

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

**MODEL RJEČNIKA ZA RAČUNALNU RAZMJENU
INFORMACIJA U DISTRIBUIRANOM RAZVOJU
PROIZVODA**

DOKTORSKI RAD

Mentor:

Dr. sc. Dorian MARJANOVIĆ, red. prof.

Mr. sc. Mario ŠTORGA, dipl. inž.

ZAGREB, 2005.

PODACI ZA BIBLIOGRAFSKU KARTICU:

UDK: 658.512.2

Ključne riječi:

formalni model konstrukcije, ontologija konstrukcije/proizvoda, genetički sustav modela konstrukcije, tezaurus, taksonomija

Znanstveno područje: TEHNIČKE ZNANOSTI

Znanstveno polje: Strojarsstvo

Institucija u kojoj je rad izrađen:

Fakultet strojarstva i brodogradnje, Sveučilište u Zagrebu

Mentor rada: dr. sc. Dorian Marjanović, red. prof.

Broj stranica: 170

Broj slika: 61

Broj tablica: 5

Broj korištenih bibliografskih jedinica: 167

Datum obrane: 23.11.2005.

Povjerenstvo:

dr. sc. Bojan Jerbić, izv. prof. – predsjednik povjerenstva

dr. sc. Dorian Marjanović, red. prof. – voditelj

dr. sc. Jože Duhovnik, red. prof. Fakulteta za strojništvo, Ljubljana – član povjerenstva

Institucija u kojoj je rad pohranjen:

Fakultet strojarstva i brodogradnje, Sveučilište u Zagrebu

ZAHVALA

Zahvaljujem svojem mentoru, prof. dr. sc. Dorianu Marjanoviću, na savjetima, trudu, strpljenju i potpori tijekom dosadašnjega zajedničkog rada. Profesoru Mogensu Myrupu Andreasenu zahvaljujem na gostoprimstvu tijekom boravka u Danskoj, raspravama i primjedbama koje su usmjerile ovo istraživanje u početnoj fazi.

Posebno želim zahvaliti svim članovima Katedre za konstruiranje i razvoj proizvoda te Laboratorija za konstruiranje – CADlaba na pruženoj pomoći, savjetima i vremenu koje smo zajednički utrošili u brojnim raspravama. Dr. sc. Borisu Čulini zahvaljujem na pomoći oko matematičkih definicija. Kolegi Ivanu Belamariću zahvaljujem na pomoći pri crtanju slika. Mr. sc. Nives Opačić zahvaljujem se na jezičnim savjetima. Toplo zahvaljujem i članovima Povjerenstva za ocjenu i obranu disertacije, čije su primjedbe poboljšale kvalitetu ove disertacije.

Na kraju želim zahvaliti prijateljima i svojoj obitelji na razumijevanju i bezrezervnoj potpori koju sam imao svih ovih godina. Hvala vam svima.

POPIS SLIKA	VII
POPIS TABLICA	IX
POPIS OZNAKA.....	X
PREDGOVOR	XI
SAŽETAK	XII
SUMMARY	XIII
1 UVODNA RAZMATRANJA.....	1-1
1.1 MOTIVACIJA ZA ISTRAŽIVANJE.....	1-1
1.2 CILJ I SVRHA ISTRAŽIVANJA.....	1-3
1.3 HIPOTEZA I ISTRAŽIVAČKA PITANJA	1-5
1.4 METODOLOGIJA ISTRAŽIVANJA	1-6
1.5 OČEKIVANI ZNANSTVENI DOPRINOS.....	1-7
1.6 STRUKTURA DISERTACIJE.....	1-8
2 PODRUČJE ISTRAŽIVANJA.....	2-1
2.1 RAZVOJ PROIZVODA	2-1
2.1.1 <i>Novi zahtjevi na razvoj proizvoda.....</i>	<i>2-4</i>
2.1.2 <i>Evolucija znanja o proizvodu tijekom razvoja proizvoda.....</i>	<i>2-4</i>
2.2 RJEČNIK, TAKSONOMIJA I ONTOLOGIJA	2-6
2.2.1 <i>Primjena ontologija za područje razvoja proizvoda.....</i>	<i>2-10</i>
2.3 INTEROPERABILNOST RAČUNALNIH SUSTAVA	2-12
2.3.1 <i>Integracija i interoperabilnost.....</i>	<i>2-12</i>
2.3.2 <i>Interoperabilnost zasnovana na semantici.....</i>	<i>2-13</i>
2.4 UPRAVLJANJE ZNANJEM TIJEKOM RAZVOJA PROIZVODA	2-15
2.4.1 <i>Praćenje evolucije inženjerskog znanja</i>	<i>2-16</i>
2.5 IMPLIKACIJE NA RAD	2-19
3 TEORETSKE OSNOVE ISTRAŽIVANJA.....	3-1
3.1 ZNANOST O KONSTRUIRANJU I RAZVOJU PROIZVODA.....	3-1
3.2 TEORETSKE OSNOVE MODELIRANJA PROCESA RAZVOJA	3-3
3.3 TEORETSKE OSNOVE MODELIRANJA PROIZVODA	3-4
3.3.1 <i>Teorija sustava.....</i>	<i>3-4</i>
3.3.2 <i>Općenita teorija tehničkih sustava.....</i>	<i>3-5</i>
3.3.3 <i>Teorija svojstava</i>	<i>3-6</i>
3.3.4 <i>Teorija područja</i>	<i>3-6</i>
3.3.5 <i>GDMS (eng. Genetic Design Model System).....</i>	<i>3-9</i>
3.4 TEORETSKE OSNOVE MODELIRANJA PODATAKA, INFORMACIJA I ZNANJA.....	3-12
3.4.1 <i>Podaci, informacije i znanje.....</i>	<i>3-13</i>
3.4.2 <i>Prikupljanje i spremanje podataka, informacija i znanja.....</i>	<i>3-16</i>
3.4.3 <i>Ponovna upotreba podataka, informacija i znanja</i>	<i>3-17</i>
3.5 IMPLIKACIJE NA RAD	3-17

4 ONTOLOŠKE OSNOVE ISTRAŽIVANJA.....	4-1
4.1 METODE PRIKAZA ZNANJA.....	4-1
4.1.1 Pregled postojećih pristupa.....	4-2
4.1.2 Glavni problemi u prikazu znanja i moguća rješenja	4-4
4.2 PRIKAZ ZNANJA ZASNOVAN NA ONTOLOGIJI	4-5
4.2.1 Metodologije razvoja ontologija	4-5
4.2.2 Metodologija razvoja rječnika za prikaz i razmjenu znanja o proizvodu	4-8
4.2.3 Formalni jezici za prikaz i primjenu ontologija.....	4-10
4.3 LOGIČKE OSNOVE ONTOLOGIJE RAZVOJA PROIZVODA	4-12
4.3.1 Početne pretpostavke.....	4-12
4.3.2 Definicija ontologije razvoja proizvoda.....	4-13
4.3.3 Definicija izvora podataka, informacija i znanja.....	4-14
4.3.4 Razvoj ontologije razvoja proizvoda	4-15
4.3.5 Divergencija ontologije.....	4-17
4.3.6 Skalabilnost ontologije	4-18
4.3.7 Semantički upiti	4-18
4.4 IMPLIKACIJE NA RAD	4-18
5 RJEČNIK I TAKSONOMIJE POJMOVA ZA PRIKAZ ZNANJA O PROIZVODU.....	5-1
5.1 MODELIRANJE ONTOLOGIJA NA VIŠE RAZINA	5-1
5.2 KONCEPTUALNE OSNOVE ONTOLOGIJE RAZVOJA PROIZVODA	5-2
5.2.1 IDEF 5 metodologija za grafički prikaz elemenata ontologija	5-3
5.3 MODELIRANJE EPISTEMOLOŠKE RAZINE.....	5-4
5.4 MODELIRANJE RAZINE PODRUČJA	5-7
5.5 ELEMENTI RJEČNIKA I NJIHOVA TAKSONOMIJA	5-8
5.5.1 Taksonomija objekata.....	5-9
5.5.2 Taksonomija procesa	5-14
5.5.3 Taksonomija atributa	5-17
5.5.4 Taksonomija koncepata.....	5-23
5.5.5 Taksonomija količine.....	5-28
5.5.6 Taksonomija relacija.....	5-29
5.6 PRAVILA ZAKLJUČIVANJA	5-41
5.7 IMPLIKACIJE NA RAD	5-45
6 VREDNOVANJE RJEČNIKA I RAČUNALNA IMPLEMENTACIJA.....	6-1
6.1 ODREĐIVANJE POUZDANOSTI RAZVRSTAVANJA POJMOVA I RELACIJA PREDLOŽENOGA RJEČNIKA.....	6-1
6.2 RAČUNALNA IMPLEMENTACIJA RJEČNIKA	6-6
6.2.1 Razvojne okoline za kreiranje i upravljanje ontologijama.....	6-6
6.2.2 Testiranje rječnika upotrebom Ontoprise® razvojne okoline	6-9
6.3 METODOLOGIJA IMPLEMENTACIJE ONTOLOGIJE KAO OSNOVE SUSTAVA ZA UPRAVLJANJE ZNANJEM O PROIZVODU	6-15
6.3.1 Prijedlog arhitekture sustava za upravljanje znanjem zasnovanog na ontologiji	6-17
6.4 IMPLIKACIJE NA RAD	6-20

7 ZAKLJUČAK	7-1
7.1 SAŽETAK ISTRAŽIVANJA.....	7-1
7.2 DISKUSIJA REZULTATA	7-3
7.3 SMJEROVI DALJNJEG ISTRAŽIVANJA	7-5
8 LITERATURA.....	8-1
ŽIVOTOPIS	XV
BIOGRAPHY	XVI

POPIS SLIKA

Slika 1.1: Progresija od podataka do znanja (klasična informacijska hijerarhija) [3].....	1-2
Slika 1.2: Struktura znanosti o konstruiranju s prikazom deskriptivnih i preskriptivnih područja [6]. Elementi istraživanja prikazani su sjenčanim područjem.	1-4
Slika 1.3: Metodologija istraživanja u znanosti o konstruiranju [11]	1-6
Slika 1.4: Modeliranje stvarnosti u znanosti o konstruiranju [12]	1-7
Slika 1.5: Struktura disertacije prema metodologiji istraživanja	1-9
Slika 2.1: Veza prirodnih i ljudskih kreacija [14].....	2-2
Slika 2.2: Integrirane aktivnosti u razvoju proizvoda [15]	2-2
Slika 2.3: Postupci koji čine glavne aktivnosti razvoja proizvoda [16]	2-3
Slika 2.4: Različite razine apstrakcije konstrukcijskoga problema [15]	2-5
Slika 2.5: Prostor razvoja i evolucija znanja o proizvodu [20]	2-6
Slika 2.6: Ontologija kao međujezik.....	2-11
Slika 2.7: Različite razine fokusiranja između tradicionalnih pristupa povezivanju sustava i pristupa interoperabilnosti zasnovanoj na semantici	2-14
Slika 2.8: Osnovne aktivnosti upravljanja znanjem	2-16
Slika 2.9: Glavni elementi i uvjeti za praćenje inženjerskoga znanja [52]	2-17
Slika 3.1: Slojevitost znanosti o konstruiranju [58]	3-2
Slika 3.2 Općenit proces razvoja proizvoda [17],[18]	3-4
Slika 3.3: Općenit model transformacijskoga sustava [6].....	3-5
Slika 3.4: Unutarnja i vanjska svojstva [6]	3-6
Slika 3.5: Teorija područja [66]	3-7
Slika 3.6: Horizontalni uzročni lanac operacija.....	3-8

Slika 3.7: Vertikalni uzročni lanac aktivnosti	3-8
Slika 3.8: Model sustava u životnom ciklusu proizvoda [86]	3-10
Slika 3.9: Sustav modela u fazi primjene konstrukcije/proizvoda [79]	3-11
Slika 3.10: Sustav modela za životni vijek proizvoda [79]	3-11
Slika 3.11: Veza podataka, informacija i znanja u inženjerskom procesu.....	3-13
Slika 3.12: Klase formalnih i neformalnih informacija [92]	3-14
Slika 4.1: Metodologija razvoja ontologija [117]	4-6
Slika 4.2: Životni ciklus ontologije [121]	4-7
Slika 4.3: Metodologija za razvoj rječnika za prikaz i razmjenu znanja o proizvodu [122].....	4-9
Slika 4.4: Stablo tehnologija koje su uključene u jezike za prikaz i implementaciju ontologija ...	4-10
Slika 4.5: Jezici za prikaz ontologija u mrežnoj okolini	4-11
Slika 4.6: Razvoj ontologije s proširenjima i revizijama	4-17
Slika 5.1: Razine modeliranja ontologije	5-2
Slika 5.2: Osnovni simboli IDEF5 shematskoga jezika	5-4
Slika 5.3: Taksonomija najviše razine rječnika SUMO ontologije	5-6
Slika 5.4: Metodologija modeliranja razine područja	5-7
Slika 5.5: Taksonomija pojmova koji su kategorizirani kao <i>objekti</i>	5-11
Slika 5.6: Taksonomija pojmova koji su kategorizirani kao <i>proces</i>	5-15
Slika 5.7: Taksonomija pojmova koji su kategorizirani kao <i>Atributi</i>	5-19
Slika 5.8: Taksonomija pojmova koji su kategorizirani kao <i>Relacijska svojstva konstrukcije</i>	5-22
Slika 5.9: Taksonomija pojmova koji su kategorizirani kao <i>koncepti</i>	5-24
Slika 5.10: Taksonomija pojmova koji su kategorizirani kao <i>količina</i>	5-29
Slika 5.11: Taksonomija <i>Relacija</i>	5-31
Slika 5.12: Taksonomija relacija koji su kategorizirane kao <i>meronimičke</i>	5-32
Slika 5.13: Taksonomija relacija koje su kategorizirane kao <i>prostorne</i>	5-33
Slika 5.14: Taksonomija relacija koje su kategorizirane kao <i>uloge</i>	5-34
Slika 5.15: Taksonomija relacija koje su kategorizirane kao <i>relacije ovisnosti</i>	5-37
Slika 5.16: Taksonomija relacija koje su kategorizirane kao <i>relacije utjecaja</i>	5-38
Slika 5.17: Taksonomija relacija koje su kategorizirane kao <i>vremenske</i>	5-39
Slika 5.18 : Relacije koje su kategorizirane kao <i>općenite</i>	5-40
Slika 6.1: Rezultat izjašnjavanja ispitanika o pojmovima i taksonomijama	6-5
Slika 6.2: Razdioba upitnih pojmova u svaku od podvrsta.....	6-5
Slika 6.3: Pozicije razvojnih okolina u prostoru semantičke integracije	6-7

Slika 6.4: Stablo pojmova kreirano u <i>Ontoprise</i> ® razvojnoj okolini	6-10
Slika 6.5: Stablo relacija kreirano u <i>Ontoprise</i> ® razvojnoj okolini	6-11
Slika 6.6: Razrada uređaja za automatsko spravljanje čaja [159].....	6-13
Slika 6.7: Semantička mreža instanci pojmova i relacija kao formalni zapis znanja o uređaju za automatsko spravljanje čaja.....	6-13
Slika 6.8: Razrada uređaja za izbacivanje nakupljene vode iz usidrenih brodica [159]	6-14
Slika 6.9: Semantička mreža instanci pojmova i relacija kao formalni zapis znanja o uređaju za izbacivanje nakupljene vode.....	6-14
Slika 6.10: Primjer testiranja jednostavnih upita	6-15
Slika 6.11: Arhitektura sustava za upravljanje znanjem zasnovanog na ontologiji.....	6-18

POPIS TABLICA

Tablica 3.1: Veza GDMS-a i ostalih postojećih modela proizvoda [79]	3-12
Tablica 3.2: Prikupljanje, spremanje i ponovna upotreba podataka, informacija i znanja u inženjerskom procesu [92].....	3-18
Tablica 6.1: Tablica slučajeva za razvrstavanje pojmova u osnovne vrste.....	6-3
Tablica 6.2: Tablica slučajeva za razvrstavanje pojmova u šest podvrsta.....	6-4
Tablica 6.3: Karakteristike razvojnih okolina za razvoj i primjenu ontologija	6-8

POPIS OZNAKA

- A** – aksiomi ontologije
- B** – skup ontologija s kojima je O_{RP} povratno kompatibilna
- C(r)** – funkcija pridruživanja izvora ontologiji
- D** – područje o kojem govori ontologija
- Φ** – izraz
- Γ** – skup izraza
- I** – interpretacija ontologije
- I_C(S_C)** – funkcija koja preslikava konstante
- I_{Pn}(S_P)** – skup funkcija koje preslikavaju predikate
- IR(R)** – skup integriranih izvora
- K(r)** – funkcija znanja
- L** – logički jezik prvog reda
- L'** – logički jezik ograničen ontologijom
- MI** – model izvora
- MO_{RP}** – model ontologije razvoja proizvoda
- O** –ontologija
- O^C** – revizija ontologije povratno kompatibilna sa izvornom ontologijom
- O^P** – ontologija nastala proširenjem druge ontologije
- O_{RP}** – ontologija razvoja proizvoda
- r** – izvor podatka, informacija i znanja
- P(W)** – partitivni skup skupa ispravno formiranih izraza *W*
- R** – skup izvora podataka, informacija i znanja
- RO** – graf razvoja ontologije
- S** - skup nelogičkih simbola jezika *L*
- S_C** – nelogičke konstante u skupu *S*
- S_F** – funkcijski simboli u skupu *S*
- S_p** – nelogički predikati u skupu *S*
- SO** – skup svih ontologija
- V** – rječnik ontologije
- W** –skup ispravno formiranih izraza korištenjem jezika *L*
- Σ_a** - ukupan broj slaganja ispitanika i prijedloga
- Σ_{ef}** - frekvencija slaganja koja se može predvidjeti vjerojatnošću
- N** – ukupan broj analiziranih pojmova
- K** – Cohenov Kappa koeficijent pouzdanosti

PREDGOVOR

Ovaj rad dio je istraživanja na području unapređenja teoretskih osnova i računalne podrške procesu razvoja proizvoda. Rad je dio ukupnih istraživanja u sklopu znanstvenoga projekta br. 0120017 "Modeli i metode unapređenja računalne podrške razvoja proizvoda", što ga financira Ministarstvo znanosti, obrazovanja i sporta Republike Hrvatske. Dio istraživanja napravljen je za autorova šestmesečnoga boravka u svojstvu gostujućeg istraživača na Danskom tehničkom sveučilištu 2003./2004. godine, što je omogućeno stipendijom MZOS RH. Očekuje se da bi kreiranje rječnika za računalnu razmjenu informacija u razvoju proizvoda moglo poslužiti kao formalna osnova za kreiranje naprednijih inženjerskih radnih okolina.

Model rječnika za računalnu razmjenu informacija u distribuiranom razvoju proizvoda

Ključne riječi: formalni model konstrukcije, ontologija konstrukcije/proizvoda, genetički sustav modela konstrukcije, tezaurus, taksonomija, upravljanje znanjem

Istraživanje prikazano u ovoj disertaciji započinje pregledom multidisciplinarnе stručne i znanstvene literature, kojim je autor obuhvatilo značajke, prednosti i nedostatke tradicionalnoga i distribuiranoga razvoja proizvoda. Analizom postupaka, metoda i alata uključenih u razvoj proizvoda, ontologija područja prepoznata je kao općenita osnova za upravljanje i razmjenu znanja. Kreiranje rječnika za prikaz znanja o proizvodu kao prvoga koraka u kreiranju ontologije razvoja proizvoda definirano je kao poželjan rezultat istraživanja, pa su na taj način postavljeni ciljevi i granice istraživanja. U skladu s ciljem i granicama disertacije, zaključeno je kako se rječnik za prikaz znanja o proizvodu može kreirati metodologijom u dvije faze: empirijsko istraživanje i implementaciju uporabom računala. Empirijsko istraživanje je obuhvatilo analizu dokumenta relevantnih za promatrano područje (teoretskih modela, industrijskih izvještaja i dokumentacije te raznih softverskih alata), identifikaciju ključnih pojmova i veza među pojmovima na temelju analiziranih dokumenata te razvrstavanje pojmova u taksonomije koje čine predloženi rječnik. Kao teoretska osnova istraživanja odabran je genetički sustav modela konstrukcije [Mortensen, Andreasen 1999.] kao prihvatljiv model proizvoda koji u usporedbi s ostalim postojećim modelima pokazuje sveobuhvatnost pristupa povezivanjem opisa konstrukcije/proizvoda, susreta koji proizvod ima u raznim fazama svojega životnoga vijeka te sustava koji realiziraju životni vijek proizvoda. Nakon ekstrahiranja elementa rječnika uslijedila je karakterizacija pojmova i kreiranje njihovih definicija. Prethodno opisani proces rezultirao je sa šest glavnih vrsta entiteta podijeljenih između fizičkoga i apstraktnoga svijeta u koje su klasificirani pojmovi što čine sadržaj predloženoga rječnika. Od posebne je važnosti prijednog kategorizacije raznih vrsta relacija koje su prepoznate među pojmovima na promatranom području, a na temelju njihovih logičkih svojstava simetričnosti, refleksivnosti i tranzitivnosti. Prijedlog rječnika vrednovan je ocjenjivanjem pouzdanosti razvrstavanja pojmova i taksonomija, što su proveli relevantni stručnjaci na promatranom istraživačkom području primjenom sociološke metode koja anulira subjektivnost predlagatelja. Nakon toga kreiran je računalni tezaurus upotrebom *Ontoprise®* razvojne okoline. Upotrebom tezaurusa opisani su realni proizvodi, pa je na skupu instanci pojmova i relacija koji je tako nastao ispitana konzistentnost predloženoga modela. Disertacija završava prijedlogom metodologije implementacije rječnika kroz troslojnu arhitekturu sustava za upravljanje znanjem, što se temelji na ontologiji razvoja proizvoda.

The Design Ontology – Contribution to the Design Knowledge Exchange and Management

Keywords: formal design model, design ontology, genetic design model system, thesaurus, taxonomy, knowledge management

In order to comprehend the main features, advantages and shortcomings of the traditional and distributed product development an extensive multidisciplinary literature overview is given at the beginning of the thesis. Analysis of the activities, methods and tools included in development process resultet with the proposal of domain ontology as a base for the knowledge management and exchange among different participants. Therefore, the product knowledge vocabulary as the first step in building product development ontology has been defined as a desired research result representing the research aim and to constrain the research project. In the methodology for development of the vocabulary two steps could be identified: empirical research and computer implementation. Empirical research has included domain documentation analysis (theoretical models, industrial reports, software documentation), identification of the key concepts and relations between them, and classification of the concepts and relations into taxonomies. The existing achievements in developing of the Genetic Design Model System - GDMS [Mortensen, Andreasen 1999] has been selected as a theoretical background of the presented research. GDMS has been selected because it seems to be able to capture the totality of results created in product development projects, and it is a more comprehensive comparing to the other design/product model systems that can be found in literature. After extraction of the vocabulary entities, the main concepts has been characterized and formally defined. As the result of the previously described process the vocabulary contents has been classified into six main subcategories divided between physical and abstract world. Categorization of the relations based upon logical properties of symmetry, reflexivity, and transitivity is one of the thesis results. The vocabulary has been evaluated by testing proposal reliability based upon method that takes in consideration the agreement of the relevant experts in the researched field and subtract the percentage of the agreement that can be expected from chance. As a next step in the research, the computer thesaurus has been created using the *Ontoprise®* ontology development environment. Using the thesauri, the knowledge evolved during the real product development has been described, and created set of the concepts and relations instances has been used for the vocabulary model consistency checking and refinement. Dissertation finishes with the proposal of the methodology for the vocabulary implementation based on the three-tier architecture of the system for the knowledge management and exchange.

1

UVODNA RAZMATRANJA

U prvom su poglavlju definirane značajke istraživanja, kojega su rezultati prikazani u disertaciji. Poglavlje započinje objašnjenjem motivacije koja je autora potaknula na istraživanje. Slijedi definiranje područja istraživanja te opis glavnih ciljeva. Nakon objašnjenja hipoteze i istraživačkih pitanja slijedi prikaz metodologije koja je upotrijebljena u istraživanju. Poglavlje završava opisom strukture disertacije.

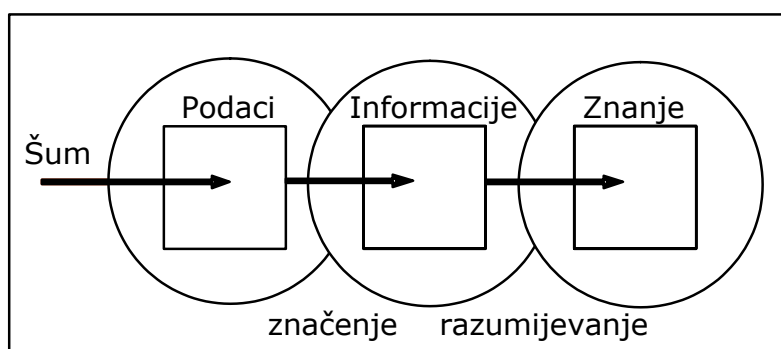
1.1 Motivacija za istraživanje

"...Držim da je jednako nemoguće znati dijelove bez poznavanja cjeline i poznavati cjelinu bez detaljnog znanja o dijelovima..." [1], Pascalova misao stara nekoliko stoljeća vrijedi i danas za razna područja ljudskoga djelovanja, pa tako i za razvoj proizvoda. Dok se u prošlosti razvoj proizvoda često promatrao kao aktivnost razvojnoga tima jedne tvrtke, zadnjih je godina došlo do određenih pomaka u paradigmi razvoja proizvoda [2]. Moderni proces razvoja čini složeni skup aktivnosti koje koordinirano izvode brojni sudionici s različitim znanjem, tehnologijama, radnom okolinom i sredstvima. Da bi se računalom djelotvorno podržao takav kompleksni skup međusobnih ovisnosti, treba dobro razumjeti prirodu razvoja proizvoda i svih njegovih čimbenika.

U modernom svijetu poslovanja uvelike je prisutna suradnja različitih tvrtki, i to ne samo u smislu zajedničke proizvodnje ili kupovanja gotovih komponenti nego i u ujedinjavanju aktivnosti potrebnih za razvoj novih proizvoda. Razlog tome leži u činjenici da male i srednje velike tvrtke često nemaju znanje potrebno za razvoj svih komponenti koje

ugrađuju u svoje proizvode. Važno je naglasiti da pri takvu udruživanju pojedine tvrtke zadržavaju vlastitu fleksibilnost i poslovnu neovisnost, pridonoseći istodobno svojim znanjem zajedničkom razvoju proizvoda. Opisani koncept suradnje omogućio je suvremenim tvrtkama brzo i fleksibilno reagiranje na nove zahtjeve tržišta, kao i na zahtjeve za promjenom postojećih proizvoda.

Upravljanje i razmjena informacija o kompleksnim proizvodima, aktivnostima i inženjerskom znanju nastalom tijekom razvojnoga procesa, vrlo je zahtjevno. Poseban problem u upravljanju i razmjeni jest činjenica da se u raznim fazama razvojnoga procesa primjenjuju heterogeni informatički sustavi pomoću kojih korisnici generiraju dinamičke, nepotpune i često neprecizno definirane informacije. Osim toga, sudionici u modernom razvoju proizvoda razmjenjuju relevantne podatke, informacije i znanje¹ [Slika 1.1] između razvojnih timova koji su geografski raspršeni, te kroz granice poduzeća s dobavljačima, kooperantima i kupcima. Suprotno prethodno opisanoj paradigmi, postojeća informatička rješenja za podršku razvoju proizvoda ne uključuju upravljanje i razmjenu većega dijela širokoga spektra informacija koje nastaju tijekom razvoja. To je razlog što je većina informacija koja se generira u razvoju proizvoda još uvijek neformalna, a njihova razmjena odvija se na načine koji nisu pogodni za njihovo praćenje, bilježenje i objašnjavanje (nestrukturiranim razgovorom licem u lice preko radnoga stola ili telefonom, osobnim zabilješkama i skicama na papiru itd.).



Slika 1.1: Progresija od podataka do znanja (klasična informacijska hijerarhija) [3]

Kao dodatak prethodno navedenim problemima, tradicionalni sustavi za podršku razvoju proizvoda (uglavnom CAx sustavi) uglavnom su ograničeni na prikaz oblika i podataka vezanih uz geometriju proizvoda. Funkcionalnost ostalih računalnih alata za podršku razvoju proizvoda, kao što su sustavi za upravljanje informacijama o proizvodu (PDM), sustavi za pomoć pri planiranju resursa (ERP) ili sustavi za podršku istodobnom inženjerstvu (CE), uglavnom proizlazi iz mogućnosti što ih nude današnje baze podataka. Iako u posljednje vrijeme proizvođači softverske podrške pridaju veće značenje informacijskim modelima koji bi omogućili sveobuhvatniji prikaz znanja o proizvodu, ti modeli ne prate u stopu spoznaje nastale u akademskoj zajednici koja se bavi istraživanjem ovoga područja, niti razina njihove primjene i upotrebe u razvoju proizvoda zadovoljava.

¹ Pojmovi podatka, informacija i znanja detaljnije su razjašnjeni u poglavlju [3.4]

Među rezultatima istraživanja u području razvoja proizvoda također postoji nedostatak opće usvojenih formalnih prikaza negeometrijskih informacija vezanih uz proizvod i znanja proizašlog iz njih (npr. informacije koje nastaju u konceptualnoj fazi razvoja proizvoda, informacije proizašle iz funkcionalne dekompozicije proizvoda, informacije o ponašanju pojedinih komponenti proizvoda, o tehničkim zahtjevima, ispunjavanju potreba, razlozima za inženjerske odluke itd.). Može se stoga reći da svakodnevnoj praksi razvojnih procesa nedostaju metode i alati za razmjenu informacija i znanja koji osiguravaju njihov integritet te konzistentnost u obliku koji bi bio koristan i razumljiv svim sudionicima razvoja proizvoda. Prethodno spomenuti nedostaci uzrokuju nedjelotvorne mehanizme pronalaženja i ponovne upotrebe postojećega znanja tijekom razvojnoga procesa. Nemogućnost djelotvorna pronalaženja i primjene postojećega znanja otežava razvoj proizvoda te uzrokuje nepotrebne razvojne iteracije i s njima povezane troškove. Zaključak koji se nameće nakon sagledavanja trenutačne situacije jest da je postojeća informatička podrška neprimjerena za ispunjavanje komunikacijskih potreba i zahtjeva za potpunom interoperabilnošću sudionika u modernom razvoju proizvoda.

Kao posljedica prethodnoga zaključka, u ovoj je disertaciji kao ključno područje istraživanja definirana problematika opisivanja i razmjene različitih informacija i znanja o proizvodu koji nastaje tijekom konstrukcijske faze razvojnoga procesa na djelotvoran i formalan način. Istraživanje koje je prikazano u disertaciji usmjereno je k definiranju formalne informacijske okosnice koja bi mogla poslužiti kao temelj bolje komunikacije između svih sudionika (ljudskih i računalnih) u razvoju proizvoda. Predložena okosnica trebala bi biti dovoljno općenita te bi u konačnici trebala poslužiti kao osnova za definiranje jedinstvene komunikacijske arhitekture sustava za podršku cjelokupnom razvoju proizvoda. Kako bi se ostvarila neovisnost i unificiranost informacijske okosnice, treba imati na umu nekoliko osnovnih zahtjeva:

- Prilikom definiranja okosnice treba što više integrirati postojeće formalne pristupe modeliranju znanja o proizvodu iz perspektive različitih inženjerskih domena. Metode podrške razvoju proizvoda zasnovane na predloženoj informacijskoj okosnici, trebale bi unaprijediti postojeće tehnike, a ne zamijeniti ih.
- Informacijska okosnica trebala bi dati podršku procesu razvoja kompleksnih tehničkih sustava bez zahtjeva za specifičnim stečenim znanjem pojedinca. To znači da se model proizvoda koji će biti uključen u formalnu okosnicu mora zasnivati na dobro poznatim tehničkim i fizikalnim načelima.
- Pri modeliranju formalnog opisa znanja o proizvodu treba definirati prikladan skup pojmova koji čine rječnik promatranoga područja i pravila kreiranja tvrdnji o promatranom području pomoću tih pojmova. Pojmove u rječniku treba strukturirati tako da omogućuju njegovu upotrebu u opisivanju raznih područja unutar razvoja proizvoda.

1.2 Cilj i svrha istraživanja

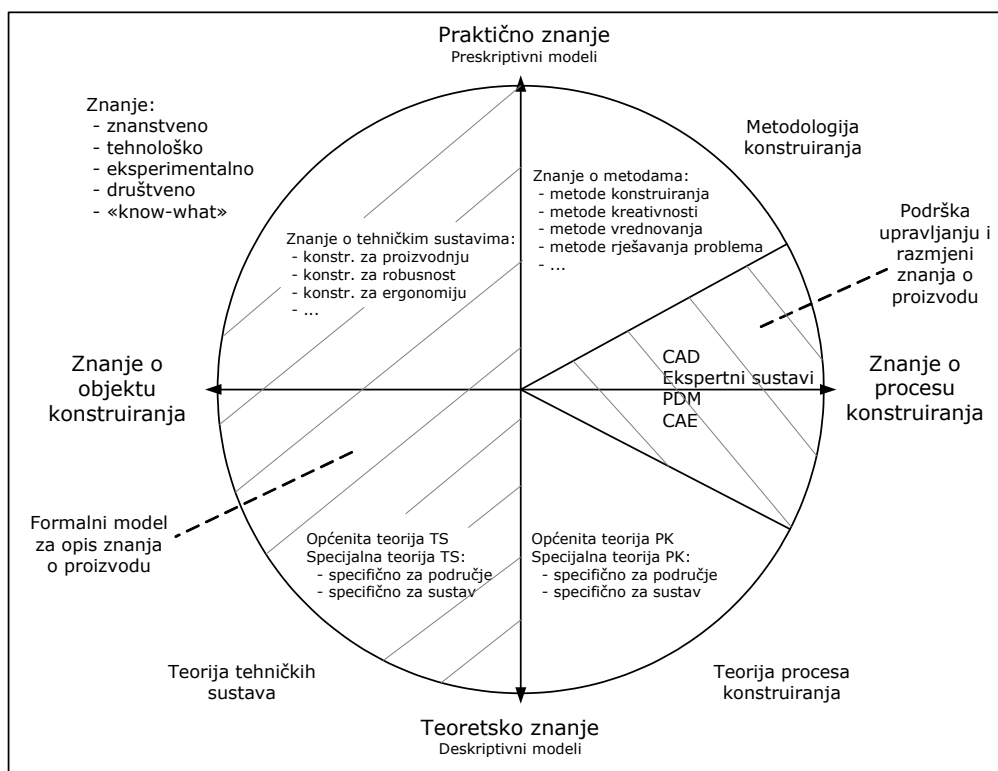
Ciljevi istraživačkoga rada mogu se podijeliti u dvije grupe: kratkoročne i dugoročne ciljeve. U svjetlu primijenjenih istraživanja [3], u koje ulazi i istraživanje prikazano u ovoj

disertaciji, oba su cilja istodobno i teoretske i praktične prirode, pa se nužno moraju razmatrati zajedno. U skladu s literaturom [5], može se reći da će se teoretski ciljevi u disertaciji prikazanog istraživanja ostvariti formuliranjem i vrednovanjem formalnih modela proizvoda, a praktični ciljevi razvojem i vrednovanjem znanja, metoda i alata zasnovanih na promatranim modelima proizvoda.

Glavni se ciljevi u disertaciji prikazanog istraživanja mogu definirati kao:

1. definiranje općenitoga formalnog informacijskog modela za prikaz znanja o proizvodu koje evoluirala tijekom konstrukcijske faze razvoja proizvoda, zasnovanog na teoretskim modelima proizvoda koji su definirani u znanosti o konstruiranju
2. definiranje metoda razmjene i upravljanja znanjem o proizvodu na temelju prethodno predloženog informacijskog modela, a da bi se ostvarile osnove za jednoznačnu komunikaciju između sudionika tijekom razvoja proizvoda.

Dugoročni cilj kojemu teži istraživanje predstavljeno u disertaciji može se definirati kao: doprinos teoriji proizvoda i konstruiranja povećanjem stupnja razumijevanja fenomena proizvoda izraženo kroz nove teoretske spoznaje o formalnom modeliranju znanja o proizvodu. Tim bi se doprinosom trebalo pokazati kako pojmovi, definicije pojmova i pravila upotrebe pojmova za opis znanja o proizvodu, koji su formalizirani na osnovi postojećih teoretskih modela proizvoda, mogu poslužiti za razvoj komunikacijske okosnice razvoja proizvoda. Na taj su način i deskriptivni i preskriptivni modeli znanosti o konstruiranju [6] uključeni kao sadržaj u disertaciji prikazanoga istraživačkog rada [Slika 1.2].



Slika 1.2: Struktura znanosti o konstruiranju s prikazom deskriptivnih i preskriptivnih područja [6]. Elementi istraživanja prikazani su sjenčanim područjem.

U praktičnom smislu, prihvatljiviji dugoročni cilj istraživanja može se definirati kao doprinos koji će pomoći tvrtkama u boljem koordiniranju i izvođenju razvojnih aktivnosti te kao osnova za daljnja istraživanja na ovom području.

1.3 Hipoteza i istraživačka pitanja

Navedeni ciljevi i svrha istraživanja odražavaju ovakvu hipotezu rada:

Može se odrediti nužan i dovoljan skup osnovnih pojmova koji čine rječnik razvoja proizvoda. Takav rječnik razvoja proizvoda treba omogućiti jednoznačan proces razmjene i transformacije informacija između različitih sudionika tijekom razvoja proizvoda. Specifikacija formalnoga prikaza entiteta rječnika treba poslužiti kao osnova za djelotvorniju integraciju i standardizaciju aktivnosti u modernom procesu razvoja proizvoda.

Ova je hipoteza ili, bolje rečeno, osnovna pretpostavka istraživanja polazište za koje autor nije imao na umu dokazivanje ili odbacivanje u logičkom pozitivističkom smislu [7]. Istraživački pristup upotrijebljen u ovom radu bliži je hermeneutičkoj [8] tradiciji gledanja na svijet oko nas, čija je misao vodilja u ideji da istraživači moraju najprije dobro razumjeti pojavu, kako bi mogli objasniti njezine uzroke. Istraživanja koja su u skladu s hermeneutičkom praksom predstavljaju simbiozu istraživačkih pitanja i odgovora te tzv. strukturu pitanje-odgovor. Stoga je žarište u disertaciji prikazanoga rada prije svega u pronalaženju odgovora na skup istraživačkih pitanja koja su proizašla iz hipoteze kao početne točke, da bi se razumio, opisao i interpretirao fenomen proizvoda kao rezultat razvojnoga procesa:

- Koje su to informacije koje opisuju fenomen proizvoda?
- Kako klasificirati i odrediti glavne elemente (pojmove, relacije, pravila) koji su nužni i dovoljni za opisivanje znanja o proizvodu što evoluirá tijekom razvoja proizvoda?
- Kako formalizirati glavne elemente proizašle iz spomenute analize?
- Koji su glavni kriteriji i metode vrednovanja nužnosti i dovoljnosti rječnika razvoja proizvoda?
- Koja je to metodologija implementacije predloženoga rječnika kao okosnice za upravljanje i razmjenu znanja u razvoju proizvoda?

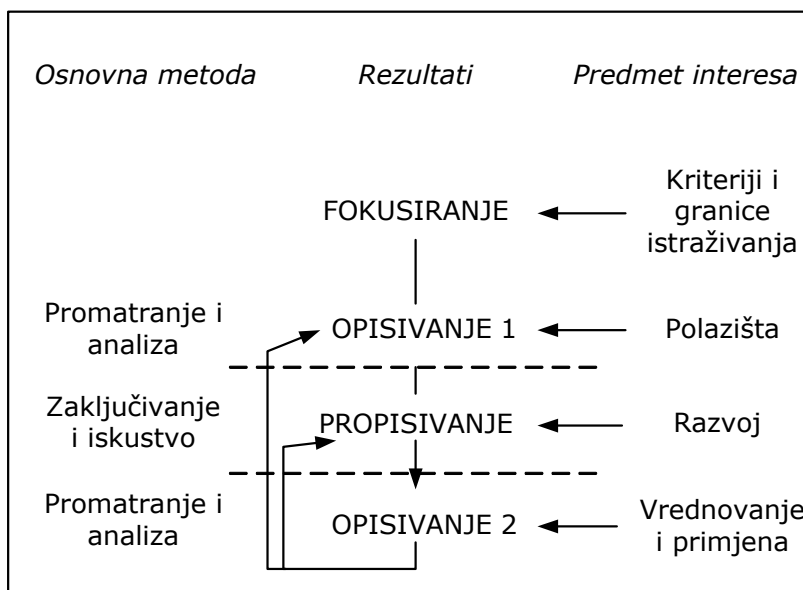
Pretpostavka istraživanja rezultirat će u disertaciji kreiranjem rječnika za prikaz i razmjenu znanja o proizvodu što evoluirá tijekom razvoja proizvoda primjenom istraživačke metodologije za kreiranje *ontologija*² (*ontologije* se danas istražuju kao temelj smislene razmjene znanja unutar pojedinih područja ljudskoga djelovanja, kao što su poslovanje, tehničke discipline, znanstvene discipline, računalne aplikacija i slično). Kreiranje rječnika zasnivat će se u disertaciji na teoretskim istraživanjima s područja "modeliranja proizvoda i jezika konstruiranja u razvoju proizvoda". Jezik se općenito, u

² Pojam ontologije detaljno je objašnjen u poglavlju 2.2

skladu s literaturom [9], zasniva na rječniku, sintaksi, semantici i fonetici. Rječnik sadrži osnovne elemente jezika, sintaksa definira pravila kompozicije osnovnih elemenata rječnika, a semantika daje značenje o tome što se rječnikom može izraziti. Fonetika govori o izgovoru te se u ovom istraživanju neće razmatrati, jer će se istraživanje usredotočiti na prikaz znanja o proizvodu u pisanom obliku. Rječnik kreiran tijekom istraživanja sadržavat će definicije osnovnoga skupa pojmova i relacija među pojmovima kao nositelje prikaza znanja o proizvodu i bit će zapisan formalnim jezikom. Rječniku će se pridodati i formalna pravila o kompoziciji tvrdnji koje opisuju promatrano područje upotrebom elementa predloženoga rječnika, a koja su proizašla iz teoretskih osnova promatranoga područja.

1.4 Metodologija istraživanja

U znanstvenom istraživanju metodologija istraživanja rabi se za razvoj novih teorija, metoda i alata kojima se proširuje postojeće znanje i stvara novo [10]. Istraživanje prikazano ovom disertacijom pripada velikom istraživačkom području koje se općenito naziva znanost o konstruiranju. Priroda istraživanja na ovom području nužno uključuje multidisciplinarni pristup, obuhvaćajući velik broj znanstvenih disciplina. Metodologija istraživanja koje je opisano ovom disertacijom slijedi deskriptivnu metodologiju kako su je predložili *Blessing i ostali* [11].



Slika 1.3: Metodologija istraživanja u znanosti o konstruiranju [11]

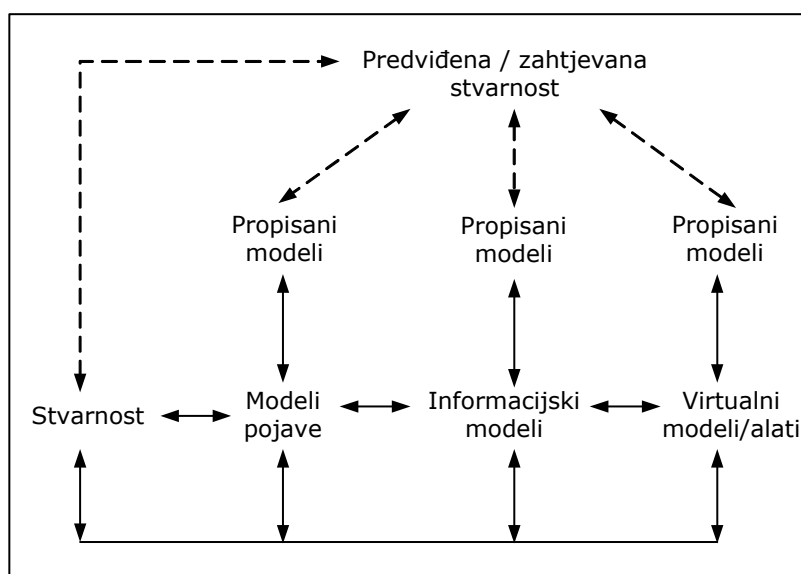
U istraživanju prikazanom u ovom radu nisu sve faze prethodno prikazane metodologije završene jednakom razinom kompletnosti. Razlog tome leži u realnim ograničenjima koje nosi izradba disertacije, osobito onima koja se tiču raspoloživa vremena i istraživačkih resursa. To je i razlog što je u ovom istraživanju težište na fazama OPISIVANJE 1 i PROPISIVANJE. Pojedine faze u radu prikazanog istraživanja mogu se pobliže opisati sljedećim aktivnostima:

1. *Fokusiranje*: Pregled postojeće problematike kroz stručnu i znanstvenu literaturu omogućio je fokusiranje istraživanja, definiranje strategije, ciljeva i granica istraživačkoga projekta.

2. *Opisivanje 1*: S obzirom na žarište istraživanja, odabrana je istraživačka metoda za razvoj rječnika i određena su polazišta na kojima se istraživanje temelji.
3. *Propisivanje*: Primjenom istraživačke metode, kao doprinos istraživanja definirani su elementi rječnika i kreirana taksonomija³ tih elemenata.
4. *Opisivanje 2*: Prijedlog rječnika vrednovan je u skladu s istraživačkom metodom i definirana je arhitektura računalne implementacije rječnika kao osnove za smisleni prikaz i razmjenu znanja.

1.5 Očekivani znanstveni doprinos

Valja naglasiti da bez obzira na glavni kratkoročni cilj istraživanja, koji je definiran kao bolja računalna podrška procesu razvoja proizvoda, očekivani primarni rezultati istraživanja nisu računalni modeli. Kao što je rečeno, žarište istraživanja bilo je na boljem razumijevanju fenomena razvoja proizvoda - općenito, a posebno fenomena proizvoda - specifično. Navedena tvrdnja u skladu je s pristupom istraživanju u znanosti o konstruiranju koji su predložili *Duffy i Andreasen* [12] [Slika 1.4]. Prema tom pristupu, modeli pojava mogu se istraživanjem u znanosti o konstruiranju prikazati manje apstraktnima, kao što su informacijski i računalni modeli.



Slika 1.4: Modeliranje stvarnosti u znanosti o konstruiranju [12]

Za formaliziranje i primjenu predloženoga rječnika, u prikazu i razmjeni znanja o proizvodu u radu su se iskoristili postojeći računalni alati, ali ne s namjerom da se ocijene mogućnosti njihove upotrebe i vrijednosti kao podrške procesu razvoja proizvoda. Računalni alati bili su iskorišteni za fizičko kreiranje i upravljanje predloženim formalnim informacijskim modelom te za testiranje uporabljivosti rječnika za opisivanje realnoga proizvoda.

³ Pojam taksonomije detaljno je objašnjen u poglavlju 2.2

Originalni doprinos ovoga rada, koji predstavlja dogradnju prethodnih istraživanja u okviru projekta MZT "Modeli i metode unapređenja računalne podrške razvoja proizvoda", jest u kreiranju formalnoga rječnika za opisivanje i razmjenu znanja o proizvodu tijekom razvoja proizvoda, zasnovanog na postojećim teoretskim osnovama, a primjenom metodologija za razvoj ontologija i suvremenih računalnih tehnologija. Komunikacijska okosnica za razvoj proizvoda, definirana na temelju predloženoga rječnika, trebala bi biti:

- otvorena, proširiva i fleksibilna
- općenita, odnosno neovisna o pojedinom procesu razvoja proizvoda
- pogodna za opisivanje znanja o proizvodu koje se najčešće razmjenjuje tijekom razvojnih aktivnosti
- prilagođena načinu inženjerskoga razmišljanja u sintezi proizvoda
- neovisna o vrsti programskih alata koji se rabe u razvoju proizvoda.

Naglasak na fleksibilnosti komunikacijske okosnice omogućio bi njezinu daljnju dogradnju i prilagodbu različitim uvjetima eksploatacije. Predložene metode implementacije trebale bi pružiti aktivnu podršku integraciji postojećih računalnih aplikacija koje se rabe u razvoju proizvoda i znanja o proizvodu, a sve zato da bi se postiglo:

- interoperabilnost u smislu jednoznačne razmjene znanja o proizvodu između funkcionalno različitih aplikacija u istoj organizacijskoj strukturi tvrtke prijedlogom mehanizama za povezivanje aplikacija koje kreiraju informacije (npr. CAx) i onih koje upravljaju i kontroliraju tok informacija (npr. EDM, PDM, KM)
- interoperabilnost organizacija, aplikacija i znanja o proizvodu između pojedinih organizacijskih jedinica različitih tvrtki. Danas smo praksom spajanja i preuzimanja tvrtki došli do činjenice da se unutar zajedničkih razvojnih projekata rabe različite aplikacije za istu svrhu, pa bi rezultati u disertaciji prikazanih istraživanja trebali omogućiti njihovu konsolidaciju.

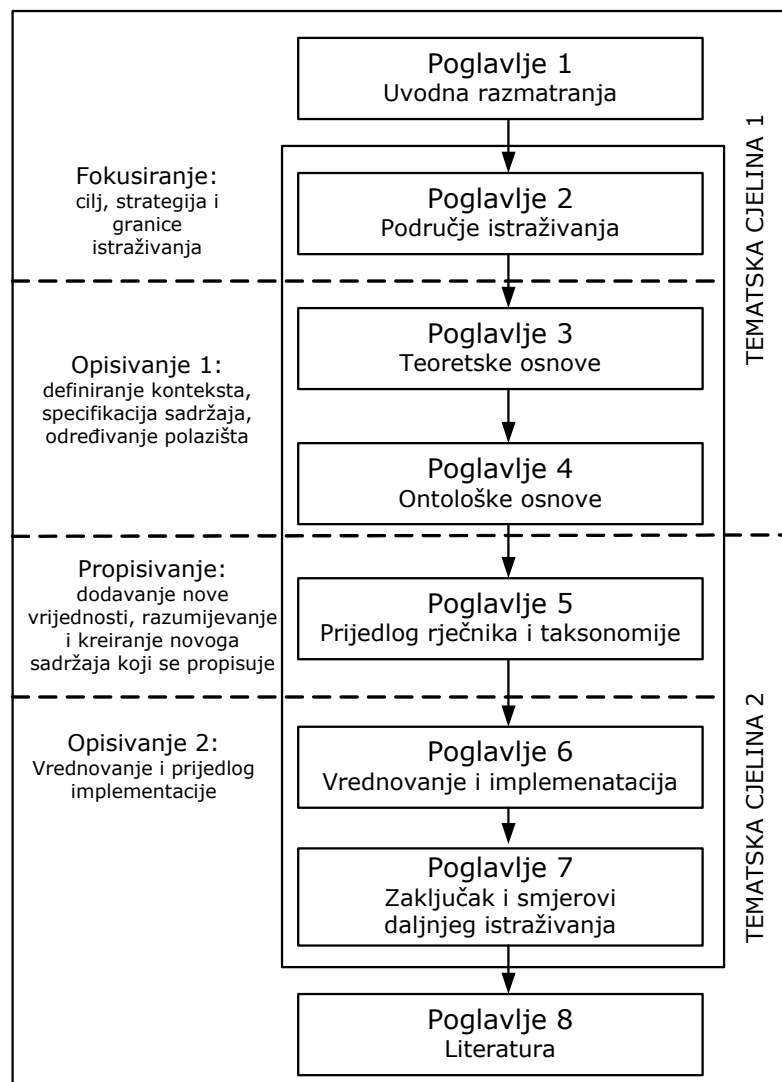
1.6 Struktura disertacije

Ova je disertacija podijeljena u dvije tematske cjeline [Slika 1.5], u skladu s metodologijom istraživanja, kako je definirana prema slici [Slika 1.3]. Prva cjelina proteže se kroz prvo, drugo, treće i četvrto poglavlje, te definira fokus istraživanja i opisuje pregled osnova na kojima se temelji istraživanje. Prvo poglavlje započinje objašnjenjem motivacije koja je autora potaknula na istraživanje, nakon čega slijedi definiranje područja istraživanja te opis glavnih ciljeva (faza definiranja kriterija i prva deskriptivna faza). Nakon objašnjenja hipoteze i istraživačkih pitanja, prikazana je metodologija upotrijebljena u istraživanju.

U drugom su poglavlju ukratko objašnjeni osnovni pojmovi vezani uz područje interesa disertacije – proizvod i proces njegova razvoja. Zatim su objašnjeni pojmovi tezaurusa, taksonomije i ontologije, opisani problemi u ostvarivanju interoperabilnosti u razvoju proizvoda te problematika praćenja evolucije znanja o proizvodu tijekom njegova razvoja.

U trećem su poglavlju prikazane teoretske osnove koje čine polazište istraživanja. Najprije je ukratko opisana znanost o konstruiranju s metodologijama istraživanja. Nakon toga prikazane su teoretske osnove modeliranja proizvoda opisima teorije sustava, teorije tehničkih sustava, teorije domena, teorije svojstva i genetičkoga sustava modela konstrukcije. U trećem poglavlju prikazane su teoretske osnove vezane uz modeliranje podataka, informacija i znanja s inženjerskoga gledišta.

U četvrtom su poglavlju ukratko prikazane važnije metode prikaza znanja, s posebnim osvrtom na pristup formalizaciji znanja zasnovanom na ontologiji. Prikazane su metodologije razvoja ontologija te formalni jezici za prikaz ontologija. U drugom dijelu poglavlja definiran je formalni model za opisivanje ontologije razvoja proizvodu, gdje su logikom prvoga reda definirane ontološke osnove rječnika za prikaz i razmjenu znanja o proizvodu te izvora koji sadrže to znanje. Ovime je ujedno zaokružena prva tematska cjelina disertacije.



Slika 1.5: Struktura disertacije prema metodologiji istraživanja

Druga tematska cjelina rada proteže se kroz peto, šesto i sedmo poglavlje te donosi opis doprinosa, rezultate vrednovanja i zaključak s prijedlogom mogućih pravaca daljnjeg istraživanja (preskriptivna i druga deskriptivna faza).

U petom je poglavlju prikazan rječnik za prikaz i razmjenu znanja o proizvodu te taksonomija pojmova toga rječnika. Kao osnova epistemološke razine na temelju koje je rječnik proširen odabrana je jedna od standardnih ontologija najviše razine apstrakcije. U skladu s ontologijom najviše razine, a na temelju teoretskih osnova, ekstrahirani su pojmovi i veze među njima, prikazane su njihove definicije i određene taksonomije pojmova i relacija.

U šestom je poglavlju glavi opisano vrednovanje predloženoga rječnika i taksonomije pojmova za prikaz znanja o proizvodu. Nakon toga prikazana je računalna implementacija tezaurusa i primjer njegove uporabe za opisivanje znanja o realnom proizvodu. Na kraju poglavlja govori se o arhitekturi primjene predloženoga rječnika kao okosnice sustava za upravljanje znanjem u razvoju proizvoda.

Druga se cjelina, kao i cjelokupna disertacija, završava zaključnim poglavljem u kojem se daje sažetak istraživanja, raspravlja o rezultatima proizašlima iz rada, njihovoj vrijednosti i ograničenjima. Na kraju glave opisani su mogući smjerovi budućih istraživanja, čime se disertacija kompletira.

PODRUČJE ISTRAŽIVANJA

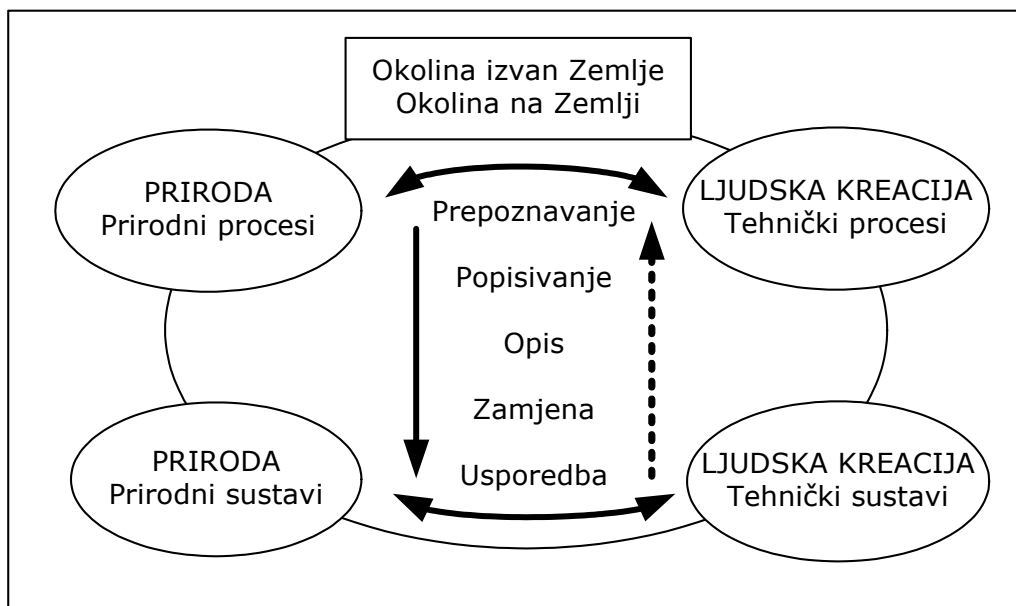
U ovom su poglavlju najprije objašnjeni osnovni pojmovi vezani uz područje interesa disertacije – proizvod i proces njegova razvoja. Zatim su objašnjeni pojmovi tezaurusa, taksonomija i ontologija, opisani problemi u ostvarivanju interoperabilnosti u razvoju proizvoda te problematika praćenja evolucije znanja o proizvodu tijekom njegova razvoja.

2.1 Razvoj proizvoda

Razvoj proizvoda u znanstvenoj se literaturi uglavnom razmatra kao složen proces koji započinje identificiranjem i definiranjem potreba korisnika, a završava zadovoljavanjem tih potreba (realizacija fizičkoga proizvoda). Glavni kriterij koji se u tom procesu slijedi jest: uz minimalne razvojne i proizvodne troškove postići maksimalnu djelatnost proizvoda (tehničku i financijsku). No za uspješan razvoj proizvoda, koji se uglavnom mjeri ostvarenom profitabilnošću, nije dovoljno članove razvojnoga tima opskrbiti samo modernim računalnim sustavima, što je uglavnom u središtu razmišljanja upravljačkih struktura tvrtki. Ima mnogo primjera koji zorno ilustriraju kako je mnogo važnije od računalnih alata za podršku osigurati razvojnom timu financijske resurse, primjenjivati prave principe upravljanja, pažljivo odabrati članove tima i iskoristiti metodologije za podizanje djelatnosti razvojnih timova [13].

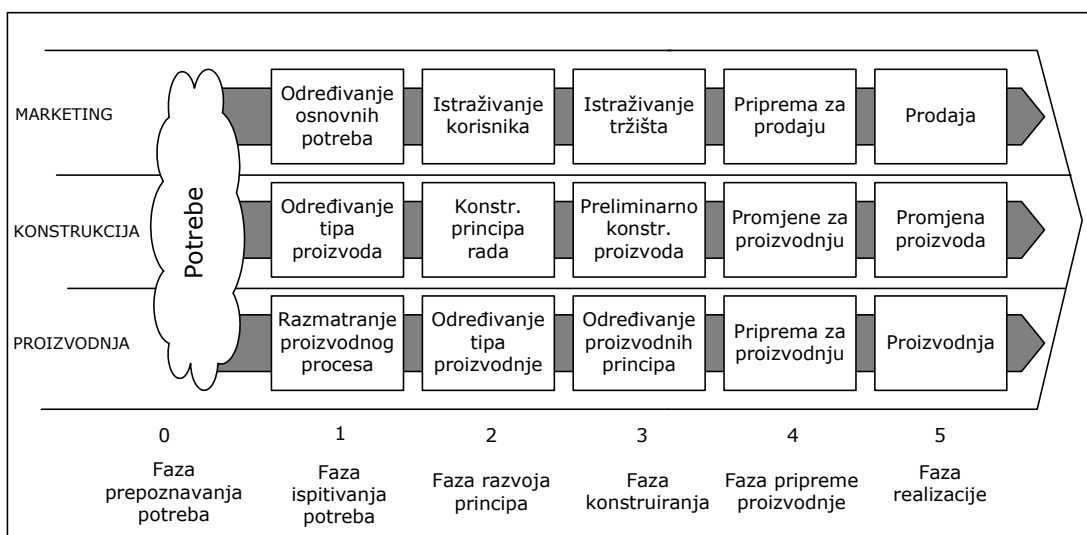
Većina očitih faktora koji utječu na suvremene procese razvoja proizvoda (kao npr. organizacija, upravljanje, resursi, alati i metode, okolina) ima izravnu ili neizravnu sociološku pozadinu. Međutim, pri odabiru iskoristivih metoda i vodilja za razvoj proizvoda potrebno treba voditi računa i o drugim utjecajima. Metode kojima se čovjek služi u razvoju procesa oslanjaju se uglavnom na prepoznavanje procesa koji se događaju u prirodi i sustava koji u prirodi postoje [14]. Ljudi stoga prirodne pojave i prirodne sustave u svijetu oko sebe pokušavaju razumjeti, opisati, traže sličnost s vlastitim problemima koje pokušavaju riješiti, pronaći načine na koje se prirodni principi

moгу primijeniti na vlastita tehnička rješenja te ih koristiti kao osnovu za usporedbu i vrednovanje vlastitih kreacija.



Slika 2.1: Veza prirodnih i ljudskih kreacija [14]

Posljedica toga jest činjenica da se razvoj proizvoda u modernoj znanstvenoj i praktičnoj literaturi promatra i modelira kao multidisciplinarni proces, koji se sastoji od mnogih sudionika i aktivnosti. Tijek multidisciplinarnih razvojnih aktivnosti i sudionici u razvoju ovise, naravno, prije svega o svakoj pojedinoj tvrtki, njezinoj organizacijskoj strukturi, ali i o prirodi proizvoda. Osnovne aktivnosti mogu se ilustrirati prijedlogom koji su dali *Andreasen i Hein* [15], naglašavajući zadaće glavnih aktera razvoja proizvoda: marketinga, konstrukcije i proizvodnje [Slika 2.2].



Slika 2.2: Integrirane aktivnosti u razvoju proizvoda [15]

Prikazani model aktivnosti u osnovi predstavlja najduži put od prepoznavanja potreba na tržištu do prodaje gotovoga proizvoda. U projektima s više unaprijed poznatih parametara neke će aktivnosti biti obuhvaćene u manjoj mjeri ili čak preskočene, no može se reći da je u osnovi ovaj niz jednak za različite tipove razvojnih projekata. Prema

slici [Slika 2.2], izlaz iz prve faze jest prepoznata potreba za proizvodom, definirana točno određenim tipom proizvoda koji treba razviti i predviđenim proizvodnim procesom. Izlaz iz druge faze jest jasna slika o načinu upotrebe proizvoda i osnovnim tehničkim principima na kojima će se proizvod zasnivati. Izlaz iz treće faze jest jasan prikaz da proizvod funkcionira kako je zamišljeno, ispitana je potencijalna veličina tržišta, a određeni su i kapaciteti proizvodnoga procesa. Izlaz iz četvrte faze jest prikaz da proizvod može biti proizveden tako da zadovoljava kvalitetom. Proizvodni i prodajni sustavi su postavljeni i određuje se konačna cijena proizvoda. Izlaz iz zadnje faze jest dokaz da se proizvod može prodati. Razmatrajući ista funkcionalna područja kao *Andreasen i Hein, Clark i Wheelwright* [16] razradili su postupke koji čine glavne aktivnosti razvojnoga procesa [Slika 2.3].

	Faze razvoja					
	Razvoj koncepta	Planiranje proizvoda	Detaljno konstruiranje i razvoj		Komercijalna priprema	Tržišno predstavljanje
			Faza 1	Faza 2		
Konstruiranje	Predlaganje novih tehnologija; Idejni razvoj proizvoda; Izrada modela; Provođenje simulacija	Izbor komponenti i interakcija s dobavljačima; Izrada ranih sistemskih prototipova; Definiranje arhitekture proizvoda	Razrada detaljnog dizajna proizvoda i interakcija s procesom; Izrada prototipova u prirodnoj veličini; Testiranje prototipova	Dotjerivanje detalja dizajna proizvoda; Sudjelovanje u izradi prototipova druge faze	Vrednovanje i testiranje primjeraka iz probne proizvodnje; Rješavanje problema	Vrednovanje proizvoda na osnovi iskustava s terena
Marketing	Prikupljanje podataka o tržištu; Predlaganje i vrednovanje koncepta proizvoda	Definiranje ciljanih korisničkih parametara; Definiranje očekivane prodaje i profita; Provedba rane interakcije s korisnicima	Testiranje prototipova od strane korisnika; Sudjelovanje u vrednovanju prototipova	Testiranje prototipova druge faze; Vrednovanje prototipova; Planiranje predstavljanja na tržištu; Planiranje distribucije	Priprema za predstavljanje na tržištu; Uvježbavanje prodajnih i servisnih djelatnika; Priprema sustava za obradu narudžbi	Opskrba distributivnog lanca; Prodaja i promidžba; Interakcija s ključnim korisnicima
Proizvodnja	Predlaganje i vrednovanje koncepta procesa	Definiranje očekivanih troškova; Definiranje arhitekture procesa; Provedba simulacije procesa; Vrednovanje dobavljača	Detaljni razvoj procesa; Razvoj i izrada alata i opreme; Sudjelovanje u izradi prototipova u prirodnoj veličini	Isprobavanje alata i opreme; Izrada prototipova druge faze; Instaliranje opreme i uvođenje novih procedura	Izrada probne serije proizvoda; Dotjerivanje procesa na osnovi probne serije; Uvježbavanje osoblja i provjera lanca opskrbe	Prilagodba proizvodnih kapaciteta potrebama tržišta; Ispunjavanje ciljeva po pitanju kvalitete, utjecaja i troškova
Ključni pokazatelji:	Definicija koncepta proizvoda i procesa	Definicija arhitekture proizvoda i procesa	Izrada i ispitivanje kompletnog prototipa; Vrednovanje konstrukcije proizvoda	Izrada i dorađivanje prototipa; Vrednovanje proizvodnog procesa	Izrada probne serije; Testiranje rada cjelokupnog sustava	Priprema za proizvodnju u punom pogonu; Ispunjavanje početnih komerc. očekivanja
Ključne odluke:	Odobrenje koncepta	Odobrenje programa	Odobrenje konstrukcije	Odobrenje proizvoda i procesa	Odobrenje probne prodaje	Odobrenje za prodaju

Slika 2.3: Postupci koji čine glavne aktivnosti razvoja proizvoda [16]

Prikladno pitanje na ovom mjestu jest zašto ljudi nastavljaju neprestano razvijati nove proizvode? Iz sociokulturološke perspektive, čini se da ljudi čeznu za boljim standardom življenja, što vodi k povećanju novih zahtjeva kupaca. Ti novi zahtjevi postavljaju se u odnosu na nove vrijednosti, koje s vremenom postaju ljudima. To su npr. sigurnost, ergonomija, zaštita okoliša itd. Takvi su zahtjevi mnogo skuplji za primjenu u novim proizvodima, dok je istodobno vrlo malo korisnika spremno platiti višu cijenu proizvoda zbog uvođenja novih značajki. Suvremeni proizvodi moraju svojim oblikom i funkcijom zadovoljiti očekivanja određena standardima i propisima, a pritom ostati konkurentni cijenom. Gledano iz poslovne perspektive, tvrtke se moraju suočiti s prethodno opisanim očekivanjima kupaca, pa zato neprestano moraju razvijati nove ili unaprjeđivati postojeće proizvode kako bi preživjele na tržištu. Gledano s te iste poslovne strane, potreba za novim proizvodom sama po sebi ipak nije dovoljna, razvoj proizvoda ne bi se trebao

raditi bez realnih spoznaja o kupcima/tržištu koje je kadro pokriti uobičajeno velike troškove razvoja i proizvodnje. Stoga razvoj proizvoda uvijek mora biti prije svega uspješan posao [15], posao koji je tržišno konkurentan i isplativ i u kratkoročnom i dugoročnom pogledu.

2.1.1 Novi zahtjevi na razvoj proizvoda

Kao što je napomenuto u prethodnom poglavlju, suvremene tvrtke suočavaju se sa značajnim izazovima u svojem poslovanju kako bi tržištu ponudile bolje i jeftinije proizvode. Prema [17], glavni su razlozi tome dinamičke značajke razvoja proizvoda: stalna potreba za kompromisima koji se moraju postići između često sukobljenih definicija projektnih zadataka; dinamika radne okoline i samoga razvojnog procesa; donošenje odluka u stalno promjenjivim okolnostima te sveprisutni faktor vremenskoga pritiska. Ove značajke čine razvoj proizvoda teško uspješnim, pa rezultati razvojnoga procesa ne odražavaju uvijek ciljeve koji su bili postavljeni na početku.

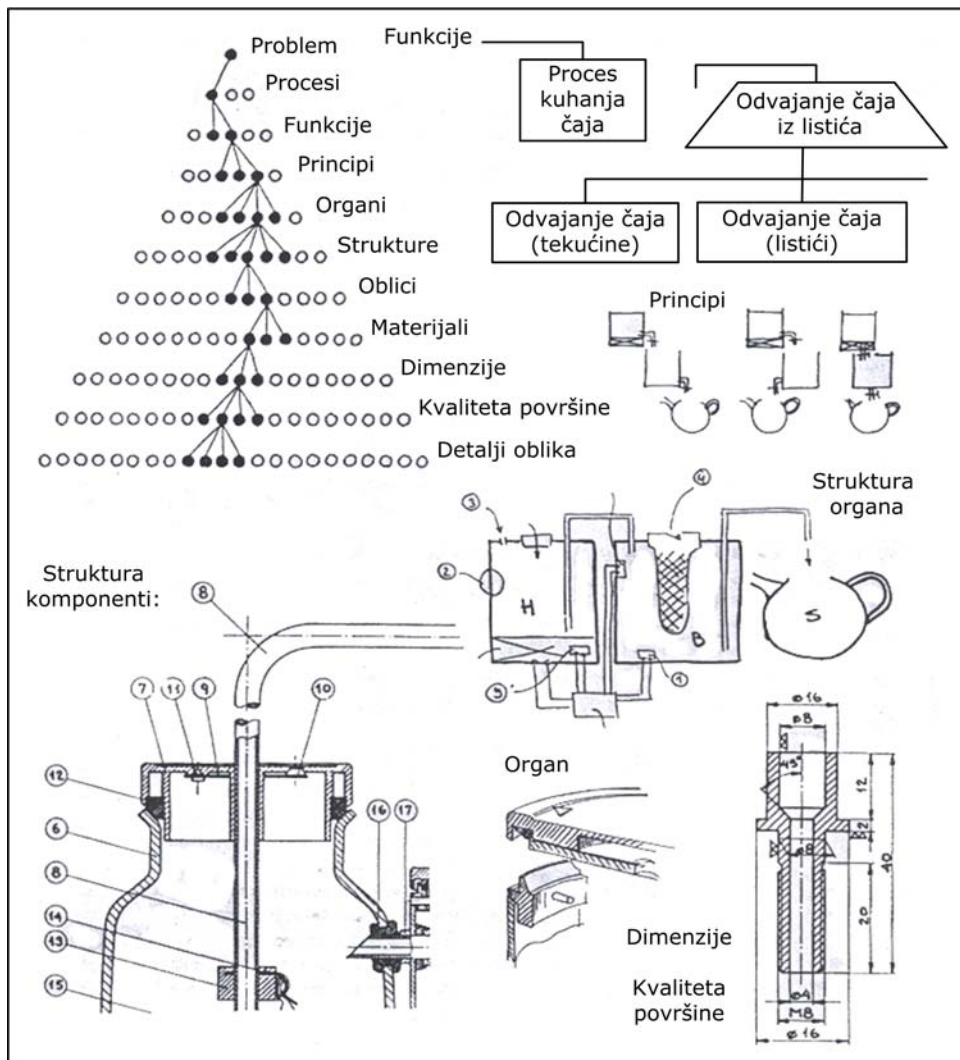
Posljedica prethodno opisanih dinamičkih značajki razvojnoga procesa jest da inženjeri često moraju donositi kritične odluke, a da nisu istražili alternativne strategije rješavanja postavljenoga problema. Ta je praksa prisutna poglavito u ranim fazama razvoja, u kojima je znanje o proizvodu ograničeno [18]. Neke se odluke u ranim fazama često ne prepoznaju kao utjecajne i važne, pa se ne sagledavaju svi negativni učinci na cjelokupan proces koji nakon njih slijedi. Posljedica ove prakse jest da u industriji danas postoji potreba za djelotvornim metodama koje bi trebale omogućiti članovima razvojnoga tima istraživanje alternativnih strategija rješavanja problema na mnogo dubljoj razini nego što se danas čini. U tom smislu nije riječ o potrebi za pronalaženjem pravoga smjera od samoga početka razvoja, nego o tome da bi se trebale moći napraviti brze iteracije u svakom trenutku razvoja, čime bi se u kasnijim fazama izbjegle one koje su skupe i vremenski zahtjevnije. Nove metode upravljanja i razmjene znanja o proizvodu mogle bi omogućiti lakše i brže pronalaženje i ponovnu primjenu znanja te bi se tim mehanizmima odluke donosile na temelju realnih činjenica [19]. Takav bi pristup iznad svega prisilio tvrtke da napokon formaliziraju znanje i iskustvo, koje je često pohranjeno samo u glavama ljudi, da postupaju pažljivije s njime te ga strukturiraju tako da im pomogne u postojećim i budućim projektima. Iz svega navedenoga može se zaključiti da metode i alati za djelotvorno opisivanje, upravljanje i razmjenu znanja o proizvodu ulaze u temeljne vrijednosti svake tvrtke, stoga su definirani kao predmet istraživanja prikazanog u ovoj disertaciji.

2.1.2 Evolucija znanja o proizvodu tijekom razvoja proizvoda

U prethodnom smo poglavlju vidjeli da je razvoj proizvoda kompleksan skup aktivnosti koji može zamjetno varirati od jedne do druge organizacijske strukture, reflektirajući tako najčešće kulturu razvojnih timova [20]. Istraživači na području razvoja proizvoda često se ne slažu međusobno u opisu prirode razvojnoga procesa [21], što rezultira činjenicom da su prikaz i način upravljanja podacima, informacijama i znanjem koji evoluiraju tijekom razvojnoga procesa različiti od slučaja do slučaja. Posljedica toga jest da su procesi evolucije znanja o proizvodu u pojedinom razvojnom procesu rezultat specifičnih metoda sinteze proizvoda i procesa odlučivanja [22].

Evoluciju znanja o proizvodu tijekom razvojnoga procesa karakteriziraju aktivnosti koje se odvijaju na dva načina: iterativno i slojevito [20]. Iterativnost evolucije znanja uzrokovana je brojnim povratnim iterativnim hodovima koji nastaju prilikom traženja odgovarajućega rješenja. Slojevitost je uzrokovana činjenicom da članovi razvojnoga tima rješavaju postavljeni problem zaključivanjem na različitim razinama apstrakcije. Pristup je to koji omogućuje članovima razvojnoga tima pogled na problem koji uključuje samo one zadatke koji se razmatraju u pojedinom trenutku razvojnoga procesa [Slika 2.4].

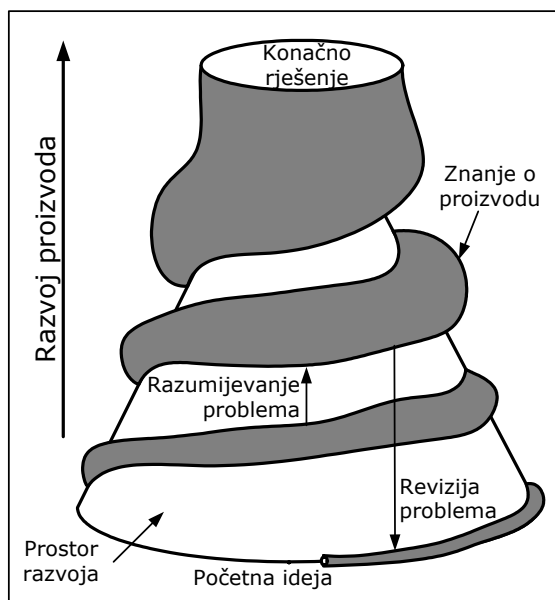
Članovi razvojnoga tima kontinuirano se prebacuju iz jednog načina rada na drugi i na taj način akumuliraju generirano znanje. Prostor razvoja suzuje se kako proces razvoja napreduje, jer se na početku razmatra više mogućnosti na raznim razinama apstrakcije, dok na kraju dolazimo do konačnoga rješenja [Slika 2.5]. Pritom se znanje o proizvodu širi, jer se bez obzira na način odvijanja procesa količina akumuliranih podataka i informacija stalno povećava.



Slika 2.4: Različite razine apstrakcije konstrukcijskoga problema [15]

Izlazni rezultat razvojnoga procesa jest znanje o tome što je proizvod, kako izgleda, od čega je napravljen, kako funkcionira, kako ga treba proizvesti itd. Proizvod je materijalni objekt, nositelj svih podataka kojima se opisuje njegova konstitucija i ponašanje. U

novije vrijeme osjeća se potreba za pomakom od klasičnih modela proizvoda (najčešće modeli geometrije proizvoda) prema opisno bogatijim modelima koji su kadri dokumentirati i npr. zahtjeve, evoluciju i dinamiku promjena, ili odluke i tok razmišljanja prilikom razvojnog procesa [23]. Stoga je cilj kojem se teži u istraživanju prikazanom u ovoj disertaciji učiniti sveukupno znanje o proizvodu koje evoluira tijekom njegova razvoja eksplicitnim i jasnim. Na taj način trebalo bi se omogućiti njegovo pohranjivanje, katalogiziranje i ponovna upotreba.



Slika 2.5: Prostor razvoja i evolucija znanja o proizvodu [20]

2.2 Rječnik, taksonomija i ontologija

Jedan od glavnih problema u modeliranju znanja o proizvodu koje evoluira tijekom razvoja proizvoda jest pronalaženje ili definiranje prikladnoga skupa pojmova kojima se može opisati to znanje [24]. Međutim, skup pojmova sam po sebi nije dovoljan kao semantička osnova za formalni zapis znanja o proizvodu, nego se taj problem mora promatrati u širem kontekstu. Osim skupa pojmova za opisivanje pojava u promatranom području, treba razumjeti i njihove definicije, veze koje postoje među pojmovima te pravila sprežanja koja proizlaze iz prirode promatranoga područja. Pojmovi, definicije, veze i pravila moraju biti dovoljno općeniti, no istodobno i dovoljno specifični, kako bi se na temelju izjava koje nastaju njihovom upotrebom mogli donositi konkretni zaključci o opisanoj situaciji u promatranom području. Postoje mnoge nedoumice oko načina na koji bi se taj skup trebao referencirati. Literatura u tom kontekstu uglavnom govori o rječnicima, taksonomijama ili ontologijama. Klasične definicije tih pojmova uglavnom su poznate širokom krugu ljudi, a u literaturi opisuju se kao [25]:

- rječnik – knjiga riječi u kojoj su one uglavnom organizirane abecednim redom s informacijama o njihovu značenju, oblicima, izgovoru, funkciji, etimologiji te sintaksi
- taksonomija – znanost o zakonima i načelima razvrstavanja, sistematika; proučavanje općenitih principa znanstvene klasifikacije – klasificiranje

- ontologija – grana metafizike koja se bavi prirodom i relacijama bitka, zakonima i strukturom bivstvujućeg uopće.

Prethodno navedena tumačenja imaju malo drukčije značenje za ljude koji se bave istraživanjem i primjenom novih spoznaja u informatičkim znanostima [26], pa je u njihovu tumačenju lako vidjeti napredak od početnih značenja do djelomičnoga preklapanja između prethodno navedenih pojmova.

Rječnik (tezaurs)

Kad govorimo o rječnicima u kontekstu informatičkih znanosti, uglavnom se misli na tezauruse, tj. knjige pojmova ili informacija o nekom području ljudskoga djelovanja s karakterističnim sustavom unakrsnoga referenciranja među pojmovima koji se rabe za organiziranje kolekcije pojmova da bi se oni objasnili i ponovno upotrijebili. Laika riječ tezaurs može asocirati na djelo osobe s imenom *Roget*, čiji se *Thesaurus of English Words and Phrases* prvi put pojavio 1852. godine [27], a rabi se, naravno u promijenjenu obliku, i danas za razne jezike. Prema *Rogetu*, definicija tezaurusa bila je: "verbalna klasifikacija ... po uzoru na onu koja je primijenjena u različitim odjelima prirodnih znanosti". Na tragu toga djela i filozofskih misli 19. stoljeća, prvi put se sredinom 20. stoljeća na konferenciji o istraživanju klasifikacije počelo govoriti o problemu "primjene mehaniziranih tezaurusa zasnovanih na mreži povezanih značenja" [28]. Iz te je inicijative proizašlo suvremeno shvaćanje tezaurusa, koje ga definira kao "indeksiranu listu međusobno referenciranih pojmova ili, bolje rečeno, ključnih riječi u promatranom području", a koja se rabi pri opisivanju i pronalaženju željenih informacija o području. Glavna značajka tezaurusa jest da se on zasniva na intuitivnom razumijevanju pojmova i logičkih veza među njima. Stoga su moderni tezaursi postali mreža pojmova međusobno povezanih hijerarhijskim, asocijativnim i vezama jednakosti, u novije doba podržani računalnom tehnologijom da bi se mogli semantički pretraživati [29], te im se zato često dodaje atribut "pretraživački".

Puno prije doba modernih pretraživačkih tezaurusa, pažnju istraživača i praktikanata privukao je problem integracije i usklađivanja između više različitih rječnika. Moguća rješenja toga problema uključilo je metode preslikavanja [30], spajanja [32] ili upotrebe međujezika [31]. Taj je problem postao još veći širenjem i razvojem suvremenih računalnih mreža, koje su omogućile da brojni repozitoriji informacija postanu dostupni svima [33]. Stoga su moderni pretraživački tezaursi ponudili mogućnost navigacije kroz višedimenzionalni prostor semantičkih veza među pojmovima, umjesto pregleda unakrsnih referenci karakterističnih za prve tezauruse, što je dodatno potaknulo zanimanje za istraživanje taksonomija. Iz toga naprednijeg tretmana semantičkih veza među pojmovima proizašle su dvije stvari. Prva je ta da su konvencionalni tezaursi prošireni uključivanjem definicija, napomena o upotrebi pojmova te eksplicitnije definiranim vezama među pojmovima. Druga je da je takvo obogaćivanje tezaurusa omogućilo lakše manipuliranje algoritmima zaključivanja, što je bio sljedeći korak u razvoju kojim se prešlo na područje ontologija.

Taksonomija

Dok su informatički stručnjaci namijenili tezauruse kao skupove indeksiranoga nazivlja sustavnim opisivanju sadržaja, taksonomije su obogatili primjenom tehnika klasifikacije. Klasifikacija postaje moguća tek dodatnom analizom veza između pojmova, što uvelike

ovisi o kontekstu u kojem se rabe. Glavni uzroci povećanja interesa za razvoj taksonomija jesu:

- Informacijska prebukiranost. Konvencionalni načini pretraživanja postali su neprimjereni i nedjelotvorni u radu s velikim bazama podataka, pa je trebalo nužno pronaći bolja rješenja za pretraživanje i filtriranje.
- Informacijska pismenost. Istraživanja su pokazala kako većina krajnjih korisnika ima probleme u načinu pretraživanja informacija, što vodi ka potrošenom vremenu te nedostatku potrebnih informacija.
- Organizacijska terminologija. Postojeći tezaursi ne odražavaju potpuno jezik pojedinih organizacija, koje uobičajeno generiraju 80% informacija unutar svoje organizacijske strukture.
- Destrukcija organizacija. Akvizicije i spajanja između poslovnih subjekata stvorili su goleme kulturološke probleme na razini dijeljenja informacija.

Kad se pogledaju rješenja tih problema koja se nude iza pojma taksonomija, postaje uočljivo da je taksonomija općenit pojam koji pokriva najmanje četiri značenja, a ona se međusobno preklapaju u primijenjenim tehnikama i metodologiji razvoja:

- Taksonomije struktura. Oblik taksonomija koji se uobičajeno rabi za opisivanje internetskih sadržaja. Izbornik koji nastaje na temelju pojmova prve razine takvih taksonomija nudi se korisnicima kao polazište za odabir sadržaja.
- Taksonomije koje podržavaju automatsko indeksiranje. Obuhvaćaju klasifikaciju riječi i fraza, sinonima i sintaktičkih varijacija, što se rabi za automatsko generiranje indeksa pojmova. Ove taksonomije mogu se smatrati proširenim tezaurusom.
- Taksonomije kreirane automatskom kategorizacijom. Ima mnogo softverskih paketa koji mogu analizirati tekst u dokumentima i kreirati automatske kategorije na temelju takve analize. Konačan je rezultat klasificiranje dokumenta prema tako kreiranim kategorijama.
- Korporativne taksonomije. Nastale su s idejom o lakšoj dostupnosti informacija svim djelatnicima neke tvrtke te njihovo povezivanje s repozitorijima i njihovim sadržajem, bez obzira na to jesu li oni unutarnji ili vanjski.

Ontologija

Riječ ontologija ima dugu povijest u filozofiji i označuje teoriju o sistematskom objašnjavanju postojanja [34]. Pojam se često zamjenjuje s *epistemologijom*, koja je teorija o prirodi znanja i razumijevanja. 90-ih godina dvadesetog stoljeća pojam ontologije postaje relevantan za istraživače na području inženjeringa znanja (*eng. knowledge engineering*) i umjetne inteligencije, koji su prepoznali potrebu za pohranjivanjem i prikazom znanja o realnom svijetu u informacijske sustave [35]. Istraživači na tim znanstvenim područjima "posudili" su pojam ontologije iz filozofije i dali mu novo značenje [36]. Za njih glavno pitanje na koje ontologija treba odgovoriti nije što informacijski sustav zapravo jest, nego što informacijski sustav mora biti kadar zaključivati kako bi mogao izvoditi korisne zadaće [37].

Jedna od prvih definicija pojma ontologije u novom značenju došla je od *Nechesa* i kolega 1991. i glasi [38]: "*Ontologija definira osnovne termine i relacije kreirajući rječnik područja te pravila kombiniranja pojmova i relacija, definirajući tako proširenje rječnika*". Prema ovoj definiciji, ontologija ne uključuje samo eksplicitno definirane pojmove nego i znanje koje može biti zaključeno na temelju tih pojmova. Nekoliko godina kasnije *Gruber* je dao čestu i parafraziranu definiciju ontologije, koja glasi [39]: "*Ontologija je eksplicitna specifikacija konceptualizacije*". Mnogi se istraživači načelno slažu s *Gruberovom* definicijom, ali je smatraju preširokom. Debata koja se razvila oko ove definicije slična je onoj o tome kakva je razlika između podatka i informacije. *Borst* je modificirao *Gruberovu* definiciju u [37]: "*Ontologija je formalna, eksplicitna specifikacija dijeljene konceptualizacije*". *Konceptualizacija* se u ovoj definiciji odnosi na apstraktni model neke pojave kreiran identificiranjem relevantnih pojmova vezanih uz tu pojavu. *Eksplicitno* u *Borstovoj* definiciji znači da su tipovi upotrijebljenih pojmova i ograničenja njihove upotrebe eksplicitno definirani. *Formalno* se odnosi na činjenicu da ontologija mora biti definirana u obliku koji je prilagođen upravljanju pomoću računala. *Dijeljeno* se odnosi na napomenu da ontologija obuhvaća dogovorno znanje, što znači ono koje je prihvatila šira zajednica u kojoj će se ontologija rabiti, a ne ono koje definira pojedinac.

Otkako je ontologija široko prihvaćena u novom značenju među različitim istraživačkim grupama (procesiranje prirodnih jezika, upravljanje znanjem, e-trgovanje, inteligentno integriranje informacija, softversko inženjerstvo itd.), *Usher* i *Jesper* [40] dali su definiciju ontologije s namjerom da je definiraju univerzalno u svim disciplinama: "*Ontologija može imati različite oblike, ali nužno uključuje rječnik pojmova i neku specifikaciju njihova značenja. Specifikacija uključuje definicije i indikacije kako su pojmovi međusobno povezani sa strukturom područja ontologije te ograničenja moguće interpretacije pojmova*". Valja još napomenuti da iako se ontologija često izjednačuje s tezaurusom ili taksonomijom, njezino je značenje mnogo šire. Ontologija nije ograničena na konzervativne definicije u tradicionalnom logičkom smislu koji samo opisuju terminologiju i ne omogućuju kreiranje novoga znanja o svijetu koji opisuju.

Svako područje koje se promatra ima svoju terminologiju, koja služi za opisivanje pojava u tom području. Međutim, priroda područja ne može se prikazati samo terminologijom područja, osim nje moraju postojati stroge definicije gramatike koja opisuje način na koji se pojmovi mogu kombinirati u tvrdnje i jasne logičke veze između tvrdnji [41]. Tek kada te dodatne informacije postanu dostupne, može se potpuno razumjeti priroda pojava u promatranom području. Sadržaj ontologije možemo zaključno definirati s tezaurusom područja, čiji su pojmovi i veze organizirani u taksonomije te im je pridružen skup pravila ili aksioma koji ograničuju sprežanje pojmova, dovoljno da bi se omogućila konzistentna i smisljena interpretacija tvrdnji nastalih njihovom upotrebom.

Gramatika i aksiomi u ontologijama definiraju se preciznim formalnim jezikom s jasno određenom sintaksom i formalnom semantikom. Stoga su ontologije, općenito gledano, mnogo rigoroznije i preciznije u sadržaju nego tipični tezaursi. Ontologije također teže ka kompletnosti, jer su veze među pojmovima u promatranom području i ograničenja na/između pojmova eksplicitno definirane. Na taj se način upotrebom ontologija smanjuju mogućnosti za kreiranje pogrešnih logičkih konstrukcija u opisivanju područja.

Osim definicija pojma ontologije, prikazanih u prethodnim ulomcima, naravno da postoje još mnoge druge u literaturi. No može se reći da u istraživačkoj zajednici danas

uglavnom vlada konsenzus oko značenja ontologije te da nema nejasnoća o željenom načinu upotrebe ontologija pojedinih područja. Razne definicije predstavljaju komplementarna gledišta na istu stvarnost. Kao zaključak ovoga poglavlja možemo reći da je općenit cilj svih ontologija opisivanje općeprihvaćenoga znanja na općenit i formalan način, tako da ono može biti ponovo iskorišteno te dijeljeno između ljudi i aplikacija na području za koje je ontologija definirana.

2.2.1 Primjena ontologija za područje razvoja proizvoda

Znanstvena literatura puna je opisa ontologija za razna područja ljudskoga djelovanja te prijedloga načina kako da se one upotrijebe. Ontologija u razvoju proizvoda predviđena je za povezivanja različitih područja inženjerske djelatnosti u koherentno okružje, za integriranje modela poslovanja, procesa, organizacijske strukture te ciljeva u jedinstvenu arhitekturu, stvarajući na taj način pretpostavke za istodobno inženjerstvo i razvoj proizvoda [41], [42], [43].

Mogućnost da se utvrdi terminologija za opisivanje i razmjenu znanja o proizvodu čini se kritičnom za ostvarenja pravoga istodobnog inženjerstva. Veliki inženjerski ili proizvodni projekti u rješavanje postavljenih zadataka uključuju resurse raznih kooperativnih grupa (ljudskih i računalnih). Svaka grupa daje vlastiti doprinos, a ukupan uspjeh projekta uvelike mjeri ovisi o stupnju povezanosti različitih sudionika u takvim projektima. Tako npr. znanje o tome kako se pojedina funkcija realizira u konkretnom fizičkom strojnom dijelu, može u ranoj fazi razvoja proizvoda pomoći pri planiranju potrebnog proizvodnog procesa. Golem problem u koordinaciji velikih projekata leži u raznolikosti vlastita znanja i iskustva, koje svaki sudionik donosi u proces razvoja proizvoda. Zbog razlika u terminologiji, informacije i znanje koji se prosljeđuju drugom sudioniku razvojnoga procesa može se pogrešno protumačiti. Takva pogreška u najboljem slučaju uzrokuje samo gubitak vremena i resursa, dok u najgorem slučaju posljedice mogu biti puno gore.

Jaka motivacija razvoju ontologije za opisivanje i razmjenu znanja o proizvodu jest ponovna upotreba stečenoga znanja i informacija tijekom razvoja. Jedan od najvećih problema u inženjerstvu svakako je redundancija napora uložениh u pronalaženje i ponovnu upotrebu informacija i znanja koji su već jednom bili negdje spremljeni. Stoga se golema količina vremena i napora u praksi često ulaže u ponovno "izmišljanje kotača". Prepoznavanje ovoga problema vodi kreiranju inženjerskih baza znanja koje se zasnivaju na ontologiji područja. Znanje i informacije pohranjene u inženjerskim bazama znanja moraju se moći djelotvorno pretraživati, pratiti njihova evolucija, ponovo iskoristiti i mijenjati, kako bi se udovoljilo zahtjevima novoga projekta. Na prethodno navedenim činjenicama možemo potencijalno područje upotrebe ontologija za područje razvoja proizvoda podijeliti u četiri kategorije (adaptirano prema [44]):

- osnova za formalizaciju poslovnih procesa
- medij komunikacije između ljudi i računalnih sustava
- osnova za ostvarivanje interoperabilnosti između različitih alata za podršku razvoju proizvoda
- okosnica za praćenje evolucije inženjerskog znanja tijekom razvoja proizvoda.

(i) Formalizacija poslovnih procesa

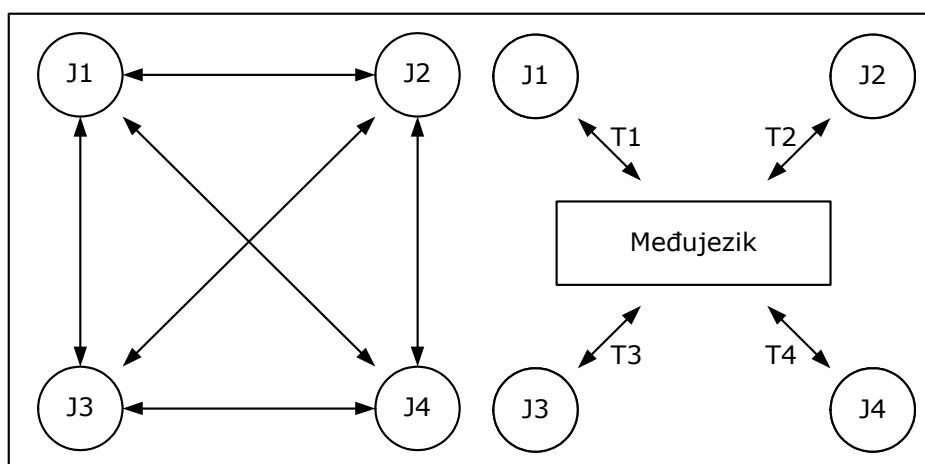
Osnova uspješnosti tvrtke jest disciplina i sposobnost tima u samoorganizaciji, kako bi se maksimizirale inicijative koje održavaju tvrtku na pravom poslovnom putu. Ontologija poslovnih procesa jasna je i jednoznačna formalizacija općenitih komponenti procesa u smislu njihova značenja za organizaciju, poslovni plan i poslovne ciljeve. Ontologija kroz definicije značenja za pojedine komponente poslovnih procesa omogućuje organizacijama fokusiranje na rezultate, umjesto na slijepo slijedeće procedura. Takva ontologija daje značenje onomu što treba biti napravljeno, a ne kako. To omogućuje organizacijama i timovima rad s maksimalnom neovisnošću te radnu inicijativu bez stalnoga pitanja za smjer kojim bi trebalo ići.

(ii) Komunikacija

Pojedine organizacijske jedinice unutar tvrtki razvijaju lokalne jezike koji se temelje na kulturi, iskustvu i objektivnosti. Ontologija definirana za neko područje smanjuje terminološku konfuziju na tom području, i to tako da pomaže u uspostavi formalnoga sustava komunikacije između organizacijskih jedinica. Na taj se način osigurava da razlika u semantici upotrijebljene terminologije bude nedvosmislena te omogućuje da pogreške u komunikaciji i koordinaciji između organizacijskih jedinica budu uklonjene. Ontologije u razvoju proizvoda mogu djelovati kao medij komunikacije, i to između: (i) različitih ljudi, uključujući inženjere, menadžere, korisnike koji sudjeluju u razvoju proizvoda; (ii) ljudi i upotrijebljenih računalnih sustava. S obzirom na to da je pogreška u komunikaciji često izvor i dodatnih troškova, ontologija ih može smanjiti.

(iii) Interoperabilnost

Različite praktične primjene ontologija adresiraju problem interoperabilnosti, koji nastaje kad različiti sustavi moraju smisleno razmjenjivati sadržaj i funkcionalnost. U svakoj inženjerskoj okolini pojavljuju se različiti modeli poslovnih procesa, aktivnosti, resursa, organizacije, proizvoda i usluga. Mogući pristupi rješavanju problema povezivanja funkcionalno različitih sustava su [Slika 2.6]:



Slika 2.6: Ontologija kao međujezik

- Klasični pristup, kreiranjem jedinstvenih "prevoditelja" između svaka pojedina dva sustava koji razmjenjuju informacije i znanje, što čini ukupno n^2-n različitih "prevoditelja" za n različitih sustava (koji, usput budi rečeno, mogu biti i ljudi).

- Kreiranjem ontologije kao semantičke osnove za kreiranje međujezika prethodno opisana situacija može se reducirati na $2n$ "prevoditelja" za n različitih sustava, jer svaki sustav treba samo "prevoditelja" prema zajedničkoj ontologiji definiranoj za promatrano područje.

(iv) Upravljanje inženjerskim znanjem

Tijekom razvoja proizvoda članovi razvojnoga tima žele ponovno iskoristiti podatke, informacije i znanje o proizvodima i procesu razvoja koji nastaju na inženjerskim ili poslovnim odlukama, argumentima, dokumentaciji, odabiru, standardima itd. Ontologija pri tome može imati važnu ulogu osnove za razvoj djelotvornijeg sustava upravljanja inženjerskim znanjem. U neformalnom pristupu razvoju proizvoda, ontologija može pomoći u razumijevanju relacija između pojedinih komponenti proizvoda i zahtjeva. U formalnom pristupu razvoju proizvoda, ontologije osiguravaju potpuni deklarativni opis proizvoda i procesa, što omogućuje eksplicitno zaključivanje o tome za što i kako je proizvod konstruiran. Ta eksplicitnost čini osnovu za učinkovitije procedure pronalaženja podatka te primjenu logičkih i analoških metoda zaključivanja, koje drastično reduciraju vrijeme potrebno za pretraživanje postojećega znanja.

2.3 Interoperabilnost računalnih sustava

Informatička rješenja već dugo obećavaju potpuno povezivanje raznih računalom podržanih procesa razvojem komunikacijskih mehanizama i protokola, koji bi trebali omogućiti jednostavniju razmjenu informacija. Međutim, stvarna je situacija daleko do toga. Podaci se u praksi i dalje pohranjuju i dupliciraju na mnogim mjestima u kompleksnim heterogenim računalnim sustavima, a da se često ne zna koji podaci vrijede, a koji ne [45]. Uz to, najveći problem razmjene informacija leži i u činjenici da su podaci usko vezani uz softverske aplikacije koje ih kreiraju/rabe, što znači da svaka razmjena zahtijeva proces konverzije ili prevođenja [46]. To se može potvrditi činjenicom da, prema istraživanjima *Standish Groupa* [47], čak 88% svih integracijskih projekata u praksi ne uspijeva. Sigurno je da za to krivnju djelomice snosi i način kako se neuspjele integracije izvode (loše definirani zahtjevi, loše planiranje, upravljanje i vođenje procesa integracije), no osnovno što nedostaje i što bi moglo poboljšati izgleda za uspjeh takvih projekata jesu metode koje bi omogućile stvarnu interoperabilnost između različitih sustava.

2.3.1 Integracija i interoperabilnost

Riječi integracija i interoperabilnost često se rabe kao sinonimi, no one ne znače isto. Postojeći pristupi integraciji fokusiraju se na integriranje procesa i sustava na razini događaja i razmjene poruka, tako da razni sustavi postaju logička cjelina. Prilikom integracije podaci se razmjenjuju bez dodatnog objašnjenja o njihovom kontekstu. S druge strane, pristup povezivanju različitih sustava koji se zasniva na interoperabilnosti usredotočuje se na razmjenu smislenih podataka između autonomnih sustava, odnosno na razmjenu funkcionalnosti i podataka koji imaju kontekst i značenje. Interoperabilna rješenja omogućuju svim sudionicima inteligentno dijeljenje resursa i upotrebu podataka tako da pri tome zadržavaju vlastitu terminologiju, radnu okolinu i općenitu perspektivu podataka [48].

Da bi se ostvarila interoperabilnost, nužno je zapravo ostvariti integraciju na dvije razine: integraciju softverskih aplikacija i integraciju informacija. Integracija aplikacija stvar je tehnologije i većina istraživačkih napora usmjerena je prema rješavanju ovoga dijela problema. Integracija informacija više je lingvistički, sociološki i filozofski problem, pa u tom dijelu tehnološke tvrtke tek hvataju zalet i priključak na rezultate znanstvenog istraživanja. Suočeni danas s tim problemima, retrospektivni pogled vodi nas prema zaključku kako su se mnogi troškovi koje tvrtke danas imaju zbog problema razmjene informacija mogli izbjeći da je problem interoperabilnosti prepoznat ranije. Taj zaključak zajedno s projekcijom promjena koje će se dogoditi u razvoju proizvoda u bliskoj budućnosti, motiviraju potrebu za adresiranjem novih prioriteta u povezivanju sljedeće generacije softverskih sustava za podršku razvoju proizvoda [49].

Dok se postojeći napori u povezivanju softverskih sustava usredotočuju na omogućavanje interoperabilnosti između različitih softverskih sustava koji podržavaju specifične aktivnosti tijekom razvoja proizvoda, najvažniji zahtjev u sljedećem koraku razvoja bit će rješavanje čovjek-čovjek, čovjek-aplikacija i aplikacija-aplikacija komunikacije koja će omogućiti da podaci, informacije i znanje, generirani ili upotrijebljeni u raznim fazama razvojnog procesa, budu dostupni svima, i to u izravnoj smislenoj razmjeni.

2.3.2 Interoperabilnost zasnovana na semantici

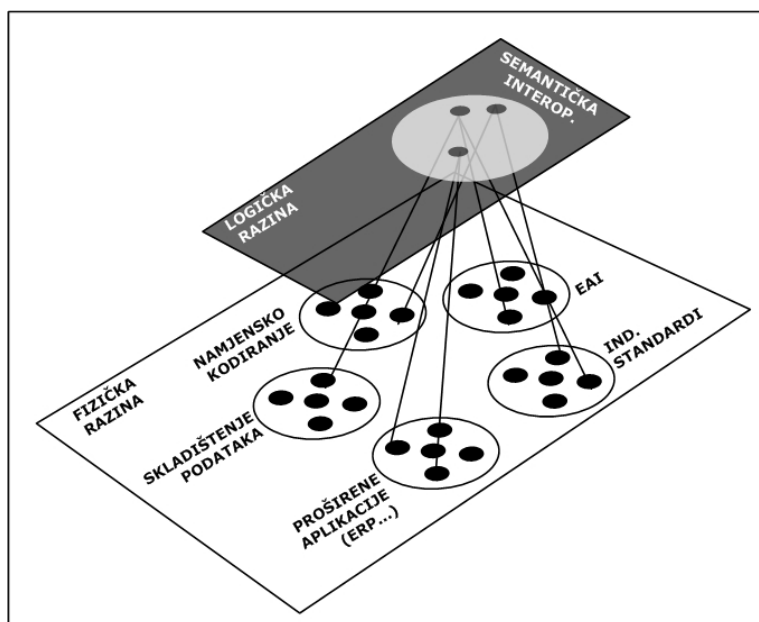
Pogledamo li povijesni razvoj informatičkih sustava, možemo vidjeti da ih u osnovi možemo podijeliti na dvije glavne grupe: sustave koji rješavaju različite probleme i sustave koji povezuju druge sustave. Istraživanja pokazuju da najveći pojedinačni dio ulaganja u informatičku tehnologiju želi omogućiti komunikaciju između različitih sustava [48]. Takva situacija ima smisla zbog ove činjenice: što se informacije mogu više podijeliti, a razni sustavi povezati, više se rada može automatizirati, što na taj način osigurava bržu i kvalitetniju produktivnost.

Povezivanje informacijskih sustava nije novost. Tehnologija koja slijedi iza toga pokušavajući riješiti dijelove toga problema, povijesno gledajući razvijala u slijedećim etapama [50], [51]:

- 1954. – 1975. *posebno naručene aplikacije*
- 1960. – JOŠ TRAJE *predlaganje jedinstvenih standarda*
- 1985. – 1995. *razvoj skladišta podataka*
- 1990. – 1999. *jedinstveni sustavi*
- 1993. – JOŠ TRAJE *integracija različitih sustava*
- 1995. – JOŠ TRAJE *interoperabilnost zasnovana na semantici*.

Nakon desetljeća neuspješna rješavanja problema interoperabilnosti među računalnim sustavima, sredinom 90-ih godina prošlog stoljeća pojavile su se prve ekspertize vezane uz razvoj novoga pristupa problemu. Nova generacija rješenja usredotočuje se na omogućavanje razmjene informacija i znanja između heterogenih sustava primjenom semantičkoga preslikavanja i upravljanja kontekstom podataka. Ova rješenja usmjerena su k rješavanju problema različitih rječnika, definicija podataka, terminologije i svih

drugih problema koji postaju vidljivi gledanjem iz perspektive sporazumijevanja te se čine kao karika koja nedostaje u lancu za potpuno povezivanje različitih sustava [Slika 2.7]. Osnovna značajka ovoga pristupa jest orijentiranost na prijenos značenja i namjere koje stoje iza informacija, što su nužne pretpostavke za ostvarenje jednoznačne komunikacije. Pristup se usredotočuje na logičku informacijsku infrastrukturu tvrtke, umjesto na fizičku povezanost i infrastrukturu.



Slika 2.7: Različite razine fokusiranja između tradicionalnih pristupa povezivanju sustava i pristupa interoperabilnosti zasnovanoj na semantici

Korijeni pristupa interoperabilnosti zasnovanoj na semantici preuzeti su iz dijelova istraživanja na području razvoja umjetne inteligencije iz 70-ih godina 20. stoljeća. U to su vrijeme znanstvenici kao primarni cilj istraživanja definirali prikaz znanja u digitalnim sustavima, pokušavajući prenijeti ljudsko znanje u računalno razumljiv oblik. Današnji pristupi interoperabilnosti imaju tri osnovne značajke koje su ostale iz stare škole istraživanja umjetne inteligencije:

- semantičko posredovanje – današnja rješenja služe se ontologijom područja kao posredničkom razinom za prikaz terminologije, rječnika i informacija u dijeljenom i distribuiranom informacijskom modelu
- semantičko preslikavanje – ontologija je kvalitetna onoliko koliko je kvalitetno preslikavanje koje povezuje podatke iz različitih aplikacija s njom. Preslikavanje u ontologiju čuva prirodnu semantiku podataka i uklanja potrebu za dodatnim kodiranjem značenja. Preslikavanje u ontologiju mnogo je više od višestrukoga formatiranja pravila ili sintakse, ono se očituje u načinu na koji je semantika pohranjena, obrađena i strukturirana u odnosu prema samim podacima
- kontekstna osjetljivost – značenje podataka uvijek je vezano uz određeno područje, perspektivu ili kontekst. Svako interoperabilno rješenje mora podržati činjenicu da neki podaci imaju različito značenje gledano s različitih gledišta. Poslovna pravila, definicije konteksta te metapodaci iz okruženja pohranjuju se u procesu preslikavanja i na taj način omogućuje njihova ponovna upotreba.

Danas se informatički stručnjaci slažu u jednom: semantičko posredovanje između različitih izvora informacija zasnovano na ontologiji jest alternativa koja najviše obećava u odnosu na postojeća neučinkovita i nefleksibilna rješenja [15]. Prema ekspertizama, potpuna interoperabilna rješenja moraju uključiti [48]:

- transportne servise – mehanizmi ili protokoli koji omogućuju prijenos poruka
- spremišta poruka – kodirani nositelji i strukture za prenošenje podataka i metapodataka
- integracijska sučelja – mehanizmi koji definiraju način kako pohraniti podatke u spremište te ih poslati upotrebom računalnih servisa
- ontologiju za prikaz informacija i znanja – specifikacija pojmovnoga modela koja se može ostvariti izravnim preslikavanjem ili specifikacijom pojmova na višoj razini apstrakcije
- mehanizme transformacije – sposobnost manipuliranja cijelim skupom podataka i relacija, koje se zasniva na sadržaju ontologije i kontekstu
- mehanizme prevođenja – skup algoritama i korisnički promjenjivih skripata koje omogućuju prevođenje sadržaja koje se temelji na ontologiji.

Ono što se može zaključiti na temelju prethodnoga prikaza problema interoperabilnosti jest:

- Početni korak prema rješenju problema interoperabilnosti između različitih heterogenih sustava uključenih u razvoj proizvoda jest usklađivanje elemenata znanja, koje evoluirala tijekom razvoja proizvoda.
- Da bi se riješio problem interoperabilnosti između brojnih međusobno nezavisnih računalnih sustava u razvoju proizvoda, valja na temelju harmonizacije definirati neutralan medij – ontologiju, kojom se znanje može formalno opisati.

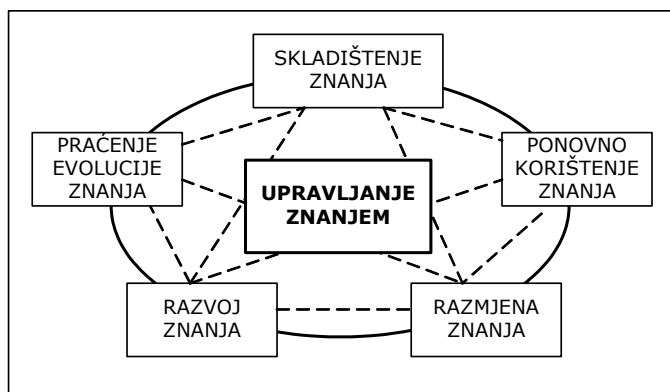
2.4 Upravljanje znanjem tijekom razvoja proizvoda

Posljednjih desetljeća 20. stoljeća proizvodi su postali sve kompleksniji. Produljilo se očekivano vrijeme njihove upotrebe, dok se istodobno očekivano vrijeme dolaska na tržište, novih i promijenjenih proizvoda, skratilo. Da bi postigle bolje rezultate, tvrtke su se okrenule pronalaženju novih pristupa za ponovnu upotrebu, prilagodbu te variranje proizvoda i inženjerskih rješenja. Kao glavni problem u tim pokušajima pokazao se manjak razumijevanja principa inženjerskih rješenja te time uzrokovana opasnost od pogrešaka prilikom prilagodbe i integracije postojećih rješenja.

Odgovorni ljudi u tvrtkama shvatili su kako je znanje koje posjeduju njihovi zaposlenici jedno od najvažnijih dobara tvrtke, što je pokrenulo čitav niz istraživanja usmjerenih prema pronalaženju metoda za učinkovitiju primjenu osobnoga znanja njihovih zaposlenika, a sve zato da se kvalitativno i kvantitativno prilagode promjenjivim poslovnim uvjetima. Taj je trend efikasno upravljanje znanjem označio jednim od najvažnijih prioriteta u suvremenim razvojnim procesima [Slika 2.8].

Istraživanje i podrška pojedinim aktivnostima koja su dio upravljanja inženjerskim znanjem još nisu postigli potrebnu zrelost za sveobuhvatnu primjenu u svakodnevnoj

praksi. Iskustva iz prakse pokazala su kako je razina dokumentiranosti pojedinih aktivnosti u razvojnom procesu nedostatna i neprimjerena za učinkovito upravljanje znanjem o proizvodu koji evoluira tijekom razvoja. Kao primjer možemo navesti općepoznatu činjenicu da inženjeri uglavnom ne dokumentiraju razloge svojih odluka, kao ni tok razmišljanja koji leži u pozadini njihovih odluka. Stoga se učinkovito praćenje evolucije inženjerskoga znanja može označiti kao kritičan i još uvijek neriješen preduvjet za upravljanje tim znanjem.



Slika 2.8: Osnovne aktivnosti upravljanja znanjem

Zašto je praćenje evolucije inženjerskoga znanja u modernoj, visoko-automatiziranoj, informacijama prezasićenoj paradigmi razvoja proizvoda još uvijek neriješen problem? Nakon sagledavanja stanja i pregleda literature koja začuđujuće malo govori o ovom vrlo važnom problemu, može se zaključiti da su pravi razlozi podjednako podijeljeni između prirode inženjerskoga procesa i ljudskoga faktora te heterogenosti alata za podršku razvoju proizvoda koji se rabe u distribuiranim razvojnim timovima. Poznato je da se "nešto" može "pratiti", samo ako "ostavlja tragove". U modernoj paradigmi razvoja proizvoda, zbog nedostatka odgovarajućih formalnih prikaza kompleksnih proizvoda, razmjena informacija i znanja i dalje se djelomično odvija neformalno i bez "ostavljanja tragova". Posljedica toga jest da pronalaženje i ponovna upotreba informacija i znanja (npr. prema tipu, sadržaju, obliku) te njihova korektna interpretacija otežavaju inovativnost i uzrokuju nepotrebne razvojne iteracije.

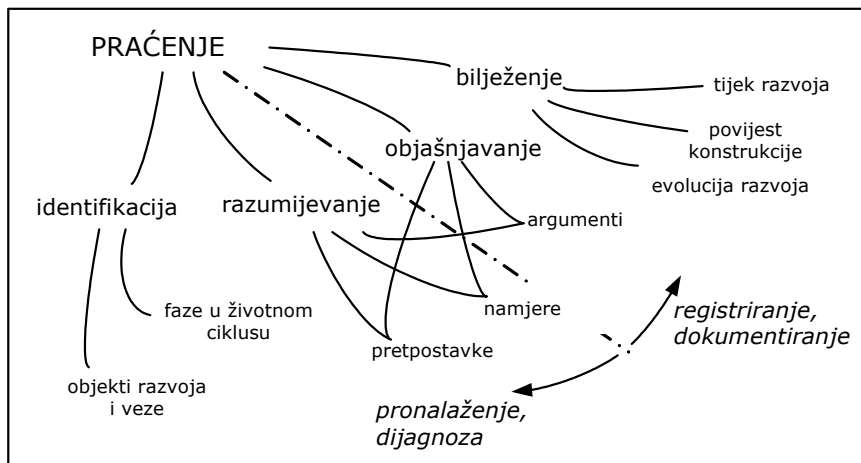
2.4.1 Praćenje evolucije inženjerskog znanja

Od posebne je važnosti za ovu disertaciju problematika praćenja evolucije inženjerskoga znanja u razvoju proizvoda, koja se može definirati kao kvalitativni faktor – svojstvo koje proces razvoja treba posjedovati [52]. Ako razmotrimo sveobuhvatnu sliku koja ilustrira glavne uvjete i elemente za praćenje evolucije inženjerskoga znanja, možemo ih opisati dvjema osnovnim aktivnostima [Slika 2.9], [52]:

- registriranje da se neki događaj dogodio te njegovo pohranjivanje (dokumentiranje) i objašnjavanje
- pretraživanje, analiza i razumijevanje prethodno pohranjenoga i dokumentiranoga sadržaja, kako i se mogao ponovno iskoristiti.

Ako pogledamo definiciju pojma prema *Hamiltonu i Beebyju* [53], možemo vidjeti da oni praćenje inženjerskoga znanja definiraju kao sposobnost otkrivanja povijesti razvoja

svake značajke proizvoda. Spoznaje o povijesti razvoja trebale bi pomoći inženjerima da se lakše snađu u evoluciji svih objekata razvoja koji su od njihova interesa, i to u oba smjera (naprijed i natrag u vremenu, kroz faze specifikacije, koncipiranja, razradbe, realizacije). Praćenje konstrukcijske povijesti trebalo bi pomoći i inženjerima u razumijevanju razvojnih putova te povezivanju objekata razvoja s konstrukcijskim odlukama i pretpostavkama koje stoje iza tih odluka. Praćenjem objekata razvoja unatrag do njihovih početaka mogu se prepoznati utjecaji kasnijih promjena na bilo kojoj značajki proizvoda i prije no što se proizvod promijeni zbog nekoga naknadnog zahtjeva.



Slika 2.9: Glavni elementi i uvjeti za praćenje inženjerskoga znanja [52]

Možemo reći i to da je cilj praćenja evolucije inženjerskoga znanja osiguranje da svi objekti razvoja budu jasno povezani s dokumentima koji se kreiraju kao rezultat razvoja. Dokumentiranje znanja o proizvodu može se definirati kao osnova od koje se (prema kojoj) praćenje tijekom razvoja proizvoda mora odvijati. Dokumentacija ima važnu ulogu u razvoju proizvoda, ona opisuje i dokumentira konstituciju i ponašanje proizvoda koji se konstruira, pokretač je cjelokupnoga procesa konstruiranja, ali i objekt verifikacije i validacije.

U proces razvoja proizvoda uključeni su razni sudionici. Kao posljedica takve situacije na primjenu i perspektivu praćenja, postoji široka varijantnost između zahtijevanih oblika i sadržaja praćenja evolucije inženjerskoga znanja kroz faze razvoja proizvoda. Da bi se definirale glavne dimenzije sadržaja koji se prati, u ovom je istraživanju uzeta pretpostavka da je praćenje uvijek vezano uz specifičnu razvojnu epizodu [52]. Takvo razmišljanje proizlazi iz razmatranja procesa donošenja konstrukcijskih odluka, koje su predložili *Hansen i Andreasen* [54]. Svaka razvojna epizoda ima specifičan scenarij praćenja evolucije inženjerskoga znanja, koji se može opisati odgovaranjem na sljedeća osnovna pitanja:

- **Koji** su objekti praćenja kojima se upravlja tijekom razvojne epizode, **koje** su njihove karakteristike i **kakve** su relacije između njih?
- **Tko** su sudionici koji imaju različite uloge u kreiranju, održavanju i upotrebi objekata koji se prate i njihovih veza?
- **Gdje** su objekti koji se prate prikazani, na fizičkim medijima - kao što su dokumenti, crteži ili ostale datoteke - ili u manje dodirljivim medijima, kao što su telefonski razgovori, rasprave, sastanci i ljudske misli?

- **Kako** su objekti koji se prate prikazani (u manje-više formalnom značenju)?
- **Zašto** su objekti koji se prate kreirani, promijenjeni, izbrisani?
- **Kada** su objekti koji se prate kreirani, promijenjeni, izbrisani?

Pregledom literature mogu se uočiti glavne zapreke realizaciji praćenja evolucije inženjerskoga znanja tijekom razvojnih procesa:

1. *Situacijski ovisna priroda praćenja inženjerskoga znanja uzrokuje varijantnost potreba za praćenjem.* Posljedica činjenice da je praćenje uvjetovano fenomenom razvoja proizvoda, jest da zahtijevani sadržaj praćenja varira od organizacije do organizacije, od ureda do ureda, čak i od korisnika do korisnika. Korisnici koji stvaraju "tragove" (uglavnom članovi razvojnoga tima) i ostali korisnici koji uglavnom pretražuju "tragove" imaju različite ciljeve i prioritete u definiranju prioriteta praćenja [55].
2. *Baza znanja, potrebna da bi se razvojni proces uopće mogao pratiti, kompleksna je i velika.* Zbog raznolikosti sadržaja praćenja i mnogostrukih relacija i ovisnosti između objekata razvoja svaki pokušaj primjene praćenja u razvoju proizvoda rezultira velikom i kompleksnom bazom znanja [56]. Kreiranje i održavanje takve baze zahtijeva golem napor i iziskuje velike troškove.
3. *Praćenje treba dati podršku i formalnim i neformalnim izvorima inženjerskoga znanja.* Priroda razvoja proizvoda, koji je uglavnom kolaborativan proces, uzrokuje nedostatak formalnih modela koji cjelovito opisuju proizvod i proces razvoja. Neformalni izvori lako se pohranjuju, no klasificiranje, indeksiranje, pronalaženje i upotreba takvih izvora uglavnom je nepraktično, pa nije pogodno za automatsko zaključivanje i donošenje odluka. Reduciranje prirodno neformalnih izvora u formalne izvore može olakšati njihovo manipuliranje, ali se pri tome značenje koje je uključeno u njih može izgubiti.
4. *Praćenje se preklapa s postojećim heterogenim alatima.* Nema alata koji podržavaju potpunu primjenu praćenja inženjerskoga znanja prilikom razvoja proizvoda. No neki od alata kojima se članovi razvojnoga tima služe u svakodnevnoj praksi, osim svoje glavne funkcionalnosti, pružaju mogućnost za djelomično kreiranje tragova te pretraživanje i verifikaciju sadržaja koji se tako prati. Na primjer, PDM sustavi omogućuju navigaciju kroz povijest razvoja proizvoda pohranjivanjem i upravljanjem različitim dokumenata kroz njihove revizije i verzije. Isto tako, CAD alati za konstruiranje, zasnovani na značajkama, omogućuju praćenje povijesti nastanka geometrijskoga modela proizvoda kroz stablo geometrijskih značajki [57].

Analiza razmatranja koja su prikazana u prethodnim ulomcima dovela je autora disertacije do zaključka kako bi dobro definirana sintaksa i semantika za prikaz znanja o proizvodu koje evoluiraju tijekom konstrukcijske faze mogla biti početni korak k uspješnom ostvarenju praćenja inženjerskoga znanja. Autor također smatra da što se više semantike definira za znanje o proizvodu, moći će se više primijeniti "inteligentniji" tretman na tragove koje evolucija znanja ostavlja. Sintaksa i semantika za prikaz znanja o proizvodu nužne su, jer za njegovo praćenje nije dovoljno poznavati samo format nego i značenje tragova. Da bi se pružila podrška kompleksnim aktivnostima upravljanja znanjem, u

disertaciji je kasnije prikazan prijedlog formalnoga rječnika za prikaz znanja o proizvodu te implementacijska arhitektura sustava za upravljanje znanjem, koja se zasniva na tom prijedlogu.

2.5 Implikacije na rad

Ovim je poglavljem definirano područje istraživanja. Opisana je paradigma modernoga procesa razvoja proizvoda te problemi vezani uz jednoznačno opisivanje i razmjenu znanja o proizvodu tijekom razvojnoga procesa. Razjašnjeni su pojmovi rječnika (tezaurusa), taksonomije i ontologije u kontekstu upravljanja i razmjene znanja, a s gledišta informacijskih znanosti. Tom je analizom sadržaj ontologije definiran tezaurusom određenoga područja, pri čemu su pojmovi i veze među njima organizirani u taksonomije, te pridruženim skupom pravila ili aksioma koji ograničuju sprezanje pojmova, dovoljno da bi se omogućila konzistentna i smisljena interpretacija tvrdnji nastalih njihovom upotrebom. Kao takva, ontologija je prepoznata kao osnova za ostvarivanje jednoznačne komunikacije, interoperabilnosti između različitih alata za podršku razvoju proizvoda te praćenja evolucije inženjerskoga znanja. Te su spoznaje, u skladu s prethodno definiranim ciljem istraživanja, ograničila područje istraživanja na razvoj rječnika (tezaurusa) za opis znanja o proizvodu, definiranje taksonomije pojmova koji čine rječnik te definiranje osnovnih aksioma za karakterizaciju glavnih vrsta pojmova za koje će se taksonomija definirati. Aksiomi za karakterizaciju svakoga pojedinog pojma rječnika neće se razmatrati u ovom radu, kao ni teoremi kompletnosti koji moraju biti definirani kako bi ontologija bila potpuna, s obzirom na to da je to proces koji se tiče šire znanstvene zajednice. Na temelju prethodne analize, istraživanje prikazano u disertaciji usmjereno je prema istraživačkom području izgradnje ontologija te je na taj način određena i metodologija istraživanja, što se objašnjava u idućim poglavljima disertacije.

TEORETSKE OSNOVE ISTRAŽIVANJA

U trećem su poglavlju prikazane teoretske osnove koje su polazište istraživanja. Najprije je definirana znanost o konstruiranju s metodologijama istraživanja. Nakon toga prikazane su teoretske osnove modeliranja proizvoda i procesa razvoja proizvoda kroz opise teorije sustava, teorije tehničkih sustava, teorije područja i teorije svojstava. U zadnjem dijelu poglavlja dan je pregled područja modeliranja inženjerskoga znanja.

3.1 Znanost o konstruiranju i razvoju proizvoda

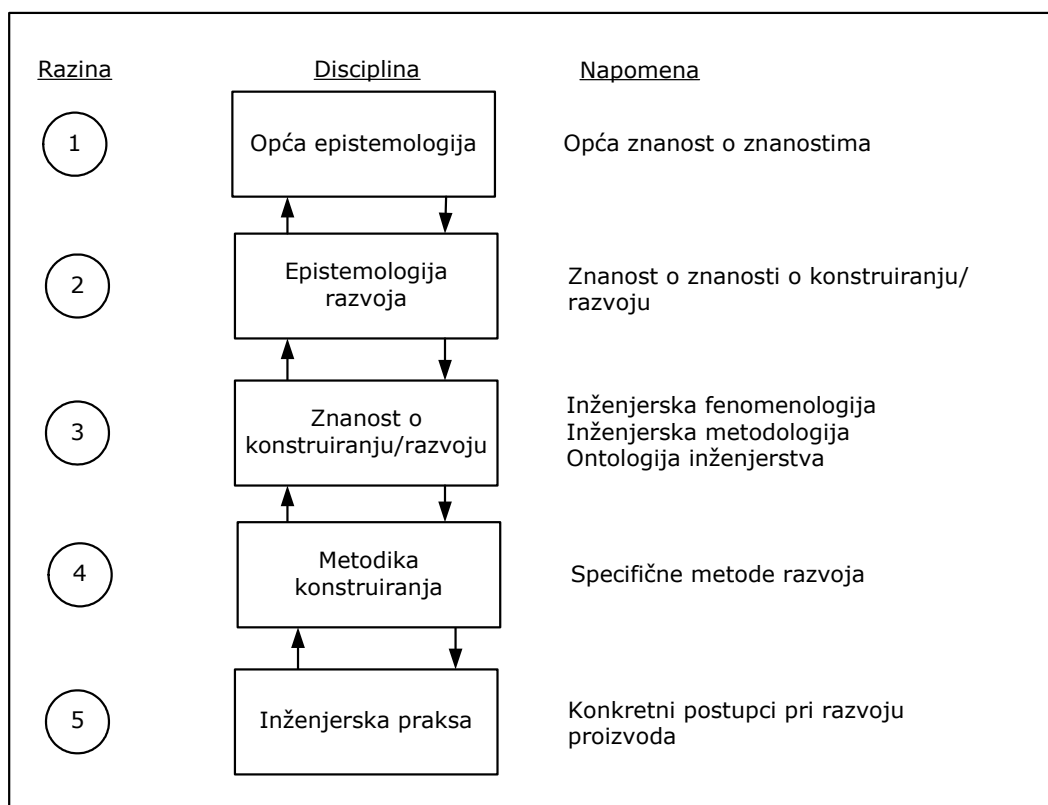
Razvoj rječnika, taksonomija i ontologija u praksi se oslanja na teoretske osnove i iskustvo eksperata koji djeluju na promatranom području. Što se tiče istraživanja prikazanog u ovoj disertaciji, teoretsku osnovu čine istraživačka područja koja su dio znanosti o konstruiranju i razvoju proizvoda (ZOK). Da bismo objasnili što je to ZOK, moramo postaviti neka esencijalna pitanja. Je li ZOK zaista znanost? Ako jest, što je objekt ZOK-a, što su vodeći principi istraživanja, gdje je mjesto ZOK-a u sustavu znanosti, po čemu se razlikuje od ostalih znanosti?

Oko činjenice da ZOK postoji nema sumnji ni upitnika. No unatoč brojnim aktivnostima istraživača, kao što su konferencije, znanstvene radionice, radne i interesne grupe, časopisi u kojima se mogu pratiti rezultati istraživanja ljudi koji se smatraju dijelom te znanosti, postavlja se pitanje koje su njezine temeljne postavke [58]? *Hubka i Eder* među prvima su pokušali odgovoriti na to pitanje, tako da su okarakterizirali osnovne zadaće ZOK-a neuređenom kompilacijom više od 50 elemenata koji imaju neku ulogu u ZOK-u. Prema njihovu tumačenju, ti se elementi moraju transformirati u uređeni skup [59], [60], kako bi se definirale glavne zadaće ZOK-a. Ipak, postoji mogućnost da netko abecednim redom klasificira te elemente, no to nije znanstveni proces, iako može biti koristan instrument u znanstvenom procesu. Ono što je potrebno, osim transformacije

elementa koji imaju ulogu u ZOK-u u uređeni skup, jest i objašnjavanje interakcija između elemenata i njihovih uzročnih veza [58]. Da bi se to moglo, treba na temelju elementa znanosti definirati teoretske osnove, koje će opisati i spomenute interakcije. Proces definiranja teoretskih osnova generira nova istraživačka pitanja, koja potiču nova istraživanja, a rezultati kojih se dodaju znanosti u obliku novoga znanja.

Prema definiciji koju su prezentirali *Duffy i Andreasen* [12], istraživanje u ZOK-u započinje deskriptivnom metodologijom, tj. promatranjem i opisivanjem načina na koji članovi inženjerskih razvojnih timova rade. Ta metodologija vodi k deskriptivnim modelima inženjerske prakse. Vrednovanje deskriptivnih modela pokazuje da oni sasvim ne zadovoljavaju, a posljedica je praksa da znanstvenici na temelju tih modela definiraju nove modele, koji se zato nazivaju preskriptivnima. Njihova je uloga da zamijene nedostatne deskriptivne modele te kao takvi budu integrirani u sustav metoda razvoja. Tada započinje novi krug deskripcija-vrednovanje-preskripcija, što uzrokuje stalnu dinamiku u sustavu znanost - metodologije, a posljedica je sve veća količina znanja u tom sustavu.

Pogledamo li ZOK na različitim razinama apstrakcije, možemo vidjeti slojevitost znanosti [58] [Slika 3.1], što nam može pomoći u njezinu boljem razumijevanju.



Slika 3.1: Slojevitost znanosti o konstruiranju [58]

Na najnižoj razini apstrakcije (razina 5) opisuje se realna inženjerska praksa. Članovi razvojnih timova služe se manje ili više sofisticiranim metodama za strukturiranje razvojnih aktivnosti te svoju kreativnost i intuiciju stavljaju u funkciju metodičkoga pristupa razvoju proizvoda. Metode koje se primjenjuju u razvojnom procesu opisane su na razini 4. Metode razvoja jesu oblik znanja, no one same po sebi nisu znanstveno znanje, nego su predmet znanstvenih istraživanja. To nas vodi na razinu 3, gdje se nalazi

znanost o konstruiranju/razvoju. Njezin opis čine inženjerska fenomenologija i metodologija te jedna filozofska disciplina, ontologija inženjerstva.⁴ ZOK je strukturiran na višoj razini, razini 2. Na toj se razini nalazi znanost o znanosti o konstruiranju/razvoju. Ona je filozofske, točnije rečeno epistemološke, prirode, jer definira temelje ZOK-a. Po svojoj ulozi, ona je ekvivalentna ostalim epistemološkim disciplinama, kao što su filozofija matematike, filozofija prirodnih znanosti, filozofija povijesti itd. Razina 2 je više ili manje pod utjecajem općenite epistemologije, koja se smatra općenitom znanosti o znanostima, a bavi se definiranjem općenitoga znanstvenog znanja.

Istraživanje u ZOK-u zahtjevan je proces zbog brojnih faktora koji utječu na istraživanja [61]. Faktori uključuju sudionike, organizaciju tvrtki, proizvode, računalne alate itd., a svaki je od tih faktora predmet zasebne istraživačke discipline, kao što su sociologija, inženjerstvo, informatologija itd. Sve nabrojene discipline imaju vlastiti znanstveni pristup i metodologiju, što stvara poteškoće u odabiru pravilnoga znanstvenog pristupa i u vođenju istraživanja na području ZOK-a. Istraživanje se u ZOK-u stoga može strukturirati kao [62]:

- istraživanje **u** konstruiranju i razvoju proizvoda, koje se provodi raznim vrstama promatranja
- istraživanje **za** konstruiranje i razvoj proizvoda, koje se provodi kreiranjem razvojnih/konstrukcijskih metoda, modela i računalnih alata
- istraživanje **kroz** konstruiranje i razvoj proizvoda, koje se provodi na temelju zaključivanja iz samopromatranja, hipotetiziranja, testiranja.

U skladu s definiranim ciljevima istraživanja, istraživanje prikazano u ovoj disertaciji pripada drugoj kategoriji prethodne klasifikacije. Razvoj informacijskih modela, metoda i računalnih alata na ovom području zahtijeva poznavanje predloženoga znanja (tvrdnja i teorija) o proizvodu, razvojnom procesu i inženjerskom znanju. Iz te će se perspektive, u poglavljima koja slijede, prikazati teoretske osnove ovog istraživanja. U namjeri da opiše proces konstruiranja i razvoja proizvoda, teorija bi u idealnom slučaju trebala zaokružiti objašnjenja triju osnovnih pojava: samu aktivnost sinteze proizvoda (razvojni proces), ljudski aspekt sinteze (kreativnost i zaključivanje) te artefakta koji se sintetizira (proizvod) [63]. S obzirom na različitu prirodu tih triju pojava, ni jedna od ove tri pojave ne može se sveobuhvatno objasniti samo jednom teorijom, stoga su postojeće teorije samo djelomični opisi i relevantne su za specifične aspekte razvoja proizvoda.

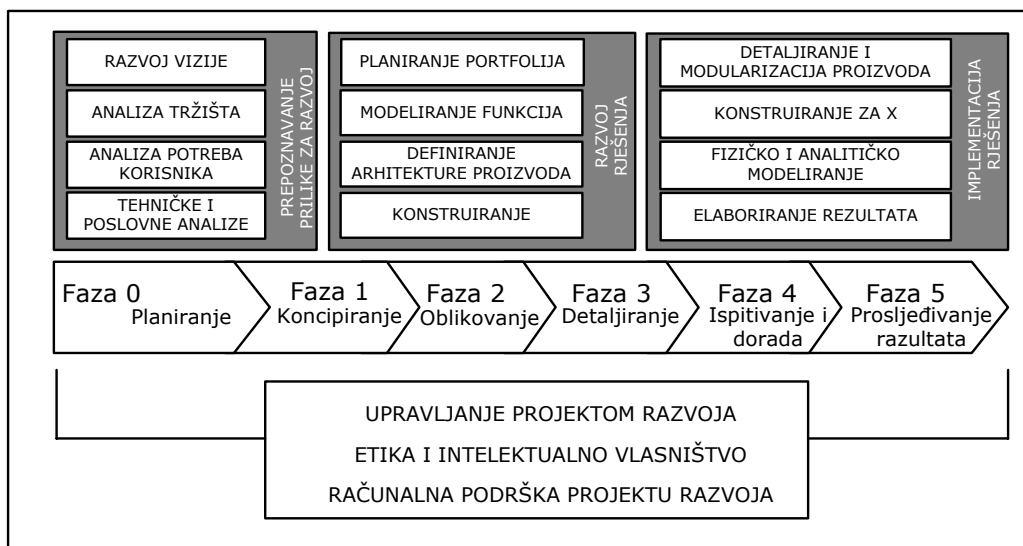
3.2 Teoretske osnove modeliranja procesa razvoja

O razvoju proizvoda već je bilo riječi u poglavlju [2.1]. Teorije koje modeliraju razvoj proizvoda općenite su i sveobuhvatne fenomenološke teorije, zatim deskriptivne i preskriptivne, koje racionalno objašnjavaju prirodu razvojnoga procesa: *Andreasen i Hein*

⁴ Pojam ontologije inženjerstva se ovdje odnosi na filozofsku disciplinu prema definiciji prikazanoj u [34], te je ne treba miješati sa ontologijom proizvoda u smislu formalizacije rječnika za prikaz znanja o proizvodu koja je cilj istraživanja prikazanog u disertaciji.

[15], Clark i Wheelwright [16], Ulrich i Epingner [17], Otto i Wood [18]. Razvoj proizvoda može se opisati s različitih gledišta, kao što su npr. planiranje, organizacija, metode, aktivnosti.

Razvoj proizvoda uključuje sve aktivnosti nužne za ostvarenje proizvoda od definiranja zahtjeva, preko određivanja principa rada pojedinih rješenja, detaljne razradbe do prosljeđivanja potrebnih rezultata proizvodnji [Slika 3.2]. O planiranju u ranim fazama razvoja proizvoda ovisi strategija ponašanja na tržištu, tehnološka strategija, strategija konstruiranja i proizvodna strategija.



Slika 3.2 Općenit proces razvoja proizvoda [17],[18]

Razvoj proizvoda ima za cilj uspostavu simultanosti, integraciju i uključivanje svih značajki iz životnoga ciklusa proizvoda. Važni elementi razvoja proizvoda jesu kreativnost, razradba, metode za sistematsku sintezu, upravljanje informacijama, znanjem i dokumentima. Teorije u ZOK-u opisuju ljude kao subjekte koji rješavaju probleme, tehničke proizvode kao predmet razvoja te razvojne aktivnosti i faktore koji utječu na te aktivnosti. Najveći dio istraživačkih napora na ovom području usmjeren je k definiranju poboljšanih modela proizvoda i procesa konstruiranja [6] kao središnje faze razvoja. Proces konstruiranja i konstrukcija/proizvod kao njegov rezultat modeliraju se brojnim, u literaturi opisanim teorijama i modelima: Hubka [64], Roth [65], Andreasen [66], Yosikava [67], Pahl i Beitz [68], Krause [69], Tomiyama [70], Anderl [71], Salminen [72], Ullman i Grabowski [73], VDI 2221 [74], Blessing [75], Merkamm [76], STEP [77], Rosenman i Gero [78], Mortensen [79]. Za istraživanje prikazano u ovom radu relevantne su teorije koje opisuju razvoj gledan iz perspektive proizvoda, pa su na temelju njih određene granice unutar kojih je potrebno definirati znanje. Glavna teoretska polazišta disertacije ukratko su objašnjena u idućem poglavlju.

3.3 Teoretske osnove modeliranja proizvoda

3.3.1 Teorija sustava

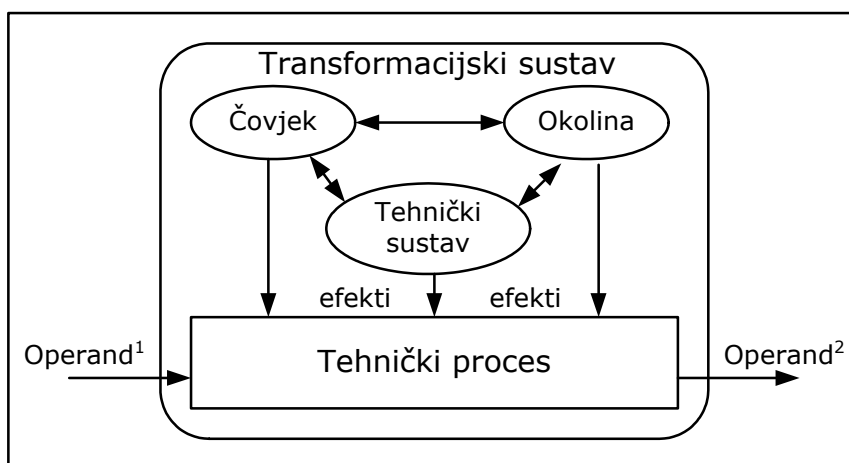
Najraniji doprinosi općenitoj teoriji proizvoda mogu se pronaći u kibernetici [80], teoriji sustava [81], te inženjerstvu sustava [82]. Osnovna pretpostavka od koje se polazi u tim

pristupima jest postojanje razlike između strukturnih karakteristika i ponašajnih svojstava promatranoga sustava. Svaki sustav ima svoje granice koje ga odvajaju od okoline u kojoj se nalazi. Preko granica sustava on je u interakciji s okolinom, tj. prima podražaje na temelju kojeg isporučuje odgovor. Struktura sustava tako opisuje sam sustav, dok njegovo ponašanje opisuje način na koji sustav odgovara, ovisno o podražajima.

U strukturi elemenata koji čine sustav može se razlikovati skup konstitucijskih elementa i skup hijerarhijskih veza između njih [83], [84]. Kompozicijom konstitucijskih elemenata stvaraju se složeniji konstitucijski elementi, koje dalje čine složenije konstitucijske elemente itd. Što se ponašanja sustava tiče, u teoriji se rabi nekoliko pogleda: ponašanje izraženo interakcijom čovjek-sustav, ponašanje opisano transformacijom operanda u sustavu, ponašanje izraženo pogledom na funkcionalnost sustava, ponašanje izraženo pogledom na različita svojstva sustava, kao što su pouzdanost, dinamika itd. Teorija sustava može se promatrati kao modeliranje: konstruktorska točka promatranja određuje što konstruktor u tom trenutku vidi kao elemente i veze unutar sustava, a model sustava predviđa ponašanje u skladu s tim pogledom.

3.3.2 Općenita teorija tehničkih sustava

Na temelju osnova iz teorije sustava, u 1970-ima i 1980-ima *Hubka i Eder* [6] definirali su sveobuhvatnu teoriju koja leži u pozadini svih današnjih pristupa na području istraživanja tehničkih proizvoda i procesa njihova razvoja. To je općenita teorija tehničkih sustava [Slika 3.3]. Primarni cilj općenite teorije tehničkih sustava jest klasificiranje i kategorizacija znanja o tehničkim sustavima u uređeni skup zaključaka vezanih uz njihovu prirodu, upravljanje, kontrolu i razvoj. Općenita teorija tehničkih sustava modelira se fenomenološki, pa je kao takva primjenjiva za opisivanje i strukture i ponašanja tehničkih sustava.



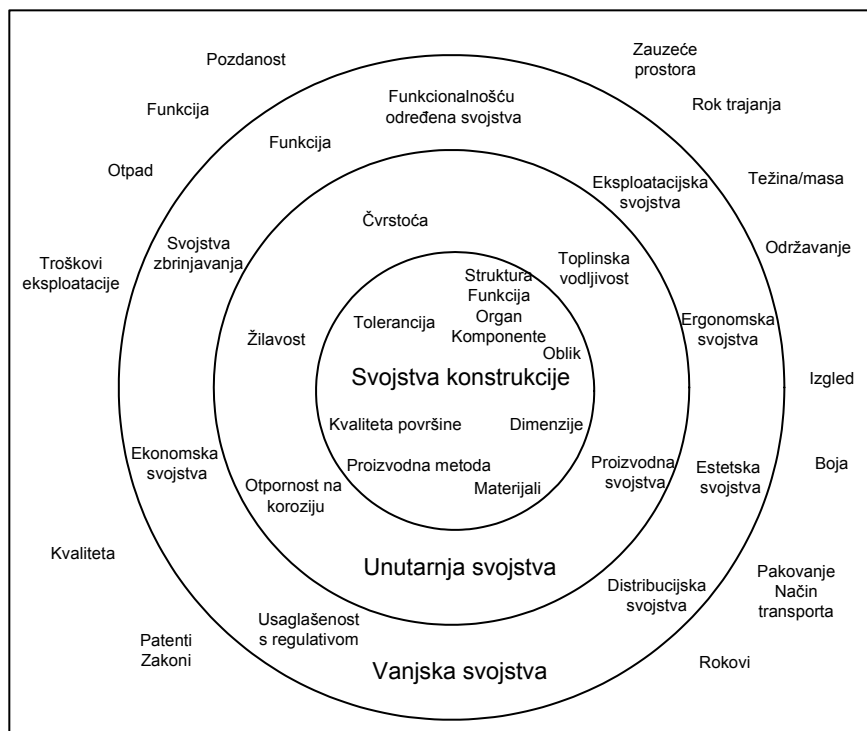
Slika 3.3: Općenit model transformacijskoga sustava [6]

Prema definiciji *Hubke i Edera* [6], tehnički sustav, čovjek i okolina sudionici su potrebni za izvođenje tehničkoga procesa kojim se operandi transformacijskog sustava transformiraju iz početnog stanja u konačno stanje, kako bi se udovoljilo potrebama ljudskoga društva. U toj transformaciji operanda mijenjaju se njihovi atributi. Operandi transformacijskoga sustava jesu materija, energija, podaci ili biološke strukture. Da bi se

tehnički proces proveo, potrebni su efekti (npr. svjetlost, sila, toplina, pomak itd.) koje isporučuju tehnički sustav, čovjek ili aktivna okolina. Tehnički proces može se podijeliti na operacije. Svaka od tih operacija također zahtijeva efekte za svoje izvršenje. Potpunost svih operacija, odnosno uspješno transformiranje operanda od početnoga stanja prema konačnom u svakoj od operacija, određuje svrhu transformacijskoga sustava. Općenita teorija tehničkih sustava relevantna je za ovaj rad zato što objašnjava zašto i kako modelirati tehnički sustav.

3.3.3 Teorija svojstava

Proizvodi se ocjenjuju prema njihovim svojstvima, kao što su troškovi, funkcija, trajanje, robusnost itd. *Hubka* i *Eder* [6] razlikuju dvije vrste svojstava: unutarnja i vanjska [Slika 3.4]. Unutarnja su ona koja može izravno odrediti konstruktor. Kad su određena unutarnja svojstva te je poznat utjecaj okoline, mogu se odrediti i vanjska svojstva proizvoda. Vanjska se svojstva mogu podijeliti na jedanaest klasa: ekonomska, zakonska, estetska, ergonomska, likvidacijska, isporuke i planiranja, distribucije, proizvodnje, eksploatacije, upotrebe i funkcije. Svaki proizvod posjeduje sva svojstva, čak i ako neka od njih nisu svjesno određena u procesu konstruiranja. *Hubka* smatra funkciju svojstvom superiornim svim ostalim vanjskim svojstvima, pa samo ako proizvod posjeduje glavnu funkciju u fazi upotrebe smatra razumnim razmatranje ostalih vanjskih svojstava tijekom konstruiranja.

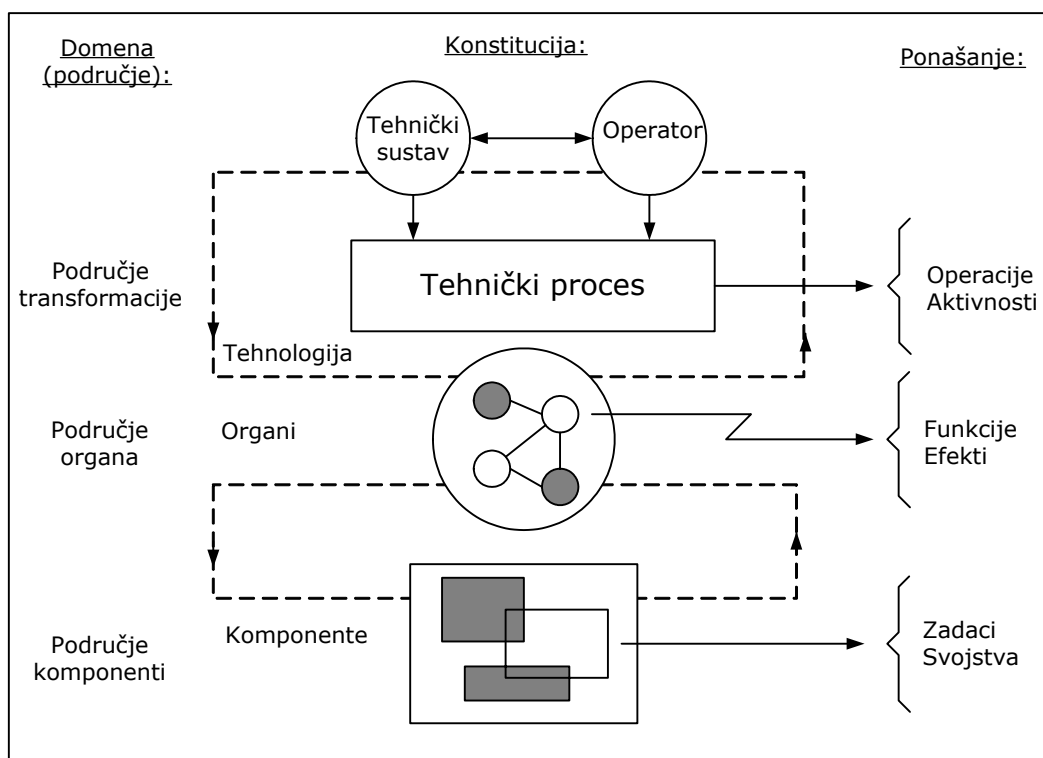


Slika 3.4: Unutarnja i vanjska svojstva [6]

3.3.4 Teorija područja

Na osnovama prethodno opisane općenite teorije tehničkih sustava, u 1980-ima *Andreasen* je predložio teoriju područja (*eng. Theory of domain*) [63], [66]. Osnovna ideja teorije jest objašnjavanje sinteze tehničkoga proizvoda njegovim promatranjem kao

sustava s tri gledišta: kroz područje transformacije, područje organa i područje fizičkih komponenti [Slika 3.5]. Ta tri pogleda prema teoriji područja obuhvaćaju strukturnu i ponašajnu definiciju tehničkoga proizvoda u skladu s teoretskim osnovama. S obzirom na to da je teorija područja u izradbi ove disertacije odabrana kao osnova za pronalaženje i razumijevanja pojmova koji će činiti *rječnik za prikaz i razmjenu znanja o proizvodu*, potpunije će se izložiti značajke svakoga od tri navedena područja.

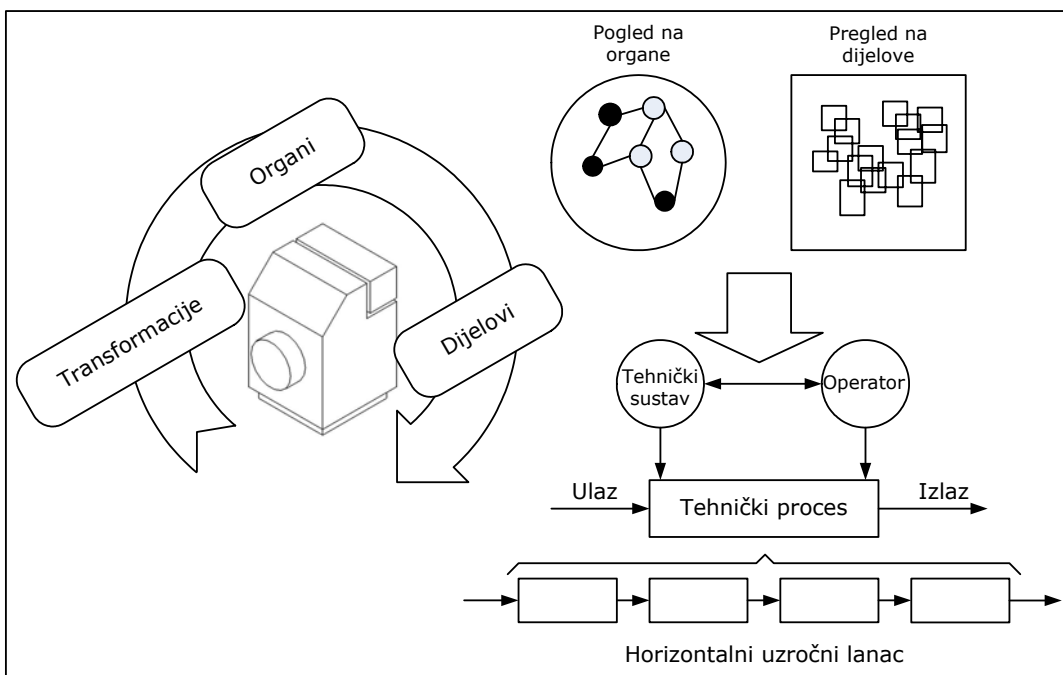


Slika 3.5: Teorija područja [66]

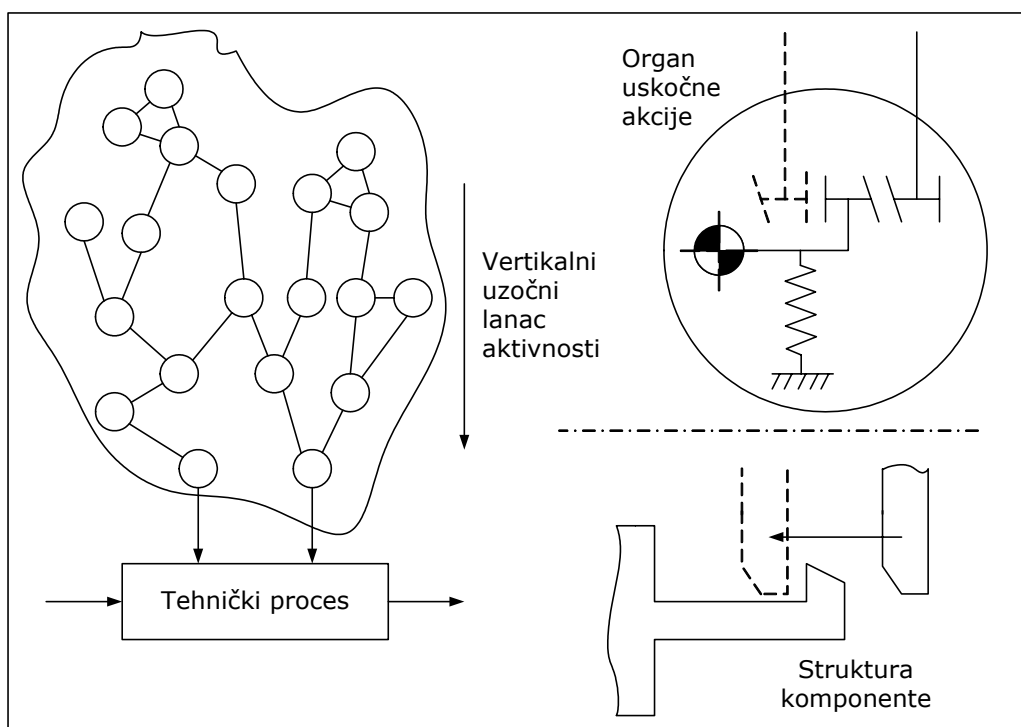
Područje transformacije. Svrha svakoga tehničkoga proizvoda jest podrška *transformaciji*, tj. tehničkom procesu. U međusobnom djelovanju tehničkoga sustava i čovjeka isporučuju se efekti koji su nužni za *transformaciju* operanda. Rezultat *transformacije* jest operand u njegovu krajnjem stanju, ispunjavajući na taj način neku svrhu ili ljudsku potrebu. Svaki pojedini korak u *transformaciji* naziva se operacija i tijekom svake operacije mijenja se jedna ili više karakteristika (svojstava) operanda. Obično treba više operacija ili potprocesa tehničkoga procesa kako bi se operand doveo u traženo stanje (horizontalni uzročni lanac operacija [Slika 3.6]).

Ukupna *strukturna* karakteristika područja *transformacije* naziva se tehnologijom. Izlaz iz *transformacije*, operand u njegovu krajnjem stanju, može se promatrati kao *ponašajni* aspekt transformacijskoga područja. Ostali ponašajni aspekti na području *transformacije* podijeljeni su prema teoriji u sljedeće grupe: troškovi, kvaliteta, vrijeme, efikasnost, fleksibilnost, rizik i utjecaj na okolinu.

Područje organa. U području organa težište je modeliranja na aktivnim elementima tehničkoga sustava, tzv. organima. Način djelovanja organa temelji se na osnovnim fizikalnim i tehničkim načelima. Neki su organi u izravnom fizičkom kontaktu s operandima, dok ostali isporučuju efekte potrebne za izvođenje tehničkoga procesa u lančanoj strukturi aktivnosti (vertikalni uzročni lanac aktivnosti [Slika 3.7]).



Slika 3.6: Horizontalni uzročni lanac operacija



Slika 3.7: Vertikalni uzročni lanac aktivnosti

Organ se, prema teoriji, sastoji od radnih elemenata koji svojim međudjelovanjem stvaraju efekte. Tri su tipa takvih elemenata:

- radne površine – elementi područja organa definirani interakcijom između dviju površina što uzrokuje efekt (npr. zubi zupčanika u zahvatu)
- radni volumeni - elementi područja organa definirani volumenom koji uzrokuje efekt (npr. vratilo koje prenosi rotaciju i moment)

- radna područja - elementi područja organa definirani volumenom koji je okružen materijalnim površinama i uzrokuje efekt (npr. kod linearnih hidrauličkih motora cilindar predstavlja organ koji u interakciji s klipom stvara linearno gibanje).

Prilikom razmatranja područja *organa* treba reći da su polazišta teorije područja takva da postoji *struktura* koja definira međusobne veze *organa* gledajući s aspekta njihove funkcionalnosti. Može se reći da se funkcije tehničkoga sustava u teoriji područja razmatraju kao *ponašanje organa*.

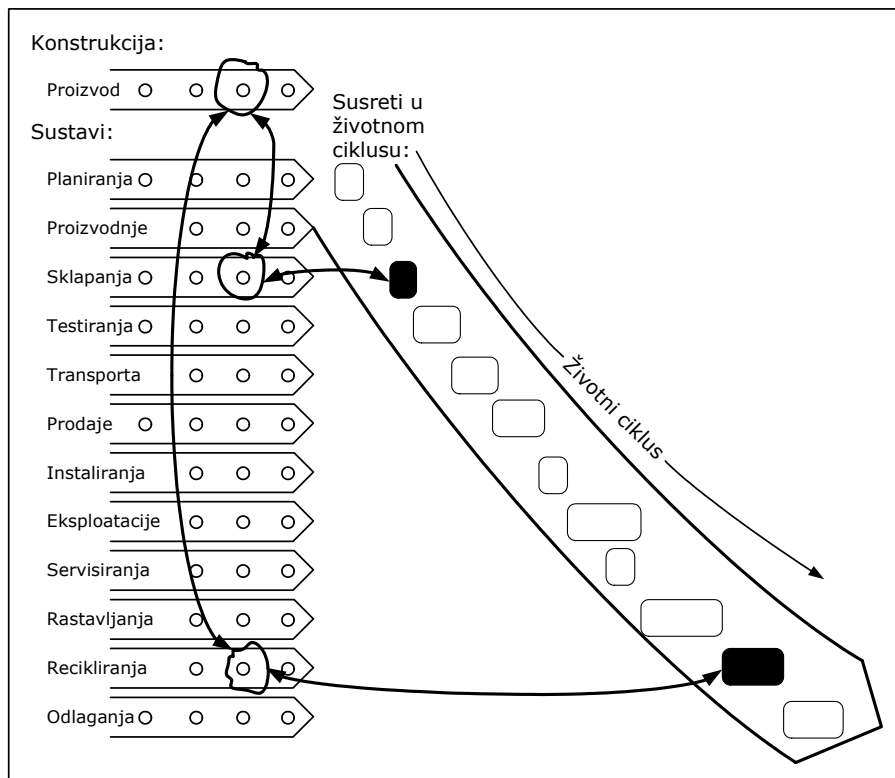
Područje komponenti. Na području *komponenti* žarište je na razmještanju ili distribuciji organa u *komponente* koje se mogu fizički proizvesti i sklopiti, i to tako da svaka od *komponenti* prilikom uporabe rješava svoj zadatak, pridonoseći ukupnoj svrsi tehničkoga proizvoda. Na području *komponenti* radni su elementi s područja organa distribuirani ili alocirani u različitim *komponentama*. Jedan *organ* obično se sastoji od nekoliko *radnih* elementa distribuiranih u više *komponenti*, dok jedna *komponenta* često pridonosi realizaciji više od jednog *organa*. *Strukturalna* karakteristika područja *komponenti* sastoji se od nerastavljivih komponenti i sklopova, a svaku *komponentu* karakterizira oblik, materijal, izmjere, hrapavost površine i tolerancije.

Što je s *ponašanjem* na području *komponenti*? *Mortensen* je [79] u svojem radu definirao *zadatak* kao model ponašanja na području *komponenti*. On razmišlja ovako: rezultat konstrukcijske aktivnosti orijentirane na područje organa idealno se može gledati kao određivanje radnih elemenata. Radni elementi i njihove karakteristike mogu se promatrati kao zadaci pojedinih komponenti, npr. radni element, koji je specificiran kao radna ravna površina, glatka i određene tvrdoće, znači da neka od *komponenti* mora imati takvu fizičku površinu. Prema tome, ponašanje *komponenti* modelira se ispunjenjem *zadataka*. *Mortensenov* je pristup složen u definiranju *zadataka komponenti*, jer se često puta ne može precizno definirati što je zadatak komponenti, no omogućuje da tehnički proizvod ima karakteristike sustava i kad ga promatramo unutar područja *komponenti*.

3.3.5 GDMS (eng. Genetic Design Model System)

Zasnovano na prethodno opisanim teorijama, *Mortensen* u svojem radu [79] daje prijedlog skupa modela koji bi trebali podržati sintezu eksplicitnih prikaza proizvoda – genetički sustav modela konstrukcije GDMS (eng. Genetic Design Model System). Cilj predloženoga pristupa jest pronalaženje načina da se poboljša modeliranje i razmišljanje o ukupnom životnom ciklusu proizvoda [86] [Slika 3.8]. Razlika GDMS-a u odnosu na druge modele koji se mogu naći u literaturi jest mogućnost upravljanja poviješću nastanka konstrukcije proizvoda, logikom konstruiranja, promatranjem rezultata razvojnoga procesa s raznih gledišta, te strukturiranjem prikupljenoga znanja o proizvodu na način koji omogućuje njegovu ponovnu upotrebu. Kao rezultat istraživanja [79] GDMS-a proizašli su modeli vezani uz četiri objekta modeliranja:

- konstrukcija/proizvod
- susreti s drugim sustavima u nekoj od faza životnoga ciklusa
- sustavi koje proizvod susreće u životnom ciklusu
- proizvodni asortiman.



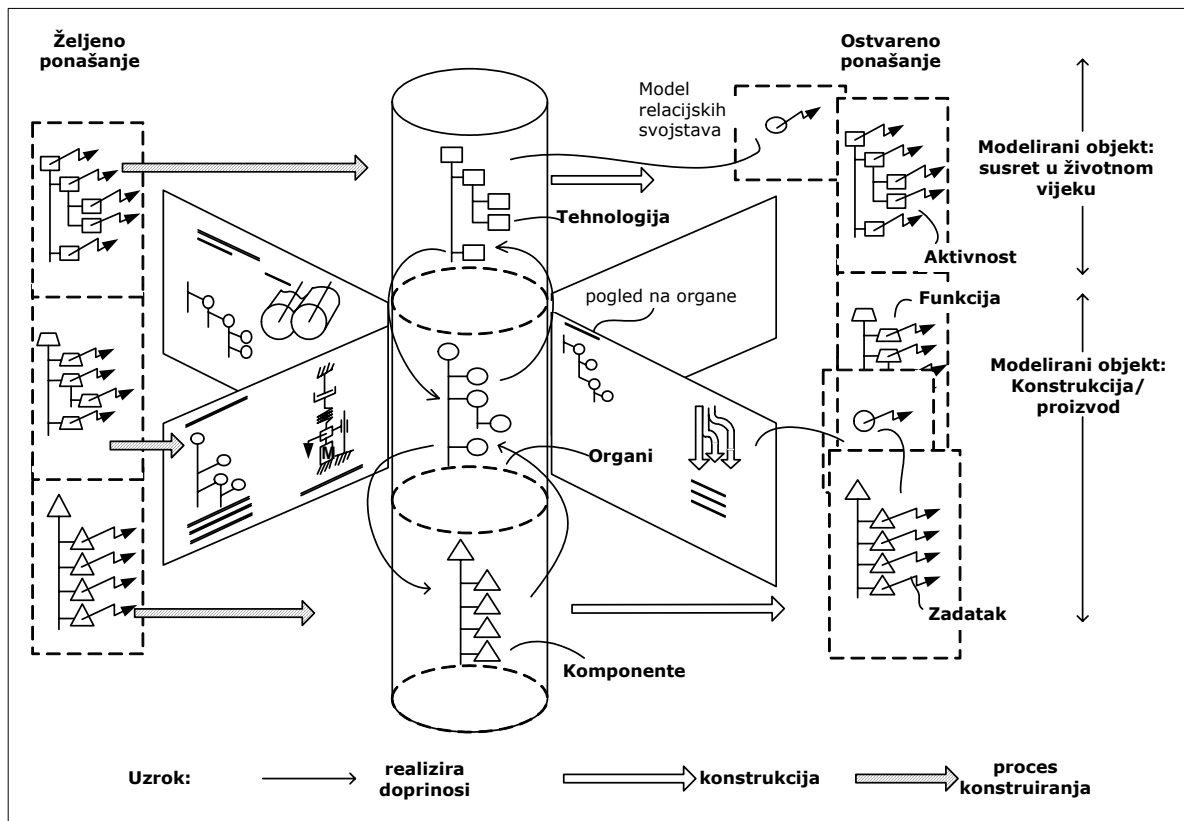
Slika 3.8: Model sustava u životnom ciklusu proizvoda [86]

Značajke modela konstrukcije/proizvoda jesu [Slika 3.9]:

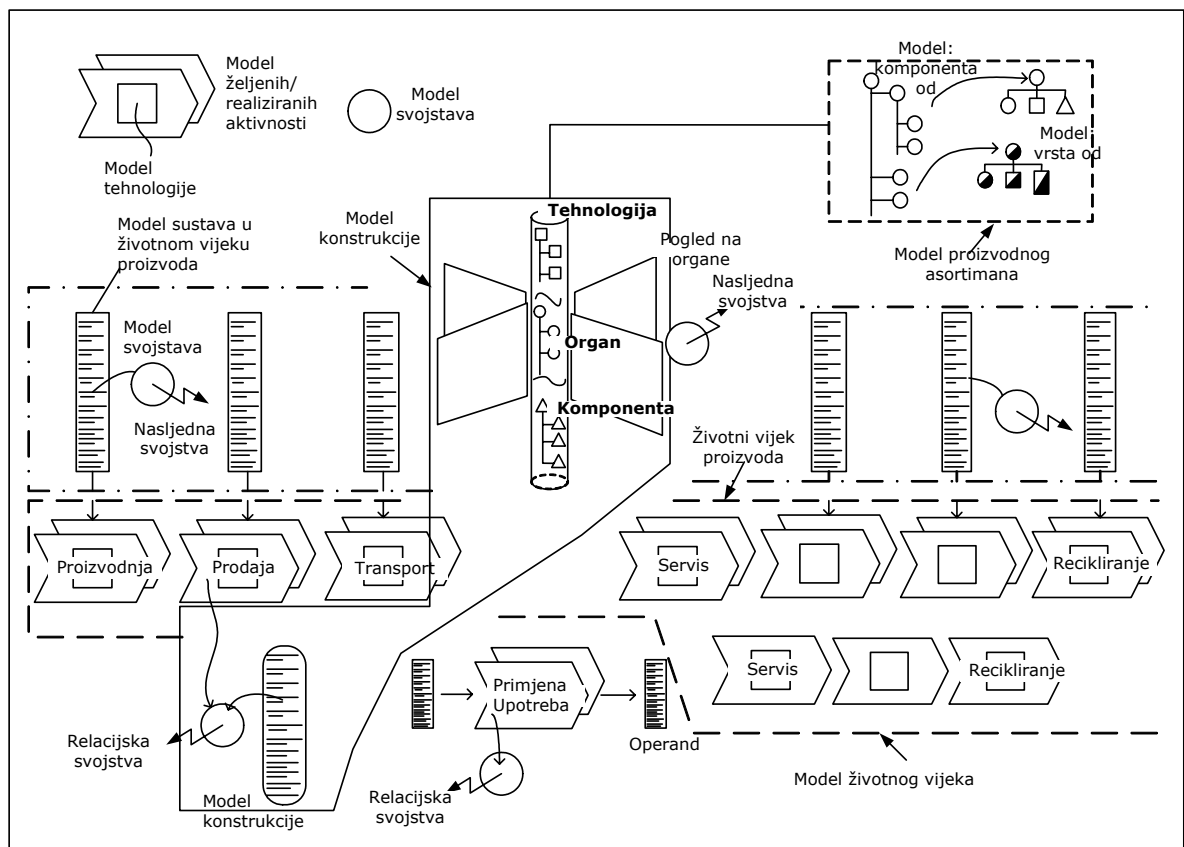
- Radni model organa odgovara realizaciji radnih funkcija. Model organa izgrađen je od radnih elementa i relacija koje definiraju značenje konstrukcijskih karakteristika.
- Model pogleda na organe opisuje konstrukciju/proizvod s gledišta koje odgovara određenom konstrukcijskom svojstvu.
- Model željenih funkcija opisuje namjeravano svrhovito ponašanje organa.
- Model ostvarenih funkcija opisuje realizirano svrhovito ponašanje organa.
- Model nasljednih svojstava opisuje svojstva konstrukcije/tehničkoga proizvoda koja se nasljeđuju npr. od materijala ili tehničkoga postupka izradbe komponenti.
- Model komponenti definira fizičke dijelove proizvoda pomoću konstrukcijskih karakteristika.
- Model željenih zadataka opisuje namjeravano ponašanje komponenti.
- Model ostvarenih zadataka opisuje ostvareno ponašanje komponenti.

Značajke modela susreta [Slika 3.10]:

- Model tehnologije definira susrete u životnom ciklusu proizvoda. Dva su tipa takvih susreta: susret između proizvoda i operanda, aktivne okoline i čovjeka u fazi eksploatacije, te susreti proizvoda s drugim sustavima tijekom ostalih faza njegova životnoga ciklusa.
- Model željenih aktivnosti opisuje namjeravane potprocese u susretu tehničkoga proizvoda i operanda/okoline/čovjeka.



Slika 3.9: Sustav modela u fazi primjene konstrukcije/proizvoda [79]



Slika 3.10: Sustav modela za životni vijek proizvoda [79]

- Model ostvarenih aktivnosti opisuje ostvarene procese u susretu tehničkoga proizvoda i operanda/okoline/čovjeka.
- Model relacijskih svojstava opisuje svojstva susreta u životnom ciklusu, npr. troškove, vrijeme, kvalitetu itd.

Prema autorima prijedloga GDMS-a, on može potpuno obuhvatiti rezultate stvorene tijekom razvojnih projekata, stoga je sveobuhvatniji od ostalih modela proizvoda koji se mogu naći u literaturi [79].

Usporedba s modelima proizvoda u literaturi [Tablica 3.1] pokazuje da je sveobuhvatnost GDMS-a ostvarena povezivanjem konstrukcije, susreta koje proizvod ima s različitim sustavima u svojem životnom ciklusu i sustava koji postupno ostvaruju životni ciklus proizvoda (proizvodnja, montaža, prodaja, servis). To je i glavni razlog zbog kojeg je GDMS odabran kao osnova za definiranje i ekstrakciju elemenata rječnika za prikaz i razmjenu znanja o proizvodu [poglavlje 5.4].

Tablica 3.1: Veza GDMS-a i ostalih postojećih modela proizvoda [79]

Značajke GDMS-a [Mortensen]	Drugi autori:	Krause	Blessing	Anderl...	Salmimen...	Tomiyama	Gielingh	Roseman...	STEP	Meerkamm	Erens...
Objekt modeliranja: Susreti											
Model tehnologije		●									
Model transformacija		●			●			●			●
Model relacijskih svojstava		●			●			●		●	
Model životnog ciklusa		●								●	
Objekt modeliranja: Konstrukcija											
Radni model organa			●	●	●	●	●	●	●	●	●
Model pogleda na organe					●	●			●	●	
Model funkcija		●	●	●	●	●	●	●		●	
Model nasljednih svojstava		●	●		●			●			
Model komponenti		●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Model zadataka											
Model pogleda na konstrukciju						●			●		
Objekt modeliranja: Sustavi u životnom vijeku											
Model sustava u životnom vijeku		●		●	●						
Model nasljednih svojstava		●		●	●						
Objekt modeliranja: Asortiman proizvoda											
Model glavnoga plana familije proizvoda											●

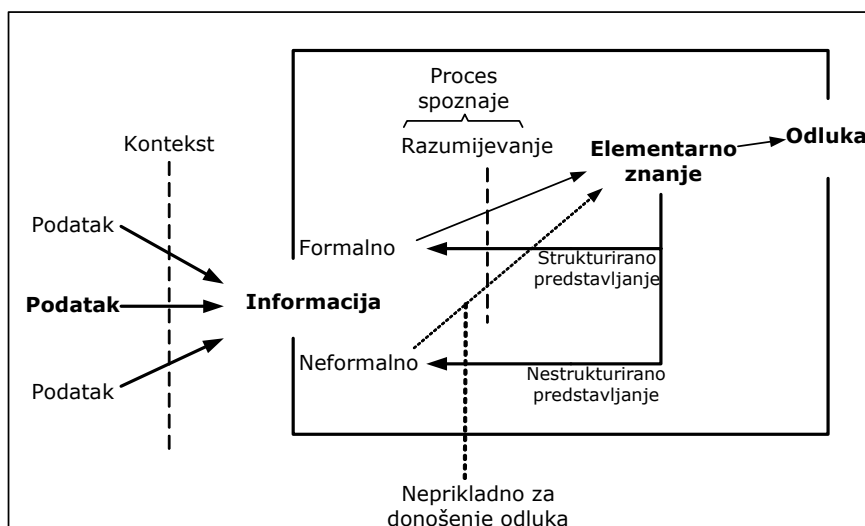
3.4 Teoretske osnove modeliranja podataka, informacija i znanja

Razvoj proizvoda može se, među ostalim, promatrati kao informacijski proces ili proces transformacije informacija [22]. U raznim fazama razvoja proizvoda stvaraju se razne informacije, a proces transformacije informacija jest rezultat procesa odlučivanja koji se zasniva na inženjerskom znanju. Za prelazak razvojnoga projekta iz jedne faze u drugu

potrebne su informacije o trenutnom stanju te informacije o mogućim rješenjima ili procedurama potrebnima za prelazak u iduću fazu. Zasnovan na informacijama i znanju, glavni pokretački aspekt razvoja proizvoda jest kreativnosti. Za definiranje kreativnosti, prema [75], predlažu se dva koncepta: adaptacija i inventivnost. Adaptivna kreativnost uključuje promjenu i proširenje postojećega znanja s obzirom na novu situaciju, dok je inventivna kreativnost potpuno originalna i može uključiti radikalno nova načela ili metode, kako bi se ostvarili novi ili postojeći zahtjevi. Znanje i informacije stoje u pozadini svih odluka u razvoju proizvoda. Da bi se informacije i znanje najbolje iskoristili, nužno je imati djelotvorne metode za njihovu identifikaciju, prikupljanje, spremanje, pronalaženje i ponovnu upotrebu, što je i osnovni cilj većine istraživanja na ovom području.

3.4.1 Podaci, informacije i znanje

Istraživači definiraju podatke, informacije i znanje na različite načine: *Wilson* [87], *Benyon* [88], *Devine i Kozlowski* [89], *Tomiyama* [90]. Analizom različitih pristupa može se zaključiti da se informacije sastoje od podataka i njihovih opisa. Znanje se definira kao sposobnost pojedinca da razumije informacije, opiše načine upravljanja informacijama te ih smisleno primjenjuje u novoj situaciji [91]. Različite i brojne definicije u kombinaciji s činjenicom da se podaci, informacije i znanje često razmatraju kao sinonimi, otežavaju definiranje točnih zahtjeva za njihovo identificiranje, prikupljanje, spremanje i ponovnu upotrebu. Da bi se pri tim postupcima osigurala učinkovitost, treba imati strože definicije tih triju pojmova. U sljedećih nekoliko ulomaka klasificirati će se i definirati svaki od tih pojmova te opisati njihove međusobne relacije u kontekstu razvoja proizvoda [92], a što je ilustrirano na slici [Slika 3.11].



Slika 3.11: Veza podataka, informacija i znanja u inženjerskom procesu

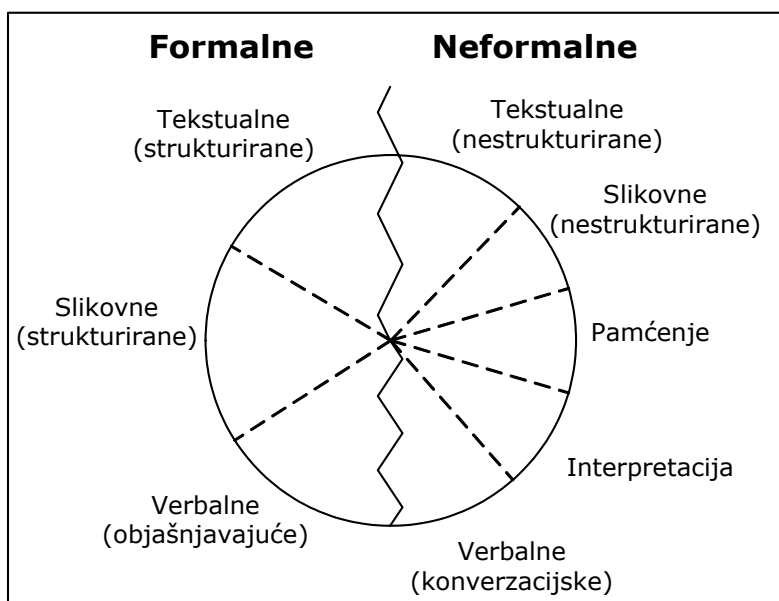
Podaci

Podaci se obično razmatraju kao činjenice, bilo numeričke ili tekstualne (<http://dictionary.cambridge.org>, 2001). Neki autori razlikuju strukturirane i nestrukturirane podatke, no pri takvu razlikovanju može se postaviti pitanje nije li svaki prikaz podataka strukturiran (npr. podaci prikazani u datotekama računalnoga sustava i oni na običnom papiru indirektno su strukturirani)? U ovom će se radu smatrati da su

podaci strukturirane činjenice koje prikazuju kvalitativnu ili kvantitativnu vrijednost. Tijekom razvoja proizvoda podaci su predmet otkrivanja, istraživanja, prikupljanja i kreiranja.

Informacije

Mnogi autori dali su razne definicije informacija, stavljajući ih najčešće u odnos prema podacima. U skladu s takvim pristupom, informacija opisuje činjenice (podatke). Činjenica (podatak) u tom kontekstu može biti istinita ili ne, može biti objektivna ili subjektivna. Da bi se opisala činjenica, informacija mora određenoj vrijednosti pridružiti značenje. Ova dva aspekta informacije mogu se opisati kao *subjekt informacije* (ono što opisuje) i *predikat informacije* (vrijednost onoga što se opisuje). Primjer informacije jest npr. masa nekoga strojnog dijela, datum isporuke proizvoda, boja neke površine itd. Informacija se razmatra kao logička suma podatka te jednog ili više opisa konteksta, gdje taj kontekst razjašnjava stvarno značenje podatka. Informacije se u literaturi obično razmatraju podijeljene na formalne i neformalne [93], [94], [95], [96]. Razlika između formalnih i neformalnih informacija opisana je različitim kategorijama vezanima uz strukturu i prikaz informacija koje su uglavnom proizašle iz istraživanja razmjene informacija u inženjerskom procesu [92], [Slika 3.12].



Slika 3.12: Klase formalnih i neformalnih informacija [92]

Formalne informacije pružaju točno određen kontekst i vrijednost. One imaju poznatu strukturu, tako da pojedinci koji imaju uvid u njih mogu na temelju njih donijeti iste zaključke.

Za potrebe komunikacije u inženjerskom procesu, formalne informacije mogu se podijeliti u tri kategorije:

- Tekstualne (strukturirane) - mogu biti alfanumeričke ili simboličke te njihova kombinacija. Medij koji ih prikazuje može biti papirnat, elektronički ili bilo koji drugi koji može vizualno prikazati informaciju. Ovaj prikaz informacija izražen je općenito prihvaćenim jezikom ili simbolima i logično je strukturiran s obzirom na subjekt i predikat informacije.

- Slikovne (strukturirane) – to su vizualne slike koje odgovaraju nekom prihvaćenom standardu. Mogu biti grafovi, 2D i 3D inženjerski crteži, dijagrami toka itd. Slikovni elementi neovisni su o mediju koji ih prikazuje.
- Verbalne (objašnjavajuće) – to su informacije koje se razmatraju u logički strukturiranom smislu. Njihov sadržaj daje detaljne informacijske elemente, s jasno definiranim subjektima i predikatima informacija. Tipično se rabe za opise ili objašnjenja između članova razvojnoga tima.

Neformalne se informacije u literaturi razmatraju kao informacije koje nemaju formalno definiranu strukturu. Većina njih osobne je prirode, tj. informacije koje su nastale kao rezultat interakcije između dvaju ili više pojedinaca. Subjekt i predikat tih informacija nisu jasno definirani, pa se one mijenjaju dinamički neprestanim dodavanjem ili brisanjem sadržaja. Neformalne informacije omogućuju generiranje raznog znanja na temelju istih činjenica te stimulativno doprinose kreativnom procesu i procesu donošenja odluka. Neformalne informacije mogu se svrstati u slijedeće kategorije:

- Tekstualne (nestrukturirane) – najčešće su izražene kao osobne bilješke. Ne slijede nikakvu logičku progresiju, sadrže nepotpun skup informacija i neke reference ili pokazivače koji su razumljivi samo autoru. Kontekst i tema tih informacija nisu jasno definirani, pa su razumljive samo autoru prilikom kreiranja.
- Slikovne (nestrukturirane) - slične su tekstualnim nestrukturiranim informacijama, jer nemaju logičku progresiju, ne sadrže potpun skup informacija i nisu u skladu s prihvaćenim metodama i standardima prikaza. U inženjerskoj praksi to su najčešće razne skice, dijagrami itd.
- Verbalne (konverzijske) – pojavljuju se u dinamičkom procesu, gdje diskusija uključuje subjekte i predikate informacija koji nisu jasno definirani, pa se tema mijenja tijekom konverzacije. Verbalne informacije dodaju se, brišu, mijenjaju kako diskusija napreduje, ali često tako da se ne podrazumijeva subjekt informacija.
- Memorijske informacije - razmatraju se kao osobne informacije. Generiraju se kao rezultat nekoga prošlog iskustva - bilo formalnog ili neformalnog. Sadržaj i relevantnost tih informacija mogu biti nejasni ili loše definirani nakon stimulacije vanjskog izvora ili situacije.
- Doživljajne informacije - uključuju jednako fizičke doživljaje ili intonaciju u glasu. Oba načina iniciraju predikat o određenom subjektu. Takve informacije mogu inicirati potvrdu, nezainteresiranost ili odbojnost, što su važni čimbenici u donošenju odluka. Te informacije mogu biti rezultat osobnoga znanja ili informacija, iako se ne mogu formalno potpuno kvantificirati.

Znanje

Sa svakim novim iskustvom ljudi prikupljaju znanje, koje se očituje u razumijevanju proživljenog iskustva. Znanje u razvoju proizvoda razmjenjuje se interakcijom između sudionika procesa. Te su interakcije uzrok da je značenje informacija, tj. stečeno znanje, često naučeno od ostalih sudionika u razvojnom procesu, pa se kao takvo dalje primjenjuje. Razni su tipovi iskustava koji odgovaraju različitim tipovima generiranoga znanja. Neka su znanja osobna, jer znače nešto samo osobi koja je prošla određeno

iskustvo. Lokalno je znanje ono što ga dijeli grupa ljudi koja je prošla zajedno kroz neko iskustvo. Globalno je znanje općenito, ograničeno i zasnovano na procesima dogovora i razumijevanja unutar globalne zajednice.

Znanje ima dva aspekta koja su zanimljiva istraživačima [92]:

- Elementi znanja – predstavljaju eksplicitno definirane informacije koje nastaju zaključivanjem na temelju postojećih informacija (formalnih i neformalnih). Zbog prirode neformalnih informacija i osobnih razlika između pojedinaca koji zaključuju, elementi znanja koji su nastali na temelju takvih informacija mogu biti različiti, pa i pogrešni. U ovom radu elementi znanja smatraju se istinitima ako točno predstavljaju subjekte i predikate informacije iz kojih su zaključeni te ako u njihovu zapisu nema sintaktičkih pogrešaka. Važno je naglasiti da se ispravnost elementa znanja ne može jamčiti ako se neformalne informacije rabe kao osnova za zaključivanje. Da bi se postigla prihvatljiva razina povjerenja u zaključene elemente znanja, zaključivanje se mora temeljiti na jasno definiranim činjenicama (formalnim informacijama).
- Proces zaključivanja – predstavlja proceduru kojom se pojedinci služe da bi generirali nove elemente znanja na temelju informacija, drugih elemenata znanja ili kombinacijom tih izvora. Procesi zaključivanja su osobni, što, naravno, komplicira sposobnost njihove formalizacije. Osnova procesa zaključivanja leži u pretpostavci da su elementi znanja osnova za donošenje odluka. Proces zaključivanja ovisi o faktorima kao što su okolina, uloga osobe koja zaključuje u organizaciji, širina znanja pojedine osobe te njezini dugoročni i kratkoročni ciljevi. Ako se proces zaključivanja može formalizirati, tada se on uvijek može rekonstruirati i ponovo prikazati.

3.4.2 Prikupljanje i spremanje podataka, informacija i znanja

U inženjerskoj praksi uobičajen je pristup da se podaci prikupljaju kao podskup informacija, pri čemu se kontekst ili opis primjenjuje kolektivno na cijelu grupu podataka, kao što je npr. opis polja u bazi podataka. Današnja praksa prikupljanja podataka rezultira ili uzrokuje njihov prikaz u elektronskom obliku, kako bi se mogli pohranjivati u računalima. Interpretacija podataka raznim softverskim rješenjima omogućuje prikaz podataka i informacija u obliku teksta, slika, videozapisa i zvukova. Konvertiranje formalnih informacija u elektronski oblik podržan je raznim standardnim ulazno/izlaznim uređajima, kao što su tipkovnice, skeneri, kamere, monitori, pisači itd.

Suvremena softverska okolina pruža razne načine strukturiranja podataka koji nužno repliciraju relacije, mreže ili hijerarhije između elementa znanja, što omogućuje njihovo jednostavnije mijenjanje, pretraživanje i dohvaćanje. I neformalne informacije mogu biti spremljene u elektronskom formatu, međutim to nije jednostavan proces zbog nedostatka jasno definiranoga subjekta i predikata tih informacija. Cilj formalizacije neformalnih informacija jest pokušaj razjašnjavanja osnovnih informacijskih elemenata koje one sadrže. Rješavanje toga problema obično je dugotrajan i skup proces, a posljedice često ne opravdavaju uložena sredstva i vrijeme. S elementima znanja obično se postupa kao i s informacijama. Što se procesa zaključivanja tiče, oni mogu biti

formalizirani, ako postoji jasna definicija svrhe tih procesa. Oblici prikaza mogu biti u obliku opisa:

- procesa koji dokumentiraju postupak zaključivanja
- procesa koji omogućuju mehanizme za automatsko generiranje pojedinog elementa znanja.

Kao zaključak, možemo reći da se podaci, informacije i neki dijelovi znanja mogu prikupljati i spremati. No svrha ili namjera upotrebe prikupljenih informacija i znanja zamjetno utječe na potrebnu kvalitetu i kvantitetu prikupljenih izvora znanja, nužnih da bi se dobile potpuno uporabljive informacije. Proces upravljanja znanjem u inženjerskom procesu prikazan je u tablici [Tablica 3.2].

3.4.3 Ponovna upotreba podataka, informacija i znanja

Kad je riječ o inženjerstvu, pojam ponovne upotrebe može se vezati uz ponavljanje upotrebe iste informacije za isti ili sličan zadatak te buduću upotrebu ili proširenje informacije u drukčiju svrhu. Istraživanja su pokazala da se ponovna upotreba informacija i znanja u razvoju proizvoda rabi uglavnom za ocjenjivanje mjerljivih količina, kvalitete ili izvedbi [97], zatim distribuciju inženjerskih podataka između različitih računalnih sustava [98], ocjenjivanje procesa razvoja proizvoda [99] te donošenje inženjerskih odluka [92].

Ponovna upotreba znanja u razvoju proizvoda obično ima za cilj da se iskustvo individualnoga ili organizacijskoga znanja iz prethodnih razvojnih aktivnosti učini dostupnim u budućim razvojnim aktivnostima. Velik dio toga znanja povezan je s procesima donošenja odluka, koji uključuju odabir mogućnosti, upotrebu novih tehnologija, dobavljače ili specifikaciju komponenti proizvoda na bilo kojoj razini apstrakcije. Ponovna upotreba znanja tipično uključuje njegovu primjenu u novim situacijama.

Ponovna upotreba informacija i znanja u razvoju proizvoda uvijek zahtijeva intervenciju korisnika te njegovu intuiciju, i to ne samo za kreativni aspekt procesa ponovne upotrebe, nego i za primjenu goleme količine pohranjenoga znanja. Nadalje, tu uvijek postoji problem nekompletnih informacija koje se moraju interpretirati. Računalni sustavi koji u tome pomažu, ne mogu za sada još zaključivati dvosmjerno, kao što to radi ljudski mozak, koji stalno vrši kontinuiranu konverziju znanja u informacije i informacija u znanje. Da bi se učinkovito podržala upotreba informacija i znanja, valja pronaći najbolje načine implementiranja elektronskih repozitorija i osobnih izvora informacija i znanja.

3.5 Implikacije na rad

Ovim su poglavljem određene teoretske osnove istraživanja. Opisani su suvremeni znanstveni pristupi modeliranju razvoja proizvoda i samoga proizvoda kao njegova rezultata. Posebna se pozornost posvetila osnovnim postulatima teorije tehničkih sustava i teorije područja kao osnova iz kojih je proizašao GDMS (*eng. Genetic Design Model System*), skup neformalnih informacijskih modela za podršku sintezi eksplicitnih prikaza proizvoda.

Tablica 3.2: Prikupljanje, spremanje i ponovna upotreba podataka, informacija i znanja u inženjerskom procesu [92]

	Primjena	Opseg	Obradba	Prihvat	Pohrana
Formalna informacija					
Tekstualna (strukturirana)	Opisivanje Donošenje odluka Izmjera kvalitete ili kvantitete Distribucija	Traži jasno definiran subjekt i predikat za svaki element znanja	→	Standardni ulazno/izlazni uređaji:	Standardne baze podataka Mark-up jezici
Slikovna (strukturirana)					
Verbalna (opisna)					
Neformalna informacija					
Pamćenje	Opisivanje Donošenje odluka Izmjera kvalitete ili kvantitete	Traži kompletne bilješke o neformalnim informacijama i srodnim informacijskim elementima za pravilan prihvat prave namjere i konteksta	→	Formalizacija subjekta i predikata Omogućavanje dodatnih formalnih informacija radi razjašnjavanja neformalnih elemenata	Standardni ulazno/izlazni uređaji: miš tipkovnica mikrofon skener kamera tablet
Tekstualna (nestrukturirana)					
Slikovna (nestrukturirana)					
Verbalna (konverzijska)					
Izražajna					
Razina znanja (procesi i elementi)					
Općenit princip	Nepoznate situacije Samousmjerene Usmjerene izvane	Zahtijeva ogromno meta-znanje za sve situacije i domene Vanjski izvor meta-znanja za sve domene	→	Elementi znanja moraju biti formalizirani zbog pouzdanosti donošenja odluka Neformalno znanje može se rabiti za opis ili mjerilo, premda je moguća potreba za obrnutom propagacijom	Standardni ulazno/izlazni uređaji: miš tipkovnica mikrofon skener kamera tablet
Općenito znanje	Nepoznate situacije Samousmjerene Usmjerene izvane	Zahtijeva široko meta-znanje za sve situacije i domene Vanjski izvor meta-znanja za određenu domenu			
Specifično znanje	Poznate situacije Samousmjerene Usmjerene izvane	Zahtijeva ograničeno meta-znanje o specifičnim situacijama i domenama Vanjsko meta-znanje za sve domene			
Usko profilirano znanje	Specifične situacije Samousmjerene Usmjerene izvane	Ne zahtijeva meta-znanje o primjeni, premda je poželjno znanje o ograničenjima Ograničena uporaba vanjskoga znanja			

Na temelju usporedbe s ostalim modelima dostupnim u literaturi, ovaj je sustav izabran kao osnova za ekstrahiranje i formalno definiranje pojmova, definicija i veza potrebnih za kreiranje rječnika za opisivanje i razmjenu znanja o proizvodu. Konstrukcija/proizvod, susreti u životnom ciklusu i sustavi koje proizvod susreće tijekom svojega životnog ciklusa specijalizirani su kao početne točke oko kojih će se definirati elementi rječnika. U poglavlju su se pokušali razlučiti I pojmovi podataka, informacija i znanja, gledani iz perspektive razvoja proizvoda. Analizirana je problematika formalnih i neformalnih nositelja informacija te praksa prikupljanja, spremanja i ponovne upotrebe podataka, informacija i znanja u inženjerskom procesu. Ova je analiza bila potrebna da bi se jasno ograničio predmet istraživanja, a sve zato da se u svrhu identificiraju izvori znanja, za formaliziranje kojega se rječnik namjerava upotrijebiti. Prethodno opisane spoznaje usmjerile su istraživanje prikazano u disertaciji ka proučavanju načina i metoda formalizacije znanja, a što je prikazano u idućem poglavlju.

ONTOLOŠKE OSNOVE ISTRAŽIVANJA

U četvrtom su poglavlju ukratko prikazane najvažnije metode prikaza znanja, s posebnim osvrtom na pristup formalizaciji znanja zasnovanom na ontologiji. Prikazane su metodologije razvoja ontologija te formalni jezici za prikaz i implementaciju ontologija. U drugom dijelu poglavlja definiran je formalni model za opisivanje ontologije razvoja proizvoda, gdje su upotrebom logike prvoga reda definirane logičke osnove rječnika za prikaz i razmjenu znanja o proizvodu te izvora koji sadrže to znanje.

4.1 Metode prikaza znanja

Metode prikaza znanja čine logičku osnovu za definiranje rječnika za prikaz i razmjenu znanja o proizvodu. Istraživanja na području prikaza znanja i zaključivanja usmjerena su k razvoju metoda koje omogućuju opis svijeta oko nas na visokoj razini apstrakcije, pa se kao takve mogu iskoristiti kao osnova za razvoj "inteligentnih" računalnih aplikacija. U ovom kontekstu "inteligentno" se odnosi na sposobnost računalnih sustava da pronađu implicitne posljedice eksplicitno prikazanoga znanja [100], [97]. Takvi se sustavi zbog toga nazivaju i sustavima zasnovanim na znanju (*eng. Knowledge-based systems*). Istraživački pristupi prikazu znanja mogu se podijeliti u dvije kategorije:

- Metode zasnovane na matematičkoj logici. Metode ove kategorije obično predstavljaju varijantu *logike prvoga reda*, te na njoj temeljenoga zaključivanja o logičkim posljedicama. Metode su nastale na temelju istraživačke intuicije da se predikatni izrazi mogu iskoristiti za jednoznačno opisivanje pojava iz svijeta oko nas, pa su namijenjene za opću primjenu.
- Metode koje nisu zasnovane na matematičkoj logici. Metode u ovoj kategoriji uključuju spoznajne komponente kao što su prikazi zasnovani na pravilima proizašlim iz ljudskoga razmišljanja ili iskustva proizašla iz izvođenja zadataka kao

što je npr. matematičko rješavanje problema slaganja slagalica (*eng. puzzle*). Iako su takvi pristupi razvijeni za specifične primjene, rezultirajuće metode mogu se primijeniti općenito. Znanje se ovim metodama prikazuje kao značenje struktura podataka, a zaključivanje je ostvareno procedurama koje manipuliraju tim strukturama. Najpoznatiji primjeri ove grupe jesu semantičke mreže i okvirni sustavi (*eng. Frame Systems*).

Metode prikaza znanja razlikuju se u načinu na koji se znanje prikuplja, širini opisa koji prikaz omogućuje te tipovima sučelja koje prikaz podržava. U nastavku ovoga poglavlja dat će se kratak pregled pristupa iz obje navedene kategorije.

4.1.1 Pregled postojećih pristupa

Logika prvoga reda

Logika prvoga reda (*eng. First-Order Logic ili FOL*), poznata i pod imenom predikatna logika, osnovni je formalizam koji se rabi za zaključivanje [101], [102] na temelju poznatih činjenica. Bez obzira na različite ciljeve istraživačkih grupa koje proučavaju matematičku logiku i prikaze znanja, FOL je moćan jezik za prikaz znanja. Iz perspektive logike prvoga reda, svijet oko nas sastoji se od objekata i relacija između njih. Jezik logike se sastoji od logičkih i nelogičkih simbola. Logički su simboli kvantifikacija, implikacija, konjunkcija i disjunkcija, a nelogički konstante, predikati, funkcije i varijable. Konstante, varijable i funkcije upotrebljavaju se za objašnjavanje pojmova s područja koje se opisuje, pa se mogu kombinirati s predikatima da bi se dobili izrazi. Semantika logike prvoga reda zasniva se na *Tarskijevom* teoretskom modelu [103], [104]. Logika sadrži i procedure zaključivanja, koje su zapravo algoritmi sposobni obraditi logičke tvrdnje pohranjene u bazi znanja. Procedure zaključivanja koje su dio logike generiraju samo ograničene zaključke, pa ne mogu pronaći dokaz istinitosti za svaku pohranjenu tvrdnju. Ovo čini logiku prvoga reda lošim izborom kad je riječ o zaključivanju u velikim bazama znanja. Logika prvoga reda vrlo je ekspresivna i može se rabiti za opisivanje drugih formalizama za prikaz znanja, kao što su npr. semantičke mreže, okvirni sustavi ili ontologije, pa će se tako rabiti u ovoj disertaciji [poglavlje 4.3].

Semantičke mreže, konceptualni grafovi i okvirni sustavi

Semantičke mreže (*eng. Semantic Networks ili SN*) najstariji su formalizmi koji se rabe za prikaz znanja [105]. Njihovi počeci sežu u 60. godine 20. stoljeća. U semantičkim mrežama, svaki je pojam predstavljen zasebnim čvorom u grafu. Pojmovi koji su semantički vezani predstavljeni su čvorovima međusobno povezanim lukovima, koji mogu ili ne moraju imati naziv. U ovakvu prikazu, značenje je implicirano na način kojim su pojmovi vezani s ostalim pojmovima. Za povezivanje pojmova rabe se najčešće dvije vrste lukova. Prvi od njih predstavlja *is-a* luk, koji indicira da je jedan pojam potklasa drugoga pojma, dok je drugi *instance-of*, koji indicira da je pojam instanca drugoga pojma. Skup tih lukova definira poredak klasa, taksonomiju ili - kako se još naziva - kategorizaciju hijerarhije [poglavlje 2.2]. Formalizmi ove grupe iskorišteni su za definiranje taksonomije rječnika za prikaz i razmjenu znanja o proizvodu [poglavlje 5.5].

Na temeljima semantičkih mreža razvijeni su konceptualni grafovi (*eng. Conceptual Graphs ili CG*) [106], koji se zasnivaju na direktnom preslikavanju u prirodne jezike/iz

prirodnih jezika i grafičke notacije kreirane da bi bila razumljiva ljudima. Grafovi imaju svu ekspresivnost logike, ali su naizgled intuitivni i razumljiviji. Mnoge popularne grafičke notacije i strukture vuku korijene iz konceptualnih grafova, počevši od hijerarhija do *Entity-Relationship* i *State-Transition* grafova. Konceptualni grafovi grafički su ekvivalenti logici prvoga reda, te mogu modelirati uloge, procese, događaje, procedure, stanja, situacije i kontekst.

U 1970-ima *Minsky* je predstavio okvirne sustave (*eng. Frame Systems ili FS*) [107]. U terminologiji tih sustava okvir je imenovani podatkovni objekt koji ima skup sučelja, a svako sučelje predstavlja svojstvo ili atribut objekta. Sučelje može sadržavati jednu vrijednost ili više vrijednosti, a neke od njih mogu biti pokazivači na druge okvire. S obzirom na to da svaki okvir ima skup sučelja koja predstavljaju njegova svojstva, ovi se sustavi općenito smatraju strukturiranim od semantičkih mreža.

Iako postoji zamjetna razlika između ova tri pristupa, oni su motivirani spoznajnom intuicijom, pa tako imaju zajedničku osnovu. S obzirom na njihovu spoznajno orijentiranu osnovu, ovi se pristupi često smatraju učinkovitijima s praktičnoga gledišta nego formalizmi zasnovani na logici. Međutim, ono što im nedostaje jest precizna semantička karakterizacija. Posljedica toga jest da se u konačnici svaki sustav [63] zasnovan na ovoj grupi formalizama ponaša drukčije od ostalih. To je potaknulo pitanje kako dodati preciznu semantiku u strukturne prikaze zasnovane na intuiciji, kako bi se omogućio lakši prikaz znanja i efikasnije zaključivanje.

Deskriptivna logika

Važan korak u davanju odgovora na pitanje postavljeno u prethodnom ulomku bilo je uočavanje da se okvirnim sustavima može dodati semantika koja se zasniva na logici prvoga reda [108]. Osnovni elementi takva proširenja bili su okarakterizirani kao unarni predikati koji predstavljaju skup individua te binarni predikati koji predstavljaju veze između individua. Međutim, takva karakterizacija nije sadržavala ograničenja koja su po definiciji uključena u semantičke mreže i okvirne sustave. S obzirom na to da je spoznajna logika uključena kao osnova u specificiranju značenja u semantičkim mrežama i okvirnim sustavima, zaključeno je da oni ne trebaju svu funkcionalnost logike prvoga reda [109]. Najvažnija posljedica te činjenice jest da se prepoznalo kako tipični oblici zaključivanja, upotrijebljeni u prikazima zasnovanim na strukturi podataka, mogu biti ispunjeni bez nužnih dokaza ispravnosti teoremima logike prvoga reda.

Prethodno navedeni zaključci udarili su temelje istraživanjima deskriptivne logike (*eng. Description Logic ili DL*) [63], [110], [111], koji su se usredotočili na potpuno definiranje pojmova, i to tako da oni pruže precizniju semantiku nego semantičke mreže i okvirni sustavi. Rezultati istraživanja na ovom području pokazali su se vrlo uspješnim, pa danas imamo cijelu paletu implementiranih sustava baziranih na deskriptivnoj logici u raznim domenama ljudskoga djelovanja (procesiranje prirodnih jezika, konfiguracija tehničkih proizvoda, baze podataka itd.). Karakteristična značajka deskriptivne logike jest njezina sposobnost da prikaže brojne vrste relacija koje postoje između pojmova, osim osnovnih sadržanih u pristupima iz kojih je nastala.

Deskriptivna se logika razvila, dakle, s ciljem pružanja formalnoga, deklarativnoga značenja semantičkim mrežama i okvirnim sustavima, da bi se pokazalo kako takve strukture mogu biti opremljene djelotvornim mehanizmima za zaključivanje. Međutim,

ideja koja se nalazi u pozadini relacije objekt/klasa te hijerarhijska struktura koja se zasniva na generalizaciji i specijalizaciji pojavljuju se u mnogim područjima računalnih znanosti (kao što su npr. baze podataka i programski jezici). Veze deskriptivne logike s tim područjima mogu se podijeliti u:

- *Veze DL s ostalim formalizmima koji se zasnivaju na klasama.* Veze s okvirima i semantičkim mrežama već su opisane. Što se ostalih formalizama tiče, u posljednje vrijeme pojavilo se nekoliko radova koji analiziraju odnos deskriptivne logike i konceptualnih grafova. Rezultati tih analiza pokazali su osnovnu razliku između ta dva pristupa, koja se očituje u činjenici da deskriptivnu logiku karakterizira univerzalna restrikcija uloga, čega nema u konceptualnim grafovima. Stoga se interpretacija struktura podataka razlikuje u ta dva pristupa.
- *Veze DL s ostalim logikama.* Već je prije spomenuto kako je deskriptivna logika podskup logike prvoga reda, dobiven tako da je njezina sintaksa ograničena na izraze koji sadrže dvije varijable. Ta je činjenica uzrokovala da se deskriptivna logika razmatra također kao varijanta modalne logike [112]. Istraživanja u kompleksnosti zadovoljavanja problema modalne logike počela su malo prije no što se pojavila deskriptivna logika. Zato je ta veza omogućila da se iz modalne logike "posude" tehnike zaključivanja i jezične konstrukcije koje se prije nisu razmatrale. Tako se može reći da većina današnjih istraživanja na području ekspresivnosti deskriptivne logike ima svoje korijene u korespondenciji s modalnom logikom.

Od svojih početaka u kasnim 1970-ima DL je danas izrasla u jedinstven pristup na području formalizama znanja i zaključivanja. Posljedica toga jest da je obitelj DL jezika danas vjerojatno najrazumljiviji formalizam za prikaz znanja i zaključivanje. To je uzrokovalo i njezinu raširenost i primjenu na mnogim područjima i aplikacijama, a u ovom je radu iskorišteno u karakterizaciji i primjeni rječnika za prikaz i razmjenu znanja o proizvodu [poglavlje 6.].

4.1.2 Glavni problemi u prikazu znanja i moguća rješenja

Jedan od glavnih problema pristupa formaliziranju znanja jest skalabilnost. Svaka ozbiljna realna primjena formalizma uzrokuje rast broja formaliziranih činjenica do goleme količine. Deduktivne baze podataka [113] proširuju tradicionalne tehnike primijenjene u relacijskim bazama, omogućujući da neke relacije budu derivirane na temelju logičkih pravila opisanih formalizmima. Deduktivne baze podataka, međutim, pokazuju dva nedostatka logičkih programskih jezika: treba pažljivo graditi procedure, kako bi se izbjegle beskonačne petlje; treba imati djelotvoran pristup sekundarnim spremištima podataka zbog golemoga volumena podataka.

Važna grana istraživanja deduktivnih baza podataka bavi se optimizacijom upita. Standardne metode za vrednovanje upita u logici jesu *Backward-Chaining (BC)* i *Forward Chaining (FC)*. U prvoj metodi sustav se koristi upitima kao ciljem i stvara nove ciljeve. Ovaj pristup osigurava da se istražuju samo potencijalno relevantni ciljevi, no može rezultirati beskonačnim petljama. Druga metoda započinje s fizički spremljenim relacijama u bazi i služi se pravilima da bi zaključila nove činjenice. Ovako je izbjegnuta problem petlji, no može uzrokovati pojavu nerelevantnih činjenica.

Drugi važan problem u prikazu znanja jest taj što prilikom promatranja područja možemo vidjeti da su činjenice s kojima se radi pohranjene obično u velikom broju autonomnih baza podataka [114]. Problemi adresirani u distribuiranim bazama podataka uključuju integriranje heterogenih sustava za upravljanje bazama, kontrolu istodobnoga rada te transakcije, kako bi se osigurala konzistentnost repliciranih činjenica, planiranje upita za pristup distribuiranim podacima te rješavanje problema semantičke heterogenosti. Problem heterogenih baza podataka leži u metodama integriranja podataka koje planiraju različiti projektanti, stoga uključuju različite informacijske modele. Semantička heterogenost proizlazi iz činjenice da različiti projektanti baza modeliraju svijet na različite načine, što rezultira razlikom u imenovanju, strukturi i formatu. Pristup kojim se to može riješiti jest semantička interoperabilnost, o čemu je već bilo govora u ovoj disertaciji [poglavlje 2.3].

4.2 Prikaz znanja zasnovan na ontologiji

O ontologijama je već bilo riječi u poglavlju [2.2], gdje su prikazane definicije [38], [39], [40]. Formalizmi prikaza znanja predstavljeni u prošlim poglavljima definiraju strukturu za organiziranje i prikaz informacija i znanja, no ne pružaju mehanizme za njihovo dijeljenje i razmjenu. Kao što smo vidjeli, ontologije prema svojoj definiciji sadrže takve mehanizme te na taj način predstavljaju okosnicu oko koje se mogu primijeniti rješenja za razmjenu i ponovnu upotrebu informacija i znanja. Definicije pojmova i veza koje čine rječnik kao osnovu ontologije i pravila njihove upotrebe mogu biti prikazani u obliku neformalnoga teksta ili specificirani primjenom formalnoga jezika, kao što je npr. deskriptivna logika. Prednost upotrebe formalnih definicija leži u tome što se na taj način omogućuje "automatizirano" zaključivanje, a nedostatak je, naravno, to što je takve definicije teško konstruirati. Jedan od najvažnijih zadataka u istraživanju ontologija jest definiranje dijelova ontologija tako da se oni mogu iskoristiti na više mjesta, čime se omogućuje da se ontologije velikih područja mogu jednostavnije konstruirati sklapanjem i upotrebom postojećih ontologija ili njihovih dijelova.

4.2.1 Metodologije razvoja ontologija

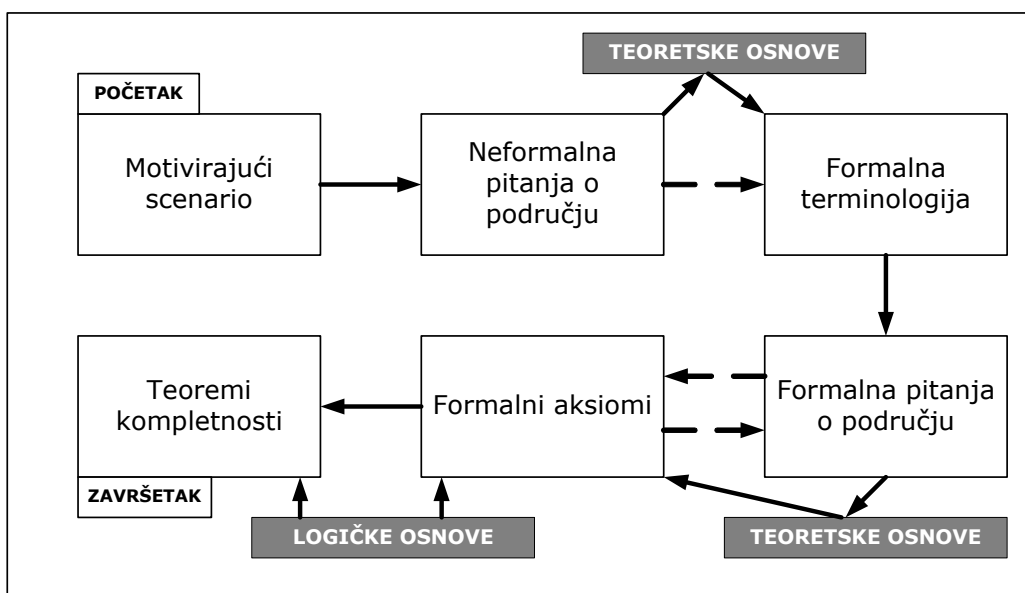
U literaturi su prikazani mnogi pristupi i metodologije razvoja ontologija. Među prvima su 1990. *Lenat i Guha* [115] u svojem radu predložili osnovne korake Cyc metodologije za razvoj ontologije. Njihov se prijedlog sastoji od tri faze. Prva faza uključuje ručno kodiranje dijelova znanja, pri čemu se najprije definira postojeće zajedničko znanje implicirano u postojećim izvorima koji se nalaze na promatranom području. Druga i treća faza sastoje se od otkrivanja novoga zajedničkog znanja upotrebom prirodnih jezika ili računalnih alata. Razlika je između faza u tome što se u drugoj fazi znanje otkriva pomoću računalnih alata, ali uz asistenciju čovjeka, dok je treća faza potpuno automatizirana i potpuno se zasniva na automatiziranim mehanizmima zaključivanja.

Slično prethodno izloženoj metodologiji, *Uschold i King* [116] u svojem su prijedlogu razlučili četiri osnovne aktivnosti: identificiranje svrhe ontologije, izgradnja ontologije, evaluacija ontologije i dokumentiranje ontologije. Tijekom aktivnosti izgradnje autori su predložili prikupljanje znanja, njegovo formaliziranje te integriranje s ostalim

ontologijama koje postoje. Autori su predložili i tri različite strategije za definiranje glavnih pojmova u ontologiji:

- *top-down* pristup - najprije se definira većina apstraktnih pojmova, a nakon toga oni se specijaliziraju u pojmove niže apstraktne razine
- *bottom-up* pristup - najprije se definiraju specifični pojmovi, a nakon toga se generaliziraju pojmovi na višoj razini apstrakcije
- *middle-out* pristup - najprije se definiraju najvažniji pojmovi, a nakon toga oni se generaliziraju ili specijaliziraju u druge pojmove više ili niže razine apstrakcije.

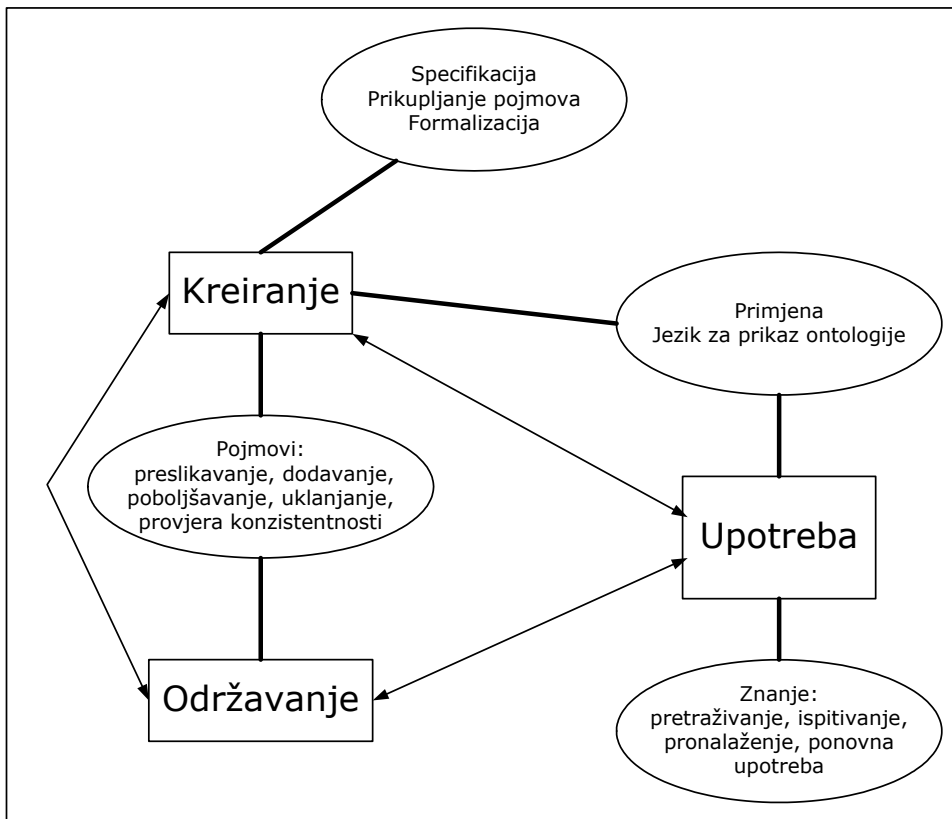
Gruninger i Fox [117], [44] predložili su metodologiju koja je nadahnutu razvojem sustava baziranih na znanju upotrebom logike prvoga reda [Slika 4.1]. Oni su predložili najprije definiranje glavnih scenarija upotrebe ontologije. Nakon toga se upotrebom prirodnih jezika definiraju pitanja o području, koja trebaju pomoći u određivanju područja i granica ontologije. Ta pitanja i odgovori na njih služe da bi se definirala terminologija. Elementi terminologije zatim se formalno prikazuju upotrebom logike prvoga reda. Ova je metoda vrlo formalna i u sebi nosi robusnost klasične logike. Može se primijeniti i za transformiranje neformalnih scenarija u računalne modele.



Slika 4.1: Metodologija razvoja ontologija [117]

Metodologija zasnovana na *Sensus* projektu [118] zapravo je *top-down* pristup deriviranju ontologije za specifično područje na temelju velikih, općenitih, ontologija. Autori u svojem radu predlažu početno identificiranje pojmova koji su relevantni za neko specifično područje. Ti se pojmovi tada povezuju s ontologijom koja pokriva šire područje, u konkretnom slučaju to je *Sensus* ontologija koja sadrži više od 70 000 pojmova. Na taj se način mogu pratiti putanje od tih specifičnih pojmova do korijenskoga pojma u *Sensus* ontologiji (<http://www.isi.edu>). Ako se pojam koji je relevantan za specifičnu domenu ne pojavljuje u široj domeni, dodaje se u nju te se prethodni korak ponavlja. Na kraju se za čvorove kroz koje prolazi najveći broj putanja definira cijelo podstablo u glavnoj ontologiji. Pristup opisan u ovoj metodologiji omogućuje dijeljenje znanja, jer jedna osnovna ontologija služi za razvoj ontologija za specifične domene.

Iako nema jedinstvene metodologije, u literaturi predložene metodologije za razvoj ontologija mogu se sumirati opisom triju glavnih faza životnoga ciklusa ontologija [119], [120], [121], [Slika 4.2]:



Slika 4.2: Životni ciklus ontologije [121]

1. **Kreiranje ontologije.** Četiri su koraka karakteristična za ovu fazu:

- *Organiziranje i specifikacija* – definiranje svrhe, granica i planova za upotrebu ontologije. Valja odgovoriti na pitanja kao što su: Što je područje upotrebe ontologije? Koja je njezina svrha? Zašto se gradi ontologija? Koji su načini upotrebe? Tko su krajnji korisnici? Kako izgleda scenarij upotrebe?
- *Prikupljanje podataka i analiza* – pronalaženje osnovnih pojmova i veza te njihova klasifikacija. Izvori za pronalaženje pojmova mogu biti: eksperti, knjige, priručnici, tablice, druge ontologije itd.
- *Početna formalizacija* – eksplicitno prikazivanje pojmova koji su definirani u prošlom koraku. Takav formalni prikaz mora imati jasno definiranu sintaksu i semantiku. Sintaksa opisuje pojmove i veze koje čine rječnik ontologije te pravila sprežavanja. Semantika formalno povezuje tvrdnje i elemente ontologije. Četiri su razine moguće formalizacije ontologija:
 - Visoko neformalno – elementi ontologije izraženi u prirodnim jezicima
 - Strukturirano neformalno – elementi ontologije izraženi u ograničenom i strukturiranom obliku iz prirodnih jezika

- Poluformalno – elementi ontologije izraženi u umjetno formalno definiranim jezicima
 - Strogo formalno – elementi ontologije definirani formalnom semantikom, teoremima i dokazima o potpunosti.
- *Nadopuna i vrednovanje* – primjena ontologije da bi se zaokružio razvojni proces. Struktura ontologije istancira se sa stvarnim podacima i realnim primjerima. Primjedbe i dopune uključuju se kako bi se dobila potvrđena ontologija.
2. **Služenje ontologijom.** U ovoj fazi treba definirati jezik i mehanizme pretraživanja i pregledavanja činjenica koje su na temelju ontologije zapisane u bazi znanja. Ovdje valja naglasiti postojanje jezika za prikaz ontologije i jezika za pretraživanje ontologije. Kod većine sustava koji nude usluge vezane uz kreiranje ontologije ova su dva jezika ista.
 3. **Održavanje ontologije.** Ontologiju tijekom njezina životnoga ciklusa treba sintaktički i leksički analizirati, dodavati i brisati pojedine definicije te imati mogućnost prevođenja ontologije iz jednoga jezika za opis ontologije u drugi. To znači da trebaju postojati mehanizmi za mijenjanje ontologija, kao i za praćenje verzija ontologija koje se proširuju ili evoluiraju.

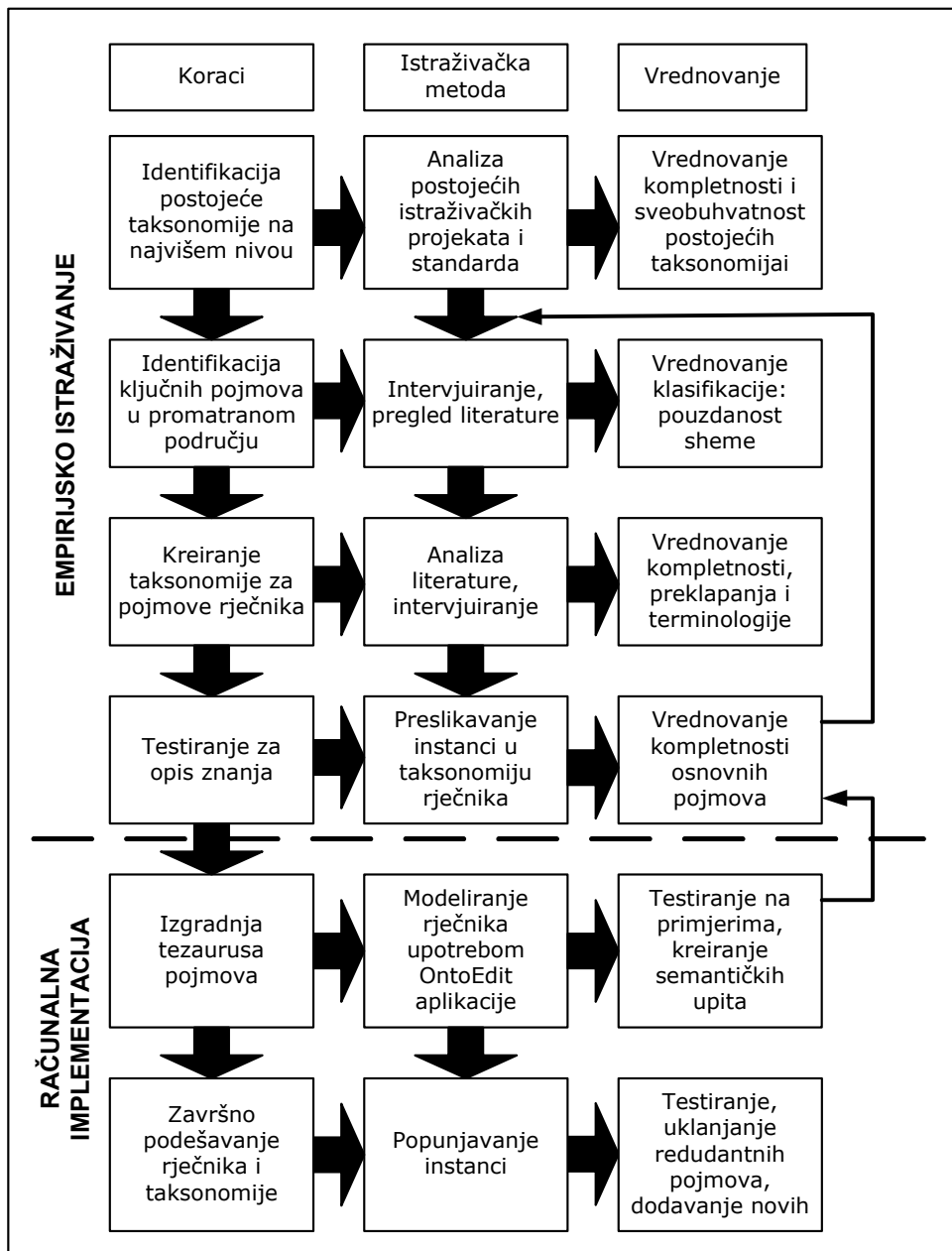
Na temelju prethodne analize mogu se istaknuti dva zaključka:

1. U literaturi predstavljene metodologije razvoja ontologija nisu potpuno definirane. Mnoge ključne aktivnosti nisu predložene postojećim metodama, kao što su kontrola i praćenje cjelokupnoga projekta razvoja ontologije, upravljanje kvalitetom ontologije, upravljanje procesima koji slijede nakon razvoja, kao što su instalacija, podrška, održavanje. Nedostaje i prava metodologija edukacije korisnika koji će se služiti ontologijom.
2. Trenutačni prijedlozi nisu standardizirani, svaka istraživačka grupa slijedi vlastiti pristup. Zato treba uložiti velik trud u razvoj jedinstvene metodologije, za što će ubuduće biti potrebna bliža suradnja istraživačkih grupa.

4.2.2 Metodologija razvoja rječnika za prikaz i razmjenu znanja o proizvodu

U skladu s ciljem disertacije i metodologijom prikazanoj u prošlom poglavlju, tezaursus područja može se kreirati analizom dokumenta relevantnih za područje, identifikacijom pojmova i veza među njima te definiranjem vrsta koje čine taksonomiju rječnika. Hijerarhijska organizacija vrsta pojmova u taksonomiju može se odrediti daljnjom analizom tvrdnji koje dokumenti o području sadrže (npr. "...pomoćna komponenta je komponenta koja..." implicira da je pomoćna komponenta *tip* ili *potklasa* komponente). Upotreba ovakva leksičko-sintaktičkog uzorka je uobičajena, no kako bi se izbjegla mogućnost da se smanji pouzdanost ili praktičnost tako kreiranoga rječnika, postoji potreba za vrednovanjem rezultata, što iziskuje dodatni napor. Poznato je, naime, da postoji konceptualna razlika između teoretskih modela područja i praktične perspektive. Stoga je važno u ovakvu istraživanju skupiti znanje istraživača koji praktično primjenjuju rezultate svojih istraživanja, taksonomija iz literature te računalnih alata koji su dostupni

na području. Metodologija koja se rabila u ovom istraživanju [Slika 4.3] proizašla je iz općenitih metodologija za razvoj ontologije prikazanih u prošlom poglavlju te onoj koju su predložili *Ahmed i ostali* [122].



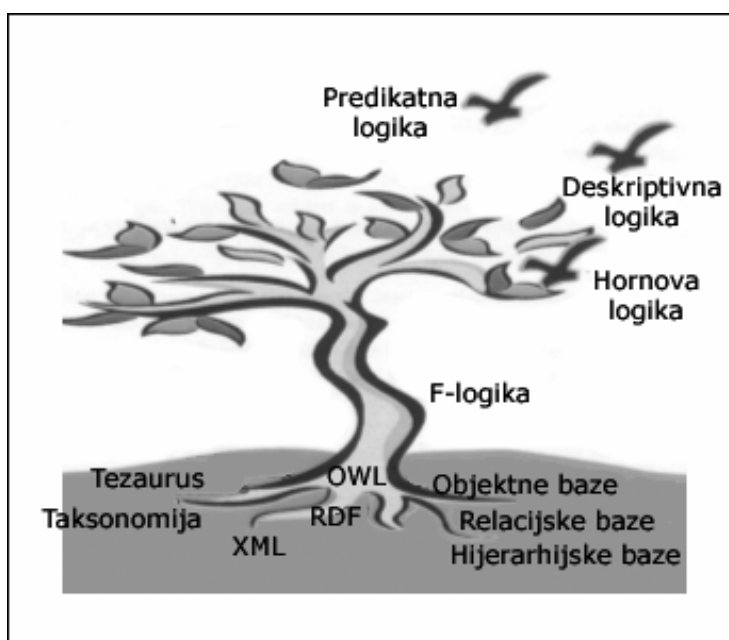
Slika 4.3: Metodologija za razvoj rječnika za prikaz i razmjenu znanja o proizvodu [122]

Glavni koraci te metodologije prikazani su na prethodnoj slici u prvom stupcu: identifikacija postojeće ontologije/taksonomije najviše razine apstrakcije; identifikacija ključnih pojmova na promatranom području; kreiranje taksonomije pojmova; testiranje rječnika za opis znanja o proizvodu; izgradnja računalnoga tezaurusa; završno podešavanje rječnika i taksonomije. Svaki od tih koraka mora se vrednovati, što je za konkretan slučaj opisano kasnije u disertaciji [poglavlja 5. i 6.]. Valja još naglasiti kako su prva četiri koraka empirijska, dok su zadnja dva određeni rezultatima prvih faza i za njih se rabio gotov softverski alat za izgradnju ontologija, što je također opisano kasnije [poglavlje 6.].

4.2.3 Formalni jezici za prikaz i primjenu ontologija

Početak 1990-ih godina 20. stoljeća počeo je razvoj čitavoga skupa jezika za prikaz i primjenu ontologija [Slika 4.4]. U idućim ulomcima pobliže ćemo pogledati njihove značajke.

KIF [123] je jezik zasnovan na logici prvoga reda, kreiran kao format za razmjenu znanja između različitih sustava. Na temelju *KIF-a* razvijen je jezik *Ontolingua* [124], [125], koji kombinira paradigmu za prikaz znanja koja postoji u okvirnim sustavima s izrazima logike prvoga reda. *Ontolingua* je najširi jezik od svih koji postoje te omogućuje prikaz pojmova, taksonomija, relacija između više pojmova, funkcija, aksioma, instanci i procedura. No proces zaključivanja nije podržan ovim jezikom.



Slika 4.4: Stablo tehnologija koje su uključene u jezike za prikaz i implementaciju ontologija

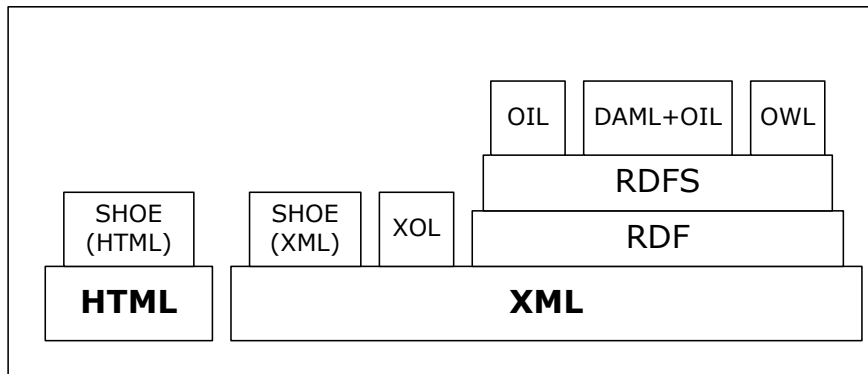
LOOM [126] se počeo razvijati istodobno s *Ontolingua* jezikom te inicijalno nije bio namijenjen za primjenu ontologija, nego za prikaz znanja općenito. Omogućuje prikaz pojmova, taksonomija, relacija između više pojmova, funkcije, aksiome te pravila.

FLogic [127] je razvijen 1995. Taj jezik ima značajke logike prvoga reda, omogućujući na taj način prikazivanje pojmova, taksonomija, binarnih relacija, funkcija, instanci, aksioma te deduktivnih pravila. Jezik uključuje i mehanizme zaključivanja, koji se mogu rabiti za provjeru ograničenja i dedukciju novih informacija.

S razvojem interneta pojavila se potkraj 90-ih godina 20. stoljeća čitava nova grupa jezika za kreiranje ontologija, prilagođenih značajkama mrežne radne okoline. Takvi se jezici najčešće nazivaju "*ontology markup languages*" i još se uvijek razvijaju [Slika 4.5] [34].

SHOE [128] je nastao prvi, kao proširenje standardnoga HTML jezika, i to tako da su definirani novi *tagovi* koji omogućuju uključivanje značajki ontologije u standardne HTML dokumente. *SHOE* jezik kombinira okvirne sustave i deskriptivnu logiku, omogućujući prikaz pojmova, njihovih taksonomija, relacija između pojmova, instanci i deduktivnih

pravila zaključivanja. SHOE izvorna sintaksa modificirana je i može rabiti XML sintaksu, pošto je XML postao standardnim jezikom za razmjenu informacija u mrežnoj okolini. SHOE jezik je u ovoj disertaciji iskorišten za opisivanje taksonomija rječnika za razmjenu i upravljanje znanjem o proizvodu [poglavlje 5.5].



Slika 4.5: Jezici za prikaz ontologija u mrežnoj okolini

RDF [129] je razvijen od konzorcija W3C koji se brine za standarde u mrežnoj okolini, kao jezik zasnovan na semantičkim mrežama. *RDF Schema* dodana je kasnije kao proširenje osnovnih elementa *RDF-a* i poznata je kao *RDFS*. Ova grupa jezika nije previše ekspresivna, pa samo omogućuje prikaz pojmova, taksonomija te binarnih relacija. Na temelju *RDFS-a* razvila se grupa jezika s namjerom da podrži semantičke mreže: *OIL*, *DAML+OIL*, te *OWL*. *OIL* [130] je dodao prikaz znanja temeljen na okvirnim sustavima te formalnu semantiku zasnovanu na deskriptivnoj logici. *DAML+OIL* [131] dodaje također deskriptivnu logiku osnovnom *RDFS-u*. Zadnji je na ovoj listi *OWL* [132], potpuno nov jezik za prikaz i primjenu ontologija, razvoj kojega je započeo 2001. godine.

Ono što se može zaključiti iz pregleda jezika za prikaz i primjenu ontologija prikazanog u prethodnim ulomcima jest sljedeće:

- Pojmovi organizirani u taksonomije, binarne relacije i instance jedine su komponente ontologija koje mogu biti prikazane u svim postojećim jezicima za prikaz i primjenu ontologija.
- Relacije između više pojmova mogu se direktno prikazati u *Ontolingua* jeziku, dok se u svima ostalima mora prethodno napraviti njihova dekompozicija u binarne relacije.
- Formalni aksiomi i teoremi najmoćnije su oruđe u prikazu znanja i rabe se za prikaz onoga znanja koje se ne može eksplicitno prikazati osnovnim elementima svakoga jezika. Mogu se definirati u *Ontolingua*, *LOOM* i *FLogic* jezicima.

Paradigme prikaza znanja koje leže u pozadini svih prethodno navedenih jezika različite su: okvirni sustavi, deskriptivna logika, logika prvoga (i drugoga) reda, konceptualni grafovi, semantičke mreže, deduktivna pravila. U mnogim slučajevima jezici se temelje na kombinaciji različitih prikaza. Za primjenu ontologije treba zato najprije odlučiti što primjena ontologije zahtijeva u pogledu ekspresivnosti te mehanizama zaključivanja. Također treba naglasiti da izbor jezika uvelike ovisi i o radnoj okolini za razvoj ontologija. Prikaz pojmova, taksonomija i binarnih relacija obično nije dovoljan ako se želi definirati jaka ontologija i kompleksno zaključivanje.

4.3 Logičke osnove ontologije razvoja proizvoda

Osnovni zahtjev u definiranju ontologije razvoja proizvoda jest omogućiti povezivanje eksplicitnoga značenja pojmova koji se rabe u razvoju proizvoda sa sadržajem izvora podataka, informacija i znanja koji nastaju tijekom razvoja. U prethodnom poglavlju rečeno je da se logika prvoga reda često rabi za opisivanje drugih formalnih prikaza, pa ćemo je u ovom poglavlju iskoristiti za definiranje logičkih osnova ontologije razvoja proizvoda. Svrha ovoga definiranja jest formalni opis predmeta istraživanja prikazanog u ovoj disertaciji. Logičke osnove ontologije razvoja proizvoda prikazane u idućim poglavljima definirane su na temelju logičkih osnova ontologija za semantičke mreže [133].

4.3.1 Početne pretpostavke

U definiranju logičkih osnova ontologije razvoja proizvoda najprije treba odrediti područje o kojem se govori u ontologiji. Glavni objekti interesa ontologije razvoja proizvoda jesu podaci, informacije i znanje koji se kao sadržaj pojavljuju u različitim izvorima na području razvoja proizvoda, kao što su npr. dokumenti različitih alata za podršku procesu razvoja proizvoda, tekstualne datoteke, shematske prikaze, e-mail poruke itd. U daljnjem tekstu rabi ćemo oznaku D za područje o kojem ontologija govori, tj. razvoj proizvoda. Područje ontologije može se promatrati kao kolekcija entiteta koji su opisani ili spomenuti u izvorima, pa ćemo oznaku R upotrijebiti za označavanje skupa izvora podataka, informacija i znanja koji se pojavljuju u razvoju proizvoda.

Dalje ćemo pretpostaviti da postoji logički jezik prvoga reda označen sa L , koji je zapravo skup nelogičkih simbola označen sa S prema značajkama logike prvoga reda [poglavlje 4.1]. Taj skup nelogičkih simbola čine predikati S_P , konstante S_C i funkcijski simboli S_F (o kojima se zbog pojednostavnjivanja neće govoriti, jer se bilo koji n -arni funkcijski simbol može prikazati $n+1$ -arnim predikatom), koji su tako podskup logičkoga jezika L : $S_P \subset S; S_C \subset S; S_F \subset S$. Ispravno formirani izrazi upotrebom jezika L definiraju se rekurzijom. Rabi ćemo oznaku W za referenciranje beskonačnoga skupa izraza (ispravno formiranih prema pravilima) koji se mogu kreirati upotrebom jezika L . Sa $K : R \rightarrow P(W)$ definirati ćemo funkciju koja preslikava izvore iz skupa R u partitivni skup skupa ispravno formiranih izraza W . Ta funkcija K naziva se i *funkcijom znanja*, jer ekstrahira znanje sadržano u izvorima te omogućuje njegovu aksiomatizaciju.

Da bi se izvori u promatranom području zaštitili od toga da postanu beskonačan skup nepovezanih podataka, treba definirati način na koji se informacije u različitim izvorima međusobno povezuju. Ta potreba proizlazi iz osnovnoga principa ontologije razvoja proizvoda:

Princip 1. *Ontologija razvoja proizvoda mora omogućiti povezivanje podataka, informacija i znanja iz različitih izvora koji postoje u području razvoja proizvoda.*

Da bismo povezali znanja iz različitih izvora, definirat ćemo skup integriranih izvora IR kao uniju ispravno formiranih izraza na temelju sadržaja izvora:

Definicija 1. *Skup integriranih izvora se definira kao:*
$$IR(R) = \bigcup_{r \in R} K(r)$$

S obzirom na to da se prethodnim principom kombiniraju funkcije preslikavanja za sve izvore bilo bi dovoljno aksiomatizaciju područja razvoja proizvoda definirati u bilo kojem od tih izvora, te na temelju toga dedukcijom zaključiti činjenice koje proizlaze iz drugih izvora. No ako pogledamo stvarnost u kojoj su izvori u razvoju proizvoda autonomni i decentralizirani, različiti sudionici razvoja proizvoda slobodni su dati različita značenja svakom simbolu jezika L . To u praksi znači da različite aksiomatizacije jednoga simbola dovode do višestrukoga značenja pojma što ga taj simbol predstavlja, nekonzistentnoga formalnog modela promatranoga područja ili mogućega razbijanja lanca zaključivanja. Da bi se izbjegli mogući slučajni konflikti, pretpostavit ćemo da je svaki element skupa S jedinstven.

Postoji i drugi problem koji je još kompleksniji, kao što je spomenuto u radu *Guhe* [110], a to je činjenica da svaka teorija obično ima neku drugu teoriju u pozadini koja se zasniva na određenim pretpostavkama. Da bi se skup teorija kombinirao, valja neke od tih pretpostavki učiniti eksplicitnima. Taj se proces naziva relativna dekontekstualizacija te uključuje povezivanje sinonima ili u kompleksnijim slučajevima, cijelih informacijskih struktura koje imaju isto značenje. Stoga ćemo definirati sljedeći princip ontologije razvoja proizvoda.

Princip 2. *Relativna dekontekstualizacija preduvjet je integracije izvora podataka, informacija i znanja u razvoju proizvoda.*

Jedan od načina da se izbjegne relativna dekontekstualizacija jest kreiranje standardiziranoga rječnika s definicijama svakoga simbola. Međutim, to zavisi od područja koje se promatra, jer za većinu područja takav bi rječnik bio enormno velik, stoga praktički neprikladan za standardizaciju, sveobuhvatnost i kasnije održavanje. U ovom radu, kao osnova za definiranje rječnika za prikaz i razmjenu znanja o proizvodu, iskoristiti će se teoretski modeli u promatranom području [poglavlje 3.3], koji su nastali kontinuiranim razvojem i vezani su jedni na druge. Na taj će se način udovoljiti zahtjevu za dekontekstualizacijom.

4.3.2 Definicija ontologije razvoja proizvoda

U prethodnim poglavljima [poglavlje 2.2] objašnjen je pojam ontologije, prikazane su različite definicije toga pojma te je istaknuto kako ni jedna formalna definicija nije općeprihvaćena. To je razlog što će se u nastavku dati formalne definicije primjenjive na područje razvoja proizvoda. Pri tome polazimo od pretpostavke da je ontologija skup simbola i skup formalnih definicija zapisanih jezikom L , kao što je definirano u radu *Farquhara* i ostalih [124].

Definicija 2. *Uz poznati logički jezik L , ontologija razvoja proizvoda uređen je skup $O_{RP}=(V, A)$, u kojem je **rječnik** V podskup predikatnih simbola S_p , $V \subset S_p$, a **aksiomi** A podskup su skupa ispravno formiranih izraza jezika L , $A \subset W$.*

Na temelju ove definicije ontologije razvoja proizvoda možemo definirati logički jezik L' , koji je podskup jezika L , $L' \subset L$ i definira osnovni skup aksioma toga jezika. S obzirom na to da ontologija definira osnovni skup aksioma za taj jezik, možemo govoriti o ispravno formiranim izrazima samo u odnosu na ontologiju.

Definicija 3. *Izraz ϕ ispravno je formiran izraz u odnosu na ontologiju $O_{RP}=(V, A)$ ako je ϕ ispravno formiran izraz jezika L' , pri čemu su S_C simboli konstanti, a predikatni su simboli elementi rječnika V .*

Možemo definirati i što znači ispravno formirana ontologija razvoja proizvoda.

Definicija 4. *Ontologija $O_{RP}=(V, A)$ ispravno je formirana ako je svaki izraz u skupu aksioma A ispravno formiran u odnosu na ontologiju O_{RP} .*

Značenje ontologije može se objasniti definiranjem interpretacije I i modela ontologije MO . U tom smjeru najprije ćemo definirati predinterpretaciju, koja preslikava svaki simbol konstanti u entitete područja o kojem se govori.

Definicija 5. *Predinterpretacija jezika L jest funkcija $I_C : S_C \rightarrow D$ koja preslikava svaki simbol konstanti iz skupa S_C u entitet područja D .*

Svaka ontologija zasnovana na jeziku L koristi se istom predinterpretacijom. S obzirom na to da je svaki element skupa konstanti S_C jedinstven, njihova je interpretacija jednoznačna te se pretpostavlja njihova univerzalnost. Interpretacija ontologije sastoji se od predinterpretacije konstanti S_C i preslikavanja predikatnih simbola jezika L u relacije nad područjem o kojem se govori.

Definicija 6. *Interpretacija ontologije O_{RP} sastoji se od predinterpretacije i skupa funkcija $I_{P_n} : S_P \rightarrow D^n$ koje preslikavaju svaki predikatni simbol iz skupa S_P u relacije nad promatranim područjem D .*

Ako je izraz ϕ istinit u odnosu na interpretaciju I , tada kažemo da interpretacija I zadovoljava ϕ , ili da je interpretacija I model izraza ϕ . Definirajmo i model ontologije.

Definicija 7. *Model MO_{RP} ontologije $O_{RP}=(V, A)$ jest interpretacija koja zadovoljava svaki aksiom definiran u skupu A .*

Prema tome, ontologijom opisujemo skup mogućih načina interpretacije upotrebom aksioma za ograničavanje toga skupa. Za razliku od teorije logike prvoga reda, ontologija može imati mnogo predodređenih interpretacija, jer se može iskoristiti za opis različitih stanja na području o kojem govori. Uočimo da je u *definiciji 6* odabrano polazište kako interpretacija ontologije dodjeljuje relaciju svakom predikatnom simbolu jezika L , a ne samo podskupu simbola koji su sadržani u ontologiji. Takvo polazište omogućuje usporedbu modela različitih ontologija koje možda imaju različite rječnike. To može biti važno kad se razmišlja o ontologijama koje proširuju druge ontologije tako da preuzmu njihov rječnik, što će se dogodilo u istraživanju prikazanom u ovoj disertaciji, gdje se na temelju standardne ontologije najviše razine [poglavlje 5.3] definirao rječnik za opis i razmjenu znanja o proizvodu. Također je važno uočiti kako predodređene interpretacije ontologije ograničuju relacije koje direktno ili indirektno odgovaraju predikatima u rječniku, dok omogućuju bilo koju mogućnost relacija za predikatne simbole u drugim područjima.

4.3.3 Definicija izvora podataka, informacija i znanja

Ako sa SO definiramo skup svih ontologija, tada možemo definirati funkciju $C : R \rightarrow SO$, takvu da pridružuje izvore podataka, informacija i znanja ontologijama. Ta se funkcija naziva *funkcijom pridruživanja*. Kad se izvoru r pridruži ontologija O_{RP} , tada se

podrazumijeva da će se njegov sadržaj interpretirati u skladu sa značenjem simbola koji čine tu ontologiju. Izvoru se funkcijom pridruživanja u načelu može pridružiti samo jedna ontologija, no kombiniranjem više ontologija može se prevladati to ograničenje. Rječnik koji se u izvoru može rabiti ograničen je ontologijom koja je izvoru pridružena. Za ontologiju razvoja proizvoda može se stoga definirati sljedeće.

Definicija 8. *Izvor r ispravno je formiran prema ontologiji O_{RP} ako je $C(r)=O_{RP}$, pa je $K(r)$ ispravno formiran u odnosu na ontologiju O_{RP} .*

Drugim riječima, prethodna definicija govori da je izvor ispravno formiran ako je njegov sadržaj određen *funkcijom znanja* ispravno formiran u odnosu na ontologiju koja je izvoru pridružena *funkcijom pridruživanja*.

Ako želimo definirati semantiku izvora, moramo poći od pretpostavke da je svaka interpretacija ontologije ujedno interpretacija izvora kojem je ontologija pridružena te je interpretacija koja zadovoljava izraze u izvoru ujedno i model tog izvora.

Definicija 9. *Model MI izvora r , gdje je $C(r)=O_{RP}$, je model ontologije MO_{RP} koji zadovoljava i svaki izraz u $K(r)$.*

4.3.4 Razvoj ontologije razvoja proizvoda

Razvoj ontologija težak je i vremenski zahtjevan zadatak, što iziskuje potrebu za kreiranjem općenitih ontologija najviše razine apstrakcije, takvih da se one ili njihovi dijelovi mogu iskoristiti kao gradivni elementi specifičnijih ontologija. Iz toga proizlazi sljedeći princip.

Princip 3. *Ontologija razvoja proizvoda mora biti sposobna proširiti ontologiju više razine novim pojmovima i pravilima.*

S teoretskoga gledišta, uz pretpostavku da postoje standardne ontologije najviše razine apstrakcije, najveći dio procesa razvoja novih ontologija trebao bi biti preuzimanje općenitih ontoloških modula te dodatno modeliranje jedinstvenih aspekata koji nisu obuhvaćeni općenitim ontologijama. Korisna posljedica preuzimanja ontoloških modula jest da će sve ontologije koje rabe isti modul rabiti i isti rječnik i aksiome za modeliranje sličnih pojmova. U većini istraživačkih pristupa ponovna upotreba dijelova ontologija ostvaruje se mehanizmima proširenja. Kad ontologija proširuje drugu ontologiju, tada preuzima njezine aksiome i rječnik, kao i rječnik i aksiome svih onih ontologija koje je ta ontologija prethodno već proširila. Na taj se način može definirati taksonomija ontologija s općenitim ontologijama visoke razine na vrhu te specifičnim ontologijama na dnu. Vezano uz proširenje ontologije može se definirati važan princip koji govori o tome kako proširena ontologija treba omogućiti razumijevanje sadržaja postojećih izvora na nov način, no ne smije zamijeniti ontologiju koju proširuje.

Princip 4. *Svaka ontologija treba omogućiti drukčiju interpretaciju sadržaja skupa izvora, ali ni jedna ontologija ne smije promijeniti interpretaciju druge.*

Pri razvoju ontologije razvoja proizvoda potrebno je uzeti u obzir i činjenicu da je razvoj proizvoda dinamički proces. Stoga je vrlo važno u razvoju ontologije predvidjeti mehanizme evoluiranja ontologije kroz ontologijske revizije, koje nastaju dodavanjem, mijenjanjem ili brisanjem pojmova i pripadajućih pravila. Terminologija područja evoluirala

iz nekoliko razloga. Kao prvo, kad se velik broj računalnih sustava na istom području rabi za različite svrhe (što je slučaj kod razvoja proizvoda), upotrijebljena terminologija često se spaja ili preslikava da bi se informacije i znanje mogli razmjenjivati. Terminologija kojom se koristimo u određenom području evoluirala i zbog stalnoga napretka u općenitom znanju, pa prilikom održavanja ontologija treba voditi računa i o tome. Prilikom odluke o promjeni revizije ontologije koja je dodijeljena nekom izvoru valja uzeti u obzir mogućnost da postojeći izvor postane loše formiran, pa se stoga uvodi sljedeći princip.

Princip 5. *Revizija ontologije razvoja proizvoda ne bi trebala promijeniti ispravno formirane izvore koji su pridruženi prijašnjoj reviziji ontologije razvoja proizvoda.*

Jedno od mogućih rješenja ovoga problema jest postavljanje zahtjeva da svaka revizija ontologije razvoja proizvoda bude ontologija za sebe. No tada treba osigurati povratnu kompatibilnost među revizijama, kako bi se održala pretpostavka da je opis pojma koji je pridružen prijašnjoj reviziji ontologije pridružen i trenutačnoj reviziji. Sljedećom definicijom formalno će se definirati razvoj ontologije RO pojmovima proširenja i povratne kompatibilnosti.

Definicija 10. *Razvoj ontologije RO je graf čiji su objekti ontologije nastale proširenjem i evolucijom i na kojem postoje dvije vrste strelica:*

$$P \text{ strelice: } O_1 \xrightarrow{P} O_2 \leftrightarrow O_2 \text{ proširuje } O_1,$$

$$C \text{ strelice: } O_1 \xrightarrow{C} O_2 \leftrightarrow O_2 \text{ je povratno kompatibilna s } O_1.$$

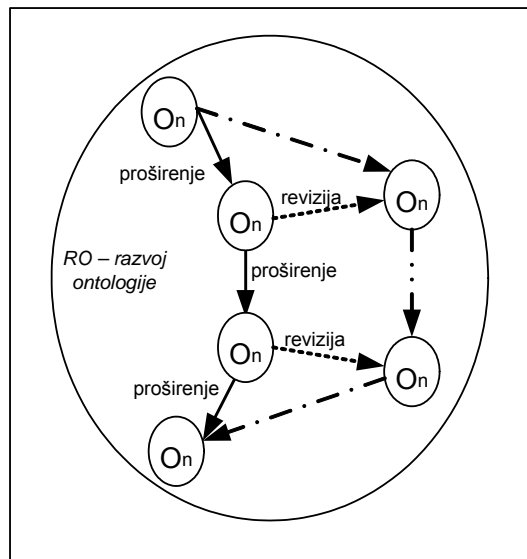
Pri tome graf RO mora zadovoljavati sljedeće induktivne uvjete:

1. *Pojedina ontologija O je ontologija koja se razvija.*
2. *Neka je RO razvoj ontologije O . Dodavanjem nove ontologije O^P i P strelica kojima je početak na objektima iz RO , a kraj na O^P dobivamo novi graf RO za ontologiju koja se razvija.*
3. *Neka je RO razvoj ontologije O i neka svakom objektu iz RO pridružujemo objekt O^C koji može biti ili on sam - $O^C=O$ ili ontologija izvan grafa RO - $O^C \notin RO$. Pri tome, ako je $O^C \notin RO$ na grafu RO dodajemo nove strelice $O \xrightarrow{C} O^C$. Također za svaku P strelicu iz RO $O_1 \xrightarrow{P} O_2$ dodajemo novu strelicu $O_1^C \xrightarrow{P} O_2^C$ osim ako nije $O_1^C = O_1$ i $O_2^C = O_2$. Tako dobivamo novi graf RO za ontologiju koja se razvija.*
4. *Nema drugih ontologija koje se razvijaju pored onih dobivenih primjenom pravila pod 1., 2. i 3.*

Ilustracija grafa razvoja ontologije prikazana je na slici [Slika 4.6].

Kada se rabe različite ontologije, one mogu dodijeliti različita značenja istom simbolu. To znači da prilikom proširenja ontologije onaj tko zaključuje na temelju pretpostavke da isti simbol ima isto značenje u obje ontologije riskira da će donijeti pogrešne zaključke. To se može spriječiti dodavanjem prefiksa ispred predikatnoga simbola, koji govori tome koja je njegova izvorna ontologija, te pretpostavljanjem da isti simboli u različitim ontologijama imaju različito značenje, ako to nije eksplicitno navedeno. S obzirom na to

da povratna kompatibilnost ovisi o ispravnoj interpretaciji ontologije, ona se ne može ostvariti automatski nego je mora specificirati autora ontologije.



Slika 4.6: Razvoj ontologije s proširenjima i revizijama

4.3.5 Divergencija ontologije

Kao što je spomenuto u prethodnom poglavlju, važan aspekt u ostvarivanju interoperabilnosti jest upotreba ontologijskih modula. Zato je metoda izgradnje ontologija koja se preferira proširenje postojećih ontologija najviše razine uz kreiranje novih definicija samo kad postojeće nisu prikladne. Tako se osigurava automatska integracija pojmova. Međutim, razvoj ontologije za distribuirano i dinamičko okruženje kao što je razvoj proizvoda vodi nužno k divergenciji i semantičkoj heterogenosti. Razlike koje mogu nastati među ontologijama unutar istoga područja mogu se podijeliti u četiri osnovne grupe:

- razlike u kontekstu – pojam u jednoj ontologiji ima potpuno različito značenje u drugoj, što se rješava pretpostavkom da je svaki pojam jedinstven na promatranom području
- razlike u terminologiji – različiti pojmovi imaju isto značenje, što se rješava aksiomima o ekvivalentnosti pojmova:
 - "drugo ime za": $P_1(x_1, \dots, x_n) \leftrightarrow P_2(x_1, \dots, x_n)$ (predikat P_1 i P_2 imaju isto značenje)
 - "je": $Z(x) \rightarrow P(x)$ (svaki element klase Z je i element klase P)
- razlike u cilju – slične kategorije pojmova ne poklapaju se potpuno, njihova se proširenja preklapaju, ali postoje i pojmovi koji se ne mogu klasificirati. Rješavanje problema zahtijeva preslikavanje kategorije takva pojma u najviše specifičnu kategoriju drugog područja
- razlike u konverziji – prave vrijednosti za svojstva pojmova mogu biti različite, jer se rabe različiti sustavi ili mjerila, pa se taj problem također rješava aritmetičkim funkcijama.

4.3.6 Skalabilnost ontologije

Prilikom zaključivanja upotrebom logike prvoga reda moramo znati da ne postoji algoritam koji u realnom vremenu može riješiti problem određivanja da li je neki izraz logička posljedica zaključivanja, osobito ako je riječ o velikom broju pravila koja treba obraditi. Jedan od pristupa rješavanju problema skalabilnosti ontologije u praktičnoj primjeni jest primjena metoda zaključivanja, koje nisu pouzdane i kompletne kao logika prvoga reda. Te su metode primjerenije, jer u mnogim slučajevima nije nužno znati sve odgovore koji su mogući na temelju definiranih aksioma, pa svi korisnici ne moraju imati pristup svim činjenicama. Drugi je pristup u reduciranju ekspresivnosti jezika za opis ontologije. Ovo je jedan od važnih smjerova koji slijedi istraživačka zajednica, a čija je direktna posljedica primjena deskriptivne logike za specifikaciju aksioma. Tek će buduća istraživanja na ovom području pokazati koja je prava kombinacija značajki jezika i metoda pretraživanja koje će riješiti ovaj problem.

4.3.7 Semantički upiti

Definiranje jezika ontologije zahtijeva i raspravu o tome kako će se ontologija rabiti. Ontologija razvoja proizvoda može se rabiti kako bi se locirali izvori znanja o proizvodu što ga traži korisnik ili da bi se dobili odgovori na specifična pitanja vezana uz sadržaj izvora. Ovi načini upotrebe zapravo znače pronalaženje izvora i pregledavanje baza znanja. Baze znanja služe se logičkom definicijom upita: upit je zapravo tvrdnja s kvantificiranim varijablama, a odgovor na taj upit jest skup veza za varijablu koje čine izraz istinitim u odnosu na tvrdnje pohranjene u bazi znanja. Pronalaženje izvora, s druge strane, pomaže u lociranju onih koji sadrže traženi pojam, koji može i ne mora biti definiran ontologijom ili izvora koji ima specifične attribute, kao što su ime autora ili datum zadnje promjene. S obzirom na to da su u definiciju ontologije razvoja proizvoda uključeni i izvori podataka, informacija i znanja, to nam omogućuje definiranje veza između izvora i pojmova koji su u njima sadržani te njihovo nezavisno opisivanje.

4.4 Implikacije na rad

Ovim su poglavljem određene logičke osnove istraživanja. Najprije su opisani suvremeni pristupi prikazu znanja, a posebna je pažnja posvećena prikazu znanja zasnovanom na ontologiji. Kako je prije razlučeno da se problem rječnika za prikaz i razmjenu znanja o proizvodu može promatrati samo u kontekstu širega istraživačkog problema izgradnje ontologije razvoja proizvoda, u ovom je poglavlju prikazana metodologija izgradnje rječnika koja se rabila u istraživanju prikazanom u ovoj disertaciji. U drugom dijelu poglavlja pristupilo se logikom prvoga reda razvoju formalnoga modela ontologije za područje razvoja proizvoda, u sklopu kojeg se definirao i cilj istraživanja – rječnik za prikaz i razmjenu znanja o proizvodu. Zasebno su definirani ontologija te izvori podataka, informacija i znanja, kako bi se osiguralo da samo oni koji dijele isti kontekst budu integrirani. Taj se osnovni formalni model proširio mogućnošću da graditelji ontologija mogu opisati svoje vlastite specifične potrebe ponovnom upotrebom postojećih ontologija viših razina. Model se zatim dodatno proširio, kako bi se obuhvatio i problem evolucije ontologije, u sklopu kojeg se raspravljalo o problemu povratne kompatibilnosti između različitih revizija. Na kraju su razmotreni problemi divergentnosti, skalabilnosti i

semantičkih upita. Koncepti koji su predstavljeni u ovom poglavlju iskoristit će se u idućem poglavlju u kojem su prikazani rezultati istraživanja vezanih uz izgradnju rječnika za prikaz i razmjenu znanja o proizvodu te taksonomije pojmova obuhvaćenih tim rječnikom.

RJEČNIK I TAKSONOMIJE POJMOVA ZA PRIKAZ ZNANJA O PROIZVODU

U petom je poglavlju prikazan rječnik za prikaz i razmjenu znanja o proizvodima te taksonomija pojmova toga rječnika koji su kreirani modeliranjem na epistemološkoj razini i razini područja. Kao osnova epistemološke razine na temelju koje je rječnik proširen odabrana je SUMO standardna ontologija najviše razine apstrakcije. U skladu s ontologijom gornje razine te na temelju genetičkoga sustava modela konstrukcije ekstrahirani su pojmovi i veze među njima koji čine elemente rječnika, prikazane su njihove definicije i predložena taksonomija.

5.1 Modeliranje ontologija na više razina

U skladu s opisanim metodologijama za razvoj ontologija [poglavlje 4.2.1] te posebno na temelju derivirane metodologije za razvoj rječnika prikazane na slici [Slika 4.3], u istraživanju se pristupilo prikupljanju potrebnih informacija za definiranje elemenata rječnika. Ključna odluka u ovoj fazi bila je ona o odabiru teoretskih osnova koje će poslužiti kao osnova za ekstrahiranje potrebnog sadržaja rječnika. Iz razloga koji su prethodno objašnjeni [poglavlje 3.3.5] u tu su svrhu u ovom radu poslužila istraživanja genetičkoga sustava modela konstrukcije (GDMS) [79]. Kako bi se obuhvatila semantička raznolikost pojmova koji postoje u neformalnom prijedlogu GDMS-a, bilo je nužno pristupiti formalizaciji općenite strukture GDMS-a. Na temelju analize brojnih postojećih metoda formalizacije [134], [135], [136], [137] nastao je prijedlog *Mekhilefa* i ostalih [138], koji govori o nužnosti postojanja četiriju razina modeliranja informacijske strukture, kako bi se provela njezina uspješna formalizacija i kasnija implementacija u obliku računalnoga sustava [Slika 5.1].

Najviša razina u tom prijedlogu naziva se epistemološkom, a njome se definira skup najopćenitijih pojmova i mogućih veza između njih koji postoje u svijetu oko nas. Slijedi

je razina područja, koja se uspostavlja skupom informacijskih struktura specifičnih za promatrano područje ljudske djelatnosti. Ova se razina najčešće zasniva na općeprihvaćenom zajedničkom znanju stručnjaka koji se bave promatranim područjem, a koje je dokumentirano raznim teorijama, znanstvenim člancima, tehničkim izvještajima, standardima itd. Razina primjene jest proširenje razine područja skupom dodatnih pojmova i veza potrebnih kako bi se okarakterizirao pojedini specifični segment ili problem na promatranom području. Ovu razinu definira zainteresirana grupa korisnika, vezanih uz specifičnu namjenu zbog koje se ova razina I uspostavlja. Razina projekta proširuje prethodne razine, I to tako da karakterizira konkretne implementacije formalnoga modela u stvarnoj inženjerskoj okolini, pa ovisi o tvrtki i pojedincima koji su odgovorni za određene projekte. Prije no što pobliže objasnimo strukturu i sadržaj svake od navedenih razina, objasnimo najprije konceptualne osnove ontologije razvoja proizvoda.



Slika 5.1: Razine modeliranja ontologije

5.2 Konceptualne osnove ontologije razvoja proizvoda

Sastavljanje rječnika ontologije za inženjersku primjenu zahtijeva modifikacije nekih osnovnih koncepata u odnosu na tradicionalno shvaćanje svijeta oko nas. Prvi od tih koncepata koji treba ovdje dodatno objasniti jest koncept *vrste*. Općenito gledano, vrsta je objektivna kategorija entiteta koji dijele zajedničku prirodu, odnosno skup svojstava koji je isti za sve članove te vrste. Skup svojstava vezanih uz pripadnost određenoj vrsti naziva se u literaturi i *definirajućim svojstvima vrste* [139]. Razlog zašto se u izgradnji inženjerskih ontologija rabi koncept vrste, a ne naizgled slični koncepti poput klase ili tipa, jest zbog potrebe za nešto labavijim uvjetima pripadnosti pojedinog entiteta vrsti. Labaviji uvjeti pripadnosti potrebni su zato što često nisu jasni eksplicitni kriteriji pripadnosti vrsti. Stručnjak koji gradi ontologiju nekoga područja, može ponekad svojom intuicijom "*znati da entitet pripada toj vrsti*", što se temelji na spoznaji da entitet posjeduje *barem jedno* definirajuće svojstvo koje karakterizira određenu vrstu. To omogućuje da se u izgradnji rječnika ontologije entitet broji kao pripadnik vrste i bez udovoljavanja strogim uvjetima pripadnosti (npr. nužnost posjedovanja svih svojstava

vrste). Uvjeti pripadnosti koji tradicionalno vrijede za klase i tipove nedovoljno su fleksibilni za kategorizaciju i grupiranje koncepata u izgradnji taksonomija inženjerskih ontologija. Svima trima konceptima - vrsti, klasi ili tipu - zajedničko je to da su sva tri ono što se može nazvati *kategorijalnim konceptima*, odnosno indiciraju nekakvo grupiranje individua u kategorije.

Sljedeći koncepti koje valja dodatno objasniti jesu koncepti *atributa* i *svojstava*. O atributima se obično misli kao o funkciji koja povezuje svakoga člana promatranoga skupa entiteta s nekom specifičnom vrijednošću. Primjer je atribut *boja*, koji svaki entitet povezuje s njegovom bojom. Suprotno tome, svojstvo je apstraktna, generalizirana karakteristika, koju entiteti dijele. Kao primjer možemo navesti slučaj kada atribut *boja* povezuje entitet s crvenom bojom, što znači da entitet ima svojstvo da je *crven*. Međutim, ne može se uvijek postaviti takva korelacija među svojstvima i vrijednostima atributa. Tako npr. NC stroj može imati svojstvo da *posjeduje serijski broj*, koje ne govori ništa o aktualnoj vrijednosti toga svojstva. Osoba koja gradi ontologiju može indicirati kako će ta informacija biti uz svaku instancu vrste, i to tako da prilikom modeliranja doda vrsti odgovarajući atribut *serijski broj*. Praksa je pokazala da u izgradnji ontologija često može biti nejasno kada je o nekom identifikacijskom opisu bolje razmišljati kao o atributu, a kada kao o svojstvu.

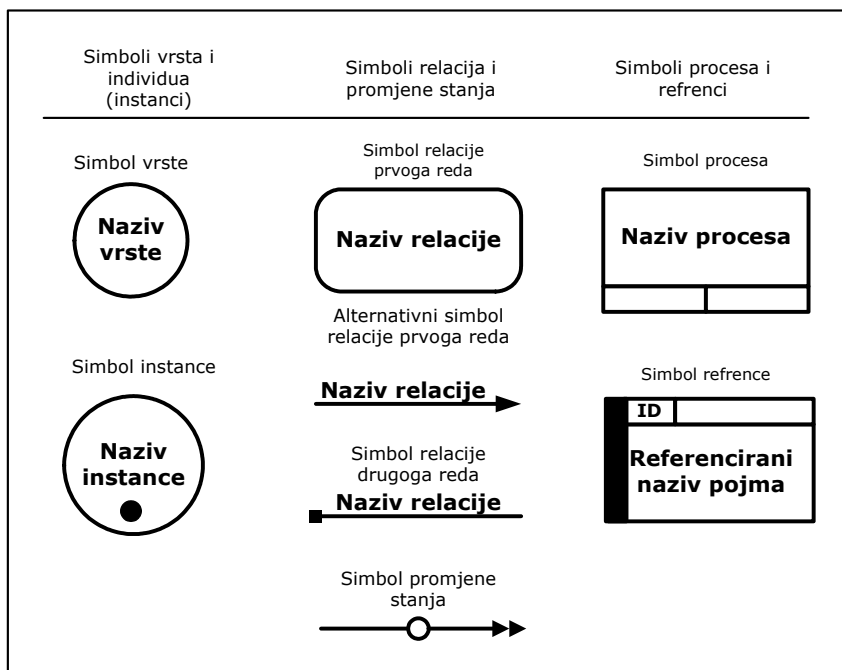
Osim atributa i svojstava pojedinih vrsta, postoje i općenite značajke entiteta, koje su izložene zajednički među entitetima, a nazivaju se vezama, odnosno - kako će biti referencirano u daljnjem tekstu - *relacijama* [139]. Relacije koja su prikazane kao rezultat ovoga rada po svojoj su prirodi binarne, što znači da se uspostavljaju između dva entiteta. U teoriji, dakako, nema zapreka postojanju i *n*-arnih relacija (relacija među više od dva entiteta). Razlog za binarne relacije u ovom radu jesu ograničenja proizašla iz uporabe metoda za opisivanje ontologije, koje ne podržavaju modeliranje *n*-arnih relacija, pa su za takve slučajeve podijeljene u odgovarajući broj binarnih.

Vrste i relacije identificiraju se apstrahiranjem, koje je na višoj logičkoj razini od entiteta koji nastaju njihovim istanciranjem [139]. Instance se zato mogu nazvati *entitetima prvoga reda*, a njihovi atributi i istancirane relacije među njima *relacijama i atributima prvoga reda*. Za razliku od njih, vrste, njihovi atributi i relacije među vrstama nazivaju se *entitetima drugoga reda*. Jedna od najvažnijih relacija drugoga reda je relacija *podvrste* (eng. *subkind-of*), koja postoji između vrste i općenitije vrste, kao npr. automobil i prijevozno sredstvo. Podvrsta predstavlja i koncept *generalizacije/specijalizacije*, kojim se podvrsta razmatra kao specijalni slučaj više općenitije vrste. Za razliku od te relacije, neke od relacija drugoga reda mogu uključiti i entitete prvoga reda kao svoje argumente. Primjer je također važna relacija *instance* (eng. *instance-of*), koja postoji između određene instance i vrste. Obje prethodno navedene relacije imaju istaknuto i važno mjesto u definiranju taksonomije pojmova istraživanoga rječnika, što je prikazano u idućim poglavljima.

5.2.1 IDEF 5 metodologija za grafički prikaz elemenata ontologija

Kao podršku procesu razvoja ontologija, KBSI (eng. *Knowledge Based Systems, Inc.* – www.kbsi.com), jedna od vodećih tvrtki na području razvoja tehnologije kroz napredna akademska istraživanja, predložila je IDEF5 metodu za opis ontologija, nastavljajući tako

tradiciju prethodno predloženih IDEFx (www.idef.com) metoda, koje su postale standard u modeliranju informacijskih struktura. Prvi jezik predložen u okviru IDEF5 metode jest shematski jezik predstavljen grafičkim simbolima, koji je prilagođen stručnjacima na pojedinom području za izražavanje ontoloških informacija [139], [Slika 5.2]. Ovaj pristup omogućuje prosječnim korisnicima unos osnovnih informacija potrebnih za osnovni prijedlog ontologije te proširenje ili reviziju postojećih ontologija novim informacijama. Simboli ovoga jezika upotrebljavat će se u ovom poglavlju kako bi se vizualno prikazala klasifikacija, tj. taksonomija pojmova i relacija koje čine rječnik za prikaz znanja o proizvodu.



Slika 5.2: Osnovni simboli IDEF5 shematskoga jezika

5.3 Modeliranje epistemološke razine

Epistemološka razina modeliranja uspostavlja se definiranjem skupa najopćenitijih pojmova i mogućih relacija između njih, kako bi se najvišoj razini apstrakcije logički konzistentno opisala situacija u svijetu oko nas. Uobičajeno, općepoznato i općeprihvaćeno znanje (znanje koje je tipično za prosječnu populaciju) predstavlja važan aspekt potreban za uspostavu epistemološke osnove [138]. No inženjersko područje zahtijeva perspektivu koja je više strukturirana, zasnovana na znanstveno prihvatljivim stajalištima o stvarnosti, a manje tolerantna na kontradikcije i nekonzistentnost u usporedbi s opće poznatim znanjem. To je spoznaja motivirala autora prilikom izradbe na dodatno istraživanje postojećih ontologija najviše razine apstrakcije, a sve zato da pronade i odabere odgovarajuće epistemološke osnove, što je rezultiralo odabirom SUMO ontologije [140].

Istraživači na području računalnih i tehničkih znanosti, umjetne inteligencije, filozofije i lingvistike svakodnevno se susreću s potrebom za sveobuhvatnom, formalnom ontologijom najviše razine. Na svakom od tih istraživačkih područja postoje određena iskustva s definiranjem standardne terminologije za opis pojava koje čine naš svijet,

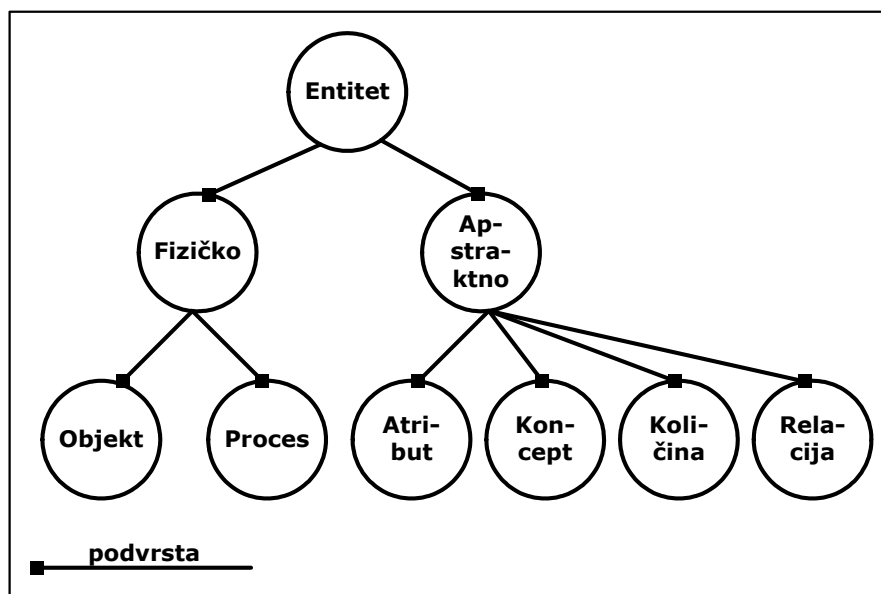
promatrano iz specifičnoga kuta. No istraživači ni u jednom od tih područja ne mogu sami sastaviti standardnu ontologiju najviše razine. S jedne strane, znanstvenici i istraživači na području tehničkih i informatičkih znanosti ne mogu postići dogovor unutar svoje zajednice o kreiranju općenite inženjerske ontologije, iako poznaju nužne formalne jezike za to. Filozofi i lingvisti, s druge strane, imaju povlasticu kreirati ontologije za pojedina područja, no njima tipično nedostaje znanje potrebno za kreiranje formalnih definicija koje mogu biti osnova za "automatizirano" zaključivanje i donošenje odluka. Prepoznavajući istodobno potrebu za velikim ontologijama pojedinih područja i potrebu za otvorenim procesom koji vodi k javnom, besplatnom standardu u tom pogledu, IEEE (eng. *The Institute of Electrical and Electronics Engineers* - www.ieee.org) radne grupe sastavljane od stručnjaka s područja inženjerstva, filozofije i informacijskih znanosti prionule su kreiranju standardne vrhovne ontologije - SUO (eng. *Standard Upper Ontology*) [140]. Ideja projekta SUO jest definiranje pojmova općenite svrhe i značenja, pa kao takvi mogu poslužiti kao osnova za deriviranje širokoga spektra specifičnih ontologija za pojedina područja.

SUMO (eng. *Suggested Upper Merged Ontology* - www.ontologyportal.org) ontologija nastala je (kao rezultat i prvi zajednički prijedlog SUO inicijative) spajanjem raznih javnosti dostupnih ontologijskih sadržaja u jedinstvenu strukturu. Proces nastajanja SUMO ontologije može se podijeliti u dva koraka. Najprije se identificirao javno dostupni ontološki sadržaj visoke razine apstrakcije koji nije podlijegao nikakvim licenčnim zakonima. Taj je sadržaj uključivao biblioteke ontologija dostupne s *Ontolingua* mrežnoga poslužitelja [141], *Sowainu* ontologiju visoke razine [142], *Rusellovu i Norvigovu* ontologiju [143], vremenske aksiome *Allena* [144], formalnu teoriju cjelina *Casatija i Varzija* [145], *Smithovu* ontologiju granica [146], *Guarinovu* formalnu mereotopologiju [147] i druge različite sadržaje. Pošto je napravljena dekontekstualizacija ontologijskoga sadržaja (poznato i kao udruživanje sintakse), uslijedilo je udruživanje značenja, tj. kombiniranje semantike raznih ontologija u konzistentnu i sveobuhvatnu cjelinu.

Kako bi se objasnila osnovna struktura i sadržaj SUMO ontologije, pogledajmo taksonomiju pojmova najviše razine rječnika [Slika 5.3]. Najviša razina rječnika SUMO ontologije počinje od osnovnoga (korijenskoga) pojma *entitet* koji predstavlja sve što postoji u našem svijetu, pa sukladno tomu specijalizira dvije podvrste - *fizičko* (sve što fizički postoji u prostorno-vremenskom kontinuumu) i *apstraktno* (sve ostalo). Iz pojma *fizičko* specijaliziraju se dalje dvije podvrste: *objekt* (predstavlja općenit *entitet* koji je potpuno fizički prisutan u bilo kojem trenutku svoga postojanja) i *proces* (predstavlja bilo koju održivu pojavu ili pojavu koju karakteriziraju stupnjevane promjene u prostoru i vremenu). Ako se vratimo jednu razinu iznad, *apstraktno* specijalizira podvrste: *atribut*, *koncept*, *količina*, i *relacija*. *Atribut* uključuje karakteristike i svojstva entiteta koji nisu definirani kao *objekt*. Pojam *koncepta* odgovora prikazu misli ili nekoga drugog apstraktnog informacijskog sadržaja. Pojam *količine* predstavlja specifikaciju koliko je čega u svijetu oko nas. Pojam *relacije* jest apstrakcija koja pripada ili je karakteristika uređene grupe *entiteta*, a povezuje dva pojma ili više pojmova (SUMO ontologija podržava mogućnost postojanja i *n*-arnih relacija).

Danas je SUMO kolekcija velikoga broja dobro definiranih i dokumentiranih pojmova, povezanih semantičkom mrežom relacija i popraćenih brojnim aksiomima. Aksiomi u SUMO ontologiji jesu formalizirane definicije pojmova koje pomažu u ograničavanju

interpretacije pojmova, a služe kao vodilje za automatsko zaključivanje na temelju SUMO ontologije.



Slika 5.3: Taksonomija najviše razine rječnika SUMO ontologije

Jedan od aksioma definiranih u SUMO ontologiji može se ilustrirati sljedećim primjerom:

Formalna definicija entiteta FIZIČKO (ime instance naznačeno je znakom ?):

"?FIZIČKO je *Instanca* vrste *Fizičko* ako i samo ako *Postoji* ?LOKACIJA i ?VRIJEME takvo da je ?FIZIČKO *Locirano* na ?LOKACIJA i ?FIZIČKO *Traje* tijekom ?VRIJEME".

Taj se aksiom u SUMO prijedlogu prikazuje upotrebom SUO-KIF [140] (*eng. Standard Upper Ontology Knowledge Interchange Format*) jezika:

```

(↔
  (Instanca ?FIZIČKO Fizičko)
  (Postoji
    (?LOKACIJA, ?VRIJEME)
    (i
      (Locirano ?FIZIČKO ?LOKACIJA)
      (Traje ?FIZIČKO ?VRIJEME))))
  
```

SUO –KIF ima deklarativnu semantiku i omogućuje razumijevanje značenja izraza bez potrebe za tumačem koji manipulira izrazima. SUO-KIF je zamišljen kao jezik prvoga reda i predstavlja dobar kompromis između računalnih zahtjeva vezanih uz automatizirano zaključivanje i bogatstva prikaza [140]. Kao osnovne prednosti SUMO-a u odnosu na ostale ontologije visoke razine možemo izdvojiti sljedeće:

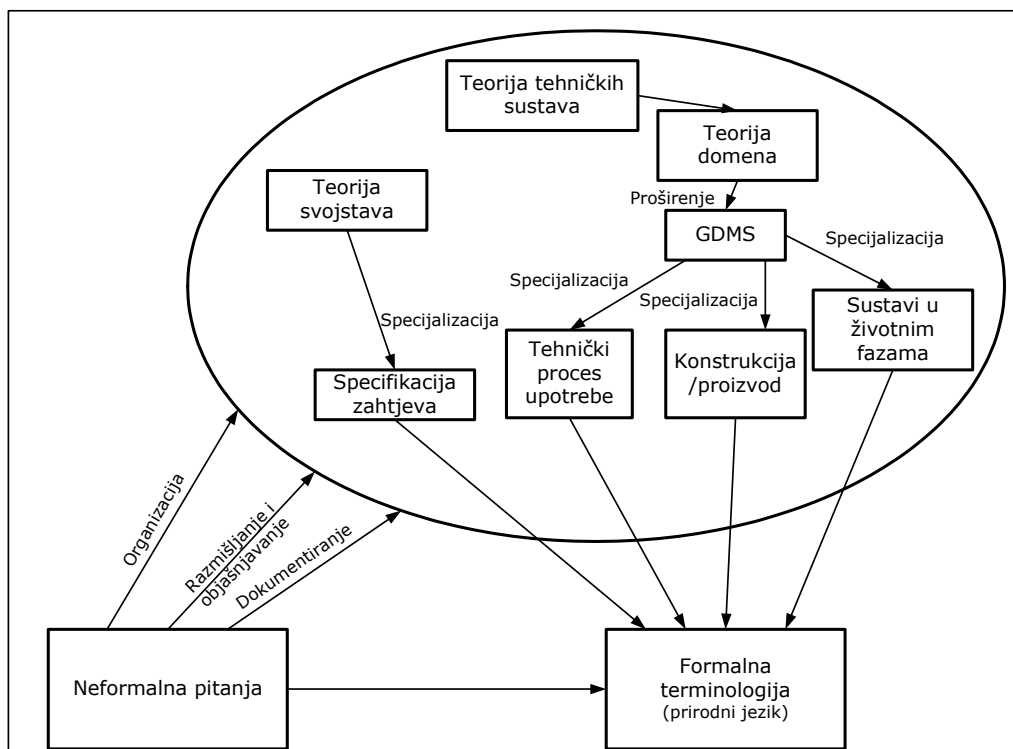
1. SUMO prijedlog nastao je kao rezultat otvorene (*eng. open-source*) zajednice. To znači da potencijalni korisnici mogu s većom sigurnosti računati kako će ontologija koju kreiraju biti kompatibilna i da će je prihvatiti široki krug korisnika.
2. SUMO prijedlog izgrađen je na vrlo pragmatičnim principima, što ga čini posebno pogodnim za tehničku primjenu.

3. SUMO prijedlog jedina je ontologija visoke razine koja je preslikana u cjelokupni WordNet® leksikon (*wordnet.princeton.edu*). To preslikavanje omogućuje povezivanje formalnoga sadržaja izraženog SUMO ontologijom i prirodnih jezika (engleskog u ovom slučaju), prevodeći na taj način teško čitljiv logički zapis postojećih aksioma u oblik prirodnoga jezika.

Prethodno navedene prednosti bile su ključne za odabir SUMO ontologije kao epistemološke osnove istraživanja prikazanog u ovoj disertaciji.

5.4 Modeliranje razine područja

Razina modeliranja područja uspostavlja se skupom formalnih informacijskih struktura koje su ograničene i derivirane na temelju sadržaja epistemološke razine (u našem slučaju proširenjem definicija koje postoje u SUMO ontologiji), a opisuju situaciju na određenom području promatranja. Prema rezultatima prethodnih istraživanja vezanih uz genetički sustav modela konstrukcije [79], znanje o proizvodu kao rezultat procesa razvoja proizvoda grupirano je oko tri konceptualno različita pojma: konstrukcije/proizvoda, tehničkoga procesa upotrebe i transformacijskih sustava u životnom vijeku proizvoda. U ovoj fazi istraživanja postavljeno je mnogo mjerodavnih pitanja kako bi se saznalo više o zaključivanju, sintezi, odabiru, dokumentiranju, poslovnim aspektima, organizacijskim odgovornostima itd., vezanima uz ta tri osnovna područja promatranja [Slika 5.4]. U tom preispitivanju ideja vodilja istraživanja bila je da se tehnički proizvod ne može konstruirati bez artikuliranja i razmatranja proizvoda s raznih aspekata životnoga ciklusa proizvoda. Ova je faza istraživanja rezultirala ekstrakcijom glavnih pojmova i relacija koje čine rječnik za opisivanje i razmjenu znanja o proizvodu.



Slika 5.4: Metodologija modeliranja razine područja

Kao prvi korak u modeliranju na razini područja definirani su najopćenitiji pojmovi, a zatim pojmovi koji su na neki način u odnosu s njima. U ovoj fazi istraživanja mnogi su pojmovi i relacije odbačeni iz razmatranja te su prepoznati i definirani sinonimi, tj. pojmovi i relacije koji imaju isto značenje. Nastojalo se izbjeći i postojanje pojmova i relacija koji bi imali više značenja, pa se u takvim slučajevima ustrajalo na ograničavanju jednoga značenja za jedan pojam. Pojmovi i relacije tada su klasificirani u skladu s podjelom proizašlom iz najviše razine SUMO ontologije. Svrha takvoga grupiranja bila je da se koncepti koji su slični po svojoj prirodi specificiraju zajedno, kao preduvjet za definiranje njihove taksonomije, što je predstavljeno u idućem poglavlju.

5.5 Elementi rječnika i njihova taksonomija

Kao rezultat prethodno opisane analize, definiran je skup pojmova i relacija čije su definicije i taksonomija derivirani proširenjem SUMO ontologije na temelju teoretskih osnova istraživanja. Ovdje treba naglasiti kako je davanje općenitih definicija za sve pojmove i relacije u skladu s teoretskom osnovom bio vrlo zahtjevan zadatak, koji je uzrokovao i određene kompromise i promjene u odnosu na definicije pojedinih pojmova i relacija u ontologiji visoke razine.

Temom disertacije predviđeno je kako će se pretpostavka istraživanja potvrditi specificiranjem rječnika za prikaz i razmjenu znanja o proizvodu primjenom XML tehnologije, koja je danas osnova za većinu rješenja namijenjenih razmjeni informacija i znanja među različitim sustavima unutar pojedinih područja ljudskoga djelovanja (poslovanja, tehničkih disciplina, znanstvenih disciplina, računalnih aplikacija i sl.). Stoga je kao formalni jezik za opisivanje sintakse i semantike u disertaciji prikazanoga rječnika odabran SHOE jezik (*eng. Simple HTML Ontology Extensions*) [128]. Osnovne značajke sintakse ovog proširenja standardnoga HTML jezika (u smislu dodavanja XML ontoloških specifikacija) jesu mogućnost definiranja hijerarhijske klasifikacije vrsta, specificiranje relacija među vrstama te definiranje pravila zaključivanja. Osnovni elementi SHOE jezika jesu oni za prikaz i definiranje osnovnih vrsta pojmova i relacija, zatim tipova podataka, sinonima, konstanti i pravila zaključivanja. Osnovne vrste pojmova i relacija grupirane su prema pripadnosti pojedinoj kategoriji u skladu s najvišom razinom SUMO ontologije i prijedlogom taksonomije za svaku glavnu kategoriju, pa su tako i prikazane u daljnjem tekstu. Radi lakšega praćenja sljedećih poglavlja, najprije ćemo objasniti notaciju svakoga pojedinog elementa SHOE jezika.

Definicija pojmova ima sljedeći oblik:

```
<DEF-POJAM IME="ime_pojma"
```

```
[JE="superkategorija1  
superkategorija2..superkategorijan"]
```

```
[OPIS="tekst"]
```

```
[KRATKO="tekst"]>
```

Ime definiranoga pojma koje obavezno započinje slovom koje slijedi niz alfanumeričkih znakova. Mora biti različito od svih ostalih imena definiranih u rječniku.

Lista ispravnih kategorijskih referenci. Svaka od referenci specificira roditeljsku vrstu.

Opis pojma, čitljiv i razumljiv ljudima. Obično je to jedna rečenica teksta.

Fraza koja se može iskoristiti za dodatno objašnjavanje pojma, a u ovoj disertaciji rabiće se engleska inačica imena.

Definicija relacija ima sljedeći oblik:

<pre><DEF-RELACIJA IME="ime_relacije" [OPIS="tekst"] [KRATKO="tekst"]> argumenti </DEF-RELACIJA></pre>	<p>Ime definirane relacije koje obavezno započinje slovom što slijedi niz alfanumeričkih znakova. Mora biti različito od svih ostalih imena definiranih u rječniku.</p> <p>Opis relacije, čitljiv i razumljiv ljudima. Obično je to jedna rečenica teksta.</p> <p>Fraza koja se može iskoristiti za dodatno objašnjavanje relacije, a u ovoj disertaciji rabiće se engleska inačica imena.</p> <p>Lista od dva imenovana argumenta. Argumenti su iz skupa definiranih pojmova, pa su obavezni.</p> <p>Završetak definicije.</p>
--	---

Definicija argumenata ima sljedeći oblik:

<pre><DEF-ARG POZ=("OD" "PREMA") TIP="tip_podatka" [KRATKO="tekst"]></pre>	<p>Pozicija je obavezna. OD/PREMA vrijednosti rabe se kako bi se točno definirala pozicija prvoga i drugoga argumenta u relaciji (za binarne relacije).</p> <p>Tip argumenta je obavezan. On mora biti ispravna referenca na osnovne tipove podatka gornje ontologije, pojmove ili tipove podataka definirane u specifičnoj ontologiji.</p> <p>Fraza koja se može iskoristiti za dodatno objašnjavanje argumenta.</p>
--	---

Definicija sinonima ima sljedeći oblik:

<pre><DEF-SINONIM OD="ime_pojma/relacije" JE="novo ime"></pre>	<p>Referenca na pojam ili relaciju za koju će biti definiran sinonim. Referenca mora biti ispravna, kako bi se mogla ispravno locirati vrsta. Referenca je obavezna.</p> <p>Novo ime pojma ili relacije, koje obavezno započinje slovom što ga slijedi niz alfanumeričkih znakova. Novo je ime vrste obavezno i mora biti različito od svih ostalih imena definiranih u rječniku.</p>
---	---

Definicija prikaza pravila bit će detaljnije objašnjena u poglavlju u kojem će se opisati osnovni aksiomi za karakterizaciju relacija, definirani kao dodatak rječniku.

5.5.1 Taksonomija objekata

Pojam *objekta* u SUMO ontologiji odgovara vrsti fizičkih entiteta koji postoje u svijetu oko nas. *Objekti* se, sukladno SUMO-u, specijaliziraju kao:

- *Biološki objekti* - objekti koji postoje i djeluju samostalno i samosvjesno, pa su sposobni izazivati promjene u okolini
- *Materijalni objekti* - objekti koji su nežive složene ili jednostavne stvari
- *Sadržajni objekti* - objekti koji izražavaju informacije

- *Zbirke* - kolekcije objekata čiji članovi imaju fizičku poziciju u prostoru i vremenu.

Definicija *objekta* prema SUMO glasi:

"Nešto čije se prostorno-vremensko postojanje promatra dijeljenjem u prostorno prisutne elemente paralelne u istoj vremenskoj osi."

Taksonomija pojmova koji su kategorizirani kao objekti prikazana je na slici [Slika 5.5].

5.5.1.1 BIOLOŠKI OBJEKTI

<DEF-POJAM IME="Čovjek"

[JE="Biološki objekt"]

[OPIS="bilo koje ljudsko biće, pripadnik obitelji hominida, koje može imati ulogu operatora ili operanda u procesu"]

[KRATKO="Human, Person"]>

<DEF-SINONIM OD="Čovjek"

[JE="Osoba"]

5.5.1.2 MATERIJALNI OBJEKTI

<DEF-POJAM IME="Artefakt"

[JE="Materijalni objekt"]

[OPIS="materijalni objekt koji je rezultat procesa izradbe"]

[KRATKO="Artifact"]>

<DEF-POJAM IME="Proizvod"

[JE="Artefakt"]

[OPIS="artefakt koji je proizveden s namjerom da bude prodan"]

[KRATKO="Product"]>

<DEF-POJAM IME="Tehnički proizvod"

[JE="Proizvod"]

[OPIS="proizvod koji u tehničkom procesu upotrebe ostvaruje efekte potrebne za transformaciju operanda iz početnoga stanja u konačno"]

[KRATKO="Technical product"]>

<DEF-POJAM IME="Transformacijski organizam"

[JE="Tehnički proizvod"]

[OPIS="složeni tehnički proizvod koji se razmatra analogno strukturi ili funkcioniranju biološkog objekta"]

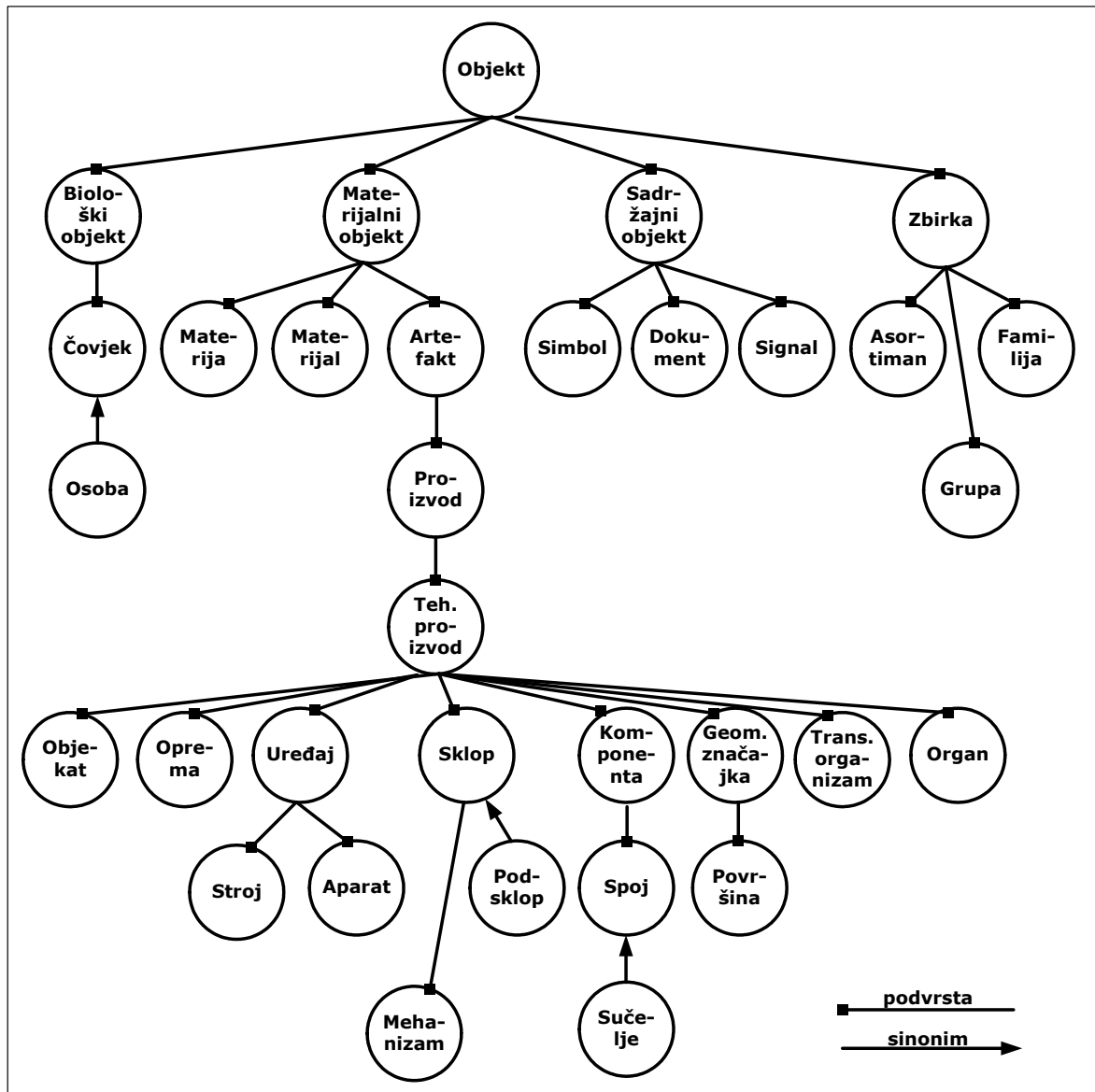
[KRATKO="Transformational organism"]>

<DEF-POJAM IME="Organ"

[JE="Tehnički proizvod"]

[OPIS="jednostavan tehnički proizvod koji se promatra kao strukturni element transformacijskog organizma te ostvaruje neku osobitu funkciju"]

[KRATKO="Organ"]>

Slika 5.5: Taksonomija pojmova koji su kategorizirani kao *objekti*

<DEF-POJAM IME="Komponenta"

[JE="Tehnički proizvod"]

[OPIS="jednostavan tehnički proizvod koji ostvaruje točno određeni zadatak u realizaciji neke funkcije i proizvodi se bez operacija sklapanja ili spajanja"]

[KRATKO="Engineering Component"]>

<DEF-POJAM IME="Spoj"

[JE="Komponenta"]

[OPIS="komponenta koja je fizička veza između dvije ili više ostalih komponenti"]

[KRATKO="Engineering connection, Interface"]>

<DEF-SINONIM OD="Spoj"

[JE="Sučelje"]

<DEF-POJAM IME="Sklop"

[JE="Tehnički proizvod"]

[OPIS="skup komponenti koje pristaju zajedno te tako oblikuju samodovoljnu tehničku cjelinu koja je strukturni dio uređaja"]

[KRATKO="Assembly, Subassembly"]>

<DEF-SINONIM OD="Sklop"

[JE="Podsklop"]

<DEF-POJAM IME="Mehanizam"

[JE="Sklop"]

[OPIS="strukturni dio uređaja koji svojim elementima ostvaruje zadatak vezan uz prijenos gibanja"]

[KRATKO="Mechanism"]>

<DEF-POJAM IME="Uređaj"

[JE="Tehnički proizvod"]

[OPIS="složen tehnički proizvod kojemu je svrha biti instrument tehničkoga procesa"]

[KRATKO="Device"]>

<DEF-POJAM IME="Stroj"

[JE="Uređaj"]

[OPIS="mehanički ili električni uređaj koji svojim pomičnim elementima mijenja energiju, materijal i informacije"]

[KRATKO="Machine"]>

<DEF-POJAM IME="Aparat"

[JE="Uređaj"]

[OPIS="mehanički ili električni uređaj koji svojim nepomičnim elementima mijenja energiju, materijal i informacije"]

[KRATKO="Apparatus"]>

<DEF-POJAM IME="Oprema"

[JE="Tehnički proizvod"]

[OPIS="složen tehnički proizvod s fiksnom prostornom lokacijom, kojoj je svrha obavljanje većega broja kompleksnih funkcija"]

[KRATKO="Equipment"]>

<DEF-POJAM IME="Objekat"

[JE="Tehnički proizvod"]

[OPIS="složen tehnički proizvod koji s fiksnom prostornom lokacijom i svrhom sa obavlja komplekse procese transformacije"]

[KRATKO="Technical plant"]>

<DEF-POJAM IME="Geometrijska značajka"

[JE="Tehnički proizvod"]

[OPIS="karakterističan dio oblika tehničkoga proizvoda"]

[KRATKO="Form feature"]>

<DEF-POJAM IME="Površina"

[JE="Geometrijska značajka"]

[OPIS="vanjska granica oblika tehničkoga proizvoda ili materijalni sloj koji određuje granicu tehničkoga proizvoda"]

[KRATKO="Surface"]>

<DEF-POJAM IME="Materija"

[JE="Materijalni objekt"]

[OPIS="ono što zauzima prostor, ima masu i posjeduje inerciju"]

[KRATKO="Matter"]>

<DEF-POJAM IME="Materijal"

[JE="Materijalni objekt"]

[OPIS="materija točno određene vrste od koje se izrađuju materijalni objekti"]

[KRATKO="Material"]>

5.5.1.3 SADRŽAJNI OBJEKTI

<DEF-POJAM IME="Dokument"

[JE="Sadržajni objekt"]

[OPIS="sadržajni objekt u kojem je zapisana informacija "]

[KRATKO="Document"]>

<DEF-POJAM IME="Simbol"

[JE="Sadržajni objekt"]

[OPIS="sadržajni objekt koji tijekom komunikacije služi za izražavanje informacije na različite načine"]

[KRATKO="Symbol"]>

<DEF-POJAM IME="Signal"

[JE="Sadržajni objekt"]

[OPIS="sadržajni objekt koji tijekom komunikacije prenosi informaciju"]

[KRATKO="Signal"]>

5.5.1.4 ZBIRKE

<DEF-POJAM IME="Asortiman"

[JE="Zbirka"]

[OPIS="zbirka koja sadrži razne vrste materijalnih objekata"]

[KRATKO="Assortment"]>

```
<DEF-POJAM IME="Familija"
  [JE="Zbirka"]
  [OPIS="zbirka koja sadrži različite varijante iste vrste materijalnih objekata"]
  [KRATKO="Family"]>
```

```
<DEF-POJAM IME="Grupa"
  [JE="Zbirka"]
  [OPIS="bilo koji broj ljudi koji rade zajedno"]
  [KRATKO="Group"]>
```

5.5.2 Taksonomija procesa

Po svojoj prirodi *proces* služe za ostvarenje dvaju tipova promjena: promjenu vrste i promjenu stanja. U procesu izgaranja na primjer, postoji transformacija neke količine goriva u toplinsku energiju i ispušne plinove. Suprotno tome, zagrijavanje leda uključuje promjenu stanja određene količine vode iz smrznutoga u tekuće, tj. voda sama po sebi nije uništena, nego joj je promijenjeno agregatno stanje. Za *proces* se može reći kako predstavlja vrstu fizičkih entiteta koji se odvijaju u vremenu i imaju vremenske etape ili stanja. Za bolje opisivanje procesa razvoja proizvod, od posebnog su interesa namjerni psihološki procesi kao npr. planiranje, klasifikacija, učenje, zaključivanje, odabir, usporedba, predviđanje itd., koji su izvan granica istraživanja prikazanih u ovoj disertaciji, jer pripadaju opisu procesu konstruiranja, a ne konstrukciji samoj.

Definicija *proces* prema SUMO glasi:

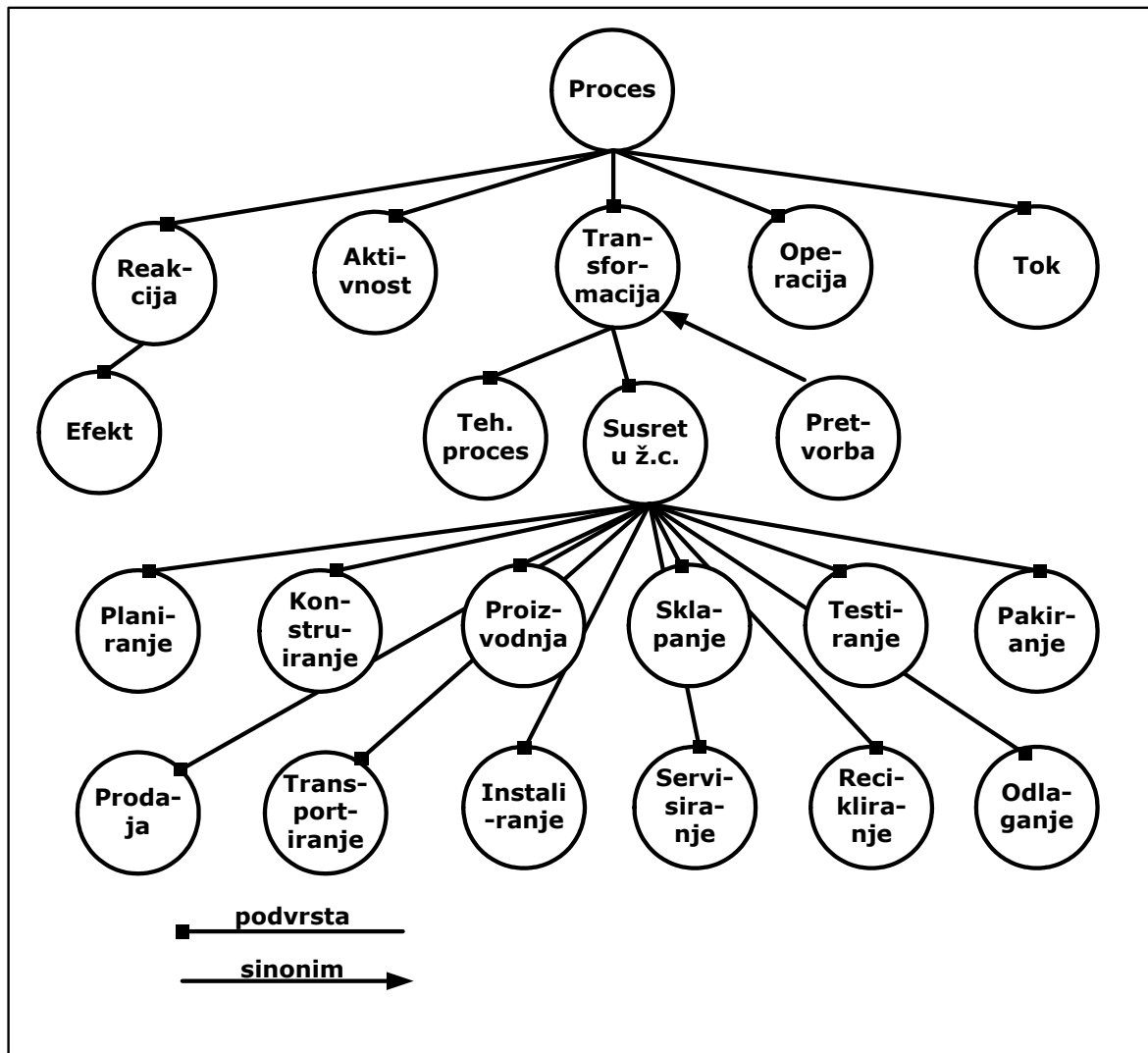
"Fizički entitet koji se odvija kroz neki vremenski interval, ali nije objekt.
Procesi imaju sudionike s ključnim ulogama u procesu."

Taksonomija pojmova koji su kategorizirani kao procesi prikazana je na slici [Slika 5.6].

```
<DEF-POJAM IME="Operacija"
  [JE="Proces"]
  [OPIS="korak u seriji uzastopnih djelovanja praktične ili tehničke prirode koji je uključen u izvođenje transformacije"]
  [KRATKO="Operation"]>
```

```
<DEF-POJAM IME="Aktivnost"
  [JE="Proces"]
  [OPIS="bilo koji specifični postupak koji je uključen u izvođenje tehničkog procesa"]
  [KRATKO="Activity"]>
```

```
<DEF-POJAM IME="Transformacija"
  [JE="Proces"]
  [OPIS="proces kvalitativne ili kvantitativne promjene, događaj koji nastaje kad nešto prolazi ili se transformira iz jednoga stanja u drugo"]
  [KRATKO="Transformation, Changing"]>
```

Slika 5.6: Taksonomija pojmova koji su kategorizirani kao *proces*

<DEF-SINONIM OD="Transformacija"

[JE="Pretvorba"]

<DEF-POJAM IME="Tehnički proces"

[JE="Transformacija"]

[OPIS="proces eksploatacije (upotrebe) tehničkoga proizvoda tijekom kojega se ostvaruju potrebni efekti za svrhovitu transformaciju operanda; u ovoj transformaciji tehnički proizvod ima ulogu operatora"]

[KRATKO="Technical process"]>

<DEF-POJAM IME="Susret u životnom ciklusu"

[JE="Transformacija"]

[OPIS="susret tehničkoga proizvoda s drugim tehničkim sustavima, okolinom i ljudima tijekom raznih životnih faza; u ovoj transformaciji tehnički proizvod ima ulogu operanda"]

[KRATKO="Life-cycle meeting"]>

<DEF-POJAM IME="Planiranje "

[JE="Susret u životnom ciklusu"]

[OPIS="susret kojim se na temelju potreba i ideja kreira skup zahtjeva za razvoj tehničkog proizvoda"]

[KRATKO="Planning"]>

<DEF-POJAM IME="Konstruiranje"

[JE="Susret u životnom ciklusu"]

[OPIS="susret koji čini skup raznih aktivnosti da bi se ispunio skup zahtjeva te kreirao potpuni opisa tehničkoga proizvoda - konstrukcije i prijedloga postupka njegove izradbe"]

[KRATKO="Designing"]>

<DEF-POJAM IME="Proizvodnja"

[JE="Susret u životnom ciklusu"]

[OPIS="susret kojim se od materijala fizički stvaraju komponente tehničkoga proizvoda na osnovi konstrukcije"]

[KRATKO="Manufacturing"]>

<DEF-POJAM IME="Sklapanje"

[JE="Susret u životnom ciklusu"]

[OPIS="susret kojim se spajanjem jednostavnijih tehničkih proizvoda kreira kompleksniji tehnički proizvod"]

[KRATKO="Assembling"]>

<DEF-POJAM IME="Testiranje"

[JE="Susret u životnom ciklusu"]

[OPIS="susret kojim se testira funkcionalnost tehničkoga proizvoda"]

[KRATKO="Testing"]>

<DEF-POJAM IME="Pakiranje"

[JE="Susret u životnom ciklusu"]

[OPIS="susret kojim se tehnički proizvod priprema za transport do krajnjega korisnika ili mjesta prodaje"]

[KRATKO="Packaging"]>

<DEF-POJAM IME="Prodaja"

[JE="Susret u životnom ciklusu"]

[OPIS="susret kojim se tehnički proizvod prodaje korisniku"]

[KRATKO="Selling"]>

<DEF-POJAM IME="Transportiranje"

[JE="Susret u životnom ciklusu"]

[OPIS="susret kojim se tehnički proizvod premješta s jednoga mjesta na drugo"]

[KRATKO="Transporting"]>

<DEF-POJAM IME="Instaliranje"

[JE="Susret u životnom ciklusu"]

[OPIS="susret kojim se tehnički proizvod priprema za upotrebu"]

[KRATKO="Installing"]>

<DEF-POJAM IME="Servisiranje"

[JE="Susret u životnom ciklusu"]

[OPIS="susret kojim se tehnički proizvod održava da bi očuvao svoju funkcionalnost"]

[KRATKO="Servicing"]>

<DEF-POJAM IME="Recikliranje"

[JE="Susret u životnom ciklusu"]

[OPIS="susret kojim se tehnički proizvod nakon razdoblja upotrebe rastavlja na sastavne materijale da bi ponovo poslužili za proizvodnju"]

[KRATKO="Recycling"]>

<DEF-POJAM IME="Odlaganje"

[JE="Susret u životnom ciklusu"]

[OPIS="susret kojim se otpadni, nerazgradivi i štetni materijali od kojih je tehnički proizvod bio izrađen zbrinjavaju nakon uporabe"]

[KRATKO="Disposing"]>

<DEF-POJAM IME="Reakcija"

[JE="Proces"]

[OPIS="proces potaknut pod utjecajem vanjskoga podražaja"]

[KRATKO="Reaction"]>

<DEF-POJAM IME="Efekt"

[JE="Reakcija"]

[OPIS="reakcija uzrokovana nekim procesom"]

[KRATKO="Effect"]>

<DEF-POJAM IME="Tok"

[JE="Proces"]

[OPIS="kontinuirani, neprekinuti proces"]

[KRATKO="Flow"]>

5.5.3 Taksonomija *atributa*

O *atributima* je već bilo govora u poglavlju 5.2. S obzirom na to da u teoretske osnove ove disertacije ulazi i teorija svojstava, trebalo je, posebno na najvišoj razini, specijalizirati *attribute konstrukcije*. *Atributi konstrukcije*, prema teoretskim osnovama prikazanima u poglavlju 3.3.3, mogu se specijalizirati kao *unutarnji (karakteristike konstrukcije)* i *vanjski (svojstva konstrukcije)*. *Unutarnji atributi* su svi oni atributi koji opisuju konstituciju konstrukcije/proizvoda, kao npr. oblik, izmjere, površine, strukturu, itd. *Vanjski atributi* su atributi koje konstrukcija posjeduje postojanjem *unutarnjih*

atributa i utjecaja iz okoline. Neki od *vanjskih atributa* su relacijski, tj. opisuju ponašanje susreta između konstrukcije/proizvoda i sustava u životnom ciklusu proizvoda, dok su ostali nasljedni i opisuju ponašanje konstrukcije/proizvoda u određenoj okolini. Osim *atributa konstrukcije*, važni su i *organizacijski atributi* zbog administrativnih zadataka. Definicija atributa prema SUMO glasi:

"Razlikovna kvaliteta *entiteta*."

Taksonomija pojmova koji su kategorizirani kao *atributi* prikazana je na slici [Slika 5.7]. Taksonomija *relacijskih svojstava konstrukcije* prikazana je na slici [Slika 5.8].

5.5.3.1 ORGANIZACIJSKI ATRIBUTI

<DEF-POJAM IME="Identitet"

[JE="Organizacijski atribut"]

[OPIS="atribut prema kojem je entitet jednoznačno prepoznatljiv"]

[KRATKO="ID"]>

<DEF-POJAM IME="Ime"

[JE="Organizacijski atribut"]

[OPIS="atribut koji se rabi za imenovanje entiteta"]

[KRATKO="Name"]>

<DEF-POJAM IME="Vrijeme nastanka"

[JE="Organizacijski atribut"]

[OPIS="atribut koji predstavlja vremensku točku u apsolutnom vremenu u kojem je entitet nastao"]

[KRATKO="Time stamp"]>

<DEF-POJAM IME="Faza"

[JE="Organizacijski atribut"]

[OPIS="atribut koji označuje razlikovno stanje entiteta u određenom nizu događaja"]

[KRATKO="Phase"]>

<DEF-POJAM IME="Stanje"

[JE="Organizacijski atribut"]

[OPIS="atribut koji označuje situaciju u kojoj entitet je trenutačno, gledano u odnosu na njegove glavne atribute"]

[KRATKO="State"]>

<DEF-SINONIM OD="Stanje"

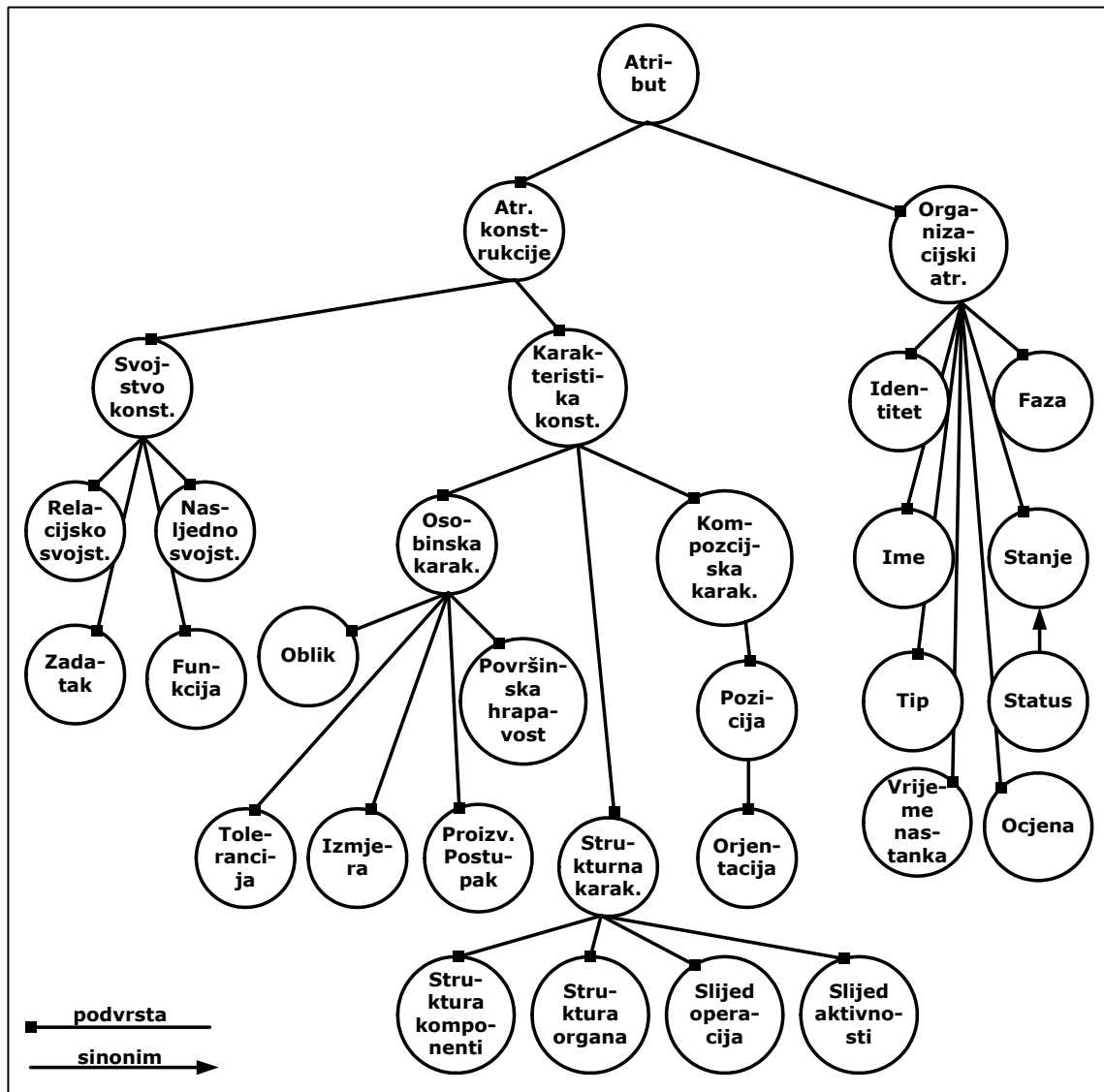
[JE="Status"]

<DEF-POJAM IME="Tip"

[JE="Organizacijski atribut"]

[OPIS="atribut koji označuje podvrstu specifične vrste entiteta"]

[KRATKO="Type"]>

Slika 5.7: Taksonomija pojmova koji su kategorizirani kao *Atributi*

<DEF-POJAM IME="Ocjena"

[JE="Organizacijski atribut"]

[OPIS="atribut koji označuje vrijednost entiteta u odnosu na postavljene kriterije"]

[KRATKO="Rate"]>

5.5.3.2 KARAKTERISTIKE KONSTRUKCIJE

<DEF-POJAM IME="Strukturalna karakteristika"

[JE="Karakteristika konstrukcije"]

[OPIS="način dispozicije sastavnih elemenata neke cjeline"]

[KRATKO="Structural characteristic"]>

<DEF-POJAM IME="Strukturalna komponenti"

[JE="Strukturalna karakteristika"]

[OPIS="hijerarhijska strukturalna komponenti, sklopova, strojeva, objekata"]

[KRATKO="Component structure"]>

<DEF-POJAM IME="Struktura organa"

[JE="Strukturna karakteristika"]

[OPIS="hijerarhijska struktura organa i transformacijskih organizma"]

[KRATKO="Organ structure"]>

<DEF-POJAM IME="Slijed operacija"

[JE="Strukturna karakteristika"]

[OPIS="struktura koja opisuje osnovne korake za realizaciju procesa transformacije"]

[KRATKO="Operation chain"]>

<DEF-POJAM IME="Slijed aktivnosti"

[JE="Strukturna karakteristika"]

[OPIS="struktura koja opisuje radni princip tehničkoga sustava"]

[KRATKO="Activity chain"]>

<DEF-POJAM IME="Osobinska karakteristika"

[JE="Karakteristika konstrukcije"]

[OPIS="karakteristika koja definira osobine tehničkoga proizvoda"]

[KRATKO="Beschaffenheit characteristic"]>

<DEF-POJAM IME="Izmjera"

[JE="Osobinska karakteristika"]

[OPIS="izmjerena vrijednost mjerljive veličine duljine"]

[KRATKO="Dimension"]>

<DEF-POJAM IME="Površinska hrapavost"

[JE="Osobinska karakteristika"]

[OPIS="sveukupnost mikrogeometrijskih nepravilnosti površine"]

[KRATKO="Surface texture"]>

<DEF-POJAM IME="Oblik"

[JE="Osobinska karakteristika"]

[OPIS="prostorna karakteristika tehničkoga proizvoda definirana oplošjem"]

[KRATKO="Form"]>

<DEF-POJAM IME="Tolerancija"

[JE="Osobinska karakteristika"]

[OPIS="dopušteno odstupanje mjerljive veličine duljine od nazivne veličine"]

[KRATKO="Tolerance"]>

<DEF-POJAM IME="Proizvodni postupak"

[JE="Osobinska karakteristika"]

[OPIS="postupak izradbe komponenti tehničkog proizvoda"]

[KRATKO="Manufacturing method"]>

<DEF-POJAM IME="Kompozicijska karakteristika"

[JE="Karakteristika konstrukcije"]

[OPIS="karakteristike koje opisuju međusobni prostorni položaj materijalnih objekata"]

[KRATKO="Composition characteristic"]>

<DEF-POJAM IME="Pozicija"

[JE="Kompozicijska karakteristika"]

[OPIS="položaj materijalnih objekta u prostoru relativno u odnosu na specifične točke u prostoru"]

[KRATKO="Position"]>

<DEF-POJAM IME="Orijentacija"

[JE="Pozicija"]

[OPIS="položaj materijalnih objekta u prostoru relativno u odnosu prema određenom smjeru"]

[KRATKO="Orientation"]>

5.5.3.3 SVOJSTVA KONSTRUKCIJE

<DEF-POJAM IME="Funkcija"

[JE="Svojstvo konstrukcije"]

[OPIS="svrha za koju je tehnički proizvod napravljen i za što se rabi"]

[KRATKO="Function"]>

<DEF-POJAM IME="Zadatak"

[JE="Svojstvo konstrukcije"]

[OPIS="poseban dio funkcije koji realizira pojedina komponenta tehničkoga proizvoda"]

[KRATKO="Task"]>

<DEF-POJAM IME="Nasljedno svojstvo konstrukcije"

[JE="Svojstvo konstrukcije"]

[OPIS="svojstvo koje opisuje ponašanje tehničkoga proizvoda u određenoj radnoj okolini, ovisno o materijalu, proizvodnom postupku, toplinskoj obradbi itd."]

[KRATKO="Inherent property"]>

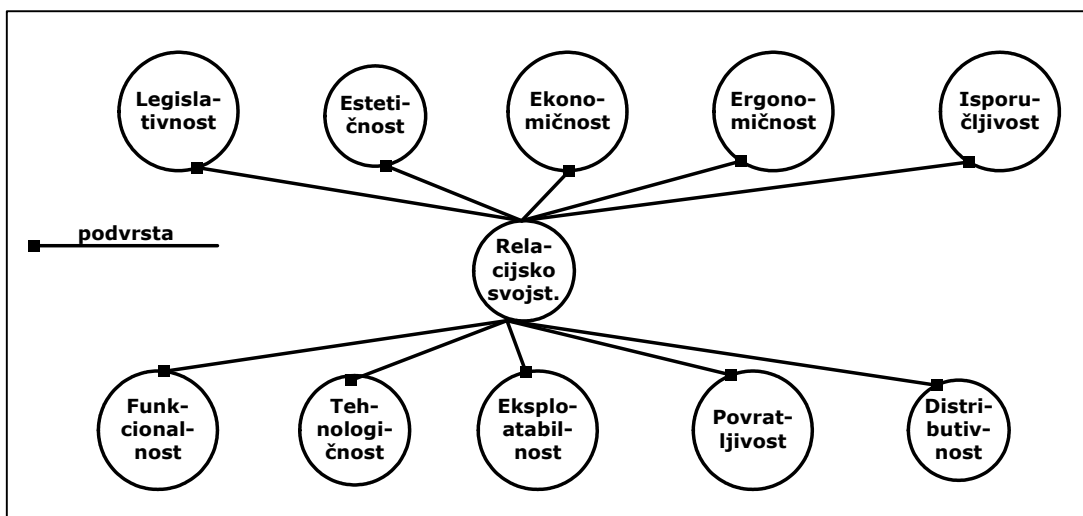
<DEF-POJAM IME="Relacijsko svojstvo konstrukcije"

[JE="Svojstvo konstrukcije"]

[OPIS="svojstvo koje opisuje ponašanje susreta između tehničkoga proizvoda i drugih sustava tijekom njegova životnog ciklusa"]

[KRATKO="Relational property"]>

5.5.3.4 RELACIJSKA SVOJSTVA KONSTRUKCIJE



Slika 5.8: Taksonomija pojmova koji su kategorizirani kao *Relacijska svojstva konstrukcije*

DEF-POJAM IME="Funkcionalnost"

[JE="Relacijsko svojstvo konstrukcije"]

[OPIS="skup svojstava koja proizlaze iz funkcionalnosti tehničkoga proizvoda"]

[KRATKO="Functionally property"]>

DEF-POJAM IME="Legislativnost"

[JE="Relacijsko svojstvo konstrukcije"] odgovara

[OPIS="skup svojstava koja potvrđuju li tehnički sustav zakonskoj regulativi, kodeksu struke ili standardima"]

[KRATKO="Law conformance property"]>

DEF-POJAM IME="Ekonomičnost"

[JE="Relacijsko svojstvo konstrukcije"]

[OPIS="skup svojstava koja govore o ekonomskim aspektima razvoja proizvoda"]

[KRATKO="Economic property"]>

DEF-POJAM IME="Estetičnost "

[JE="Relacijsko svojstvo konstrukcije"]

[OPIS="skup svojstava koja opisuju filozofsko stajalište o tome koliko je nešto lijepo"]

[KRATKO="Aesthetic property"]>

DEF-POJAM IME="Ergonomičnost"

[JE="Relacijsko svojstvo konstrukcije"]

[OPIS="skup svojstava koja proizlaze iz odnosa čovjek - tehnički proizvod"]

[KRATKO="Ergonomic property"]>

DEF-POJAM IME="Tehnologičnost"

[JE="Relacijsko svojstvo konstrukcije"]

[OPIS="skup svojstava koja proizlaze iz aktivnosti fizičke izradbe tehničkoga proizvoda"]

[KRATKO="Manufacturing property"]>

DEF-POJAM IME="Distributivnost"

[JE="Relacijsko svojstvo konstrukcije"]

[OPIS="skup svojstava koja proizlaze iz aktivnosti distribuiranja i prodaje tehničkih proizvoda"]

[KRATKO="Distribution property"]>

DEF-POJAM IME="Isporučljivost"

[JE="Relacijsko svojstvo konstrukcije"]

[OPIS="skup svojstava koja proizlaze iz aktivnosti isporuke i planiranja tehničkoga proizvoda"]

[KRATKO="Delivery and planning property"]>

DEF-POJAM IME="Eksploatabilnost"

[JE="Relacijsko svojstvo konstrukcije"]

[OPIS="skup svojstava koja proizlaze iz faze eksploatacije tehničkoga proizvoda"]

[KRATKO="Operational property"]>

DEF-POJAM IME="Povratljivost"

[JE="Relacijsko svojstvo konstrukcije"]

[OPIS="skup svojstava koja proizlaze iz aktivnosti zbrinjavanja tehničkoga proizvoda nakon faze upotrebe"]

[KRATKO="Liquidation property"]>

5.5.4 Taksonomija *konceptata*

Koncepti su apstraktni entiteti koji opisuju općenitu ideju. Važno je razlikovati *koncepte* koji predstavljaju apstraktne entitete (ideje) od *sadržajnih objekata* koji fizički prikazuju te entitete.

Definicija konceptata prema SUMO glasi:

"Apstraktni entiteti koji izražavaju kompletne misli ili skupove misli."

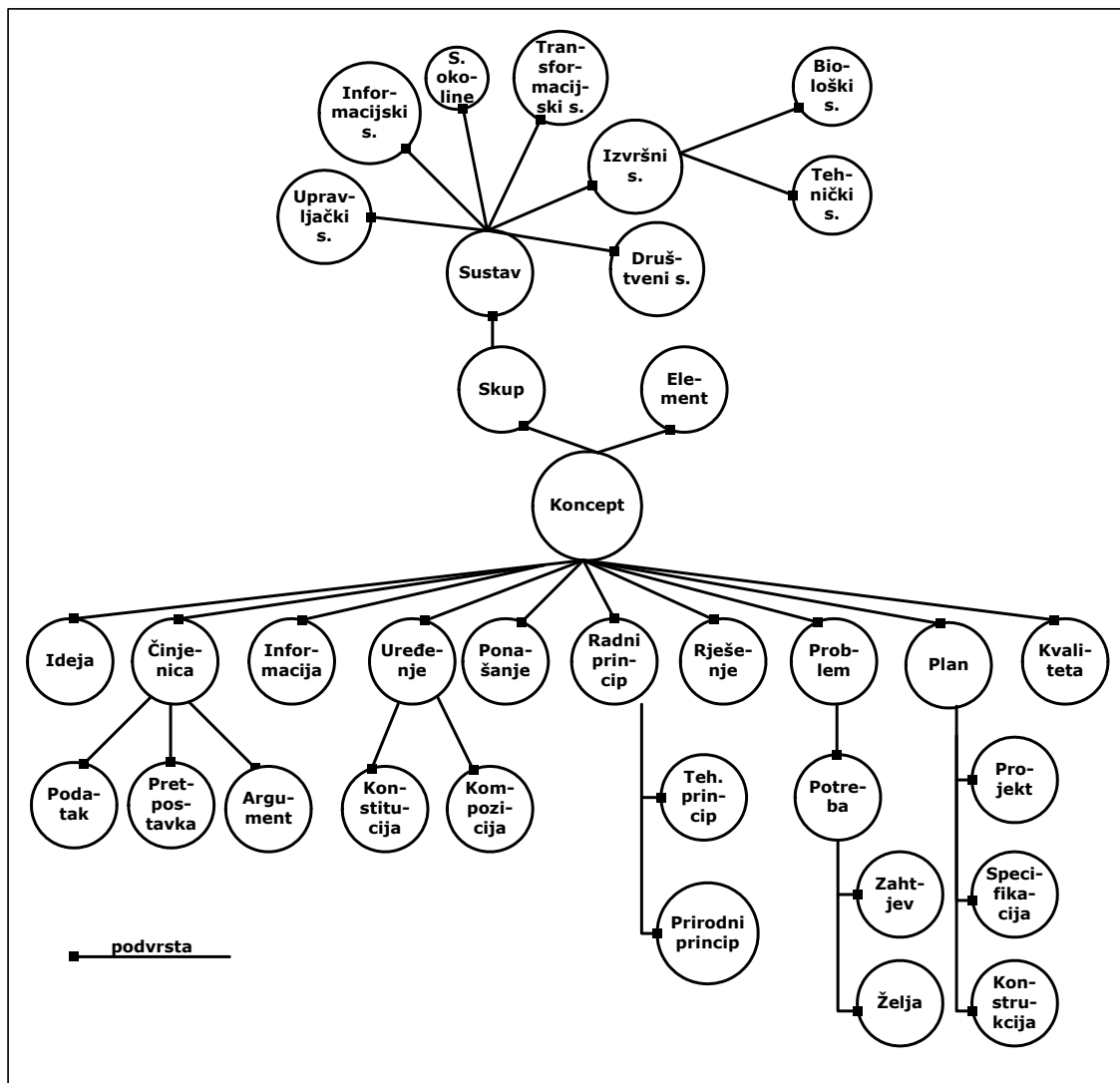
Taksonomija pojmova koji su kategorizirani kao *koncepti* prikazana je na slici [Slika 5.9].

<DEF-POJAM IME="Ideja"

[JE="Koncept"]

[OPIS="sadržaj spoznaje, nešto o čemu se razmišlja"]

[KRATKO="Idea"]>

Slika 5.9: Taksonomija pojmova koji su kategorizirani kao *koncepti*

DEF-POJAM IME="Činjenica"

[JE="Koncept"]

[OPIS="koncept kojega se istinitost može dokazati"]

[KRATKO="Fact"]>

<DEF-POJAM IME="Podatak"

[JE="Činjenica"]

[OPIS="činjenica koja je proizašla kao rezultat mjerenja ili istraživanja"]

[KRATKO="Data"]>

<DEF-POJAM IME="Pretpostavka"

[JE="Činjenica"]

[OPIS="činjenica koja se uzima u obzir kao istinita"]

[KRATKO="Assumption"]>

- <DEF-POJAM IME="Argument"
[JE="Činjenica"]
[OPIS="činjenica kojom se potvrđuje istinitost"]
[KRATKO="Argument"]>
- <DEF-POJAM IME="Informacija"
[JE="Koncept"]
[OPIS="grupa činjenica na temelju kojih se mogu izvesti zaključci proučavanjem, iskustvom ili formalnim metodama"]
[KRATKO="Information"]>
- <DEF-POJAM IME="Uređenje"
[JE="Koncept"]
[OPIS="način na koji su entiteti međusobno složeni"]
[KRATKO="Arrangement"]>
- <DEF-POJAM IME="Konstitucija"
[JE="Uređenje"]
[OPIS="međusobno uređenje jednostavnih objekata od kojih je fizički složen kompleksniji objekt"]
[KRATKO="Constitution"]>
- <DEF-POJAM IME="Kompozicija"
[JE="Uređenje"]
[OPIS="međusobno uređenje elemenata u cjelini"]
[KRATKO="Composition"]>
- <DEF-POJAM IME="Ponašanje"
[JE="Koncept"]
[OPIS="način na koji entitet djeluje u određenim uvjetima"]
[KRATKO="Behaviour"]>
- <DEF-POJAM IME="Radni princip"
[JE="Koncept"]
[OPIS="način izvođenja tehničkoga procesa ili rada tehničkoga sustava"]
[KRATKO="Technology"]>
- <DEF-POJAM IME="Tehnički princip"
[JE="Radni princip"]
[OPIS="radni princip zasnovan na tehničkim dostignućima"]
[KRATKO="Technical principle"]>
- <DEF-POJAM IME="Prirodni princip"
[JE="Radni princip"]
[OPIS="radni princip zasnovan na prirodnim zakonima"]
[KRATKO="Natural principle"]>

<DEF-POJAM IME="Problem"

[JE="Koncept"]

[OPIS="koncept koji zahtijeva rješavanje"]

[KRATKO="Problem"]>

<DEF-POJAM IME="Potreba"

[JE="Problem"]

[OPIS="svojsstvo ili karakteristika proizvoda koja nedostaje"]

[KRATKO="Need"]>

<DEF-POJAM IME="Zahtjev"

[JE="Potreba"]

[OPIS="potreba koju proizvod mora obavezno zadovoljiti"]

[KRATKO="Requirement"]>

<DEF-POJAM IME="Želja"

[JE="Potreba"]

[OPIS="potreba koju proizvod nije nužan obavezno zadovoljiti"]

[KRATKO="Wish"]>

<DEF-POJAM IME="Rješenje"

[JE="Koncept"]

[OPIS="koncept kojim se objašnjava metodologija rješavanja postavljenoga problema"]

[KRATKO="Solution"]>

<DEF-POJAM IME="Plan"

[JE="Koncept"]

[OPIS="serija operacija koje treba poduzeti kako bi se postigao neki cilj"]

[KRATKO="Plan"]>

<DEF-POJAM IME="Projekt"

[JE="Plan"]

[OPIS="detaljno definiran plan koji uključuje potrebne resurse i ograničenja"]

[KRATKO="Project"]>

<DEF-POJAM IME="Specifikacija"

[JE="Plan"]

[OPIS="detaljan opis konstrukcijskih kriterija za neki tehnički proizvod"]

[KRATKO="Specification"]>

<DEF-POJAM IME="Konstrukcija"

[JE="Plan"]

[OPIS="plan tehničkoga procesa koji je usmjeren prema zadovoljenju potreba te prikaz konstitucije i ponašanja tehničkoga proizvoda koji sudjeluje u tom procesu"]

[KRATKO="Design"]>

<DEF-POJAM IME="Kvaliteta"

[JE="Koncept"]

[OPIS="stupanj izvrsnosti promatranog entiteta"]

[KRATKO="Quality"]>

<DEF-POJAM IME="Element"

[JE="Koncept"]

[OPIS="jedinka koja je dio skupa u apstraktnom smislu"]

[KRATKO="Element"]>

<DEF-POJAM IME="Skup"

[JE="Koncept"]

[OPIS="kompozicija elemenata koji se razmatraju zajedno"]

[KRATKO="Whole"]>

<DEF-POJAM IME="Sustav"

[JE="Skup"]

[OPIS="uređen i organiziran skup elemenata"]

[KRATKO="System"]>

<DEF-POJAM IME="Transformacijski sustav"

[JE="Sustav"]

[OPIS="sustav koji sadrži elemente i utjecaje potrebne za izvođenje transformacije"]

[KRATKO="Transformation system"]>

<DEF-POJAM IME="Informacijski sustav"

[JE="Sustav"]

[OPIS="sustav elementa potrebnih za upravljanje potrebnim informacijama u izvođenju transformacije"]

[KRATKO="Information system"]>

<DEF-POJAM IME="Upravljački sustav"

[JE="Sustav"]

[OPIS="sustav elemenata odgovornih za postavljanje, usmjeravanje i kontroliranje izvođenja transformacije"]

[KRATKO="Management system"]>

<DEF-POJAM IME="Sustav okoline"

[JE="Sustav"]

[OPIS="sustav elemenata okoline u kojoj se odvija transformacija"]

[KRATKO="Environment system"]>

<DEF-POJAM IME="Izvršni sustav"

[JE="Sustav"]

[OPIS="sustav elemenata koji uzrokuju efekte nužne za izvođenje transformacije"]

[KRATKO="Executive system"]>

<DEF-POJAM IME="Tehnički sustav"

[JE="Izvršni sustav"]

[OPIS="sustav materijalnih elemenata koji isporučuje efekte potrebne za odvijanje tehničkoga procesa"]

[KRATKO="Technical system"]>

<DEF-POJAM IME="Biološki sustav"

[JE="Izvršni sustav"]

[OPIS="sustav bioloških elemenata koji isporučuju efekte potrebne za odvijanje tehničkoga procesa"]

[KRATKO="Biological system"]>

<DEF-POJAM IME="Društveni sustav"

[JE="Sustav"]

[OPIS="sustav elemenata ljudskoga društva koji su odgovorni za generiranje potreba kao pokretača razvoja proizvoda"]

[KRATKO="Society system"]>

5.5.5 Taksonomija *količine*

Količina je apstrakcija koja govori o tome koliko ima nekog entiteta. Postoje dvije podvrste pojmova definiranih za *količinu* sukladno SUMO prijedlogu: *broj* i *mjerljiva veličina*. *Broj* je mjera količine entiteta određene vrste, a *mjerljiva veličina* ono što mjerimo, bilo to fizičko ili apstraktno. Tako je, na primjer, osim veličina kao što su duljina, vrijeme, brzina, moguće da *mjerljiva veličina* izražava valutu.

Taksonomija pojmova koji su kategorizirani kao *količina* prikazana je na slici [Slika 5.10].

<DEF-POJAM IME="Mjerljiva veličina"

[JE="Količina"]

[OPIS="entitet kojega se količina može izmjeriti"]

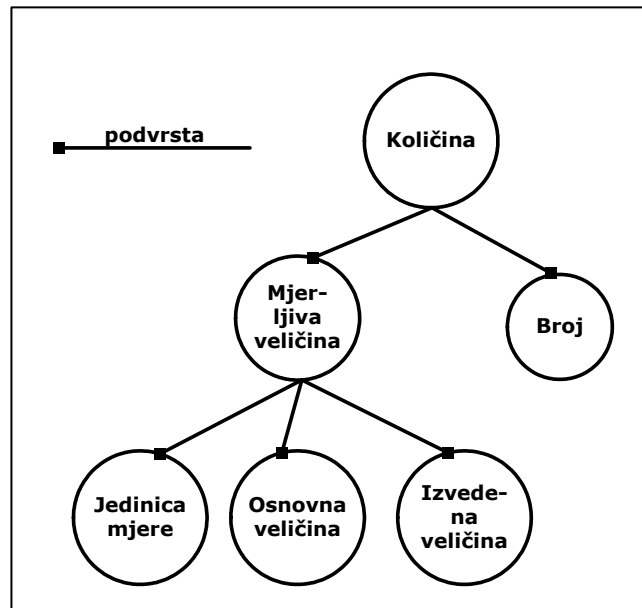
[KRATKO="Measurable quantity"]>

<DEF-POJAM IME="Osnovna veličina"

[JE="Mjerljiva Veličina"]

[OPIS="mjerljiva veličina definirana međunarodnim standardom"]

[KRATKO="Constant quantity"]>



Slika 5.10: Taksonomija pojmova koji su kategorizirani kao *količina*

<DEF-POJAM IME="Jedinica mjere"

[JE="Mjerljiva Veličina"]

[OPIS="mjerljiva veličina koja je osnovna mjera definirana međunarodnim standardom"]

[KRATKO="Unit of measure"]>

<DEF-POJAM IME="Izvedena veličina"

[JE="Mjerljiva veličina"]

[OPIS="mjerljiva veličina izvedena odgovarajućim jednadžbama na temelju osnovnih veličina"]

[KRATKO="Functional quantity"]>

<DEF-POJAM IME="Broj"

[JE="količina"]

[OPIS="količina mjerljive veličine koja se mjeri"]

[KRATKO="Number"]>

5.5.6 Taksonomija *relacija*

Prema definiciji u SUMO ontologiji, *relacije* su apstraktni entiteti koji definiraju općenite veze između određenoga skupa entiteta. Tijekom analize teoretskih osnova istraživanja uočena je velika raznolikost relacija između različitih entiteta na području opisa znanja o proizvodu. Najveći broj njih deklariran je u teoriji kao uzročni, bez daljnjeg objašnjenja njihove prirode. Ta je činjenica uzrokovala ekstrahiranje velikoga broja različitih nedefiniranih relacija i označila taj problem kao jednu od najvećih zapreka uspješnom završetku formalizacije GDMS strukture.

Kako bi se formalno definirale različite relacije, u okviru ove disertacije pristupilo se istraživanju vezanom uz prirodu relacija, pri čemu treba napomenuti da postojeći standardi i literatura nisu pružili preveliku pomoć. Iz postojeće literature mogu se

prepoznati tri osnovne kategorije relacija među elementima informacijskih struktura na području razvoja proizvoda [148]:

- relacije koje opisuju proizvod u određenoj vremenskoj točki u njegovu životnom ciklusu, među kojima se kao osnovni tipovi izdvajaju kompozicijske relacije, konstitucijske relacije, relacije nasljeđivanja, relacije kvalifikacije i relacije kvantifikacije
- relacije koje opisuju kako se proizvod, tj. njegova struktura, mijenjala tijekom konstrukcijskoga procesa, među kojima se kao osnovni tipovi izdvajaju relacije jednakosti, relacije alternacije, relacije varijacije, relacije pozicije i relacije transformacije
- relacije koje opisuju kako je proizvod vezan uz transformacijske procese u svojem životnom ciklusu, među kojima se kao osnovni tipovi izdvajaju relacije artikulacije, relacije faktorizacije i relacije konsolidacije.

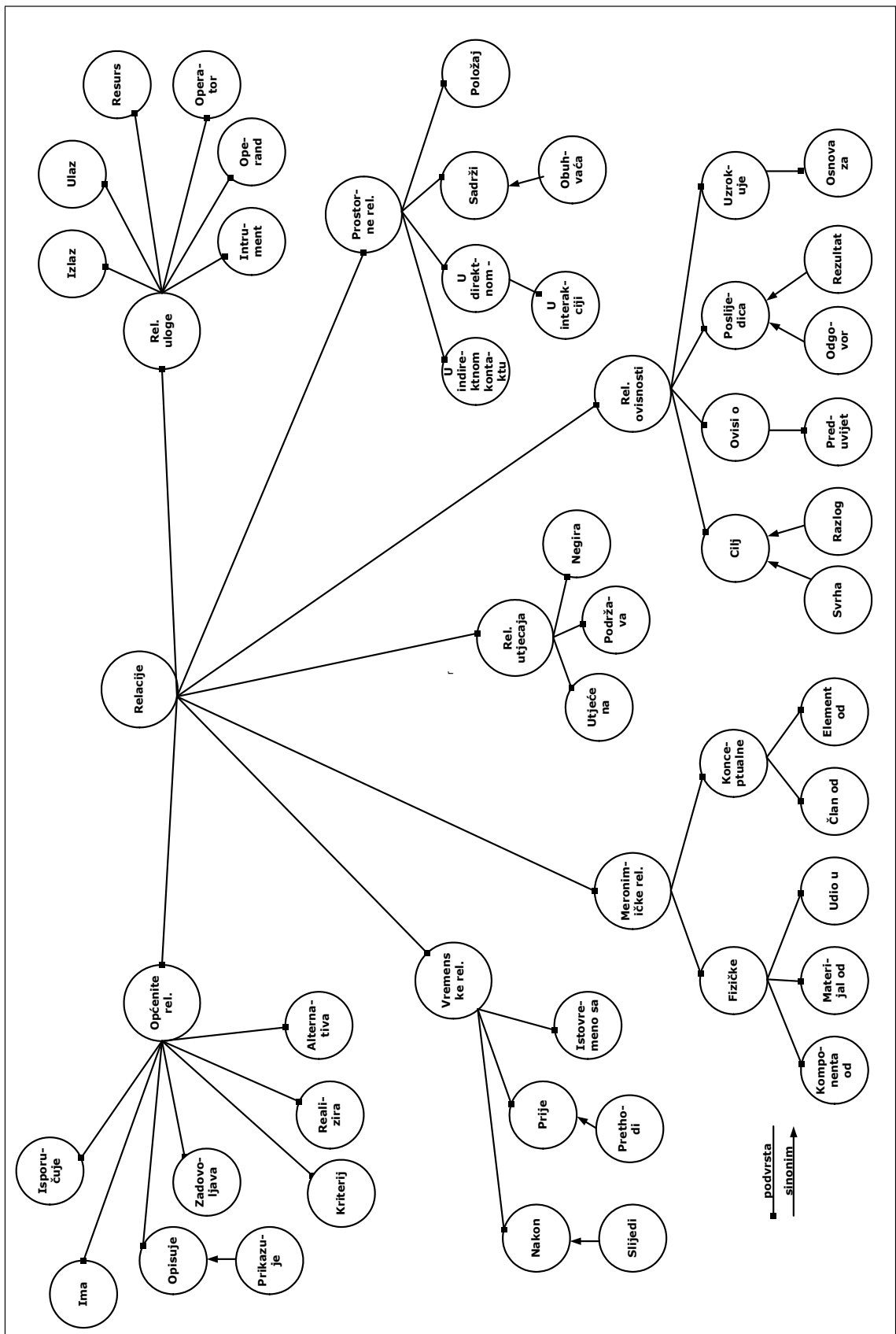
Prethodno opisane kategorije relacija nisu, međutim, semantički detaljnije opisane u literaturi niti je njihova kategorizacija napravljena u skladu s teoretskim osnovama koje vladaju u matematičkoj disciplini algebarske logike, a koja se bavi formalnim definiranjem relacija i njihovih svojstva. Iako je bilo pokušaja karakterizacije logičkih svojstva relacija još u devetnaestom stoljeću, značajnija istraživanja svojstava relacija započela su *Peirceom* [149] na početku dvadesetog stoljeća. Tada se činilo kako se neće moći naći jednostavna algebarska karakterizacija relacija. Znatniji napredak tada je došao od *Tarskog* [150] u 1940-ima. On je definirao aproksimaciju potpunoga računa binarnih relacija, nazvanog relacijska algebra. Kao dopuna tom istraživanju *Monk* [151] je kasnije dokazao kako nije moguća potpuna aksiomatizacija svih svojstva binarnih relacija. Sukladno tim polazištima, kao najvažnija logička svojstva binarnih relacija mogu se definirati refleksivnosti, simetričnosti i tranzitivnosti. Ova su svojstva formalno opisana pravilima koja su prikazana u idućem odsječku ovoga poglavlja [poglavlje 5.6].

Sukladno svojstvima definiranim u relacijskoj algebri te klasifikaciji relacija koja je definirana u SUMO ontologiji i IDEF05 standardom, u ovom je radu napravljena kategorizacija relacija za područje opisa znanja o proizvodu koje su ekstrahirane iz teoretskih osnova istraživanja. Taksonomija relacija prikazana je na slici [Slika 5.11].

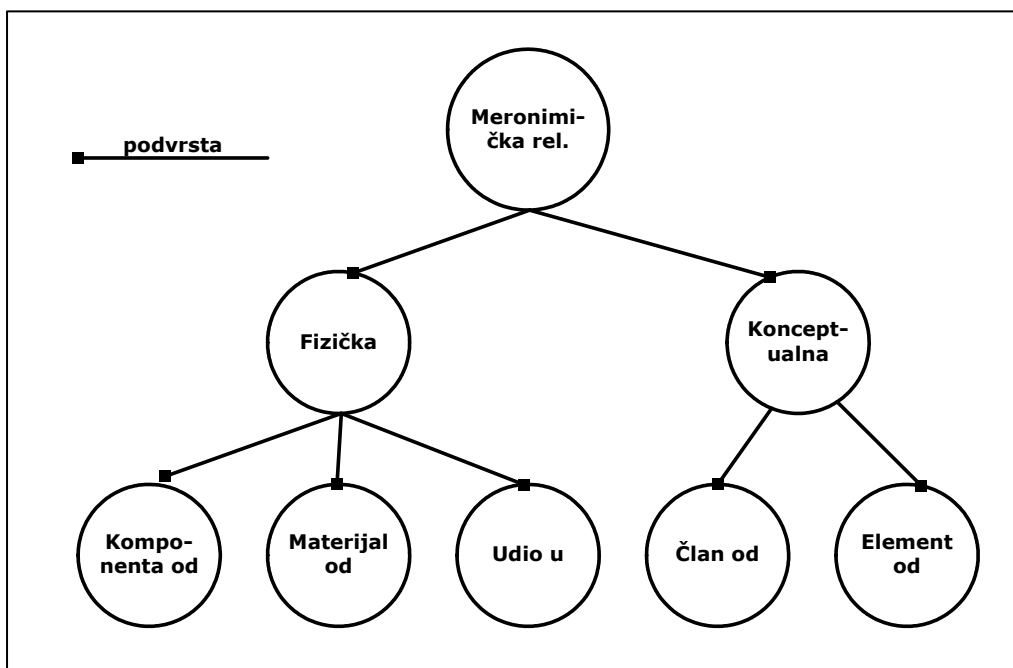
5.5.6.1 MERONIMIČKE RELACIJE

Meronimičke relacije opisuju semantiku pojmova element/cjelina definirajući kompozicijske veze među pojmovima u rječniku. Razmatranje odnosa element/cjelina zasniva se na teoretskim osnovama definiranim u znanstvenoj disciplini mareotopologiji [[149], [153]] iz koje proizlazi specijalizacija relacija ove kategorije. Taksonomija meronimičkih relacija prikazana je na slici [Slika 5.12].

```
<DEF-RELACIJA IME="Član od"
  [OPIS="označuje da je entitet jedinstven član zbirke"]
  [KRATKO="Member of"]>
  Proizvod, Familija
  Proizvod, Asortiman
  Čovjek, Grupa </DEF-RELACIJA>
```



Slika 5.11: Taksonomija *Relacija*

Slika 5.12: Taksonomija relacija koji su kategorizirane kao *meronimičke*

<DEF-RELACIJA IME="Element od"

[OPIS="označuje da je jednostavni entitet funkcionalni dio složenog entiteta"]

[KRATKO="Element of"]>

Transformacijski organizam, Struktura organa

Tehnički proces, Transformacija

Radni princip, Radni princip

Potreba, Potreba

Činjenica, Informacija

Geometrijska značajka, Tehnički proizvod

Sklop, Struktura komponenti

Organ, struktura organa

Aktivnost, Slijed aktivnosti

Operacija, Slijed operacija

Informacijski sustav, Transformacijski sustav

Sustav okoline, Transformacijski sustav

Izvršni sustav, Transformacijski sustav

Upravljački sustav, Transformacijski sustav

Element, Skup

</DEF-RELACIJA>

<DEF-RELACIJA IME="Komponenta od"

[OPIS="označuje da je jednostavni entitet fizički dio složenog entiteta"]

[KRATKO="Component of"]>

Organ, Transformacijski organizam

Funkcija, Funkcija

Oprema, Objekat

Uređaj, Oprema
Sklop, Uređaj
Komponenta, Sklop

</DEF-RELACIJA>

<DEF-RELACIJA IME="Materijal od"

[OPIS="označuje da je entitet fizički napravljen od materijala"]

[KRATKO="Material of"]>

Materijal, Komponenta

</DEF-RELACIJA>

<DEF-RELACIJA IME="Udio u"

[OPIS="označuje da je entitet u nekom udjelu uključen u postojanje drugog entiteta"]

[KRATKO="Portion of "]>

Osnovna veličina, Izvedena veličina

</DEF-RELACIJA>

5.5.6.2 PROSTORNE RELACIJE

Prostorne relacije opisuju semantiku geometrijskih i fizičkih prostornih relacija između fizičkih entiteta. Njihova je taksonomija prikazana na slici [Slika 5.13].

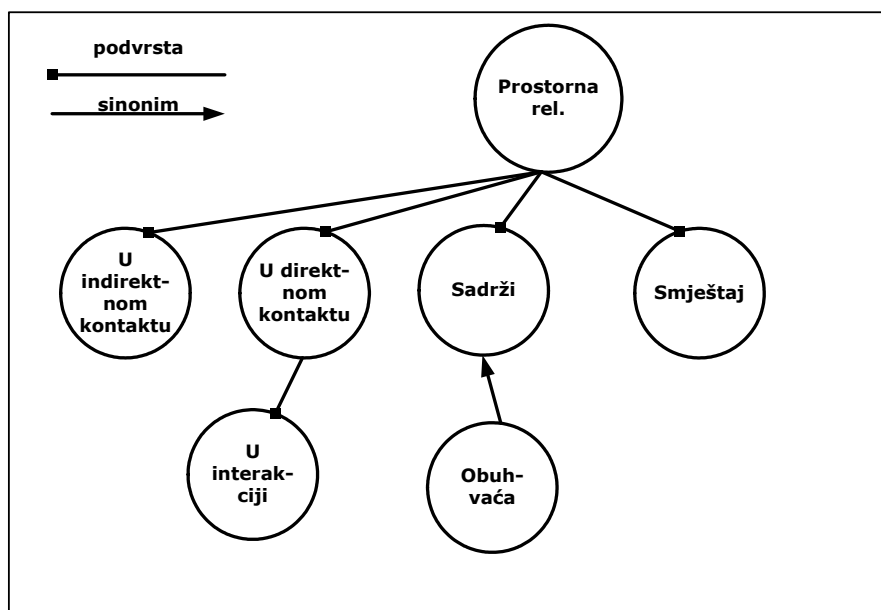
<DEF-RELACIJA IME="U indirektnom kontaktu"

[OPIS="označuje da se dva entiteta fizički ne dodiruju, ali čine strukturu komponenta/sklop"]

[KRATKO="Non-direct contact"]>

Materijalni objekt, Materijalni objekt

</DEF-RELACIJA>



Slika 5.13: Taksonomija relacija koje su kategorizirane kao *prostorne*

```

<DEF-RELACIJA IME="U direktnom kontaktu"
  [OPIS="označuje da se dva entiteta fizički dodiruju"]
  [KRATKO="Direct contact"]>
  Materijalni objekt, Materijalni objekt
</DEF-RELACIJA>

<DEF-RELACIJA IME="U interakciji"
  [OPIS="označuje da dva entiteta koji se fizički dodiruju djeluju nekom
  akcijom jedan na drugog"]
  [KRATKO="Interaction"]>
  Materijalni objekt, Materijalni objekt
</DEF-RELACIJA>

<DEF-RELACIJA IME="Sadrži"
  [OPIS="označuje da entitet zauzima prostor koji je ispunjen drugim
  entitetom"]
  [KRATKO="Contains, Enclosure"]>
  Materijalni objekt, Materijalni objekt
</DEF-RELACIJA>

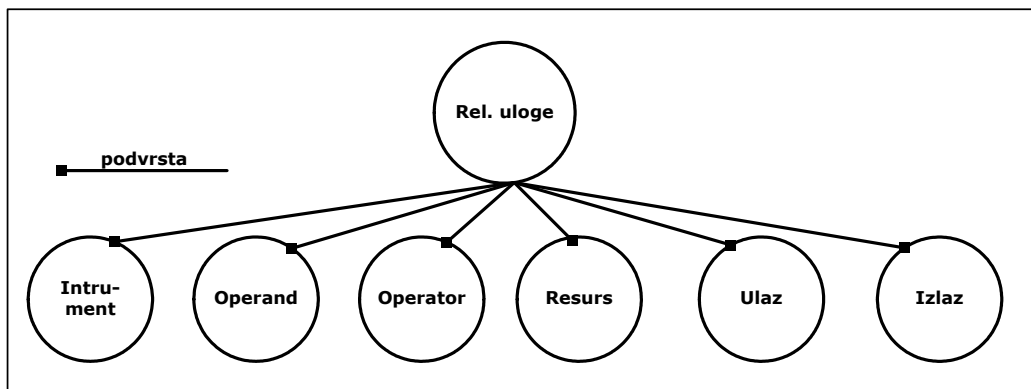
<DEF-SINONIM OD="Sadrži"
  [JE="Obuhvaća"]>

<DEF-RELACIJA IME="Smještaj"
  [OPIS="označuje prostorni smještaj entiteta u odnosu na drugi entitet u
  promatranoj ravnini"]
  [KRATKO="Bearing"]>
  Materijalni objekt, Materijalni objekt
</DEF-RELACIJA>

```

5.5.6.3 RELACIJE ULOGA

Relacije uloga definiraju i povezuju razne sudionike procesa ili elemente sustava. Njihova je taksonomija prikazana na slici [Slika 5.14].



Slika 5.14: Taksonomija relacija koje su kategorizirane kao *uloge*

<DEF-RELACIJA IME="Operand"

[OPIS="označuje da je entitet predmet transformacije u tehničkom procesu, pa može, ali i ne mora, doživjeti promjenu kao rezultat toga procesa"]

[KRATKO="Operand"]>

Informacija, Tehnički proces

Materijalni objekt, Tehnički proces

Biološki objekt, Tehnički proces

Mjerljiva veličina, Tehnički proces

</DEF-RELACIJA>

<DEF-RELACIJA IME="Operator"

[OPIS="označuje da je entitet aktivan izvoditelj transformacije, uz dobrovoljno sudjelovanje ili bez njega"]

[KRATKO="Operator"]>

Upravljački sustav, Transformacijski sustav

Informacijski sustav, Transformacijski sustav

Izvršni sustav, Transformacijski sustav

Sustav okoline, Transformacijski sustav

</DEF-RELACIJA>

<DEF-RELACIJA IME="Instrument"

[OPIS="označuje da je entitet iskorišten kao oruđe u procesu te da se on ne mijenja tijekom izvođenja procesa"]

[KRATKO="Instrument"]>

Objekt, Proces

</DEF-RELACIJA>

<DEF-RELACIJA IME="Resurs"

[OPIS="označuje da je entitet nužno prisutan na početku procesa, upotrijebljen prilikom procesa, ta kao posljedica procesa može biti na neki način primijenjen"]

[KRATKO="Resource"]>

Energija, Proces

Informacija, Proces

Objekt, Proces

</DEF-RELACIJA>

<DEF-RELACIJA IME="Ulaz"

[OPIS="označuje stanje operanda na početku procesa"]

[KRATKO="Input"]>

Energija, Proces

Informacija, Proces

Objekt, Proces

</DEF-RELACIJA>

```
<DEF-RELACIJA IME="Izlaz"  
  [OPIS="označuje stanje operanda na kraju procesa"]  
  [KRATKO="Output"]>  
  Energija, Proces  
  Informacija, Proces  
  Objekt, Proces  
</DEF-RELACIJA>
```

5.5.6.4 RELACIJE OVISNOSTI

Relacije ovisnosti opisuju semantiku činjenice da je jedan entitet na neki način ovisan o drugom entitetu. Njihova je taksonomija prikazana na slici [Slika 5.15].

```
<DEF-RELACIJA IME="Cilj"  
  [OPIS="označuje da je entitetom izražena namjeravana (planirana) svrha  
  ili razlog postojanja drugog entiteta"]  
  [KRATKO="Aim, Reason, Purpose"]>  
  Specifikacija, Atribut konstrukcije  
</DEF-RELACIJA>
```

```
<DEF-SINONIM OD="Cilj"  
  [JE="Razlog"]>
```

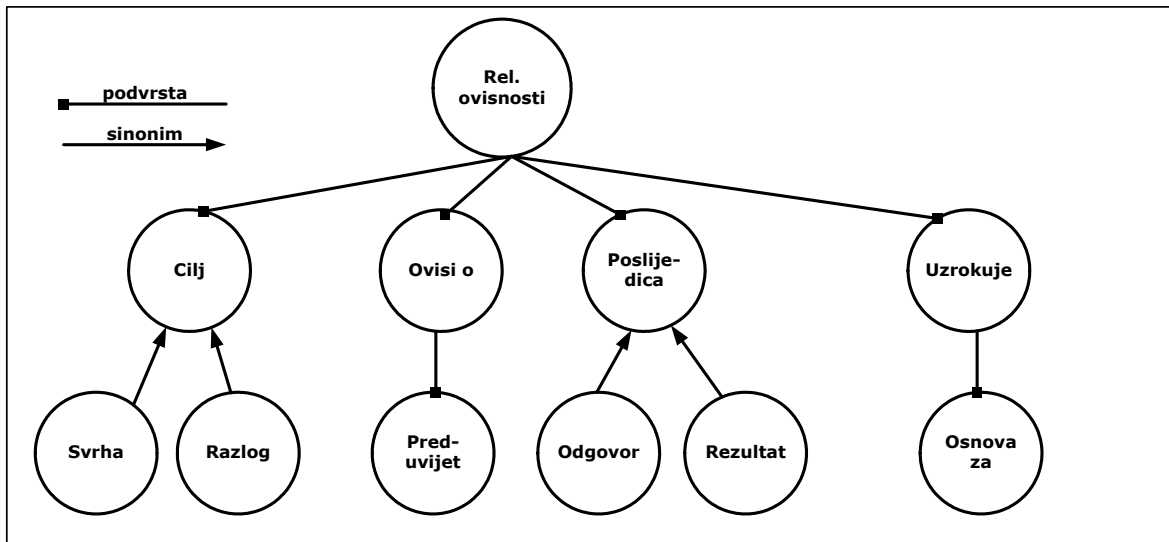
```
<DEF-SINONIM OD="Cilj"  
  [JE="Svrha"]>
```

```
<DEF-RELACIJA IME="Posljedica"  
  [OPIS="označuje da je entitet proizvod, rezultat, odgovor na postojanje,  
  djelovanje ili rad drugog entiteta"]  
  [KRATKO="Consequence, Result, Response"]>  
  Potreba, Problem  
  Relacijsko svojstvo, Transformacija  
  Zahtjev, Transformacija  
  Transformacija, Potreba  
</DEF-RELACIJA>
```

```
<DEF-SINONIM OD="Posljedica"  
  [JE="Rezultat"]>
```

```
<DEF-SINONIM OD="Posljedica"  
  [JE="Odgovor"]>
```

```
<DEF-POJAM IME="Ovisi o"  
  [OPIS="označuje da jedan entitet egzistencijalno ovisi o drugom entitetu"]  
  [KRATKO="Depends on"]>  
  Kompozicijska karakteristika, Organ </DEF-RELACIJA>
```

Slika 5.15: Taksonomija relacija koje su kategorizirane kao *relacije ovisnosti*

```
<DEF-SINONIM OD="Ovisi o"
  [JE="Preduvjet za"]>
```

```
<DEF-RELACIJA IME="Uzrokuje"
  [OPIS="označuje da jedan entitet na neki način uzrokuje odvijanje, rad,
  postojanje drugog entiteta"]
  [KRATKO="Cause, Factor, Stimuli"]>
  Svojstvo konstrukcije, Karakteristika konstrukcije
  Proces, Proces
</DEF-RELACIJA>
```

```
<DEF-RELACIJA IME="Osnova za"
  [OPIS="označuje entitet iz kojeg je deriviran drugi entitet, tj. ono na čemu
  se drugi entitet zasniva"]
  [KRATKO="Base of"]>
  Činjenica, Argument
</DEF-RELACIJA>
```

5.5.6.5 RELACIJE UTJECAJA

Relacije utjecaja opisuju semantiku činjenice da jedan entitet utječe na drugi entitet. Njihova je taksonomija prikazana na slici [Slika 5.16].

```
<DEF-RELACIJA IME="Utjecaj na"
  [OPIS="označuje da entitet utječe na odvijanje, rad, postojanje drugog
  entiteta"]
  [KRATKO="Influence"]>
  Susret u životnom ciklusu, Relacijsko svojstvo
</DEF-RELACIJA>
```

```

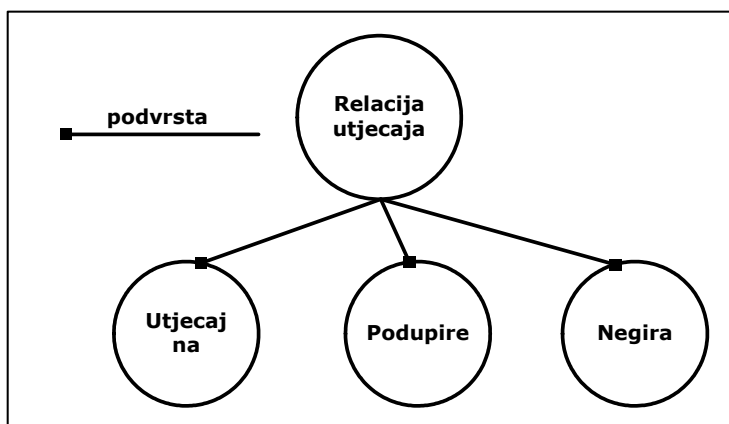
<DEF-RELACIJA IME="Negira"
  [OPIS="označuje da entitet osporava ispravnost drugog entiteta"]
  [KRATKO="Opposing"]>
  Argument, Entitet
</DEF-RELACIJA>

```

```

<DEF-RELACIJA IME="Podupire"
  [OPIS="označuje da entitet potvrđuje ispravnost drugog entiteta"]
  [KRATKO="Supporting"]>
  Argument, Entitet
</DEF-RELACIJA>

```



Slika 5.16: Taksonomija relacija koje su kategorizirane kao *relacije utjecaja*

5.5.6.6 VREMENSKE RELACIJE

Vremenske relacije opisuju semantiku vremenske ovisnosti između entiteta. Njihova je taksonomija prikazana na slici [Slika 5.17].

```

<DEF-RELACIJA IME="Prije"
  [OPIS="označuje da vremenski interval u kojem je aktivan jedan entitet
  završava ranije u vremenu nego što počinje vremenski interval u kojem je
  aktivan drugi entitet"]
  [KRATKO="Before, Proceedes"]>
  Proces, Proces
  Funkcija, Funkcija
</DEF-RELACIJA>

```

```

<DEF-SINONIM OD="Prije"
  [JE="Prethodi"]>

```

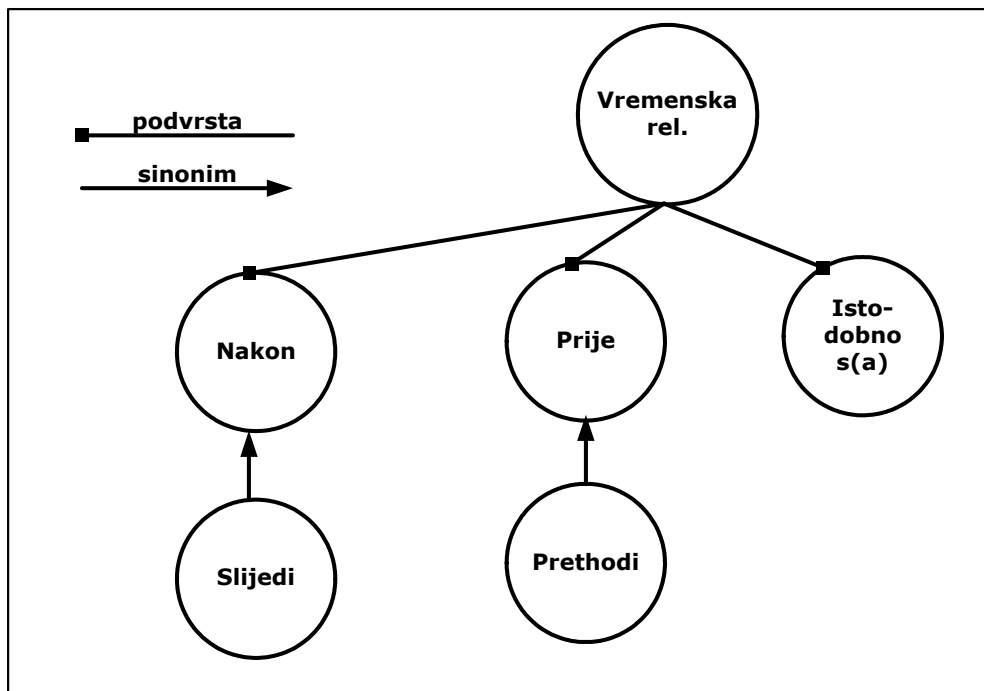
```

<DEF-RELACIJA IME="Nakon"
  [OPIS="označuje da vremenski interval u kojem je aktivan jedan entitet
  počinje kasnije u vremenu nego što završava vremenski interval u kojem
  je aktivan drugi entitet"]
  [KRATKO="After, Follows"]>

```

Proces, Proces
Funkcija, Funkcija

</DEF-RELACIJA>



Slika 5.17: Taksonomija relacija koje su kategorizirane kao *vremenske*

<DEF-SINONIM OD="Nakon"
 [JE="Slijedi"]>

<DEF-RELACIJA IME="Istodobno s(a)"
 [OPIS="označuje da entitet postoji ili je aktivan u istom vremenskom intervalu kad i drugi entitet"]
 [KRATKO="Cooccur"]>
Proces, Proces
Funkcija, Funkcija
 </DEF-RELACIJA>

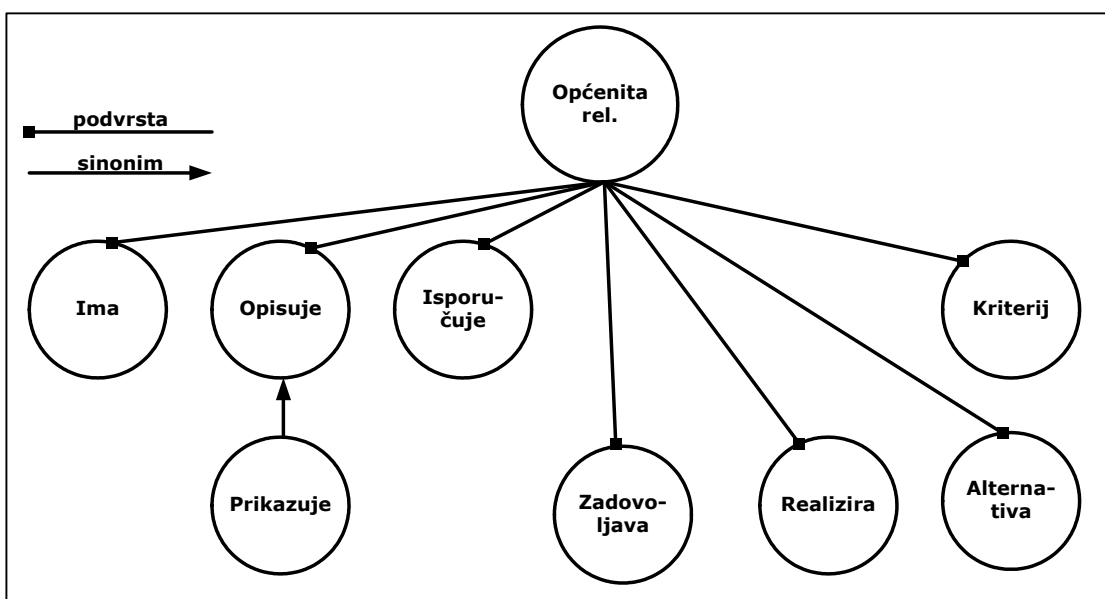
5.5.6.7 OPĆENITE RELACIJE

Općenite relacije opisuju semantiku ostalih relacija na promatranom području koje se ne mogu kategorizirati u neku od prethodno prikazanih kategorija. Za svaku od tih relacija treba zasebno definirati logička svojstva. Općenite relacije prikazane su na slici [Slika 5.18].

<DEF-RELACIJA IME="Opisuje"
 [OPIS="označuje da entitet na neki način indicira, izražava, oslikava, prikazuje, opisuje drugi entitet"]
 [KRATKO="Describes, Represents"]>
Svojstvo konstrukcije, Ponašanje
Karakteristika konstrukcije, Konstitucija

Slijed aktivnosti, Radni princip
Specifikacija, Potreba
Funkcija, Aktivnost
Zadatak, Funkcija
Ponašanje, Sustav
Konstitucija, Sustav
Radni princip, Tehnički sustav
Transformacijski sustav, Transformacija
Tehnički sustav, Tehnički proizvod
Biološki sustav, Čovjek
Konstrukcija, Familija

</DEF-RELACIJA>



Slika 5.18 : Relacije koje su kategorizirane kao *općenite*

<DEF-SINONIM OD="Opisuje"
 [JE="Prikazuje"]>

<DEF-RELACIJA IME="Realizira"
 [OPIS="označuje da jedan entitet fizički ostvaruje drugi entitet"]
 [KRATKO="Realises"]>
Struktura organa, Radni princip
Komponenta, Organ
Sklop, Organ
Struktura komponenti, Struktura organa
Transformacijski organizam, Funkcija
Transformacija, Proizvod
Radni princip, Operacija
Efekt, Tehnički proces
Slijed operacija, Transformacija
Organ, Funkcija </DEF-RELACIJA>

<DEF-RELACIJA IME="Zadovoljava"

[OPIS="označuje da entitet ispunjava određene zahtjeve ili očekivanja"]

[KRATKO="Satisfies"]>

Proizvod, Potreba

</DEF-RELACIJA>

<DEF-RELACIJA IME="Alternativa"

[OPIS="označuje da je entitet jedan od mogućih entiteta koji može zauzeti mjesto drugog entiteta"]

[KRATKO="Alternative"]>

Entitet, Entitet

</DEF-RELACIJA>

<DEF-RELACIJA IME="Kriterij"

[OPIS="označuje da je entitet kriterij za vrednovanje drugog entiteta"]

[KRATKO="Alternative"]>

Entitet, Entitet

</DEF-RELACIJA>

<DEF-RELACIJA IME="Isporučuje"

[OPIS="označuje da entitet svojim djelovanjem isporučuje drugi entitet"]

[KRATKO="Delivers"]>

Aktivnost, Efekt

Upravljački sustav, Efekt

Sustav okoline, Efekt

Izvršni sustav, Efekt

</DEF-RELACIJA>

<DEF-RELACIJA IME="Ima"

[OPIS="označuje da je jedan entitet karakteriziran vrijednošću drugog entiteta"]

[KRATKO="Has"]>

Komponenta, Zadatak

Funkcija, Tok

Društveni sustav, Problem

Tehnički proizvod, Atribut konstrukcije

Entitet, Organizacijski atribut

</DEF-RELACIJA>

5.6 Pravila zaključivanja

Za prikaz pravila zaključivanja također će se rabiti SHOE jezik, pa stoga pogledajmo najprije notaciju pravila.

<pre> <DEF-PRAVILO [OPIS="tekst"]> <AKO JE> <POJAM IME="ime pojma" ZA="tekst" [[KORISTI SE KAO=] ("VAR" "KONST")]>, <RELACIJA IME="ime relacije"> argumenti </RELACIJA> <USPOREDBA OP="operator"> argumenti </USPOREDBA> </AKO JE> <TADA JE> <POJAM IME="ime pojma" ZA="tekst" [[KORISTI SE ZA=] ("VAR" "KONST")]>, <RELACIJA IME="ime relacije"> argumenti </RELACIJA> <USPOREDBA OP="operator"> argumenti </USPOREDBA> </TADA JE> </DEF-PRAVILO> </pre>	<p>Opis pravila, čitljiv i razumljiv ljudima. Obično je to jedna rečenica teksta.</p> <p>Skup pravila koja prethode zaključivanju. Najprije se daje razumljiva, ispravna referenca na vrstu. Kad je riječ o pojmu, <i>IME</i> se rabi kao referenca na vrstu, a <i>ZA</i> kao referenca na određenu instancu ili varijablu koja je deklarirana kao pripadnik određene vrste. <i>KORISTI SE KAO</i> specificira je li riječ o nekoj specifičnoj instanci (<i>KONST</i>) ili varijabli (<i>VAR</i>). Varijabla znači da vrijedi za bilo koju instancu koja pripada kategoriji.</p> <p>Kad je riječ o relaciji, <i>IME</i> se rabi kao referenca za određenu vrstu, dok <i>argumenti</i> specificira instance argumenta.</p> <p>Na kraju, može se imati evaluacija argumenata prema jednakosti i ostalim standardnim operatorima poretka. <i>OP</i> predstavlja kriterij usporedbe s jednim od sljedećih operatora: <i>JEDNAKO</i>, <i>NIJE JEDNAKO</i>, <i>VEĆE OD</i>, <i>VEĆE OD ILI JEDNAKO</i>, <i>MANJE OD ILI JEDNAKO</i>, <i>MANJE OD</i>.</p> <p>Skup pravila koja su posljedica zaključivanja po istoj sintaksi kao što je opisano u tekstu iznad ovog.</p> <p>Završetak definicije.</p>
---	---

Kao proširenje rječnika može se definirati pravila zaključivanja koja vrijede na promatranom području, kako bi se dodatno ograničili elementi rječnika. Pravilo zaključivanja tvori se od skupa tvrdnji koje prethode zaključivanju (jedna ili više tvrdnji koje opisuju izjave što ih entiteti mogu tvoriti) te skupa tvrdnji koje su posljedica zaključivanja (jedna ili više tvrdnji koje opisuju izjave što se mogu izvoditi ako su uvjeti zadovoljeni). Pravilo koje nema jedan od ovih elemenata nije ispravno. Pravila se definiraju u odnosu na pojmove rječnika, i to prema točno određenoj instanci neke kategorije, ili varijabilno prema bilo kojem članu skupa instanci kategorije. Da bi se dodatno karakterizirale glavne vrste relacija, one su u ovom istraživanju razmatrane kroz njihova svojstva simetričnosti, refleksivnosti i tranzitivnosti. Uz prethodno navedena svojstva, za gotovo svaku relaciju unutar glavnih kategorija mogu se definirati dodatni aksiomi inverznosti, koji npr. kažu da je relacija *nakon* inverzna relaciji *prije*. Kao primjer

toga svojstva u ovom će se poglavlju definirati pravila inverznosti za meronimičke relacije. U nastavku teksta prikazana su pravila za relacije kojima su taksonomija i definicije prethodno opisane u poglavlju 5.5.6.

```

<DEF-PRAVILO
  [OPIS="Simetričnost relacije"]>
  <AKO JE>
    <RELACIJA IME="U direktnom kontaktu, U indirektnom kontaktu">
      <ARG POS="1" VRIJEDNOST="x" KORISTI SE KAO="VAR">
      <ARG POS="2" VRIJEDNOST="y" KORISTI SE KAO="VAR">
    </RELACIJA>
  </AKO JE>
  <TADA JE>
    <RELACIJA IME="U direktnom kontaktu, U indirektnom kontaktu">
      <ARG POS="1" VRIJEDNOST="y" KORISTI SE KAO="VAR">
      <ARG POS="2" VRIJEDNOST="x" KORISTI SE KAO="VAR">
    </RELACIJA>
  </TADA JE>
</DEF-PRAVILO>

<DEF-PRAVILO
  [OPIS="Antisimetričnost relacije"]>
  <AKO JE>
    <RELACIJA IME="Meronimičke relacije, Sadrži, Smještaj, Relacije uloga, Relacije utjecaja, Relacije ovisnosti, Vremenske relacije, Općenite relacije">
      <ARG POS="1" VRIJEDNOST="x" KORISTI SE KAO="VAR">
      <ARG POS="2" VRIJEDNOST="y" KORISTI SE KAO="VAR">
    </RELACIJA>
  </AKO JE>
  <TADA NIJE>
    <RELACIJA IME="Meronimičke relacije, Sadrži, Smještaj, Relacije uloga, Relacije utjecaja, Relacije ovisnosti, Vremenske relacije, Općenite relacije">
      <ARG POS="1" VRIJEDNOST="y" KORISTI SE KAO="VAR">
      <ARG POS="2" VRIJEDNOST="x" KORISTI SE KAO="VAR">
    </RELACIJA>
  </TADA NIJE>
</DEF-PRAVILO>

<DEF-PRAVILO
  [OPIS="Refleksivnost relacije"]>
  <AKO JE>
    <POJAM IME="x" KORISTI SE KAO="VAR">
  </AKO JE>
  <TADA JE>
    <RELACIJA IME="Utječe na">

```

```

        <ARG POS="1" VRIJEDNOST="x" KORISTI SE KAO="VAR">
        <ARG POS="2" VRIJEDNOST="x" KORISTI SE KAO="VAR">
    </RELACIJA>
</TADA JE>
</DEF-PRAVILO>

<DEF-PRAVILO
    [OPIS="Irefleksivnost relacije"]>
    <AKO JE>
    <AKO JE>
        <POJAM IME="x" KORISTI SE KAO="VAR">
        </AKO JE>
    <TADA NIJE>
        <RELACIJA IME="Meronimičke relacije, Prostorne relacije, Relacije uloga,
        Relacije ovisnosti, Podupire, Negira, Vremenske relacije, Općenite
        relacije">
            <ARG POS="1" VRIJEDNOST="x" KORISTI SE KAO="VAR">
            <ARG POS="2" VRIJEDNOST="x" KORISTI SE KAO="VAR">
        </RELACIJA>
    </TADA NIJE>
</DEF-PRAVILO>

<DEF-PRAVILO
    [OPIS="Tranzitivnost relacije"]>
    <AKO JE>
        <RELACIJA IME="Meronimičke relacije, Sadrži, Smještaj, Relacije ovisnosti,
        Relacije utjecaja, Vremenske relacije, Opisuje, Realizira">
            <ARG POS="1" VRIJEDNOST="x" KORISTI SE KAO="VAR">
            <ARG POS="2" VRIJEDNOST="y" KORISTI SE KAO="VAR">
        </RELACIJA>
        <RELACIJA IME=" Meronimičke relacije, Sadrži, Smještaj, Relacije ovisnosti,
        Relacije utjecaja, Vremenske relacije, Opisuje, Realizira">
            <ARG POS="1" VRIJEDNOST="y" KORISTI SE KAO="VAR">
            <ARG POS="2" VRIJEDNOST="z" KORISTI SE KAO="VAR">
        </RELACIJA>
    </AKO JE>
    <TADA JE>
        <RELACIJA IME="Meronimičke relacije, Sadrži, Smještaj, Relacije ovisnosti,
        Relacije utjecaja, Vremenske relacije, Opisuje, Realizira">
            <ARG POS="1" VRIJEDNOST="x" KORISTI SE KAO="VAR">
            <ARG POS="2" VRIJEDNOST="z" KORISTI SE KAO="VAR">
        </RELACIJA>
    </TADA JE>
</DEF-PRAVILO>

```



```

<DEF-PRAVILO
  [OPIS="Intranzitivnost relacije"]>
  <AKO JE>
    <RELACIJA IME="Relacije uloga, U direktnom kontaktu, U indirektnom
    kontaktu, Ima, Isporučuje, Zadovoljava, Kriterij, Alternativa">
      <ARG POS="1" VRIJEDNOST="x" KORISTI SE KAO="VAR">
      <ARG POS="2" VRIJEDNOST="y" KORISTI SE KAO="VAR">
    </RELACIJA>
    <RELACIJA IME=" Relacije uloga, U direktnom kontaktu, U indirektnom
    kontaktu, Ima, Isporučuje, Zadovoljava, Kriterij, Alternativa ">
      <ARG POS="1" VRIJEDNOST="y" KORISTI SE KAO="VAR">
      <ARG POS="2" VRIJEDNOST="z" KORISTI SE KAO="VAR">
    </RELACIJA>
  </AKO JE>
  <TADA NIJE>
    <RELACIJA IME="Relacije uloga, U direktnom kontaktu, U indirektnom
    kontaktu, Ima, Isporučuje, Zadovoljava, Kriterij, Alternativa ">
      <ARG POS="1" VRIJEDNOST="x" KORISTI SE KAO="VAR">
      <ARG POS="2" VRIJEDNOST="z" KORISTI SE KAO="VAR">
    </RELACIJA>
  </TADA NIJE>
</DEF-PRAVILO>

```

```

<DEF-PRAVILO
  [OPIS="Inverznost relacije"]>
  <AKO JE>
    <RELACIJA IME="Komponenta od, Materijal od, Udio u, Član od, Element
    od">
      <ARG POS="1" VRIJEDNOST="x" KORISTI SE KAO="VAR">
      <ARG POS="2" VRIJEDNOST="y" KORISTI SE KAO="VAR">
    </RELACIJA>
  </AKO JE>
  <TADA JE>
    <RELACIJA IME="Ima komponentu, Ima materijal, Ima udio u, Ima član,
    Ima element">
      <ARG POS="1" VRIJEDNOST="y" KORISTI SE KAO="VAR">
      <ARG POS="2" VRIJEDNOST="x" KORISTI SE KAO="VAR">
    </RELACIJA>
  </TADA JE>
</DEF-PRAVILO>

```

5.7 Implikacije na rad

Ovim je poglavljem predložen rječnik za prikaz znanja o proizvodu te taksonomija pojmova toga rječnika kao glavni rezultat istraživanja prikazanog u ovoj disertaciji. Na početku poglavlja najprije je opisan princip modeliranja ontologija na više. Razlučeno je kako ontologija u razvoju proizvoda ne može postojati zasebno bez relacije prema

općenitim ontologijama najviše razine kojima se definiraju općeniti pojmovi što vrijede za sva područja. U ovom je istraživanju kao polazište iskorištena u tu svrhu SUMO ontologija, kojoj su osnove opisane u poglavlju. Cijela ideja oko prijedloga rječnika bila je kategorizirati pojmove koji su ekstrahirani iz teoretskih osnova istraživanja u dvije osnovne kategorije predložene SUMO ontologijom visoke razine: pojmove koji pripadaju fizičkom svijetu i pojmove koji pripadaju apstraktnom svijetu. Unutar ta dva svijeta pojmovi su razvrstani u potkategorije - objekte, procese, attribute, koncepte, količine i relacije. Pojmovi i njihove definicije te hijerarhija kategorija prikazani su u poglavlju upotrebom SHOE jezika, koji je nastao proširenjem standardne XML sintakse. Osim što su pojmovi razvrstani između fizičkoga i apstraktnoga svijeta, između njih su definirane i različite vrste relacija. Proširenjem teoretskih osnova istraživanja, na temelju ontologije visoke razine i IDEF05 metodologije, relacije su kategorizirane te su opisane svojstvima simetričnosti, refleksivnosti i tranzitivnosti. Takav prijedlog rječnika poslužio je kao osnova za kreiranje računalnoga tezaurusa za prikaz znanja o proizvodu, što je opisano u idućem poglavlju.

VREDNOVANJE RJEČNIKA I RAČUNALNA IMPLEMENTACIJA

U šestom je poglavlju opisano vrednovanje predloženoga rječnika i taksonomija pojmova za prikaz znanja o proizvodu. Prikazana je i računalna implementacija tezaurusa te evaluacija rječnika na primjeru njegove uporabe za opisivanje znanja o realnom proizvodu. Na kraju poglavlja govori se o arhitekturi implementacije predloženoga rječnika kao okosnice sustava za upravljanje znanjem u razvoju proizvoda.

6.1 Određivanje pouzdanosti razvrstavanja pojmova i relacija predloženoga rječnika

Kako bi se potvrdila hipoteza rada, rječnik za prikaz znanja o proizvodu predstavljen u prošlom poglavlju trebalo bi vrednovati u skladu s istraživačkom metodologijom koja se primjenjivala u ovoj disertaciji [Slika 4.3]. Prvi korak u vrednovanju proveden je određivanjem pouzdanosti razvrstavanja pojmova i relacija predloženoga rječnika, na temelju ocjena koje su o prijedlogu dali članovi akademske zajednice koji se bave istraživanjem na promatranom području.

Pouzdanost razvrstavanja pojmova predloženoga rječnika i tako kreiranih taksonomija određena je metodom koja minimizira subjektivnost analitičara (istraživača) koji predlaže razvrstavanje. U okviru te metode, o predloženom rječniku i taksonomijama, anketirani su stručnjaci koji se bave istraživanjima na promatranom području. Cilj tog anketiranja bio je prikupljanje spoznaja o tome kako stručnjaci gledaju na prijedlog rječnika i taksonomije pojmova koji su sadržani u rječniku te na određivanje kako se njihovo shvaćanje prirode pojedinoga pojma poklapa s prijedlogom koji je proizašao kao rezultat u ovoj disertaciji prikazanog istraživanja.

Metoda

Da bi se odredila pouzdanost razvrstavanja pojmova rječnika anketirano je više istraživača s različitih europskih sveučilišta. Valja napomenuti kako se svi ispitanici dugi niz godina kao vodeći istraživači bave istraživanjima na području razvoja proizvoda. Ono što je bilo važno u njihovu odabiru jest činjenica da su svojim istraživačkim radom pridonijeli razvoju nekih od teorija koje se nalaze u pozadini istraživanja, pa su kao takvi ocijenjeni kompetentnima za izjašnjavanje o prijedlogu.

Literatura razlikuje tri osnovne vrste intervjuiranja ispitanika prema načinu provođenja [154]. *Otvoreni intervjui* rade se na način da se ispitanicima preloži tema, a zatim im se ostavlja na volju da sami oblikuju smjer i način svojeg izjašnjavanja o temi. *Polustrukturirani* ili fokusirani intervjui donekle ograničuju fleksibilnost u procesu intervjuiranja, no istodobno ostavljaju dovoljno prostora ispitanicima da prošire svoja izjašnjavanja vezana uz unaprijed strukturirana pitanja [155]. *Strukturirane intervjuje* najviše kontrolira ispitivač, stoga ograničuju prostor izjašnjavanja o specifičnim pitanjima, pa se takvo intervjuiranje zapravo promatra kao ispunjavanje upitnika [156], [157].

Pri vrednovanju koje je prikazano u ovom poglavlju primijenjeno je strukturirano intervjuiranje, tj. svaki od ispitanika dobio je na uvid prijedlog rječnika i taksonomija uz detaljno objašnjenje svake od glavnih vrsta pojmova najviše razine. Ispitanici su, osim prijedloga definicije svakoga pojma, dobili i informaciju o tome u koju je od vrsta najviše razine pojam kategoriziran prijedlogom opisanim u prošlo poglavlju disertacije te o vezama za koje je utvrđeno da postoje između pojedinih vrsta. Ispitanicima je bilo pomno objašnjeno što se od njih očekuje, tj. da prouče svaku definiciju i pridruženu kategoriju, te da odrede slažu li se s prijedlogom ili ne. U slučaju da se ne slažu, od ispitanika se zatražilo da u kraćem komentaru objasne svoje razloge. Ispitivanje je provedeno bez prisutnosti ispitivača, kako bi se ostvarili relativno jednaki početni uvjeti za sve ispitanike. Ispitanicima je ostavljano na volju da za ovu analizu potroše vremena koliko god su smatrali da im treba.

Analiza

Analiza rezultata ispitivanja provela se u dva koraka. U prvom se koraku promatralo podudaranje razmišljanja ispitanika i prijedloga u odnosu na dvije osnovne kategorije *fizičko i apstraktno*, a zatim i poklapanje unutar pojedinih podvrsta ovih dviju kategorija. Pouzdanost prijedloga rječnika utvrđena je izračunavanjem *Cohenova Kappa koeficijenta pouzdanosti* [158]. Osnovna značajka ove metode jest da ona u analizi uzima u obzir aktualni postotak slaganja između prijedloga i onoga što su utvrdili stručnjaci, pa taj podatak čini točnijim ako se uzme u obzir postotak slaganja koji bi mogao nastupiti slučajno. Važno je još napomenuti da *Kappa koeficijent* ništa ne govori o razlozima neslaganja.

Rezultati

Kako bi se izračunao *Kappa koeficijent pouzdanosti* za konkretan slučaj, trebalo je napraviti nekoliko koraka. Prije opisa postupka izračunavanja, valja napomenuti da su rezultati dobiveni od ispitanika najprije objedinjeni, kako bi se dobio ukupan skup pojmova na koje su oni imali primjedbe ili su ih kategorizirali drukčije od prijedloga koji

im je bio ponuđen. Prvi korak u izračunavanju koeficijenta bilo je kreiranje tablice slučajeva. S obzirom na to da se najprije analizirala pouzdanost svrstavanja u dvije osnovne vrste *fizičko* i *apstraktno*, tablica slučajeva za taj slučaj zapravo je matrica s dva retka i dva stupca [Tablica 6.1]. Tablica slučajeva popunjava se prebrojavanjem slaganja/neslaganja između kategorizacije pojmova proizašle iz istraživanja i kategorizacije koju su predložili ispitanici. Konkretno govoreći za spomenutu tablicu, od ukupno $N=175$ analizirana pojma, o tome da neki pojam pripada vrsti *fizičko* ispitanici i autor disertacije složili su se u 49 slučajeva. Za 2 pojma ispitanici su smatrali da pripadaju vrsti *fizičko*, a autor disertacije da pripada vrsti *apstraktno*. Za 116 pojmova ispitanici i autor složili su se da pripadaju *apstraktnoj* vrsti, dok su za 8 ispitanici smatrali da pripadaju *apstraktnim*, a autor disertacije da pripadaju *fizičkim* entitetima.

Tablica 6.1: Tablica slučajeva za razvrstavanje pojmova u osnovne vrste

Ispitanici	Prijedlog		
	fizičko	apstraktno	$\sum r$
fizičko	49	2	51
apstraktno	8	116	124
$\sum s$	57	118	$N=175$

Zbrajanjem vrijednosti na dijagonali tablice dobiva se ukupan broj slaganja između prijedloga i ispitanika:

$$\sum a_{\text{osnovne_kategorije}} = a_{\text{fizičko}} + a_{\text{apstraktno}} = 49 + 116 = 165.$$

Kada bismo uzimali u obzir samo ovu vrijednost, postotak slaganja bio bi $165/175=94\%$. No ova vrijednost predstavlja prekomjerno povećan indeks slaganja, jer ne uzima u obzir slaganje koje bi se moglo ostvariti slučajem. Stoga valja izračunati očekivanu frekvenciju za broj slaganja koji se može očekivati slučajem za svaku promatranu vrstu. Formula koja se rabi za izračun frekvencije za kategoriju *fizičko* glasi:

$$ef_{\text{fizičko}} = \frac{\sum r_f * \sum s_f}{N} = \frac{51 * 57}{175} = 16,61.$$

Po istom se obrascu izračunava frekvencije za kategoriju *apstraktno*:

$$ef_{\text{apstraktno}} = \frac{\sum r_a * \sum s_a}{N} = \frac{124 * 118}{175} = 83,61.$$

Suma očekivanih frekvencija slaganja po slučaju iznosi:

$$\sum ef_{\text{osnovne_kategorije}} = ef_{\text{fizičko}} + ef_{\text{apstraktno}} = 100,22.$$

Uvrštavanjem prethodnih vrijednosti u formulu za izračunavanje *Cohenova Kappa koeficijenta pouzdanosti* dobivamo vrijednost:

$$K_{osnovne_kategorije} = \frac{\sum a - \sum ef}{N - \sum ef} = \frac{165 - 100,22}{175 - 100,22} = 0,87.$$

Iz izračunanoga *Kappa koeficijenta pouzdanosti*, koji za ovaj slučaj ima vrijednost **0.87**, proizlazi visok stupanj pouzdanosti razvrstavanja pojmova predloženoga rječnika u osnovne vrste, s obzirom na to da se za koeficijente koji su veći od 0,7 smatra da je pouzdanost prihvatljiva.

Idući korak u ovom vrednovanju bila je analiza *Kappa koeficijenta pouzdanosti* razvrstavanja pojmova u šest podvrsta. Na prethodno opisan način kreirana je tablica slučajeva za podvrste.

Tablica 6.2: Tablica slučajeva za razvrstavanje pojmova u šest podvrsta

Ispitanici	Prijedlog						
	objekti	proces	atributi	koncepti	količine	relacije	$\sum r$
objekti	30	0	0	1	0	1	32
proces	0	19	0	0	0	0	19
atributi	0	0	38	2	0	1	41
koncepti	1	0	0	31	0	1	33
količine	0	1	0	0	7	0	8
relacije	6	0	0	3	0	33	42
$\sum s$	37	20	38	37	7	36	$N=175$

Zbrajanjem vrijednosti na dijagonali dobiva se ukupan broj slaganja između prijedloga i ispitanika:

$$\sum a_{podvrste} = 30 + 19 + 38 + 31 + 7 + 33 = 158.$$

Očekivane frekvencije za broj slaganja po principu slučaja za svaku podvrstu iznose:

$$ef_{objekti} = \frac{\sum r_{objekti} * \sum s_{objekti}}{N} = \frac{32 * 37}{175} = 6,76$$

$$ef_{proces} = \frac{\sum r_{proces} * \sum s_{proces}}{N} = \frac{19 * 20}{175} = 2,17$$

$$ef_{atributi} = \frac{\sum r_{atributi} * \sum s_{atributi}}{N} = \frac{41 * 38}{175} = 8,90$$

$$ef_{koncepti} = \frac{\sum r_{koncepti} * \sum s_{koncepti}}{N} = \frac{33 * 37}{175} = 6,98$$

$$ef_{kolicine} = \frac{\sum r_{kolicine} * \sum s_{kolicine}}{N} = \frac{8 * 7}{175} = 0,32$$

$$ef_{relacije} = \frac{\sum r_{relacije} * \sum s_{relacije}}{N} = \frac{42 * 36}{175} = 8,64$$

Suma očekivanih frekvencija slaganja po principu slučaja iznosi:

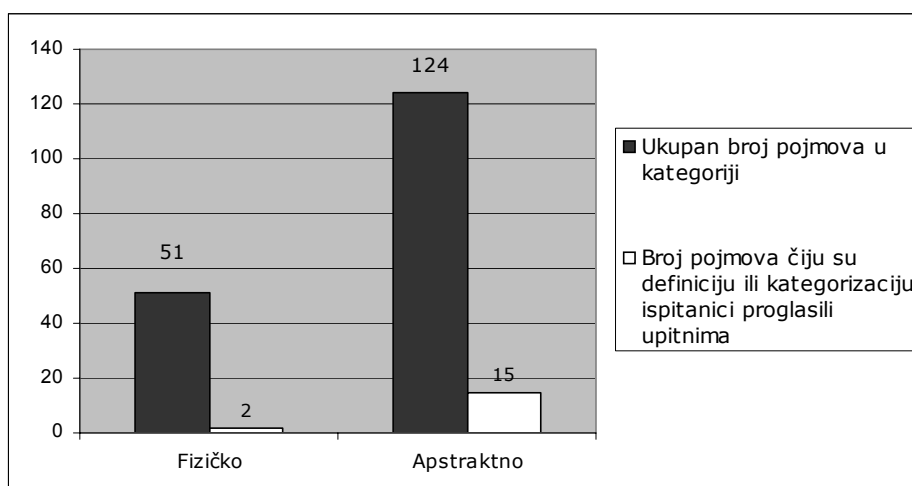
$$\sum ef_{podvrste} = 6,76 + 2,17 + 8,90 + 6,98 + 0,32 + 8,64 = 33,78.$$

Cohenov Kappa koeficijent pouzdanosti za razvrstavanje pojmova u podvrste glasi:

$$K_{podvrste} = \frac{\sum a - \sum ef}{N - \sum ef} = \frac{158 - 33,78}{175 - 33,78} = 0,88.$$

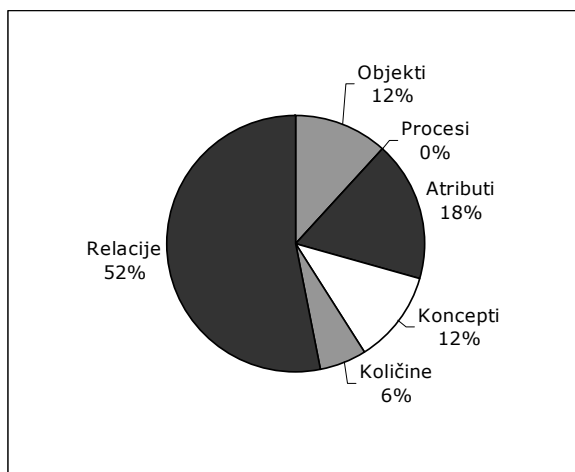
Iz izračunanoga Kappa koeficijenta pouzdanosti, koji za slučaj podvrsta ima vrijednost **0.88**, proizlazi dodatna potvrda visokoga stupanja pouzdanosti razvrstavanja pojmova predloženoga rječnika u podvrste (uzevši u obzir da se, kao što je rečeno za koeficijente koji su veći od 0,7, smatra kako je pouzdanost prihvatljiva).

Razmotrimo li pobliže rezultate za razvrstavanje u osnovne vrste, vidi se da se ispitanici nisu složili ili su imali prigovor na 17 predloženih pojmova, od kojih je velika većina bila za pojmove koji pripadaju kategoriji *apstraktno* [Slika 6.1].



Slika 6.1: Rezultat izjašnjavanja ispitanika o pojmovima i taksonomijama

Daljnjom analizom rezultata razvrstavanja u podvrste [Slika 6.2] utvrđeno je da je do neslaganja došlo zbog definicija pojmova i vrsta koje nisu bile dovoljno jasne.



Slika 6.2: Razdioba upitnih pojmova u svaku od podvrsta

To se prije svega odnosi na podvrstu *relacije*, čiji pojmovi čine polovicu svih upitnih, vjerojatno zato što su ti pojmovi najslabije pokriveni u teoretskim osnovama na kojima se istraživanje zasniva. Kao potpuna suprotnost može se spomenuti podvrsta *procesa*, za na koje pojmove ispitanici nisu imali primjedbi. Na temelju provedenih analiza, definicije pojmova i taksonomije svake od podvrsta dodatno su dorađene i prilagođene, pa je kao rezultat ove faze vrednovanja korigiran prijedlog rječnika.

6.2 Računalna implementacija rječnika

Kako bi se do kraja slijedila metodologija istraživanja za razvoj inženjerskih ontologija koja se rabili u ovom radu [Slika 4.3], nakon empirijskog istraživanja uslijedila je računalna implementacija. Istraživačkom metodologijom predviđeno je da se u ovoj fazi istraživanja kreira računalni rječnik (tezaurus) od predloženih pojmova te da se on popuni i testira generiranjem instanci pojmova za opisivanje znanja o realnim proizvodima. Da bi se generirale instance za opis realnih proizvoda, iskorišteni su edukacijski primjeri iz knjige *Hubke, Andreasena i Edera* [159]. Ti su edukacijski primjeri kreirani za ilustraciju teoretskih osnova koje stoje u pozadini istraživanja, stoga su u ovom istraživanju ocijenjeni posebno prikladnima za testiranje računalne implementacije rječnika. Od eventualne uporabe primjera iz svakodnevne prakse u ovoj se fazi istraživanja odustalo, zato što je teško pronaći dokumentirano znanje o proizvodu koje je strukturirano na način sukladan teoriji, a posebno se to odnosi na informacije koje nisu strogo geometrijske kao one koje nastaju u ranim fazama razvoja. Razlog takvoj situaciji leži vjerojatno u nedovoljnom iskorištenju raznovrsnih teoretskih informacijskih modela proizvoda u realnoj praksi, kao što je opisano u uvodnom poglavlju.

Edukacijski primjeri spomenuti u prethodnom ulomku odabrani su u ovoj fazi vrednovanja zato što su fokusirani na problematiku negeometrijskih informacija, opisujući kako se na temelju prepoznavanja problema definiraju korisničke potrebe, specificiraju zahtjevi, identificiraju značajke životnoga vijeka proizvoda, opisuju tehnički proces u kojem će se proizvod rabiti te određuje konstitucija i ponašanje proizvoda. No čak i za edukacijske primjere kreiranje instanci pojmova za opisivanje znanja moralo se napraviti ručno, zbog višestrukoga značenja pojedinih pojmova koji se pojavljuju u tim primjerima te izjednačavanja razine apstrakcije. Naime, s obzirom na to da je za opisivanje primjera upotrijebljen prirodni jezik, mnogi su pojmovi sintaktički različiti, no imaju isto značenje (kao npr. rotiranje i vrtnja). Ta se spoznaja potpuno slaže s nekim pokazateljima iz sličnih istraživanja [122], prema kojima svaki pojam koji se rabi u industrijskoj praksi ima u svakodnevnoj upotrebi do četiri ekvivalenta. Posljedica te činjenice jest ta da bi proces implementacije računalnoga rječnika i kreiranja instanci bio znatno zahtjevniji bez pomoći računalnih aplikacija kreiranih za pomoć u razvoju ontologija.

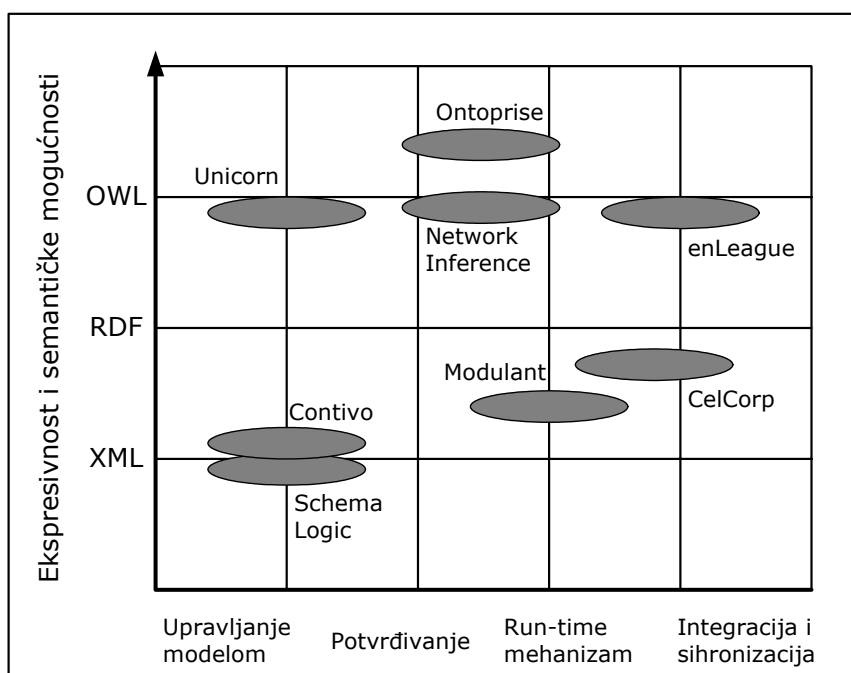
6.2.1 Razvojne okoline za kreiranje i upravljanje ontologijama

Istraživanja na području formalnih jezika za prikaz i implementaciju ontologija već su prethodno opisana u ovoj disertaciji [poglavlje 4.2.3]. Na temelju tih istraživanja ili paralelno s njima razvijene su računalne aplikacije koje bi trebale pomoći u kreiranju ontologija te ostvarivanju semantičke interoperabilnosti. Treba naglasiti kako je većina

rješenja koja se nude na tržištu relativno nova (mlađa od 5 godina) te da su nastala na temelju istraživanja koja su počela nakon 1990. godine. Na temelju analize postojećih aplikacija na tržištu [160] mogu se identificirati njihove glavne značajke:

- kreiranje i objavljivanje dijeljenih rječnika
- indeksiranje podataka, uključujući i metapodatke
- podrška većem broju standardnih formata za razmjenu podataka
- podrška procesu upravljanja modelom i razvojem modela
- generiranje programskih skripata potrebnih za kopiranje ili premještanje podataka iz jednog izvora u drugi
- primjena pravila zaključivanja za potvrđivanje integriteta modela podataka
- skalabilni semantički mehanizam za podršku velikom broju istodobnih upita u realnom vremenu
- integracija s web servisima

Usporedba glavnih karakteristika postojećih aplikacija prikazana je u tablici [Tablica 6.3], a na slici [Slika 6.3] možemo vidjeti kakav je položaj rješenja koje aplikacije nude na području semantičke interoperabilnosti. Vertikalna os predstavlja sposobnost aplikacije za integriranje različitih informacija, zasnovano na njihovoj semantici. Horizontalna pozicija predstavlja fokus pojedinoga paketa, pa je to razlog zbog kojeg horizontalna os ne završava strelicom s obzirom na to da ne prikazuje progresiju mogućnosti.



Slika 6.3: Pozicije razvojnih okolina u prostoru semantičke integracije

Razvojnu okolinu upotrijebljenu u istraživanju prikazanom u ovoj disertaciji čine proizvodi *OntoEdit®* & *OntoBroker®* njemačke tvrtke *Ontoprise GmbH* [161]. Osnovne značajke *Ontopriseove* razvojne okoline, koje ju zbog njihove kombinacije čine gotovo jedinstvenom među ostalim prisutnim na tržištu, jesu [162], [163]:

- podrška svim osnovnim fazama procesa kreiranja ontologije opisanima u poglavlju 4.2.1 - specifikaciji zahtjeva, prikupljanju podataka, početnoj formalizaciji te nadopuni i vrednovanju
- implementacija mehanizama zaključivanja koji su učinkoviti za velike ontologije
- mogućnost razvoja ontologije u okolini u kojoj je potrebna istodobna suradnja većega broja ljudi.

Tablica 6.3: Karakteristike razvojnih okolina za razvoj i primjenu ontologija

Razvojna okolina	Godina osnivanja	Status proizvoda	Prikaz znanja	Mogućnost zaključivanja	Sučelja	Podrška za web servise
Celcorp Celware www.celcorp.com	1990.	Zrelo, fokus na financijskim servisima	RDF	Vlastiti sustav	SQL	Nema
Contivo Enterprise Integration modeling Server www.contivo.com	1998.	Relativno zrelo, sa širokom listom korisnika	RDF	Nepoznato	XML, RDB, tekstualne datoteke	XML, SOAP, WSDL
EnLeague Semantic Broker www.enleague.com	2000.	Novo	RDF, DAML+OIL	Integriranje vanjskih aplikacija drugih proizvođača	XML, RDB, RDF/S	XML, SOAP, WSDL, UDDI
Modulant Contextia Product Suite www.modulant.com	2000.	Relativno zrelo, fokus na STEP korisnike	XML, RDF	Nepoznato	XML, RDB, STEP 21	XML, SOAP
Network Inference Celebra Platform www.networkinference.com	2000.	Novo, fokus na područje biotehnologije	RDF, DAML+OIL, OWL	Deskriptivna logika	XML, RDB	XML, SOAP, WSDL
Ontoprise OntoEdit & OntoBroker www.ontoprise.com	1999.	Relativno zrelo, sa širokom listom implementacija	RDF, DAML+OIL, OWL	F- logika	XML, RDB, RDF/S	XML
SchemaLogic SchemaServer www.schemalogic.com	2001.	Novo, fokus na upravljanju strukturiranim i nestrukturiranim podacima	XML	Nema	XML, RDF	XML, SOAP
Unicorn Systems www.unicorn.com	2001.	Relativno novo, fokus na upravljanju podacima o poduzeću	RDF, DAML+OIL, OWL	Integriranje vanjskih aplikacija drugih proizvođača	SQL, RDB, XML, UML, RDF/S	XML

Kako bi se omogućilo jasno definiranje semantike modela znanja koji se kreira primjenom *Ontopriseove* razvojne okoline, njezine strukture znanja odgovaraju logičkom okviru zvanom *F-Logika* [127]. Osnovna značajka *F-Logike* jest ta da omogućuje sažeto

definiranje kategorija, atributa, relacija i instanci. Osim toga, upotrebom nelogičkih predikata i funkcijskih simbola omogućuje se kreiranje aksioma kojima se ograničuje interpretacija modela znanja. Treba još naglasiti kako je semantika *F-Logike* bliska logici prvoga reda te da ima ekspresivne mogućnosti Hornove logike. Model *F-Logike* sastoji se od skupova istinitih, lažnih i nepoznatih činjenica. Od praktičnih značajki *Ontoprise®* razvojne okoline treba istaknuti i mehanizam koji omogućuje podjelu dijelova ontologije na module koji se mogu procesirati odvojenim mehanizmima zaključivanja, zatim mogućnost isključivanja pojedinih definicija i pravila prilikom testiranja, mogućnost pohranjivanja podataka u različite relacijske baze te aplikacijsko sučelje koje omogućuje korisničku dogradnju za različite svrhe.

6.2.2 Testiranje rječnika upotrebom *Ontoprise®* razvojne okoline

Pomoću *Ontoprise®* razvojne okoline može se provesti nekoliko vidova evaluacije u odnosu na ciljeve koji su bili postavljeni na početku procesa razvoja ontologije:

- Interaktivno kreiranje skupa instanci na temelju predloženoga modela znanja uz definiranje aksioma omogućuje kreiranje testnoga skupa podataka na kojem se može provjeriti konzistentnost modela znanja.
- Kreiranje aksioma u kombinaciji s mehanizmom zaključivanja omogućuje izbjegavanje pogrešaka u modelu znanja i njihovo lociranje – samo kreiranje instanci omogućuje prepoznavanje pogrešaka, no ono zapravo nije podrška pronalaženju lokacije pogreške u strukturi modela. Skup svih pojmova i aksioma u konkretnom slučaju vrlo je kompleksan, pa je često vrlo teško imati potpun pregled nad njim te prepoznati dijelove koji su pogrešno definirani. *Ontopriseov* mehanizam zaključivanja uključuje u sebi sustav samoprovjere te modul za otklanjanje pogrešaka. Osim toga, razvojna okolina *Ontoprisea* posjeduje vrlo jednostavnu, ali djelotvornu, metodu uključivanja/isključivanja pojedinih aksioma u slučaju testiranja.
- Neformalna pitanja koja su se primjenjivala na teoretske osnove u ekstrahiranju pojmova s područja o kojem se govori mogu se formalizirati u semantičke upite, rezultat kojih se može iskoristiti za provjeru jesu li zahtjevi specificirani neformalnim pitanjima ispunjeni predloženom ontologijom.

Prva faza u upotrebi *Ontoprise®* razvojne okoline bilo je kreiranje modela znanja, tj. definiranje pojedinih klasa pojmova u skladu s predloženim rječnikom. U tu su svrhu preložene taksonomije za pet podvrsta (objekti, procesi, atributi, koncepti i količine) preslikane u stablo klasa pojmova, kao što je prikazano na slici [Slika 6.4], dok su klase predloženih relacija preslikane u zasebno stablo [Slika 6.5] u skladu s radnom filozofijom *Ontopriseove* razvojne okoline. Relacije su zatim dodatno karakterizirane s obzirom na njihova logička svojstva [poglavlje 5.6], i to tako da su kreirani aksiomi prema sintaksi *F-Logike*:

FORALL X,Y X[#ime_relacije ->> Y] <-
(Y[#ime_relacije ->> X])

simetričnost

FORALL X,Y <- (NOT (Y[#ime_relacije ->> X])) <-
(X[#ime_relacije ->> Y])

antisimetričnost

FORALL X <-
(X[#ime_relacije ->> X])

refleksivnost

FORALL X <-
(NOT (X[#ime_relacije->>X]))

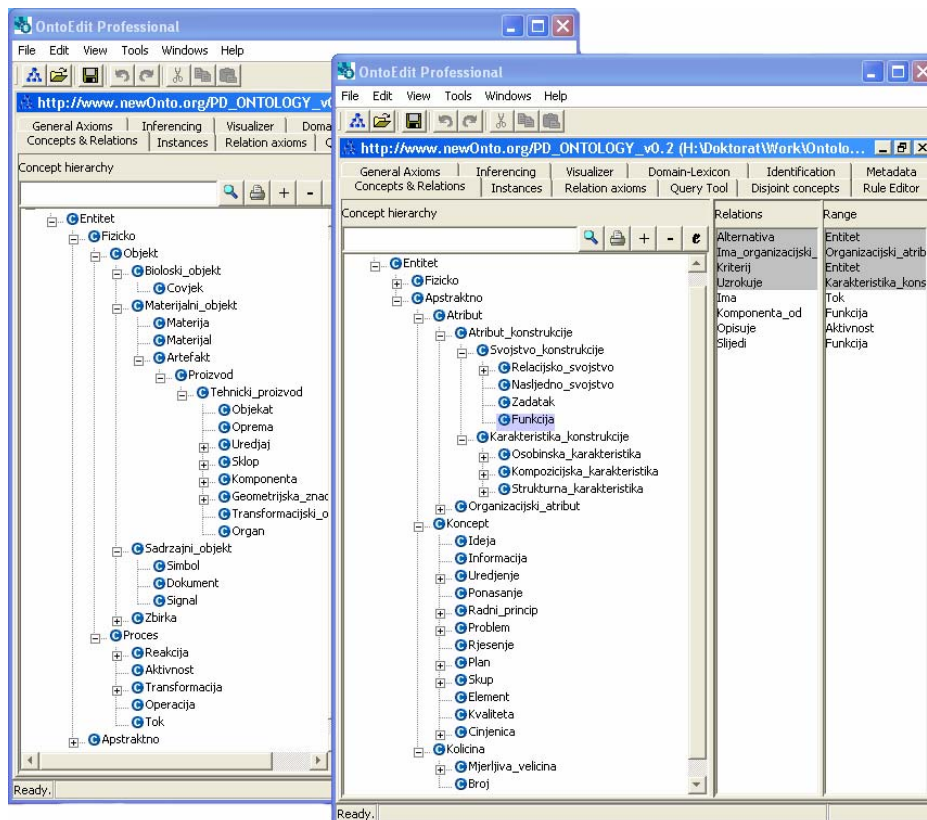
irefleksivnost

FORALL X,Y,Z X[#ime_relacije ->> Z] <-
(X[#ime_relacije ->> Y]
AND Y[#ime_relacije ->> Z])

tranzitivnost

FORALL X,Y,Z <-
(NOT(X[#ime_relacije ->> Z]) <-
(X[#ime_relacije ->> Y] AND Y[#ime_relacije ->> Z])

intranзитivnost

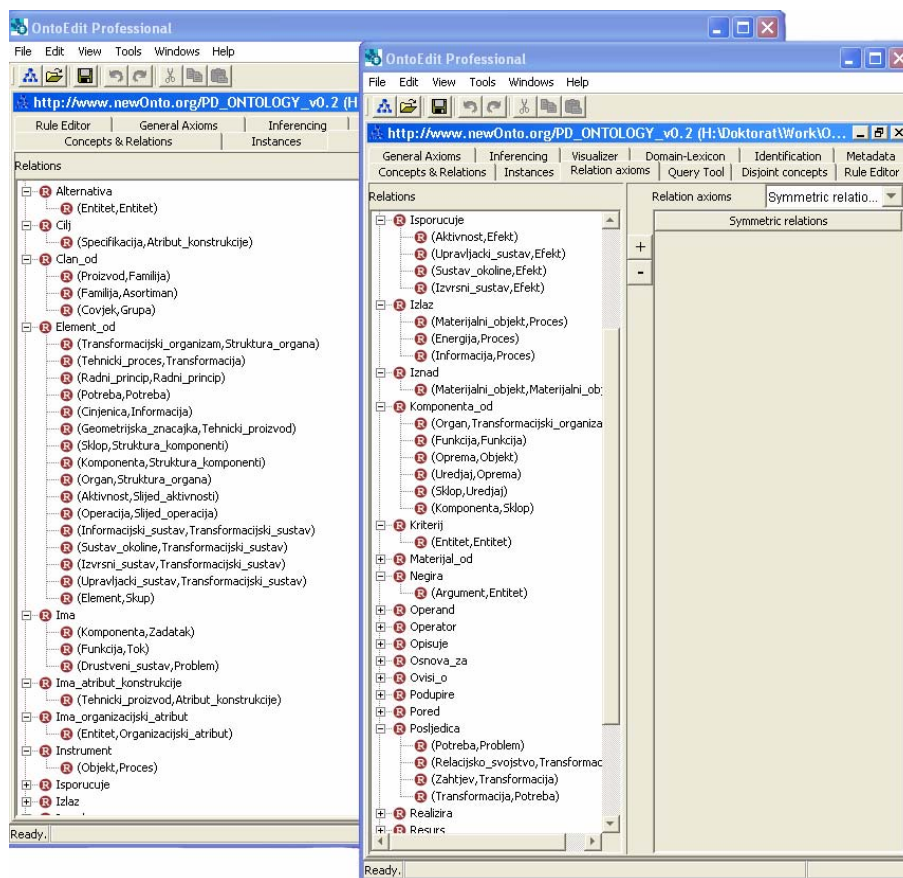


Slika 6.4: Stablo pojmova kreirano u Ontoprise® razvojnoj okolini

Osim navedenih aksioma, mogu se kreirati i dodatni aksiomi za ograničavanje modela ontologije definiranjem pravila koja dodatno povezuju pojedine pojmove rječnika. Kao primjer, ovdje možemo spomenuti pojam *meronimičkoga preklapanja* entiteta, koji nije definiran kao element rječnika, no može se definirati aksiomom sljedećega sadržaja:

FORALL X,Y,Z *Preklapaju se*(X,Y) <-
(EXISTS Z (Z[#*Meronimička relacija*->>X]
AND Z[#*Meronimička relacija*->>Y]
AND NOT equal(X,Y))).

Prethodni aksiom govori da se dva složena entiteta *meronimički preklapaju* ako postoji barem jedan jednostavni entitet koji je u meronimičkoj relaciji (komponenta od, element od itd.) s oba složena entiteta. Zadnji red prikazanog aksioma služi kako bi se izbjeglo zaključivanje tvrdnji o preklapanju entiteta sa samim sobom, što je očito i nepotrebno.



Slika 6.5: Stablo relacija kreirano u *Ontoprise®* razvojnoj okolini

Slično možemo pogledati i aksiom koje govori o tome kako se općenite relacije između dva entiteta šire na cjelinu koju ti entiteti čine:

$$\text{FORALL } X, Y, Z \text{ (} Z[\# \textit{Realizira} \rightarrow X] \text{) } \leftarrow \\ ((X[\# \textit{Meronimička relacija} \rightarrow Y] \\ \text{AND } Z[\# \textit{Realizira} \rightarrow Y])).$$

Prethodni aksiom govori o tome da ako entitet realizira neki složeni entitet, tada on istodobno realizira i sve njegove dijelove. Sličnih aksioma teoretski se može definirati beskonačno mnogo na temelju osnova koje stoje u pozadini određene ontologije, no potreba za njihovim definiranjem ovisi samo o konkretnom slučaju primjene i zahtjevima koje pojedini implementacijski projekti nose sa sobom. Stoga se oni ne bi trebali uključiti (praktički ih je gotovo nemoguće sve predvidjeti) u ontologiju razine područja kakva se promatrala u ovom istraživanju, jer bi se time ograničile mogućnosti za njezino proširenje u budućnosti te tako prekršio osnovni princip kreiranja ontologija na više razina [Slika 5.1].

Nakon kreiranja računalnoga rječnika za opisivanje znanja (pojmovi, relacije i osnovni aksiomi), za njegovu daljnju evaluaciju trebalo je generirati instance pojmova i relacija za testne primjere. Ovom će se prilikom spomenuti dva testna primjera iz već spomenute

knjige *Hubke, Andreasena i Edera* [159], koja su poslužila za generiranje instanci – razrada uređaja za automatsko spravljanje čaja te razrada uređaja za autonomno izbacivanje vode koja se nakuplja u usidrenim brodicama. Veći dio informacija u navedenim primjerima postoji u neformalnom obliku kao što su skice, tablice i napomene, a što je ilustrativno prikazano na slikama [Slika 6.6, Slika 6.8]. Ekstrahiranje informacija o tim proizvodima zapisanih u takvu obliku dodatno je otežalo generiranje instanci, pa je to uzrokovalo da se proces generiranja instanci nije mogao automatizirati, nego je proveden ručno. Za svaki od primjera kreirano je stotinjak instanci pojmova i relacija upotrebom rječnika predloženoga disertacijom, pa su tako dobivene semantičke mreže koje u konačnici predstavljaju formalni zapis znanja proizašlog iz razvoja tih proizvoda [Slika 6.7, Slika 6.9]. Tako kreirani testni skupovi instanci poslužili su za daljnju provjeru konzistentnosti predloženoga rječnika.

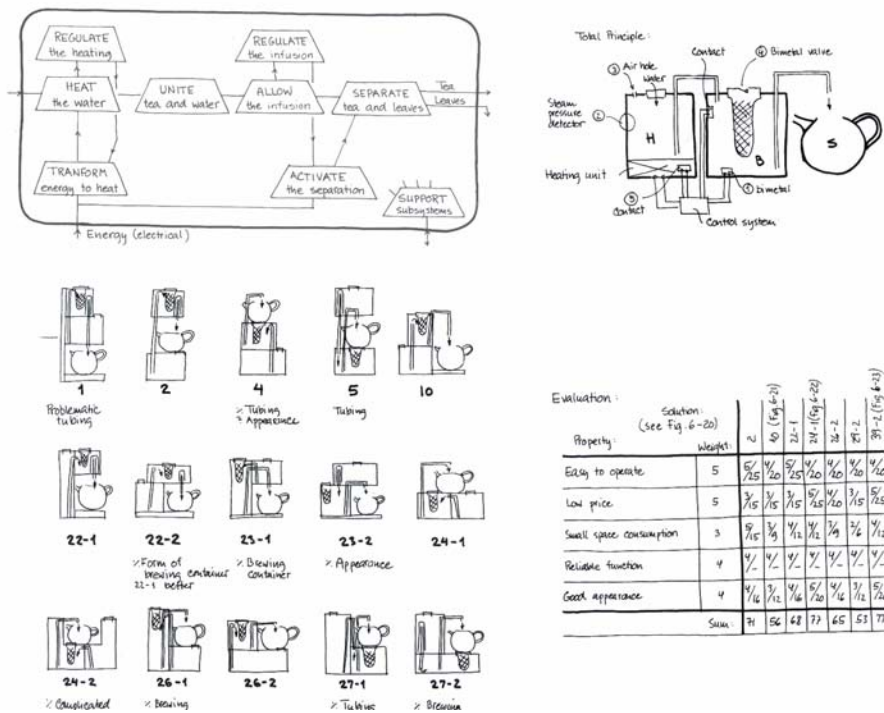
Prvi korak u provjeri konzistentnosti bilo je testiranje jednostavnih upita. Na slici [Slika 6.10] sažeto je prikazan način testiranja pojedinih aksioma na primjeru upita kojim se od sustava traži odgovor na pitanje što se *realizira strukturom komponenti uređaja za izbacivanje vode?* Zapisan formalnim jezikom, taj se upit može promatrati kao specijalna vrsta pravila:

```
FORALL Y <-  
  #Struktura_komponenti_Uredjaj_za_izbacivanje_vode[#Realizira->>Y].
```

U prvom koraku upita svi su aksiomi bili isključeni, pa te je kao rezultat proizašla tvrdnja da *struktura komponenti realizira strukturu organa*, što je bilo i očekivano s obzirom na to da je takva relacija eksplicitno definirana između pojmova rječnika. Uključivanjem aksioma tranzitivnosti u odgovoru se pojavljuje i *radni princip*, s obzirom na to da je među pojmovima eksplicitno definirana i relacija kojom se kaže kako *struktura organa realizira radni princip* na kojem se funkcioniranje proizvoda zasniva. Dodatnim uključivanjem aksioma propagacije dobiva se puno širi odgovor, koji dodatno uključuje i *organizme* kao *elemente strukture organa*, *organe* kao *komponente organizama* te *funkcije* koje pojedini *organi realiziraju*. Ovaj primjer zorno ilustrira prednosti i mogućnosti što ih definiranje aksioma donosi u formalni model.

Dok su prethodno opisani postupci testiranja konzistentnosti omogućili otkrivanje pogrešaka u predloženom modelu, nisu rekli ništa o tome gdje se te pogreške u modelu nalaze. Za prijedlog rječnika koji je predmet ovog istraživanja skup svih aksioma, pojmova i instanci veoma je kompleksan, što uzrokuje situaciju u kojoj su aksiomi često u interakciji jedni s drugima prilikom izvođenja. Ta situacija dovodi do toga da je vrlo teško imati pregled nad ispravnosti svih aksioma te odrediti koji su od njih problematični. Najčešći problemi koji su se javljali prilikom testiranja rječnika na primjerima bili su:

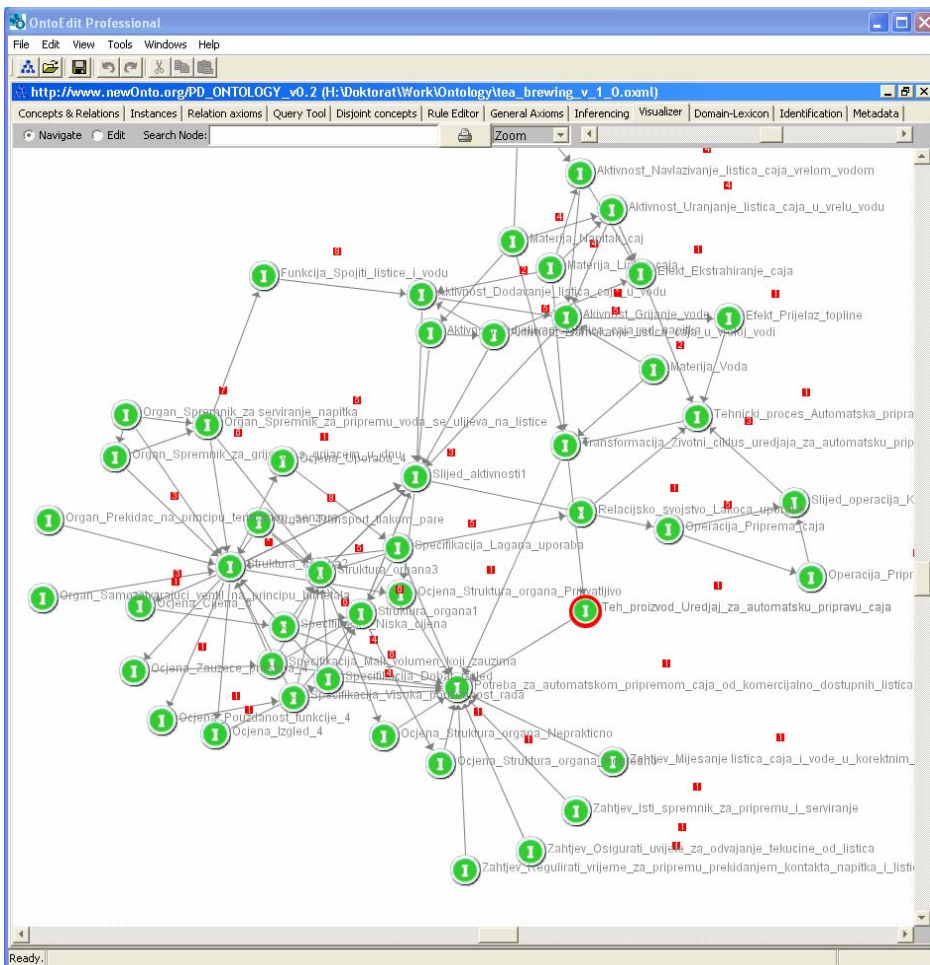
- aksiomi koji su sadržavali pogreške u pisanju, kao što je npr. pogrešno ime pojma ili relacije
- aksiomi koji su sadržavali semantičke pogreške, tj. pravila koja nisu izražavala predviđeno značenje
- aksiomi koji su bili definirani tako da njihovo izvođenje zahtijeva vrlo mnogo vremena te ih je u mreži interakcija bilo teško prepoznati.



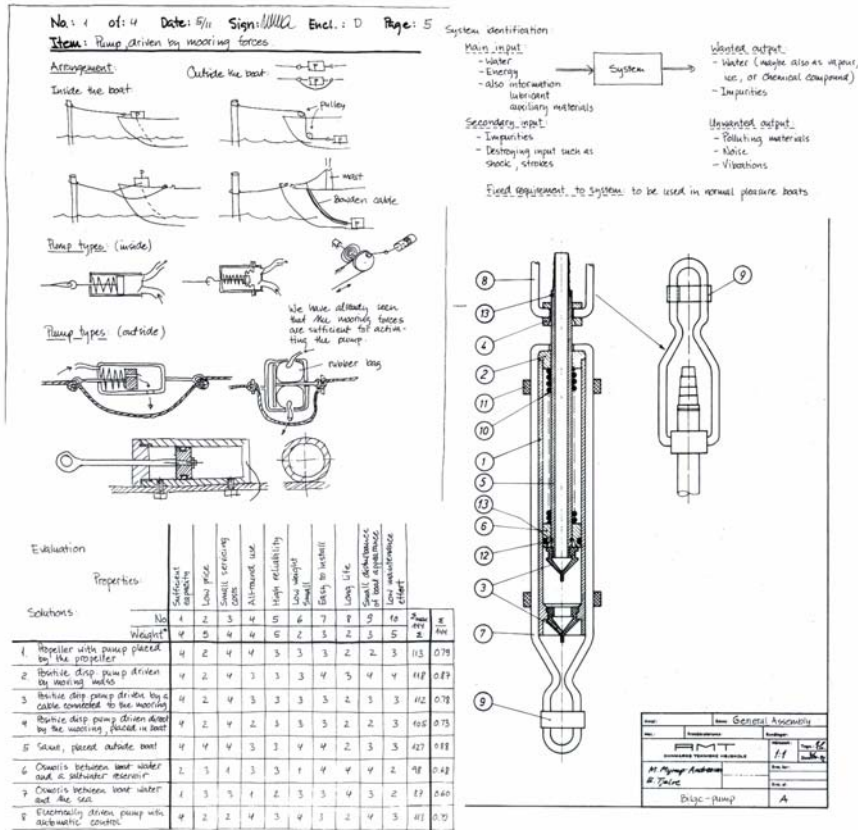
Evaluation:

Property	Solution: (see Fig 6-20)	40 (Fig 6-21)					24-1 (Fig 6-22)					28-2					29-2 (Fig 6-23)				
		Weight	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4			
Easy to operate	5	5/25	4/20	5/25	4/20	4/20	4/20	5/25	4/20	4/20	5/25	4/20	4/20	5/25	4/20	4/20	5/25	4/20			
Low price	5	5/25	4/20	3/15	4/20	5/25	4/20	3/15	4/20	5/25	4/20	3/15	4/20	5/25	4/20	3/15	4/20	5/25			
Small space consumption	3	3/15	4/20	4/20	4/20	3/15	4/20	4/20	3/15	4/20	4/20	3/15	4/20	4/20	3/15	4/20	4/20	3/15			
Reliable function	4	4/20	4/20	4/20	4/20	4/20	4/20	4/20	4/20	4/20	4/20	4/20	4/20	4/20	4/20	4/20	4/20	4/20			
Good appearance	4	4/20	3/15	4/20	4/20	4/20	4/20	4/20	4/20	4/20	4/20	4/20	4/20	4/20	4/20	4/20	4/20	4/20			
Sum	71	56	48	77	65	53	77	65	53	77	65	53	77	65	53	77	65	53			

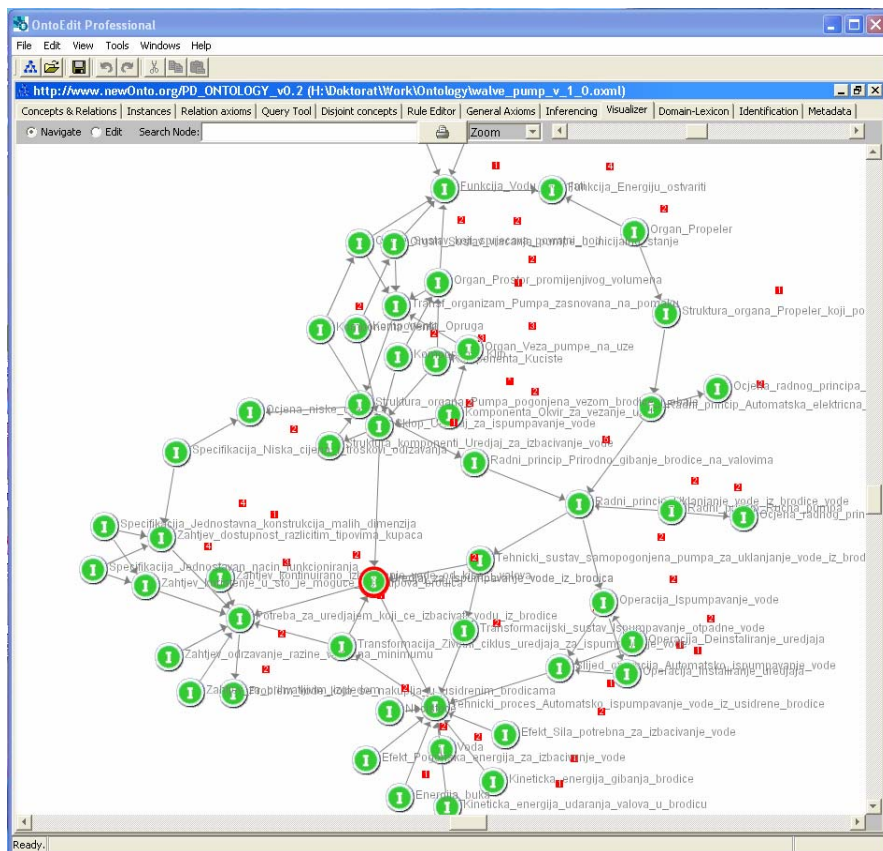
Slika 6.6: Razrada uređaja za automatsko spravljanje čaja [159]



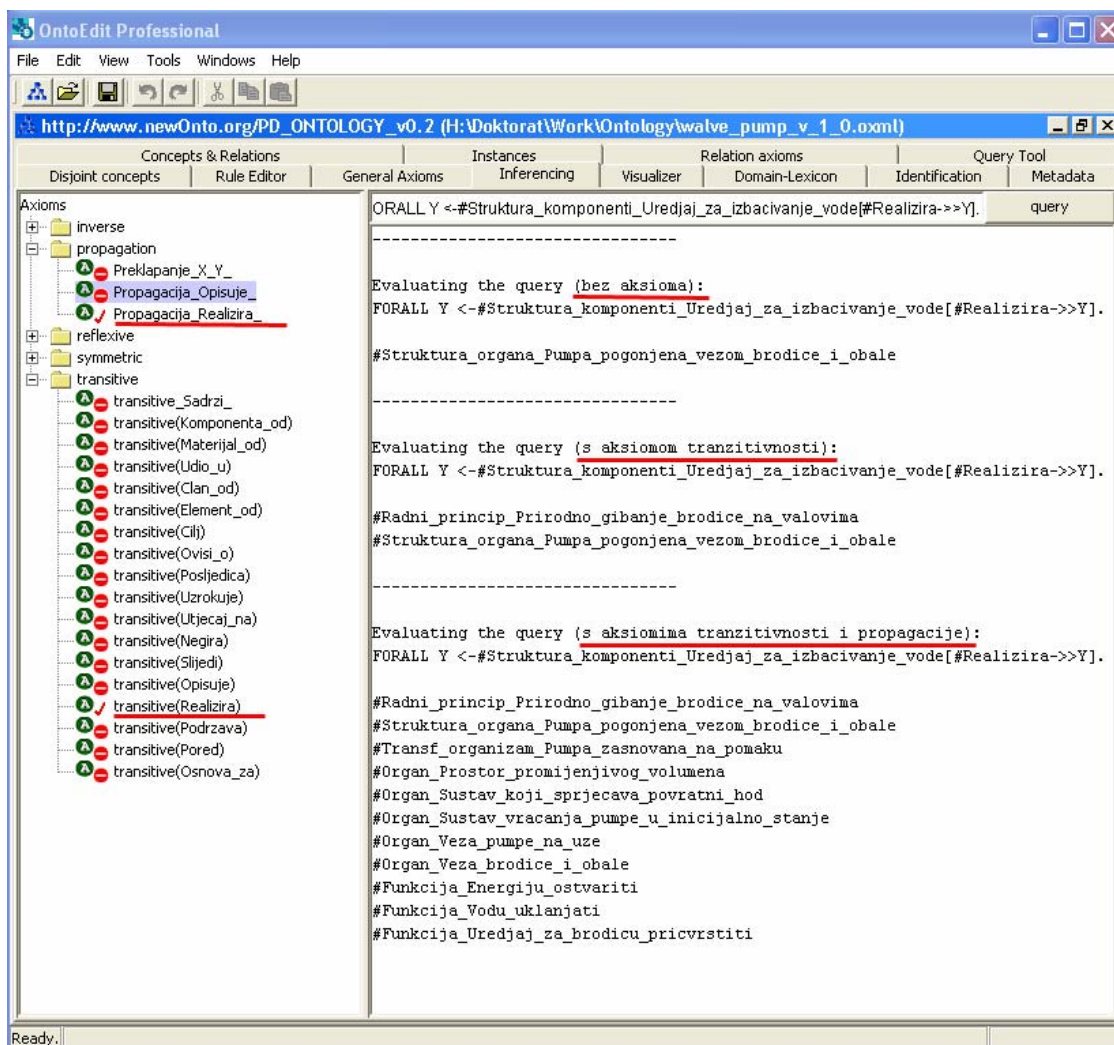
Slika 6.7: Semantička mreža instanci pojmova i relacija kao formalni zapis znanja o uređaju za automatsko spravljanje čaja



Slika 6.8: Razrada uređaja za izbacivanje nakupljene vode iz usidrenih brodice [159]



Slika 6.9: Semantička mreža instanci pojmova i relacija kao formalni zapis znanja o uređaju za izbacivanje nakupljene vode



Slika 6.10: Primjer testiranja jednostavnih upita

U upotrebi *Ontoprise*ove razvojne okoline za lociranje problema s modelom rabi se interakcija korisnika s mehanizmom zaključivanja. Kao prvo, već spomenuta mogućnost uključivanja/isključivanja pojedinih aksioma omogućila je izoliranje svakoga pojedinog slučaja te izvođenje zaključaka o mogućim pogreškama. Drugo, *Ontoprise*ov mehanizam zaključivanja može se *promatrati* tijekom izvođenja. Grafički prikaz skupa aksioma u obliku strukture stabla (prikazano na slici [Slika 6.10]) daje indiciju o tome koji se aksiom trenutno izvodi te koji su rezultati bili generirani prethodno. Na taj način olakšano je praćenje i razumijevanje utjecaja pojedinog aksioma na ostale aksiome, uz ocjenu vremena koje je potrebno za izvođenje pojedinog aksioma. Na temelju testiranja rječnika na pokazanim primjerima provedenoga pomoću *Ontoprise*® razvojne okoline, rječnik je konačno definiran te je dobio završni oblik prikazan u poglavlju 5.5 ove disertacije.

6.3 Metodologija implementacije ontologije kao osnove sustava za upravljanje znanjem o proizvodu

Zadnje istraživačko pitanje na koje je još trebalo odgovoriti jest ono vezano uz metodologiju implementacije predloženoga rječnika kao okosnice za upravljanje i

razmjenu znanja u razvoju proizvoda. Upravljanje znanjem definira se u literaturi kao sistematski, holistički pristup za održivo poboljšanje rukovanja znanjem na svim razinama organizacije (individue, radne grupe, odjeli, tvrtke, korporacije) [164]. U sklopu toga do sada smo se u ovoj disertaciji bavili uglavnom sadržajem znanja o proizvodu koje evoluira tijekom konstrukcijske faze razvoja. No kako bi se tim sadržajem djelotvorno upravljalo te ga se razmjenjivalo, treba odgovoriti na pitanja o računalnoj platformi kojom bi se rječnik i taksonomije predložene ovom disertacijom mogli primijeniti za realnu uporabu. Kao ključni zahtjevi za uspješnu primjenu sustava za upravljanje znanjem u realnoj radnoj okolini postojeća praktična i istraživačka iskustva naglasila su sljedeće [164]:

- *Prikupljanje i sistematsko organiziranje informacija i znanja iz različitih izvora.* Znanje potrebno za razne inženjerske procese razasuto je u različitim izvorima, kao što su papirnati i elektronski dokumenti, baze podataka, elektroničke poruke, CAD crteži i modeli, privatne zabilješke pojedinaca. Primarni zahtjev koji se postavlja pred sustave za upravljanje inženjerskim znanjem jest zaštita od gubitka te osiguranje pristupa inženjerskom znanju, pružajući mu centralizirano i dobro strukturirano spremište.
- *Minimalizacija potrebnih resursa za upravljanje znanjem.* Iako je prednost upotrebe sustava za upravljanje znanjem općenito prepoznata, tvrtke su još uvijek nesklone investiranju vremena i novca u nove tehnologije čije su prednosti daleke i nejasne. Osim toga, napredni korisnici imaju vrlo malo vremena za pohranjivanje svojega znanja. To je i razlog zašto sustavi za upravljanje znanjem obavezno moraju počivati na lako dostupnim informacijama (baze podataka, elektronički dokumenti), pokazati korist od svoje primjene vrlo brzo te se prilagođavati stalno promjenjivim zahtjevima.
- *Upotreba povratnih informacija od korisnika za održavanje i razvoj znanja.* Kako bi se znanje sadržano u sustavu za njegovo upravljanje uvijek održavalo točnim te se postupno unaprjeđivalo, važno je prikupiti povratne informacije od korisnika koji mogu istaknuti nedostatke i predložiti poboljšanja, bez prekidanja uobičajene radne rutine.
- *Integracija u postojeću radnu okolinu.* Kako bi korisnici prihvatili sustav on se mora uklopiti u postojeće radne tokove i razmjene informacija i znanja. Na tehničkoj razini, sustav za upravljanje znanjem mora se izravno povezati s alatima koji se rabe tijekom obavljanja dnevnih zadataka, u inženjerstvu uključujući CAX alate, alate za simulacije, sustave za upravljanje tokom poslom, procesore teksta, tablične kalkulatore itd.
- *Aktivna prezentacija relevantnoga znanja.* U industrijskoj praksi skupe se pogreške često ponavljaju zbog nedovoljne fluktuacije znanja. Pasivni informacijski sustavi ne mogu pomoći u izbjegavanju takve situacije, jer su radnici često prezaposleni da bi pretraživali pohranjeno znanje ili čak i ne znaju da određeno znanje već postoji. Sustavi za upravljanje znanjem moraju aktivno podsjećati korisnike na pohranjeno znanje koje bi im moglo biti korisno te biti kvalitetni partner u rješavanju problema.

U literaturi koja se bavi informatičkim tehnologijama na području upravljanja znanjem prevladava ocjena kako je za ostvarivanje prethodno navedenih zahtjeva nužno imati hibridno rješenje, tj. ono koje uključuje i ljude i tehnologiju [164], [165], [166]. Do potrebe za hibridnim sustavima došlo se nakon brojnih istraživanja i razvoja prototipnih "inteligentnih" razvojnih okolina (npr. ekspertni sustavi). Rezultati i vrednovanje takvih pokušaja naglasili su nedostatke autonomnih sustava te jasno pokazali kako učinkoviti sustav za upravljanje znanjem ne može biti samo pasivni računalni sustav, nego mora nužno djelovati uz čovjekovu podršku. Informatička tehnologija omogućuje lako prikupljanje, transformiranje i distribuiranje velike količine dobro strukturiranoga znanja. No za upravljanje prešutnim, općeprihvaćenim znanjem, koje je teško formalizirati i interpretirati u širem kontekstu, ljudi su još uvijek preporučeni "alat".

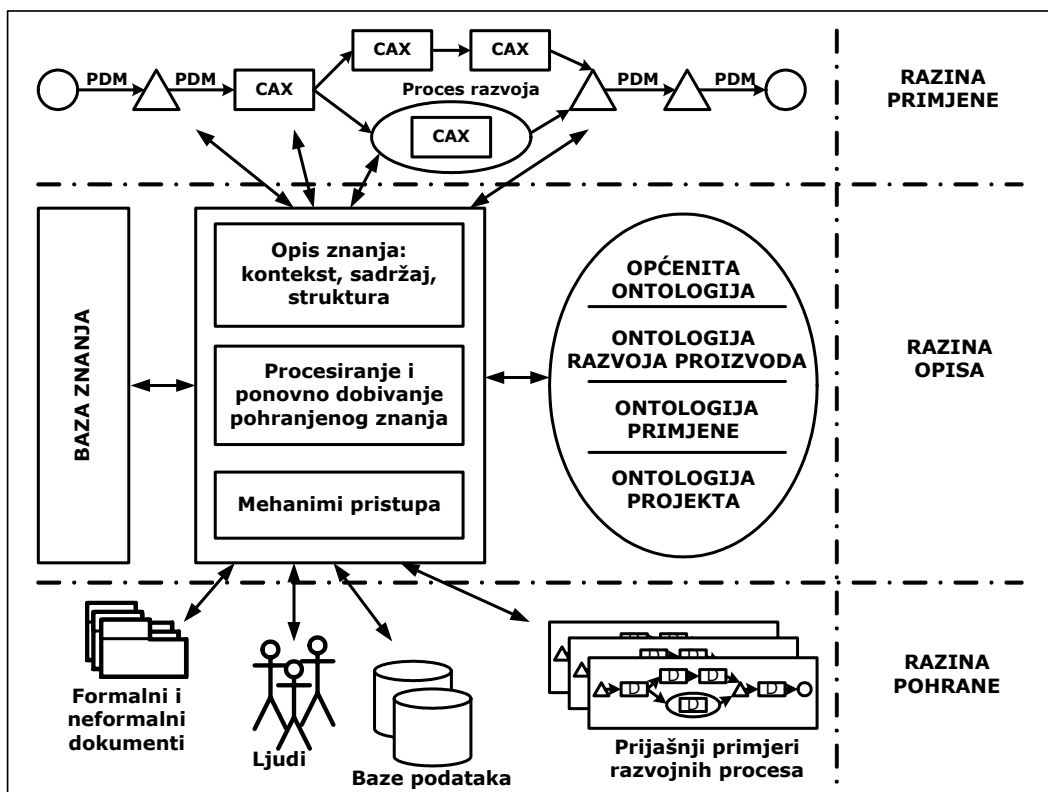
Poučak koji se pritom mora poštivati glasi: ako su resursi potrebni za formalizaciju znanja preveliki, ono mora ostati neformalno te biti ostavljeno ljudima za procesiranje. No čak i u tim slučajevima informatička tehnologija svojim mehanizmima može povećati kvalitetu donošenja odluka i rješavanja problema [166]. Hibridni sustavi odgovaraju i trendovima na koje se danas fokusiraju istraživanja umjetne inteligencije. Cilj iz njih proizašlih "inteligentnih pomoćnika" jest pomoć ljudima u rješavanju potproblema, kao što su izračuni, vrednovanja rješenja i sl. Nije zanemariva ni činjenica da hibridna kombinacija poboljšava ukupnu sposobnost rješavanja zadataka i lakše je prihvaćaju ljudi koji bi se trebali služiti takvim sustavima.

Osnovna usluga koju bi sustavi za upravljanje znanjem morali pružiti svojim korisnicima jest djelotvorni pristup nužnom i korisnom znanju potrebnom u određenom trenutku za uspješno obavljanje trenutačnog posla. Djelotvorni pristup znači da korisnik mora dobiti potrebno znanje, a da usput ne bude zatrpan gomilom irelevantnih informacija. Znanje je relevantno samo ako korisnik može obaviti svoj radni zadatak bolje s tim znanjem nego bez njega. Relevantnost znanja uvijek je definirana u odnosu na njegovu upotrebu. Sukladno tome, aktivna razmjena znanja u sustavu za upravljanje znanjem mora biti primarno orijentirana prema pojedinim zadacima u sklopu cjelokupnoga procesa razvoja. Postojeća je praksa, za razliku od toga, takva da je znanje relevantno za pojedini zadatak ili implicitno prikazano i pohranjeno u pojedinim aplikacijama - bazama podataka, ili uopće nije prikazano nego je na neki način pohranjeno u "ljudskim glavama". Ono što sustavi za upravljanje znanjem moraju pružiti jest eksplicitan prikaz veza između radnih zadataka i specifičnih situacija u razvoju te potrebnoga znanja za obavljanje zadataka u pojedinoj situaciji.

6.3.1 Prijedlog arhitekture sustava za upravljanje znanjem zasnovanog na ontologiji

Prednost koju mogu pružiti sustavi za upravljanje znanjem u razvoju proizvoda treba se manifestirati u kompleksnim radnim zadacima vezanima uz konstruiranje proizvoda. Kako bi obavili postavljene zadaće u toj fazi, konstruktori moraju posjedovati odgovarajuća znanja i vještine [167]. Sustav za upravljanje znanjem mora obuhvatiti raznolike izvore znanja, kontrolirati načine pristupa tim izvorima u skladu s potrebama korisnika koje su određene kombinacijom osobnih, organizacijskih i kontekstualnih okolnosti. Struktura predložene arhitekture sustava za upravljanje znanjem koja je prikazana u idućim ulomcima reflektira sljedeći princip: prikazom eksplicitnih veza

između formaliziranih elementa znanja, sadržaj znanja postaje dostupan za procesiranje i zaključivanje. Prijedlog arhitekture sustava za upravljanje znanjem zamišljen je zato da pruža aktivnu podršku sudionicima u razvoju proizvoda te uključuje tri razine kojima se naglašavaju glavni zadaci u realnoj implementaciji takva sustava [Slika 6.11]. Iz toga proizlazi da se sustav za upravljanje znanjem može najbolje opisati kao sustav koji počiva na integraciji poslovnih procesa i izvora znanja temeljenoj na formalnim modelima (ontologiji) kao osnovi za razumijevanje i procesiranje znanja.



Slika 6.11: Arhitektura sustava za upravljanje znanjem zasnovanog na ontologiji

Razina pohrane

Na ovoj su razini arhitekture sustava smješteni raznoliki izvori informacija i znanja - u rasponu od formalnih prikaza koji su razumljivi računalima do prikaza koji su razumljivi samo ljudima. Odluka o tome koji je dio znanja najvažniji za formalizaciju mora se za konkretan slučaj zasnivati na analizi *troškovi/dobitak* i pitanju koje se znanje uopće može razumno formalizirati. Sustav za upravljanje znanjem u razvoju proizvoda mora primarno obuhvatiti rad sa znanjem koje je sadržano u više ili manje strukturiranim elektroničkim dokumentima. Takvi neformalni ili polustrukturirani prikazi znanja prilagođeni su ljudskim potrebama, jer se za njih rabi lako razumljiv prirodni jezik, slike, crteži. Problem je što se takvi izvori ne mogu iskoristiti za automatsko zaključivanje (poput pravila kakva postoje u ekspertnim sustavima) niti se mogu procesirati mehanizmima semantičkih upita. Stoga znanje koje je pohranjeno u tim izvorima treba formalno opisati, što je i svrha *razine opisa*.

Razina opisa

Razina opisa osigurava jednoznačni pristup znanju pohranjenom u različitim izvorima koji se nalaze na *razini pohrane* na način da omogućuje:

- opisivanje relevantnoga znanja koje posjeduju korisnici ili je ugrađeno u sustave koji sudjeluju u određenom radnom zadatku ili situaciji
- precizno pronalaženje, efikasniji pristup i pravilnu interpretaciju pohranjenog znanja koje je relevantno za određeni radni zadatak ili situaciju.

Kako bi se dobio sveobuhvatan prikaz znanja koje evoluirala tijekom različitih razvojnih aktivnosti, treba na ovoj razini modelirati sadržaj i kontekst znanja. Prilikom modeliranja sadržaja, terminologija koja će se za to upotrijebiti može proizaći iz rječnika koji je predložen ovom disertacijom. Pojmovi toga rječnika čine osnovne elemente za formalni opis znanja o proizvodu i njegovom se primjenom dobiva leksička osnova za opisivanje potrebnoga znanja. Naravno, predloženi rječnik, treba prije implementacije proširiti s obzirom na zahtjeve konkretne primjene i realnoga implementacijskog projekta. Osim sadržaja, nužno je modelirati i kontekst u kojem se znanje kreira, pohranjuje, pretražuje i ponovno rabiti. Za to je nužno, slično prijedlogu rječnika za prikaz znanja o proizvodu, kreirati i *rječnik za prikaz znanja o procesu razvoja proizvoda*. Tim bi se rječnikom izražavao kontekst u vidu organizacijske strukture procesa u kojem se upravlja znanjem o proizvodu.

Razina primjene

Svrha ove razine jest povezivanje znanja sadržanog u izvorima s konkretnom razvojnom situacijom. Sadržaj razine primjene jesu aplikacije koje se rabe u svakodnevnim radnim zadacima tijekom razvoja proizvoda te uključuju raspon od unaprijed određenih aplikacija koje obavljaju točno određene, dobro definirane zadatke, do fleksibilnih i univerzalnih upita koji omogućuju korisnicima u razvoju pohranjivanje relevantnog znanja i pristup k pohranjenom znanju. Ako je riječ o unaprijed predodređenim aplikacijama i situacijama, rezultat koji se može očekivati jest vrlo uska podrška specifičnim aktivnostima, dok bi fleksibilniji mehanizmi pohrane i pretraživanja znanja mogli pokriti šire područje aktivnosti u razvojnom procesu, ali uz cijenu mnogih interakcije što dolaze od čovjeka.

Namjeravana upotreba prethodne arhitekture takva je da kad sudionik u razvoju proizvoda poželi pohraniti neko znanje vezano uz trenutačni radni zadatak ili situaciju, u bazu znanja pohraniti će opis toga znanja primjenom terminologije i pravila propisanih ontologijom, kao i informaciju o izvoru toga znanja, tj. dokumentu. U suprotnom, kad sudionik u razvoju proizvoda prepozna potrebu za određenim znanjem, derivira se semantički upit na temelju trenutačnih potreba korisnika za određenim znanjem, koje se među pohranjenim tvrdnjama u bazi znanja pronalazi na principima umjetne inteligencije, matematike, statistike i vizualizacije.

Predložena implementacijska arhitektura sagrađena oko ontologije mogla bi pomoći u rješavanju poteškoća vezanih uz ostvarenje potpunoga praćenja evolucije znanja u razvoju proizvoda:

- ontologija svakako pruža formalne sintaktičke i semantičke definicije
- različite razine apstrakcije ontologije mogu se iskoristiti za izbjegavanje situacijske prirode evolucije znanja
- semantička pravila i mehanizmi zaključivanja mogu pomoći u razrješavanju kompleksnosti pohranjenog znanja

- semantička interoperabilnost zasnovana na ontologiji može se iskoristiti kao medij komunikacije između različitih heterogenih izvora znanja.

Prije primjene predložene arhitekture, ipak treba provesti još temeljnih istraživanja vezanih uz proširenje predloženoga rječnika, koji bi osim pojmova vezanih za znanja o *proizvodu* morao uključiti i pojmove vezane uz znanje o *procesu* razvoja, bez čega realna implementacija ovakva sustava neće biti moguća. Iz toga proizlazi i jedan od mogućih smjerova budućih istraživanja, a to je proširenje predloženoga rječnika pojmovima i relacijama vezanim uz *procesa razvoja*, kao koraka bliže kreiranju sveobuhvatne *ontologije razvoja proizvoda*.

6.4 Implikacije na rad

U ovom je poglavlju opisano vrednovanje predloženoga rječnika za prikaz znanja o proizvodu te taksonomije pojmova toga rječnika. Vrednovanje je provedeno ocjenjivanjem pouzdanosti razvrstavanja pojmova i relacija, što su učinili drugi istraživači. Rezultati vrednovanja potvrdili su pretpostavku istraživanja te upozorili na otvorena pitanja koje će trebati rješavati u daljnjim istraživanjima. U skladu s metodologijom istraživanja koja se rabila u ovom istraživanju, nakon vrednovanja opisano je kreiranje računalnoga tezaurusa upotrebom *Ontoprise@* razvojne okoline. Kao ilustracija primjene predloženoga rječnika za prikaz znanja o proizvodu, računalni je tezaurus ispunjen instancama pojmova i relacija za realne proizvode. Autor je pokazao testiranje konzistentnosti modela te način otkrivanja i rješavanja pogrešaka uzrokovanih dodavanjem aksioma. Taj je proces poslužio kao osnova za dodatno ugađanje i kompletiranje predloženoga rječnika te dobivanje njegova konačnog oblika. Na kraju poglavlja ponuđen je odgovor na zadnje istraživačko pitanje vezano uz metodologiju implementacije predloženog rječnika kao osnove za smisleno upravljanje znanjem u razvoju proizvoda. U raspravi je zaključeno kako je osnovni preduvjet realne implementacije, prikazane kroz troslojnu arhitekturu, proširenje predloženoga rječnika pojmovima i relacijama potrebnim za opisivanje procesa razvoja, čime bi se zaokružila cjelina i napravio korak bliže k definiranju sveobuhvatne *ontologije razvoja proizvoda*. Na taj su način otvoreni smjerovi budućeg istraživanja.

7

ZAKLJUČAK

Završno poglavlje donosi sažetak istraživanja, diskusiju rezultata proizašlih iz rada, njihove vrijednosti i ograničenja. Na kraju poglavlja opisani su mogući smjerovi budućih istraživanja, čime je disertacija kompletirana.

7.1 Sažetak istraživanja

U skladu s općenitom metodologijom istraživanja u znanosti o konstruiranju opisanom u prvom poglavlju [poglavlje 1.4], istraživanje prikazano u ovoj disertaciji bilo je - s ciljem definiranja rječnika za prikaz i razmjenu znanja o proizvodu koje evoluira tijekom konstrukcijske faze razvoja - podijeljeno u četiri cjeline. Slijed od četiri cjeline prikazuje postupni razvoj istraživanja te daje smisao i smjer relativno dugoj i detaljnoj raspravi koja se proteže kroz ovu disertaciju.

1. Pregled problematike i fokusiranje istraživanja

Pregledom multidisciplinarnе stručne i znanstvene literature na početku istraživanja obuhvaćene su studije tradicionalnoga i distribuiranoga razvoja proizvoda, njihove značajke, prednosti i nedostaci. Opis područja, disciplina i alata uključenih u proces razmjene informacija te znanja proširen je proučavanjem problema interoperabilnosti računalnih sustava koji se rabe u razvoju proizvoda te poteškoća koje nastaju u pokušajima praćenja evolucije inženjerskoga znanja. Na temelju tih saznanja definirani su teoretski i praktični ciljevi istraživanja. Ontologija kojom se formalnim alatima opisuje znanje na nekom području na općenitoj razini prepoznata je kao osnova smislenog upravljanja znanjem i njegove razmjene. Stoga je kreiranje rječnika za prikaz znanja o proizvodu, kao prvoga koraka u kreiranju sveobuhvatne ontologije razvoja proizvoda, definirano kao poželjan rezultat istraživanja. Time su postavljeni ciljevi i granice istraživanja.

2. Odabir istraživačke metode i određivanje polazišta

U skladu s ciljem i granicama disertacije, zaključeno je kako se rječnik za prikaz znanja o proizvodu može kreirati konkretnom metodologijom, koja je prikazana u poglavlju 4.2.2, a predviđa dvije faze: empirijsko istraživanje i uporabu računala. Empirijsko istraživanje obuhvatilo je analizu dokumenta relevantnih za promatrano područje (teoretskih modela, industrijskih izvještaja i dokumentacije raznih softverskih alata), identifikaciju ključnih pojmova i veza među pojmovima na temelju analiziranih dokumenata te kreiranje taksonomije pojmova koji čine rječnik. Analiza dokumenta i identifikacija ključnih pojmova zahtijevala je jasnu definiciju teoretskih osnova istraživanja. U tu je svrhu kao teoretska osnova istraživanja odabran genetički sustav modela konstrukcije [79]. GDMS je odabran kao prihvatljiv teoretski model proizvoda, jer u usporedbi s ostalim modelima pokazuje sveobuhvatnost koju ostvaruje povezivanjem konstrukcije/proizvoda, susreta što ih proizvod ima u raznim fazama svojeg životnog vijeka te sustava koji postupno ostvaruju životni vijek proizvoda. Osim teoretskih modela proizvoda, analizirani su i teoretski modeli informacija i znanja te metode prikaza znanja kao ontološko polazište istraživanja. U sklopu ove faze definirana je logikom prvoga reda ontologija razvoja proizvoda i proces razvoja ontologija te je tako i formalno definiran predmet istraživanja u širem kontekstu.

3. Kreiranje doprinosa istraživanja definiranjem elemenata rječnika i njihove taksonomije

Na temelju analize teoretskih polazišta opisanih u prethodnoj fazi, pristupilo se sintezi, tj. ekstrahiranju ključnih pojmova i relacija među njima, počevši od tri osnovna pojma: konstrukcije/proizvoda, tehničkoga procesa upotrebe proizvoda i procesa transformacije proizvoda u njegovu životnom vijeku. U ovoj su fazi mnogi pojmovi odbačeni iz razmatranja te su prepoznati i definirani sinonimi. Pri ekstrahiranju se nastojalo izbjeći postojanje pojmova koji imaju isto značenje. Nakon ekstrahiranja uslijedilo je modeliranje rječnika karakterizacijom pojmova i kreiranjem njihove taksonomije. Najprije je određena epistemološka razina modeliranja te je u tu svrhu odabrana SUMO ontologija [140] najviše razine apstrakcije. Prethodno opisani proces rezultirao je sa šest glavnih vrsta u fizičkom i apstraktnom svijetu u koje su klasificirani pojmovi ekstrahirani kao sadržaj rječnika: objekti, procesi, atributi, koncepti, količine i relacije. Za svaku glavnu vrstu predložena je i taksonomija pojmova koji su joj pridruženi. Od posebne je važnosti bila kategorizacija relacija koje postoje među pojmovima na promatranom području, jer je to izvorna dogradnja teoretskih osnova na kojima se zasniva istraživanje. Na kraju ove faze istraživanja napravljena je primjenom formalne logike karakterizacija relacija sadržanih u rječniku, na temelju njihovih logičkih svojstava simetričnosti, refleksivnosti i tranzitivnosti.

4. Vrednovanje prijedloga rječnika i definiranja arhitekture računalne implementacije

U svakom istraživanju postoji potreba za verifikacijom rezultata s različitih gledišta. U ovom je slučaju najprije provedeno vrednovanje da bi se ocijenila pouzdanost predloženoga rječnika i taksonomija ocjenjivanjem prijedloga rječnika od relevantnih stručnjaka na promatranom istraživačkom području. Nakon toga je u skladu s metodologijom istraživanja, uporabom računala kreiran računalni tezaurus, kako bi se testirao predloženi rječnik. Upotrebom računalnog tezaurusa opisani su realni proizvodi te je na skupu instanci pojmova i relacija, koji je tako nastao, testirana konzistentnost

predloženoga modela. Testiranje je provedeno nizom testnih semantičkih upita, koji su pokazali svu funkcionalnost zaključivanja na temelju semantičkih relacija definiranih u rječniku. Kako bi se odgovorilo i na zadnje istraživačko pitanje, na kraju je predložena metodologija implementacije rječnika kroz troslojnu arhitekturu sustava za upravljanje znanjem koja se temelji na ontologiji razvoja proizvoda.

7.2 Diskusija rezultata

Istraživanja koja se bave problematikom distribuiranoga razvoja proizvoda usredotočuju se uglavnom na računalne alate koji bi mogli preslikati tradicionalnu radnu okolinu u novo, virtualno, okruženje. Iako je informatička tehnologija ponudila nove mogućnosti, ipak smo u praksi još uvijek daleko od preslikavanja efekata komunikacije i razmjene znanja koja se odvija na tradicionalne načine. Kako bi se prevladala takva situacija, nužno se vratiti osnovama razmjene znanja i pokušati pronaći načine za unapređivanje infrastrukture koja bi se mogla iskoristiti za djelotvornu komunikaciju među raznim sudionicima razvoja.

Pristup primijenjen u ovoj disertaciji, a da bi se riješili prethodno opisani problemi, pošao je od istraživanja fenomena proizvoda kao osnovnog objekta svakoga razvoja. Na temelju fenomena proizvoda predložen je formalni rječnik za prikaz znanja koje evoluiralo tijekom konstrukcijske faze kao formalne okosnice za djelotvornu komunikaciju između svih sudionika u razvoju. S obzirom na multidisciplinarnost razvojnoga procesa, ideja rječnika bila je u obuhvaćanju terminologije multidisciplinarnih pogleda na proizvod tijekom njihova razvoja. Istraživanjem praktične uloga rječnika kao osnove smislene razmjene znanja u realnim situacijama zaključeno je kako je rječnik samo dio problematike koju treba riješiti, pa ga je nužno istraživati u širem kontekstu ontologije razvoja proizvoda, što može biti glavni preduvjet i instrument za upravljanje znanjem na promatranom području.

Glavni zaključci koji su autora vodili od postavljanja problematike do predlaganja rješenja bili su:

1. *Upotreba općeprihvaćenih teorija promatranoga područja i ontologija visoke razine.* Formalizacija rječnika za neko područje ovisi o teoretskim osnovama definiranim na tom području. Mnogi izrazi koji se rabe u svakodnevnom govoru nisu razumljivi bez poznavanja teoretskih osnova u kojima su objašnjeni. U disertaciji je detaljno pokazano kako se teorije proizvoda koje postoje u promatranom području i SUMO ontologija visoke razine mogu iskoristiti za postupni razvoj rječnika na strukturirani način.
2. *Razlikovanje osnovnih vrsta pojmova rječnika.* Prilikom opisivanja znanja u promatranom području može se razlikovati širok spektar raznih vrsta pojmova. Kao originalni doprinos, pojmovi s promatranoga područja razvrstani su u šest glavnih vrsta na temelju prijedloga rječnika ontologije visoke razine, čime je ostvarena povratna kompatibilnost s tom ontologijom te se potvrdila važnost strukturiranoga pristupa. Razlikovanje vrsta pojmova iskoristilo se za razvoj odvojenih taksonomija, čime se osigurala modularnost prijedloga, a samim time i upotrebljivost predloženoga rječnika za druga slična područja.

3. *Razumijevanja i objašnjavanja pojmova formalnim definicijama koje se mogu iskoristiti za automatizirano zaključivanje.* Za kreiranje definicija svakoga pojma i objašnjavanje relacija koje postoje među njima na promatranom području potrebna je mnogo detaljnija specifikacija od ove koja postoji u sadašnjim teoretskim modelima. To posebno vrijedi za opis relacija među pojmovima, kojima gotovo da i nije posvećena pozornost u teoretskim osnovama. Stoga je kategorizacija i karakterizacija relacija tijekom pisanja ove disertacije originalni doprinos postojećoj teoriji proizvoda.
4. *Kreiranje rječnika u obliku razumljivom svim sudionicima razvoja.* Prijedlog rječnika i taksonomija pojmova moraju biti sveobuhvatni, pažljivo pripremljeni i u obliku opisanom prirodnim jezikom, što je osnovni preduvjet kako bi rječnik bio razumljiv svim subjektima koji sudjeluju u razvojnim procesima.
5. *Primjena rječnika u širem kontekstu.* Rječnik za prikaz znanja o proizvodu prema rezultatima prikazanih istraživanja je samo dio sveobuhvatne ontologije razvoja proizvoda. Kako bi se on mogao uspješno implementirati, nužno je provesti istraživanje i rječnika procesa razvoja. Tek s tim, tj. povezivanjem objekta razvoja s razvojnim aktivnostima, zadacima, sudionicima itd., moglo bi se razmišljati o realizaciji sustava za upravljanje znanjem. Zato je rječnik za prikaz znanja o proizvodu označen kao početna točka u tom procesu.

Ovo je istraživanje skupilo iskustva istraživača koji provode empirijska i teoretska istraživanja na području razvoja proizvoda, istraživača ontologija te računalne tehnologije. Uspjeh prikazane disertacije općenito se može argumentirati ostvarivanjem predviđenih istraživačkih ciljeva, dok se specifično može reći kako je glavni doprinos disertacije u sljedećem:

- Za područje razvoja proizvoda iskorištena je općenita metodologija za izgradnju ontologija s ciljem kreiranja rječnika, što je na području razvoja proizvoda jedan od rijetkih pokušaja.
- Vjerodostojnost istraživanju daje skup konzistentnih teoretskih modela proizvoda na koje se istraživanje nastavilo, pa su kao rezultat ti teoretski modeli prošireni spoznajama proizašlima iz istraživanja.
- Razgraničeni su pojmovi za prikaz znanja o proizvodu između fizičkog i apstraktnog, što je direktan doprinos boljem razumijevanju znanja o proizvodu.
- Definicije pojmova rječnika proizašle su iz teoretskih osnova i općeprihvaćene ontologije visoke razine, što svakako pridonosi razumijevanju situacije na istraživanom području.
- Rječnikom je predložen jezik kojim možemo opisivati proizvod na jednoznačan i razumljiv način gledano iz raznih perspektiva, što bi trebalo biti od velike koristi za razne razvojne projekte.

Na kraju se kao dodatak prethodno opisanim rezultatima može reći kako je njima potvrđena hipoteza ove disertacije:

Može se odrediti nužan i dovoljan skup osnovnih pojmova koji čine rječnik razvoja proizvoda. Takav rječnik razvoja proizvoda treba omogućiti

jednoznačan proces razmjene i transformacije informacija između različitih sudionika tijekom razvoja proizvoda. Specifikacija formalnoga prikaza entiteta rječnika treba poslužiti kao osnova za djelotvorniju integraciju i standardizaciju aktivnosti u modernom procesu razvoja proizvoda.

Ograničenja

Cilj svakog istraživanja na tehničkom području jest prezentiranje vrijednosti za istraživačku zajednicu i za inženjersku praksu. Može se reći da je drugi dio te prezentacije ostvaren samo do određenoga stupnja, jer bi konačna praktična potvrda rezultata istraživanja trebala uslijediti u budućim istraživanjima i primjeni rječnika u realnim projektima, za što najprije treba ostvariti preduvjete koji su opisani u disertaciji. Nakon toga moći će se dati detaljniji odgovori na pitanja korisnosti, implikacija te negativnih efekata realnih implementacija. Stoga će i konačno praktično vrednovanje doprinosa uslijediti naknadno. Vrednovanja koja su provedena u istraživanju pokazala su glavne probleme koji bi se mogli pojaviti primjenom ovakva rječnika u industriji. Poteškoće koje se mogu očekivati proizlaze iz preslikavanja prirodnoga jezika i načina na koji ljudi u praksi razmišljaju u predložene kompleksne taksonomije. Kako bi se to izbjeglo, valja razmisliti o načinima za osiguranje bolje vizualnosti taksonomija. Dalje, istraživanje je pokazalo kako je predložena terminologija rječnika dovoljno široka, no i samo polazište u definiranju ontologije razvoja proizvoda. Naime, ima mnogo specifičnih područja unutar općenitoga razvoja proizvoda koja imaju svoju dodatnu terminologiju, kao što i gotovo svaki razvojni odjel ima svoju. Otvorenima ostaju i dodatna pitanja koja će proizaći iz načina na koji sudionici u razvoju žele pohranjivati i pretraživati znanje, na što će odgovore morati dati buduća istraživanja.

7.3 Smjerovi daljnjeg istraživanja

Jasno je da se nije moglo kreirati rječnik koji bi zadovoljio svakoga. Upravo je zato modeliranje znanja o proizvodu na više razina ostavilo dovoljno prostora budućim istraživačima da prošire rječnik na razinama primjene i projekata. Pojmovi se na razini primjene organiziraju i dodaju tako da karakteriziraju značajke specifične za pojedini slučaj primjene unutar promatranoga područja. Razina projekata proširuje razinu primjene, tako da obuhvati specifično znanje koje postoji unutar svakoga pojedinog implementacijskog projekta, te ovisi o situaciji i zahtjevima konkretnoga implementacijskog scenarija. Dodatni pojmovi mogu se pojaviti kao specifični sinonimi općenitih pojmova, zahtjevi koji proizlaze iz internih procedura i pravila tvrtki (organizacijska, sigurnosna, povjerljivosti, kvalitete). Predviđeno je da se u nastavku istraživanja na razini primjene razmotri proširenje rječnika u svrhu:

- opisivanja znanja o familijama proizvoda i konfiguriranju proizvodnih varijanti
- opisivanje znanja o oblikovanju fizičkih komponenti i njihovoj geometriji.

Važan smjer budućih istraživanja trebao bi biti i kreiranje sveobuhvatne ontologije razvoja proizvoda, za koju bi osim u ovoj disertaciji predloženoga rječnika za opisivanje znanja o proizvodu trebalo kreirati i rječnik samoga procesa razvoja. On bi trebao pomoći u artikuliranju raznih radnih aktivnosti, zadataka i sudionika koji se rješavaju i sudjeluju

u pojedinim fazama razvojnoga procesa. To bi bio i korak bliže k realnoj implementaciji sustava za upravljanje znanjem prema arhitekturi predloženoj u ovoj disertaciji.

Na kraju, treba reći i sljedeće: češki matematičar *Kurt Gödel* još je 1931. godine pokazao kako će za svaku granu matematike uvijek postojati neke tvrdnje za koje se neće moći dokazati da su točne ili netočne upotrebom aksioma te iste grane matematike. Glavna implikacija te spoznaje jest činjenica kako su svi logički sustavi bilo koje kompleksnosti po definiciji nekompletni, jer svaki od njih sadrži u određenom trenutku više istinitih tvrdnji nego što ih se može dokazati njegovim skupom pravila. Gödelov teorem nekompletnosti tako se rabi kao argument koji potvrđuje činjenicu da računala nikako ne mogu biti "pametnija" od ljudi, jer je proširenje njihova "znanja" ograničeno konačnim skupom aksioma, za razliku od ljudi, koji uvijek mogu otkriti neočekivane istinite tvrdnje. U budućim istraživanjima koja će uslijediti na temelju istraživanja prikazanog u ovom radu treba imati na umu *Gödelov* teorem, kako bismo bili svjesni da nikada nećemo moći definirati kompletan skup aksioma i teorema kompletnosti za područje kojim se bavimo niti k tome treba težiti.

8

LITERATURA

- [1] Pascal, B.: "Pensees"; The Franklin Library; Pennsylvania; p.22; 1670/1979.
- [2] Szykman, S.; Fenves, S.J.; Keirouz, W. Shooter, S.B.: "A foundation for interoperability in next-generation product development systems"; *Computer-Aided Design* 33; pp. 545-559; 2001.
- [3] Štorga, M., Marjanović, D., Bojčetić, N.: "Consideration on IT systems interoperability in product development"; *Proceedings of the TMCE 2004*; Millpress; Rotterdam; pp. 787-796.; 2004.
- [4] Ropohol, G.: "Flexibile Fertigungssysteme"; Krausskopf Verlag; Mainz; 1971.
- [5] Blessing, L.: "What is thing called Design Research"; *Annals of 2002 Int'I CIRP Design Seminar*; Hong Kong; 2002.
- [6] Hubka, V., Eder. W.E.: "Theory of technical systems – A total Concept Theory for Engineering Design"; Berlin Heidelberg: Springer-Verlag; 1988.
- [7] Comte, A.: "A General View of Positivism" London: Routledge and Sons; 1907.
- [8] Von Wright, G.H.: "Explanation and Understanding"; London: Routledge & Kegan Paul; 1971.
- [9] Klaus, G: "Worterbuch der Kybernetik"; Ditz Verlag; Berlin; 1968.
- [10] Andersson, C., Pettersson, R.: "How can a design process and a scientific process in information design collaborate?"; *Proceedings of the 4th International Seminar and Workshop EDIProD*; Zielona Gora; Poland; pp. 87-96; 2004.

- [11] Blessing, L.T.M., Chakrabarti, A., Wallace, K.M.: "An Overview of Descriptive Studies in Relation to a General Design Research Methodology"; *Designers: the Key to successful Product Development*; E. Frankeberger, P- Badtke-Schaub and H. Birkhofer; 1998.
- [12] Duffy, A., Andreasen, M.M.: "Enhancing the evolution of Design Science"; *Proceedings of the 10th International Conference on Engineering Design ICED'95*; Praha; WDK; pp. 29-35; 1995.
- [13] Ottoson, S.: "When time matters"; *Key note speech, Tools and Methods in Competitive Engineering – TMCE 2004*; Lausanne; 2004.
- [14] Duhovnik, J.: "Concept generation, selection and testing"; *Presentation for European Global Product Realization*; University of Ljubljana; Slovenia; 2005.
- [15] Andreasen, M.M., Hein, L.: "Integrated product development"; *IPD*; Lyngby; Denmark; 2000.
- [16] Clark, K.B., Wheelwright, S.C.: "Managing new product and process development"; *The Free Press*; New York; USA; 1993.
- [17] Ulrich K.T, Epingner, S.D.: "Product design and development (2nd edition)"; *McGraw-Hill*; Boston; USA; 2000.
- [18] Otto, K.N.; Wood, K.L.: "Product Design: Techniques in Reverse Engineering and New Product Development"; *Prentice Hall USA*; 2001.
- [19] Andersson, F.: "The dynamics of requirements and product concept management – a product modelling approach"; *PhD thesis; Engineering and Industrial Design; Division of Product and Production Development; Chalmers University of Technology; Sweden; ISBN 91-7291-385-5; 2003.*
- [20] Shooter, S.B., Keirouz, W.T., Szykman, S., Fenves, S.J.: "A model of flow of design information in product development"; *Engineering with Computers; Springer-Verlag London*; 1999.
- [21] Kalay, Y.E.: "Performance-based Design"; *Automatization in Construction 8 (4)*; pp. 395-409; 1999.
- [22] Hubka, V.: "Practical studies in systematic design"; *ButterWorth Scientific Co.*; UK; 1988.
- [23] Ranta, M., Mäntylä, M., Smeds, R., Haho, P., Alvesalo, J.: "Improving product development: Towards a framework for integrating artefact and process models"; *Proc. of the Advances in Production Management Systems Conference APMS '99*; Berlin; Germany; 1999.
- [24] Alberts, M.: "YMIR: an Ontology for Engineering Design"; *PhD thesis; University of Twente, Netherlands; ISBN: 90-9006128-2; 1993.*
- [25] Anić, V., Goldstein, I.: "Rječnik stranih riječi"; *NOVI LIBER*; Zagreb; 2002.
- [26] Gilchrist, A.: "Thesauri, Taxonomies and Ontologies – an etymological note"; *Journal of Documentation*; London; Vol. 59; No. 2; pp. 131-142; 2003.

- [27] Roget, P.M.: *"Thesaurus of English Words and Phrases"*; Longman and Harlow; London; 1852.
- [28] Vickerty, V.C. *"Thesaurus – a new word in documentation"*; *Journal of Documentation*; Vol 16; pp. 181-189; 1960.
- [29] Cochrane, P.A.: *"Indexing and searching thesauri"*; in Williamson, N.J., and M. Hudon, Editors; *Classification Research for Knowledge Representation and Organization*; Amsterdam; Elsevier Science; 1992.
- [30] Chaplan, M.A.: *"Mapping Laborline Thesaurus to Library of Congress Subject Headings"*, *Implications for vocabulary switching*; *Library Quarterly*; Vol. 65; No. 1; pp. 39-61; 1995.
- [31] BSO: *"Broad system of Ordering: schedule an index"*; St. Albans; BSO Panel; 1993.
- [32] Dextre Clarke, S.: *"Integrating thesauri in the agricultural sciences"*; in *Compatibility and integration of order systems*; *TIP/ISKO Meeting*; Warsaw; pp. 111-122; 1996.
- [33] Milstead, J.: *"Invisible treasures"*; *Online & CDRom Review*; Vol. 19; No. 2; pp. 93-94; 1995.
- [34] Corcho, O., Fernandez-Lopez, M., Gomez-Perez, A.: *"Methodologies, tool and languages for building ontologies. Where is their meeting point?"*; *Data & Knowledge Engineering* 24; Elsevier Science; pp. 41-64; 2003.
- [35] Suguman, V., Storey, V.C.: *"Ontologies for conceptual modelling: their creation, use, and management"*; *Data & Knowledge Engineering* 42; Elsevier Science; pp. 251-271; 2002.
- [36] Vickery, B.C.: *"Ontologies"*; *Journal of Information Science*; Vol 23; No. 4; pp. 277-286; 1997.
- [37] Borst, W.N.: *"Construction of engineering ontologies for knowledge sharing and reuse"*; *PhD thesis, Centre for Telematics and Information Theory*; Enschede; Netherlands; 1997.
- [38] Neches, R., Fikes, R.E, Finn, T., Gruber, T.R, Senator, T., Swartout, W.R.: *"Enabling technology for knowledge sharing"*; *AI Magazine* 12 (3); pp. 35-56; 1991.
- [39] Gruber, T.R.: *"Towards principles for the design of ontologies used for knowledge sharing"*; in Guarino, N. and Poli, R. (editors): *Formal Ontology in Conceptual Analysis and Knowledge Representation*; Kluwer; 1994.
- [40] Uschold, M., Jesper, R.: *"A framework for Understanding and Classifying Ontology Application"*; *Proceedings IJCAI99 Workshop on Ontologies and Problem solving Methods*; Stockholm; 1999.
- [41] Knowledge Based Systems, Inc.: *"IDEF5 Method Report"*; 1994.
- [42] Fuchs, J., Wheadon, J.: *"Prospective applications of ontologies for future space missions"*; *The impact of Ontologies for Reuse, Interoperability and distributed Processing*; Unicom Seminars; London; pp.83-96; 1995.

- [43] Jones, M., Wheadon, J.; Whitgift, D., Niezzate, M., Timmeramans, R., Rodriguez, I., Romero, R.: "An agent based approach to spacecraft mission operations"; *Towards very Large Knowledge Bases - Knowledge building and Knowledge Sharing*; IOS Press Amsterdam; pp. 259-269; 1995.
- [44] Uschold, M., Gruninger, M.: "Ontologies: Principles, Methods and Applications"; *Knowledge Engineering Review Vol 11 No.2*; 1996.
- [45] Farquhar, A., Fikes, R., Pratt, W., Rice, J.: "Collaborative ontology construction for informative integration"; *Technical Report KSL-95-63*; Stanford University Knowledge Systems Laboratory; 1995.
- [46] Burkett, W.C.: "Product markup language: a new paradigm for product data exchange and integration"; *Computer-Aided Design 33*; Elsevier Science; pp. 489-500; 2001.
- [47] Pollock, J.T.: "The Big Issue: Interoperability vs. Integration"; *eAI Journal October 2001*; [http://www.modulant.com/ResourceLibrary/Library_WhtPapers .htm](http://www.modulant.com/ResourceLibrary/Library_WhtPapers.htm); 2001.
- [48] Pollock, J.T.: "IT Systems Interoperability and the Revolution in Semantic Computing: Same Problem, Better Solutions"; *A Modulant White Paper*; http://www.modulant.com/ResourceLibrary/Library_WhtPapers.htm; 2001.
- [49] Szykman, S.; Fenves, S.J.; Keirouz, W. Shooter, S.B.: "A foundation for interoperability in next-generation product development systems"; *Computer-Aided Design 33*; 545-559; 2001.
- [50] Pollock, J.T.: "Integration's Dirty Little Secret: It's a Matter of Semantics"; *A Modulant White Paper*; [http://www.modulant.com/ResourceLibrary/ Library_Wht Papers.htm](http://www.modulant.com/ResourceLibrary/Library_WhtPapers.htm); 2002.
- [51] NIST Special Publication 939: "STEP The Grand Experience"; *Manufacturing Engineering Laboratory*; ed. Sharon J. Kemmerer; 1999.
- [52] Štorga, M.: "Traceability in product development"; *Proceedings of the DESIGN 2004*; FSB; The Design Society; Zagreb; 2004.
- [53] Hamilton, V.L., Beeby, M.L.: "Issues of traceability in integrating tools"; *Proceedings Colloquium IEE Professional Group C1*; London; 1991.
- [54] Hansen, C.T., Andreasen, M.M.: "Basic thinking patterns of decision-making in engineering design"; *International Workshop on Multi-criteria Evaluation*; MCE 2000; Neukirchen; pp 1-8; 2000.
- [55] Ramesh, B., Jarke, M.: "Toward reference models for requirements traceability"; *Software engineering*; 27(1); pp. 58-93; 2001.
- [56] Riddle, S., Arkney, P., Mason, P.: "Position paper: Enabling Traceability", *First International Workshop on Traceability in Emerging Forms of Software Engineering*; Edinburgh; 2002.
- [57] Palmer, J.D.: "Traceability"; *Software Requirements engineering*; 2nd Edition; IEEE computer Society; pp.412-422; 2000.

- [58] *Eekels, J.: "On the fundamentals of engineering design science: The geography of engineering design science. Part 1"; Journal of Engineering Design; Vol 11, No. 4; pp. 377-397; 2000.*
- [59] *Hubka, V.: "Principles of Engineering Design"; Springer; New York; 1989.*
- [60] *Hubka, V., Eder, W.E.: "Einführung in die Konstruktionswissenschaft"; Springer; Berlin; 1992.*
- [61] *Blessing, L.T.M., Chakrabarti, A., Wallacw, K.M.: "An overview of descriptive studies in relation to a general design research methodology"; in Frankerberger, E., Badke-Scahub, P., Birkhofer, H. (editors): The Key to successful product development; pp. 42-56; Springer-Verlag; Berlin; 1998.*
- [62] *Cross, N.: "Editorial"; Design Studies 16(1); pp. 2-3; 1995.*
- [63] *Hansen, C.T., Andreasen, M.M.: "Two approaches to synthesis based on the domain theory"; in Chakrabarti, A. (editor): Engineering Design Synthesis-Understanding, Approaches and Tools, Springer-Verlag; London; pp. 93-108; 2002.*
- [64] *Hubka V.: "Theorie der Konstruktionsprozesse"; Springer-Verlag; Berlin; 1976.*
- [65] *Roth, K.: "Konstruieren mit Konstruktionskatalogen"; Springer; 1980.*
- [66] *Andreasen, M.M.: "Machine design methods based on systematic approach – contribution to the design theory"; Dissertation; Department of Machine Design, Lind Institute of Technology, Sweden; 1980.*
- [67] *Yoshikawa, H.: "General Design Theory as a Formal Theory of Design"; Intelligent CAD I; ed. Yoshikawa; Gossard; Procc. of IFIP TC5/WG5.2; North Holland; Boston; 1987.*
- [68] *Pahl, G., Beitz, W.: "Engineering Design"; The Design Council; London; 1988.*
- [69] *Krause, F.L.: "Knowledge integrated product modelling for design and manufacture"; The second Toyota conference; Aichi; Japan; 1988.*
- [70] *Tomiyama, T.: "Metamodel: A Key to Intelligent CAD Systems"; Research in Engineering Design; Springer-Verlag; New York; 1989.*
- [71] *Anderl, R., Grabowski, H.; Pratt, M.: "Advanced Modelling for CAD/CAM systems"; Research Report ESPRIT Project 322, Vol.7; Springer-Verlag; Berlin-Heidelberg-New York; 1991.*
- [72] *Salminen, V., Verho, A.: "Experiences of using meta modelling in systematic design of mechatronics"; Proceedings of ICED '91; Zurich; Heurista; 1991.*
- [73] *Ullman, D.G.: "The Mechanical Design Process"; McGraw-Hill; 1992.*
- [74] *VDI 2221: "Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte"; Berlin; Beuth Verlag; 1993.*
- [75] *Blessing, L.: "A process Based Approach to Computer Supported Engineering Design"; dissertation, University of Twente, the Netherlands; 1994.*

- [76] Merkamm, H.: "Product modelling: A prerequisite for effective product development"; *Proceedings of Produktmodeller95*; Linköping University of technology; Sweden; 1995.
- [77] ISO TC184/SC4: "External representation of product data model"; ISO 10303; 1997.
- [78] Rosenman, M.A., Gero, J.S.: "Purpose and function in design from the socio-cultural and the techno-physical"; *Design Studies* Vol. 19 No.2; 1998.
- [79] Mortensen, N.H.: "Design modelling in a Designer's Workbench – contribution to design language"; *Dissertation*; IKS, Technical University of Denmark, 1999.
- [80] Klir, J., Valach, M.: "Cybernetic modelling"; London: Illiffe Books; 1967.
- [81] Chesnut, H.: "Systems engineering methods"; New York: Wiley; 1967.
- [82] Hall, A.D.: "A methodology for systems engineering"; Princeton: Van Nostrand; 1962.
- [83] Hubka, V., Eder, W.E.: "A scientific approach to engineering design"; *Design Studies*; Vol. 8, No. 3, pp. 123-137, 1987.
- [84] Andreasen, M.M.: "Conceptual Design Capture"; *Proceedings of EDC'98-Design Reuse*; Brunel University; pp. 21-30; 1998.
- [85] Jensen, T.A.: "Functional modelling in a design support system – contribution to design workbench"; *Dissertation*; IKS, Technical University of Denmark, 1999.
- [86] Olesen, J.: "Concurrent Development in Manufacturing – based on dispositional mechanisms", PhD thesis, Department of control and Engineering Design, TUD, 1992.
- [87] Wilson, P.: "Information Modelling"; *IEEE computer Graphic and Applications*; pp. 65-67; 1987.
- [88] Benyon, D.: "Information and data modelling"; Henley-on-Thames; UK: Alfred Waller Ltd.; 1990.
- [89] Devine, D.J., Kozłowski, S.W.J.: "Domain-specific knowledge and task characteristics in decision making"; *Organizational Behaviour and human Decision Process*, 64(3); pp. 294-306; 1995.
- [90] Tomiyama, T.: "A design process model that unifies general design theory and empirical findings"; *ASME Design Engineering*, 83(2); pp. 329-340; 1995.
- [91] Court, A.W.: "Modelling and classification of information for engineering design"; *Ph.D. thesis*, University of Bath, UK; 1997.
- [92] Hicks, B.J., Culley, S.J., Allen, R.D., Mullineux, G.: "A framework for the requirements of capturing, storing and reusing information and knowledge in engineering design"; *International Journal of Information Management* 22; Pergamon; pp. 263-280; 2002.

- [93] McMahon, C.A., Pitt, D.J., Yang, Y., Sims Williams, J.H.: "An information management system for informal design data"; *Engineering with computers*, 11; pp. 123-135; 1995.
- [94] Wall, R.A.: "Finding and using product information"; UK Gower; 1986.
- [95] Hollingum, J.: "Implementing an Information Strategy in Manufacture"; ISBN 0 94850747 0; Bedford; UK; 1987.
- [96] Culley, S.J.; Allem, R.D.: "Informal information – definitions and examples with reference to the electronic catalogue"; *ICED 99*, pp. 1961-1964; 1999.
- [97] Burgess, J.D.G., Shahin, T.M.M., Sivaloganathan, S.: "Design reuse for detailed component design"; *Engineering Design Conference 1998*; UK: Professional Engineering Publishing Limited; pp. 271-280; 1998.
- [98] Finger, S.: "Design reuse and design approach"; *Engineering Design Conference 1998*; UK: Professional Engineering Publishing Limited; 1998.
- [99] Checkland, P.B.: "System thinking"; UK: Wiley; 1981.
- [100] Baader, F., Calvanese, D., McGuinness, D., Nardi, D., Patel-Schneider, P.: "The description logic handbook – Theory, Implementation and Applications"; Cambridge University Press; UK; 2003.
- [101] Genesereth, M., Nilsson, N.: "Logical foundations of Artificial Intelligence"; Morgan Kaufmann; San Mateo; CA; 1987.
- [102] Lloyd, J.W.: "Foundations of Logic Programming"; Springer-Verlag; Berlin; 1987.
- [103] Tarski, A.: "The semantic conception of truth and the foundations of semantic"; *Philosophy and Phenomenological Research* 4; 1944.
- [104] Hodges, W.: "Tarski's Truth Definition"; *The Stanford encyclopaedia of Philosophy*; Zalta, E.N. (editor), <http://plato.stanford.edu/archives/win2001/entries/tarski-truth/>; 2001.
- [105] Quilian, M.R.: "Word concept: A theory and simulation of some basic semantic capabilities"; *Behavioral Science* 12; pp. 410-430; 1967.
- [106] Sowa, J.F.: "Conceptual structures: Information processing in minds and machines"; Addison-Wesley; Reading, MA; 1984.
- [107] Minsky, M.: "A framework for representing knowledge"; in Patrick-Henry Winston (editoe), *The Psychology of Computer Vision*; McGraw-Hill; New York, 1975.
- [108] Hayes, P.J.: "The logic of frames"; *Frame conceptions and Text Understanding*; Walter de Gruyter and Co.; 1979.
- [109] Brachman, R.J., Pigman Gilbert, V., Levesque, H.J.: "KRYPTON: Integrating terminology and assertion"; *Proc. of the 9th International Joint Conferecne on Artificial Intelligence (IJCAI'85)*; pp. 532-539; 1985.
- [110] Guha, R.V.: "Contexts: A Formalization and some Applications"; PhD thesis; Stanford University, 1991.

- [111] McCarthy, J.: "Notes on formalizing context"; *Proc. of 13th International Conference on Artificial Intelligence (IJCAI-93)*; Morgan-Kaufmann; Los Altos; pp. 555-560; 1993.
- [112] Garson, J.: "Modal Logic"; *The Stanford encyclopaedia of Philosophy*; Zalta, E.N. (editor), <http://plato.stanford.edu/archives/win2003/entries/logic-modal/>; 2001.
- [113] Minker, J., editor: "Foundations of Deductive databases and Logic Programming"; Morgan-Kaufmann; Los Altos; CA; 1988.
- [114] Elmagarmid, A., Rusinkiewicz, M., Sheth, A. (editors): "Management of Heterogeneous and Autonomous Database Systems"; Morgan-Kaufmann; San Francisco; 1999.
- [115] Lenat, D.B., Guha, R.V.: "Building Large Knowledge-Base Systems: Representation and Interference in the Cyc Project"; Addison-Wesley; Boston; 1990.
- [116] Uschold, M., King, M.: "Towards a Methodology for Building Ontologies"; *IJCAI95 Workshop on Basic Ontological Issues in Knowledge Sharing*; Montreal; 1995.
- [117] Gruninger, M., Fox, M.S.: "Methodology for the design and evaluation of ontologies"; *Workshop on Basic Ontological Issues in Knowledge Sharing*; Montreal; 1995.
- [118] Swartout, B., Ramsh, P., Knight, K., Russ, T.: "Toward Distributed Use of Large-Scale Ontologies"; *AAAI Symposium on Ontological Engineering*, Stanford; 1997.
- [119] Fernandez-Lopez, M., Gomez-Perez, A., Pazos-Sierra, A., Pazos-Sierra, J.: "Building a chemical ontology using MENTHODOLOGY and the ontology design environment"; *IEEE Intelligent Systems & their applications 4 (1)*; pp.37-46; 1999.
- [120] Staab, S., Schnurr, H.P., Studer, R., Sure, Y.: "Knowledge process and ontologies"; *IEEE Intelligent Systems 16 (1)*, pp. 26-34; 2001.
- [121] Kaye, A., Colomb, R.M.: "Extracting ontological concepts for tendering conceptual structures"; *Data & Knowledge Engineering 40*; Elsevier Science; pp. 71-89; 2002.
- [122] Ahmed, S., Kim, S., Wallace, K.: "A methodology for creating ontologies for engineering design"; *Proceedings of DTM 2005; ASME 2005 Design, Theory and Methodology Conference*; Long Beach, California, USA; 2005.
- [123] Genesereth, M., Fikes, R.: "Knowledge interchange format"; *Technical Report Logic-92-1*; Computer Science Department; Stanford University; USA; 1992.
- [124] Farquhar, A., Fikes, R., Rice, J.: "The Ontolingua Server: A Tool for Collaborative Ontology Construction"; in: *Proc. 10th Knowledge Acquisition for Knowledge-Based Systems Workshop (KAW96)*; pp. 44.1- 44.19; 1996.
- [125] Gruber, T.R.: "ONTOLINGUA: A Mechanism to Support Portable Ontologies"; *technical report*; Knowledge Systems Laboratory; Stanford University; 1992.
- [126] MacGregor, R.; "Inside the LOOM classifier"; *SIGART bulletin 2 (3)*; pp.70-76; 1991.
- [127] Kifer, M., Lausen, G., Wu, J.: "Logical foundations of object-oriented and frame-based languages"; *Journal of the ACM 42 (4)*; pp. 741-843; 1995.

- [128] Luke, S., Hefin, J.: "SHOE 1.01. Proposed Specification"; SHOE Project technical report; University of Maryland; <http://www.cs.umd.edu/projects/plus/SHOE/spec1.01.htm>; 2000.
- [129] Lassila, O., Swick, R.: "Resource description framework (RDF) model and syntax specification "; W3C Recommendation, <http://www.w3.org/TR/REC-rdf-syntax/>; 1999.
- [130] Horrocks, I., Fensel, D., Harmelen, F., Decker, S., Erdmann, M., Klein, M.: "OIL in a Nutshell"; in: *ECAI_00 Workshop on Application of Ontologies and PSMs*; Berlin; 2000.
- [131] Horrocks, I., van Harmelen, F.: "Reference Description of the DAML-OIL Ontology Markup Language"; technical report; <http://www.daml.org/2001/03/reference.html>; 2001.
- [132] Dean, M., Connolly, D., van Harmelen, F., Hendler, J., Horrocks, I., McGuinness, D.L., Patel-Schneider, P.F., Stein, L.A.: "OWL Web Ontology Language 1.0 Reference"; W3C Working Draft; Available from <http://www.w3.org/TR/owl-ref/>; 2002.
- [133] Heflin, J.D.: "Towards the semantic web: knowledge representation in a dynamic, distributed environment"; PhD thesis; University of Maryland; 2001.
- [134] Nonaka, I.: "A Dynamic Theory of Organizational Knowledge Creation"; *Organization Science*, Volume 5; pp 14-37; 1994.
- [135] Wiig, K.M. De Hoog, R., Can Der Spek, R.: "Supporting Knowledge management: A section of Methods and Techniques"; *Expert Systems with application*, volume 13, Numero 1,; pp 15-27; 1997.
- [136] Feigenbaum, B., Forbus, K.D.: "Compositional Modeling: finding the right model for the job"; *Artificial Intelligence*; pp 95-143; 1991.
- [137] Rubenstein-Montano, B. Liebowitz, J., Buchwalter, J., McCaw, D., Newman, B., Rebeck, K.: "A systems thinking framework for knowledge management"; *Decision Support Systems*, volume 31; pp 5-16; 2001.
- [138] Mehkilef, M., Bourey, J.P., Bigand, M.: "An UML modelling of an architecture for knowledge documentation"; 14th International Conference on Engineering Design, ICED 03, Stockholm, Sweden, 2003.
- [139] Knowledge Base Systems: "IDEF 05 Method Report"; 1994.
- [140] Niles, I., Pease, A.: "Origins of the IEEE Standard Upper Ontology"; *Working Notes of the IJCAI-2001 Workshop on the IEEE Standard Upper Ontology*; Seattle; pp. 37-42; 2001.
- [141] Farquhar, A. Fikes, R., Rice, J.: "The Ontolingua Server: A Tool for Collaborative Ontology Construction"; *Knowledge Systems Laboratory, Stanford University*; 1996.
- [142] Sowa, J.: "Knowledge representation"; *Brooks/Cole*, Pacific Grove, CA, USA; 2001.
- [143] Russell, S., Norvig, P.: "Artificial Intelligence: A Modern Approach"; 1995.

- [144] Allen, J.: "Towards a general theory of action and time"; *Artificial Intelligence* 23; pp. 123-154; 1984.
- [145] Casati, R., Varzi, A.: "Wholes and Other Superficialities"; MIT Press, Cambridge; MA; USA; 1995.
- [146] Smith, B.: "Mereotopology: A Theory of Parts and boundaries"; *Data and Knowledge Engineering*; 20; pp. 287-303; 1996.
- [147] Borgo, S.; Guarino, N., Masolo, C.: "An Ontological Theory of Physical Objects"; in L. Ironi (ed.), *Proceedings of Eleventh International workshop on Qualitative Reasoning QR'97*; Cortona; Italy; pp. 223-231; 1996.
- [148] McKay, A.; Hagger, D.N.H.; Dement, C.W.; de Pennington, A.; Simons, P.: "Relationships in product structures"; *Proceedings of the 7th Workshop on Product Structuring – Product Platform Development*; Chalmers University of Technology; Goteborg; pp. 111-121; 2004.
- [149] Peirce, C. S.: "Note B: The Logic of Relatives"; In *Studies in Logic by Members of the Johns Hopkins University Boston*; Little Brown and Co.; Reprinted in Peirce (1933), 1883.
- [150] Tarski, J.: "A decision method for elementary algebra and geometry"; 1948.
- [151] Monk, J.D.: "Mathematical Logic"; Springer-Verlag; 1976.
- [152] Salustri, F.A.: "Mereotopology for product modelling"; *Journal of Design Research*, 2(1), 2002.
- [153] Smith, B.: "Mereotopology: a theory of parts and boundaries"; *Data and knowledge Engineering*; 20; pp. 287-303; 1996.
- [154] Ahmed, S.: "Encouraging reuse of design knowledge: a method to index knowledge"; article in press, *Design Studies*, Elsevier Ltd., UK, 2005.
- [155] Frankfort-Nachmians, C., NACHmians, D.: "Research methods in the social science", Arnold, London, 1996.
- [156] Rosenthal, R. "Experimenter effects in behavioural research", Appleton Century Crofts, New York, 1966.
- [157] Orne, M.T.: "Demand characteristics and the concept of quasicontrols", in Rosenthal, Rosnow (editors): *Artefact in behavioural research*, Academic Press, New York, pp143-179, 1969.
- [158] Bakemann, R., Gottam, J.M.: "Observing interaction: an introduction to Sequential Analysis"; Cambridge University Press, Cambridge, UK; 1997.
- [159] Hubka, V., Andreasen, M.M., Eder, W.E.: "Practila Studies in Systematic Design", Butterworth & Co. Ltd, UK, 1988.
- [160] TopQuadrant Tehnology Briefing: "Semantic Integration – Strategies and Tools", USA, 2003.
- [161] Ontoprise GmbH: "How to work with OntoEdit Version 2.6", Ontoprise GmbH, Karlsruhe, Germany, www.ontoprise.de, 2002.

-
- [162] Sure, Y., Erdmann, M., Angele, J., Staab, S., Studer, R., Wenke, D.: "OntoEdit: Collaborative Ontology Development for the Semantic Web", *Proceedings of the first International Semantic Web Conference 2002 (ISWC 2002), Sardinia, Italia, 2002.*
- [163] Sure, Y., Angele, J., Staab, S.: "OntoEdit: Guiding Ontology Development by Methodology and Inferencing" *Proceedings of the International Conference on Ontologies, Databases and Applications of Semantics (ODBASE 2002), Irvine, California, USA, 2002.*
- [164] Abecker, A., Bernardi, A., Hinkelmann, K., Kuhn, O., Sintek, M.: "Toward a technology for organizational memories", *IEEE Intelligent Systems, IEEE computer Society, IEEE Inc., 1998.*
- [165] O'Leary, D.: "Enterprise Knowledge Management", *Computer, Vol. 31, No. 3, pp. 54-61, 1998.*
- [166] Davenport, T.H.: "Some principles of Knowledge Management", <http://www.bus.utexas.edu/kman>, 1996.
- [167] Davenport, T.H., Jarvenpaa, S.L., Beers, M.C.: "Improving Knowledge Work Processes", *Sloan Management Review, Vol. 37, No. 4, pp. 53-65, 1997.*

Mr. sc. Mario Štorga, dipl. inž. strojarstva rođen, je 1974. godine u Varaždinu, gdje je završio srednju strojarsku školu. Fakultet strojarstva i brodogradnje u Zagrebu upisao je 1992. godine. Diplomirao je 1997. godine na usmjerenju "Strojarske konstrukcije". Od 1997. godine zaposlen je na Katedri za konstruiranje i razvoj proizvoda Fakulteta strojarstva i brodogradnje u Zagrebu kao znanstveni novak. Od tada sudjeluje u istraživanjima u sklopu projekta Ministarstva znanosti i tehnologije Republike Hrvatske broj 120-015: "Model inteligentnog CAD sustava" te projekta broj 0120017: "Modeli i metode unaprjeđenja računalne podrške razvoja proizvoda". Na istom je fakultetu akademske godine 1997./1998. upisao poslijediplomski studij na smjeru Teorija konstrukcija te je u veljači 2002. godine obranio magistarski rad pod naslovom "Sustav za razmjenu i upravljanje informacijama o proizvodu". Tijekom rada na fakultetu aktivno sudjeluje u nastavi kolegija Katedre za osnove konstruiranje. Kao honorarni asistent sudjeluje u izvođenju nastave na Studiju dizajna (pri Arhitektonskom fakultetu u Zagrebu) te Strojarskom i Informatičkom odsjeku Tehničkoga veleučilišta u Zagrebu.

Tijekom ljeta 2000. godine završio je međunarodni doktorandski seminar "Ph.D. Course - Design Methodology" u organizaciji Danskoga tehničkog sveučilišta, Tehničkoga sveučilišta u Berlinu te Saarskoga tehničkog sveučilišta. Ljeti 2004. sudjelovao je u organizaciji istoga seminara održanog u Hrvatskoj. Od 1998. aktivno sudjeluje i u organizaciji međunarodnih znanstvenih skupova iz serije DESIGN, koji se bijenalno održavaju u Dubrovniku. Od 2004. godine član je međunarodnih znanstvenih odbora DESIGN i ICED konferencija, koje se organiziraju pod znakom međunarodnog udruženja The Design Society.

U proljeće 2003. godine Ministarstvo znanosti i tehnologije Republike Hrvatske dodijelilo mu je šestmesečnu stipendiju za boravak na Danskom tehničkom sveučilištu u akademskoj godini 2003./2004., gdje je obavio dio istraživanja za potrebe ove disertacije. Kao autor ili koautor objavio je 21 znanstveni rad i 13 stručnih radova u Hrvatskoj i inozemstvu. Član je Hrvatskoga društva za elemente strojeva i konstrukcije te međunarodnog udruženja The Design Society. Služi se engleskim i njemačkim jezikom.

BIOGRAPHY

Mario Štorga was born on February 24th 1974 in Varaždin where he completed his secondary school education (technical high school). In 1997, he graduated in mechanical design from the Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture of the University of Zagreb. Since 1997 he has been a science novice at the Design Department of the Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture of the University of Zagreb, at the research projects no. 120-015 "Model of intelligent CAD system" and no. 0120017 "Models and methods for improving the computer support of product development". In 2002 Mario Štorga acquired the M. Sc. degree at the Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture of Zagreb University with the thesis "Web Service for the Product Data Exchange and Management". Besides teaching activities at the home faculty, he has been involved in the teaching at the Study of Design on Faculty of Architecture in Zagreb and at the Study of Mechanical Engineering and the Study of Computer Science (Informatics) at the Polytechnics of Zagreb.

During the summer 2000, Mario Štorga has participated the "Ph.D. Course - Design Methodology" organized by the Technical University of Denmark, Technical University of Berlin and Technical University of Saarland. He also took the part in the organization of the international design conferences DESIGN '98, DESIGN 2000, DESIGN 2002, DESIGN 2004 held in Dubrovnik. Since 2004 he is the member of Scientific Advisory Board of the DESIGN and ICED conferences organized by international research community - the Design Society.

In academic year 2003/04 by foundation of Croatian Ministry of Science, Education and Sports, Mario Storga has spent six months as a guest researcher at the Technical University of Denmark working on the research related to his dissertation. As the author or co-author he has published 21 scientific papers and 13 technical reports in Croatia and abroad. He is member of "The Croatian Society for Machine Elements and Design" as well as an international association "The Design Society". He has a good command of English and can read German well.