bezuvjetno sadržavati i ne sadržavati samu sebe.<sup>109</sup> Ipak, kao što ćemo imati prigodu vidjeti, Fregeov san imao je težnju da ponovo izroni u krugovima inženjstva znanja.

Pierce, drugi izumitelj predikatne logike, slijedio je sasvim drugačiju viziju. Njegov filozofski pragmatizam doveo ga je do toga da svaki pokušaj formalizacije cjelokupnog značenja sustava znanja vidi kao nemoguć. S njegovog stajališta, nesvodiva dimenzija značenja svakog izraza (kao “težak” ili “magnetski”) sastoji se u utjecajima koje jedan agent<sup>110</sup> smješten u svijetu doživljava u datim okolnostima i ukupan zbroj tih utjecaja neće nikad biti poznat unaprijed (inače ne bi bilo potrebe za znanstvenim istraživanjem).<sup>111</sup> Osim toga, jedna od Pierceovih većih filozofskih ambicija bila je kritika takvih apriorističkih pretjerivanja, koja su, za njega, bila utjelovljena u Descartesovom zahtjevu filozofske nužnosti za otklanjanjem svake sumnje kao preduvjeta ozbiljnog istraživanja. Također je odbacio pokušaje za reduciranjem svih upotrebljivih zaključaka na dedukciju, tvrdeći da su indukcija – poopćavanje od prošlih na buduće slučajeve koji su relevantne i slične vrste (postupak koji, u suprotnosti s dedukcijom, zahtijeva iskustvo) kao i “abdukcija” – poopćavanje mogućeg objašnjenja fenomena – jednako važne.<sup>112</sup> Kao što je rečeno, klasična umjetna inteligencija bila je izrazito deduktivistička u svom pristupu znanju; vidjet ćemo da razvoj semantičkog weba do sada nije bitno odmakao od tog stajališta.

Vid kartezijanskoga filozofskog koncepta, kojem se Peirce protivio osobitom žestinom, bio je njegov model *značenja*, gdje je značenje znaka određeno namjerom osobe koja ga koristi (za samog Descartesa, ta se namjera sastoji u zamisli koja je u korisnikovom umu tako privatna i nedostupna da predstavlja nematerijalnu supstancu). Peirce je težio da to zamijeni s novim, javno dostupnim, modelom značenja. Dok je Descartesov model bio dualistički, sa značenjem koje se u osnovi sastoji u binarnoj relaciji između korisnikove namjere (znak u umu) i objekta u

<sup>108</sup> Frege, G. Nav.dj.

<sup>109</sup> Zalta, E. Frege’s logic, theorem and foundations for arithmetic. // Stanford encyclopedia of philosophy. Stanford (CA) : Stanford University, 2005. [citirano: 2006-02-26]. Dostupno na: <http://plato.stanford.edu/entries/frege-logic>

<sup>110</sup> Agent – uzročnik, sila, sredstvo. Agent ovdje treba čitati kao agens – aktivno načelo, intellectus agens; pomoću agensa ljudski potencijalni razum može spoznavati. U skolastici je to nastava tumačenja Aristotelove misli o aktivnom i pasivnom umu. Usp.: Filozofijski rječnik / red. V. Filipović. Zagreb : MH, 1989. Također <http://www.jfsowa.com/ontology/agents.htm> (Nap. prev.)

<sup>111</sup> Peirce, C. S. Philosophy of Peirce : selected writings. London : Routledge and Kegan Paul, 1940.

<sup>112</sup> Isto.



svijetu, Peirceov obilježava trojstvo, sa značenjem koje se sastoji u odnosu između znaka, označenog objekta, i daljnje upotrebe istog znaka *od drugih* koji “misle”<sup>113</sup> isti objekt. (Taj presudni treći član u njegovom modelu značenja, on naziva *tumač* znaka.) Bitna razlika između tih modela je u tome da, dok kartezijanski izvodi udobnu pretpostavku da na temelju naših namjera sami određujemo i imamo konačni autoritet o tome što mislimo, Peirceov podrazumijeva da se značenja nečijih znakova sastoje samo u tome kako ga drugi stalno upotrebljavaju. Stoga, značenje koje znak ima za početne korisnike može biti vrlo različito od značenja kako je protumačeno kasnije; znanstveni nazivi daju vrlo dobar primjer za to.<sup>114 115</sup> Problem predvidivosti nasuprot nepredvidivosti razvoja u značenju, od velike je važnosti za formalnu ontologiju i njezin cilj da definira značenje u strojno razumljivom obliku.

Konačno pitanje vrijedno spomena – i blago je rečeno da je to ometalo filozofsku ontologiju od početka – jest pitanje stupnja do kojeg se kategorije koje su smislili ljudi ontolozi mogu smatrati sveopće primjenjivima ili objektivnima, u opreci s artefaktima u određenim kontekstima (kao što je kultura, vremensko razdoblje, pripadnost vrsti ili skup percepcijskih sposobnosti). Do koje mjere treba kategorije jednog ontologa smatrati valjanima za sva vremena, a do koje su mjere djeljive u svim zajednicama? Ili, mora li se sav ontološki posao raditi “lokalno” i opetovano? To je pitanje *realizma*; 2.000 godina neprekidnih polemika nije obeshrabilo filozofe da o tome žustro raspravljaju i dandanas. Prizore nekih skorašnjih okršaja iz tih rasprava imamo kod Rortyja,<sup>116</sup> Harrea i Krausza<sup>117</sup> i Kirka.<sup>118</sup>

### **Formalna ontologija u informacijskoj tehnologiji**

U kasnim 1950-tim, formalna ontologija iznova se pronalazi u računalnoj znanosti (područje kao takvo rođeno iz napretka u logici u 19. stoljeću, o čemu se govorilo ranije). Kako su baze podataka postajale sve složenije, a pokušaji da se

<sup>113</sup> Izbor glagola “to mean” u izvorniku je u ovom kontekstu prikladno višeznačan jer stapa koncepte “namjeravati”, “misliti”, “ciljati na”, “značiti”, tj. dobro predstavlja Peirceov pojam značenja kao bitno *intencionalan* ( usmjeren na objekt i vanjski svijet koji je nužan da bi mislima dao sadržaj; ne postoji nikakav znak koji je neovisan od odnosa prema označenom objektu), i istovremeno, najbitnije, *interpersonalan* (jer se upotreba ne zbiva u izolaciji mislećeg pojedinca od svijeta stvari, nego u neizbježnom kontekstu jezične komunikacije, i tek se preko nje uspostavlja odnos sa stvarnim svijetom). Interpersonalna komunikacija je ona pragma koja definira značenje, ili kako bi to Pierce rekao “interpretira znak”. (Nap. prev.)

<sup>114</sup> Peirce, C. S. (1940). Nav. dj.

<sup>115</sup> Legg, C. The meaning of meaning-fallibilism. // *Axiomathes*, 15(2005), 293-318.

<sup>116</sup> Rorty, R. Objectivity, relativism, and truth : philosophical papers, Vol. 1. Cambridge (UK) : Cambridge University Press, 1990.

<sup>117</sup> Harre, R.; M. Krausz. Varieties of relativism. Oxford (UK) : Blackwell, 1996.

<sup>118</sup> Kirk, R. Relativism and reality : a contemporary introduction. London : Routledge, 1999.



one integriraju sve ambiciozniji, primijećeno je<sup>119 120</sup> da su određeni problemi koje oblikovatelji baza podataka susreću zapravo ontološke naravi. Na primjer: Što je osoba? Je li to entitet koji postoji kao cjelina u jednomu određenom vremenu (u tom slučaju može se primjereno pretpostaviti da osoba ima samo jednu adresu). Ili je to entitet koji pokriva čitav “život osobe” (u tom slučaju baze podataka imat će posla s “osobom” koja ima višestruke adrese)? Jesu li organizacije određene fizičkim lokacijama njihovih zgrada, u tom slučaju nije moguće imati dvije organizacije na jednoj lokaciji? Ili su one određene nekim drugim sredstvima, ako jesu, kako? (Na primjer, kakav je odnos između Microsoft Germany i Microsoft USA?) Nekakva opća standardizirana pojmovna shema smatra se poželjnom, barem da se preduhitri da slučajna, privremena rješenja ontoloških problema ne “hakiraju” računalni programeri.

Možda manje iznenađujuće, ontologija je postala predmet zanimanja u području umjetne inteligencije. Zanimljivo je da nakon ranih poticajnih uspjeha na relativno jednostavnim problemima, umjetna inteligencija nailazi na teškoće koje su dovele do poniznog smanjivanja ciljeva i entuzijazma (kao i financiranja).<sup>121</sup> U kasnim 1970-im i ranim 1980-im, intenzivni istraživački naponi bili su usmjereni u tzv. “ekspertne sustave”, koji su težili predstaviti znanje neke domene tako da se na pitanja o njoj moglo odgovoriti na razini ljudskih stručnjaka. Primjeri uključuju DENDRAL za organsku kemiju<sup>122</sup> i MYCIN za medicinsku diagnostiku.<sup>123</sup> Ovi su sustavi postigli uspjeh u usko definiranim domenama za koje su oblikovani, ali postali su krhki kad ih se primijenjeno na nove probleme. Veliki kamen spoticanja bilo je izvršavanje “umjetnog razumijevanja” prirodnim jezicima kao što je engleski. Shvatilo se da se razumijevanje prirodnog jezika pretežno crpi iz pozadinskog okvira općeg znanja o svijetu (čak i na razini jednostavne rečenične analize, što je razvidno iz različitih tumačenja koje prirodno dajemo rečenicama “Aroha i Fiona su majke” i “Aroha i Fiona su sestre”).

Nekoliko dalekovidnih pojedinaca počelo je u filozofiji tražiti pomoć u konstruiranju umjetnog općeg okvira znanja.<sup>124 125</sup> Neka od tih novih mišljenja kristali-

<sup>119</sup> McCarthy, J. What has AI in common with philosophy? // Proceedings of the 14th international joint conference on AI, 14(1995), 2041-2044 [citirano: 2006-02-26]. Dostupno na: <http://www-formal.stanford.edu/jmc/aiphil/aiphil.htm>

<sup>120</sup> Smith, B. *Ontology*. // Blackwell guide to the philosophy of computing and information / ed. Floridi, L. Oxford (UK) : Blackwell, 2003.

<sup>121</sup> Cyc : Toward programs with common sense. / Lenat, D. B. et al. // Communications of the ACM, 33, 8(1990), 30-49.

<sup>122</sup> Applications of artificial intelligence for organic chemistry : the DENDRAL project. / Lindsay, R. K. et al. New York : McGraw-Hill, 1980.

<sup>123</sup> Buchanan, B. G.; E. H. Shortliffe. Rule-based expert systems : the MYCIN experiments of the Stanford heuristic programming project. Reading (MA) : Addison-Wesley, 1984.

<sup>124</sup> McCarthy, J. Nav. dj.

<sup>125</sup> Sloman, A. A philosophical encounter : an interactive presentation of some of the key philosophical problems in AI and AI problems in philosophy. // Proceedings of the 14th international joint conference on AI, 14(1995). [citirano: 2006-03-19]. Dostupno na: <http://www.cs.bham.ac.uk/research/cogaff/Sloman.ijcai95.pdf>

zirala su se u nizu projekata formalne ontologije, od kojih je najveći i najambiciozniji bio Cyc project, čiji cilj Lenat identificira kao, uhvatiti “zdravi razum”: sve što šestogodišnjakinja zna, a što joj omogućuje da razumije prirodni jezik i počne nezavisno učiti.<sup>126 127</sup> (O Cyc ontologiji se raspravlja u odjeljku “Ontologije s logičkom izražajnošću prvog-reda (ili višim)”). Ovi ontološki projekti crpe iz istraživačkih pokušaja umjetne inteligencije da predstave znanje u “deklarativnim” jezicima izričito modeliranim na formalnoj logici (i podvrgnutim njenim pravilima zaključivanja). Ovo prihvaćanje formalne logike slijedilo je u fazama. Najraniji sustavi predstavljanja znanja bile su semantičke mreže<sup>128</sup> i “okvirni sustavi”, nazvani tako jer su utjelovljivali zbirke imenovanih struktura podataka (okvira), od kojih je svaki imao niz “razdjeljaka” koji su predstavljati atribute za entitete predstavljene okvirom, u koje su umetane vrijednosti.<sup>129</sup> Uskoro se shvatilo, međutim, da ih nepostojanje formalne semantike koja bi podržavala ove sustave, čini nezadovoljavajućima. Razlog tome je duboka dvosmislenost: na primjer, ako je vrijednost “zeleno” umetnuta u razdjeljak “boje” unutar okvira “žaba”, znači li to da žabe *moraju* biti zelene ili jedino da žabe *mogu* biti zelene? Ovdje leži izvorna pomutnja.

Prvu formalnu semantiku posebno namijenjenu području predstavljanja znanja razvio je Brachman,<sup>130</sup> a ta je formalna semantika dovela do jezika poznatog kao KL-ONE.<sup>131</sup> Negdje u to vrijeme, počela se pojavljivati zamisao da bi moglo biti korisno ograničiti logičku izražajnost u korist provodljivosti zaključivanja; nažalost, pokazalo se da je rasuđivanje, čak i u KL-ONE-u, neodlučivo.<sup>132</sup> Na tragu ovih istraživanja, razvila se grana formalne logike poznata kao deskriptivna logika. Deskriptivna logika je odlučivi fragment logike prvog reda s nizom opisa veće ili manje izražajnosti. Brachman i Levesque<sup>133</sup> daju pregled dvadeset godina razvoja u tom području. Detaljno ispitivanje formalnih značajki i posljedica za odlučivost različitih verzija deskriptivnih logika uključuje SHOQ(D),<sup>134</sup>

<sup>126</sup> Lenat, D. B. Cyc : a large-scale investment in knowledge infrastructure. // Communications of the ACM, 38, 11(1995), 32-59.

<sup>127</sup> Lenat, D. B.; R. V. Guha. Building large knowledge-based systems : representation and inference in the Cyc project. Reading (MA) : Addison Wesley, 1990.

<sup>128</sup> Quillian, M. R. Word concepts : a theory and simulation of some basic semantic capabilities. // Behavioral science, 12(1967), 410-430.

<sup>129</sup> Minsky, M. A framework for representing knowledge. // The psychology of computer vision / ed. P. Winston. New York : McGraw-Hill, 1975.

<sup>130</sup> Brachman, R. Structured inheritance networks (Technical report no. 3742). Cambridge (MA) : Bolt Beranek & Newman, 1978.

<sup>131</sup> Brachman, R.; J. Schmolze. An overview of the KL-ONE knowledge representation system. // Cognitive science, 9(1985), 171-216.

<sup>132</sup> Schmidt-Schauss, M. Subsumption in KL-ONE is undecidable. // Proceedings of the First international conference on principles of knowledge representation and reasoning (1989), 421-431.

<sup>133</sup> Brachman, R.; H. Levesque. Knowledge representation and reasoning. Boston : Morgan Kaufmann, 2004.

<sup>134</sup> Horrocks, I.; U. Sattler. Ontology reasoning in the SHOQ(D) description logic. // Proceedings of the international joint conference on artificial intelligence workshop on ontologies and information sharing (2001), 199-204.

SHIQ,<sup>135</sup> i ALL.<sup>136</sup> Borgida<sup>137</sup> uspoređuje izražajnost deskriptivnih logika i tradicionalnoga predikatnog računa.

Međutim, kako se razvijalo područje simboličkog “predstavljanja znanja”, shvatilo se da je nužno dodavati sve više i više logičke izražajnosti predstavljajućim jezicima kako bi se mogao riješiti i opisati puni opseg tipičnih ljudskih iskaza, uključujući negacije (npr. “Henry ne posjeduje jazz CD-e”), disjunkcije (npr. “Ovaj CD je ili jazz ili pop”) i iskaze o iskazima (npr., “Ruthina tvrdnja da Henry ne posjeduje jazz CD-e nije istinita”). Rezultat tih napora bio je da su u tom području dosegnuti jezici s punom logičkom izražajnošću prvog reda, ili čak logike višeg reda. Primjeri za to su Stanford Knowledge Interchange Format (KIF),<sup>138</sup> upravljanje znanjem,<sup>139</sup> zajednički razvijen na Sveučilištu Texas u Austinu i Boeingu, i CycL, jezik Cyc projekta. Teškoće zaključivanja u ovim jezicima uskoro postaju više nego očite, a kako se područje umjetne inteligencije ubrzano razvijalo u 1990-im, okrenuvši se od jasne simbolizacije “dobre stare umjetne inteligencije” prema surovij obradi velike količine brojčanih podataka sažetih u strojnom učenju, ovi projekti počinju iščezavati. Međutim, pritisak da se stvori semantički web opet su raspirili interes za njima, iako ostaje za vidjeti koliko se mogu prilagoditi sadašnjim potrebama.

Većina formalnih ontologa u informacijskoj tehnologiji radi s Gruberovom<sup>140</sup> jednostavnom definicijom ontologije kao “specifikacije konceptualizacije”. Ova definicija polazi iz realističkog rašlanjivanja, pretpostavljajući da sve što određena skupina ljudi konceptualizira kao stvarno jeste sva stvarnost koju treba predstaviti.<sup>141</sup> Unatoč svom “nestvarnom” pristupu, zadovoljava Quineovo mjerilo ontološke obveze (možemo se pitati, naravno, kako možemo predstaviti stvari ako ih nismo konceptualizirali). Unatoč tome, Gruberova definicija ima kritičare u zajednici formalnih ontologa, na primjer Smitha,<sup>142</sup> koji, međutim, dopušta da može biti primjerena za određene domene čiju su stvarnost uvjerljivo i u cjelini stvorili ljudi, kao što su to administrativni sustavi.

<sup>135</sup> Horrocks, I.; U. Sattler; S. Tobies. Reasoning with individuals for the description logic SHIQ. // Proceedings of the 17th international conference on automated deduction 17(2000), 482-496.

<sup>136</sup> Isto.

<sup>137</sup> Borgida, A. On the relative expressive power of description logics and predicate logics. // Artificial intelligence, 82(1996), 353-367.

<sup>138</sup> Geneserth, M.; Fikes, R. KIF : knowledge interchange format version 3.0 reference manual. Stanford (CA) : Stanford University, Knowledge Systems AI Laboratory, 1992.

<sup>139</sup> Clark. P.; B. Porter. KM-the knowledge machine : users manual and situations manual. [citirano: 2006-02-26]. Dostupno na: <http://www.cs.utexas.edu/users/mfkb/RFK/km.html>

<sup>140</sup> Gruber, T. R. A translation approach to portable ontology specifications. // Knowledge acquisition, 5(1993), 199-220.

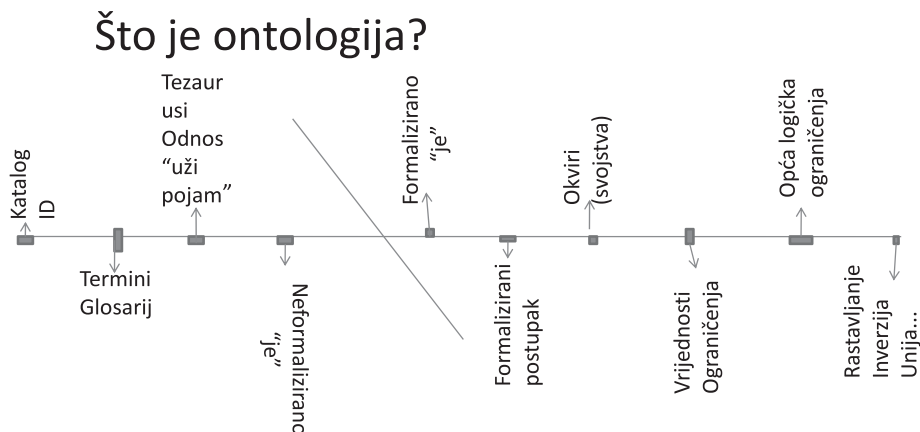
<sup>141</sup> Gruber, T. R. Toward principles for the design of ontologies used for knowledge-sharing. // International journal of human-computer studies 43(1995), 907-928.

<sup>142</sup> Smith, B. Ontology. // Blackwell guide to the philosophy of computing and information / ed. Floridi, L. Oxford (UK) : Blackwell, 2003.

### Logička izražajnost ontoloških jezika

Kao što je rečeno, prilagodljivost aplikacija koje koriste ontologije pod snažnim je utjecajem logičke izražajnosti ontoloških jezika (kako predstavljajućih tako i upitnih, ukoliko se drugi razlikuju od prvih, što je čest slučaj). Na Slici 3 McGuinness<sup>143</sup> prikladno sistematizira ontologije kroz niz rastuće izražajnosti.

Prva i najjednostavnija kategorija, *katalozi*, sastoji se od konačnog popisa naziva koji se koriste kao nadzirani rječnik, iako nije učinjen nikakav pokušaj da se nazivi definiraju. Sljedeća kategorija, *glosariji*, sastoje se od popisa naziva sa značenjem svakog naziva iskazanog u prirodnom jeziku.



Slika 3. McGuinnessina taksonomija ontologija

*Tezaurusi* dodaju glosarijima određene osnovne semantičke odnose, kao što je sinonimija (stoga, tezaursus za glazbenu domenu može označiti da “CD” i “compact disc” znače istu stvar). Počesto, tezaurusi također uključuju neformalni “je” odnos (tj. pripadnost vrsti ili klasi) da bi ga razabrao ljudski korisnik, ali ne i da ga se prosuđuje na bilo koji strojno obradiv način.

Desno od dijagonalne crte, ontologijama se počinju dodavati svojstva i odnosi koji se mogu prosuđivati formalno. Prvi dodatak je formalna podklasa i odnosi pripadanja klasi. Time dolazimo do složenosti okvirnih sustava. Ako je odnos podklasnosti prikazan kao prijelazan, ontologija omogućuje nasljeđivanje (to se ponekad naziva “uključujuća hijerarhija”). Sljedeća logička finesa koja se obično dodaje, jesu tzv. “vrijednosna ograničenja” pomoću kojih se tvrdnje ograničavaju na domenu ili raspon ontoloških odnosa (npr., “Svaki imenovani umjetnik na CD-u je osoba.”). Nakon toga je uobičajeno dodati standardni među-skup odnosa klasične teorije skupova. To uključuje *uniju* (npr., “Kategorija ‘glazba 80-ih’ sastoji se od izdanja iz 1982, 1982, 1983... itd.”), *presjek* (npr., “Kategorija ‘glazba koju je preporučilo studentsko odjeljenje 10’ sastoji se od onih pjesama koje su

<sup>143</sup> McGuinness, D. Nav. dj.

zabilježene na iPod-ovima svakog stanara odjeljenja 10.”) i *razdvajanje* (npr., “Jazz CD-i nisu heavy metal CD-i.”). Time smo dosegli složenost nekih verzija deskriptivne logike.

Slijed se nastavlja ontološkim jezicima s izražajnošću logike punoga prvog reda. Logika prvog reda je već neodlučna; međutim, moguće je nastaviti i dalje, do logike višeg reda, uključujući značajke kao što su kvantificiranje svojstava, (“Sve pjesme u Cathynoj zbirci imaju nešto zajedničko”), iskaze o iskazima (“Nisu sve Cathyne tvrdnje o njejoj CD zbirci istinite.”), modalnu logiku (“Moguće je da je Miles Davies objavio hip-hop CD.”) i kontekstualnu logiku (“Budući da se u romanu (X) (kaže), da je sve CD-e Kate Bush snimio David Bowie, zapravo je Kate Bush snimila svoje CD-e.”). Problemi provodljivosti zaključaka ovdje su tako složeni da je na takvim jezicima provedeno vrlo malo istraživanja (u usporedbi s vrlo opsežnim radom učinjenim na deskriptivnim logikama). Bez obzira na to, neke ontologije usudile su se otići tako daleko.

Iako se ontološki jezici “stvarnog svijeta” ne uklapaju baš najbolje u ove podjele, ovaj se okvir ovdje koristi da sistematizira ontologije na semantičkom webu u tri široke kategorije o kojima će se raspravljati u slijedeća tri odjeljka – naime, “tezaurus ontologije”, ontologije s (ugrubo govoreći) izražajnošću deskriptivnih logika i ontologije s izražajnošću logike prvog reda ili višeg. Treba napomenuti da univerzalni izraz “ontologija” donekle obmanjuje obzirom na podjelu u tri poglavlja, budući da neki od jezika o kojima smo raspravljali gotovo da i nisu ontološki jezici jer ne predstavljaju stvarno znanje (npr., OWL); neki uključuju jezike i više-manje proširene baze znanja (npr., SUMO); dok neki (kao Cyc) tvore cjeloviti sustav predstavljanja znanja (sadržavajući dodatna pomagala kao program zaključivanja, sučelje prirodnog jezika i programa za uređivanje ontologije).

## Tezaurus ontologije

### *Dublinski osnovni skup elementa metapodataka*

Poticaj za Dublinski skup metapodataka (The Dublin Core Metadata Initiative, DCMI) (<http://dublincore.org>) je neobvezno povezana skupina istraživača iz raznih ustanova širom svijeta, čiji je cilj izrada interoperabilnih standarda za metapodatke. U tu svrhu, posvetili su se razvijanju zajedničkog okvira i tehnologija za metapodatke, izgradnji rječnika za osnovne metapodatke i skupljanju i bilježenju rječnika metapodataka koje su drugi sastavili. Heery i Wagner su primijetili da ti registri vuku porijeklo iz “zajedničkih rječnika podataka i postupaka za njihovu registraciju koju podržava zajednica ISO/IEC 11179.”<sup>144</sup>

Prva radionica o Dublinskom skupu metapodataka (Dublin Core Series Workshop) održana je u Dublinu, Ohio, 1995. Prvi uradak ovoga poticaja bio je Dublinski osnovni skup elementa metapodataka (Dublin Core Metadata Element Set,

<sup>144</sup> Heery, R.; H. Wagner. A metadata registry for the Semantic Web. // D-Lib Magazine, 8(5)(2002) [citirano: 2006-03-29]. Dostupno na: <http://www.dlib.org/dlib/may02/wagner/O5wagner.html>

DCMES), rječnik za opisivanje 15 “osnovnih” svojstava informacija, kao što su “Opis”, “Stvaratelj” i “Datum”. DCMES funkcionira kao knjižnični katalog na listićima za mrežne resurse. “Jednostavni Dublinski skup” (*Simple Dublin Core*) koristi samo kanonske elemente definirane u skupu elemenata, dočim “Kvalificirani Dublinski skup” (*Qualified Dublin Core*) dopušta dodavanje daljnjih kvalifikatora za definiranje podataka. Neki od članova DCMI-a aktivni su i u W3C-u; doista, Dublinski skup je aplikacija koju je RDF na početku uzeo za svoj prototip. Logička izražajnost DCMES-a posebno je jednostavna, sastoji se jedino od parova atribut: vrijednost (s time da mu je mogući broj atributa samo 15 pa mu nedostaje “snaga sveopće izražajnosti” po Deckeru et al.<sup>145</sup>); obzirom na sve to, možemo oklijevati da ga uopće nazivamo ontologijom.

### **WordNet**

WordNet se razvija od 1985. na Cognitive Science Laboratory pri Sveučilištu Princeton (pod vodstvom psihologa Georgea Millera). Rad je dobio značajne fondove vladinih agencija zainteresiranih za strojno prevođenje. WordNet je leksikon engleskog jezika koji sadrži otprilike 150.000 riječi organiziranih u više od 115.000 “sinseta” (skupova sinonima ili fraza). Riječi u pravilu sudjeluju u više sinseta. WordNet razlikuje imenice, glagole, pridjeve i priloge. Značenje sinseta se dalje razjašnjava kratkim tumačenjima. Svaki sinset je povezan s drugim sinsetima određenim brojem tranzitivnih relacija. Za imenice, relacije uključuju sinonime, hipernime (Y je hipernim od X ako je svaki X vrsta od Y), hiponime (Y je hiponim od X ako je svaki Y vrsta od X), holonime (Y je holonim od X ako je X dio od Y) i meronime (Y je meronim od X ako je Y dio od X). Odnosi hipernima i hiponima primijenjeni su i na glagole; sljedno tome, i imenice i glagoli su organizirani u hijerarhiju podređenosti.

WordNet projekt, koji se može besplatno preuzeti (<http://wordnet.princeton.edu>) naširoko se koristi, a potaknuo je i stvaranje sličnih projekata. Global WordNet pokušava koordinirati proizvodnju i povezivanje *wordneta* za sve jezike ([www.globalwordnet.org](http://www.globalwordnet.org)). Prošireni WordNet (eXstended WordNet), projekt Sveučilišta Texas, Dallas, teži poboljšati WordNet semantičkom analizom glosa, dakle, učiniti ih dostupnima za sustave automatske obrade znanja (<http://xwn.hlt.utdallas.edu>). FrameNet, kojeg je razvio Charles Filmorea na Sveučilištu Kalifornija, Berkeley, dodaje neke tvrdnje koji pripisuju svojstva entitetima popisanim u WordNetu, dakle približava ga izražajnosti deskriptivnih logika. ([www.icsi.berkeley.edu/frame-net](http://www.icsi.berkeley.edu/frame-net)). SENSUS, koji se razvija na Institututu informacijskih znanosti Sveučilišta južne Kalifornije, proširenje je i reorganizacija WordNeta.

WordNet je vrlo jednostavan u pogledu logičke izražajnosti, budući da se sastoji gotovo u cijelosti od leksikona riječi s definicijama na prirodnom jeziku (iako doista omogućuje formalno rasuđivanje o odnosima podređenosti u hijerarhiji organiziranoj na nekim ranije spomenutim odnosima). Jednostavan je i u tom smislu

<sup>145</sup> The semantic Web : on the respective roles of XML and RDF / Decker, S. et al. // IEEE Internet computing, 4(5), (2000), 63-74.



da ne može, u načelu, razlikovati same riječi od pojmova koje one iskazuju (iako sinseti doista stvaraju semantičke klastere – tako, npr., riječ “stablo” sudjeluje u jednom sinsetu kao biološki organizam, a u drugom kao matematička struktura). Usprkos ovoj jednostavnosti, WordNet se često koristi kao formalna ontologija. Neki istraživači smatraju da je razlog raširene uporabe WordNeta upravo ta jednostavnost.<sup>146</sup> Konstruktori drugih, mnogo složenijih ontologija, učinili su velike napore da mapiraju WordNet na svoje sustave (npr., SUMO i OpenCyc, koji se razmatraju u pododjeljku “Ontologije logičke izražajnosti prvog reda (ili višeg)”).

## Ontologije s (uglavnom) izražajnošću deskriptivnih logika

### *Predmetne mape*

Predmetne mape<sup>147</sup> potiču iz rada u knjižničnoj znanosti i indeksiranju znanja<sup>148</sup> i standardizirane su u ISO/IEC 13250. Predstavljaju podatke koji se odnose na “predmete” (koji su imenovani i organizirani kao tipovi predmeta u hijerarhiji s odnosima podređenosti) pomoću “asocijacija”, što su odnosi proizvoljnog broja mjesta između predmeta i “dogadaja”, koji su informacijski resursi bitni za predmete. Predmetne mape mogu biti shvaćene, poput RDF podataka, kao uređeni grafikoni s označenim čvorovima i rubovima. Međutim, oni su logički izražajni zbog proizvoljne složenosti u odnosima udruživanja (u suprotnosti s ograničenjem na binarne odnose u RDF-u). Iskušavanje široke skale baza znanja koje imaju predmetne mape pretežno se odvija unutar organizacija koje rukuju velikim količinama vlastitih podataka, kao što su Mornarička obavještajna agencija SAD (*U. S. Office of Naval Intelligence*), Uprava državnih prihoda SAD-a (*U. S. Internal Revenue Service*) i Nizozemska uprava za poreze i carine (*Dutch Tax and Custom Administration*);<sup>149</sup> manje centralizirani projekt, bliži duhu semantičkog weba, je Kulturnett 3.0 ([www.kulturnett.no](http://www.kulturnett.no)), portal norveške vlade za kulturne informacije.

Nažalost, unatoč njihovoj sličnosti, RDF i predmetne mape, razvili su različite zajednice korisnika. Početne napore prema njihovoj integraciji opisali su Lacher i Decker;<sup>150</sup> Pepper, Vitali, Garshol, Gessa i Presutti;<sup>151</sup> te Garshol,<sup>152</sup> iako ovaj po-

<sup>146</sup> Sowa, J. The challenge of knowledge soup [citirano: 2006-02-26]. Dostupno na: <http://www.jfsowa.com/pubs/challenge.pdf>

<sup>147</sup> Pepper, S.; G. Moore. XML topic maps (XTM) 1.0. [citirano: 2006-02-26]. Dostupno na: <http://www.topicmaps.org/xtm/1.0>

<sup>148</sup> Web and semantic web query languages : a survey / Bailey, J. et al. [citirano: 2006-02-26]. Dostupno na: <http://www.pms.ifi.lmu.de/publikationen/PMS-FB/PMS-FB-2005-14.pdf>

<sup>149</sup> Breebaart, M. Using topics maps and XML to implement a closed-loop search service for the Dutch tax and customs administration website [citirano: 2006-02-26]. Dostupno na: [http://www.idelliance.org/papers/dx\\_xml04/papers/04-01-03/04-01-03.html](http://www.idelliance.org/papers/dx_xml04/papers/04-01-03/04-01-03.html)

<sup>150</sup> Lacher, M.; S. Decker. On the integration of topic maps and RDF data. // Extreme markup languages 2001 : proceedings [citirano: 2006-02-26]. Dostupno na: <http://www.mulberrytech.com/Extreme/Proceedings/htmv200yLacherO1/EML2001LacherIO.html>

<sup>151</sup> A survey of RDF/topic maps interoperability proposals. / Pepper, S. et al. [citirano: 2006-02-26]. Dostupno na: <http://www.w3c.org/TW/2005/WD-rdfm-survey-20050329>

<sup>152</sup> Garshol, L. M. Nav. dj.



sljednji primjećuje da potpuno spajanje dviju tehnologija ne izgleda “poželjno ili moguće”.

### **RDF shema**

RDF shema (RDFS)<sup>153</sup> proširuje RDF s nekoliko osnovnih okvira za modeliranje prvobitnosti (*primitives*).<sup>154</sup> To dopušta proglašavanje (deklariranje) klasa i svojstava, naseljavanje klasa primjerima i njihovo organiziranje u hijerarhiju s odnosima podređenosti. Također dopušta dodavanje raspona i domene ograničenih na svojstva i pripisivanje svojstava pojedinačnim primjerima. Sve ove značajke čine ga fragmentom deskriptivnih logika u smislu izražajnosti.<sup>155</sup>

Netko bi mogao pitati kakav je odnos između RDFS i XML sheme. Treba li semantički web doista i jednu i drugu shemu? Ako ne, koja bi od njih imala prednost? Ili možda, mogu li biti nekako stopljene? Nažalost, precizan logički odnos i raspon moguće interoperabilnosti između XML sheme i RDFS-a je složen i vrlo težak za razumijevanje. Ta se teškoća sastoji u polarizaciji zajednica njihovih korisnika obzirom na kulturnu pripadnost – XML shemu su prihvatili oni koji sebe vide kao “brze i prljave” konstruktore “stvarnog svijeta”, dok se korisnici RDFS-a poistovjećuju s elegancijom i formalnom ispravnošću obično podržanom samo fondovima za akademska istraživanja. 1999. godine dvije su se zajednice susrele u pokušaju da izglade svoje razlike; rezultat je bio dokument poznat kao “Cambridge Comunique”.<sup>156</sup> Učesnici su se složili da XML shema i RDFS ne bi trebale biti stopljene (zbog njihovih različitih modela podataka), ali da bi određene atomske tipove podataka trebalo podijeliti. Priopćenje sugerira također da bi specifikacija XML sheme trebala omogućiti prošireni mehanizam koji bi (na primjer) dopustio da elementi iz drugih imenskih prostora budu uključeni u dokument XML sheme, po mogućnosti čak uključiti i RDF model podataka kao takav. Daljnje detalje daje Melnik.<sup>157</sup> Drugi pokušaj premošćivanja XML-RDF rascjepa u običnoj formalnoj semantici možemo naći kod Patel-Schneidera i Simeona.<sup>158</sup>

RDFS je još uvijek logički prejednostavan da izrazi velik dio onoga što je rečeno na webu. Unutar njegovog okvira, moguće je deklarirati nove klase i naseliti ih primjerima, ali se ne može reći ništa dodatno o tim klasama i primjerima; osim toga, ne mogu se postaviti aksiomi ili pravila zaključivanja koja se na njih

<sup>153</sup> Brickley, D.; R. V. Guha. RDF vocabulary description language 1.0 : RDF schema [citirano: 2006-02-26]. Dostupno na: <http://www.w3c.org/TR/rdf-schema>

<sup>154</sup> De Bruijn, J. Nav. dj.

<sup>155</sup> Horrocks, I.; P. Patel-Schneider; F. Van Harmelen. From SHIQ and RDF to OWL : the making of a Web ontology language. // Journal of web semantics 1(2003), 7-26.

<sup>156</sup> Swick, R.; H. Thompson. The Cambridge communique : W3C Note 7. [citirano: 2006-02-26]. Dostupno na: <http://www.w3.org/TR/1999/NOTE-schema-arch-19991007>

<sup>157</sup> Melnik, S. Bridging the gap between RDF and XML [citirano: 2006-02-26]. Dostupno na: <http://www-db.stanford.edu/~melnik/rdf/fusion.html>

<sup>158</sup> Patel-Schneider, P. F.; J. Simeon. The yin/yang Web : XML syntax and RDF semantics. // Proceedings of the 11th international conference on World Wide Web 11(2002), 443-453.

odnose.<sup>159</sup> Stoga, problem *definiranja* (na strojno razumljivi način) značenja naziva korištenih u jednom ontološkom jeziku ostaje – konačno, RDFS nazivi još uvijek su indeksirani pomoću imenskih prostora čije je daljnje značenje nejasno.

### **DAML+OIL/OWL**

DAML+OIL je u začetku stvoren stapanjem rezultata dvaju projekata: američkog projekta DAML (American Defence Advanced Research Project Agency, DARPA Agent Markup Language, DAML) ([www.daml.org](http://www.daml.org)) i pretežno europskog projekta OIL (Ontology Inference Layer).<sup>160</sup> <sup>161</sup> To je posebno izražajna deskriptivna logika.<sup>162</sup> Iako podržava sve XML tipove podataka, ne podržava njihovo eksplicitno predstavljanje i stvaranje iskaza o njima.

DAML+OIL nedavno je prerađen i preimenovan u OWL (Web Ontology Language) – Ontološki jezik weba<sup>163</sup> koji je postao Preporuka W3C-a u veljači 2004. OWL ide dalje od RDF-a i RDFS-a omogućavajući dodatni rječnik i formalnu semantiku. Dodatni rječnik uključuje sposobnost definiranja klasa u uvjetima logičkih odnosa između drugih klasa (kao što su presjek, unija, komplement ili nabrojavanje specifičnih entiteta), sposobnost navođenja kardinalnosti klase (npr., “Jones ima 6 CD-a Kate Bush”), jednakost (za klase i pojedince) i značajke svojstava (kao što je simetrija, tranzitivnost, funkcionalnost i inverzan odnos između svojstava). Ipak, veće proširenje RDFS-a je mogućnost ograničenja ponašanja svojstava koja pripadaju klasama (npr., definirati klasu “Australac” čiji svi članovi imaju “Australia” kao vrijednost za svojstvo “država prebivanja”). To, na poseban način, rezultira u mnogo složenijoj logici.<sup>164</sup>

OWL ima tri podjezika, od kojih je svaki proširenje prethodnoga. OWL Lite, koji je oblikovan da podržava tezaurus i druge taksonomije, ograničen je na mogućnost klasifikacijske hijerarhije s nekim vrlo jednostavnim ograničenjima za vrijednosti. OWL DL (OWL Description Logics) je oblikovan za najveću moguću logičku izražajnost, a da istovremeno sačuva odlučivost i računalnu potpunost (svi zaključci koji su istiniti u OWL DL bazi znanja su izračunljivi, tj. formalno, strojno iskazivi). OWL Full žrtvuje računalnu potpunost da bi dosegao maksimalnu logičku izražajnost. U praksi se, međutim, OWL Lite pokazao kao vrlo blizak mnogo izražajnijem OWL DL-u u smislu složenosti njegove primjene; konstruk-

<sup>159</sup> Delteil, A.; C. Faron-Zucker; R. Dieng. Extensions of RDFS based on the CG formalisms. // Proceedings of the 9th international conference on conceptual structures 9(2001), 275-289.

<sup>160</sup> OIL : an ontology infrastructure for the semantic web / Fensel, D. et al. // IEEE intelligent systems 16(2), (2001), 38-45.

<sup>161</sup> Horrocks, I.; P. Patel-Schneider; F. Van Harmelen. Reviewing the design of DAML+OIL : an ontology language for the semantic Web. // Proceedings of the 18th national conference on artificial intelligence 18(2002), 792-797.

<sup>162</sup> De Bruijn, J. Nav. dj.

<sup>163</sup> McGuinness, D.; F. Van Harmelen. OWL Web ontology language : overview [citirano: 2006-02-26]. Dostupno na: <http://www.w3c.org/TR/owl-features>

<sup>164</sup> Horrocks, I.; P. Patel-Schneider; F. Van Harmelen. From SHIQ and RDF to OWL : the making of a Web ontology language. // Journal of Web semantics 1(2003), 7-26

tori su stoga bili skloniji ovom drugom. OWL Full je toliko izražajan da se smatra preteškim za primjenu i, posljedično, gotovo da se i ne koristi. Konačno, najviše pomagala postoji upravo za OWL DL.

Precizan formalni odnos između OWL-a i RDF-a, (tj. na koji način prvi “proširuje” drugog, kako Berners-Lee shvaća proširenje), podosta je šakaljivo pitanje. OWL Full može se gledati kao proširenje RDF-a, dočim OWL Lite i OWL DL možemo smatrati proširenjem samo ograničene varijante RDF-a. Drugim riječima, svaki OWL dokument je RDF dokument, i svaki RDF dokument je OWL Full dokument, ali samo neki RDF dokumenti su pravi OWL Lite ili OWL DL dokumenti. Stoga se mora vrlo pažljivo migrirati RDF dokumente u OWL.<sup>165</sup> Zanimljivo gledanje na trenutna pitanja glede OWL-a koja nastaju zbog njegovog porijekla iz deskriptivne logike, kao i pregled proturječnih uvjeta koji su doveli do razvoja triju odvojenih jezika, naći će se u Horrocks et al.<sup>166</sup>

Oštroumna rasprava<sup>167</sup> potaknula je daljnje pitanje u vezi zasnivanja OWL-a na RDF-u i RDFS-u – naime, da to u stvari podliježe Russellovom paradoksu, koji je, kako je ranije rečeno, porazio Fregeovu izvornu viziju jednoglasnoga, sjedinjenoga i deduktivno cjelovitog sustava znanja. Razlog leži u tome što je OWL dovoljno izražajan da dopusti korisnicima definirati klase po volji iz skupova resursa, ali sintaksi RDF-a nedostaju sredstva da blokira stvaranje klase sviju klasa koja ne sadrži samu sebe. Patel-Schneider i Fensel dopuštaju da bi odgovor na taj problem mogao biti “Koga briga?” temeljem činjenice da se takvo stanje pojavljuje iznimno rijetko, ako se uopće pojavljuje, “u krajnjoj špekulaciji”, pa bi se konstruktori semantičkog weba trebali držati praktičnih problema.<sup>168</sup> Međutim, oni pobijaju takvu mogućnost stavljajući pod znak pitanja koliko je praktično imati “potpuno urušenje logičkog formalizma”.<sup>169</sup> Ta je debata učinila vrlo živom podjelu unutar zajednice semantičkog weba između pragmatizma usmjerenog na stvaranje aplikacije i formalne korektnosti sustava.

Patel-Schneider i Fensel<sup>170</sup> nude detaljnu analizu četiriju mogućih rješenja ovog problema: (1) napisati nekoliko izričitih pravila za ograničavanje zaključivanja iz tvrdnji u RDFS-u na tvrdnje u OWL-u ( mjera koja bi osakatila (logičku) izražajnost OWL-a na čudnovat i teško predvidljiv način); (2) definirati nove sintaktičke konstrukcije u OWL-u (koje bi, izgleda, mogle ukinuti svrhu torta modela prema kojem svaki sloj proširuje onaj ispod sebe); (3) definirati neke nove semantike za OWL koje se ne obaziru na određene RDFS semantike (potez koji također

<sup>165</sup> McGuinness, D.; F. Van Harmelen. OWL Web ontology language : overview [citirano: 2006-02-26]. Dostupno na: <http://www.w3c.org/TR/owl-features>

<sup>166</sup> Horrocks, I.; P. Patel-Schneider; F. Van Harmelen. From SHIQ and RDF to OWL : the making of a Web ontology language. // Journal of Web semantics 1(2003), 7-26

<sup>167</sup> Patel-Schneider, P. F.; D. Fensel. Nav. dj.

<sup>168</sup> Vidi npr.: Berners-Lee, T. What the semantic web can represent [citirano: 2006-02-26]. Dostupno na: <http://www.w3.org/DesignIssues/RDFnot.html>

<sup>169</sup> Patel-Schneider, P. F.; D. Fensel. Nav. dj.

<sup>170</sup> Isto.

izgleda kao da ukida svrhu torta modela); i (4) definirati odvojenu sintaksu i semantiku za OWL (što se čini kao najmanje elegantno rješenje).

Da zaključimo, OWL, iako trenutno vodeća ontologija W3C grupacije, nije bez problema; tipičan primjer je njegovo složeno preobilje naziva. Slijedi primjer za Horrocksov<sup>171</sup> OWL-ov prijevod iskaza “Student je osoba koja je uključena u najmanje jedan razred” (“*A student is a person who is enrolled in at least one class*”):

```
<owl:Class rdf:ID="Student">
  <owl:intersectionOf rdf:parsetype="Collection">
    <owl:Class rdfs:about="Person"/>
    <owl:Restriction>
      <owl:onProperty rdf:resource="enrolledIn"/>
      <owl:minCardinality rdfs:datatype="xsd:Integer">
        </owl:minCardinality>
      </owl:Restriction>
    </owl:intersectionOf>
  </owl:Class>
```

Potrebno je uvažiti i činjenicu da slaganje takvog iskaza pomoću RDF-a ima za nužnu posljedicu kodiranje složenog iskaza u stog tripleta koji će se morati na neki način spojiti ako se mora sačuvati dosljednost iskaza.<sup>172</sup>

## SHOE

Jednostavna ontološka proširenja HTML-a – SHOE (Simple HTML Ontology Extensions) je među prvima razvijena ontološka platforma semantičkog weba koja kombinira značajke okvirnih sustava i predikatne logike.<sup>173 174</sup> Omogućuje obilježavanje mrežnih stranica odvojenim strojno čitljivim metapodacima, koji mogu biti usađeni izravno u HTML dokumente ili korišteni u XML dokumentima. Ovom se drugom slučaju daje prednost jer izlaže metapodatke širem rasponu softverskih pomagala.<sup>175</sup>

SHOE pristupa problemu distribuirane prirode mrežnih resursa tako da omogućuje sustav za proširenje ontologija, koristi oznake za određenje ID-a i broja verzije ontologija proširenih u odnosu na datu ontologiju, te da koristi prefikse kako bi se odredilo iz koje ontologije dolaze dati nazivi. Posjeduje formalnu semantiku. SHOE konstruktori tvrde da umanjuju problem logičkog proturječja na webu oblikujući jezik kojim bi, koliko god je to moguće, izbjegli predstavljanje logičkih

<sup>171</sup> Horrocks, I.; P. Patel-Schneider; F. Van Harmelen. Nav. dj.

<sup>172</sup> Isto.

<sup>173</sup> Heflin, J.; J. Hendler. Dynamic ontologies on the Web. // Proceedings of the seventeenth national conference on artificial intelligence 17(2000), 443-449.

<sup>174</sup> Heflin, J.; J. Hendler; S. Luke. Nav. dj.

<sup>175</sup> Isto.

proturjeđa. Stoga, SHOE ne dopušta logičku negaciju, poricanje tvrdnji koje su već izjavljene, pojedinačno-vrijednosne odnose ili navođenje nepovezanosti među klasama. Naravno, sve to značajno ograničuje snagu izražajnosti SHOE-a (npr., čineći nemogućim tvrdnju kao što je “Ne postoji CD koji je gramofonska ploča”).

Fensel et al.<sup>176</sup> su kritizirali pristup koji je zauzeo SHOE zbog njegove strategije dodavanja daljnjih podataka mrežnim stranicama umjesto “da se učini eksplicitnom semantika već dostupnih podataka”. Ne samo da je ovaj drugi pristup elegantniji, nego također izbjegava problem održavanja uzrokovan prisutnošću dvaju skupova oznaka za iste podatke. Fensel et al. također tvrde da je snaga zaključivanja SHOE-a preslaba, da jedva nadmašuje osnovne sposobnosti baze podataka. Međutim, treba zabilježiti da su ovi istraživači konstruktori suparničkog sustava, Ontobrokera, koji je, nasuprot SHOE-ovoga osnovnog zaključivanja na bazi podataka, više logički utemeljen i zaključuje i bilježi dodatno znanje povrh onoga koje je već dato. Takva proaktivna dedukcija tradicionalno je poznata u krugovima umjetne inteligencije kao “dalekovidna inteligencija”. Međutim, obzirom na eksponencijalan rast unaprijed zaključivog znanja iz samo nekoliko jednostavnih pravila zaključivanja, možemo pitati koliko je to prilagodljivo za semantički web u cjelini.<sup>177</sup>

Da je SHOE lako mogao biti nešto kao pokusna aplikacija semantičkog weba, koja je sada potisnuta, pokazuje i činjenica da se njegova službena mrežna stranica više aktivno ne održava i da njegova dva ključna konstruktora (Hendler i Heflin) sada rade na OWL-u.

## Ontologije s logičkom izražajnošću prvog reda (ili višom)

### Cyc

Kao što je rečeno, projekt Cyc ([www.cyc.com](http://www.cyc.com)) je najambiciozniji projekt formalne ontologije do sada, s korijenima čvrsto usađenim u klasičnoj umjetnoj inteligenciji. Najambiciozniji je u smislu veličine (preko 600.000 kategorija), dubine znanja (preko dva milijuna aksioma), i uloženog vremena (preko 700 osoba-godina).<sup>178</sup> Cyc je pokrenut 1984. kao projekt unutar Microelectronics and Computer Technology Corporation (MCC), odvojivši se u nezavisnu kompaniju, Cycorp, 1994. 2002. Cycorp objavljuje prvu verziju (0.7.0) OpenCyc ([www.opencyc.org](http://www.opencyc.org)), verziju javno dostupnog koda (oko 40 posto) svoje ontologije. U veljači 2005., objavljena je verzija 0.9.0 (oko šest puta veća od 0.7.0). Postoji i neznatno šira verzija za istraživače, nazvana ResearchCyc. Cyc ontologija ima svoj vlastiti, svrhovito građeni program zaključivanja, koji se pojavljuje u paketu zajedno s OpenCyc i ResearchCyc.

<sup>176</sup> Lesons learned from applying AI to the web / Fensel, D. et al. // International journal of cooperative information systems 9(4), (2000), 361-382.

<sup>177</sup> Isto.

<sup>178</sup> Sowa, J. The challenge of knowledge soup [citirano: 2006-02-26]. Dostupno na: <http://www.jfsowa.com/pubs/challenge.pdf>

Još ambicioznije, “ontološki inženjeri” izvorno su zamislili da Cyc projekt krene od početne ručno kodirane baze znanja (postupak koji se pokazao preskupim – skorašnji javni pokus za visokoškolski udžbenik iz kemije iznosi otprilike 10.000 \$ po stranici<sup>179</sup>) prema sustavu koji automatizirano usvaja znanje, tako da nekvalificirane osobe čitaju i postavljaju pitanja.<sup>180</sup> Izgradnja sučelja na prirodnom jeziku drugi je veliki cilj projekta: za razliku od WordNeta, nazivi koji predstavljaju pojmove u Cyc ontologiji i riječi na engleskom ili bilo kojem drugom jeziku međusobno su odvojeni i to zahtijeva mapiranje.

Cyc projekt je neustrašivo prionuo na najprisutnije ontološke probleme, i to ne samo indeksiranje naziva, nego i pokušaj opisivanja njihovog značenja na strojno razumljivi način. Na primjer, njegovo predstavljanje pojma stabla (#\$Tree-The-Plant, koje se razlikuje od #\$Tree – Path system) dolazi s aksiomatskim iskazima (npr., “Stablo se uglavnom sastoji od drveta”) i pravilima (npr., “Ako je stablo posječeno, tada će biti uništeno”). Taj je posao učinjen u svrhovito građenom CycL jeziku, koji, iako se uglavnom sastoji od predikatne logike prvog reda i teorije skupova, ima izražajnost logike višeg reda – dopuštajući iskaze o iskazima, kontekstualnu logiku (Cyc sadrži 6.000 eksplicitno predstavljenih konteksta, poznatih kao “mikroteorije”) i neke modalne iskaze (iako samo temporalna modalnost trenutno podržava zaključivanje). Dodatnu složenost čini mogućnost jezika da dopušta iskazima pridavanje ne dviju, nego pet različitih istinosnih vrijednosti: ne-poništivo istinit, poništivo istinit, nepoznanica, poništivo lažan i ne-poništivo lažan.

Budući da ovaj projekt već dugo traje i da je dosta skup, postao je predmetom nekih kritika. Na primjer, Copeland<sup>181</sup> je kritizirao određene ontološke opcije koje su učinjene obzirom na predstavljanje supstance, uzrokovanja i vremena. U jednom ranom, ali utjecajnom članku, Smith<sup>182</sup> tvrdi da su konstruktori Cyc-a, metodološki, “izostavili središnji dio”, optužujući ih za

pretpostavku da se možeš kretati izravno od opće intuicije na detaljan iskaz, uglavnom bez potrebe za posrednim pojmovnim rezultatima ...  
od općenitosti ljudskog znanja prema zamršenosti nasljeđivanja;<sup>183</sup>  
od punog procvata inteligencije do posebnih vrsta nadziranog pretraživanja.

<sup>179</sup> Isto.

<sup>180</sup> Searching for common sense : populating Cyc from the web. / Matuszek, C. et al. // Proceedings of the twentieth national conference on artificial intelligence 20(2005) [citirano: 2006-02-26]. Dostupno na: <http://www.cyc.com/doc/whitečpaperdAA4IO51MatuszekC.pdf>

<sup>181</sup> Copeland, J. CYC : a case study in ontological engineering. // Electronic journal of philosophy 5, 6(1997) [citirano: 2006-03-19]. Dostupno na: <http://ejap.louisiana.edu/EJAP/1997.spring/copeland976.2.html>

<sup>182</sup> Smith, B. C. The owl and the electric encyclopedia. // Artificial Intelligence 47(1991), 251-288.

<sup>183</sup> U izvorniku “...to the intricacies of slot inheritance”, čime se očito misli na razvrstavanje u kategorije, unutar hijerarhija podređenosti koje obilježava prenošenje/nasljeđivanje svojstava. (Nap. prev.)



(Zanimljivo je da se kritičari semantičkog weba žale na slične stvari.) U svakom slučaju, možemo slobodno reći da je istraživački izazov stvaranja ontologije opće namjene s predanim timom istraživača i značajnim novcem bilo mnogo teže provesti do kraja, nego što se to zamišljalo na početku projekta.<sup>184</sup> Ovakve su kritike opravdane samo do trenutka kad sustav koji započne samostalno učiti nastavlja voditi sam Cycorp.

Kakvu moguću primjenu ovakva ontologija doista ima za semantički web? S jedne je strane Cycorp učinio veliki napor da ugradi druge ontologije i baze podataka u Cyc. Primjeri uključuju Federal Information Processing Standards (FIPS), Central Intelligence Agency (CIA), WorldFactbook<sup>185</sup> i WordNet. Cycorp je nedavno objavio raspravu o automatiziranom označivanju tekstualnih dokumenata pomoću OWL-a,<sup>186</sup> značajan izazov na koji su Witbrock et al. upozorili jest da prevođenje naziva iz teksta u nazive u OWL-u pomoću jezika CycL, nije provedivo za sve nazive.

Nažalost, konstruktori semantičkog weba izvan Cycorpa koristili su do sada vrlo malo ovu ontologiju.<sup>187</sup> Njen sustav kategorija je izrazito složen, zahtijeva filozofsku uvježbanost za razumijevanje (većina Cycorповih ontologa ima doktorat iz filozofije, pa čak i njima treba šest mjeseci da valjano nauče sustav), a dugo je vremena bio i oskudno obrazložen. Provodljivost zaključaka mora da također zadaje dosta brige u pogledu krajnje izražajnosti CycL jezika. Ramachandran, Regan i Goolsbey<sup>188</sup> nedavno su istražili koliko taj problem može biti ublažen tako da se na dijelove baze znanja primijeni logika prvog reda. Nadalje, budući da Cyc obuhvaća integrirani skup aplikacija (gdje su program zaključivanja i druga pomagala građeni po uzajamnoj mjeri pa su kao takvi nepogodni za razdvajanje), izgleda da je predodređen da ostane "locirana" prije negoli "distribuirana" tehnologija, upućena na kanonizaciju po cijenu decentralizacije koju potiče vizija semantičkog weba. Međutim, kompanija se čvrsto drži uvjerenja (odražavajući Kantov racionalni skepticizam da značenje može biti isjeckano u komadiće) da je nužno riješiti problem razumijevanja temeljnoga, zdravorazumskog znanja na cjelovit, povezan

<sup>184</sup> Lenat, D. B.; E. Feigenbaum. On the thresholds of knowledge. // *Artificial intelligence* 47(1991), 185-250.

<sup>185</sup> Reed, S.; D. Lenat. Mapping ontologies into Cyc. // *AAAI 2002 Conference workshop on ontologies for the semantic web* (2002). [citirano: 2006-03-19]. Dostupno na: [http://www.cyc.com/doc/white\\_papers/mapping-ontologies-into-cyc\\_v31.pdf](http://www.cyc.com/doc/white_papers/mapping-ontologies-into-cyc_v31.pdf)

<sup>186</sup> Automated OWL annotation assisted by a large knowledge base / Witbrock, M. et al. // *Workshop notes of the 2004 workshop on knowledge markup and semantic annotation at the 3rd international semantic Web conference* 3(2004), 71-80.

<sup>187</sup> Vidi, međutim: Integrating descriptions of knowledge management learning activities into large ontological structures : a case study / Sicilia, M. A. et al. // *Data and Knowledge Engineering* 57(2006), 111-121.

<sup>188</sup> Ramachandran, D.; P. Reagan; K. Goolsbey. First-orderized ResearchCyc : expressivity and efficiency in a common-sense ontology. // *Papers from the AAAI workshop on contexts and ontologies : theory, practice and applications* (2005) [citirano: 2006-03-19]. Dostupno na: <http://www.cyc.com/doc/white-papers/fofication.pdf>



način pomoću jedne općenamjenske aplikacije kao prvi korak u izgradnji bilo koje druge aplikacije na temelju znanja, uključujući tu i semantički web.

### **SUMO**

Teknowledge Corporation (<http://ontology.teknowledge.com>) je razvio SUMO (Suggested Upper Merged Ontology = Predložena viša spojena ontologija) i objavio ga u prosincu 2000. Adam Pease, tadašnji tehnički urednik standarda, autorizirao je izvjestan broj publikacija koje predstavljaju njegova ključna svojstva.<sup>189</sup> <sup>190</sup> SUMO se može pregledavati ([www.ontologyportal.org](http://www.ontologyportal.org)), preuzimati i besplatno koristiti. Međutim, za razliku od sustava Cyc, ne uključuje program za zaključivanje.

SUMO ontološki jezik je (logička izražajnost punoga prvog reda) KIF (*Stanford Knowledge Interchange Format*) i, kao što je slučaj sa Cyc-om, temeljna struktura njegove ontologije je teorija skupova, uključujući i aksiome i pravila. Njegova viša ontologija sastoji se od 1.000 pojmova, definiranih upotrebom 4.000 iskaza. Definirano je potpuno mapiranje od WordNet sinseta do SUMO klasa. Postoji i ontologija srednje razine (Mid-Level Ontology, MILO).<sup>191</sup> Njegovi su ga autori pokušali prodati konstruktorima semantičkog weba.<sup>192</sup> Nažalost, ova je ontologija podložna mnogim istim problemima kao i Cyc-ova – doista, ona je samo manja verzija istoga osnovnog oblikovanja – pa je jednako slabo prihvaćena.

### **SUO**

SUO (Standard Upper Ontology = Standardna viša ontologija) je pokušaj istraživača odlučnih da, obzirom na mogući svjetski doseg i važnost stvarnog rješenja ontološkog problema, predlože rješenje vlasničkog pitanja u smislu održivoga, besplatnog i javno dostupnog resursa. Ova akcija uglavnom okuplja radnu skupinu Instituta električnih i elektroničkih inženjera (Institute of Electrical and Electronics Engineers, IEEE, <http://suo.ieee.org>) i jednu listu elektroničke pošte. U lipnju 2003. prihvaćen je prijedlog da se definira ontološki registar u koji članovi mogu unositi ontologije koje će biti “povezane u hijerarhiju po općenitosti/specifičnosti”.<sup>193</sup> Međutim, radi dobrovoljne prirode sudjelovanja u ovom forumu,

<sup>189</sup> Niles, I.; A. Pease. Towards a standard upper ontology. // Proceedings of the 2nd international conference on formal ontology in information systems 2(2001), 211-277 [citirano: 2006-03-19]. Dostupno na: <http://projects.tecknowledge.com/HPKB/Publications/FOIS.pdf>

<sup>190</sup> Pease, A.; I. Niles. IEEE standard upper ontology : a progress report. // Knowledge engineering review 17(2002), 65-70.

<sup>191</sup> Niles, I.; T. Allan. The MILO : a general-purpose, mid-level ontology. // Proceedings of the International conference on information and knowledge engineering (2004), 5-19.

<sup>192</sup> Pease, A.; I. Niles; J. Li. The suggested upper merged ontology : a large ontology for the semantic web and its applications. // Working notes of the AAAI-2002 Workshop on ontologies and the semantic Web (2002) [citirano: 2006-03-19]. Dostupno na: <http://home.earthlink.net/~adampease/professional/Pease.ps>

<sup>193</sup> IEEE. Standard Upper Ontology Working Group. Cumulative resolutions [citirano: 2006-03-30]. Dostupno na: <http://suo.ieee.org/SUO/resolutions.html>

doprinosi su uglavnom bili ograničeni na nuđenje vlastitih već izrađenih ontologija kao “početnih dokumenata” (npr., OpenCyc, SUMO). Trajniji nezavisni razvoj unutar foruma nije se dogodio: izgleda da to daje daljnje potvrde kako je najveća teškoća semantičkog weba političke prirode.

Popis ontologija koji je ovdje razmatran više je tipičan, nego obuhvatan. Ostale više ontologije opće namjene uključuju Philippe Martinovu<sup>194</sup> MSO (Multi-Source Ontology), koja je izgrađena spajanjem niza drugih u pročišćeni WordNet, i Barry Smithovu<sup>195</sup> BFO (Basic Formal Ontology). Autor BFO-a smatra da se ta ontologija razlikuje od drugih po tome što se ne temelji na teoriji skupova, nego na merologiji (teorija cjeline i njenih dijelova kao suprotnost teoriji klasa i njenih članova); međutim, izgleda da aplikacije koje se temelje na toj ontologiji još uvijek koriste tradicionalnu hijerarhiju podređenosti.<sup>196</sup>

Da sažmemo posljednja tri odjeljka, dakle, ontologije se smatralo “srebrnim metkom” koji će omogućiti izvršavanje strojno razumljive teorije značenja; međutim, aplikacije koje su ovdje ispitane izgleda da u tome nisu uspjele. Čini se da se kreću unutar raspona korištenja naziva koje jednostavniji sustavi definiraju u najboljem slučaju u obliku URI-a upućujući na jedinstvene imenske prostore (Dublinski skup), ili pomoću tumačenja u prirodnom jeziku (WordNet). Potrebna je neka vrsta strojno razumljive definicije značenja naziva ako želimo postići bolje rezultate. A što nam je za to potrebno? Trebali bi se pojaviti aksiomatski iskazi i pravila zaključivanja koja se odnose na sve nazive u jednoj ontologiji, barem onda kada se radi u modelu deduktivnog zaključivanja. (Kao što je već rečeno, doista je vrlo neizvjesno osloniti se na deduktivno zaključivanje, ali druge se forme automatskog rasuđivanja vrlo sporo pojavljuju na semantičkom webu). Stoga, da bi mogli formulirati aksiome i pravila, prisiljeni smo izgraditi znatnu logičku izražajnost u ontološkom jeziku. Na ovom mjestu susrećemo hrpu novih problema: složenost jezika, potrebu određivanja njegove formalne semantike i provodljivost zaključivanja, prilagodljivost i krhkost aplikacija koja se pojavljuje njegovim korištenjem. Svaki doista plemenit pokušaj trpi neprijateljstva i neshvaćanja drugih.

Moglo bi se dokazivati, međutim, da stvarni problem leži u nastojanju oko izgradnje jedne sveobuhvatne, općenamjenske ontologije i da je rješenje u lokalnim, podijeljenim ontologijama; to je mišljenje koje nas vodi do sljedećeg odjeljka.

<sup>194</sup> Martin, P. Correction and extension of WordNet 1.7. // Proceedings of the 11th international conference on conceptual structures 11(2003), 160-173.

<sup>195</sup> Smith, B. BFO/MedO : basic formal ontology and medical ontology : draft 0.0006. [citirano: 2006-02-26]. Dostupno na: <http://ontology.buffalo.edu/bfo/BFO.htm>

<sup>196</sup> Philosophical scrutiny for run-time support of application ontology development / Dos Santos, M. et al. // International conference on formal ontology and information systems (2004), 342-352.

## Ontologije domena

“Ontologija domene” je stručni naziv za ontologije koje pripadaju specifičnim, integriranim područjima znanja (kao pojedinačne znanosti, npr., fizika ili kemija, ili predmetno područje stvarnog svijeta kao film ili avanturistički sportovi). Danas postoji zbujujuća raznovrsnost ontologija domena u širokom rasponu njihovih formata.

Domena znanja u kojoj je ontološki razvoj trenutno najnapredniji (u smislu veličine i tehničke složenosti) jest bioinformatika. Istaknuti primjeri uključuju Gene Ontology ([www.geneontology.org](http://www.geneontology.org)) koji se može preuzeti u XML-u ili OWL-u<sup>197</sup> i SNOMED-u (Systematized Nomenclature of Medicine), koji je razvio Zbor američkih patologa (College of American Pathologists), pokušavajući obuhvatiti cjelokupno zdravstveno nazivlje ([www.snomed.org](http://www.snomed.org)).<sup>198</sup> Međutim, oba primjera bliža su glosarijima ili nadziranim rječnicima, negoli pravim ontologijama. Iako zaista omogućuju hijerarhije podređenosti, one su vrlo jednostavne (imaju svega nekoliko uloga). Budući da su ih konstruirali uglavnom stručnjaci navedenih područja, koji ne poznaju tradiciju formalnog predstavljanja znanja, postale su predmetom kritike filozofski kvalificiranih ontologa, glede raznih navodnih metafizičkih i logičkih zabluda. Na primjer, Smith, Williams i Schulze-Kremer<sup>199</sup> tvrde da je odnos “je” unutar Gene Ontology duboko dvosmislen. Budući da je SNOMED razvijan dvadeset godina i sadrži 150.000 “zapisa”, posebno je neposlusšan, dok su Ceusters, Smith, Kumar i Dhaen<sup>200</sup> nedavno izjavili da sadrži i brojne logičke greške. Treba napomenuti da Smith osobno razvija jednu alternativnu biomedicinsku ontologiju temeljenu na ranije spomenutom BFO-u. Njegov Nacionalni centar za biomedicinsku ontologiju u Lajpcigu (Leipzig National Center for Biomedical Ontology, <http://bioontology.org>), sadrži zbirku od 50 odvojenih modularnih ontologija oblikovanih tako da se mogu spojiti i koristiti zajedno.

Druge ontološka domena, koja naglo napreduje, jest geografsko i prostorno vremensko rasuđivanje (predmetno područje koje se trenutno vrlo dobro financira zbog moguće vojne primjene). To je domena posebno teška za ontologizaciju jer su prostorne informacije nužno matematičke, a metamatički odnosi postavljaju značajne teškoće okviru teorije skupova u kojem su tradicionalno izgrađene ontologije. (To je zbog toga jer odnosi teorije skupova predstavljaju samo mali podskup matematičkih funkcija). Usprkos tome, s problemom se trenutno suočava

<sup>197</sup> Gene ontology : tool for the unification of biology / Ashburner, M. et al. // *Nature genetics* 25(2000), 25-29.

<sup>198</sup> Spackman, K.; K. Campbell; R. Cote. SNOMED RT : a reference terminology for health care. // *Proceedings American medical informatics association : annual fall symposium* (1997), 640-644.

<sup>199</sup> Smith, B.; J. Williams; S. Schulze-Kremer. The ontology of the gene ontology. // *Proceedings of AMIA Symposium* (2003), 609-613.

<sup>200</sup> Ontology-based error detection in SNOMED-CT / Ceusters, W. et al. // *Proceedings of the 11th world congress on medical informatics* (2004), 482-286.

velik projekt na Sveučilištu Bremen<sup>201</sup> kao i neprofitni Open Geospatial Consortium ([www.opengeospatial.org](http://www.opengeospatial.org)). Izgleda da se drugospomenuti uglavnom bavi standardima za mrežne usluge, ali sponzorira i razvoj geografskoga označiteljskog jezika (Geographical Markup Language, GML, <http://opengis.net/gml>).

### ***Ontološke knjižnice i srodni resursi***

Postoji određeni broj ontoloških repozitorija ili knjižnica. Izvorna, i sada pomalo zastarjela, stranica je DAML Ontology Library ([www.daml.org/ontologies](http://www.daml.org/ontologies)). Novije ponude uključuju SemWebCentral ([www.semwebcentral.org](http://www.semwebcentral.org)) i SchemaWeb ([www.schemaweb.info](http://www.schemaweb.info)).

Sredstva za pretraživanje ontologija domena su, naravno, stvar prirodnog razvoja, te su u fazi nastajanja. To uključuje i tražilice, od kojih je značajan primjer Swoogle, tražilica za semantički web slična Googleu, razvijena na Sveučilištu Maryland u Baltimoru (University of Maryland, Baltimore County, UMBC, <http://www.swoogle.umbc.edu>). Ovo pomagalo pretražuje i indeksira svjetske metapodatke koristeći i nizove znakova i URI reference. Nastoji također omogućiti “ontološki poredak”, jednak Googleovoj usluzi *Web page ranking service*, iako treba primijetiti da su od 2004. na vrhu ontološke rang liste upravo specifikacije dokumenata za RDF, RDFS i DAML+OIL koje je objavio W3C.<sup>202</sup> Sredstva za istraživanje ontologija semantičkog weba također uključuju preglednike, za što je često navođeni primjer Ontaria ([www.w3c.org/2004/ontaria](http://www.w3c.org/2004/ontaria)), čija je stranica prestala biti aktivna zbog popravaka (još od prosinca 2005.).

Mogu li se lokalne, podijeljene ontologije pokazati korisnijima za semantički web negoli njihove općenitije, svenamjenske rođakinje, prerano je za reći. Čak i u najrazvijenijim domenama, bioinformatike i geografskog i prostorno vremenskog rasuđivanja, ontologije još uvijek čekaju na svoj značajan razvoj. Ontologije za mnoge druge domene su sitne, s brojem kategorija u desetinama prije negoli u stotinama ili tisućama. Burton-Jones, Storey, Sugumaran i Ahluwalia<sup>203</sup> proučavali su DAML knjižnicu i utvrdili da su i veličina i kvaliteta javno dostupnih ontologija trenutno upitne: “za prosječnu ontologiju, 18 posto sintakse je neispravno, 37 posto njenih naziva je neobjašnjivo, 22 posto njenih naziva je polisemično, a 18 posto njenih izjava je nevažno.” Daljnje se pitanje tiče načina na koji će lokalno podijeljene ontologije biti međusobno interoperabilne, budući da je integracija informacijskih operacija na semantičkom webu zamišljena kao izvediva ne samo unutar “otoka domene” nego kroz cijeli web. Hoće li trebati dodatna ontologija da provede integraciju ontologija? Kako će *njeni* nazivi biti definirani?

<sup>201</sup> Bateman, J.; S. Farrar. Towards a generic foundation for spatial ontology. // Proceedings of the Third international conference on formal ontology in information systems 3(2004), 237-248.

<sup>202</sup> Swoogle : a search and metadata engine for the semantic Web / Ding, L. et al. // Proceedings of the thirteenth ACM conference on information and knowledge management 13(2004), 652-659.

<sup>203</sup> A semiotic metrics suite for assessing the quality of ontologies / Burton-Jones, A. et al. // Data and knowledge engineering 55(2005), 84-102.

## Zaključak

### *Preispitivanje izazova*

Kroz cijeli ovaj članak ustanovljen je određeni broj značajnih izazova vezano uz ontološku dimenziju izvorne zamisli semantičkog weba. Prvi je pravljenje ustupaka između logičke izražajnosti i provodljivosti zaključaka u ontološkim jezicima. Ima li načina da se riješi ova napetost? Izražajnost pojedinih jezika deskriptivne logike može izgledati kao da omogućuje sretnu sredinu između, s jedne strane, krajnje izražajnosti i neprovodljivosti zaključaka i, s druge strane, krajnje provodljivosti zaključaka i neizražajnosti, osiguravajući maksimum ostvarive izražajnosti uza sačuvanu odlučivost. Međutim, ipak, u suprotnosti s izvornom vizijom semantičkog weba o izvođenju sveukupnog ljudski čitljivog znanja na webu kao strojno čitljivog, postoji mnogo toga što se ne može iskazati tim jezicima (da navedemo samo jedan primjer, “Bill Evans snimio je točno jedan album s Miles Davisom”).

Ponekad se tvrdi da će sve moćniji računalni hardver riješiti taj problem, omogućujući da u budućnosti bude provodljivo zaključivanje koje je danas neprovodljivo. Međutim, to nije točno jer provodljivost zaključivanja opada geometrijskom progresijom ovisno o tako jednostavnoj stvari kao što je broj varijabli koje su u pitanju, a za njih još nije postavljena nikakva načelna gornja granica na semantičkom webu. U dokumentu pisanom za ranih dana semantičkog weba, Berners-Lee<sup>204</sup> bezbrižno izjavljuje da semantički web neće “zahtijevati nikakvu aplikaciju za korištenje izraza proizvoljne složenosti”, ali ne daje nikakve daljnje detalje o tome što to u načelu znači odrediti koja aplikacija bi, a koja ne bi, koristila takve izraze; može li se prisiliti semantički web da podijeli taj posao dok opslužuje znanje; ako da, kako. U istom dokumentu Berners-Lee pokušava doskočiti i problemu provodljivosti zaključaka tvrdeći da semantički web ne treba ponuditi “stvaranje dokaza”, nego samo “potvrđivanje dokaza” (primjer čega je način na koji se osigurava nadzor pristupa na mrežnim mjestima). Međutim, da ponovimo, neki bi detalji bili od pomoći – vezano uz pitanje, kako bi to moglo funkcionirati za integraciju informacija određenog broja nezavisnih izvora (kao i da bi se odgovorilo, na primjer, na pitanje Berners-Leeja:<sup>205</sup> Koji liječnik može pregledati bolesnu majku u vrijeme povoljno za oboje?).

Druga je značajna teškoća u pravljenju ustupaka između decentralizacije i kanonizacije u odnosu na definicije ontoloških naziva. (To uključuje i nazive za opće pojmove, kao što je “CD”, i nazive za individualne, kao što je “Kate Bush”, što bi vrlo lako moglo zahtijevati različita rješenja.) Izum URI-a kao jedinstvenog niza znakova čini samo prvi, lakši korak prema rješenju problema jedinstvenog identificiranja resursa. Ostatak problema odnosi se na to kako će se ljudi dogovo-

<sup>204</sup> Berners-Lee, T. What the semantic Web can represent [citirano: 2006-02-26]. Dostupno na: <http://www.w3.org/DesignIssues/RDFnot.html>

<sup>205</sup> Berners-Lee, T. Notation 3. [citirano: 2006-02-26]. Dostupno na: <http://www.w3c.org/DesignIssues/Notation3>

riti glede usklađivanja između posebnih nizova znakova i resursa. (U jednom zanimljivom obratu, predloženo je čak da se resursi mnogo učinkovitije mogu razumjeti ne samo pomoću pukih imena, nego pomoću jedinstvenih identificirajućih – “razlikovnih” – opisa.<sup>206</sup>) Kao odjek na Smithove prigovore još iz 1991. u vezi Cyc-ove nemarnosti vezano uz tešku metodologiju, Shirky<sup>207</sup> primjećuje da je načelo djelovanja u razvoju semantičkog weba “uzeti neke dobro poznate probleme. Zatim, pogrešno ih protumačiti tako da teški dijelovi izgledaju trivijalni, a trivijalni dijelovi teško. Konačno, čestitati samome sebi na rješavanju trivijalnih dijelova.” Složeni učinak ovih teškoća u nekim je krugovima proizveo znatnu sumnjičavost prema semantičkom webu (zbog posebno oštire kritike koja izvlači pouke iz knjižnične znanosti<sup>208</sup>).

### ***Moguće alternative semantičkom webu***

Ako se ciljevi semantičkog weba ne mogu postići trenutnim planom razvoja W3C-a, mogu li se postići nekim drugim sredstvima? Ako ne mogu, kakva je budućnost weba? Vrijedi spomenuti neke značajke skorašnjeg razvoja weba u mjeri u kojoj izgledaju kao dio nepromišljene izvorne tehnologije. Početak razvoja je označavanje. Oznake su etikete koje korisnici svojevoljno dodaju webu. Ontološki govoreći, ta je praksa u potpunosti izvan nadzora – nikakve kategorije nisu pripremljene ili dogovorene unaprijed. (Stoga, određeni CD može biti označen kao “dosadan”, “izvanredan”, “Mike\_to\_voli”, “pokretačka\_glazba” i “pjesme\_o\_ribi”). Praksa je započela pomoću označavanja mrežnih stranica riječima ili frazama sa značenjem samo za onoga tko ih je trebao ponovno brzo pronaći; proširila se obuhvaćajući izvjestan broj drugih, sve više javno korištenih kako je raznolikost mrežnih mjesta prerasla u mjenjačnicu oznaka. Primjeri takvih mrežnih mjesta su del.icio.us (<http://del.icio.us>) za zajedničko označavanje mrežnih mjesta i Flickr za označene fotografije ([www.flickr.com](http://www.flickr.com)). Ne iznenađuje da su konstruktori počeli razvijati tražilice za ovu novu vrstu metapodataka (npr., Technorati: [www.technorati.com](http://www.technorati.com)).

Za označavanje se ne kaže da proizvodi *taksonomiju* (u smislu označavanja prema unaprijed datim strukturama ili kategorijama), nego se koristi novo iskovani naziv *folksonomija*.<sup>209</sup> Usprkos “divljim” izvorima oznaka, postoje uvjerenja da, na razini čitavog weba, semantičke šablone nastaju same od sebe, smanjujući utjecaj individualne osebujnosti, i da, “odričući se formalne klasifikacije, oznake omogućuju ogromnu količinu korisnički proizvedene organizacijske vrijednosti,

<sup>206</sup> Guha, R.; R. McCool. Nav. dj.

<sup>207</sup> Shirky, C. The semantic Web, syllogism, and worldview [citirano: 2006-02-26]. Dostupno na: <http://www.shirky.com/writings/semantic-syllogism.html>

<sup>208</sup> Vidi: Brooks, T. A. The semantic web, universalist ambition and some lessons from librarianship. // Information research 7, 4(2002) [citirano: 2006-03-19]. Dostupno na: <http://informationr.net/ir/7-4/paper136.html>

<sup>209</sup> Weinberger, D. Taxonomies to tags : from trees to piles of leaves. // Release 1.0, 23, 2(2005), 1-33.



po zanemarivo malo cijeni”.<sup>210</sup> Ovaj novi razvoj zanimljiv je iz perspektive Cartesian-versus-Peircean filozofske debate koja se odnosi na značenje. Vidjeli smo da kartezijansko gledište drži da se značenje znaka sastoji u zamisli koju korisnik namjerava saopćiti njegovim korištenjem. U uvjetima razvoja semantičkog weba, ovaj model prirodno proizvodi pokušaj predviđanja i definiranja svakoga mogućeg vida budućeg značenja naziva pomoću eksplicitnih aksioma i pravila (kako je to izvedeno, npr., u Cyc projektu). Prema Peirceovom gledištu, s druge strane, značenje znaka sastoji se jedino u načinu na koji se on nastavlja koristiti. Pogledajmo, na primjer, popularno uparivanje naziva “plavuša” i “vic”. Iz kartezijanske perspektive, da bi semantički web funkcionirao, ove će nazive trebati definirati tako da se značenje njihovog parenja može predvidjeti, što je očito divovski zadatak. Peirceovo gledište dopušta da fraza može biti novi razvoj u značenju oba naziva – koji se sastoji u novim upotrebama same fraze.

Daljnji, poodmakli razvoj skorašnjeg weba je RSS samootkrivanje. Pomoću softvera čija jednostavnost podsjeća na rani HTML, ova tehnologija “istovremeno objavljuje” mrežna mjesta (često weblogove) tako da omogućuje dostupnost sažecima njihovih sadržaja, poveznice na potpune verzije i druge metapodatke u XML datoteci nazvanoj RSS (Realy Simple Syndication/RDF Site Summary). Sadržaj se probire za individualne primatelje upotrebom ključnih riječi (izbor kojih je ponovo potpuno osoban i osebujan). Bilo je nekih nagađanja među konstruktorima weba da takav napredak može proizvesti “nižu vrstu semantičkog weba”, koji bi primijenio barem neke od izvornih ciljeva njegovih osnivača zaobilazeći (ili, manje obzirno, namjerno zaobilazeći) formalne standarde koje su oni stvorili mukotrpnim radom. (Pokušaj spajanja ovih dviju strana vidi kod Cayzer.<sup>211</sup>)

Ovaj pregled jasno pokazuje da je sposobnost zaključivanja neodvojiva od strojno razumljivog značenja; trenutno je teško zamisliti kako suvisla pravila zaključivanja mogu biti izgrađena na tako nemirnoj, neodređenoj i amaterskoj osnovi kao što su oznake i RSS. U izravnoj suprotnosti s formalnim ontologijama, takvi “uradi-sam” metapodaci izgleda da pokazuju krajnju verziju decentralizacije na štetu kanonizacije prema viziji semantičkog weba. Ipak, ove se kritike mogu lako stišati razvijanjem Googleovih (doista izvanredno uspješnih) algoritama za rangiranje stranica diljem nemirnoga, neodređenoga i amaterskog World Wide Weba. Shirky<sup>212</sup> je predložio da, upravo onako kako je Googleov genij snagom poluge iz velike količine hiperveza stvorio značenje (naime, značenje datoga mrežnog mjesta) koje im autori hiperveza nisu nikada namjeravali dati, tako nešto slično i dosad nepredviđeno, zamjenjujući autorsku namjeru redom velične podataka, može zasigurno proizvesti potrebne metapodatke.

<sup>210</sup> Shirky, C. *Ontology is over-rated : categories, links, and tags* [citirano: 2006-02-26]. Dostupno na: <http://www.shirky.com/writings/ontology-overrated.html>

<sup>211</sup> Cayzer, S. *Semantic blogging and decentralized knowledge management*. // *Communications of the ACM* 47, 12(2004), 47-52.

<sup>212</sup> Shirky, C. *Ontology is over-rated : categories, links, and tags* [citirano: 2006-02-26]. Dostupno na: <http://www.shirky.com/writings/ontology-overrated.html>

Jedno još razornije pitanje vrijedno promišljanja jeste: “Je li web stvarno budućnost interneta?” U skorašnjoj raspravi na popularnom britanskom mrežnom mjestu za novosti iz informacijske tehnologije i tračeve, *The Registeru*, izneseno je nagađanje da možda i nije, predloživši da je web “mnogo manje važan, u usporedbi s drugim internet servisima, nego što gigantska mrežna tražilica voli misliti” i upućivalo je na tzv. “azijski način korištenja interneta”, koji je usmjeren prije svega na igre, internet brbljaonice i mrežnu radio i televiziju.<sup>213</sup>

Vizija semantičkog weba je smiona i privlačna. Međutim, pokušaji da ga se ostvari mogu značiti da treba slijediti “strojno razumljivo značenje sve do kraja duge”. Što je veći napor da se izgradi formalni sustav koji jasno i unaprijed kazuje što će izrazi korišteni na webu značiti, sve se više čini da značenje izraza u formalnom sustavu izmiče shvaćanju. Može izgledati da je potrebna ontologija iza ontologije kako bi odredila njeno značenje – pitanje s kojim se filozofi (izvorni ontolozi) bore već stoljećima. Izgleda da je jedina alternativa istražiti zajedno s Peirceom zapanjujuću zamisao da strojno razumljivi podaci o značenju mrežnih resursa već postoje upravo u formi tih samih resursa, kad bismo samo mogli naći način da ih “podignemo”.

## Zahvale

Za komentare i raspravu koji su značajno unaprijedili ovaj članak, zahvalna sam Ajeet Parhar, Lars Marius Garshol, Sally-Jo Cunningham i neimenovanim recenzentima.

## LITERATURA

Applications of artificial intelligence for organic chemistry : the DENDRAL project. / Lindsay, R. K. et al. New York : McGraw-Hill, 1980.

Automated OWL annotation assisted by a large knowledge base / Witbrock, M. et al. // Workshop notes of the 2004 workshop on knowledge markup and semantic annotation at the 3rd international semantic Web conference 3(2004), 71-80.

Bateman, J.; S. Farrar. Towards a generic foundation for spatial ontology. // Proceedings of the Third international conference on formal ontology in information systems 3(2004), 237-248.

Beckett, D. RDF/XML syntax specification (Revised) [citirano: 2006-02-26]. Dostupno na: <http://www.w3.org/TR/2003/REC/rdf-syntax-grammar-20040210>

Beckett, D. TURTLE : Terse RDF triple language [citirano: 2006-02-26]. Dostupno na: <http://ilrt.org/discovery/2003/11/ntriplesplus>

Berners-Lee, T. Foreword. U: Spinning the semantic Web : bringing the World Wide Web to its full potential / ed. by Fensel, D. Cambridge (MA) : MIT Press, 2003.

<sup>213</sup> Google can take the web, yawn readers. The Register [citirano: 2006-02-26]. Dostupno na: [http://www.theregister.co.uk/2005/05/18/google\\_domination\\_letters](http://www.theregister.co.uk/2005/05/18/google_domination_letters)

- Berners-Lee, T. Notation 3. [citirano: 2006-02-26]. Dostupno na: <http://www.w3c.org/DesignIssues/Notation3>
- Berners-Lee, T. Primer : getting into RDF and semantic Web using N3. [citirano: 2006-02-26]. Dostupno na: <http://www.w3c.org/2000/10/swap/Primer.html>
- Berners-Lee, T. Semantic Web [citirano: 2006-02-26]. Dostupno na: <http://www.w3c.org/2000/Talks/1206-xml2k-tbl/slide10-0.html>
- Berners-Lee, T. What the semantic Web can represent [citirano: 2006-02-26]. Dostupno na: <http://www.w3.org/DesignIssues/RDFnot.html>
- Berners-Lee, T.; Hendler, J.; Lassila, O. The semantic Web. // *Scientific American* 284, 5(2001), 34-43.
- Bollobas, B. *Modern graph theory*. Berlin : Springer, 2002.
- Borgida, A. On the relative expressive power of description logics and predicate logics. // *Artificial intelligence* 82(1996), 353-367.
- Brachman, R. *Structured inheritance networks* (Technical report no. 3742). Cambridge (MA) : Bolt Beranek & Newman, 1978.
- Brachman, R.; Levesque, H. *Knowledge representation and reasoning*. Boston : Morgan Kaufmann, 2004.
- Brachman, R.; Schmolze, J. An overview of the KL-ONE knowledge representation system. // *Cognitive science* 9(1985), 171-216
- Bray, T. What is RDF? [citirano: 2006-02-26]. Dostupno na: <http://www.xml.com/pub/a/2110/01/24/rdf.html?page=2>
- Breebaart, M. Using topics maps and XML to implement a closed-loop search service for the Dutch tax and customs administration website [citirano: 2006-02-26]. Dostupno na: [http://www.idelliance.org/papers/dx\\_xmle04/papers/04-01-03/04-01-03.html](http://www.idelliance.org/papers/dx_xmle04/papers/04-01-03/04-01-03.html)
- Brickley, D.; Guha, R. V. RDF vocabulary description language 1.0 : RDF schema [citirano: 2006-02-26]. Dostupno na: <http://www.w3c.org/TR/rdf-schema>
- Brooks, T. A. The semantic Web, universalist ambition and some lessons from librarianship. // *Information research* 7, 4(2002) [citirano: 2006-03-19]. Dostupno na: <http://informationr.net/ir/7-4/paper136.html>
- Buchanan, B. G.; Shortliffe, E. H. *Rule-based expert systems : the MYCIN experiments of the Stanford heuristic programming project*. Reading (MA) : Addison-Wesley, 1984.
- Bush, V. As we may think. // *Atlantic monthly* 176(1), (1945), 101-108.
- Cayzer, S. Semantic blogging and decentralized knowledge management. // *Communications of the ACM* 47, 12(2004), 47-52.
- Chisholm, R. *A realistic theory of categories : an essay on ontology*. Cambridge (UK) : Cambridge University Press, 1996.
- Clark, J.; Makoto, M. RELAX NG specification [citirano: 2001-12-03]. Dostupno na: <http://www.oasis-open.org/committees/relax-ng/spec-20011203.html>
- Clark, P.; Porter, B. *KM-the knowledge machine : users manual and situations manual* [citirano: 2006-02-26]. Dostupno na: <http://www.cs.utexas.edu/users/mfkb/RFK/km.html>

Copeland, J. CYC : a case study in ontological engineering. // *Electronic journal of philosophy* 5, 6(1997) [citirano: 2006-03-19]. Dostupno na: <http://ejap.louisiana.edu/EJAP/1997.spring/copeland976.2.html>

Cruse, D. A. *Meaning in language : an introduction to semantics and pragmatics*. Oxford (UK) : Oxford University Press, 2006.

Cyc : Toward programs with common sense / Lenat, D. B. et al. // *Communications of the ACM*, 33, 8(1990), 30-49.

De Bruijn, J. *Using ontologies : enabling knowledge sharing and reuse on the semantic Web* (DERI technical report, DERI-2003-10-29). Innsbruck : Digital enterprise research institute, 2003. [citirano: 2006-02-26]. Dostupno na: <http://www.deri.org/fileadmin/documents/DERI-TR-2003-10-29.pdf>

Delteil, A.; C. Faron-Zucker; R. Dieng. *Extensions of RDFS based on the CG formalisms*. // *Proceedings of the 9th international conference on conceptual structures* 9(2001), 275-289.

Euzenat, J. *Towards a principal approach to semantic interoperability*. // *Proceedings of the international joint conference on artificial intelligence workshop on ontologies and information sharing* (2001), 19-25 [citirano: 2006-03-28]. Dostupno na: <http://ftp.informatik.rwth-aachen.de/Publications/CEUR-WS/Vol-47>

*Extensible Markup Language (XML) 1.0 (Third edition)* / Bray, T. et al. [citirano: 2006-02-26]. Dostupno na: <http://www.w3c.org/TR/REC-xml>

Fallside, D. *XML schema part 0 : primer* [citirano: 2006-02-26]. Dostupno na: <http://www.w3c.org/TR/2001/REC-xmlschema-0-20010502>

Fallside, D.; Walmsley, P. *XML schema part 0 : primer* (2nd ed.). [citirano: 2006-02-26]. Dostupno na: <http://www.w3c.org/TR/xmlschema-0>

Frege, G. *Begriffsschrift : a formula language, modeled upon that of arithmetic, for pure thought*. U: Van Heijenoort, J. *Frege and Goedel : two fundamental texts in mathematical logic*. Cambridge (MA) : Harvard University Press, 1970.

Garshol, L. M. *Living with topis maps and RDF* [citirano: 2006-02-26]. Dostupno na: [http://www.idelliance.org/papers/dx\\_xmle03/papers/02-03-06/02-03-06.pdf](http://www.idelliance.org/papers/dx_xmle03/papers/02-03-06/02-03-06.pdf)

*Gene ontology : tool for the unification of biology* / Ashburner, M. et al. // *Nature genetics* 25(2000), 25-29.

Geneserth, M.; R. Fikes. *KIF : knowledge interchange format version 3.0 reference manual*. Stanford (CA) : Stanford University, Knowledge Systems AI Laboratory, 1992.

Goble, C.; D. De Roure. *The Grid : an application of the semantic Web*. // *SIGMOD record* 31 (4), (2002), 65-70.

Google can take the Web, yawn readers. *The Register* [citirano: 2006-02-26]. Dostupno na: [http://www.theregister.co.uk/2005/05/18/google\\_domination\\_letters](http://www.theregister.co.uk/2005/05/18/google_domination_letters)

Gruber, T. R. *A translation approach to portable ontology specifications*. // *Knowledge acquisition*, 5(1993), 199-220.

Gruber, T. R. *Toward principles for the design of ontologies used for knowledge-sharing*. // *International journal of human-computer studies* 43(1995), 907-928.

- Guha, R.; R. McCool. TAP : a semantic Web platform. // *Journal of network computing* 42(2003), 557-577.
- Haarslev, V.; R. Moeller. Racer : a core inference engine for the semantic Web. // *Proceedings of the 2nd international workshop on evaluation of ontology-based tools 2(2003)*, 27-36 [citirano: 2006-02-26]. Dostupno na: <http://www.racer-systems.com/technology/contributions/2003/HaMo03e.pdf>
- Harre, R.; M. Krausz. *Varieties of relativism*. Oxford (UK) : Blackwell, 1996.
- Heery, R.; H. Wagner. A metadata registry for the Semantic Web. // *D-Lib Magazine* 8(5)(2002) [citirano: 2006-02-26]. Dostupno na: <http://www.dlib.org/dlib/may02/wagner/O5wagner.html>
- Heflin, J.; Hendler, J. Dynamic ontologies on the Web. // *Proceedings of the seventeenth national conference on artificial intelligence 17(2000)*, 443-449.
- Heflin, J.; J. Hendler; S. Luke. SHOE : a blueprint for the semantic Web. U: *Spinning the semantic web : bringing the World Wide Web to its full potential* / ed. Fensel, D. et al. Cambridge( MA) : MIT Press, 2003.
- Heflin, J.; Z. Pan. A model theoretic semantics for ontology versioning. // *Proceedings of the third international semantic Web conference 3(2004)*, 62-76.
- Hendler, J. Agents and the Semantic web. // *IEEE Intelligent Systems* 16(2), (2001), 30-37.
- Hendler, J.; T. Berners-Lee; E. Miller. Integrating applications on the semantic Web. // *Journal of the Institute of electrical engineers of Japan* 122(2002), 676-680.
- Horrocks, I.; P. Patel-Schneider; F. Van Harmelen. Reviewing the design of DAML+OIL : an ontology language for the semantic Web. // *Proceedings of the 18th national conference on artificial intelligence 18(2002)*, 792-797.
- Horrocks, I.; P. Patel-Schneider; F. Van Harmelen. From SHIQ and RDF to OWL : the making of a Web ontology language. // *Journal of Web semantics* 1(2003), 7-26.
- Horrocks, I.; U. Sattler. Ontology reasoning in the SHOQ(D) description logic. // *Proceedings of the international joint conference on artificial intelligence workshop on ontologies and information sharing (2001)*, 199-204.
- Horrocks, I.; U. Sattler; S. Tobies. Practical reasoning for very expressive description logics. // *Logic journal of the IGPL* 8(3), (2000), 239-264.
- Horrocks, I.; U. Sattler; S. Tobies. Reasoning with individuals for the description logic SHIQ. // *Proceedings of the 17th international conference on automated deduction 17(2000)*, 482-496.
- IEEE. Standard Upper Ontology Working Group. Cumulative resolutions [citirano: 2006-03-30]. Dostupno na: <http://suo.ieee.org/SUO/resolutions.html>
- Information retrieval on the semantic Web / Shah, U. et al. // *Proceedings of the 11th international conference on information and knowledge management 46(2002)*, 461-468.
- Integrating descriptions of knowledge management learning activities into large ontological structures : a case study / Sicilia, M. A. et al. // *Data and Knowledge Engineering* 57(2006), 111-121.

- ITTalks : a case study in the semantic web and DAML+OIL / Cost, R.S. et al. // IEEE intelligent systems 17(1), (2002), 40-47.
- Kant, I. Critique of pure reason. Cambridge(UK) : Cambridge University Press, 1998.
- Kirk, R. Relativism and reality : a contemporary introduction. London : Routledge, 1999.
- Klein, M.; A. Bernstein. Towards high-precision service retrieval. // IEEE Internet computing 8(2004), 30-36.
- Lacher, M.; S. Decker. On the integration of topic maps and RDF data. // Extreme markup languages 2001 : proceedings [citirano: 2006-02-26]. Dostupno na: <http://www.mulber-rytech.com/Extreme/Proceedings/htmv200yLacherO1/EML2001LacherIO.html>
- Legg, C. The meaning of meaning-fallibilism. // Axiomathes 15(2005), 293-318.
- Lenat, D. B. Cyc : a large-scale investment in knowledge infrastructure. // Communications of the ACM 38, 11(1995), 32-59.
- Lenat, D. B.; E. Feigenbaum. On the thresholds of knowledge. // Artificial intelligence 47(1991), 185-250.
- Lenat, D. B.; R. V. Guha. Building large knowledge-based systems : representation and inference in the Cyc project. Reading (MA) : Addison Wesley, 1990.
- Lessons learned from applying AI to the Web / Fensel, D. et al. // International journal of cooperative information systems 9(4),(2000),361-382.
- Lowe, E. J. Ontological categories and natural kinds. // Philosophical Papers 26(1997), 29-46.
- Lowe, E. J. The possibility of metaphysics : substance, identity, and time. Oxford (UK) : Oxford University Press, 1998.
- Maedche, A.; B. Motik; L. Stojanovic. Managing multiple and distributed ontologies on the semantic Web. // VLDB journal 12(2003), 286-302.
- Martin P. Correction and extension of WordNet 1.7. // Proceedings of the 11th international conference on conceptual structures 11(2003), 160-173.
- McCarthy, J. What has AI in common with philosophy? // Proceedings of the 14th international joint conference on AI, 14(1995), 2041-2044. [citirano: 2006-03-19]. Dostupno na: <http://www-formal.stanford.edu/jmc/aiphil/aiphihl.htm>
- McCool, R.; R. Fikes; R. Guha. Semantic issues in Web-scale knowledge aggregation (KSL 03-15). Stanford (CA) : Stanford University; Knowledge Systems AI Laboratory, 2003. [citirano: 2006-02-26]. Dostupno na: [http://www-ksl.stanford.edu/KSL\\_Abstracts/KSL-O3-15.html](http://www-ksl.stanford.edu/KSL_Abstracts/KSL-O3-15.html)
- McGuinness, D. Ontologies come of age. // Spinning the semantic Web : bringing the World Wide Web to its full potential / ed. Fensel, D. J. et al. Cambridge (MA) : MIT Press, 2003.
- McGuinness, D.; F. Van Harmelen. OWL Web ontology language: overview [citirano 2006-02-26]. Dostupno na: <http://www.w3c.org/TR/owl-features>
- McIlraith, S.; T. C. Son; H. Zeng. Semantic Web services. // IEEE intelligent systems 16(2001), 46-53.



- Melnik, S. Bridging the gap between RDF and XML [citirano: 2006-02-26]. Dostupno na: <http://www-db.stanford.edu/~melnik/rdf/fusion.html>
- Minsky, M. A framework for representing knowledge. U: The psychology of computer vision / ed. P. Winston. New York : McGraw-Hill, 1975.
- Niles, I.; T. Allan. The MILO : a general-purpose, mid-level ontology. // Proceedings of the International conference on information and knowledge engineering (2004), 5-19.
- Niles, I.; A. Pease. Towards a standard upper ontology. // Proceedings of the 2nd international conference on formal ontology in information systems 2(2001), 211-277 [citirano: 2006-02-26]. Dostupno na: <http://projects.tecknowledge.com/HPKB/Publications/FOIS.pdf>
- Noy, N.; M. Klein. Ontology evolution : not the same as schema evolution. // Knowledge and information systems 6(2004), 428-440.
- Noy, N.; M. Musen. Ontology versioning in an ontology-management framework. // IEEE intelligent systems, 19, 4(2004), 6 -13.
- OIL : an ontology infrastructure for the semantic Web / Fensel, D. et al. // IEEE intelligent systems 16(2), (2001), 38-45.
- Ontology-based error detection in SNOMED-CT / Ceusters, W. et al. // Proceedings of the 11th world congress on medical informatics 2004, 482-286.
- Ontology-driven semi-automatic and automatic support for semantic markup / Vargas-Vera, M. et al. // Proceedings of the 13th international conference on knowledge engineering and management 13(2002), 379-391.
- Patel-Schneider, P. F.; D. Fensel. Layering the semantic Web : problems and directions. // Proceedings of the First international semantic Web conference (2002), 16-29.
- Patel-Schneider, P. F.; J. Simeon. The yin/yang Web : XML syntax and RDF semantics. // Proceedings of the 11th international conference on World Wide Web 11(2002), 443-453.
- Pease, A.; I. Niles. IEEE standard upper ontology : a progress report. // Knowledge engineering review 17(2002), 65-70.
- Pease, A.; I. Niles; J. Li. The suggested upper merged ontology : a large ontology for the semantic Web and its applications. // Working notes of the AAI-2002 Workshop on ontologies and the semantic Web, (2002) [citirano: 2006-03-19]. Dostupno na: <http://home.earthlink.net/~adampease/professional/Pease.ps>
- Peirce, C. S. Collected papers. Cambridge (MA) : Harvard University Press, 1931-1958.
- Peirce, C. S. Philosophy of Peirce : selected writings. London : Routledge and Kegan Paul, 1940.
- Pepper, S.; G. Moore. XML topic maps (XTM) 1.0 [citirano: 2006-02-26]. Dostupno na: <http://www.topicmaps.org/xtm/1.0>
- Philosophical scrutiny for run-time support of application ontology development / Dos Santos, M. et al. // International conference on formal ontology and information systems (2004), 342-352.
- Piazza : data-management infrastructure for semantic Web applications / Halevy, A. Y. et al. // Proceedings of the 12th international World Wide Web Conference 12(2003), 556-567.

Quillian, M. R. Word concepts : a theory and simulation of some basic semantic capabilities. // Behavioral Science 12(1967), 410-430.

Quine, W. V. On what there is. U: From a logical point of view : 9 logico-philosophical essays (1-19). Cambridge (MA) : Harvard University Press, 1953.

Ramachandran, D.; P. Reagan; K. Goolsbey. First-orderized ResearchCyc : expressivity and efficiency in a common-sense ontology. // Papers from the AAAI workshop on contexts and ontologies : theory, practice and applications, (2005) [citirano: 2006-03-19]. Dostupno na: <http://www.cyc.com/doc/white-papers/fofification.pdf>

Reed, S.; D. Lenat. Mapping ontologies into Cyc. // AAAI 2002 Conference workshop on ontologies for the semantic Web, (2002) [citirano: 2006-03-19]. Dostupno na: [http://www.cyc.com/doc/white\\_papers/mapping-ontologies-into-cyc\\_v31.pdf](http://www.cyc.com/doc/white_papers/mapping-ontologies-into-cyc_v31.pdf)

Roesner, D.; M. Kunze; S. Kroetzsch. Transforming and enriching documents for the semantic Web [citirano: 2006-02-26]. Dostupno na: <http://arxiv.org/PS-cache/cs/pdf/O501/0501096.pdf>

Rorty, R. Objectivity, relativism, and truth : philosophical papers, Vol. 1. Cambridge (UK) : Cambridge University Press, 1990.

Rozenberg, G.; A. Salomaa. Cornerstones of undecidability. New York : Prentice Hall, 1994.

Rozenfeld, S. Using the ISSN (International Serial Standard Number) as URN (Uniform Resource Names) within an ISSN-URN namespace (RFC 3044) [citirano: 2006-02-26]. Dostupno na: <ftp://ftp.isi.edu/in-notes/rfc3044.txt>

Schlick, M. Meaning and verification. // Philosophical Review 45(1936), 339-369.

Schmidt-Schauss, M. Subsumption in KL-ONE is undecidable. // Proceedings of the First international conference on principles of knowledge representation and reasoning (1989), 421-431.

Searching for common sense : populating Cyc from the Web / Matuszek, C. et al. // Proceedings of the twentieth national conference on artificial intelligence, 20(2005) [citirano: 2006-02-26]. Dostupno na: <http://www.cyc.com/doc/whitepaperAA4IO51MatuszekC.pdf>

The semantic Web : on the respective roles of XML and RDF. / Decker, S. et al. // IEEE Internet computing 4(5), (2000), 63-74.

A semiotic metrics suite for assesing the quality of ontologies / Burton-Jones, A. et al. // Data and knowledge engineering 55(2005), 84-102.

SemTag and seeker : bootstrapping the semantic Web via automated semantic annotation / Dill, S. et al. // Proceedings of the 12th international World Wide Web conference 12(2003) [citirano: 2006-02-26]. Dostupno na: <http://wwwconf.ecs.soton.ac.uk./archive/00000508/01/p831-dill-html>

Shirky, C. Ontology is over-rated : categories, links, and tags [citirano: 2006-02-26]. Dostupno na: <http://www.shirky.com/writings/ontology-overrated.html>

Shirky, C. The semantic Web, syllogism, and worldview [citirano: 2006-02-26]. Dostupno na: <http://www.shirky.com/writings/semantic-syllogism.html>

Sloman, A. A philosophical encounter : an interactive presentation of some of the key philosophical problems in AI and AI problems in philosophy. // Proceedings of the 14th international joint conference on AI 14(1995) [citirano: 2006-02-26]. Dostupno na: <http://www.cs.bham.ac.uk/research/cogaff/Sloman.ijcai95.pdf>

Smith, B. BFO/MedO : basic formal ontology and medical ontology : draft 0.0006 [citirano: 2006-02-26]. Dostupno na: <http://ontology.buffalo.edu/bfo/BFO.htm>

Smith, B. C. The owl and the electric encyclopedia. // Artificial Intelligence 47(1991), 251-288.

Smith, B. Ontology. // Blackwell guide to the philosophy of computing and information / ed. Floridi, L. Oxford (UK) : Blackwell, 2003.

Smith, B.; C. Welty. Ontology : towards a new synthesis. // Proceedings of the International conference on formal ontology in information systems, (2001), iii-x.

Smith, B.; J. Williams; S. Schulze-Kremer. The ontology of the gene ontology. // Proceedings of AMIA Symposium (2003), 609-613.

Smith, R. Aristotle's logic. // Stanford encyclopedia of philosophy. Stanford (CA) : Stanford University [citirano: 2006-02-26]. Dostupno na: <http://plato.stanford.edu/entries/aristotle-logic>

Sowa, J. Knowledge representation : logical, philosophical, and computational foundations. Pacific Grove (CA) : Brooks Cole, 1999.

Sowa, J. Ontology, metadata, and semiotics. // Conceptual structures : logical, linguistic, and computational issues / ed. Ganter, B; G. W. Mineau. // Lecture notes in computer science 1867(2000), 55-81. Berlin : Springer, 2000.

Sowa, J. Signs, processes, and language games [citirano: 2006-02-26]. Dostupno na: <http://www.jfsowa.com/pubs/signproc.htm>

Sowa, J. The challenge of knowledge soup [citirano: 2006-02-26]. Dostupno na: <http://www.jfsowa.com/pubs/challenge.pdf>

Sowa, J.; A. Majumdar. Analogical reasoning. // Conceptual structures for knowledge creation and communication / ed. A. de Moore; W. Lex, W. // Lecture Notes in computer science 2746(2003), 16-36. Berlin : Springer, 2003.

Spackman, K.; K. Campbell; R. Cote. SNOMED RT : a reference terminology for health care. // Proceedings American medical informatics association : annual fall symposium, (1997), 640-644.

Staab, S.; A. Maedche; S. Handschuh. An annotation framework for the semantic Web. // Proceedings of the First workshop on multimedia annotation (2001) [citirano: 2006-02-26]. Dostupno na: [http://www.aifb.uni-karlsruhe.de/VBS/ama/publications/mma01\\_staabetal.pdf](http://www.aifb.uni-karlsruhe.de/VBS/ama/publications/mma01_staabetal.pdf)

A survey of RDF/topic maps interoperability proposals. / Pepper, S. et al. [citirano: 2006-02-26]. Dostupno na: <http://www.w3c.org/TW/2005/WD-rdftm-survey-20050329>

Swartz, A. The semantic web in breadth [citirano: 2006-02-26]. Dostupno na: <http://logi-cerror.com/semantic-Web-long>

Swick, R.; H. Thompson. The Cambridge communique : W3C Note 7 [citirano: 2006-02-26]. Dostupno na: <http://www.w3.org/TR/1999/NOTE-schema-arch-19991007>

Swoogle : a search and metadata engine for the semantic Web / Ding, L. et al. // Proceedings of the thirteenth ACM conference on information and knowledge management 13(2004), 652-659.

Web and semantic Web query languages : a survey / Bailey, J. et al. [citirano: 2006-02-26]. Dostupno na: <http://www.pms.ifi.lmu.de/publikationen/PMS-FB/PMS-FB-2005-14.pdf>

Weinberger, D. Taxonomies to tags : from trees to piles of leaves. // Release 1.0, 23, 2(2005), 1-33.

Weiss, P. Modes of being. Carbondale : Southern Illinois University Press, 1958.

Zalta, E. Frege's logic, theorem and foundations for arithmetic. // Stanford Encyclopedia of Philosophy. Stanford (CA) : Stanford University, 2005. [citirano: 2006-02-26]. Dostupno na: <http://plato.stanford.edu/entries/frege-logic>

*S engleskog preveo Predrag Perožić,  
stručna redakcija prijevoda Mirna Willer*

Napomena:

Članak Catherine Legg pod naslovom *Ontologies on the semantic web* izvorno je objavljen u časopisu *Annual Review of Information Science and Technology* 41(2007), Chapter 9, 407-452. Prijevod članka objavljujemo uz dopuštenje Information Today, Inc. 143 Old Marlton Pike Medford, NJ 08055.