

Upravljanje znanjem pri konstrukcijskom oblikovanju

Rohde, Danijel

Doctoral thesis / Disertacija

2011

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:235:278515>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-14**

Repository / Repozitorij:

[Repository of Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture University of Zagreb](#)





SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

Danijel Rohde

**UPRAVLJANJE ZNANJEM PRI
KONSTRUKCIJSKOM OBLIKOVANJU**

DOKTORSKI RAD

Zagreb, 2011.



UNIVERSITY OF ZAGREB
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
AND NAVAL ARCHITECTURE

Danijel Rohde

EMBODIMENT DESIGN RATIONALE

DOCTORAL THESIS

Zagreb, 2011



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DANIJEL ROHDE

**UPRAVLJANJE ZNANJEM PRI
KONSTRUKCIJSKOM OBLIKOVANJU**

DOKTORSKI RAD

Mentor:
Prof. dr. sc. Dorian Marjanović, dipl. ing.

Zagreb, 2011.



UNIVERSITY OF ZAGREB
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
AND NAVAL ARCHITECTURE

DANIJEL ROHDE

EMBODIMENT DESIGN RATIONALE

DOCTORAL THESIS

Supervisor:
Prof. dr. sc. Dorian Marjanović, dipl. ing.

Zagreb, 2011

PODACI ZA BIBLIOGRAFSKU KARTICU

UDK: 658.512.2, 681.3:621

Ključne riječi:

upravljanje znanjem, problem, konstrukcijski problem, design rationale, karakteristike proizvoda, unutrašnja svojstva proizvoda, vanjska svojstva proizvoda, tehnički proizvod

Znanstveno područje: TEHNIČKE ZNANOSTI

Znanstveno polje: Strojarstvo

Institucija u kojoj je rad izrađen:

Fakultet strojarstva i brodogradnje, Sveučilište u Zagrebu

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

Broj stranica: 215

Broj slika: 61

Broj tablica: 76

Broj korištenih bibliografskih jedinica: 101

Datum obrane: 27. siječnja 2011.

Povjerenstvo:

dr. sc. Neven Pavković, 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 potpori tijekom dosadašnjega zajedničkog rada. Prof. dr. sc. Zvonku Heroldu zahvaljujem što me predložio za znanstvenog novaka Katedre za konstruiranje i razvoj proizvoda. Također zahvaljujem prof. dr. sc. Nevenu Pavkoviću, prof. dr. sc. Nenadu Bojčetiću i doc. dr. sc. Mariu Štorgi na raspravama i primjedbama koje su usmjerile ovo istraživanje.

Posebno zahvaljujem i ostalim članovima Katedre za konstruiranje i razvoj proizvoda te Laboratorija za konstruiranje – CADlaba na pruženoj pomoći i vremenu koje smo proveli u brojnim raspravama na sastancima i u vrijeme stanki za odmor. Zahvaljujem gospodinu Igoru Klariću, dipl. ing. vlasniku tvrtke KLEX d.o.o. na suradnji u početnoj fazi istraživanja, te studentima koji su sudjelovali u završnoj fazi istraživanja. Zahvaljujem članovima Povjerenstva za ocjenu i obranu disertacije na primjedbama koje su poboljšale kvalitetu ove disertacije.

Na kraju zahvaljujem cijeloj svojoj obitelji, a posebno supruzi Marini i sinu Filipu na neizmjerne potpori i razumijevanju tijekom svih ovih godina.

SADRŽAJ

| | |
|---|------|
| PREDGOVOR | III |
| SAŽETAK | IV |
| SUMMARY | V |
| POPIS OZNAKA | VI |
| KRATICE | VII |
| POPIS SLIKA | VIII |
| POPIS TABLICA | X |
| 1. UVODNA RAZMATRANJA | 1-1 |
| 1.1. Motivacija za istraživanje | 1-1 |
| 1.2. Cilj i svrha istraživanja | 1-5 |
| 1.3. Hipoteza i istraživačka pitanja | 1-6 |
| 1.4. Metodologija istraživanja | 1-7 |
| 1.5. Očekivani znanstveni doprinos | 1-10 |
| 1.6. Struktura disertacije | 1-10 |
| 2. PODRUČJE ISTRAŽIVANJA | 2-1 |
| 2.1. Podatak, informacija i znanje | 2-1 |
| 2.2. Prikupljanje podataka, informacija i znanja | 2-13 |
| 2.3. Pohranjivanje podataka, informacija i znanja | 2-14 |
| 2.4. Ponovna upotreba podataka, informacija i znanja | 2-15 |
| 2.5. Informacijski objekti | 2-16 |
| 2.6. Taksonomija | 2-18 |
| 2.7. Struktura znanja u procesu konstruiranja | 2-18 |
| 2.8. Logika konstruiranja – <i>Design rationale</i> | 2-21 |
| 2.9. Upravljanje životnim ciklusom proizvoda | 2-29 |
| 2.10. Implikacije na rad | 2-30 |
| 3. TEORETSKE OSNOVE ISTRAŽIVANJA | 3-1 |
| 3.1. Znanost o konstruiranju | 3-1 |
| 3.2. Teoretske osnove procesa razvoja proizvoda | 3-3 |
| 3.3. Teoretske osnove procesa konstruiranja | 3-4 |
| 3.4. Teoretske osnove modeliranja proizvoda | 3-9 |
| 3.5. Tok procesa konstruiranja | 3-12 |
| 3.6. Karakterizacija prikupljanja informacija u procesu konstruiranja | 3-13 |
| 3.7. Implikacije na rad | 3-17 |
| 4. EMPIRIJSKO ISTRAŽIVANJE | 4-1 |
| 4.1. Svrha empirijskog istraživanja | 4-1 |
| 4.2. Okruženje i sudionici empirijskog istraživanja | 4-2 |
| 4.3. Metodologija empirijskog istraživanja | 4-2 |
| 4.4. Kodiranje zahtjeva | 4-6 |
| 4.5. Implikacije na rad | 4-12 |
| 5. ANALIZA KONSTRUKCIJSKOG RASUĐIVANJA | 5-1 |
| 5.1. Definicija konstrukcijskog rasuđivanja | 5-1 |
| 5.2. Sadržaj konstrukcijskog rasuđivanja | 5-1 |
| 5.3. Konstrukcijski problem | 5-2 |
| 5.4. Vrste konstrukcijskih problema | 5-7 |

| | | |
|------|--|------|
| 5.5. | Analiza osnovnih elemenata na primjeru konstrukcijskog rasuđivanja..... | 5-17 |
| 5.6. | Implikacije na rad..... | 5-25 |
| 6. | MODEL PRIKUPLJANJA ZNANJA | 6-1 |
| 6.1. | Elementi <i>Konstrukcijskog rasuđivanja</i> | 6-1 |
| 6.2. | Logičke osnove modela prikupljanja znanja | 6-23 |
| 6.3. | Implikacije na rad..... | 6-27 |
| 7. | VREDNOVANJE MODELA PRIKUPLJANJA ZNANJA | 7-1 |
| 7.1. | Istraživački pristup | 7-1 |
| 7.2. | Rezultati analize eksperimentalnih podataka | 7-10 |
| 7.3. | Implikacije na rad..... | 7-17 |
| 8. | PRIJEDLOG IMPLEMENTACIJE U PLM SUSTAV | 8-1 |
| 8.1. | Klase i atributi <i>Konstrukcijskog rasuđivanja</i> u proširenom PLM sustavu | 8-1 |
| 8.2. | Upravljanje životnim ciklusom <i>Konstrukcijskog rasuđivanja</i> | 8-5 |
| 8.3. | Implikacije na rad..... | 8-12 |
| 9. | ZAKLJUČAK | 9-1 |
| 9.1. | Sažetak istraživanja..... | 9-1 |
| 9.2. | Diskusija rezultata..... | 9-3 |
| 9.3. | Ograničenja | 9-7 |
| 9.4. | Smjerovi daljnjeg istraživanja | 9-7 |
| 10. | LITERATURA | 10-1 |
| 11. | PRILOZI..... | 11-1 |
| | ŽIVOTOPIS..... | XIII |
| | BIOGRAPHY | XIV |

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. 120-1201829-1828 "Modeli i metode upravljanja znanjem u razvoju proizvoda", što ga financira Ministarstvo znanosti, obrazovanja i športa Republike Hrvatske. Dio istraživanja napravljen je u suradnji s tvrtkom KLEX d.o.o.. Očekuje se da bi se klasifikacijom objašnjenja i pripadajućih argumenata vezanih uz predložena rješenja konstrukcijskih problema i odluka moglo utjecati na njihovo pohranjivanje, pretraživanje i učinkovito pronalaženje za potrebe budućih projekata malih i srednjih konstrukcijskih ureda.

Upravljanje znanjem pri konstrukcijskom oblikovanju

Ključne riječi: upravljanje znanjem, problem, konstrukcijski problem, alternativa rješenja, argument, odluka, design rationale, karakteristike proizvoda, unutrašnja svojstva proizvoda, vanjska svojstva proizvoda, tehnički proizvod

Disertacija započinje objašnjenjem motivacije koja je autora potaknula na istraživanje. Definiranjem područja istraživanja i opisivanjem glavnih ciljeva uslijedilo je objašnjenje hipoteze i istraživačkih pitanja, te prikaz metodologije koja je primijenjena u istraživanju. U svrhu boljeg shvaćanja problematike prikazane u disertaciji pregledom literature identificirani su ključni pojmovi i veze među pojmovima. Nakon sažetog prikaza istraživanja u području, te odabranih relevantnih teorija razvijenih unutar znanosti o konstruiranju u nastavku je prikazano empirijsko istraživanje uz opise sudionika, primijenjene istraživačke metode, metode analize rezultata i ograničenja istraživanja. Kao rezultat empirijskog istraživanja proizašli su zaključci, vezani uz karakterizaciju pitanja koja si konstruktori postavljaju tijekom procesa konstruiranja, koji su pomogli u nastavku istraživanja. Fokusirajući se na fazu konstrukcijskog oblikovanja proizvoda prikazana je analiza konstrukcijskih rasuđivanja kroz karakterizaciju informacija koje opisuju probleme, alternative rješenja, argumente, objašnjenja i odluke konstruktora. Proizašla saznanja iskorištena su za detaljno opisivanje elemenata konstrukcijskih rasuđivanja. Opisivanjem glavnih atributa, mogućih veza između elemenata te pravila za definiranje elemenata tijekom zapisivanja predložen je model za prikupljanje znanja. Predložen model namijenjen je za bilježenje objašnjenja i argumenata povezanih s rješenjima konstrukcijskih problema i odluka o izboru rješenja tijekom razvoja proizvoda. Vrednovanje predloženoga modela prikupljanja znanja odnosno konstrukcijskih rasuđivanja vezanih uz razvoj proizvoda provedeno je u obliku eksperimenta. Pri tome su iskorištene informacije prikupljene tijekom razvoja "*Komore za dielektričnu spektroskopiju vodenih otopina*". Disertacija završava prijedlogom strukture zapisa konstrukcijskih rasuđivanja kao proširenje PLM (product lifecycle management) sustava, te diskusijom rezultata proizašlih iz rada s osvrtom na doprinos istraživanja i postojeća ograničenja.

Embodiment Design Rationale

Keywords: knowledge management, issue, design problem, alternative solution, argument, decision, design rationale, elementary design properties, general design properties, external properties, technical product

In this thesis, the author first reveals his motivation for conducting the research presented here. In order to construct a hypothesis, research questions are developed and the research methodology is outlined. In addition, the research area is defined and the main objectives are given at the beginning of the thesis. A review of literature identified the key concepts and their relationships required for understanding the issues presented in the dissertation. After a brief overview on the research conducted in the field, a selection of relevant theories developed within the design science is presented. Subsequently, descriptions of the empirical research, participants and the applied research method are given, followed by an analysis of the results and limitations of the research. The characterization of the design questions resulted from the empirical research. Focusing on the embodiment design stage, an analysis of design rationale is presented through the characterization of information describing design problems, alternative solutions, arguments, explanations and decisions of designers. Resulting findings were used to describe in detail the elements of design rationale. The design rationale capturing model during the embodiment phase of the product design is described by the main attributes, possible relations between the design rationale elements and the definition rules. The design rationale scheme incorporates the design problem, alternative solutions, arguments, explanations and decisions. Most of these items of information are not documented although they are essential for the decision process in product development within a particular context. The proposed model has been evaluated by experiment. In the experiment, the items of information gathered during the development process of "The Chamber for dielectric spectroscopy of aqueous solutions" were used. Finally, a proposal of the model implementation as an extension to the PLM (product lifecycle management) system is formulated, and the results obtained in this research are discussed. Special emphasis is put on the research contributions and restrictions.

POPIS OZNAKA

| | |
|---------|--|
| p | – premisa |
| q | – zaključak |
| F | N sila na poluzi |
| L | mm dužina poluge |
| KR_i | – <i>i-to</i> konstrukcijsko rasuđivanje |
| P_i | – <i>i-ti</i> problem |
| R_j | – skup alternativa rješenja |
| R_u | – <i>u-ta</i> alternativa rješenja |
| A_l | – skup svih argumenata predloženih u KR_i |
| A_k | – skup argumenata vezanih uz jednu alternativu rješenja |
| A_s | – <i>s-ti</i> argument |
| O_i | – <i>i-ta</i> odluka |
| O_i^j | – <i>i-ta</i> odluka u <i>j-tom</i> statusu |
| P_i^j | – <i>i-ti</i> problem u <i>j-tom</i> statusu |
| C_m | – skup objašnjenja definiranih u KR_i |
| C_r | – <i>r-to</i> objašnjenje |
| IO_n | – skup informacijskih objekata povezanih s jednim elementom u KR_i |
| IO_p | – <i>p-ti</i> informacijski objekt |
| KR_o | – skup konstrukcijskih rasuđivanja |
| N | – skup prirodnih brojeva |

AEC – Architecture, Engineering & Construction
CAD – Computer-aided design
CAE – Computer-aided engineering
CAID – Computer-aided industrial design
CAM – Computer-aided manufacturing
CAPP – Computer-aided production planning
CAQ – Computer-aided quality
Cax – Product design
CPD – Collaborative Product Development
DFMA – Design for manufacturing and assembly
DFSS – Design for six sigma
EDA – Enterprise digital assistant
ERP – Enterprise resource planning
ETO – Engineering-to-order
HTML – HyperText Markup Language
IO – Informacijski Objekt
KR – Konstrukcijsko Rasuđivanje
MPM – Manufacturing process management
MRO – Maintenance Repair & Overhaul
NPDI – New Product Development and Introduction process
PDM – Product data management
PLM – Product lifecycle management
PPM – Product and portfolio management
UML – Unified Modeling Language

POPIS SLIKA

| | |
|--|------|
| Slika 1.1. Struktura znanosti o konstruiranju [21]..... | 1-6 |
| Slika 1.2. Metodologija istraživanja u znanosti o konstruiranju [22]..... | 1-8 |
| Slika 1.3. Struktura disertacije prema metodologiji istraživanja..... | 1-11 |
| Slika 2.1. Veze između podataka, informacija i znanja [14]..... | 2-2 |
| Slika 2.2. Klase formalnih i neformalnih informacija [14]..... | 2-3 |
| Slika 2.3. Formalni spektar konstrukcijskih informacija [33]..... | 2-3 |
| Slika 2.4. Veze između prešutnih, implicitnih i eksplicitnih informacija [36]..... | 2-6 |
| Slika 2.5. Razine znanja i njihova primjena [14]..... | 2-8 |
| Slika 2.6. Modeli rasuđivanja [51]..... | 2-9 |
| Slika 2.7. Obrasci rasuđivanja [51]..... | 2-11 |
| Slika 2.8. Informacijski objekt [62]..... | 2-17 |
| Slika 2.9. Klasifikacija informacijskih objekata u razvoju proizvoda [62]..... | 2-17 |
| Slika 2.10. Struktura znanja u procesu konstruiranja [65]..... | 2-20 |
| Slika 2.11. Upravljanje životnim ciklusom proizvoda (PLM)..... | 2-29 |
| Slika 3.1. Taksonomija područja istraživanja u znanosti o konstruiranju [79]..... | 3-2 |
| Slika 3.2. Veza između stvaralaštva prirode i čovjeka [81]..... | 3-3 |
| Slika 3.3. Proces razvoja proizvoda [82], [83]..... | 3-4 |
| Slika 3.4. Faze procesa konstruiranja [84]..... | 3-5 |
| Slika 3.5. Opći model procesa konstruiranja [85]..... | 3-6 |
| Slika 3.6. Opći proceduralni model procesa konstruiranja [85]..... | 3-7 |
| Slika 3.7. Faze procesa konstruiranja [86]..... | 3-8 |
| Slika 3.8. Opći model transformacije sustava [21]..... | 3-10 |
| Slika 3.9. Unutarnja i vanjska svojstva [85]..... | 3-10 |
| Slika 3.10. Teorija područja [91]..... | 3-11 |
| Slika 4.1. Indeksiranje konstrukcijskog znanja koristeći strukturu relacijske baze podataka..... | 4-6 |
| Slika 4.2. Forme za upis koraka, akcija, zahtjeva za znanjem i vanjskog dokumenta..... | 4-7 |
| Slika 4.3. Forma za unos i kodiranje zahtjeva..... | 4-8 |
| Slika 5.1. a) Funkcionalno ponašanje poluge; b) Problem kako uvećati silu..... | 5-4 |
| Slika 5.2. Općeniti model rješavanja problema [98]..... | 5-8 |
| Slika 5.3. Modeliranje četiri vrste konstrukcijskih problema..... | 5-8 |
| Slika 5.4. Primjer funkcijske dekompozicije..... | 5-9 |
| Slika 5.5. Primjer konstrukcijskog oblikovanja..... | 5-11 |
| Slika 5.6. Primjer pridruživanja funkcija..... | 5-13 |
| Slika 5.7. Primjer dijagnosticiranja kvara..... | 5-14 |
| Slika 5.8. Primjer strukture konstrukcijskog rasuđivanja..... | 5-17 |
| Slika 6.1. Elementi <i>Konstrukcijskog rasuđivanja</i> | 6-2 |
| Slika 6.2. Problem kao <i>Element konstrukcijskog rasuđivanja</i> | 6-3 |
| Slika 6.3. Alternativa rješenja kao <i>Element konstrukcijskog rasuđivanja</i> | 6-7 |
| Slika 6.4. Alternative zatvaranja poklopca komore..... | 6-10 |
| Slika 6.5. Argument kao <i>Element konstrukcijskog rasuđivanja</i> | 6-13 |

| | |
|---|------|
| Slika 6.6. Objašnjenje kao <i>Element konstrukcijskog rasuđivanja</i> | 6-16 |
| Slika 6.7. Odluka kao <i>Element konstrukcijskog rasuđivanja</i> | 6-21 |
| Slika 7.1. Primjer <i>Konstrukcijskog rasuđivanja</i> iskorištenog za potrebe eksperimenta..... | 7-6 |
| Slika 7.2. Otvaranje datoteke s definiranim atributima problema i informacijskog objekta..... | 7-7 |
| Slika 7.3. Otvaranje drugog konstrukcijskog rasuđivanja koji je u vezi s problemom..... | 7-8 |
| Slika 7.4. Usporedba izvještaja I i II prema potpunosti i ispravnosti odgovora (pitanja 1-4)..... | 7-11 |
| Slika 7.5. Usporedba izvještaja I i II prema potpunosti i ispravnosti odgovora (pitanja 5-8)..... | 7-12 |
| Slika 7.6. Usporedba prema potpunosti i ispravnosti odgovora sudionika 1 do 5..... | 7-13 |
| Slika 7.7. Usporedba prema potpunosti i ispravnosti odgovora sudionika 6 do 10..... | 7-14 |
| Slika 7.8. Usporedba potpunosti odgovora 7. sudionika s rezultatima svih sudionika za izvještaj II..... | 7-15 |
| Slika 7.9. Usporedba izvještaja I i II prema potpunosti i ispravnosti (grupe A i B)..... | 7-16 |
| Slika 7.10. Usporedba odgovora grupa A i B prema potpunosti i ispravnosti..... | 7-17 |
| Slika 7.11. Usporedba odgovora prema potpunosti i ispravnosti koristeći izvještaje I i II..... | 7-17 |
| Slika 8.1. UML dijagram klasa proširenog PLM sustava..... | 8-2 |
| Slika 8.2. Struktura klase <i>Korisnici</i> | 8-3 |
| Slika 8.3. Upravljanje životnim ciklusom <i>Konstrukcijskog rasuđivanja</i> | 8-7 |
| Slika 8.4. Proces definiranja novog <i>Statusa problema</i> | 8-10 |
| Slika 8.5. Proces definiranja novog <i>Statusa odluke</i> | 8-10 |
| Slika 8.6. Proces definiranja novog <i>Statusa alternative rješenja</i> | 8-11 |
| Slika 8.7. Proces definiranja <i>Statusa argumenta</i> | 8-11 |
| Slika 8.8. Proces definiranja <i>Statusa objašnjenja</i> | 8-12 |

POPIS TABLICA

| | |
|---|------|
| Tablica 2.1. Taksonomija razloga prikupljanja informacija [52] | 2-13 |
| Tablica 2.2. Prikupljanje, pohranjivanje i ponovna upotreba podataka, informacija i znanja [14] | 2-16 |
| Tablica 2.3. Karakteristike sustava za prikupljanje DR | 2-27 |
| Tablica 3.1. Kategorije informacija vezanih uz zahtjeve za znanjem [26]..... | 3-14 |
| Tablica 3.2. Primjer klasifikacije zahtjeva za znanjem na koje konstruktori odgovaraju pronalaženjem ili prepoznavanjem odgovora u informacijskim objektima | 3-15 |
| Tablica 3.3. Prva shema kodiranja [26]..... | 3-16 |
| Tablica 3.4. Primjer klasifikacije zahtjeva za znanjem na koji se odgovara rasuđivanjem..... | 3-17 |
| Tablica 3.5. Druga shema kodiranja [26] | 3-17 |
| Tablica 4.1. Struktura zaposlenika tvrtke..... | 4-2 |
| Tablica 4.2. Evidencija rada za analizu bilježaka vezanih uz razvoj podsklopa ručice za doziranje | 4-5 |
| Tablica 4.3. Podskup zapisanih i kodiranih zahtjeva | 4-9 |
| Tablica 4.4. Usporedba ponovljenih kodova s prvom shemom kodiranja | 4-9 |
| Tablica 4.5. Primjer 1 – analiza zahtjeva | 4-10 |
| Tablica 4.6. Primjer 2 – analiza zahtjeva | 4-10 |
| Tablica 4.7. Primjer 3 – analiza zahtjeva | 4-11 |
| Tablica 4.8. Primjer 4 – analiza zahtjeva | 4-11 |
| Tablica 4.9. Primjer 5 – analiza zahtjeva | 4-11 |
| Tablica 4.10. Primjer 6 – analiza zahtjeva | 4-12 |
| Tablica 4.11. Primjer 7 – analiza zahtjeva | 4-12 |
| Tablica 5.1. Veza zahtjeva naručitelja/korisnika s funkcijama proizvoda | 5-10 |
| Tablica 5.2. Prepoznavanje atributa konstrukcijskih problema..... | 5-15 |
| Tablica 5.3. Primjeri problema s različitim smjerovima rasuđivanja..... | 5-16 |
| Tablica 5.4. Primjer problema " <i>Kako voditi kućište komore...</i> " | 5-18 |
| Tablica 5.5. Primjeri kvalitativnih i kvantitativnih činjenica vezanih uz problem..... | 5-18 |
| Tablica 5.6. Predložene alternative rješenja uz problem..... | 5-19 |
| Tablica 5.7. Predloženi argumenti uz alternative rješenja..... | 5-20 |
| Tablica 5.8. Predloženi argumenti uz alternative rješenja (nastavak) | 5-21 |
| Tablica 5.9. Primjer objašnjenja rezultata analize..... | 5-22 |
| Tablica 5.10. Primjer objašnjenja rezultata vrednovanja | 5-22 |
| Tablica 5.11. Primjeri objašnjenja s različitim smjerovima rasuđivanja..... | 5-23 |
| Tablica 5.12. Primjeri objašnjenja s različitim smjerovima rasuđivanja (nastavak) | 5-24 |
| Tablica 5.13. Primjer odluke o izboru alternative rješenja..... | 5-25 |
| Tablica 6.1. Vrijednosti atributa <i>Vrsta problema</i> | 6-3 |
| Tablica 6.2. Vrijednosti atributa <i>Cilj problema</i> | 6-4 |
| Tablica 6.3. Vrijednosti atributa <i>Uzrok problema</i> | 6-5 |
| Tablica 6.4. Vrijednosti atributa <i>Smjer rasuđivanja</i> | 6-6 |
| Tablica 6.5. Vrijednosti atributa <i>Status problema</i> | 6-6 |
| Tablica 6.6. Primjer potpuno definiranog <i>Problema</i> | 6-7 |
| Tablica 6.7. Vrijednosti atributa <i>Vrsta alternative rješenja</i> | 6-8 |
| Tablica 6.8. Vrijednosti atributa <i>Izvor alternative rješenja</i> | 6-9 |

| | |
|---|-------|
| Tablica 6.9. Vrijednosti atributa <i>Prikaz alternative rješenja</i> | 6-11 |
| Tablica 6.10. Vrijednosti atributa <i>Korisnost prijedloga alternative rješenja</i> | 6-12 |
| Tablica 6.11. Vrijednosti atributa <i>Status alternative rješenja</i> | 6-12 |
| Tablica 6.12. Primjer potpuno definirane <i>Alternative rješenja</i> | 6-13 |
| Tablica 6.13. Vrijednosti atributa <i>Vrsta argumenta</i> | 6-14 |
| Tablica 6.14. Vrijednosti atributa <i>Grupa argumenta</i> | 6-14 |
| Tablica 6.15. Vrijednosti atributa <i>Utjecaj na odluku</i> | 6-15 |
| Tablica 6.16. Vrijednosti atributa <i>Status argumenta</i> | 6-15 |
| Tablica 6.17. Primjer potpuno definiranog <i>Argumenta</i> | 6-16 |
| Tablica 6.18. Vrijednosti atributa <i>Vrsta objašnjenja</i> | 6-17 |
| Tablica 6.19. Vrijednosti atributa <i>Smjer rasuđivanja</i> | 6-18 |
| Tablica 6.20. Vrijednosti atributa <i>Status objašnjenja</i> | 6-19 |
| Tablica 6.21. Primjer potpuno definiranog <i>Objašnjenja</i> | 6-19 |
| Tablica 6.22. Vrijednosti atributa <i>Vrsta odluke</i> | 6-20 |
| Tablica 6.23. Vrijednosti atributa <i>Razlog odluke</i> | 6-21 |
| Tablica 6.24. Vrijednosti atributa <i>Status odluke</i> | 6-22 |
| Tablica 6.25. Primjer potpuno definirane <i>Odluke</i> | 6-23 |
| Tablica 6.26. Mogući slučajevi promjena vrijednosti atributa problema i odluke | 6-25 |
| Tablica 6.27. Vrste veza između elemenata u različitim KR | 6-27 |
| Tablica 7.1. Glavni koraci u eksperimentu | 7-2 |
| Tablica 7.2. Tijek eksperimenta | 7-3 |
| Tablica 7.3. Mjerne veličine | 7-3 |
| Tablica 7.4. Primjer pitanja i odgovora sastavljenog od više navoda | 7-3 |
| Tablica 7.5. Sadržaj prve vrste izvještaja | 7-5 |
| Tablica 7.6. Elementi <i>Konstruktivskog rasuđivanja</i> i njihova stanja | 7-6 |
| Tablica 7.7. Pitanja i odgovori vezani uz eksperiment | 7-8 |
| Tablica 7.8. Podjela studenata po grupama | 7-10 |
| Tablica 8.1. Lista <i>Uloga</i> grupe <i>Konstrukcija</i> u proširenom PLM sustavu | 8-4 |
| Tablica 8.2. Operacije koje se mogu provoditi nad elementima KR | 8-4 |
| Tablica 8.3. Ovlasti koje imaju <i>Korisnici</i> određenih <i>Uloga</i> nad elementima KR | 8-5 |
| Tablica 8.4. Stanja <i>Konstruktivskog rasuđivanja</i> i njegovih objekata u životnom ciklusu | 8-8 |
| Tablica 11.1. Razmatrani problemi iskorišteni u provedbi eksperimenta | 11-1 |
| Tablica 11.2. Razmatrane alternative rješenja iskorištene u provedbi eksperimenta | 11-3 |
| Tablica 11.3. Razmatrani argumenti iskorišteni u provedbi eksperimenta | 11-9 |
| Tablica 11.4. Razmatrane odluke iskorištene u provedbi eksperimenta | 11-12 |
| Tablica 11.5. Razmatrana objašnjenja iskorištena u provedbi eksperimenta | 11-14 |

1

UVODNA RAZMATRANJA

U prvom poglavlju objašnjena je motivacija koja je autora potaknula na istraživanje. U nastavku je definirano područje istraživanja te opis glavnih ciljeva. Slijedi objašnjenje hipoteze i istraživačkih pitanja te prikaz metodologije koja je primijenjena u istraživanju. Na kraju poglavlja prikazan je očekivani znanstveni doprinos i struktura disertacije.

1.1. Motivacija za istraživanje

Poznato je da su najbitniji čimbenici uspješnosti tvrtke odani zaposlenici i primjena stečenog znanja [1]. Za razliku od vremena kada su ljudi radili gotovo cijeli radni vijek u istoj tvrtki na istom radnom mjestu, danas je tendencija da često mijenjaju radna mjesta, kako unutar tako i izvan tvrtke. Takve ubrzane promjene rezultiraju nedostatkom vremena da zaposlenici steknu ekspertno znanje u različitim, specijalističkim područjima djelovanja. Problem predstavljaju i slučajevi kada ljudi s iskustvom odlaze u mirovinu "odnoseći" na taj način vrlo vrijedno radom stečeno znanje¹. Proces konstruiranja ima najznačajniji utjecaj na troškove u razvoju proizvoda [2], stoga pritisak za uštedom vremena i novca dovodi do ubrzavanja konstrukcijskih ciklusa. Potreba za brzim razvojem proizvoda još više ističe prethodno opisan problem fluktuacije zaposlenika posebice konstruktora.

¹ Pojam znanje je detaljnije razjašnjen u poglavlju 2.1.3.

Tvrtke, orijentirane razvoju novih proizvoda, koje u svojim konstrukcijskim uredima imaju mali broj konstruktora, ne smiju dopustiti da znanje stečeno na starim projektima nestaje s odlaskom zaposlenika. U takvoj situaciji novi zaposlenici imaju malo vremena za stjecanje iskustva u konstruiranju proizvoda u domeni tvrtke. Posebice se to odnosi na slučajeve kada se tijekom vremena određeni proizvodi poboljšavaju ili se razvijaju potpuno novi koncepti iste vrste proizvoda. Nedostatak znanja koje se nalazi u pozadini postojećih konstrukcijskih rješenja može predstavljati veliki korak unazad i utjecati na produženje konstrukcijskih aktivnosti.

Upravljanje znanjem jedna je od ključnih stvari za tvrtku, stoga postoji potreba za prikupljanjem, pohranjivanjem i ponovnom upotrebom znanja [3]. Osim utjecaja na značajno skraćanje vremena koje je potrebno da novi proizvod izađe na tržište, upravljanje informacijama i znanjem može povećati kvalitetu proizvoda te poboljšati njegove osobine [4]. Znanje unutar tvrtke potrebno je izmjenjivati između članova konstrukcijskog tima, stoga im se mora omogućiti učinkovito dohvaćanje zapisanog znanja. Znanje i iskustvo o proizvodima koja su već na tržištu moraju se sačuvati prije nego što konstruktor napusti tvrtku kako bi se novi konstruktori što prije uklopili u novu radnu okolinu i potrebe koje ona od njih zahtjeva. Konstruktori žele koristiti iskustveno znanje (eng. reusing design rationale) kako bi prilagodili stara rješenja na trenutne probleme, a mladi konstruktori žele razumjeti rješenja iz prijašnjih iskustava [5]. Ujedno, na osnovu prijašnjih iskustava konstruktori traže informacije kako bi vrednovali i opravdali svoje konstrukcijske odluke [6].

Konstruiranje je aktivnost [7], čiji je glavni cilj oblikovati artefakt [8], što znači da je konstruiranje transformacija skupa kriterija i/ili zahtjeva u fizičko ili teoretsko rješenje. S druge strane, konstruiranje se može promatrati kao proces transformacije informacija [9], [10]. Pri čemu različita stanja u konstruiranju sadrže različiti opseg informacija, a proces transformacije informacija iz jednog u drugo stanje je rezultat procesa odlučivanja koje je upravljano znanjem i informacijama². Tijekom procesa konstruiranja generira se velika količina informacija (podataka i/ili činjenica) [11] vezanih uz artefakt koji se konstruira, ali i uz proces kojim je artefakt kreiran. Određena količina informacija i znanja je zabilježena u formalnim dokumentima kao što su izvještaji, tehnički crteži, 3D modeli itd., no postoji dio koji nije dostatno zabilježen odnosno dokumentiran tijekom procesa razvoja. Iskustvo i znanje

² Pojmovi podatak, informacija i znanje detaljnije su razjašnjeni u poglavlju 2.1.

stečeno pri rješavanju konstrukcijskih problema na prijašnjim projektima razvoja proizvoda predstavlja dio tih nedostatkno zabilježenih informacija i znanja. Već odavno postoji praksa vođenja inženjerskih i konstruktorskih dnevnika³ u tvrtkama. Možda jedan od najpoznatijih primjera je dnevnik koji je vodio Leonardo da Vinci (1452-1519). No često su informacije u takvim dnevnicima nestrukturirane i upotrebljive jedino za potrebe autora, a kao što je već rečeno nedostatak informacija tijekom procesa konstruiranja može imati štetno djelovanje na produktivnost i efikasnost tvrtke u kasnijim fazama razvoja proizvoda.

U konstrukcijskom se procesu generira značajna količina informacija i znanja vezanih uz proizvod koji se konstruira, ali i uz proces kojim se proizvod realizira. Istraživanja pokazuju da konstruktori tijekom razvojnog procesa mogu provesti preko 50% svoga vremena u obradi informacija, te da je preko 50% potrebnih informacija za realizaciju razvoja proizvoda nedostupno ili nepoznato na početku procesa [12], dok za pretraživanje i pronalaženje informacija obično troše 20-30% vremena [13]. Stoga, efikasnost procesa konstruiranja i kvaliteta proizvoda značajno ovise o mogućnostima pristupa i sposobnosti korištenja velike količine informacija [12].

Poboljšanje procesa konstruiranja i izrada kvalitetnije konstrukcije može se ostvariti upravo učinkovitom upotrebom informacija i znanja u procesu konstruiranja. Da bi se te informacije i znanje što bolje upotrebljavale nužno je osigurati učinkovita sredstva za njihovo prepoznavanje, prikupljanje⁴, pohranu i ponovno korištenje [14].

Informatička rješenja koja se danas koriste kao podrška razvoju proizvoda ne posjeduju ili imaju ograničenu mogućnost upravljanja širokim spektrom informacija nastalih tijekom razvoja. Razlog je u tome što tijekom razvoja nastaju neformalne odnosno nestrukturirane informacije koje za sada još nisu pogodne za prikupljanje i pohranjivanje, a nastale su komunikacijom licem u lice, telefonom ili stvaranjem osobnih bilježaka i skica na papiru.

Rezultati istraživanja u području razvoja proizvoda vezanih uz prikupljanje, pohranu i ponovno korištenje informacija i znanja pokazuju da se konstruktorima bilježenje/zapisivanje razmišljanja i zaključaka, vezanih uz donošenje svojih odluka kod rješavanja konstrukcijskih problema, čini neinteresantnim i manje vrijednim. Takav stav proizlazi djelomično iz

³ Inženjerski dnevnik je dokument o informacijama (znanjima) koje je stekla osoba odnosno rezultatima koji su postignuti tijekom rada na projektu.

⁴ Prikupljanje informacije (eng. information capture).

opravdanih razloga kao što su njihova preopterećenost i ograničenost vremenskim rokovima. S druge strane smatraju da bilježenjem/zapisivanjem takvih informacija i znanja nemaju direktne koristi na projektima na kojima trenutno sudjeluju već će najveću korist imati oni koji će naknadno proučavati (učiti, vrednovati) njihova konstrukcijska rješenja.

Općenito bi se predloženi sustavi za prikupljanje, pohranu i ponovno korištenje informacija i znanja mogli podijeliti na: (1) one gdje je potrebna angažiranost konstruktora prilikom zapisivanja informacija i (2) one gdje je primjenom umjetne inteligencije taj postupak više-manje automatiziran [15], [16]. Automatizirani sustavi za prikupljanje informacija primjenjivi su samo u fazi detaljiranja koristeći komercijalne CAD alate. Zbog toga što je, za sve aspekte konstruiranja, nemoguće automatsko prikupljanje informacija i znanja nastalih razmišljanjem i zaključivanjem kod donošenja odluka u procesu rješavanja konstrukcijskih problema⁵ [15].

Također je važno naglasiti da automatsko prikupljanje informacija i znanja u toj fazi procesa konstruiranja samo djelomično oslobađa konstruktora od dodatnog posla. Ukoliko se žele prikupiti "kvalitetnije" informacije i znanje potrebno je omogućiti konstruktoru da proširi ili izmjeni automatski generirane informacije.

Kod dijela postojećih sustava za prikupljanje i pohranu informacija i znanja gdje je potrebna angažiranost konstruktora, konstruktori sa svojim suradnicima raspravljaju o konstrukcijskim problemima i zajednički donose određene zaključke, a cjelokupna komunikacija i veze prema različitim informacijskim objektima⁶ se zapisuju i pohranjuju uz mogućnost naknadnog pretraživanja.

U oba navedena pristupa konstruktore se stavlja u poziciju da u određenoj fazi prikupljanja informacija i znanja na osnovu vlastitog iskustva definiraju probleme i argumente što može dovesti do lutanja prilikom odlučivanja o najboljem predloženom konstrukcijskom rješenju. Ova tvrdnja je potkrijepljena istraživanjima koja su pokazala da postoje razlike između neiskusnih i iskusnih konstruktora u načinu na koji pristupaju konstrukcijskom problemu [17]. Uočeno je da neiskusni konstruktori češće koriste metodu pokušaja i pogrešaka sve dok rezultat nije zadovoljavajući. Za razliku od njih iskusniji konstruktori prije no što primijene svoje odluke prethodno ih vrednuju, najčešće na osnovu iskustva, te na taj način izbjegavaju

⁵ Razmišljanje i zaključivanje kod donošenja odluka u procesu rješavanja konstrukcijskih problema u engleskom govornom području može se poistovjetiti s pojmom *Design Rationale*. Pojam *Design Rationale* detaljnije je obrađen u poglavlju 2.8.

⁶ Pojam informacijski objekt detaljnije je razjašnjen u poglavlju 2.5.

višestruko ponavljanje. Znači, da bi se izbjegla ili barem umanjila mogućnost lošeg definiranja problema i neodgovarajućih argumenata potrebno je istražiti mogućnost primjene navođenog prikupljanja informacija i znanja.

Iz sagledavanja trenutne situacije može se zaključiti da postoji neistraženo područje vezano uz: (1) klasifikaciju konstrukcijskih problema, definiranje argumenata koji dovode do konstrukcijskih odluka o izboru predloženih alternativa rješenja; (2) povezivanje konstrukcijskih problema, alternativa, argumenata i odluka s postojećim sustavima za upravljanje informacijama o proizvodu.

1.2. Cilj i svrha istraživanja

Znanje i iskustva o kojima se govori u poglavlju 1.1 nastaju rješavanjem problema i/ili zadataka⁷, tijekom razvoja proizvoda, koji započinje kao proces promišljanja⁸, a završava kao proces zaključivanja⁹. Kao rezultat navedenih procesa proizlaze objašnjenja (npr. način rada odabranog rješenja) i pripadajući argumenti¹⁰ (npr. razlozi za/protiv odabira rješenja). U procesu razvoja proizvoda od presudne je važnosti razumijevanje prethodnih konstrukcijskih rješenja, prilagodba starih rješenja i/ili vrednovanje i opravdanost novih konstrukcijskih rješenja.

Stoga će se pokušati klasificirati objašnjenja i pripadajući argumenti vezani uz rješenja konstrukcijskih problema i odluke o njihovom odabiru sa svrhom pohranjivanja, pretraživanja i učinkovitog pronalaženja za potrebe budućih projekata malih i srednjih konstrukcijskih ureda.

Obzirom da se objašnjenja i pripadajući argumenti, vezani uz rješenja konstrukcijskih problema i odluke o njihovom odabiru, mogu promatrati kao dio znanja nastalog na osnovu iskustva ljudi (konstruktora) koji sudjeluju u razvoju proizvoda, u radu će se analizirati veze i relacije između podataka, informacija i znanja u kontekstu primjene.

Radom će se predložiti model zapisivanja objašnjenja i argumenata vezanih uz rješenja konstrukcijskih problema odnosno procesa odlučivanja. Povezivanje tako zapisanog znanja s

⁷ Pojmovi konstrukcijski problem i konstrukcijski zadatak detaljno su obrađeni u poglavlju 5.3.

⁸ Pod promišljanjem se podrazumijeva sagledavanje problema s različitih strana i utjecaj pojedinih rješenja na cjelokupni problem.

⁹ Proces zaključivanja detaljnije je obrađen u poglavlju 2.1.3.2.

¹⁰ Pojam argument detaljnije je objašnjen u poglavlju 5.3.

postojećim informacijskim objektima generiranim tijekom procesa konstruiranja proizvoda, preduvjet je za učinkovito pronalaženje i ponovno korištenje prethodnih konstrukcijskih rješenja za potrebe budućih projekata. Pri tome će se nastojati razviti metodologija zapisa objašnjenja i argumenata koja bi konstruktoru oduzimala što je moguće manje vremena. Time bi se trebalo osigurati unapređenje procesa upravljanja znanjem koje se koristi u fazama koncipiranja, oblikovanja i detaljiranja kao dio složenih i dugotrajnih projekata razvoja adaptibilnih proizvoda. Adaptivno konstruiranje ili preoblikovanje je vrsta konstrukcijske aktivnosti koja uključuje prilagodbu poznatih sustava/proizvoda ili promjenu postojećih sustava/proizvoda obzirom na promijenjene zahtjeve [18]. Ovaj način konstruiranja od konstruktora često traži inovativna rješenja sastavnih elemenata proizvoda [19], [20].



Slika 1.1. Struktura znanosti o konstruiranju [21]

Obzirom na definirani cilj glavnina istraživanja spada u proučavanje preskriptivnih modela znanosti o konstruiranju (elementi istraživanja prikazani su osjenčano) [Slika 1.1].

1.3. Hipoteza i istraživačka pitanja

Navedeni cilj istraživanja postavlja ovakvu hipotezu rada:

Klasifikacijom i strukturiranjem konstrukcijskih problema, rješenja, argumenata i odluka može se razviti sustav koji će omogućiti zapisivanje, pronalaženje i ponovno korištenje objašnjenja i rješenja konstrukcijskih problema na efikasan i prikladan način za korištenje u praksi tijekom razvoja adaptibilnih proizvoda.

Pretpostavka je da se definirane klase konstrukcijskih problema, rješenja, argumenata i odluka mogu koristiti kao predefimirani elementi zapisa objašnjenja koji bi se koristili u svrhu njihovog pretraživanja.

U disertaciji prije svega se žele pronaći odgovori na skup istraživačkih pitanja koja su proizašla iz hipoteze kao početne točke, da bi se razumjeli, opisali i interpretirali problemi (kod prikupljanja informacija i znanja) opisani u poglavlju 1.1:

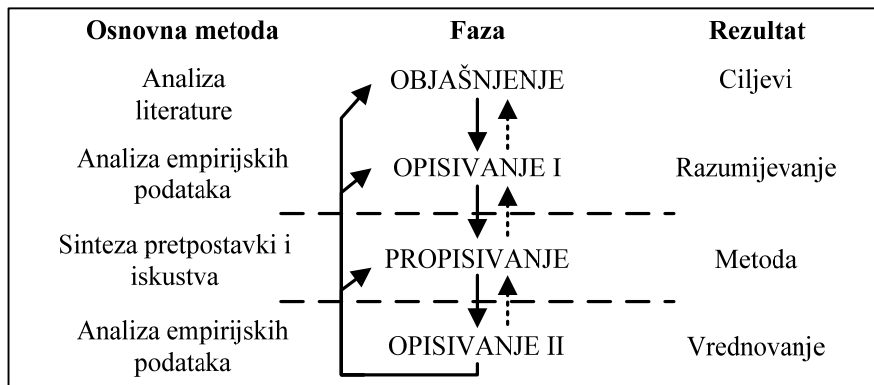
- Koje bi se vrste podataka, informacija i znanja¹¹ trebale prikupljati (obzirom na potrebe tvrtki u promatranoj domeni)?
- Mogu li se i kako potrebe tvrtki za prikupljanjem znanja klasificirati i/ili generalizirati?
- Koliko je vremena konstruktor voljan odvojiti za prikupljanje znanja?
- Koja je korist od prikupljanja znanja za tvrtku?
- Koja je korist od prikupljanja znanja za konstruktora?
- Kako će prikupljanje znanja promijeniti način rada tvrtke?
- Koji atributi opisuju probleme pri konstrukcijskom oblikovanju proizvoda?
- Koji su kriteriji vrednovanja predloženog modela prikupljanja znanja?

1.4. Metodologija istraživanja

Slijedeći općenitu metodologiju istraživanja u znanosti o konstruiranju [22] u ovom se poglavlju opisuje u disertaciji primijenjena metodologija istraživanja. Četiri su glavne faze metodologije: (1) Objašnjenje; (2) Opisivanje I; (3) Propisivanje i (4) Opisivanje II [Slika 1.2]. Pojedine faze metodologije mogu se prepoznati u narednim poglavljima disertacije. U fazi *Objašnjenje* govori se o motivaciji koja je istraživača potaknula na istraživanje, stoga je ona već obrađena u poglavlju 1.1. Istraživačke metode primijenjene tijekom ovog istraživanja spadaju u fazu *Opisivanje I*, a detaljnije su objašnjene u poglavlju 1.4.1. Tijekom faze *Propisivanje* podrazumijeva se razvijanje metoda i alata koji bi konstruktorima trebali pomoći u razvoju proizvoda. Faza *Opisivanje II* pretpostavlja detaljniju analizu utjecaja primjene

¹¹ Radi jednostavnosti pisanja i čitanja u daljnjem tekstu se pojmovi: podatak, informacija i znanje objedinjuju u pojam znanje, vodeći računa da postoje razlike i povezanost između ta tri pojma što je detaljnije razjašnjeno u poglavlju 2.1.

propisanih metoda i alata u stvarnom procesu razvoja proizvoda. Zbog ograničenosti raspoloživog vremena i istraživačkih resursa težište u radu prikazanog istraživanja je na fazama *Opisivanje I* i *Propisivanje*.



Slika 1.2. Metodologija istraživanja u znanosti o konstruiranju [22]

1.4.1. Empirijsko istraživanje

Empirijskim istraživanjem¹² želi se odgovoriti na sljedeća istraživačka pitanja:

- Koje bi se vrste podataka, informacija i znanja trebale prikupljati (obzirom na potrebe tvrtki u promatranoj domeni)?
- Koliko je vremena konstruktor voljan odvojiti za prikupljanje znanja?

Obzirom da se odgovori na navedena istraživačka pitanja traže direktnim i indirektnim promatranjem rada konstruktora tijekom razvoja novih proizvoda potrebno je voditi računa o:

- Vremenu koje ispitanici (konstruktori) mogu izdvojiti za diskusije s istraživačem.
- Povjerljivosti podataka dobivenih promatranjem i diskusijama s konstruktorima.

Ova faza istraživanja podijeljena je na tri podfaze:

1. Etnografsko¹³ istraživanje
2. Intervjuiranje konstruktora
3. Analiza prikupljenih podataka

¹² Empirijsko istraživanje (eng. empirical research) je istraživanje koje svoje rezultate temelji na direktnom ili indirektnom promatranju stvarnosti [23].

¹³ Etnografija se odnosi na kvalitativni opis pojava ljudskog društva utemeljen na terenskom radu [24]. Kvalitativno istraživanje je termin koji opisuje istraživanje o načinu na koji ljudi promatraju i shvaćaju svijet te predlažu konceptualne modele i teorije u svrhu objašnjavanja i predviđanja društvenih pojava [25].

Kada se istraživanja provode u industriji, uočena je prednost ako je istraživač uključen u socijalni i tehnički kontekst i ukoliko ga ostatak tima može upoznati [26]. Idealni slučaj jest kada istraživač posjeduje razinu znanja bližu onoj koju posjeduju profesionalni konstruktori.

Iz navedenih razloga je istraživač proveo određeno vrijeme (18 mjeseci) na jednom od aktualnih projekata tvrtke suradnika istraživanja¹⁴. Etnografsko istraživanje provedeno je aktivnim radom istraživača na rješavanju konstrukcijskih problema tijekom razvoja mobilnog uređaja za prskanje i zaprašivanje poljoprivrednih kultura. Intervjuiranje konstruktora provedeno je kako bi se dobile relevantne informacije o procesu konstruiranja koji se provodi u tvrtki, te njihova mišljenja o vrstama informacija i znanja koje treba prikupljati za potrebe budućih projekata. Prije nastavka istraživanja bilo je bitno prikupiti i analizirati njihova očekivanja vezana uz rezultate istraživanja što je utjecalo na njegov daljnji tijek.

Da bi se detaljnije istražila priroda konstruiranja, kako pojedinaca tako i grupe u konstrukcijskom uredu tvrtke, istraživač je pasivno promatrao i vodio bilješke o njihovom radu, komunikaciji i potrebama za znanjem tijekom rješavanja konstrukcijskih problema. Dobivene podatke istraživač je naknadno analizirao i izveo zaključke na osnovu kojih je bilo moguće pristupiti sljedećoj fazi istraživanja vezanoj uz predlaganje modela prikupljanja znanja u procesu konstruiranja. Rezultati empirijskog istraživanja detaljnije su objašnjeni u 4. poglavlju.

1.4.2. Propisivanje

Analizom podataka iz prethodne faze istraživanja definiran je temelj na osnovu kojeg je bilo moguće osmisliti metodu prikupljanja znanja u procesu konstruiranja adaptibilnih proizvoda za potrebe malih i srednjih konstrukcijskih ureda, vodeći računa da se za prikupljanje znanja konstruktoru ne oduzima previše vremena.

Model i prijedlog njegove implementacije u alat za prikupljanje znanja u procesu konstruiranja detaljnije su opisani u poglavljima 6 i 8.

1.4.3. Analiza i vrednovanje

Faza *Opisivanje II* čiji je cilj vrednovanje i primjena predložene metode obrađena je samo djelomično u 7. poglavlju, a sadrži vrednovanje modela kroz opis (1) istraživačkog pristupa

¹⁴ Radi jednostavnosti u daljnjem tekstu pod pojmom tvrtka podrazumijeva se da je riječ o tvrtki koja je surađivala na projektu.

(sudionici, postavljanje eksperimenta, konstrukcijska rasuđivanja, pitanja, prikupljanje eksperimentalnih podataka); (2) rezultata analize podataka prikupljenih tijekom eksperimenta; i (3) implikacija na rad. Razlog za djelomično obrađenu fazu *Opisivanje II* je u prirodi razvoja adaptibilnih proizvoda tvrtke u kojoj je provedeno istraživanje kod kojih se razvojni ciklus ponavlja svakih 3 do 5 godina.

1.5. Očekivani znanstveni doprinos

Originalni doprinos ovog rada koji predstavlja nadogradnju prethodnih istraživanja, očekuje se kao prijedlog metode i alata koji podržava prikupljanje, pretraživanje i pronalaženje objašnjenja i argumenata nastalih rješavanjem konstrukcijskih problema na projektima razvoja adaptibilnih proizvoda u malim i srednjim konstrukcijskim uredima.

Predloženi model i alat ujedno trebaju posjedovati ugrađene funkcije koje će motivirati konstruktore da ga redovito koriste. Predloženi model treba biti:

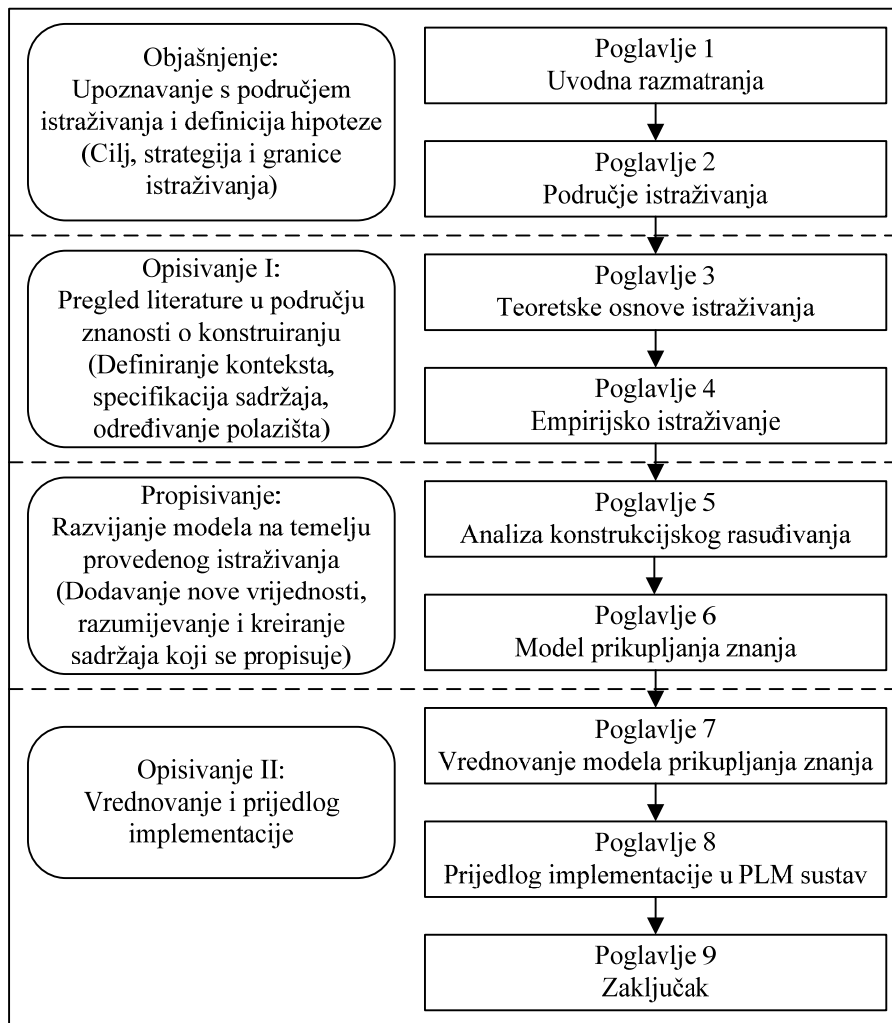
- Otvoren, proširiv i fleksibilan.
- Općenit, promatrajući mehanizme prikupljanja i pretraživanja.

Naglasak na fleksibilnosti modela omogućio bi daljnju nadogradnju kao i prilagodbu različitim uvjetima eksploatacije. Istraživanje će uključiti analizu teoretskog područja te sintezu tako prikupljenog znanja i praktičnih spoznaja. Očekuju se rezultati prikazani kroz:

- Teoretski doprinos – intencija je da ovaj istraživački projekt doprinese upravljanju znanjem u procesu konstruiranja kroz nova teoretska saznanja.
- Praktični doprinos – biti će izražen kroz definiranje modela koji će omogućiti prikupljanje, pohranjivanje i pretraživanje objašnjenja koji se odnose na rješavanje konstrukcijskih problema i argumenata odabira predloženih alternativa rješenja.

1.6. Struktura disertacije

Disertacija je podijeljena u četiri cjeline [Slika 1.3] prema metodologiji istraživanja definiranoj u poglavlju 1.4 [Slika 1.2]. Prva cjelina obrađena je kroz prvo i drugo poglavlje. U prvom poglavlju opisuje se područje istraživanja zatim cilj, hipoteza i istraživačka pitanja. Nakon toga slijedi metodologija primijenjena u istraživanju i očekivani znanstveni doprinos.



Slika 1.3. Struktura disertacije prema metodologiji istraživanja

U drugom poglavlju objašnjeni su osnovni pojmovi podatka, informacije i znanja vezanih uz područje istraživanja. Među objašnjenim pojmovima su: konstrukcijski problem, promišljanje, zaključivanje, argumenti, taksonomija, informacijski objekt, itd., a sve u svrhu boljeg shvaćanja problematike koja se prikazuje u disertaciji.

Trećim i četvrtim poglavljem obrađena je druga cjelina istraživanja. Treće poglavlje sadrži teoretske osnove kao polazište istraživanja. Ukratko je opisana znanost o konstruiranju, teoretske osnove modeliranja proizvoda, teorije tehničkih sustava. U četvrtom poglavlju prikazano je empirijsko istraživanje vezano uz karakterizaciju pitanja koja se javljaju tijekom procesa konstruiranja.

Treća cjelina obuhvaća peto i šesto poglavlje disertacije, a sadrži opis doprinosa istraživanja. Pri tome je u petom poglavlju predložena klasifikacija konstrukcijskih problema u domeni

istraživanja, čija je svrha predlaganje metode i alata za prikupljanje znanja što je prikazano u šestom poglavlju.

Posljednja četvrta cjelina sadrži sedmo i osmo poglavlje u kojima je opisano vrednovanje i prijedlog implementacije predložene metode za prikupljanje znanja. Ova cjelina završava sažetkom rezultata istraživanja, zaključkom i smjerovima budućih istraživanja.

U devetom poglavlju dan je popis korištene literature, a na kraju disertacije nalaze se dodaci koji sadrže materijale korištene tijekom istraživanja.

PODRUČJE ISTRAŽIVANJA

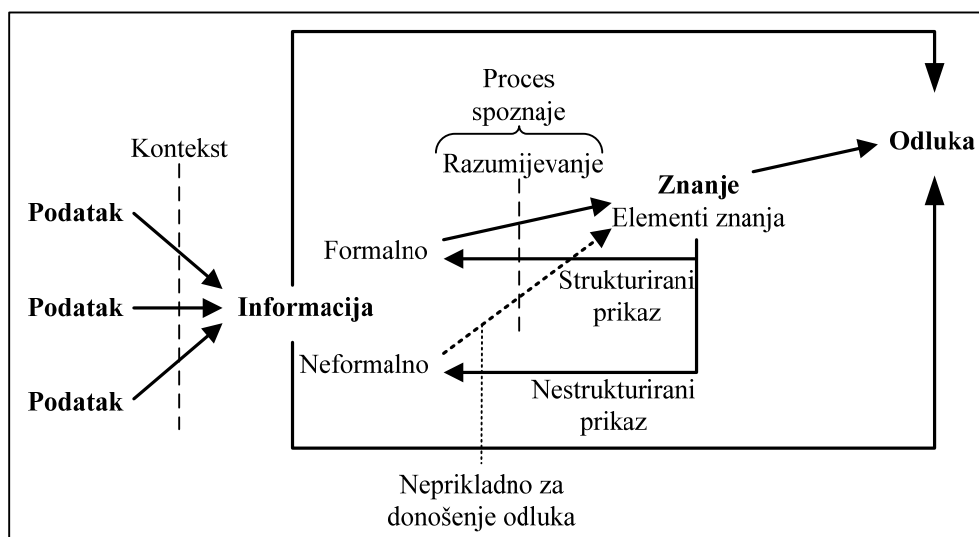
U ovom poglavlju objašnjeni su osnovni pojmovi podataka, informacije i znanja vezanih uz područje istraživanja. U nastavku su objašnjeni pojmovi i izrazi: informacijski objekt, taksonomija, design rationale, te upravljanje životnim ciklusom proizvoda u svrhu boljeg shvaćanja problematike koja se prikazuje u disertaciji.

2.1. Podatak, informacija i znanje

U procesu konstruiranja stvara se velika količina podataka, informacija i znanja neophodnih u kasnijim fazama procesa konstruiranja odnosno životnog vijeka proizvoda. Često se dobar dio tih podataka, informacija i znanja ne zapisuje i ne pohranjuje. Postoje slučajevi kada u radnoj organizaciji postoji praksa zapisivanja i pohranjivanja podataka, informacija i znanja, ali na neodgovarajući način. U oba navedena slučaja javlja se problem što u trenutku kada iste zatrebaju ili ih nema ili ih je nemoguće pronaći.

Mnoga rješenja za njihovo prikupljanje primjenjuju alate kao što su video i audio zapisi vodeći se idejom da ukoliko se prikupe sve informacije tada se ništa neće izgubiti [27]. Navedeni pristup stvara novi problem, nisu svi prikupljeni podaci, informacije i znanje neophodni, pa se postavlja pitanje kako razlikovati neophodne od svih ostalih? Prije bilo kakvog prikupljanja važno je ustanoviti što treba prikupljati, a za to je potrebno poznavati vrste podataka, informacija i znanja koji se generiraju tijekom procesa konstruiranja.

Kada se govori o podacima, informacijama i znanju postoje različite definicije autora koji su ih promatrali s različitih gledišta. U radu [14] su autori predložili njihove definicije te opisali razlike, ograničenja i međusobne veze [Slika 2.1].



Slika 2.1. Veze između podataka, informacija i znanja [14]

Autori smatraju da dok postoji veza između podatka, informacije i znanja moraju postojati i razlike između tih pojmova¹⁵, a upravo te razlike su ključne za učinkovitu identifikaciju, prikupljanje i njihovo ponovno korištenje.

2.1.1. Podaci

Općenito se podatak razmatra kao činjenica u tekstualnom ili numeričkom obliku [28]. Neki autori razlikuju strukturirane i nestrukturirane podatke [29], no upitno je postoje li nestrukturirani podaci, jer bilo da su pohranjeni na računalo ili u hrpi papirnatih dokumenata indirektno su strukturirani. Stoga će se za potrebe ovoga rada smatrati da su podaci strukturirane činjenice koje prikazuju kvalitativnu ili kvantitativnu vrijednost.

2.1.2. Informacije

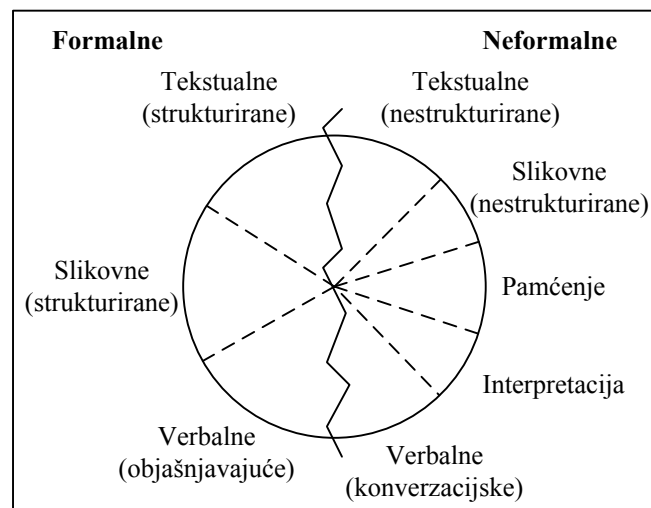
Element informacije definira se kao "opisivanje činjenica"¹⁶ (podataka). Da bi se činjenica opisala, element informacije mora određenoj vrijednosti pridružiti značenje i odgovarajuću

¹⁵ Na primjer, numerička vrijednost 9,80665 može se smatrati "podatkom", ukoliko se kaže da ubrzanje zemljine sile teže iznosi 9,80665 ms⁻² tada se to može smatrati "informacijom", a izvještaj u kojem se nalazi objašnjenje fenomena gravitacije i načina izračunavanja vrijednosti ubrzanja sile teže može se smatrati "znanjem".

¹⁶ Opisivanje činjenice (eng. describing a fact).

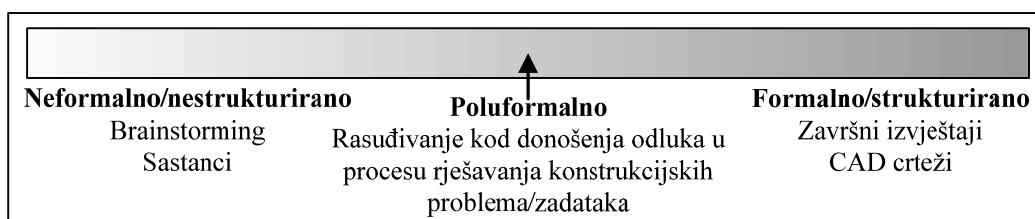
mjeru. Ova dva gledišta na element informacije mogu se izraziti u obliku subjekta ili opisa¹⁷, koji osigurava značenje, te predikata ili vrijednosti koji sadrži mjeru, a to je obično podatak. Primjeri informacije mogu sadržavati masu komponente, datum isporuke, boju ili teksturu određenog komada itd.. Informacija je suma podataka te jednog ili više subjekata¹⁸, gdje subjekti razjašnjavaju značenje podatka. Iz toga proizlazi da se rečenica može sastojati od nekoliko informacija.

Autori definiraju dvije klase informacija: formalne i neformalne [30], [31] i [32]. Osnovna razlika između njih je strukturirana priroda formalnih informacija. Razlika između formalnih i neformalnih informacija slikovito je prikazana njihovom klasifikacijom [14], [Slika 2.2].



Slika 2.2. Klase formalnih i neformalnih informacija [14]

Granica između formalnih i neformalnih informacija nije fiksno određena što onemogućava jasno prepoznavanje relevantne vrste informacija. Kao pokušaj pojašnjavanja veze između formalnih i neformalnih informacija autori su predložili "Formalni spektar konstrukcijskih informacija"¹⁹ [33], [Slika 2.3].



Slika 2.3. Formalni spektar konstrukcijskih informacija [33]

¹⁷ Opis (eng. descriptor).

¹⁸ Subjekt (eng. context descriptors) se sastoji od jednog ili više podataka.

¹⁹ Formalni spektar konstrukcijskih informacija (eng. the Formality Spectrum of Design Information).

Na formalnom kraju spektra nalaze se visoko strukturirani, detaljni dokumenti, kao što su završni izvještaji, patenti i CAD crteži, dok se na neformalnom kraju spektra nalaze nestrukturirani dijelovi dokumenata²⁰. Takvi nestrukturirani dijelovi dokumenata uobičajeno se prikupljaju na sastancima ili provođenjem *Brainstorming*²¹ metoda [33]. Između te dvije klase informacija uočavaju se tzv. poluformalne informacije (informacije s ograničenom strukturom) kao što rasuđivanje kod donošenja odluka u procesu rješavanja konstrukcijskih problema²².

Cilj mnogih istraživanja u koja spada i istraživanje prikazano u ovoj disertaciji je prikupiti tzv. poluformalne informacije te im pridružiti "elemente" koji će osigurati pridruživanje informacija određenom kontekstu. Na taj način se poluformalne informacije na formalnom spektru pomiču u desno [Slika 2.3].

2.1.2.1. Formalna informacija

Formalna informacija je uvijek pridružena određenom kontekstu. Ona sadrži strukturu tako da pojedinci na temelju takve informacije mogu donijeti iste zaključke [14]. Obrazovanje je možda najbolji primjer gdje učenici na osnovu strukturiranih (formalnih) informacija stječu znanje. Formalne informacije se obzirom na prikaz ili prijenos mogu podijeliti u tri kategorije [Slika 2.2]:

- Tekstualne (strukturirane) informacije mogu biti alfanumeričke, simbolične ili njihove kombinacije. Za njihov prikaz koriste se različiti mediji koji mogu vizualno prikazati informaciju: papirnati, elektronički, itd.. Obično su to dokumenti ili objavljeni materijali.
- Slikovne (strukturirane) informacije su slikovni prikazi koji odgovaraju nekom prihvaćenom standardu. Mogu biti dijagrami, 2D i 3D tehnički crteži, dijagrami tokova itd.. Kao i u slučaju tekstualnih informacija, slikovni elementi informacija su neovisni o mediju koji ih prikazuje.
- Verbalne (objašnjavajuće) informacije koje se prenose na logički strukturirani način. Njihov sadržaj osigurava detaljne elemente informacija s jasno

²⁰ Dokumenti u dijelovima (eng. fragmentary documents).

²¹ Brainstorming je grupna kreativna tehnika koja služi za generiranje ideja kod rješavanja problema [34].

²² Znanje nastalo rasuđivanjem kod donošenja odluka u procesu rješavanja konstrukcijskih problema u engleskom govornom području može se poistovjetiti s pojmom Design Rationale.

definiranim subjektima i predikatima. Obično se primjenjuju za opisivanje i objašnjavanje između članova konstrukcijskog tima.

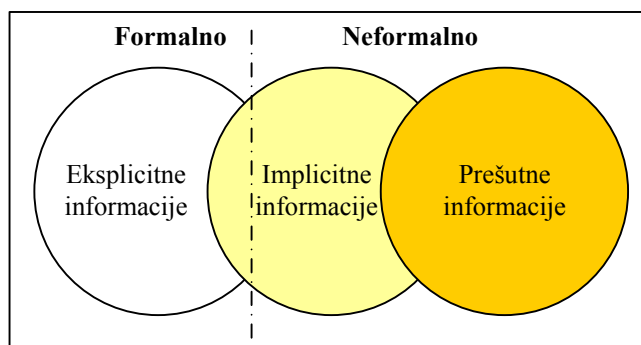
2.1.2.2. Neformalna informacija

U literaturi se neformalne informacije razmatraju kao nestrukturirane informacije [14]. Većina takvih informacija su osobne informacije ili informacije koje nastaju interakcijom između dvije ili više osoba. Kod neformalnih informacija subjekti i predikati ne moraju biti jasno definirani. Informacije se dinamički izmjenjuju kako se mijenja ili dodaje sadržaj. Mogu se podijeliti u pet kategorija:

- Tekstualna (nestrukturirana) informacija može biti prikazana u obliku stenografskog zapisa ili osobnih bilježaka. Općenito ne slijedi nikakvu logičku progresiju, može sadržavati djelomične skupove informacija i pokazivače odnosno reference koje su razumljive isključivo autoru.
- Slikovna (nestrukturirana) informacija je slična tekstualnoj nestrukturiranoj informaciji. Također nema logičku progresiju, ne sadrži potpun skup informacija i nisu u skladu s prihvaćenim metodama i standardima prikaza. U njih se ubrajaju skice, napomene, rukom napravljeni dijagrami itd..
- Verbalna (konverzacijska) informacija nastaje u dinamičkom procesu u kojem subjekti i predikati informacije nisu jasno definirani i mijenjaju se kako se odvija proces konverzacije.
- Pamćenje sadrži informacije karakteristične za svaku pojedinu osobu. Takvi elementi informacija proizlaze iz iskustva bilo formalnog ili neformalnog. Njihov sadržaj i značaj mogu biti nejasni ili loše definirani dok su stimulirani vanjskim izvorom ili situacijom.
- Doživljajna informacija uključuje 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. Ne mogu se formalno u potpunosti kvantificirati.

2.1.2.3. Prešutne, implicitne i eksplicitne informacije

U literaturi se razlikuju tri grupe različitih vrsta informacija koje se preklapaju s neformalnim i formalnim konstrukcijskim informacijama, [Slika 2.4]. Kada informacija nije izrečena niti upotrijebljena u nekom obliku komunikacije govori se o prešutnoj informaciji²³ [35]. Obzirom da je prešutna informacija osobno sjećanje konstruktora, tijekom konstruiranja je u potpunosti neformalna. Takva informacija obuhvaća sposobnost konstruiranja, ekspertizu, intuitivno razumijevanje i profesionalni uvid²⁴ kao rezultat iskustva u konstruiranju. Prešutna informacija je ona koja nije niti izrečena niti upotrijebljena u nekoj komunikaciji i u konstruiranju je u potpunosti neformalna. Tijekom životnog ciklusa konstrukcijskog projekta konstruktor se često pouzda u prešutne konstrukcijske informacije i znanje kao pomoć u donošenju odluka. Implicitna informacija²⁵ je ona koja se podrazumijeva odnosno informacija koja se može zaključiti na osnovu nečega, ali se jasno ne izražava [35]. Može poprimiti oblik skica i usmene komunikacije stoga su općenito implicitne informacije dijelom formalne, a dijelom neformalne informacije.



Slika 2.4. Veze između prešutnih, implicitnih i eksplicitnih informacija [36]

U eksplicitne informacije²⁶ mogu se svrstati dovršeni tehnički crteži, CAD modeli, izvještaji, te bilo koji drugi informacijski objekti²⁷ koji imaju prethodno određenu formu. Može se zaključiti da je eksplicitna informacija po svojoj prirodi formalna.

U literaturi se prešutne informacije, ali i znanje promatraju kao potpuno neformalne i osobno su sjećanje konstruktora. Ukoliko se takve informacije i znanje izmjenjuju preko bilo kakvog medija one se više ne mogu klasificirati kao prešutne već se umjesto toga svrstavaju u

²³ Prešutna informacija (eng. tacit information).

²⁴ Profesionalni uvid/shvaćanje (eng. professional insight).

²⁵ Implicitna informacija (eng. implicit information).

²⁶ Eksplicitna informacija (eng. explicit information).

²⁷ Pojam informacijski objekt detaljnije je razjašnjen u poglavlju 2.5.

implicitne ili eksplicitne [36]. Svi podaci i informacije zabilježene u jasnom i nedvosmislenom obliku zovu se eksplicitne informacije.

2.1.3. Znanje

Postojanje općeprihvaćene definicije "znanja" imalo bi veliku važnost kako za društveno humanističku problematiku [37] tako i za problematiku upravljanja znanjem u procesu konstruiranja. U literaturi se definicija znanja analizira kao "opravdano istinito vjerovanje" što je predloženo u Platonovom dijalogu Teetet [37]. Smatra se da je navedena definicija prilično dobra realna definicija²⁸ pojma. No promatrajući tu definiciju s inženjerske strane, ona ne daje jasnu sliku o tome što pojam znanja znači u procesu konstruiranja. Uvidjevši taj problem mnogi autori su predložili svoje definicije pojma "znanja" što je prvenstveno ovisilo o domeni u kojoj se pojavljivao. U nastavku se navode samo neke definicije znanja do kojih je autor disertacije došao proučavajući znanstvenu literaturu:

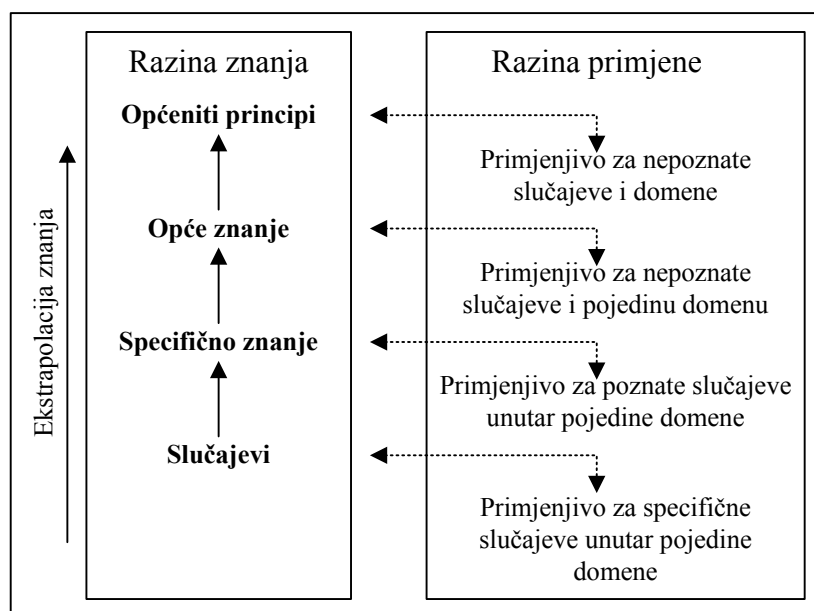
1. Znanje se definira kao sposobnost pojedinca da razumije informacije, opiše načine upravljanja informacijama te ih smisleno primjenjuje u novoj situaciji [39].
2. Znanje je razumijevanje i zaključivanje na osnovi činjenica ili informacija prikupljenih promatranjem, edukacijom ili iskustvom [40].
3. Znanje su informacije organizirane za rješavanje problema [41].
4. Znanje je informacija organizirana i analizirana na način da postane razumljiva i primjenjiva za rješavanje problema ili donošenje odluka [42].
5. Znanje pokriva implicitna i eksplicitna ograničenja na entitetima i postupcima [43].
6. Znanje je skup činjenica i vjerovanja, perspektiva i koncepata, odluka i iščekivanja, metodologija i "znati-kako" [44].
7. Znanje je skup mentalnih prikaza, iskustva i postupaka koje se smatraju istinitim i ispravnim, a upravljaju razmišljanjima, ponašanju i komunikaciji između osoba [45].
8. Znanje je zaključivanje o informacijama što aktivno vodi prema izvršavanju zadatka, rješenjima problema i donošenju odluka za vrijeme učenja i edukacije [46].
9. Znanje se definira kao stručnost/ekspertiza i vještina koju je stekla osoba iskustvom ili edukacijom; teoretsko ili praktično razumijevanje subjekta [47].

²⁸ Nominalna definicija je ona koja nam ukazuje na svojstva predmeta koja nam omogućuju da ga identificiramo, dok je realna definicija ona koja nam govori o tome što predmet doista jest [38].

10. Znanje se definira kao nešto što se zna u određenom području ili općenito; činjenice i informacije [47].

11. Znanje se definira kao svjesnost ili upoznatost s činjenicama ili situacijama stečenim kroz iskustvo [47].

Analiziranjem prikazanih definicija znanja može se zaključiti da svako novo proživljeno iskustvo generira nova znanja koja se očituju u razumijevanju proživljenog iskustva. Promatrajući razvoj proizvoda, te konstruiranje kao jedan njegov dio, znanje se razmjenjuje interakcijom između sudionika. Te su interakcije uzrok da je značenje informacija odnosno stečeno znanje, često naučeno od ostalih sudionika u razvojnom procesu, stoga se kao takvo primjenjuje u rješavanju novih problema [48]. Ovisno o primjeni u literaturi su identificirane četiri razine znanja [Slika 2.5].



Slika 2.5. Razine znanja i njihova primjena [14]

Kada se govori o znanju²⁹ u literaturi se predlažu dva aspekta znanja, a to su element znanja i rasuđivanje [14]. Rasuđivanje je proces koji osobe koriste prilikom zaključivanja elemenata znanja iz informacija, drugih elemenata znanja ili njihove kombinacije. Kako se to dešava kao misaoni proces, rasuđivanje je teško formalizirati. Suprotno tome, elementi znanja se lako prikazuju, a to proizlazi iz činjenice da se elementi znanja u stvari prenose kao informacije [49], što se može eksplicitno definirati.

²⁹ Klasifikacija i struktura znanja u procesu konstruiranja detaljnije je opisana u poglavlju 2.7.

2.1.3.1. Elementi znanja

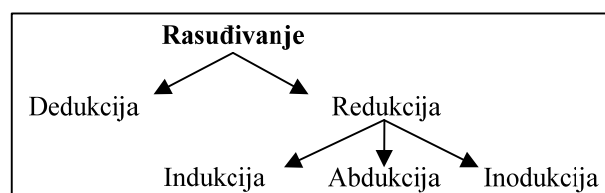
Elementi znanja predstavljaju eksplicitno definirane informacije nastale zaključivanjem na temelju jednog ili više elemenata informacija. Pri tome informacije mogu biti formalne i neformalne.

Priroda neformalnih informacija i razlike u rasuđivanju kod različitih ljudi dovodi do toga da generirani elementi znanja koji su nastali na temelju elemenata neformalnih informacija mogu biti različiti, pa i pogrešni.

Razlog je u tome što u neformalnim informacijama možda nisu jasno definirani subjekti i predikati. Stoga se smatra da je generirano znanje točno, ukoliko su u neformalnim informacijama precizno navedeni subjekti i predikati na osnovu kojih je donesen zaključak. Ukoliko se zaključeno znanje na osnovu neformalnih informacija koristi u procesima donošenja odluka, tada se ne može jamčiti valjanost i pouzdanost takvoga znanja. Kako bi se osigurala visoka pouzdanost u zaključene elemente znanja tada oni moraju biti temeljeni na jasno definiranim činjenicama (formalnim informacijama).

2.1.3.2. Rasuđivanje

Rasuđivanje³⁰ se općenito može definirati kao spoznajni proces traženja razloga za svoja uvjerenja, zaključke, akcije ili osjećaje [50]. Generiranje novih elemenata znanja kod osobe nastaje kao posljedica zaključivanja na temelju informacija, drugih elemenata znanja ili njihovom kombinacijom. Stoga se rasuđivanje razmatra kao misaoni proces osobe. Ukoliko se misaoni procesi mogu formalizirati kao cjelina i njihova primjena može jasno definirati, tada je moguće rekonstruirati i prikazati rasuđivanje.



Slika 2.6. Modeli rasuđivanja [51]

U procesu konstruiranja razlikuju se dvije glavne vrste rasuđivanja: dedukcija³¹ i redukcija³² [51], [Slika 2.6]. Dedukcija je logički opravdano rasuđivanje, a dobra joj je osobina što čuva

³⁰ Rasuđivanje (eng. reasoning) [www.e-rjecnik.net/translate; translate.google.com].

³¹ Dedukcija (eng. deduction).

istinu (ukoliko su sve premise istinite, zaključak je također istinit), što se može vidjeti iz primjera:

| | | |
|-----------|-------------------|---|
| Premisa | $p \rightarrow q$ | Ukoliko je automobil prijevozno sredstvo, tada automobil može prevoziti ljude |
| Premisa | p | Automobil je prijevozno sredstvo |
| <hr/> | | |
| Zaključak | q | Automobil može prevoziti ljude |

Redukcija dolazi u tri različita oblika: (1) indukcija; (2) abdukcija; i (3) inodukcija³³ [Slika 2.6]. Induktivno rasuđivanje igra važnu ulogu u empirijskim znanostima, u kojima znanstvenici pokušavaju izvesti općenite tvrdnje o svijetu u smislu zakona i teorija. Logički gledano indukcija nije ispravan oblik rasuđivanja, jer se ne može sa sigurnošću reći da je prilikom rasuđivanja sve uzeto u obzir, što se može vidjeti iz primjera:

| | | |
|-----------|-----------------------|--|
| Premisa | $p_1 \rightarrow q_1$ | Ukoliko se staklo zagrijava, staklo se širi |
| Premisa | $p_2 \rightarrow q_2$ | Ukoliko se bakar zagrijava, bakar se širi |
| <hr/> | | |
| Premisa | $p_3 \rightarrow q_3$ | Ukoliko se čelik zagrijava, čelik se širi |
| <hr/> | | |
| Zaključak | $p \rightarrow q$ | Ukoliko se tvar (bez obzira koja) zagrijava, ona se širi |

Izvedeni zaključak iz prethodnog primjera nije točan jer u slučaju zagrijavanja vode temperature ispod 4°C njezin volumen se smanjuje. U konstruiranju se ova vrsta rasuđivanja može primijeniti kod vrednovanja rješenja, rezultata, itd..

Abdukcija je oblik rasuđivanja važan u znanostima s područja prava, povijesti i medicine. Logički gledano abdukcija nije ispravan oblik rasuđivanja, jer ne mora nužno postojati veza između zaključka i premise, što se može vidjeti iz primjera:

³² Redukcija (eng. reduction).

³³ Indukcija (eng. induction); abdukcija (eng. abduction); inodukcija (eng. innoduction).

| | | |
|-----------|-------------------|---|
| Premisa | $p \rightarrow q$ | Ukoliko je X napravljen iz aluminijskih tada X ne korodira |
| Premisa | q | (zahtjeva se da) X ne korodira |
| Zaključak | p | X (treba biti napravljen) iz aluminijskih |

Izvedeni zaključak iz prethodnog primjera nije u potpunosti točan jer postoje i drugi materijali, ali i postupci kojima se može zadovoljiti zahtjev da X ne korodira.

Kada se detaljnije analiziraju prethodno navedeni primjeri i modeli rasuđivanja, ne može se reći da u konstruiranju rasuđivanje spada u neki od navedenih modela. Cilj konstruiranja jest materijalni objekt, odnosno proces konkretizacije rješenja ili bolje rečeno transformacija funkcionalnog opisa proizvoda u njegov oblik. Stoga se rasuđivanje u procesu konstruiranja naziva inodukcija (konstruktor raspolaže s manje informacija no što mu je potrebno). Inodukcija je rasuđivanje koje dovodi do mnogo kreativnih rješenja. U navedenom procesu podrazumijeva se da kreativnost konstruktora ima neophodnu i nezamjenjivu ulogu. Na slici se mogu vidjeti četiri modela rasuđivanja sa svojim karakteristikama i obrascima rasuđivanja [Slika 2.7].

| | Dedukcija | Redukcija | | |
|---------------------|--------------------------|---|-------------------------------|---------------------------|
| | | Indukcija | Abdukcija | Inodukcija |
| Premise | $p \rightarrow q$ p | p q | $p \rightarrow q$ q | q |
| Zaključak | q | $p \rightarrow q$ | p | p $p \rightarrow q$ |
| Obrazac rasuđivanja | iz općenitog u konkretno | iz konkretnog u općenito | iz konkretnog u konkretno | iz općenitog u općenito |
| Karakteristično za | matematika logika | prirodne znanosti društvene znanosti | pravo povijest medicina | tehnologija pedagogija |

Slika 2.7. Obrasci rasuđivanja [51]

Rijetko kada u konstrukcijskoj praksi navedeni modeli rasuđivanja dolaze zasebno što se može vidjeti na primjeru konstruiranja perilice za posuđe koja se koristi u jadrilicama [51]: Uređaj mora ispravno funkcionirati u uvjetima mirnog i uzburkanog mora. Funkcije koje

perilica mora imati su: neslomljivost posuđa, prljavo posuđe mora se očistiti u roku od jednoga sata uz pomoć morske vode. Nakon što konstruktor definira listu zahtjeva (posuđe se mora zadržavati u horizontalnom položaju, uređaj mora biti otporan na korozivno djelovanje morske vode, deterdžent mora djelovati u morskoj vodi, ...) može definirati funkcije uređaja (horizontalan položaj zadržati, suđe čistiti, deterdžent prihvatiti...).

U sljedećem koraku konstruktor inodukcijom (transformacija funkcije u oblik) odgovara na pitanje: "Kako se posuđe može zadržati u vodoravnoj poziciji?". Nakon što je nastala ideja da primjeni kardanski ovjes, dedukcijom odgovara na pitanje "Koju će poziciju perilica posuđa usvojiti ukoliko se koristi kardanski ovjes?". Odgovor na to pitanje glasi: "Ukoliko se koristi kardanski ovjes pozicija perilice posuđa usvojiti će horizontalni položaj.". Sljedeće pitanje na koje konstruktor odgovara indukcijom glasi: "Da li pretpostavljena pozicija zadovoljava zahtjeve?". Ukoliko se ideja kardanskog ovjesa pokaže zadovoljavajućom, moguće je provesti daljnje oblikovanje koncepta. Ova tri pitanja i odgovori na njih opisuju rasuđivanje koje se sastoji od tri koraka:

1. Konstruktivno stvaranje (eng. constructive generation)
2. Analiza
3. Vrednovanje

Ukoliko se pretpostavi da je napravljen prototip perilice s kardanskim ovjesom i ukoliko se tijekom ispitivanja posuđe razbije, abdukcijom konstruktor odgovara na pitanje "Što je uzrok razbijenom posuđu?". Kada konstruktor otkrije mogući uzrok u kratkim valovima kojima je brod bio podvrgnut (perilica nije mogla izdržati gibanja broda te se gibanje perilice dodatno pojačavalo), dedukcijom odgovara na pitanje "Koji je utjecaj kratkih valova na perilicu?". Nakon što se pretpostavilo da su kratki valovi odgovorni za vibracije, indukcijom se odgovara na pitanje "da li vibracije perilice za vrijeme kratkih valova uzrokuju lom posuđa?". Ukoliko je odgovor na zadnje pitanje pozitivan može se početi s promjenama na konstrukciji. Ova tri pitanja i odgovori na njih opisuju rasuđivanje koje se sastoji od tri koraka:

1. Objašnjavanje (eng. explanatory generation)
2. Analiza
3. Vrednovanje

Na osnovu ovih razmatranja u toku postupka stjecanja, odnosno akumuliranja znanja treba voditi računa o načinu njegova prikupljanja i primjene za potrebe rasuđivanja u budućnosti.

2.2. Prikupljanje podataka, informacija i znanja

Općenito se podaci prikupljaju kao podskup informacija primjenjujući isti kontekst na cijelu grupu podataka. Na primjer, prikupljanje podataka o iznosima pomaka pri mjerenju vibracija rotora turbine tijekom određenog vremena.

Prije svega bitno je prepoznati razloge zbog kojih se podaci, informacije i znanje žele prikupljati unutar neke organizacije. Ti razlozi biti će ključni za izbor alata i metoda prikupljanja. U literaturi se navodi deset različitih "kategorija razloga prikupljanja" [Tablica 2.1], [52]. Prikazanom kategorizacijom pokušalo se ustanoviti zašto ljudi žele prikupljati podatke, informacije i znanje, te kako će se prikupljeno koristiti. Iz prikazane taksonomije [Tablica 2.1] uočava se raspon i raznolikost aktivnosti prikupljanja informacija.

Tablica 2.1. Taksonomija razloga prikupljanja informacija [52]

| Prikupljanje informacija u svrhu | |
|----------------------------------|-----------------------------------|
| Rasprave | Dijeljenja |
| Prosljeđivanja | Arhiviranja |
| Uspoređivanja | Čitanja i prikazivanja |
| Upravljanja zadacima | Referenciranja |
| Ponovne upotrebe | Korištenja u "aktivnom" dokumentu |

Na primjer, kod kategorije prikupljanja radi dijeljenja s jedne strane se može prikupljati u svrhu rasprave, a s druge strane u svrhu upoznavanja drugih ljudi s trenutnim informacijama koje postoje (prikupljati za raspravu, za dijeljenje).

U domenu ovog istraživanja spada prikupljanje informacija i znanja nastalih iskustvom stoga se mogu izdvojiti tri kategorije: prikupljati za ponovnu upotrebu, uspoređivanje i arhiviranje. Predložena taksonomija [Tablica 2.1] ne obuhvaća neke važne kategorije bitne u razvoju proizvoda kao na primjer, prikupljanje u svrhu planiranja (planiranje i podržavanje budućih aktivnosti), prikupljanje za kontrolu (kontrola aktivnosti na osnovu prikupljenih informacija) i prikupljanje u svrhu poboljšanja nekog već postojećeg proizvoda ili procesa.

Prikupljanje informacija i znanja je često puta dugotrajan i zamoran posao koji od konstruktora može iziskivati mnogo "ručnog" rada, to također može dovesti do grešaka,

komunikacijskih problema i drugih problema uzrokovanih ljudskim faktorom. Sve to može imati značajni utjecaj na kvalitetu i kvantitetu zapisanih informacija i znanja. Trenutna situacija je takva da se mnogo tvrtki odupire uvođenju vremenski zahtjevnih procedura za prikupljanje informacija i znanja, a kada ih uvedu javlja se otpor od strane zaposlenika (npr. konstruktora). Navedeni problemi dovode do toga da većina nastalih informacija i znanja, posebice neformalnih, ne bivaju zapisane ili dokumentirane u nekom obliku.

Današnji utjecaj računalne tehnologije i digitalnih medija pohrane informacija uvjetuje potrebu za prikupljanjem informacija u digitalnom obliku kako bi se one pohranile na duže vrijeme. Da bi računala, u procesu prikupljanja informacija i znanja, bila učinkovita koraci koje moraju slijediti trebaju biti eksplicitno zadani, suprotno tome ljudi izvršavaju složene zadatke intuitivno. Struktura informacija koju nameće upotreba računala može biti vrlo skupa za primjenu i može ograničavati prikupljanje informacija [53]. Cilj je strukturirati informacije u obliku koji je prihvatljiv za prikupljanje na računalu, a da se pri tome od konstruktora traži što manja potreba za intervencijama.

2.3. Pohranjivanje podataka, informacija i znanja

Primjenom računala danas se podaci, informacije i znanje najčešće prikupljaju i pohranjuju u elektronskom obliku, pri čemu različite računalne aplikacije (softver) omogućuju njihov prikaz 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, digitalne olovke itd.

Računalni sustavi koji se koriste za pohranjivanje neformalnog znanja u literaturi se nazivaju "human-interpretable" sustavi [54]. Takvi su sustavi najčešće integrirani u drugim inženjerskim aplikacijama. Kao primjer su sustavi u obliku mrežnih repozitorija znanja u kojima su informacije i znanje pohranjeni kao skup tekstualnih i HTML datoteka. Znanje koje je pohranjeno u takvim aplikacijama ima računalni prikaz koji je razumljiv samo ljudima.

U slučaju računalnih sustava koji se mogu kontrolirati formalnim znanjem u literaturi se nazivaju "computer-interpretable" sustavi [54]. Kod takvih sustava pohranjeno znanje se može prebaciti u inženjerske sustave (CAD, CAE) te tamo koristiti za kontrolu određenih

konstrukcijskih zadataka. Prikazi znanja u njima su slični onima koji su primijenjeni u ekspertnim sustavima³⁴. Klasificirani su obzirom na probleme koje podržavaju [54]:

- Generativni sustavi³⁵, kreiraju geometriju ili druge formalizme na temelju specifikacije ulaznih podataka, pravila i ograničenja.
- Savjetodavni sustavi³⁶, vrednuju konstruirane komponente ili sklopove.
- Inovativni sustavi³⁷, koji generiraju strukture tako što realiziraju prethodno zadane funkcije.

2.4. Ponovna upotreba podataka, informacija i znanja

Transfer konstrukcijskih odnosno inženjerskih podataka, informacija i znanja ljudima i računalnim aplikacijama u drugom kontekstu naziva se ponovna upotreba podataka, informacija i znanja³⁸ [56]. U razvoju proizvoda se ponovna upotreba podataka, informacija i znanja uglavnom primjenjuje:

- Za ocjenjivanje mjerljivih količina, kvalitete ili izvedbi [57].
- Za razmjenu podataka između različitih računalnih sustava [58].
- Za ocjenjivanje procesa razvoja proizvoda [59].
- Za donošenje inženjerskih odluka [14].

Ukoliko se osigura cjelovitost i potpunost informacije, ona se može iskoristiti za ponovnu upotrebu. U slučaju kada se informacije ponovno koriste za vrednovanje prethodnih inženjerskih odluka, osim cjelovitosti i potpunosti informacije, potrebno je prikupiti dodatne informacije vezane uz alternative donesenih odluka kao što su objašnjenja i različiti argumenti koji su vodili do krajnjih odluka.

Ponovna upotreba podataka, informacija i znanja omogućava konstruktorima koji se konstrukcijskom timu priključuju u kasnijim fazama procesa konstruiranja pristup razmišljanjima i zaključcima (o određenim konstrukcijskim problemima) onih konstruktora

³⁴ Ekspertni sustav (sustav temeljen na znanju) je softver koji se može usporediti (u nekim slučajevima i biti bolji) s učinkom ljudskih eksperata u rješavanju usko definiranih zadataka [55].

³⁵ Generativni sustavi (eng. Generative systems).

³⁶ Savjetodavni sustavi (eng. Advisory systems).

³⁷ Inovativni sustavi (eng. Innovative systems).

³⁸ U engleskom govornom području ponovna upotreba konstrukcijskih podataka, informacija i znanja može se poistovjetiti s pojmom *Design reuse*.

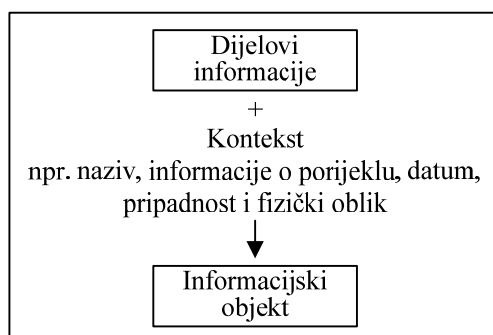
koji su u projekt uključeni ranije. Takva asinkrona komunikacija s dužom vremenskom zadržkom može omogućiti suradnju između različitih generacija konstruktora na sličnim projektima [60]. Kako bi se podržala takva komunikacija nužno je osigurati arhivu (spremnik) koja funkcionira kao memorija grupe. Proces upravljanja znanjem (prikupljanje, pohranjivanje i ponovna upotreba podataka, informacija i znanja) u inženjerskom procesu prikazan je u tablici [Tablica 2.2].

Tablica 2.2. Prikupljanje, pohranjivanje i ponovna upotreba podataka, informacija i znanja [14]

| | Primjena | Opseg | Obrada | Prihvat | Pohrana |
|--|---|--|--|--|--|
| Formalna informacija | | | | | |
| | Tekstualna (strukturirana) Slikovna (strukturirana) Verbalna (opisna) | Opisivanje Donošenje odluka Izmjera kvalitete ili kvantitete Distribucija | Traži jasno definiran subjekt i predikat za svaki element znanja Višestruki elementi mogu biti potrebni za predstavljanje konteksta i prave namjere, kao i da spriječe nejasnoće | Standardni ulazno/izlazni uređaji: miš tipkovnica mikrofon skener kamera tablet | Standardne baze podataka Mark-up jezici |
| Neformalna informacija | | | | | |
| Pamćenje Tekstualna (nestrukturirana) Slikovna (nestrukturirana) Verbalna (konverzacijska) Izražajna | 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 | Specifične baze podataka Arhive podataka Biblioteke Standardi |
| Razina znanja (procesi i elementi) | | | | | |
| Općenit princip | Nepoznate situacije Samousmjerene Usmjerene izvana | 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 | Sustavi podrške za konkretne slučajeve |
| Općenito znanje | Nepoznate situacije Samousmjerene Usmjerene izvana | Zahtijeva široko meta-znanje za sve situacije i domene Vanjski izvor meta-znanja za određenu domenu | | | Baze znanja i sustavi za upravljanje znanjem |
| Specifično znanje | Poznate situacije Samousmjerene Usmjerene izvana | Zahtijeva ograničeno metaznanje o specifičnim situacijama i domenama Vanjsko metaznanje za sve domene | | | Vlasnički jezici za definiciju znanja |
| Usko profilirano znanje | Specifične situacije Samousmjerene Usmjerene izvana | Ne zahtijeva meta-znanje o primjeni, premda je poželjno znanje o ograničenjima Ograničena uporaba vanjskoga znanja | | | Sustavi za podršku pri odlučivanju |

2.5. Informacijski objekti

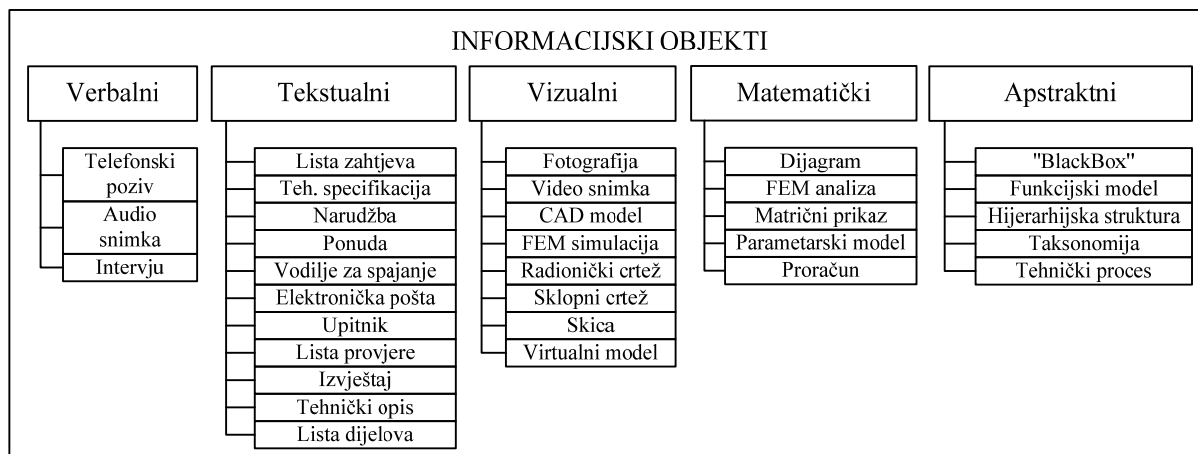
U posljednje se vrijeme u različitim disciplinama koje se bave upravljanjem informacijama uvodi pojam "informacijski objekt" kako bi ljudi stekli osjećaj da upravljaju s nečim opipljivim odnosno stvarnim [61].



Slika 2.8. Informacijski objekt [62]

Informacijski objekt se razmatra kao skup u neku svrhu povezanih informacija i kontekstualnih informacija kao što su naziv, porijeklo informacije, datum, pripadnost i fizički oblik [Slika 2.8], [62]. Takav skup informacija služi za prepoznavanje vrste informacija i načina na koji se može protumačiti. Može se reći da je informacijski objekt digitalna ili fizička stvar – ili grupa takvih stvari – neovisna o pojavi koja nosi sadržaj informacija, a odnosi se na cjelinu ili je obrađena kao cjelina.

U procesu razvoja proizvoda sudionici svakodnevno razmjenjuju informacije odnosno informacijske objekte koji se mogu klasificirati u pet klasa [Slika 2.9].



Slika 2.9. Klasifikacija informacijskih objekata u razvoju proizvoda [62]

Informacijski objekti u procesu razvoja proizvoda su dinamične prirode što znači da postoje brojne faze u njihovom životnom ciklusu kao što su [63]: (1) Nastanak i/ili primitak; (2) Raspodjela unutar i/ili izvan organizacije; (3) Upotreba; (4) Održavanje; i (5) Pohranjivanje i promjena mjesta pohrane. Dinamična priroda je svakako jedno bitno svojstvo informacijskih objekata za prikupljanje znanja u procesu konstruiranja, stoga je u ovom radu tome posvećena osobita pozornost.

2.6. Taksonomija

Taksonomija je znanost o zakonima i načelima razvrstavanja. Izvorno se pojam taksonomije odnosio na klasifikaciju živih organizama no danas je njegova upotreba mnogo šira odnosno općenitija, a odnosi se na:

- Taksonomije struktura.
- Taksonomije koje podržavaju automatsko indeksiranje.
- Taksonomije kreirane automatskom kategorizacijom.
- Korporativne taksonomije.

Uzroci razvoja taksonomija mogu se naći u problemima koji su se javili kod pretraživanja velikih baza podataka, te kod dijeljenja informacija zbog nepostojanja jedinstvene terminologije kako unutar tako i izvan organizacija [48].

Obzirom da je težište rada predložiti metodu prikupljanja konstrukcijskog znanja, ali i pretraživanja prikupljenog znanja za ponovnu upotrebu, potrebno je razviti prikladnu metodu indeksiranja istog. Taksonomije su hijerarhijski organizirane što znači da se pojmovi mogu razmjestiti i prikazati u obliku klasa i podklasa koje se mogu iskoristiti za indeksiranje. Pri tome se mogu izdvojiti dvije glavne prednosti postojanja strukture indeksiranja:

1. Pomoć konstruktorima u fokusiranju njihovih upita pretraživanjem indeksne strukture.
2. Izbjegavanje poteškoća koje proizlaze iz toga što mehanizam pretraživanja ne razumije sadržaj upita.

2.7. Struktura znanja u procesu konstruiranja

Kod rješavanja konstrukcijskih problema tijekom procesa konstruiranja jedan od najvažnijih čimbenika je prikupljanje i obrada informacija i znanja³⁹. Pri tome je konstruktoru vrlo bitno da relevantne informacije i znanje dobije u pravo vrijeme kako bi mogao donijeti ispravne odluke u rješavanju problema. Prema tome, znanje igra značajnu ulogu u procesu konstruiranja i može se klasificirati: prema subjektu na koji se znanje odnosi, njegovoj dubini, na koji način je izvedeno, itd.. U nastavku su navedene neke od klasifikacija [64]:

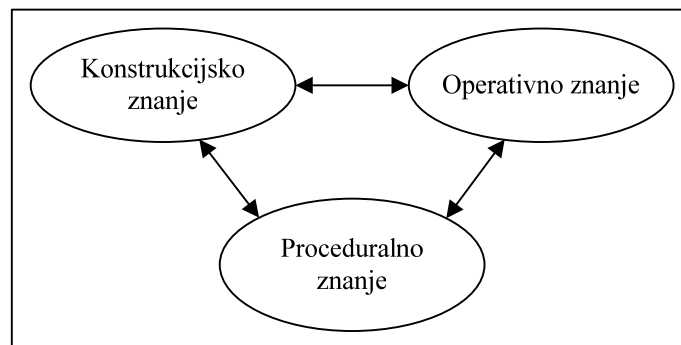
³⁹ Definicije podataka, informacija i znanja detaljno su prikazane u poglavlju 2.1.

- **Znanje područja** – može se opisati kao predmet interesa unutar određenog konteksta. Znanje u području strojarstva se prikuplja kroz istraživanja i iskustva unutar određenih domena u kojima konstruktori rade.
- **Prešutno, implicitno i eksplicitno znanje** – Prešutno znanje je ono koje je teško ili nemoguće izreći (artikulirati), a koristi se u aktivnostima koje se temelje na posjedovanju određenih vještina. Subjektivno shvaćanje, intuicija i predosjećaj također ulaze u klasu prešutnog znanja. Znanje koje je artikulirano i zapisano u nekom opipljivom obliku svrstava se u eksplicitno znanje. Jedan od primjera eksplicitnog znanja su smjernice za konstrukcijsko oblikovanje dijelova proizvoda. Između prešutnog i eksplicitnog znanja nalazi se implicitno znanje koje je moguće artikulirati, ali nije zapisano. Velika količina znanja u strojarstvu spada u implicitno znanje, npr. znanje na osnovu kojeg se donosi odluka o promjeni određene dimenzije na komponenti proizvoda u slučaju kada razlog za takvom promjenom nije eksplicitno određen (npr. odluka koja se ne temelji na provedenom proračunu, istraživanju tržišta, itd.).
- **Proceduralno i deklarativno znanje** – proceduralno znanje govori o tome kako poduzeti specifične akcije, odnosno kako treba napredovati u određenim dobro specificiranim situacijama. U deklarativno znanje spadaju činjenice o objektima, događajima i njihovim relacijama, te o stanjima promatranih sustava.
- **Aktivno i skriveno znanje** – aktivno znanje je primijenjeno, za razliku od skrivenog znanja koje se nalazi negdje u pozadini. Objekti od navedenih klasa znanja mogu se razmatrati kao prešutno, implicitno ili eksplicitno znanje. Tako na primjer, znanje o tome kako se tražena funkcija ostvaruje u konstrukciji određene komponente proizvoda je eksplicitno aktivno znanje. Dok je znanje o izboru određene alternative rješenja implicitno ili prešutno skriveno znanje (kriteriji i argumenti izbora nisu eksplicitno definirani).
- **Statičko i dinamičko znanje** – većina znanja vezanog uz razvoj proizvoda je dinamičke prirode što znači da je podložno brzim promjenama, za razliku, npr. od znanja o određenim fizikalnim zakonima koje je statičke prirode. To znači da statičko znanje prikupljeno određenim metodama i alatima ima malu

ili nema potrebu za dopunama i izmjenama, dok je dinamičko znanje potrebno redovito dopunjavati i mijenjati.

- **Površno i duboko znanje** – površno znanje je znanje bez temeljitih objašnjenja, što je moguće vidjeti iz primjera konstrukcijskog oblikovanja zupčanika od polimera: "Zupčanik zahtjeva veliku točnost dimenzija, oblika i položaja, stoga ga treba izvesti bez rebara." Duboko znanje sadrži objašnjenja temeljena na teoretskim osnovama područja, na primjer: "*Prilikom hlađenja polimernih dijelova rebra se hlade brže što stvara unutrašnje napetosti koje mogu dovesti do deformacija. Zupčanik od polimera zahtjeva veliku točnost dimenzija, oblika i položaja, stoga ga treba izvesti bez rebara.*"

Većina prikazanih klasifikacija međusobno se preklapaju i mogu se gledati kao podkategorija znanja u području. Prema ulozi u sustavu prikupljanja, pretraživanja i ponovnog korištenja znanja pri konstrukcijskom oblikovanju proizvoda, znanje se može podijeliti u tri kategorije [Slika 2.10], [65]. Konstrukcijsko znanje sadrži informacije relevantne za proces konstruiranja, a ovisno o strukturi i obliku zapisa može se podijeliti na: (1) znanje o strukturi i geometriji proizvoda; (2) znanje o dokumentima u procesu konstruiranja (standardi, norme, upute, preporuke, itd.) i (3) znanje o pozadini konstrukcijskih odluka.



Slika 2.10. Struktura znanja u procesu konstruiranja [65]

Operativno znanje u procesu konstruiranja sadrži informacije o mjestu i vremenu nastanka ili korištenja konstrukcijskog znanja, zatim o njegovim autorima i korisnicima, te o organizaciji u kojoj se znanjem upravlja. Operativno znanje također sadrži i informacije o načinu uporabe i pretraživanja, te o načinu izmjene i brisanja postojećih zapisa znanja. Proceduralno znanje sadrži informacije o mjestu pohrane, načinu pristupa pojedinim datotekama neophodnim za inicijalizaciju ili ispravan rad sustava za upravljanje i manipulaciju konstrukcijskim znanjem.

Ujedno sadrži sve neophodne postupke i mehanizme za pohranu, promjenu i uporabu konstrukcijskog i operativnog znanja.

2.8. Logika konstruiranja – *Design rationale*

Bez obzira što se konstruiranje⁴⁰ kao pojam intenzivno koristi u različitim disciplinama shvaćanje pojma nije jedinstveno. Prema Burgeu proces konstruiranja se sastoji od skupa koraka ili aktivnosti koje je potrebno poduzeti kako bi se ostvarila svrha konstrukcije [66]. U tom procesu konstruktori donose odluke iza kojih stoje različiti razlozi i argumentacija (ekonomski, tehnološki, vremenski, iskustveni, ...).

2.8.1. Definicija *Design rationale*

U literaturi koja opisuje spoznajne procese konstruktora, načine razmišljanja, ali i prikupljanje i obradu informacija pojam "Design rationale" označuje "smisao konstruiranja" ili "logiku konstruiranja". Pri tome je shvaćanje i tretiranje pojma po sadržaju i opsegu vrlo različito. Na jednoj strani autori pojmom "Design rationale" podrazumijevaju "cjelokupni proces promišljanja" ili "spoznaje" konstrukcijskog procesa. Na drugoj strani, pojam opisuje pojedine logičke segmente procesa odnosno rasuđivanja tijekom pojedinih, manje ili više segmentiranih aktivnosti konstruktora. U literaturi se mogu pronaći različite definicije pojma *Design rationale* (DR):

- "DR izražava elemente zaključivanja koji se nalaze u pozadini konstrukcije artefakta" [67].
- "DR predstavlja razloge i argumente koji vode do konačne odluke o načinu na koji je ostvarena svrha konstrukcije"; "Svrha konstrukcije je ispunjenje očekivanog ponašanja objekta konstruiranja kako bi se zadovoljila zahtijevana funkcija." [68].
- "DR su zaključci u procesu konstruiranja koji objašnjavaju, izvode i opravdavaju konstrukcijske odluke" [69].
- "DR predstavlja informacije koje objašnjavaju zašto je artefakt strukturiran na način na koji je strukturiran i zašto se ponaša na način na koji se ponaša" [70].

⁴⁰ Neke od definicija već su spomenute u poglavlju 1.1.

- "DR ne uključuje samo razloge u pozadini konstrukcijskih odluka već i opravdanje za njih, razmatrane alternative, vrednovane kompromise, i argumente koji vode do odluke" [71].

I dok ostale definicije imaju svoju vrijednost, definicija koju je predložio Lee jasno prikazuje sadržaj pojma DR-a [71]. Informacije koje se skrivaju iza navedenog pojma imaju višestruku svrhu:

- Provjera odabranog konstrukcijskog rješenja proizvoda (eng. design verification) – cilj je koristiti DR u svrhu provjere zadovoljenja zahtjeva i svojstava za koje je konstruktor smatrao da objekt konstruiranja mora ispuniti (eng. designer's intent). Ova provjera može se pojaviti u bilo kojem trenutku u procesu konstruiranja.
- Vrednovanje konstrukcije proizvoda (eng. design evaluation) – DR se koristi u svrhu međusobnog vrednovanja varijanata konstrukcija (i njihovih komponenata).
- Održavanje konstrukcije proizvoda (eng. design maintenance) – DR se koristi kako bi se odredila ona mjesta na kojima se javljaju konstrukcijski problemi ili mjesta na kojima je potrebno napraviti određene preinake kako bi se promijenila konstrukcija proizvoda. Praćenjem alternativa koje su odbijene u prijašnjoj konstrukciji, konstruktor može izbjeći pogreške u novoj konstrukciji.
- Ponovno korištenje konstrukcijskih rješenja (eng. design reuse) – DR se koristi za određivanje onih konstrukcijskih rješenja koja se mogu ponovno iskoristiti, a u nekim slučajevima predložiti/sugerirati određene promjene da bi zadovoljili novi skup zahtjeva. Naročito je važno omogućiti da konstruktor sazna razloge ranije donesenih odluka. U nekim slučajevima bez postojanja DR-a, koji ukazuje na loša rješenja, konstrukcija proizvoda se može promijeniti na način da postane štetna ili opasna.
- Učenje (eng. design teaching) – DR se također koristi kao pomoć kod pripreme novog osoblja za rad u definiranom procesu konstruiranja. Pored toga što daje uvid u način na koji se radi, DR pokazuje i razloge konstrukcijskih odluka. Na taj način nudi se više informacija od uobičajenog

tehničkog opisa. Neki DR sustavi daju korisniku mogućnost da postavlja pitanja o konstrukciji, što je često brži i jednostavniji način učenja o konstrukciji proizvoda od pregledavanja velike količine konstrukcijske dokumentacije. Računalna podrška kod učenja je od iznimne važnosti kada nisu dostupni ljudi (konstruktori) koji su sudjelovali u razvoju proizvoda.

- Komunikacija (eng. design communication) – postojanje DR-a unapređuje konstrukciju tijekom i nakon procesa konstruiranja. Prikupljanjem informacija o konstrukcijskim rješenjima i razlozima odabira pojedinih alternativa rješenja one postaju dostupne svima koji su u doticaju s konstrukcijom. Na taj način i ostali zaposlenici koji imaju pravo pristupa informacijama o razvoju proizvoda mogu dati svoj doprinos u procesu konstruiranja [69]. DR također osigurava učinkovit način za otkrivanje konflikata u timskom radu, te utječe na skraćanje ciklusa izvještavanja [72].
- Konstrukcijska podrška (eng. design assistance) – DR također može osigurati aktivnu podršku u procesu konstruiranja. Mogućnost potvrđivanja i vrednovanja odabranih konstrukcijskih rješenja omogućava da konstruktor pregleda rezultate svojih konstrukcijskih odluka.
- Konstrukcijska dokumentacija (eng. design documentation) – DR također pomaže u dokumentiranju konstrukcije proizvoda tako što nudi potpunu sliku o povijesti konstrukcije i razlozima odabranih konstrukcijskih rješenja. Ukoliko je DR pohranjen u računalu razumljivom obliku, ono se može iskoristiti u izradi dokumentacije promatrajući konstrukciju s različitih gledišta (konstrukcije, tehnologije, ekonomije, ekologije, itd.). Neki sustavi koriste DR kako bi generirali dokumentaciju koja je namijenjena različitim grupama ljudi, npr. kupac može zahtijevati dokumentaciju koja je na različitoj razini prikaza od dokumentacije koju može zahtijevati konstruktor.

2.8.2. Struktura *Design rationale*

U prethodnom dijelu ovog poglavlja pobliže je objašnjeno značenje pojma, te osnovna svrha prikupljanja informacija koje čine strukturu DR-a. U literaturi se navode tri osnovne razine prema kojima je takve informacije moguće strukturirati [71]:

1. Razina namjere koji sadrži strategije, ciljeve i zahtjeve koji upravljaju odlukama u procesu konstruiranja (eng. design intent layer)
2. Razina odluke koji sadrži detaljni opis odluka u procesu konstruiranja, a obuhvaća razloge odabira pojedinih konstrukcijskih rješenja (eng. design decision layer).
Sastoji se od pet podrazina:
 - Problem (eng. issue) – problemi i njihove međusobne veze/relacije (stvara/ostvaruje, ovisi o, zamjenjuje/nadomješta).
 - Argument (eng. argument) – argumenti koji se nalaze u pozadini odluka i njihove međusobne veze/relacije (podržava, pobija, kvalificira).
 - Alternativa (eng. alternative) – varijante i njihove međusobne veze/relacije (komponenta od, nekompatibilno, izdvaja/ograničava (eng. specializes)).
 - Vrednovanje (eng. evaluation) – vrednovanje u svrhu rangiranja varijanata.
 - Kriteriji (eng. criteria) – kriteriji i njihove međusobne veze/relacije (međusobno se isključuje, kompromis, izdvaja/ograničava (eng. specializes)).
3. Razina artefakta koji sadrži informacije o objektu konstruiranja odnosno o komponentama i njihovim vezama (eng. design artefact layer)

Obzirom na cilj istraživanja definiran u poglavlju 1.2 i navedenoj strukturi DR-a, informacije koje su predmet istraživanja u disertaciji najvećim dijelom spadaju u razinu odluke.

2.8.3. Sustavi za prikupljanje DR-a

U literaturi se mogu prepoznati dva glavna pristupa razvoja DR sustava: (1) sustavi temeljeni na zapisu procesa⁴¹; i (2) sustavi temeljeni na zapisu značajki⁴² [73]. U početnim fazama proces konstruiranja je izrazito dinamičan i nemoguće je predvidjeti u kojem će smjeru krenuti razvoj proizvoda, stoga je DR većinom opisne prirode s naglaskom na povijest procesa konstruiranja. Za razliku od početnih, detaljiranje je faza u kojoj je proces konstruiranja ograničen pravilima i znanjem u specifičnoj domeni, stoga je DR većinom orijentiran značajkama kao što su funkcije, osobine, konstrukcija, proizvodnja ili primjena. Proces prikupljanja DR-a općenito se sastoji od dva koraka [73]:

⁴¹ Temeljeni na zapisu procesa (eng. process-oriented)

⁴² Temeljeni na zapisu značajki (eng. feature-oriented)

1. Zapisivanje informacija – prikupljanje neobrađenih informacija tijekom procesa konstruiranja.
2. Izgradnja DR-a (eng. design rationale construction) – povezivanje prikupljenih informacija prema unaprijed definiranoj shemi prikaza DR-a.

Pri tome se kod predloženih DR sustava, ovisno o uključenosti korisnika u proces, prikupljanje provodi kao [15]:

1. Automatsko prikupljanje – sustavi kod kojih je postupak prikupljanja više ili manje automatiziran.
2. Prikupljanje temeljeno na intervenciji korisnika – sustavi kod kojih je potrebna angažiranost konstruktora tijekom zapisivanja informacija i znanja.

Način na koji se prikupljaju informacije predstavlja glavni problem kod kreiranja DR sustava. Idealni DR sustav bi trebao biti nenametljiv. Ovo svojstvo je poželjno iz razloga što zapisivanje DR konstruktorima ne oduzima samo vrijeme već ih može ometati tijekom rješavanja konstrukcijskih zadataka. Postoji nekoliko metoda na koji je moguće prikupljati DR:

- DR se može prikupljati tako što konstruktori⁴³ naknadno rekonstruiraju provedene aktivnosti i dovedu ih u vezu s objektom konstruiranja (proizvodom). Ovakav pristup ne ometa konstruktore za vrijeme rješavanja konstrukcijskih zadataka i problema, no glavni nedostatak je u tome što se na taj način dio DR-a može tijekom zapisivanja previdjeti.
- Kada konstruktori slijede propisanu metodologiju rješavanja konstrukcijskih zadataka, tada se DR prikuplja kao nusprodukt procesa konstruiranja. Ovaj način prikupljanja je primjenjiv u razvoju proizvoda u kojem se konstrukcijski zadaci ponavljaju.
- Kada je riječ o varijantnim proizvodima čija se geometrija i/ili struktura može parametrizirati, tada je moguće DR prikupiti i ugraditi u sustav. Takav će sustav asistirati konstruktoru kod definiranja nove varijante proizvoda. Sve

⁴³ U razvoj proizvoda su osim konstruktora uključeni i drugi sudionici, no obzirom da je tema istraživanja vezana uz upravljanje znanjem pri konstrukcijskom oblikovanju, u tekstu disertacije su konstruktori glavni subjekti.

dok konstruktor poštuje ugrađena pravila, sustav pohranjuje DR o novom proizvodu.

- Kada se zapisuje povijest razvoja nekog proizvoda, osoba ili računalo prikuplja informacije o poduzetim akcijama. Pri tome se zapisuju samo rezultati odluka o rješenjima konstrukcijskih problema, ali ne i razlozi koji su u pozadini tih odluka. Može se reći da su informacije koje opisuju povijest razvoja proizvoda samo podskup informacija koje opisuju DR.
- Prikupljanje informacija koje opisuju razloge iz pozadine konstrukcijskih odluka o izboru ponuđenih alternativa rješenja problema moguće je provesti zapisivanjem dijaloga između sudionika razvoja proizvoda. Pri tome su informacije koje predstavljaju sadržaj dijaloga strukturirane na razinu odluke (problem, alternativa, argument, kriteriji, vrednovanje).

Sustavi za prikupljanje DR-a opisani u znanstvenoj literaturi međusobno se razlikuju prema sljedećim karakteristikama [Tablica 2.3]: (1) Sadržaj DR-a (2) Primjena sustava; (3) Struktura informacija koje se prikupljaju; (4) Vrste informacija koje se prikupljaju; (5) Metoda prikupljanja; (6) Kako se inicira prikupljanje; (7) Domena za koju je sustav primjenjiv ili za koju je razvijen; (8) Vrsta proizvoda; (9) Faza procesa konstruiranja; (10) Broj konstruktora koji mogu sudjelovati u prikupljanju DR; (11) Vrsta zapisa.

Istraživanja vezana uz DR aktivno se provode od 1970. godine kada je predložen informacijski sustav za prikupljanje DR-a temeljen na zapisivanju pitanja/problema, stajališta i argumenata poznat pod nazivom IBIS [74]. Od 1970. do 1999. razvijena su još tri glavna jezika PHI, QOC i DRL čije se osnove mogu naći većini predloženih DR sustava.

IBIS⁴⁴ – Informacijski sustav temeljen na pitanjima/problemima

U svom začetku IBIS je bio namijenjen kao informacijski sustav za podršku u procesima rješavanja složenih problema s kojima su suočene državne agencije odnosno administracija.

Model su razvili Kunz i Rittel 1970., a sastoji se od tri komponente:

1. Pitanja/problemi (eng. Issues) = konstrukcijska pitanja
2. Stajališta (eng. Positions) = odgovori na konstrukcijska pitanja
3. Argumenti (eng. Arguments) = argumenti koji podržavaju ili pobijaju stajališta

⁴⁴ IBIS (eng. Issue-Based Information System)

Tablica 2.3. Karakteristike sustava za prikupljanje DR

| Karakteristike | | AIDEMS | PTT | DRCS | ADD | RDA | gIBIS, iIBIS | JANUS | DRIM | HOS | PHIDAS | M-LAP | DME | SIBYL | COMPENDIUM | DRed | Ciljane karakteristike | |
|---|----------------------------|--------|-----|------|-----|-----|--------------|-------|------|-----|--------|-------|-----|-------|------------|------|------------------------|---|
| Sadržaj DR | Argumentacija | | | + | | | + | + | + | + | + | | | + | + | + | + | |
| | Povijest | | + | | | + | | | | | | + | | | | | + | |
| | Proces | + | | + | | | | | | | | | | | | | | |
| | Dokumenti | | | | + | | | | | | | + | + | | + | + | + | |
| Primjena sustava | Dokumentiranje | + | + | + | + | + | + | | | + | + | | + | | + | + | + | |
| | Simuliranje | + | | | + | | | + | | | | | + | + | | | | |
| | Provjera ograničenja | | | | + | | | + | + | | | | | + | | | | |
| | Održavanje | | | | | + | + | | | + | + | | + | | | | | |
| Struktura informacija koje se prikupljaju | Aktivna podrška | | | | | | | | | | | + | | | | | | |
| | Razina namjere | + | + | + | + | + | | + | + | + | + | | + | | | + | + | |
| | Razina odluke | | | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | |
| Vrste informacija koje se prikupljaju | Razina artefakta | + | | + | + | + | | + | + | + | + | | + | + | | | + | |
| | Formalne | + | | + | + | + | | | | | | + | + | + | | | | |
| | Poluformalne | | | + | | | + | + | + | + | + | | | | + | + | + | |
| Metoda prikupljanja | Neformalne | | + | | | | | | | | | | | | | | + | |
| | Rekonstrukcija | | + | | | + | | | | + | + | | | | | | | |
| | Metodološki nusproizvod | + | + | | | | | | | | | | + | | | | | |
| | Asistent | | | | + | | | | + | | | + | | | | | | |
| | Povijest razvoja proizvoda | | | | | | | | | + | + | | | | | | | |
| | Dijalog | | | | | | + | | | | | | | | | + | + | + |
| Prikupljanje inicirano | Ništa od navedenog | | | + | | | | + | | | | | | + | | | | |
| | Od strane korisnika | + | + | + | | + | + | | | + | + | | + | | + | + | + | |
| Domena primjene | Od strane sustava | | | | + | | | | + | + | + | + | | | | | | |
| | Strojtarstvo | | | | | | | | | | | | | | | + | + | + |
| | Proizvodnja | | + | | | | | | | | | | | | | | | |
| | HVAC | | | | + | | | | | | | | | | | | | |
| | Elektrotehnika | | | | | + | | | | | | | | | | | | |
| | Elektrostrojarstvo | | | | | | | | | | | | + | | | | | |
| | Izrada namještaja | | | | | | | + | | | | | | | | | | |
| | Građevinarstvo | | | | | | | | + | | | | | | | | | |
| Vrsta proizvoda | Grafički dizajn | | | | | | | | | | + | | | | | | | |
| | Općenito | + | | + | | | + | | | + | | + | | + | | | | |
| | Konfigurabilni | + | | | | | | + | + | | | | | | | | | |
| | Svi | | + | | | | + | | | + | + | + | + | | + | + | + | |
| Faza procesa konstruiranja | Parametarski | | | | + | | | | | | | | | | | | | |
| | Ništa od navedenog | | | + | | + | | | | | | | | + | | | | |
| | Sve | + | + | + | | | + | | + | + | + | + | + | | + | + | + | |
| | Priprema za razvoj | | | | + | | | | | | | | | | | | | |
| | Detaljanje | | | | | + | | | | | | | | | | | | |
| | Implementacija | | | | | + | | | | | | | | | | | | |
| Broj konstruktora | Konstrukcija | | | | | | | + | | | | | | | | | | |
| | Nepoznato | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Vrsta zapisa | Jedan | + | | | + | + | | + | | | | | | | | | | |
| | Više | | + | + | | | + | | + | + | + | + | + | + | + | + | + | |
| | Vlastiti model | + | + | + | + | + | | | | | | + | + | | + | + | + | |
| | IBIS | | | | | | + | + | | | | | | | + | + | + | |
| | PHI | | | | | | | + | | | + | | | | | | | |
| | DRIM | | | | | | | | + | | | | | | | | | |
| Vrsta zapisa | Argumentacija | | | | | | | | | + | | | | | | | | |
| | DRL | | | | | | | | | | | | + | + | | | | |

IBIS prikuplja ljudsko rasuđivanje te je iskorišten kao temelj za brojne druge modele koji opisuju prikupljanje DR-a. Uspješno se koristi u brojnim aplikacijama u arhitekturi, urbanističkom planiranju gradova. Ubrzo su pokrenuta istraživanja DR-a u različitim disciplinama među koje spada i proces konstruiranja u području strojarstva.

PHI⁴⁵ – proceduralna hijerarhija pitanja/problema

Nastao je kao proširenje IBIS modela u smislu dodavanja novih veza između problema (problem – podproblem) koji se razmatraju [75].

1. Problemi
2. Stajališta
3. Argumenti

DRL⁴⁶ – Jezik za prikaz odlučivanja

Jezik je kreiran za prikazivanje aktivnih procesa donošenja odluka [76]. DRL je implementiran u sustavu pod nazivom SIBYL. Glavne komponente predloženog jezika su:

1. Problemi (eng. Issue): predstavlja problem koji dopušta/prihvaća alternative
2. Alternative (eng. Alternative): predstavlja opcije/mogućnosti koje su uzete u obzir (razmatrane opcije)
3. Cilj (eng. Goal): predstavlja željenu osobinu koja se koristi za usporedbu alternativa rješenja, a može se sastojati od više podciljeva

QOC⁴⁷ – pitanja, opcije, kriteriji

Jezik prikazuje rasuđivanje u procesu konstruiranja kao mrežu pitanja koja osvjetljavaju ključne konstrukcijske probleme. Opcije prikazuju alternative rješenja za konstrukcijske probleme, a kriteriji prikazuju razloge za/protiv prihvaćanja različitih alternativa rješenja odnosno opcija. Glavne komponente predloženog jezika su:

- Pitanja (eng. Questions) = konstrukcijska pitanja
- Opcije (eng. Options) = različiti odgovori na konstrukcijska pitanja
- Kriteriji (eng. Criteria) = pružaju mogućnost mjerenja različitih opcija

⁴⁵ PHI (eng. Procedural Hierarchy of Issues)

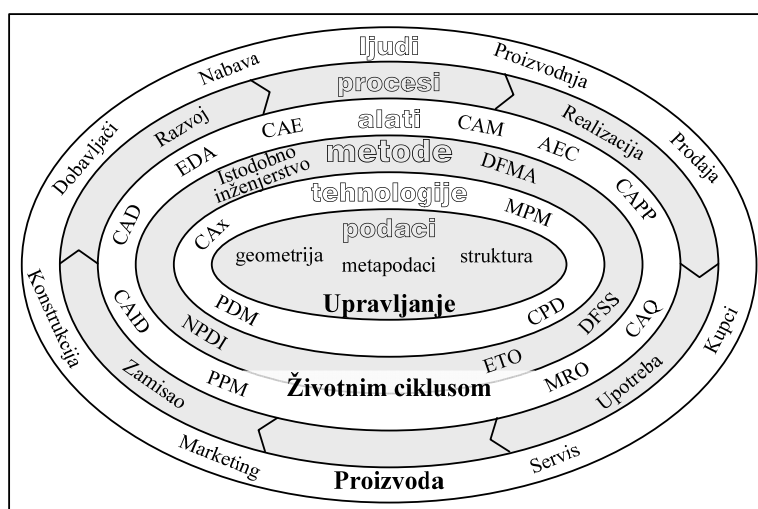
⁴⁶ DRL (eng. Decision Representation Language)

⁴⁷ QOC (eng. Questions, Options, Criteria)

2.9. Upravljanje životnim ciklusom proizvoda

Proizvod u svom životnom ciklusu prolazi mnoge faze, od početne ideje preko konstrukcijske razrade, proizvodnje, izbacivanja proizvoda na tržište te njegovog korištenja sve do reciklaže i odlaganja [Slika 2.11]. Za svaku od navedenih faza potrebno je pružiti kvalitetnu podršku koja će osigurati produktivnost, profitabilnost i kvalitetno odlučivanje.

Obzirom da se javljaju različite promjene vezane uz potrebe potrošača, društvo i ekologiju, tvrtke koje žele održati inovativne prednosti te na tržištu ostvarivati dobit, moraju unaprjeđivati upravljanje životnim ciklusom proizvoda.



Slika 2.11. Upravljanje životnim ciklusom proizvoda (PLM)⁴⁸

Upravljanje životnim ciklusom proizvoda je sveobuhvatan pristup u razvoju novih proizvoda i upravljanju informacijama o proizvodu od početne ideje do njegovog zbrinjavanja.

2.9.1. Sustavi za upravljanje životnim ciklusom proizvoda

Sustav za upravljanje životnim ciklusom proizvoda je tehnologija koja u upravljanje životnim ciklusom proizvoda integrira ljude, podatke, procese i poslovne sustave te na taj način predstavlja oslonac poslovanja mnogih današnjih tvrtki. Mehanizmi koje posjeduju postojeći PLM sustavi omogućavaju korisnicima održavanje i upravljanje bilo kojom informacijom koja je povezana s njihovim proizvodima kroz sve faze u životnom ciklusu.

Obzirom na rezultate istraživanja drugih autora koji su vezani uz prikupljanje, naknadno pretraživanje i pronalaženja zapsanog DR-a, što je detaljnije obrađeno u poglavlju 2.8, autor

⁴⁸ eng. Product Lifecycle Management (PLM).

ove disertacije smatra da se predloženi model prikupljanja znanja⁴⁹ može ugraditi kao dio budućih PLM sustava. Navedena tvrdnja temeljena je na sljedećim razlozima:

- Uz pretpostavku da je u tvrtki implementiran PLM sustav, ugradnjom dodatnih elemenata neće se bitnije promijeniti način rada konstruktora koji sudjeluju u razvoju proizvoda.
- Postojeći mehanizmi za upravljanje dokumentima i radnim procesima unutar PLM sustava mogu se iskoristiti u svrhu proširenja s elementima za prikupljanje i ponovno korištenje (DR) znanja.
- Postojeći PLM sustavi podržavaju upravljanje informacijama kroz sve faze životnog ciklusa proizvoda što je jedna od bitnih značajki potrebnih za prikupljanje znanja o kojem se govori u ovoj disertaciji.
- Radna okolina PLM sustava osigurava informacijsku tehnologiju koja omogućava složena pretraživanja i analize. Znanje koje se prikupi rješavanjem jednog konstrukcijskog problema može se iskoristiti u rješavanju budućih problema u sljedećem razvojnom ciklusu.

2.10. Implikacije na rad

Ovim poglavljem definirano je područje istraživanja, objašnjeni su osnovni pojmovi podatka, informacije i znanja vezanih uz područje istraživanja. Razjašnjeni su osnovni modeli rasuđivanja, te što su to informacijski objekti, taksonomija, itd. Navedeni zaključci u prethodnim poglavljima potvrđuju potrebu za istraživanjem prikazanim u ovoj disertaciji. U prilog tvrdnji ide način na koji konstruktori dolaze do informacija i znanja da bi riješili konstrukcijske probleme. Kako se komunikacija između konstruktora najčešće obavlja licem u lice, izmijenjene informacije tijekom razgovora spadaju u neformalne odnosno nestrukturirane [Slika 2.2]. Stoga, ukoliko ih konstruktor ne zapiše (strukturirano i u određenom kontekstu) vrlo je vjerojatno da će one tijekom vremena "nestati" i na taj način postati nedostupne za buduću upotrebu. Na temelju navedenog, istraživanje prikazano u disertaciji usmjereno je prema razvoju modela za prikupljanje i pretraživanje objašnjenja i argumenata koji nastaju tijekom procesa rješavanja konstrukcijskih problema.

⁴⁹ Predloženi model prikupljanja znanja detaljno je obrađen u 6. poglavlju.

TEORETSKE OSNOVE ISTRAŽIVANJA

Ovo poglavlje sadrži teoretske osnove istraživanja. Na početku je definirana znanost o konstruiranju, pripadajuće metodologije i teorije. Zatim su prikazane teoretske osnove modeliranja proizvoda i procesa razvoja proizvoda. U nastavku je ukratko opisana teorija tehničkih sustava.

3.1. Znanost o konstruiranju

Sve veći zahtjevi za boljom kvalitetom uz niže cijene s jedne i skraćanjem vremena razvoja i izrade proizvoda s druge strane, potaknulo je ubrzani razvoj istraživanja procesa konstruiranja kao samostalne znanstvene discipline. Zadatak znanosti o konstruiranju je istraživanje zakonitosti u djelatnosti konstruktora, s posebnim osvrtom na razvoj propisa, postupaka i metoda koji omogućavaju rješavanje konstrukcijskih problema. Istraživanja o procesu, teorijama i metodologijama konstruiranja imaju zadatak da pronađu odgovore na sljedeća pitanja [77]:

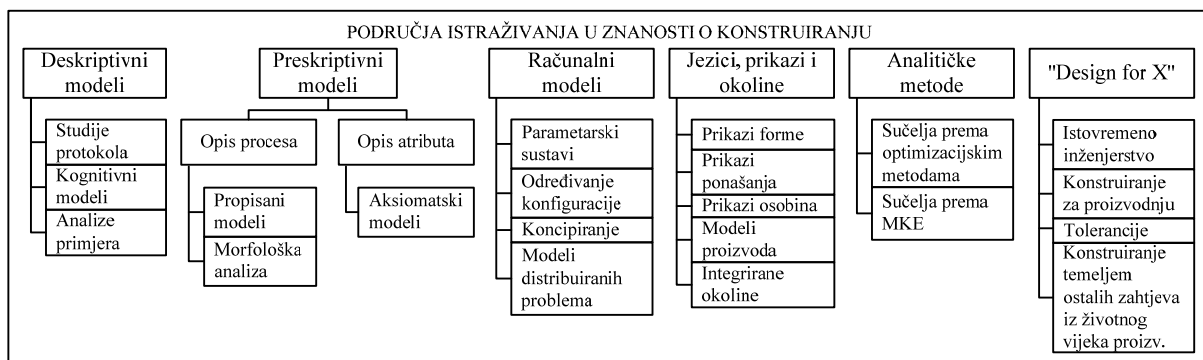
- Što je proces konstruiranja?
- Kako se odvija proces konstruiranja?
- Na koji način se kreiraju i ocjenjuju konstrukcijska rješenja?
- Na koji način se zahtjevi na konstrukciju transformiraju u fizički oblik?

- Na koji način konstruktori pretražuju i proučavaju konstrukcijska rješenja?
- Kako se treba održavati povijest nastanka konstrukcije?
- Na koji način se treba prikazati tijek procesa konstruiranja?

Obzirom da je ova grana znanosti relativno nova (otprilike 60 godina) još ne postoje zajednički usuglašeni stavovi među istraživačima o prikladnim metodologijama i prioritnim smjerovima istraživanja. Takvom stanju doprinosi i izrazita kompleksnost procesa konstruiranja gdje postoje brojni čimbenici koji utječu na istraživanja u ovoj znanstvenoj disciplini [22].

Čimbenici koji uključuju organizaciju, sudionike, računalne alate, proizvode, kupce itd., predstavljaju zasebne istraživačke discipline u koje se mogu svrstati ekonomija, sociologija, inženjerstvo, informatologija itd. Svaka od navedenih disciplina ima svoj pristup istraživanju, što dovodi do nedoumica u odabiru znanstvenog pristupa i metodologija na području znanosti o konstruiranju.

U literaturi se može naći široki spektar radova koji opisuju teorije i modele konstruiranja. Od svih autora posebno se mogu izdvojiti Hubka i Eder [78] koji su među prvima pokušali odgovoriti na pitanje temeljnih postavki znanosti o konstruiranju. U svojem radu oni su uz kronološki razvoj prikazali i detaljnu sistematizaciju znanosti o konstruiranju, promatrajući je s različitih gledišta. Klasifikaciju pravaca istraživanja u znanosti o konstruiranju obuhvaća šest glavnih područja [Slika 3.1], [79]. Pri tome istraživanje može obuhvaćati samo jedno, ali i međusobnu kombinaciju više područja.



Slika 3.1. Taksonomija područja istraživanja u znanosti o konstruiranju [79]

Istraživanje prikazano u ovoj disertaciji zahtjeva od istraživača da promatranjem konstruktora u praksi prikupi informacije o načinu njihova rada i rješavanja konstrukcijskih problema kako

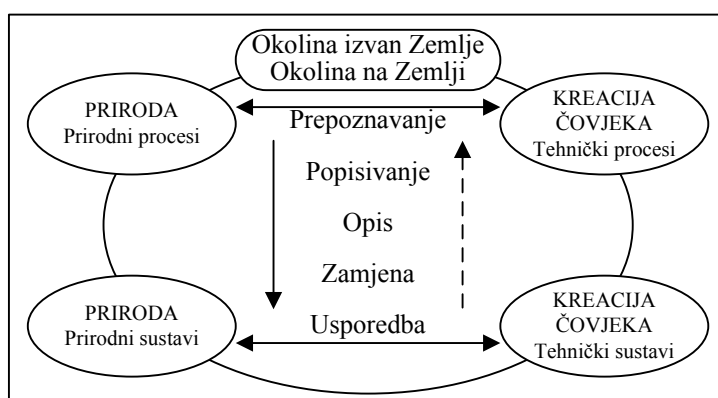
bi se postavili temelji za metodu prikupljanja informacija i znanja za potrebe budućih projekata. Takva vrsta istraživanja odgovara drugoj i trećoj kategoriji istraživanja prema [80]:

- Istraživanje u konstruiranju i razvoju proizvoda, koje se provodi raznim vrstama promatranja.
- Istraživanje za konstruiranje i razvoj proizvoda, koje se provodi kreiranjem metoda, modela i računalnih alata za potrebe razvoja i konstrukcije.
- Istraživanje kroz konstruiranje i razvoj proizvoda, koje se provodi na temelju zaključivanja iz samopromatranja, hipotetiziranja i testiranja.

Razvoj računalne metode i alata za prikupljanje informacija i znanja u procesu konstruiranja adaptibilnih proizvoda zahtjeva poznavanje teorija u području razvoja proizvoda što je prikazano u narednim poglavljima.

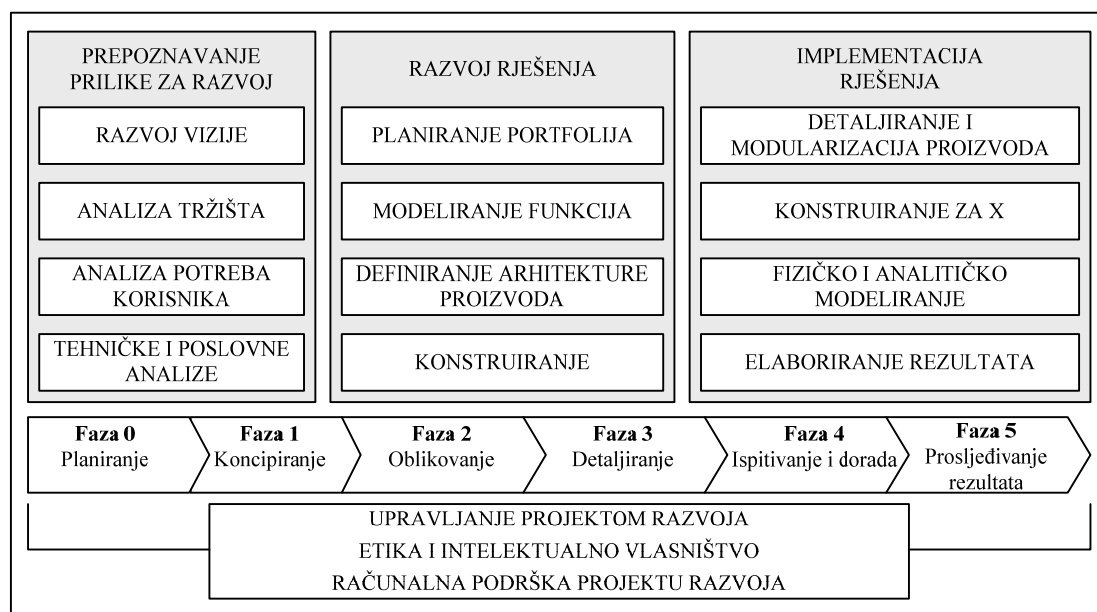
3.2. Teoretske osnove procesa razvoja proizvoda

Razvoj proizvoda je integracija svih značajki iz životnoga ciklusa proizvoda s ciljem "izbacivanja" novih proizvoda na tržište. Organizacija, upravljanje i alati samo su dio čimbenika koji djeluju na procese razvoja novih proizvoda. Kako bi riješili vlastite tehničke probleme, ljudi se oslanjaju na principe i metode koje priroda redovito koristi u oblikovanju živih bića i okoliša u kojem žive sa svrhom optimiranja bioloških mehanizama i struktura [Slika 3.2], [81].



Slika 3.2. Veza između stvaralaštva prirode i čovjeka [81]

Pri tome obuhvaća različite aktivnosti od planiranja odnosno prepoznavanja prilike za razvoj, preko koncipiranja i oblikovanja odnosno razvoja rješenja do detaljiranja i ispitivanja odnosno implementacije rješenja [Slika 3.3].



Slika 3.3. Proces razvoja proizvoda [82], [83]

Najveći dio istraživanja na ovom području vezan je uz definiranje modela proizvoda i procesa konstruiranja kao središnje faze razvoja [21].

3.3. Teoretske osnove procesa konstruiranja

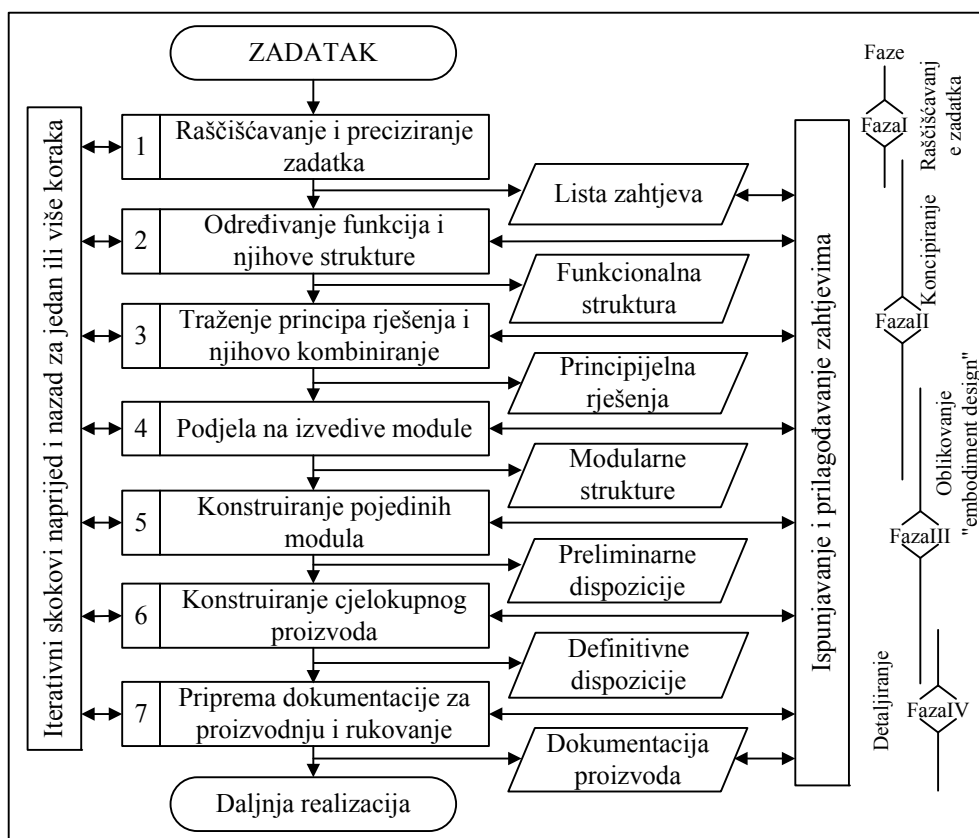
Od kada se u znanstvenim krugovima sustavno istražuje i proučava fenomen konstruiranja kao kreativna ljudska djelatnost, u literaturi se proces konstruiranja opisuje brojnim modelima i teorijama. U ovom poglavlju dan je pregled (po mišljenju autora) najznačajnijih modela i teorija relevantnih za sustavno istraživanje u ovom radu.

3.3.1. Proceduralni model procesa konstruiranja prema VDI 2221

Kao podrška sustavnom metodičkom pristupu konstruiranju objavljen je općeniti proceduralni model konstruiranja u obliku "preporuka"⁵⁰ [84].

Proces konstruiranja prema VDI 2221 provodi se iterativno kroz nekoliko glavnih koraka od apstraktne razine koja je vezana uz raščišćavanje zadatka do detaljiranja konkretnog rješenja konstrukcije. Pristup procesu konstruiranja, njegovi koraci i faze mogu se vidjeti na slici [Slika 3.4]. Pri tome je nemoguće kruto odrediti granice između pojedinih faza, a redoslijed faza ovisi o vrsti konstrukcijskog zadatka.

⁵⁰ Preporuka (eng. guideline).



Slika 3.4. Faze procesa konstruiranja [84]

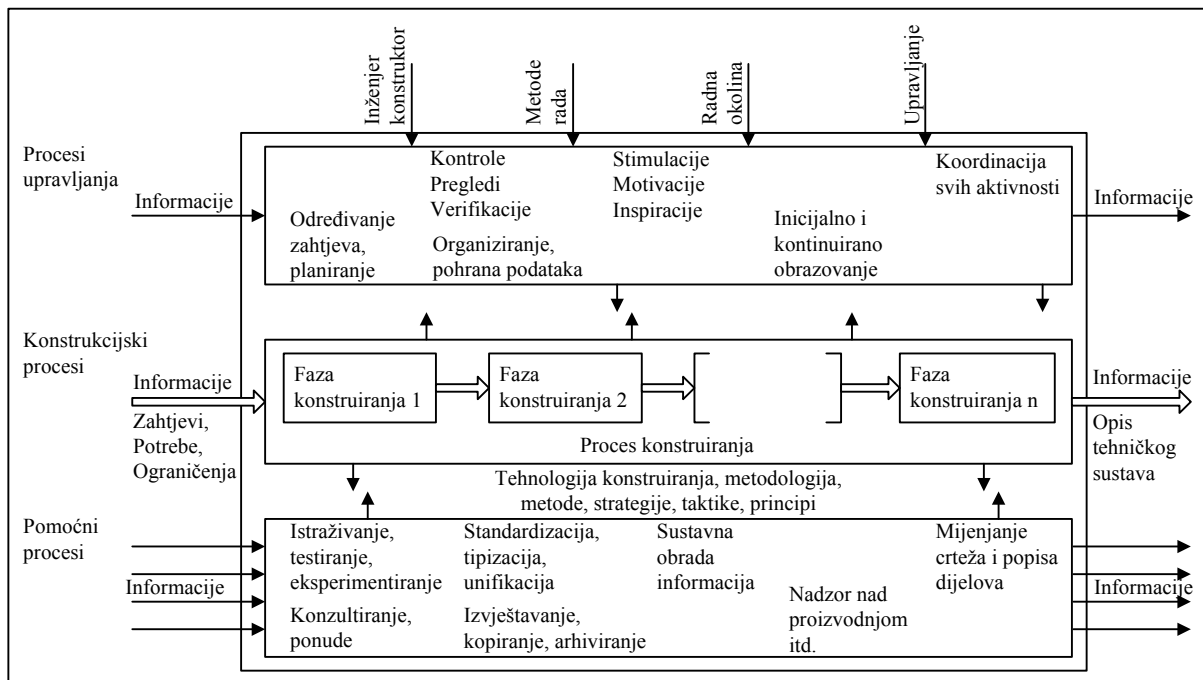
3.3.2. Opći model procesa konstruiranja (Hubka, Eder)

Sustavni pristup procesu konstruiranja naveo je Hubku da 1973. godine predloži opći model konstruiranja [Slika 3.5], [85].

Opći model procesa konstruiranja moguće je tumačiti na sljedeći način:

- Konstruiranje se može promatrati kao proces transformiranja informacija od zahtjeva kupca do potpunog opisa predloženog tehničkog sustava.
- Prikazuje se osnovna struktura procesa konstruiranja zajedno s pomoćnim, kontrolnim i regulacijskim procesima.
- Konstruktori i njihova sredstva za rad izvode akcije (efekte) na skupu informacija (operanada konstrukcijskog procesa).
- Prikazuje se utjecaj različitih čimbenika koji djeluju na proces konstruiranja (metode rada, radna okolina, upravljanje).

Razvojem općeg modela konstruiranja autor je tijekom vremena postavio teoriju tehničkih sustava, a unutar nje predložio je i “Opći proceduralni model konstruiranja” [Slika 3.6], [85].



Slika 3.5. Opći model procesa konstruiranja [85]

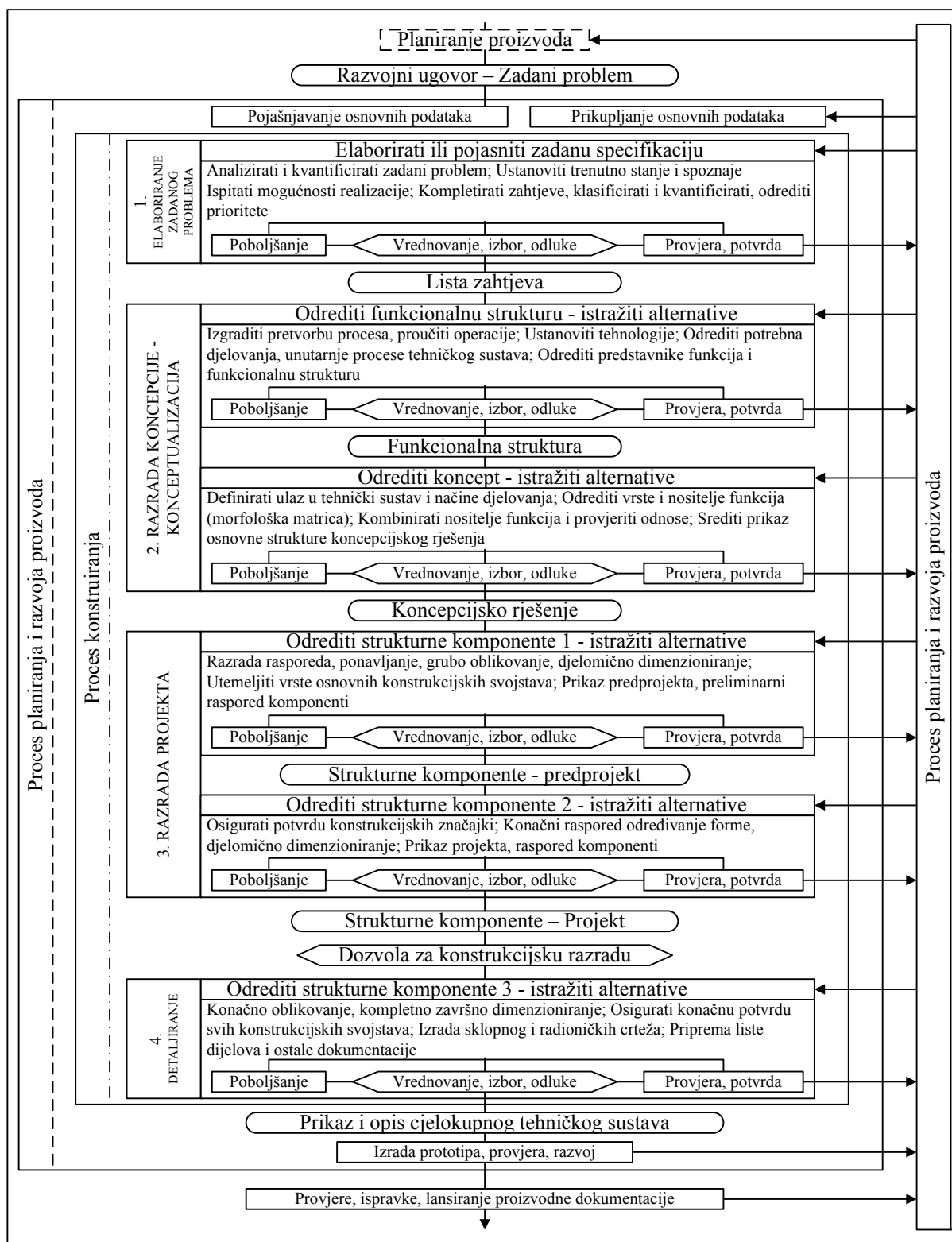
Razvojem tog modela autori su nastojali zadovoljiti sljedeće zahtjeve:

- Struktura procesa konstruiranja treba omogućiti svjesne i pregledne korake u smjeru rješenja.
- Model treba biti neovisan o području primjene, s mogućnošću konkretizacije.
- Preduvjeti modela jasno su specificirani.
- Jasan odnos prema drugim teorijama unutar znanosti o konstruiranju.
- Predloženi koraci trebaju se moći obrazložiti.
- Uzeti u obzir i rezultate drugih modela.
- Model treba biti razumljiv konstruktorima u praksi.
- Model treba biti primjenjiv za različite tehnike konstruiranja, bez obzira na: vrstu proizvoda, vrstu konstrukcijskog zadatka, složenost proizvoda, te organizacijsko ustrojstvo okoline.

Opći proceduralni model konstruiranja dijeli se na četiri glavne cjeline:

1. Elaboriranje odnosno pojašnjavanje zadane specifikacije.
2. Razrada koncepta (izrada funkcionalne strukture te osnovne strukture konstrukcijskog rješenja u obliku koncepta).

3. Pronalaženje rješenja (preliminarno i konačno projektno rješenje).
4. Razrada rješenja i izrada tehničke dokumentacije.

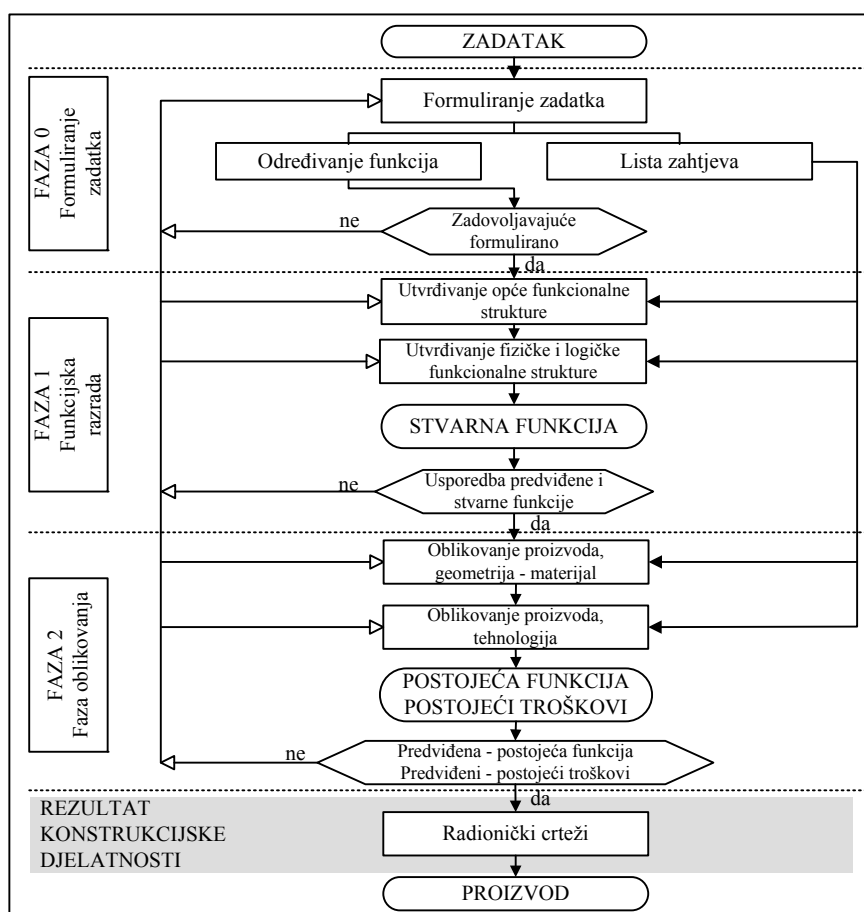


Slika 3.6. Opći proceduralni model procesa konstruiranja [85]

Svaka cjelina modela raščlanjuje se u više faza i provedbenih koraka. Faze se povezuju i odvijaju unutar procesa rekurzije, iteracije, dekompozicije i analize povratnih informacija. Većina pojmova u prikazanoj teoriji je sistematizirana i opisana, stoga je lako razumljiva, edukativna i pregledna. Dio znanstvenika koji se bave problematikom procesa konstruiranja smatra da je osnovni nedostatak što se teorija osniva na fenomenološkom opisu, bez egzaktnog aparata. Ujedno ta karakteristika otežava formalizaciju teorije kao polazišta za razvoj računalnog modela procesa konstruiranja.

3.3.3. Rothova kataloška metoda

Proces konstruiranja prema Rothu sastoji se od nekoliko glavnih faza koje se dijele u više radnih koraka. Zadovoljavajuće rješenje postiže se provođenjem određenog broja iteracija sve dok se ne zadovolje postavljeni zahtjevi na proizvod [Slika 3.7].



Slika 3.7. Faze procesa konstruiranja [86]

Tijekom procesa konstruiranja često se koriste konstrukcijski katalozi koji, najčešće u obliku tablica, sadrže potrebno znanje strukturirano po metodičkim principima u okviru određenog

stručnog područja. Katalozi predstavljaju zbirke poznatih i isprobanih rješenja određenih konstrukcijskih zadataka ili parcijalnih funkcija. U njima je moguće naći raznovrsne informacije različitog stupnja konkretizacije, kao na primjer:

- Fizikalne efekte.
- Principe rješenja.
- Konceptijska rješenja složenih zadataka.
- Strojne dijelove.
- Normirane dijelove.
- Materijale itd.

3.4. Teoretske osnove modeliranja proizvoda

3.4.1. Teorija tehničkih sustava

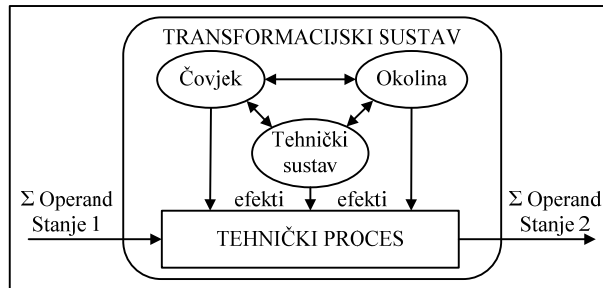
Teorija sustava je jedna interdisciplinarna znanstvena disciplina koja omogućava primjenu metoda i postupaka u analizi, planiranju i izboru optimalnog rješenja složenog sustava. Stoga se u ovoj glavi obrađuju teoretske osnove i postavke sustava na kojima se zasnivaju glavne faze svake razvojne djelatnosti.

Svaki sustav⁵¹ ima svoje granice koje ga odvajaju od okoline u kojoj se nalazi. Preko tih granica sustav prima podražaje na temelju čega isporučuje odgovor. Može se reći da je sustav struktura sastavljena od skupa konstitucijskih elemenata i skupa hijerarhijskih veza između njih [89], [90]. Teorija sustava poslužila je znanstvenicima u definiranju općenite teorije tehničkih sustava [21]. Ona predstavlja sveobuhvatnu teoriju koja leži u pozadini svih današnjih pristupa na području istraživanja tehničkih proizvoda i procesa njihova razvoja [Slika 3.8].

Transformacija operanada (materije, energije, signala) iz ulaznog stanja u stanje na izlazu odvija se uslijed djelovanja različitih efekata (npr. svjetlosti, sile, topline, pomaka itd.) koje isporučuju tehnički sustav, čovjek ili aktivna okolina. Svrha opisane transformacije je u zadovoljavanju širih društvenih potreba. Transformacijski procesi u tehničkom sustavu mogu

⁵¹ Sustav (lat. systēma) je skup međusobno zavisnih realnih ili apstraktnih elemenata koji tvore jednu cjelinu [87]. Sustav je skup međusobno povezanih podsustava namijenjen za izvršavanje specifičnih funkcija. Ponašanje i osobine sustava ne mogu se reducirati na ponašanje i osobine njegovih podsustava [88].

biti razloženi do operacija koje više nije moguće podijeliti. Operacije se mogu odvijati sekvencijalno (serijski) ili simultano (paralelno), a sa svojim različitim vezama oblikuju strukturu procesa. Izlazne operacije (ili grupe operacija) su u isto vrijeme ulazi sljedećih operacija, a materija i energija u procesu transformacije podložni su zakonu o održanju. Potpunost svih operacija, odnosno uspješno transformiranje operanda od početnoga stanja prema konačnom u svakoj od operacija, određuje svrhu transformacijskoga sustava.



Slika 3.8. Opći model transformacije sustava [21]

3.4.2. Teorija svojstava

Teorija svojstava je jedan od najvažnijih dijelova teorije tehničkih sustava iz razloga što je svaki tehnički sustav izgrađen samo zbog određenih korisnih svojstava. U literaturi se razlikuju unutarnja svojstva koja može izravno odrediti konstruktor i vanjska svojstva koja se mogu podijeliti u jedanaest klasa [Slika 3.9], [85].



Slika 3.9. Unutarnja i vanjska svojstva [85]

Svaki tehnički sustav posjeduje sva svojstva bilo da su svjesno ili nesvjesno određena u procesu konstruiranja. Bitno je naglasiti da je u vezama između svojstava skriveno znanje o

kojem ovisi kakvoća unutarnjih konstrukcijskih svojstava na osnovu kojih se oblikuje kakvoća vanjskih svojstava tehničkog sustava odnosno proizvoda.

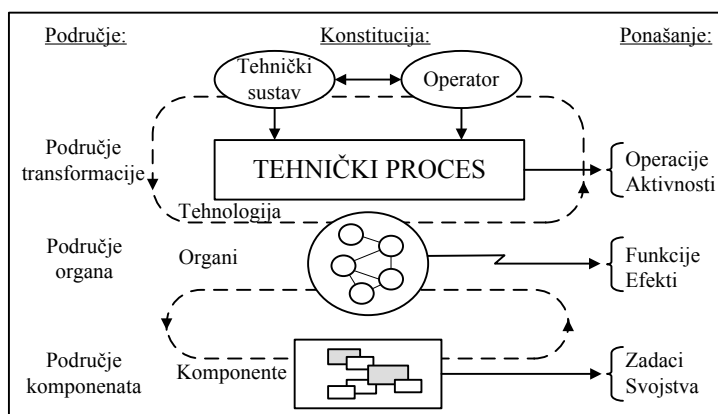
3.4.3. Teorija područja

U teoriji područja proizvod kao tehnički sustav može se promatrati kroz područje transformacije, područje organa i područje fizičkih komponenata [Slika 3.10], [91]. Unutar svakog od tri navedena područja konstrukcija proizvoda se razvija od apstraktnog prema konkretnom, odnosno od općenitog prema detaljnom. U nastavku je prikazan kratak opis svakog od tri navedena područja [Slika 3.10]:

Područje transformacije – međusobnom interakcijom tehničkog sustava i čovjeka isporučuju se nužni efekti za transformaciju operanda sa stanjem na ulazu u operande sa stanjem na izlazu. Koraci u transformaciji nazivaju se operacijama tijekom kojih dolazi do promjene jednog ili više svojstava operanda.

Područje organa – je područje u kojem se modeliraju aktivni elementi tehničkog sustava, tzv. organi. Djelovanje organa temeljeno je na osnovnim fizikalnim i tehničkim načelima. Organ se sastoji od radnih elemenata koji međusobnim djelovanjem stvaraju efekte (npr. vratilo koje prenosi rotaciju i moment). U teoriji područja funkcije tehničkog sustava razmatraju se kao ponašanje organa.

Područje komponenata – je područje s težištem na razmještaju organa u komponente koje se mogu fizički proizvesti i sklopiti. Pri tome svaka komponenta prilikom uporabe rješava svoj dio u ukupnom zadatku tehničkog proizvoda. Struktura područja komponenata sastoji se od nerastavljivih komponenata i sklopova pri čemu svaka komponenta ima oblik, izmjere i hrapavost površine.



Slika 3.10. Teorija područja [91]

3.5. Tok procesa konstruiranja

Iako autori prikazanih teorija i modela različito opisuju proces konstruiranja i međusobna razgraničenja pojedinih faza u procesu, razlike nisu suštinske, već terminološke. Stoga su u nastavku ovog poglavlja ukratko opisane pojedine faze procesa konstruiranja koje se mogu prepoznati u svim prethodno navedenim teoretskim modelima.

Proces konstruiranja može se prikazati kroz četiri glavne faze, od kojih prva obuhvaća raščišćavanje zadatka, zatim dolazi faza izrade konceptata, konstrukcijsko oblikovanje, te kao završna faza detaljiranje.

3.5.1. Raščišćavanje zadatka

Raščišćavanje zadatka predstavlja fazu u kojoj konstruktor u suradnji sa naručiteljem razrađuje kompletnu listu zahtjeva. Razrada uključuje prepoznavanje problema, pronalaženje osnovnih principa iz poznatih tehničkih rješenja, analizu problema, razmatranje mogućnosti realizacije, kompletiranje zahtjeva i postavljanje prioriteta. Završni korak predstavlja izradu liste zahtjeva kao dokument na koji se poziva naručitelj pri primopredaji gotovog proizvoda, ali i konstruktor ukoliko se jave nesuglasice tijekom procesa konstruiranja. Iz tog razloga ovo je vrlo bitna faza u procesu konstruiranja koja daje preduvjet izradi kvalitetnog proizvoda.

3.5.2. Koncipiranje

Koncipiranje predstavlja onaj dio procesa konstruiranja pri kojem se, nakon raščišćavanja svih relevantnih podataka vezanih za postavljanje zadataka, traženjem i pronalaženjem odgovarajućih parcijalnih principa rješenja, utvrđuje načelno rješenje ukupnog tehničkog problema. Alternative se daju kroz nekoliko mogućih varijanata koje zadovoljavaju ukupnu funkciju definiranu listom zahtjeva.

3.5.3. Konstrukcijsko oblikovanje

Konstrukcijsko oblikovanje je onaj dio procesa konstruiranja pri kojem se, nakon raščišćavanja zadatka i koncipiranja, provode potrebne analize i sinteze među varijantama radi izbora funkcionalno i ekonomski najpovoljnijeg rješenja. Provode se proračuni i dimenzioniranje svih kritičnih mjesta jer konstrukcija proizvoda u ovoj fazi mora biti u potpunosti oblikovno definirana. Konstruktor mora ponajprije oblikovati funkcionalno ispravno, zatim mora uzimati u obzir mogućnost izrade proizvoda odnosno njegovih

komponentata, što znači da mora oblikovati i tehnološki ispravno u odnosu na izradu, obradu i montažu. Osim zahtjeva na funkcionalno i tehnološki ispravno konstrukcijsko oblikovanje, moraju biti zadovoljeni i zahtjevi održavanja, posluživanja, pouzdanosti te ekonomski i ekološki zahtjevi. Varijanta s najvišom ocjenom u ovoj fazi se završno oblikuje u mjerilu tako da je u daljnjoj fazi konstrukcijskog procesa moguća neometana izrada tehničke dokumentacije.

3.5.4. Detaljiranje

Detaljiranje predstavlja posljednju fazu procesa konstruiranja, u kojoj se razrađuje tehnička dokumentacija tehnički i ekonomski najpovoljnijeg rješenja. Odnosno crtaju se radionički crteži svih ne standardnih dijelova s važnim detaljima, obradama, tolerancijama, tolerancijama oblika i položaja, napomenama i tehničkim opisom neophodnim za potpunu izradu, kontrolu, montažu i kompletiranje projektiranog proizvoda.

3.6. Karakterizacija prikupljanja informacija u procesu konstruiranja

V. Hubka i W.E. Eder definiraju konstruiranje kao transformaciju zadanog problema u potpuni opis tehničkog sustava⁵² [85]. Kada rješava određeni problem konstruktor si postavlja brojna pitanja, odgovaranjem na njih omogućava se navedena transformacija. Stoga se može zaključiti da je postavljanje pitanja temeljni spoznajni mehanizam tijekom rasuđivanja u procesu konstruiranja te se može tretirati kao proces [92].

U svojoj disertaciji M. Aurisicchio proces postavljanja pitanja tijekom konstruiranja naziva *zahtjev za znanjem* [26]. Glavni cilj njegovog istraživanja je bilo karakterizirati prikupljanje informacija u procesu konstruiranja. Pri tome je prepoznao tri glavne grupe kategorija informacija [Tablica 3.1]: (1) Informacije koje opisuju kontekst u kojem se pojavio zahtjev za znanjem; (2) Informacije koje opisuju sadržaj zahtjeva za znanjem i (3) Informacije koje opisuju način na koji konstruktori traže odgovore.

Promatrajući rad inženjera jednog konstrukcijskog odjela tvrtke Rolls Royce M. Aurisicchio je detaljno proučio grupu kategorija vezanih uz zahtjeve za znanjem te kao rezultat istraživanja predložio dvije sheme kodiranja [Tablica 3.3, Tablica 3.5].

⁵² Detaljnije informacije o tehničkim sustavima nalaze se u poglavlju 3.4.1.

Tablica 3.1. Kategorije informacija vezanih uz zahtjeve za znanjem [26]

| Grupa | Kategorija | Tip kategorije | Objašnjenje | |
|--------------------|--------------------------------------|--|--|---|
| Kontekst | A Veza s projektom | A1 Trenutni projekt | Zahtjev je povezan s trenutnim projektom. | |
| | | A2 Drugi projekt | Zahtjev je povezan s već dovršenim projektom, projektom koji je ispred, paralelno ili iza trenutnog projekta. | |
| | | A3 Neovisno o projektu | Zahtjev je neovisan o projektu. | |
| | B Faza procesa | B1 Planiranje novog projekta | Zahtjev je formiran u prvoj fazi "Derwent" procesa konstruiranja. | |
| | | B2 Definiranje cijelog koncepta | Zahtjev je formiran u drugoj fazi "Derwent" procesa konstruiranja. | |
| | | B3 Realizacija porivnog sustava | Zahtjev je formiran u trećoj fazi "Derwent" procesa konstruiranja. | |
| | | B4 Proizvodnja | Zahtjev je formiran u četvrtoj fazi "Derwent" procesa konstruiranja. | |
| | | B5 Održavanje | Zahtjev je formiran u petoj fazi "Derwent" procesa konstruiranja. | |
| | C Svrha | C1 Prosuđivanje | Namjena zahtjeva je podržati prosuđivanje. | |
| | | C2 Zahtjev za rezoniranjem | Namjena zahtjeva je podržati rezoniranje. | |
| | | C3 Dokumentiranje | Namjena zahtjeva je podržati dokumentiranje. | |
| | | C4 Komunikacija | Namjena zahtjeva je podržati komunikaciju. | |
| C5 Društveno | | Namjena zahtjeva je podržati društvenu interakciju. | | |
| C6 Bez vrijednosti | | Zahtjevu nije pridružena vrijednost. | | |
| Zahtjev za znanjem | D Cilj | D1 Informacija | Zahtjevom se želi pronaći informacija, ali se ne navodi njezina svrha. | |
| | | D2 Potvrđivanje | Zahtjevom se želi ustanoviti istinitost činjenice, okolnosti događaja ili postojanje stanja. | |
| | | D3 Usporedba | Zahtjevom se želi ustanoviti sličnosti i/ili razlike. | |
| | | D4 Konstruktivno stvaranje | Zahtjevom se želi stvoriti/kreirati rješenje: od kreativnih konceptata do detaljnih značajki rješenja. | |
| | | D5 Objašnjavanje | Zahtjevom se želi dati objašnjenje: od objašnjavanja konceptata do detaljnih značajki rješenja. | |
| | | D6 Analiza | Zahtjevom se žele ustanoviti posljedice rješenja provođenjem simulacija i proračuna. | |
| | | D7 Vrednovanje | Zahtjevom se želi ustanoviti: (1) je li rješenje zadovoljavajuće ili nije, a u slučaju da je zadovoljavajuće, stupanj prednosti uspoređujući posljedice s potrebama i ostalim kriterijima; (2) stupanj prednosti između više rješenja relativnom usporedbom. | |
| | E Subjekt | E1 Proizvod | Zahtjev se odnosi na artefakt koji se konstruira te na sve ono što doprinosi njegovom stvaranju. | |
| | | E2 Proces | Zahtjev se odnosi na bilo kakav proces. | |
| | F Proces odziva | F1 Pronalaženje-prepoznavanje | Zahtjev upućuje na traženje ili prepoznavanje odgovora na postavljena pitanja. | |
| | | F2 Rezoniranje | Spoznajni (kognitivni) proces traženja razloga za svoja uvjerenja, zaključke, akcije ili osjećaje. | |
| | | F3 Prosudivanje | Kritički razmišljati o opcijama prije donošenja odluke razmatranjem relevantnih činjenica s različitih točaka gledišta. | |
| | G Vrsta odziva | G1 Bulova vrijednost | Zahtjevom se očekuje odgovor u obliku da/ne; točno/netočno; istina/laž | |
| | | G2 Brojana vrijednost | Zahtjevom se očekuje odgovor u obliku brojčane vrijednosti, npr. dimenzija. | |
| | | G3 Simbol | Zahtjevom se očekuje odgovor u obliku simbola, npr. oznaka materijala. | |
| | | G4 Tekst | Zahtjevom se očekuje odgovor u obliku niza podataka (eng. string) sastavljenog od brojčanih vrijednosti i simbola. | |
| | | G5 Struktura/Oblik | Zahtjevom se očekuje struktura/oblik (značajke, dijela ili sklopa). | |
| | | G6 Raspored/Smještaj | Zahtjevom se očekuje Raspored/Smještaj (raspored/smještaj značajki, dijelova ili sklopa). | |
| | | G7 Izvor/Porijeklo | Zahtjevom se očekuje prepoznavanje izvora, npr. izvještaja, crteža, itd. | |
| | H Smjer rezoniranja | H1 Potrebe tržišta u tehnički opis | Zahtjevom se želi transformirati potrebu tržišta u ponašanje. | |
| | | H2 Ponašanje u ponašanje | Zahtjevom se želi transformirati ponašanje u ponašanje. | |
| | | H3 Ponašanje u oblik | Zahtjevom se želi transformirati ponašanje u oblik. | |
| | | H4 X u oblik | Zahtjevom se želi transformirati X u oblik. | |
| | | H5 Oblik u ponašanje | Zahtjevom se želi transformirati oblik u ponašanje. | |
| | | H6 Oblik u X | Zahtjevom se želi transformirati oblik u X. | |
| | | H7 Bez vrijednosti | Zahtjevom se ne želi izvršiti nikakva transformacija. | |
| | I Tip ponašanja proizvoda/procesa | I1 Zeljeno ponašanje | Opisuje transformaciju iz ili u željeno ponašanje proizvoda. | |
| | | I2 Predviđeno ili postojeće ponašanje | Opisuje predviđenu transformaciju iz oblika. Razmatranjem problema predviđa se potreba za odgovaranjem na zahtjev. Predviđa se transformacija iz oblika. | |
| | | I3 Uočeno ponašanje | Opisuje uočenu transformaciju iz oblika. Uočava se transformacija iz oblika. | |
| | | I4 Procedura | Opisuje proceduru/postupak. | |
| | | I5 Bez vrijednosti | Ne opisuje niti transformaciju niti proceduru. | |
| | Pretraživanje | J Izvor/Porijeklo | J1 Osoba | Sudionik je imao neplanirani kontakt s jednom osobom iz istog ili različitog odjela ili izvana. |
| | | | J2 Sastanak | Sudionik je imao prethodno planirani sastanak s jednom ili više osoba. |
| J3 Izvještaj | | | Sudionik je pretraživao konstrukcijske izvještaje spremljene lokalno ili glavne biblioteke ili bilo koje druge tehničke izvještaje. | |
| J4 Crtež | | | Sudionik je pretraživao lokalno spremljene kopije crteža, elektronske kopije spremljene u PDM/EDM sustavu; ili standardne crteže spremljene na intranetu. | |
| J5 Baza podataka | | | Sudionik je pretraživao informacije iz baza podataka o materijalima, o strukturama, o standardima o licencama/dozvolama. | |
| J6 Knjiga | | | Sudionik je pretraživao standardne zapise u knjigama. | |
| J7 Strojna oprema | | | Sudionik je odlazio u radionicu kako bi proučavao rastavljeni motor. | |
| J8 Bilješke | | | Sudionik je pretraživao vlastite bilješke (uvezane ili na pojedinačnim papirima) | |
| J9 Bez izvora | | | Sudionik je zabilježio zahtjev ali nije identificirao izvor. | |
| K Medij | | K1 Licem u lice | Sudionik je zatražio komunikaciju licem u lice s nekim tko pripada ili ne pripada organizaciji. | |
| | | K2 Telefon | Sudionik je zatražio komunikaciju preko telefona s nekim tko pripada ili ne pripada organizaciji. | |
| | | K3 E-mail | Sudionik je zatražio komunikaciju preko e-maila s nekim tko pripada ili ne pripada organizaciji. | |
| | | K4 Elektronički | Sudionik je pristupio informacijama preko računala. | |
| | | K5 Papir | Sudionik je pristupio informacijama na papiru. | |
| | | K6 Bez medija | Sudionik nije izvjestio o mediju. | |
| L Rezultat | | L1 Da | Sudionik je pronašao informaciju koju je tražio. | |
| | | L2 Djelomično | Sudionik je djelomično pronašao informaciju koju je tražio. | |
| | | L3 Ne | Sudionik nije pronašao informaciju koju je tražio. | |
| | L4 Ne ali drugim putem | Sudionik nije pronašao informaciju koju je tražio, ali ju je našao na drugi način. | | |
| | L5 Otvoreno/U trajanju | Sudionik je formirao zahtjev i počeo je tražiti odgovor, ali pretraživanje nije završeno do kraja promatranja. | | |
| | L6 Nije poduzeto | Sudionik je formirao zahtjev, ali nije tražio odgovor. | | |

Analizom u literaturi predloženih klasifikacija pitanja koja si konstruktori postavljaju tijekom procesa konstruiranja, te analizom prikupljenih podataka tijekom empirijskog istraživanja Aurisicchio je prepoznao glavne kategorije konstrukcijskih pitanja⁵³:

- Cilj – namjera/svrha pitanja.
- Subjekt – interesni proizvod ili proces na koji se pitanje odnosi.
- Proces odziva – spoznajni proces uključen u odgovaranje na pitanje.
- Vrsta odziva – oblik prikaza informacija vezanih uz odgovor na pitanje.
- Definirani smjer rasuđivanja – govori što je na početku poznato, a što se očekuje kao rezultat rasuđivanja.

Prva shema kodiranja temeljena je na šest kategorija u grupi *zahtjev za znanjem* [Tablica 3.1]. Sastavljena je od 30 klasa zahtjeva grupiranih ovisno o procesu odziva [Tablica 3.3]: (1) zahtjevi za znanjem na koje konstruktori odgovaraju pronalaženjem ili prepoznavanjem odgovora u informacijskim objektima; (2) zahtjevi za znanjem na koje konstruktori odgovaraju rasuđivanjem; i (3) zahtjevi za znanjem na koje konstruktori odgovaraju prosuđivanjem/promišljanjem. Analizom prikupljenih zahtjeva za znanjem Aurisicchio je uočio 10 klasa zahtjeva za znanjem na koje konstruktori odgovaraju pronalaženjem ili prepoznavanjem odgovora u informacijskim objektima. Za svih 10 klasa karakteristično je da odgovor na postavljena pitanja ne uključuje ponašanje daljnjeg smjera rasuđivanja, odnosno zahtjevima nije dodijeljena nikakva vrijednost za kategorije *H* i *I*. To se može vidjeti iz primjera [Tablica 3.2] u kojem je konstruktor tražio informaciju o materijalu strojnog dijela u određenom postojećem proizvodu.

Tablica 3.2. Primjer klasifikacije zahtjeva za znanjem na koje konstruktori odgovaraju pronalaženjem ili prepoznavanjem odgovora u informacijskim objektima

| Primjer zahtjeva | Tip kategorije | Opis tipa kategorije |
|--|----------------|---|
| Koji je materijal odabran za taj dio u postojećem proizvodu? | D1 | Cilj: informacija |
| | E1 | Subjekt: proizvod |
| | F1 | Proces odziva: pronalaženje-prepoznavanje |
| | G3 | Vrsta odziva: simbol |
| | H7 | Smjer rasuđivanja: bez vrijednosti |
| | I5 | Vrsta ponašanja: bez vrijednosti |

⁵³ Cilj (eng. objective); subjekt (eng. subject); proces odziva (eng. response process); vrsta odziva (eng. response type); definirani smjer rasuđivanja (eng. defined direction of reasoning).

Tablica 3.3. Prva shema kodiranja [26]

| Naziv koda i klase | | | Naziv koda i klase | | |
|--------------------|----------------------------|--|--------------------|--|--|
| 1 | Pronalaženje-prepoznavanje | D1-E1-F1-G2-H7-I5 Kvantitativne informacije o proizvodu | 16 | Proizvod | D4-E1-F2-G4-H5-I1 Definiranje funkcije proizvoda |
| 2 | | D1-E1-F1-G3-H7-I5 Kvalitativne informacije o proizvodu | 17 | | D5/D6/D7-E1-F2-G5-H3-I1 Generiranje/analiziranje/vrednovanje funkcionalne konfiguracije proizvoda |
| 3 | | D1-E1-F1-G5-H7-I5 Informacije o konfiguraciji proizvoda | 18 | | D5/D6/D7-E1-F2-G5-H3-I3 Generiranje/analiziranje/vrednovanje dijagnoze proizvoda |
| 4 | | D2-E1-F1-G1-H7-I5 Potvrđivanje informacija o proizvodu | 19 | | D5/D6/D7-E1-F2-G4-H5-I1 Generiranje/analiziranje/vrednovanje funkcije proizvoda |
| 5 | | D3-E1-F1-G4-H7-I5 Uspoređivanje informacija o proizvodu | 20 | | D6-E1-F2-G2-H5-I2 Analiziranje funkcionalnog oblika proizvoda |
| 6 | | D1-E2-F1-G2-H7-I5 Kvantitativne informacije o procesu | 21 | | D6-E1-F2-G4-H6-I5 Analiziranje oblika proizvoda prema DfX |
| 7 | | D1-E2-F1-G4-H7-I5 Kvantitativne i kvalitativne informacije o procesu | 22 | | D6/D7-E1-F2-G1-H5-I2 Analiziranje/vrednovanje funkcionalnog oblika proizvoda |
| 8 | | D1-E2-F1-G7-H7-I5 Izvor procesa | 23 | | D6/D7-E1-F2-G1-H6-I5 Analiziranje/vrednovanje oblika proizvoda prema DfX |
| 9 | | D2-E2-F1-G1-H7-I5 Potvrđivanje informacija o procesu | 24 | | D7-E1-F2-G4-H2-I2/I1 Vrednovanje funkcionalnog oblika proizvoda |
| 10 | | D3-E2-F1-G4-H7-I5 Uspoređivanje informacija o procesu | 25 | | D4-E2-F2-G4-H7-I4 Generiranje procesa |
| 11 | Rasudivanje | D4-E1-F2-G4-H2-I1 Generiranje funkcijske dekompozicije proizvoda | 26 | Proces | D5/D6/D7-E2-F2-G4-H7-I4 Generiranje/analiziranje/vrednovanje procesa |
| 12 | | D4-E1-F2-G2-H3-I1 Određivanje dimenzije proizvoda | 27 | | D6/D7-E2-F2-G1-H7-I4 Analiziranje/vrednovanje procesa |
| 13 | | D4-E1-F2-G5-H3-I1 Generiranje funkcionalne konfiguracije proizvoda | 28 | | Proizvod |
| 14 | | D4-E1-F2-G6-H3-I1 Generiranje funkcionalnog izgleda/rasporeda proizvoda | 29 | D6-E1-F3-G4-H7-I5 Analiziranje proizvoda | |
| 15 | | D4-E1-F2-G5-H4-I1 Generiranje konfiguracije proizvoda prema DfX | 30 | D6/D7-E1-F3-G1-H7-I5 Analiziranje/vrednovanje proizvoda | |

Zahtjeve za znanjem na koje konstruktor odgovara rasuđivanjem autor je klasificirao prema 17 klasa. Određeni zahtjevi za znanjem imaju višestruki cilj što se može vidjeti iz primjera [Tablica 3.4]. Na jednoj strani komore određenog proizvoda ne smije se nalaziti ulje, stoga

odgovorom na pitanje konstruktor namjerava objasniti problem te nakon analize i vrednovanja predloženih alternativa odabrati rješenje koje podrazumijeva konstrukciju proizvoda.

Tablica 3.4. Primjer klasifikacije zahtjeva za znanjem na koji se odgovara rasuđivanjem

| Primjer zahtjeva | Tip kategorije | Opis tipa kategorije |
|---|----------------|---|
| Kako odstraniti ulje iz te strane komore? | D5/D6/D7 | Cilj: objašnjavanje/analiza/vrednovanje |
| | E1 | Subjekt: proizvod |
| | F2 | Proces odziva: rasuđivanje |
| | G5 | Vrsta odziva: struktura/oblik |
| | H3 | Smjer rasuđivanja: ponašanje u oblik |
| | I1 | Vrsta ponašanja: s namjerom |

Druga shema kodiranja, sastavljena od 17 klasa, temeljena je na prve tri kategorije u grupi *zahtjev za znanjem* [Tablica 3.5]. Nastala je grupiranjem klasa iz prve sheme kodiranja.

Tablica 3.5. Druga shema kodiranja [26]

| Naziv koda i klase | | | Naziv koda i klase | | |
|--------------------|----------------------------|--|--------------------|--|--|
| 1 | Pronalaženje-prepoznavanje | Proizvod D1-E1-F1 Informacije o proizvodu | 10 | Rasuđivanje | Proizvod D6/D7-E1-F2 Analiza/Vrednovanje proizvoda |
| 2 | | Proizvod D2-E1-F1 Potvrđivanje proizvoda | 11 | | Proizvod D7-E1-F2 Vrednovanje proizvoda |
| 3 | | Proizvod D3-E1-F1 Usporedba proizvoda | 12 | | Proces D4-E2-F2 Konstruktivno stvaranje procesa |
| 4 | | Proces D1-E2-F1 Informacije o procesu | 13 | Proces D5/D6/D7-E2-F2 Pojašnjavanje procesa Stvaranje/Analiza/Vrednovanje | |
| 5 | | Proces D2-E2-F1 Potvrđivanje procesa | 14 | Proces D6/D7-E2-F2 Analiza/Vrednovanje procesa | |
| 6 | | Proces D3-E2-F1 Usporedba procesa | 15 | Proizvod D5/D6/D7-E1-F3 Pojašnjavanje proizvoda Stvaranje/Analiza/Vrednovanje | |
| 7 | Rasuđivanje | Proizvod D4-E1-F2 Konstruktivno stvaranje proizvoda | 16 | Proizvod | D6-E1-F3 Analiza proizvoda |
| 8 | | Proizvod D5/D6/D7-E1-F2 Pojašnjavanje proizvoda Stvaranje/Analiza/Vrednovanje | 17 | | D6/D7-E1-F3 Analiza/Vrednovanje proizvoda |
| 9 | | Proizvod D6-E1-F2 Analiza proizvoda | | | |

Iako ova shema karakterizira zahtjeve za znanjem s manje detalja, autor smatra da je dovoljno dobra i jednostavna za kvantitativnu analizu prikupljenih podataka.

3.7. Implikacije na rad

U ovom poglavlju prikazane su teoretske osnove istraživanja s osvrtnom na znanost o konstruiranju, te (po mišljenju autora) najznačajnijim modelima i teorijama procesa

konstruiranja. Obzirom da je tema disertacije vezana uz konstruiranje proizvoda, koji se u teoriji područja promatraju kao tehnički sustavi, u poglavlju je obrađena i teorija tehničkih sustava, te teorija svojstava kao jedan od njezinih najvažnijih dijelova. Posebna se pozornost posvetila karakterizaciji prikupljanja informacija u procesu konstruiranja iz razloga što su rezultati istraživanja iz znanstvene literature predstavljali osnovu istraživanja prikazanog ovom disertacijom. Navedene spoznaje usmjerile su istraživanje ka proučavanju načina i metoda formalizacije znanja nastalog tijekom procesa rješavanja konstrukcijskih problema, što je prikazano u sljedećim poglavljima.

4

EMPIRIJSKO ISTRAŽIVANJE

U prethodnim poglavljima dan je sažeti prikaz istraživanja u području, te odabranih relevantnih teorija razvijenih unutar znanosti o konstruiranju. U ovom poglavlju prikazano je empirijsko istraživanje uz opise sudionika, primijenjene istraživačke metode, metode analize rezultata i ograničenja istraživanja.

4.1. Svrha empirijskog istraživanja

U radu se pretpostavlja da se odgovaranjem na pitanje "Kako konstruktor konstruira?" posredno odgovara na pitanje "Koje neformalne i poluformalne informacije treba prikupiti i zapisati?" kako bi se u budućnosti konstruktoru olakšalo razumijevanje konstrukcijskih odluka i rješenja koja stoje iza njih. Obzirom da je cilj istraživanja omogućiti zapisivanje objašnjenja i argumenata vezanih uz rješenja konstrukcijskih problema odnosno procesa odlučivanja, svrha empirijskog istraživanja jest upoznavanje istraživača s konstrukcijskim problemima i načinom na koji se oni rješavaju u stvarnom razvojnom projektu. Na taj način prikupljene informacije (proces konstruiranja, komunikacija, ljudi, projekti, alati, dokumenti, konstrukcijski problemi) iskorištene su za odgovaranje na istraživačka pitanja definirana u poglavlju 1.4.1. Osim toga, svrha empirijskog istraživanja je ispitati primjenjivost sheme kodiranja⁵⁴ za potrebe klasifikacije konstrukcijskih pitanja (zahtjeva za znanjem).

⁵⁴ Predložene sheme kodiranja objašnjene su u poglavlju 3.6.

Kao što je objašnjeno u poglavlju 5.3 konstrukcijske probleme konstruktori definiraju u obliku pitanja, stoga je pretpostavljeno da bi se predložene kategorije zahtjeva za znanjem [Tablica 3.1] mogle iskoristiti u svrhu klasificiranja konstrukcijskih problema. Također je pretpostavljeno da se iste kategorije zahtjeva za znanjem mogu iskoristiti tijekom prikupljanja (zapisivanja), ali i tijekom naknadnog pretraživanja već prikupljenih konstrukcijskih problema.

4.2. Okruženje i sudionici empirijskog istraživanja

Istraživanje se provodilo u suradnji s tvrtkom (konstrukcijskim uredom) koja 90% svojih projekata obavlja za jednu od vodećih tvrtki u svijetu u razvoju i proizvodnji strojeva i alata za potrebe šumarstva, poljoprivrede i građevinarstva. Zadaci tvrtke većinom su vezani uz faze oblikovanja i detaljiranja, ali za određene projekte i uz fazu koncipiranja. U vrijeme kada se provodilo istraživanje tvrtka je zapošljavala 6 konstruktora. Voditelj konstrukcijskog ureda, ujedno vlasnik tvrtke, posjeduje visoku razinu stručnosti i znanja o procesu razvoja proizvoda. Obzirom na veliki broj projekata na kojima rade, on je prepoznao potrebu za prikupljanjem i ponovnom upotrebom znanja te je bio spreman surađivati na istraživanju što je predstavljalo dodatnu motivaciju za istraživanje prikazano ovom disertacijom.

Tablica 4.1. Struktura zaposlenika tvrtke

| | Iskusni konstruktori | Neiskusni konstruktori |
|--------------------|----------------------|------------------------|
| Zaposlenici tvrtke | 2 | 4 |

Konstruktori s malo radnog iskustva u tvrtki (manje od 2 godine) su svrstani kao neiskusni konstruktori, dok su oni s preko 8 godina radnog iskustva svrstani kao iskusni konstruktori [Tablica 4.1].

4.3. Metodologija empirijskog istraživanja

Da bi se odgovorilo na navedena istraživačka pitanja, empirijsko istraživanje obuhvaća:

1. Etnografsko istraživanje u procesu konstruiranja
2. Intervjuiranje konstruktora
3. Analizu prikupljenih podataka

4.3.1. Etnografsko istraživanje u procesu konstruiranja

Etnografsko istraživanje je usvojeno u ranoj fazi projekta kako bi se stekao uvid u proces konstruiranja prije no što je određeno težište projekta. Etnometodološki pristup postao je uobičajen u novim istraživanjima procesa konstruiranja [93].

Istraživač je prije etnografskog istraživanja u procesu konstruiranja prošao probnu obuku kao pripremu za aktivni rad na razvojnim projektima tvrtke.

Nakon toga istraživač je otprilike 18 mjeseci aktivno sudjelovao na projektu razvoja uređaja za špricanje i zaprašivanje poljoprivrednih kultura. Konstrukcijski tim tvrtke u projekt je bio uključen u fazama koncipiranja, konstruiranja i detaljiranja sustava za pohranjivanje i doziranje medija prilikom špricanja/zaprašivanja. Tim se sastojao od jednog iskusnog konstruktora, jednog neiskusnog konstruktora i neiskusnog konstruktora vanjskog suradnika (istraživač).

Tijekom rada na projektu istraživač je vodio dnevnik rada gdje je bilježio probleme/zadatke, skice koncepata alternativa rješenja, proračune, odluke, kontakte, i vrijeme koje je utrošio na projekt. Zbog obveza na fakultetu, istraživač je dio vremena proveo radeći u tvrtki, a ostatak na fakultetu. Iz tog razloga su osim rukom pisanih bilješki tijekom projekta bilježeni i svi kontakti putem elektronske pošte (prezentacije, crteži, CAD modeli, skice, ...) koje je istraživač razmjenjivao sa ostalim članovima tima. Dnevnik rada koji je vodio i iskustvo koje je istraživač stekao sudjelovanjem na realnom projektu, predstavljalo je osnovu za početak istraživanja na području unapređenja procesa upravljanja znanjem koje se koristi u fazi oblikovanja konstrukcija.

4.3.1.1. Ograničenja etnografskog istraživanja

Sudjelovanje u razvoju proizvoda na realnom projektu je istraživaču omogućilo da se upozna s načinom na koji konstruktori formiraju konstrukcijske probleme te kako traže odgovore odnosno rješenja za uočene probleme. Obzirom da se ova faza istraživanje provela u samo jednom konstrukcijskom uredu ne može se zaključiti da rezultati analize podataka vrijede i u konstrukcijskim uredima drugih tvrtki. Navedeno ograničenje rezultat je poteškoća u pronalasku zainteresiranih partnera iz industrije za ovom vrstom istraživanja te potrebnog vremena koje bi istraživač trebao provesti u više konstrukcijskih ureda. Pri istraživanjima koja se realiziraju u realnom, industrijskom okruženju, istraživač treba biti uključen u socijalni i

tehnički kontekst kako bi ga ostatak tima mogao upoznati i steći povjerenje [26]. Idealni slučaj jest kada istraživač posjeduje razinu znanja bližu onoj koju posjeduju iskusni konstruktori.

4.3.2. Intervjuiranje konstruktora

Intervjuiranje konstruktora provedeno je nakon što je istraživač završio s aktivnim radom na projektu. Svrha provedenih intervjuova bila je prikupiti njihova viđenja o potrebama i mogućnostima prikupljanja znanja za potrebe budućih projekata, te njihova očekivanja vezana uz rezultate istraživanja. Tijekom razgovora sa konstruktorima uočeno je da su neiskusni konstruktori, za razliku od iskusnih, spremniji "utrošiti" dio radnog vremena za zapisivanje znanja. Kada je iskusnim konstruktorima postavljeno pitanje koliko su vremena spremni odvojiti za zapisivanje znanja, njihov odgovor bio je: "*Vrijeme koje je potrebno da se pritisne jedna do dvije tipke na tipkovnici.*". Očito je da svaki dodatni radni zadatak zaposlenicima nije dobrodošao. U razgovoru s voditeljem konstrukcijskog ureda uočena je spremnost nagrađivanja utrošenog vremena za prikupljanje znanja. Razlog tome je veliki broj odrađenih razvojnih projekata za koje se nakon nekoliko godina javlja potreba za pretraživanjem i razumijevanjem informacija iz tehničke dokumentacije. Vrijeme koje je za to potrebno je značajno, a u većini slučajeva nije moguće shvatiti razloge zbog kojih je proizvod (sklop, komponenta, tehnički proces) izveden na način koji je prikazan u tehničkoj dokumentaciji.

4.3.3. Analiza prikupljenih podataka

Sudjelovanjem u navedenom projektu prikupljeno je 325 stranica bilježaka o:

- Komunikacija – informacije o mediju razmjene informacija između članova u timu i formatu u kojem su informacije razmjenjivane.
- Zadaci – informacije o zadacima koji su zadani istraživaču tijekom razvoja.
- Problemi – informacije o problemima s kojima se istraživač susreo u razvoju.
- Alternative rješenja problema – informacije o ponuđenim alternativama rješenja i argumentima iza donesenih odluka o daljnjem smjeru razvoja.
- Skice – rukom skicirani koncepti, detalji ponuđenih alternativa rješenja.
- Proračuni – vezani uz analize pretpostavljenih pomaka dijelova i rezultati proračuna provedenih na CAD modelima (izračun masa, volumena, ...).

Nakon što je istraživač završio s radom na projektu, od prikupljenih podataka zabilježenih u dnevniku rada, odabrane su bilješke vezane uz razvoj podsklopa ručice za doziranje. Na osnovu tih bilježaka identificirano je 120 zahtjeva za znanjem (pitanja) na koja je istraživač trebao odgovoriti odnosno naći rješenje u pojedinim fazama procesa konstruiranja. Podaci su iskorišteni u svrhu sagledavanja mogućnosti primjene kategorizacije pitanja [26] koja si konstruktor postavlja tijekom rješavanja konstrukcijskih problema.

Kako bi se stekao uvid u vrijeme koje je potrebno da se u rukom pisanim bilješkama identificiraju konstrukcijska pitanja i dovedu u vezu s informacijskim objektima te koracima i akcijama koje je konstruktor (u ovom slučaju istraživač) poduzimao, provedena je detaljna evidencija rada tijekom provedene analize [Tablica 4.2].

Tablica 4.2. Evidencija rada za analizu bilježaka vezanih uz razvoj podsklopa ručice za doziranje

| Faza analize | Broj zahtjeva | Vrijeme rada, min | Prosječno vrijeme rada po zahtjevu, min | Opis |
|---------------------------------------|---------------|-------------------|---|---|
| Identifikacija zahtjeva za znanjem | 120 | 1530 | ~12.8 | Evidencija utrošenog vremena za izvlačenje (prepoznavanje) zahtjeva za znanjem iz rukom pisanih bilježaka |
| Obrada zahtjeva za znanjem | | 1160 | ~9.7 | Evidencija utrošenog vremena za povezivanje zahtjeva za znanjem s informacijskim objektima (CAD modelima, prezentacijama) |
| Grupiranje zahtjeva u korake i akcije | | 220 | ~1.8 | Evidencija utrošenog vremena za grupiranje zahtjeva za znanjem koji pripadaju istom koraku odnosno akciji |
| Ukupno | 120 | 2910 | ~24.3 | Ukupno vrijeme utrošeno za analizu bilježaka |

Navedenom evidencijom rada tijekom analize bilježaka došlo se do zaključaka koji su poslužili u pripremi daljnjeg tijeka istraživanja:

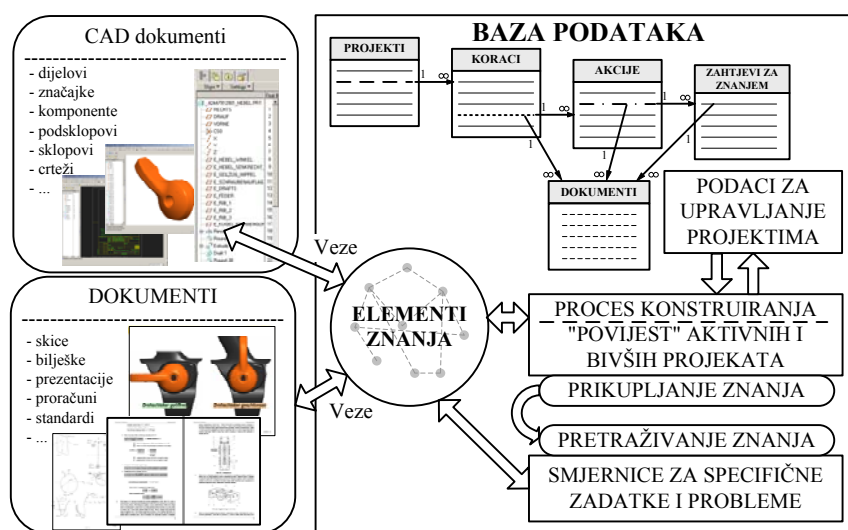
- [I] *Na osnovu vremena potrebnog za analizu bilježaka vezanih uz razvoj jednog podsustava, moguće je procijeniti vrijeme potrebno za analizu bilježaka vezanih uz razvoj ostalih podsustava.*
- [II] *Utrošeno vrijeme za analizu bilježaka jedan je od pokazatelja koliko je vremena potrebno da konstruktor rekonstruira neformalno zapisane informacije vezane uz razvoj proizvoda. Pri tome je važno naglasiti da je u ovom slučaju konstruktor i istraživač jedna osoba, stoga je za pretpostaviti da je potrebno više vremena za analizu bilježaka drugih konstruktora.*

4.4. Kodiranje zahtjeva⁵⁵

Kao sljedeći korak nakon identifikacije zahtjeva iz prikupljenih bilježaka pristupilo se kodiranju zahtjeva prema kategorijama navedenim u poglavlju 3.6 [Tablica 3.1].

4.4.1. Računalni alat za prikupljanje i obradu zahtjeva

Kako bi se olakšalo analiziranje rezultata nakon kodiranja pripremljena je relacijska baza podataka (Microsoft Office Access 2003) s definiranim formama za unos i pretraživanje podataka. Obzirom na zaključak [II] iz prethodnog poglavlja tijekom razvoja baze podataka i radnog sučelja za kodiranje zahtjeva vodilo se računa o ugrađivanju dodatnih funkcionalnosti koje su trebale olakšati daljnje istraživanje. Osim što bi se prikupljeni podaci koristili u svrhu istraživanja time je predviđena mogućnost naknadnog korištenja i za potrebe tvrtke koja surađuje u istraživanju. Iz navedenih razloga predložena metoda za kodiranje zahtjeva je temeljena na pojednostavljenom modelu toka procesa konstruiranja [Slika 4.1].



Slika 4.1. Indeksiranje konstrukcijskog znanja koristeći strukturu relacijske baze podataka

Predviđeno je da se u bazi podataka zapisuju podaci o trenutnim projektima i pohranjuju podaci o bivšim projektima jednog konstrukcijskog ureda. Tok konstrukcijskog procesa za jedan projekt zapisuje se u bazi podataka kao lista koraka, gdje svaki korak sadrži listu akcija koje konstruktori izvršavaju tijekom razvoja proizvoda. Korake i akcije je moguće više puta ponavljati u procesu rješavanja konstrukcijskog zadatka osiguravajući na taj način iterativnu prirodu procesa konstruiranja. Hijerarhija koraka i akcija može se sagledati:

⁵⁵ U nastavku ovog poglavlja zahtjevom se podrazumijeva pojam zahtjev za znanjem (eng. knowledge request).

- Sa stajališta prikupljanja znanja (povijest projekta) zapisivanjem informacija o aktivnim i prethodno završenim konstrukcijskim zadacima.
- Sa stajališta pretraživanja znanja koristeći smjernice u slučajevima kada se ponove slični projekti (razvoj adaptabilnih proizvoda) u budućnosti.

Zapisivanjem informacija o izvršenim koracima i akcijama, te povezivanjem s ostalim dokumentima u procesu konstruiranja zapisuje se znanje koje je dovelo do rješenja konstrukcijskog zadatka [Slika 4.2].

The image displays three overlapping software windows from a knowledge management system. The top-left window, titled 'DODAJ/PROMIJENI KORAKE', shows a table of project steps. The top-right window, 'DOKUMENTI', shows a list of documents. The bottom window, 'ZAHTEJ ZA ZNANJEM', shows a table of knowledge requests. Red circles and green boxes highlight specific data points across the windows, such as 'SPG_2' in the steps table, '2_1' in the actions table, and '19' in the knowledge requests table.

| Korak ID | Korak broj | Naziv koraka | Početak | Završetak | Objašnjenje | Kategorija koraka |
|----------|------------|---|-----------|-----------|--|-------------------|
| SPG_2 | 2 | Prijenos sile između ručice za doziranje i poluge | 30.5.2006 | 7.6.2006 | Analiza prenosa sile između ručice za doziranje i poluge ventila uz omernu žicu za | Akcija |

| ID | Cilj | Zahjev | Izvor informacija | Medij | Rezultat | Komentar | Korak ID | Akcija ID |
|----|---|---|-------------------|------------|--|--|----------|-----------|
| 19 | Predložiti novu alternativu rješenja ručice za doziranje na principu čepaljke | Je li moguće iskoristiti princip okretnog postolja nosača koji se koristi za privat monitora (auto route) na motocičku? | Nema izvora | Bez medija | Početak: 30.5.2006 Završetak: 31.5.2006 (dd/mm/yyyy) | Napravljene su skice (stranice 13-17) u bilježnici | SPG_2 | 2_1 |

Slika 4.2. Forme za upis koraka, akcija, zahtjeva za znanjem i vanjskog dokumenta

Nakon što su baza i forme za upis podataka pripremljene pristupilo se unašanju prikupljenih zahtjeva dovodeći ih u vezu s akcijama, koracima i informacijskim objektima (CAD dokumenti, MS Powerpoint prezentacije, skenirane bilješke i skice, MS Word dokumenti, MS Excel tablice). Povezivanje zahtjeva s informacijskim objektima u kojima se nalaze dodatne informacije o zadatku i rješenju zadatka omogućeno je preko forme *DOKUMENTI* [Slika 4.2].

4.4.2. Eksperiment kodiranja zahtjeva

Kako je svrha prikupljanja znanja njegovo pretraživanje i dohvaćanje za potrebe budućih projekata glavna je ideja da konstruktor prilikom zapisivanja ujedno i kodira (indeksira) informacije o zadacima i problemima koje rješava.

Proučavanjem literature uočena je mogućnost primjene predloženih kategorija informacija i shema kodiranja zahtjeva za znanjem⁵⁶. Predložene sheme kodiranja nastale su promatranjem rada konstruktora jednog konstrukcijskog odjela tvrtke za razvoj zrakoplovnih motora, stoga je bilo potrebno istražiti njihovu primjenjivost u drugoj domeni (razvoj uređaja za špricanje i zaprašivanje poljoprivrednih kultura). Prikupljeni zahtjevi zapisani su u bazu podataka i kodirani koristeći unaprijed pripremljenu formu [Slika 4.3].

Slika 4.3. Forma za unos i kodiranje zahtjeva

Zahtjev je karakteriziran (kodiran) kombinacijom elemenata iz svake grupe kategorija, npr. D2-E1-F1-G5-H7-I5. Proces kodiranja omogućen je odabirom odgovarajućeg skupa kategorija pritiskom lijeve tipke miša na odgovarajući kvadratić za odabir⁵⁷ [Slika 4.3].

Obzirom da u procesu kodiranja za neke zahtjeve nije bilo jednostavno odlučiti s kojim ih kategorijama povezati, kodiranje je provedeno dva puta. Svrha dvostrukog kodiranja bila je testiranje ponovljivosti generiranih kodova. Kako bi se smanjio utjecaj kodiranja provedenog prvi put na proces kodiranja proveden drugi put, drugom kodiranju pristupilo se nakon tjedan dana pri čemu je *KOD1* bio sakriven (isključen iz prikaza na formi). Primjeri zapisanih i kodiranih zahtjeva prikazani su u tablici [Tablica 4.3].

⁵⁶ Detaljne informacije i objašnjenja nalaze se u poglavlju 3.6.

⁵⁷ Kvadratić za odabir (eng. Check box) [94].

Tablica 4.3. Podskup zapisanih i kodiranih zahtjeva

| | Kod | Zahtjev za znanjem |
|-----|----------------------|--|
| 1 | D4-E1-F2-G6-H3-I1 | Gdje smjestiti ručicu u odnosu na uređaj? |
| 2 | D1-E1-F1-G2-H7-I5 | Koje su glavne dimenzije položaja provrta na drški? |
| 3 | D1-E1-F1-G6-H7-I5 | Kako su smještene glavne koordinatne ravnine i osi u odnosu na dršku? |
| 4 | D1-E1-F1-G2-H7-I5 | Koje su postojeće dimenzije provrta za vijke na polovici drške predviđenim za spajanje nosača ručice za doziranje? |
| 5 | D1-E1-F1-G3-H7-I5 | Koji je materijal predviđen za dršku? |
| 6 | D2-E1-F1-G1-H7-I5 | Odgovaraju li dimenzije provrta očitane iz CAD modela onima koje preporuča standard? |
| 7 | D1-E1-F1-G2-H7-I5 | Koliki je promjer glave vijka P6? |
| 8 | D1-E1-F1-G2-H7-I5 | Koliki je promjer upuštenja potreban za glavu vijka P6? |
| 9 | D4-E1-F2-G5-H5-I1 | Kako omogućiti stupnjevano okretanje ručice? |
| 10 | D5-D6-E1-F3-G5-H3-I3 | Na što sve utječe promjena dimenzija opružnog dijela ručice za doziranje? |
| ... | ... | ... |

4.4.3. Rezultati analize kodiranih zahtjeva

Nakon provedenog kodiranja pristupilo se analizi kodiranih zahtjeva. Prije svega napravljena je usporedba generiranih kodova za svaki zahtjev, a zatim usporedba tih kodova sa shemama kodiranja koje je predložio Aurisicchio.

Usporedba kodova je pokazala da se za samo 48 od ukupno 120 zahtjeva (40%) ponovio isti kod. Pri tome se većina od tih 48 kodova (njih 33) odnosila na zahtjeve u kojima nije bio definiran smjer rasuđivanja (kombinacija kategorija H7-I5).

Tablica 4.4. Usporedba ponovljenih kodova s prvom shemom kodiranja

| Različiti kodovi - gledajući prve četiri kategorije (D-E-F-G) | Broj zahtjeva za znanjem | Slaganje s prvom shemom kodiranja | |
|---|--------------------------|-----------------------------------|----|
| D1-E1-F1-G2 | 9 | da | |
| D1-E1-F1-G3 | 4 | | |
| D1-E1-F1-G5 | 2 | | |
| D2-E1-F1-G1 | 1 | | |
| D4-E1-F2-G2 | 5 | | |
| D4-E1-F2-G5 | 36 | | |
| D6-E1-F2-G4 | 1 | | |
| D5-E1-F2-G4 | 1 | | |
| D6-E1-F2-G2 | 7 | | |
| D6-E1-F2-G4 | 1 | | |
| D6-E1-F2-G5 | 4 | | |
| D1-E1-F1-G1 | 1 | | ne |
| D1-E1-F1-G4 | 3 | | |
| D1-E1-F1-G6 | 1 | | |
| D4-E1-F2-G3 | 2 | | |
| D5-D6-D7-E1-F2-G1 | 1 | | |
| D6-D7-E1-F2-G4 | 1 | | |
| D6-E1-F2-G6 | 2 | | |

Obzirom na loš rezultat vezan uz ponovljivost kodova, napravljena je usporedba kodova gledajući ponovljivost kombinacije prve četiri kategorije (D-E-F-G). Tom usporedbom ustanovljena je ponovljivost kodova za 82 od ukupno 120 zahtjeva (68,33%) što je puno bolji rezultat, ali još uvijek nezadovoljavajući. Stoga se pristupilo usporedbi generiranih kodova (prve četiri kategorije D-E-F-G) sa prvom shemom kodiranja⁵⁸ [Tablica 4.4]. Namjera ove usporedbe bila je otkriti razloge zbog kojih je došlo do navedenih razlika. Broj zahtjeva kod kojih se generirani kod poklapao s prvom shemom kodiranja iznosio je 71 od ukupno 82 (86.6%) koji su uzeti u razmatranje (zahtjevi kod kojih su se kodovi poklapali). Također je uočeno da se 7 kodova (generiranih kombinacija kategorija) ne poklapa s onima koje je Aurisicchio predložio u prvoj shemi kodiranja.

Detaljnijom analizom onih zahtjeva kod kojih su se generirani kodovi razlikovali od kodova predloženih u prvoj shemi kodiranja pokazalo se da je prilikom kodiranja nekih zahtjeva došlo do nerazumijevanja što se odgovorom na postavljeno pitanje željelo dobiti kao odgovor. Usporedi li se pitanje 1 koje je generirano za vrijeme konstruiranja i preformulirano pitanje 2, može se zaključiti da je razlog zbog kojeg je pitanje 1 kategorizirano kao shema/izgled (G6) rezultat nespretnog formuliranja pitanja [Tablica 4.5].

Tablica 4.5. Primjer 1 – analiza zahtjeva

| Primjer zahtjeva | | Tip kategorije | Opis tipa kategorije |
|------------------|---|----------------|---|
| 1 | Koji je položaj ručice u odnosu na dršku nakon ispitivanja prototipa? | D1 | Cilj: informacija |
| | | E1 | Subjekt: proizvod |
| | | F1 | Proces odziva: pronalaženje-prepoznavanje |
| | | G6 | Vrsta odziva: shema/izgled |
| 2 | Koji kut zatvara ručica u odnosu na dršku? | D1 | Cilj: informacija |
| | | E1 | Subjekt: proizvod |
| | | F1 | Proces odziva: pronalaženje-prepoznavanje |
| | | G2 | Vrsta odziva: brojčana vrijednost |

Tablica 4.6. Primjer 2 – analiza zahtjeva

| Primjer zahtjeva | | Tip kategorije | Opis tipa kategorije |
|------------------|--|----------------|---|
| 1 | Postoji li primjer ručice koja se koristi za doziranje na konkurentskim proizvodima? | D1 | Cilj: informacija |
| | | E1 | Subjekt: proizvod |
| | | F1 | Proces odziva: pronalaženje-prepoznavanje |
| | | G1 | Vrsta odziva: Bulova vrijednost |

Kod zahtjeva kojemu je dodijeljen KOD: D1-E1-F1-G1 očito je došlo do pogreške tijekom kodiranja, zato što se iz ponuđenog odgovora (Odgovor u bilješkama: da, *ručica za doziranje*

⁵⁸ Prva shema kodiranja prikazana je i objašnjena u poglavlju 3.6.

EFCO) jasno može zaključiti da je vrsta odziva Bulova vrijednost stoga je cilj zahtjeva potvrđivanje, a ne informacija [Tablica 4.6].

Kod primjera zahtjeva kojemu je dodijeljen KOD: D1-E1-F1-G4 ponuđeni odgovor je prikazan u obliku teksta (Odgovor u bilješkama: *ubaciti tablicu General tolerances DIN 16 901.150*) što znači da ovaj KOD (kombinacija kategorija) ima smisla [Tablica 4.7].

Tablica 4.7. Primjer 3 – analiza zahtjeva

| Primjer zahtjeva | | Tip kategorije | Opis tipa kategorije |
|------------------|--|----------------|---|
| 1 | Koji je tablicu tolerancija slobodnih mjera potrebno ubaciti na crtež polimernih dijelova? | D1 | Cilj: informacija |
| | | E1 | Subjekt: proizvod |
| | | F1 | Proces odziva: pronalaženje-prepoznavanje |
| | | G4 | Vrsta odziva: tekst |

Kod primjera zahtjeva kojemu je dodijeljen KOD: D4-E1-F2-G3 ponuđeni odgovor je prikazan u obliku simbola (Odgovor u bilješkama: *Torx vijak P5*). Obzirom da je cilj zahtjeva: *spojiti dijelove ručice i nosača u cjelinu*, od konstruktora se očekivalo da generira konstrukcijsko rješenje. Primjer pokazuje da ovaj KOD (kombinacija kategorija) također ima smisla [Tablica 4.8].

Tablica 4.8. Primjer 4 – analiza zahtjeva

| Primjer zahtjeva | | Tip kategorije | Opis tipa kategorije |
|------------------|--------------------------|----------------|-------------------------------|
| 1 | Koji vijak upotrijebiti? | D4 | Cilj: konstruktivno stvaranje |
| | | E1 | Subjekt: proizvod |
| | | F2 | Proces odziva: rasuđivanje |
| | | G3 | Vrsta odziva: simbol |

Kod primjera zahtjeva kojemu je dodijeljen KOD: D5-D6-D7-E1-F2-G1-H7-I5 ponuđeni odgovor je objašnjenje iza kojega slijedi odluka, a nastao je kao rezultat analize i vrednovanja (Odgovor u bilješkama: *moguće je*). Cilj zahtjeva bio je *primijeniti princip čegrtaljke s nosača koji se koristi za prihvata monitora (auto route) na motociklu*.

Tablica 4.9. Primjer 5 – analiza zahtjeva

| Primjer zahtjeva | | Tip kategorije | Opis tipa kategorije |
|------------------|---|----------------|--|
| 1 | Je li moguće iskoristiti princip okretnog postolja nosača koji se koristi za prihvata monitora (auto route) na motociklu? | D5-D6-D7 | Cilj: objašnjenje, analiza, evaluacija |
| | | E1 | Subjekt: proizvod |
| | | F2 | Proces odziva: rasuđivanje |
| | | G1 | Vrsta odziva: Bulova vrijednost |
| | | H7 | Smjer rasuđivanja: bez vrijednosti |
| | | I5 | Vrsta ponašanja: bez vrijednosti |

Gledanjem proizvoda i razgovaranjem između članova tima došlo se do zaključka da je moguće primijeniti predloženi princip. Pogleda li se KOD 30 (D6-D7-E1-F3-G1-H7-I5) predložen u prvoj shemi kodiranja [Tablica 3.3], može se uočiti da je razlika u cilju i procesu odziva.

Kod primjera zahtjeva kojemu je dodijeljen KOD: D6-D7-E1-F2-G4 ponuđeni odgovor je Bulova vrijednost, a ne tekst kako je u KODu navedeno (Odgovor u bilješkama: *ne, smeta žlijeb na kolu za prihvata žice*). Obzirom da je cilj zahtjeva: *primijeniti postojeći princip čegrtaljke s nosača koji se koristi za prihvata monitora (auto route) na motociklu*, od konstruktora se očekivalo da analizira problem te nakon vrednovanja ponudi odgovor. Može se zaključiti da je očito došlo do pogreške tijekom kodiranja [Tablica 4.10].

Tablica 4.10. Primjer 6 – analiza zahtjeva

| Primjer zahtjeva | | Tip kategorije | Opis tipa kategorije |
|------------------|--|----------------|----------------------------|
| 1 | Mogu li se koristiti tri opružna dijela kao na nosaču za prihvat monitora? | D6-D7 | Cilj: analiza, vrednovanje |
| | | E1 | Subjekt: proizvod |
| | | F2 | Proces odziva: rasuđivanje |
| | | G4 | Vrsta odziva: tekst |

Kod primjera zahtjeva kojemu je dodijeljen KOD: D6-E1-F2-G6 ponuđeni odgovor je objašnjenje, a ne skica kako je u KODu navedeno (Odgovor u bilješkama: *u krajnjim položajima otvoreno 45°/zatvoreno 135°*). Obzirom da je cilj zahtjeva: *analizirati pomicanje žice u žljebovima na ručici i nosaču ručice*, od konstruktora se očekivalo da nakon analize problema ponudi objašnjenje u obliku teksta. Pogleda li se KOD 29 (D6-E1-F3-G4-H7-I5) predložen u prvoj shemi kodiranja [Tablica 3.3], može se uočiti da je razlika u procesu i vrsti odziva. [Tablica 4.11].

Tablica 4.11. Primjer 7 – analiza zahtjeva

| Primjer zahtjeva | | Tip kategorije | Opis tipa kategorije |
|------------------|---|----------------|----------------------------|
| 1 | U kojem položaju ručice se javljaju najveće sile na žicu? | D6 | Cilj: analiza |
| | | E1 | Subjekt: proizvod |
| | | F2 | Proces odziva: rasuđivanje |
| | | G6 | Vrsta odziva: skica |

4.5. Implikacije na rad

U ovom poglavlju prikazano je empirijsko istraživanje u istraživačkom projektu. Također je opisana svrha istraživanja uz opise sudionika, primijenjenih istraživačkih metoda, te su

objašnjeni razlozi zbog kojih se pristupilo razvijanju računalnog alata za prikupljanje i obradu zahtjeva. Predloženi alat iskorišten je u analizi rezultata istraživanja.

Iz razloga što konstruktori definiraju konstrukcijske probleme u obliku pitanja, uočena je mogućnost primjene rezultata istraživanja iz znanstvene literature. Rezultati provedenog eksperimenta kodiranja zahtjeva pokazali su da se u literaturi predložene kategorije zahtjeva mogu iskoristiti. No, nužno ih je dodatno analizirati kako bi se osigurala nedvosmislenost kategoriziranja. Osim istraživanja vezanog uz konstrukcijska pitanja potrebno je istražiti i ostale elemente koji čine konstrukcijska rasuđivanja s fokusom na konstrukcijsko oblikovanje tehničkog proizvoda što je i domena istraživanja prikazanog ovom disertacijom.

ANALIZA KONSTRUKCIJSKOG RASUĐIVANJA

U prethodnom poglavlju opisano je empirijsko istraživanje vezano uz karakterizaciju pitanja koja si konstruktori postavljaju tijekom procesa konstruiranja. U ovom poglavlju prikazana je analiza konstrukcijskog rasuđivanja kroz karakterizaciju informacija koje opisuju probleme, alternative rješenja, argumente, objašnjenja i odluke konstruktora fokusirajući se na fazu konstrukcijskog oblikovanja proizvoda.

5.1. Definicija konstrukcijskog rasuđivanja

Rezultat procesa konstruiranja je tehnički proizvod, a kao nusproizvod stječu se različita znanja temeljena na prikupljenim informacijama. Stoga, polazeći od saznanja navedenih u 2. poglavlju u nastavku se uvodi *Konstrukcijsko rasuđivanje* kao pojam koji iza sebe skriva informacije o problemima, alternativama, argumentima, objašnjenjima i odlukama koji se javljaju u procesu konstruiranja.

5.2. Sadržaj konstrukcijskog rasuđivanja

Analizom podataka prikupljenih tijekom razvojnih projekata za vrijeme ovog istraživanja uočeno je da se informacije vezane uz konstrukcijska rasuđivanja mogu grupirati u:

1. Informacije o vezi rasuđivanja s ljudima, projektima i fazama razvoja proizvoda

2. Informacije koje čine sadržaj konstrukcijskog rasuđivanja
3. Informacije o mjestu pohrane, načinu pristupa i pretraživanju zapisanih konstrukcijskog rasuđivanja

Obzirom na cilj istraživanja u ovom poglavlju je fokus na informacijama koje čine sadržaj konstrukcijskog rasuđivanja. Sadržaj konstrukcijskog rasuđivanja su formalne i neformalne informacije koje se nalaze u pozadini konstrukcijskih odluka. Te informacije se nadalje mogu grupirati u:

1. Informacije koje upravljaju odlukama u procesu konstruiranja, a odnose se na ciljeve i zahtjeve definirane u nekoj od faza razvoja proizvoda
2. Informacije koje objašnjavaju odluke u procesu konstruiranja, te opise problema, argumenata, alternativa i kriterija prema kojima je provedeno vrednovanje alternativa
3. Informacije o objektu konstruiranja (artefaktu) odnosno o komponentama i njihovim vezama u sklopu

5.3. Konstrukcijski problem

Proces konstruiranja je pretvorba unaprijed postavljenih zahtjeva i želja u konkretno oblikovano rješenje tehničkog sustava odnosno proizvoda [78]. Da bi proizvod ispunjavao zahtjeve i želje korisnika potrebno ga je u potpunosti opisati, vodeći računa o tehničkim propisima, tehnološnosti, troškovima, ekologiji, itd.

U literaturi se često ne može jasno uočiti razlika između procesa rješavanja problema i rješavanja zadatka [95]. Obzirom da je cilj ovog rada razviti sustav koji će omogućiti zapis objašnjenja i argumenata koji nastaju tijekom procesa rješavanja konstrukcijskih problema, bitno je razjasniti razliku u značenju ta dva pojma.

Pojam rješavanja konstrukcijskog problema treba vezati uz slučajeve kada na početku nije poznata metodologija rješavanja, za razliku od procesa rješavanja konstrukcijskog zadatka gdje je metodologija unaprijed poznata [96]. Da bi se riješio novi konstrukcijski problem prije svega je potrebno istražiti koju metodologiju rješavanja primijeniti kako bi se od stanja na ulazu napredovalo prema izlaznom stanju odnosno rješenju problema. Važno je naglasiti da su u procesu rješavanja konstrukcijskih problema dominantni intuitivni i kreativni misaoni

postupci koje je vrlo teško formalizirati. Rješavanje problema, tijekom razvoja proizvoda, započinje kao proces promišljanja, a završava kao proces zaključivanja. Kao rezultat navedenih procesa proizlaze objašnjenja (npr. način rada odabranog rješenja) i pripadajući argumenti (npr. razlozi odabira rješenja). Objašnjenja rješenja konstrukcijskih problema predstavljaju skup tvrdnji o uzrocima, kontekstu i posljedicama tih rješenja. Argument podrazumijeva jednu ili više suvislih rečenica na osnovu kojih se može donesti odluka o rješenju konstrukcijskog problema.

5.3.1. Rasuđivanje tijekom rješavanja konstrukcijskih problema

Da bi se objasnio smjer rasuđivanja tijekom rješavanja konstrukcijskih problema mogu se usporediti dva primjera [Slika 5.1]:

1. Konstruktoru je na početku poznata fizička izvedba poluge (dimenzije, materijal, uvjeti korištenja).
2. Konstruktoru je na početku poznato da proizvod mora uvećati silu.

Ukoliko je poznata fizička izvedba poluge [Slika 5.1. a)] odnosno njezine dimenzije, materijal od kojega je poluga napravljena, te uvjeti kako se i za što koristi, može se izračunati (koristeći jednadžbe iz mehanike) kolika će biti rezultirajuća sila F_2 ako na drugom kraju poluge djeluje sila F_1 . Također je moguće izračunati (koristeći jednadžbe iz nauke o čvrstoći) progib uslijed savijanja te saznati hoće li poluga izdržati naprezanja koja se javljaju u materijalu poluge.

Rozenburg N.F.M. i Eekels J. ovaj proces rasuđivanja definiraju kao deduktivno⁵⁹ rasuđivanje iz oblika prema funkciji⁶⁰ [51]. Obzirom da je u navedenom primjeru poznata metodologija rješavanja, možemo zaključiti da konstruktor rješava zadatak. Ovako definirani zadatak u principu ima samo jedno rješenje koje govori da proizvod zadovoljava ili ne zadovoljava zahtijevana svojstva.

U drugom primjeru [Slika 5.1. b)] konstruktoru je na početku poznata funkcija⁶¹ koju proizvod mora ostvariti, npr. uvećati silu, te se od njega traži da ponudi principe rješenja, koncepte te za odabrani koncept oblikovno rješenje. Pitanje je, hoće li konstruktor u procesu rasuđivanja, ukoliko poznaje "prirodne" zakone, doći do samo jednog rješenja?

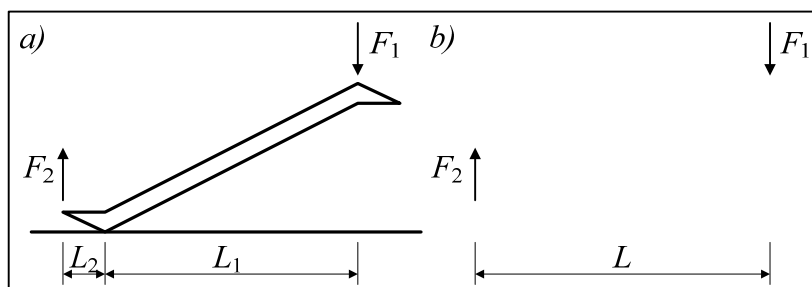
⁵⁹ Modeli rasuđivanja detaljnije su objašnjeni u poglavlju 2.1.3.2.

⁶⁰ Rasuđivanje iz oblika prema funkciji (eng. reasoning from form to function).

⁶¹ Funkcija je svrha za koju je tehnički proizvod napravljen i za što se rabi [48].

Odgovor na postavljeno pitanje je ne, jer postoje različita konstrukcijska rješenja proizvoda koja, da bi zadovoljila traženu funkciju (silu uvećati), mogu koristiti različite tehničke principe rada (koloturnici, zupčanici, hidraulički cilindri, ...). Ako konstruktor želi ponuditi konstrukcijsko rješenje proizvoda on mora rasuđivati iz funkcije prema obliku⁶², ovaj proces rasuđivanja autori definiraju kao reduktivno rasuđivanje [51]. Obzirom da u navedenom primjeru nije poznata metodologija rješavanja, može se zaključiti da konstruktor rješava konstrukcijski problem.

Iz navedenih primjera može se uočiti da je cilj rješavanja konstrukcijskih problema za željenu funkciju proizvoda definirati oblik i način korištenja proizvoda. Ukoliko korisnik djeluje u skladu s uputama za korištenje proizvoda doći će do realizacije željene funkcije [51]. Pri tome autori pod definiranjem oblika proizvoda podrazumijevaju definiranje geometrije i fizikalno-kemijskih svojstava proizvoda. Usporedi li se to s rezultatima rada Hubke i Edera, cilj rješavanja konstrukcijskih problema je za željenu funkciju proizvoda definirati karakteristike (oblik, dimenzije, ...), unutrašnja svojstva (čvrstoću, tvrdoću, ...) i tehnički proces.



Slika 5.1. a) Funkcionalno ponašanje poluge; b) Problem kako uvećati silu

Funkcija je općeniti koncept i u vezi je sa svrhom proizvoda koja općenito može biti mnogostrana. To znači da proizvod može imati tehničke, ergonomske, estetske, ekonomske, socijalne i druge funkcije. Detaljni opis funkcija proizvoda sa svih aspekata vodi do konstrukcijske specifikacije u kojoj su navedena sva svojstva koja proizvod treba posjedovati da bi ostvario svoju svrhu.

5.3.2. Pitanja koja se javljaju kod rješavanja konstrukcijskih problema

Rješavajući konstrukcijske probleme samostalno ili timski, konstruktori generiraju nekoliko vrsta pitanja. Sigurno napredovanje u procesu konstruiranja osigurava pronalaženje

⁶² Rasuđivanje iz funkcije prema obliku (eng. reasoning from function to form).

zadovoljavajućih odgovora na postavljena pitanja. Empirijsko istraživanje prirode pitanja koja se javljaju tijekom procesa konstruiranja istaknulo je da izbor trenutka i vrste pitanja imaju direktnu vezu s fizičkom izvedbom proizvoda [92]. Pitanjem kao činom usmenog izražavanja ili svijesti⁶³ izražava se potreba vezana uz konstrukcijski problem, dok je odgovor rezultat odnosno rješenje vezano uz konstrukcijski problem.

Rješavanje problema u procesu konstruiranja podrazumijeva rastavljanje, objedinjavanje i pridruživanje funkcija, ali i pronalaženje pogrešaka na postojećem proizvodu (bez obzira u kojoj se fazi⁶⁴ konstrukcija proizvoda nalazi). Istraživanjima prikazanim u literaturi pokazalo se da neiskusni konstruktori prilaze iskusnijim kolegama ne samo kako bi dobili informacije već i kako bi razumjeli koja pitanja si trebaju postavljati kod rješavanja konstrukcijskih problema [97]. To znači da iskustvo vodi konstruktore do postavljanja relevantnijih pitanja koja bi se mogla iskoristiti u izradi smjernica za neiskusne konstruktore.

5.3.3. Pitanje kao zahtjev za znanjem

Postavljanjem relevantnih pitanja u procesu konstruiranja proizvoda, konstruktor se usmjerava u traženju rješenja konstrukcijskih problema. Da bi se odgovorilo na postavljena pitanja potrebno je znati što više informacija kako bi odgovori doveli do ispravnih odluka, a time i do kvalitetnijeg rješenja.

Ovisno o iskustvu, intuiciji i talentu konstruktor u određenom omjeru koristi stečeno znanje i znanje koje se može naći pretraživanjem vanjskih izvora uključujući traženje odgovora od drugih konstruktora. U literaturi se traženje odgovora na postavljeno pitanje naziva zahtjev za znanjem⁶⁵. Istraživanja su pokazala da konstruktori formiraju zahtjeve za znanjem u sljedećim slučajevima [26]:

- Formiranje zahtjeva javlja se spontano, a tijekom razvoja konstrukcijskih aktivnosti dolazi do njihovog pročišćivanja.
- Kada su potrebne nove informacije u procesu rješavanja konstrukcijskih problema.
- Formiranje novih zahtjeva kao posljedica odgovora na prethodne zahtjeve.

⁶³ Čin usmenog izražavanja ili svijesti (eng. conscious thought).

⁶⁴ Faze procesa konstruiranja detaljnije su obrađene u poglavlju 3.5.

⁶⁵ Zahtjev za znanjem (eng. knowledge request).

- Formiranje novih zahtjeva javlja se kao posljedica razgovora s drugim konstruktorima ili sudionicima razvoja proizvoda.
- Formiranje novih zahtjeva javlja se kao posljedica iskustva u rješavanju sličnih konstrukcijskih problema.

Formiranje zahtjeva za znanjem može imati različiti cilj ovisno o konstrukcijskom problemu/zadatku, ali i fazi u kojoj se razvoj proizvoda trenutno nalazi:

- Oblikovanje konstrukcije i definiranje njezinih dimenzija.
- Zadržavanje rješenja koja osiguravaju određenu funkciju proizvoda.
- Traženje i/ili ispitivanje funkcije konstrukcijskih značajki definiranih u starim verzijama.
- Uspoređivanje novih i starih rješenja.
- Pretraživanje starih konstrukcijskih rješenja.
- Traženje pretpostavki i radnih uvjeta u starim rješenjima.

Konstruktori formiraju zahtjeve tijekom rasuđivanja s ciljem generiranja, analiziranja, vrednovanja i objašnjavanja konstrukcijskih rješenja. Navedeni rezultati istraživanja pokazuju da se zahtjevi za znanjem tijekom procesa konstruiranja formiraju kako bi se prikupile informacije o rješenju i argumentima na osnovu kojih je moguće izvući određene zaključke u svrhu razvoja konstrukcijskog rješenja.

5.3.4. Traženje odgovora na postavljena pitanja

Odgovore na konstrukcijska pitanja konstruktori daju na osnovu stečenog znanja i iskustva, no u slučaju kada iz određenog razloga (neiskustvo, novi konstrukcijski problem, nedovoljno poznavanje materije problema, itd.) nisu u mogućnosti odgovoriti tada se koriste vanjskim izvorima informacija i znanja:

- Konzultacije sa ostalim članovima razvojnog tima.
- Pretraživanje arhivirane konstrukcijske dokumentacije.
- Analiziranje rastavljene konstrukcije proizvoda.
- Pretraživanjem standarda unutar i izvan tvrtke.

Kada konstruktori konzultiraju ostale članove razvojnog tima skloniji su pristupiti poznatim kolegama s kojima su neko vrijeme zajedno radili. Može se reći da ovaj način prikupljanja

informacija i znanja konstruktori redovito koriste, jer su svjesni znanja onih kolega koji im mogu pomoći u rješavanju određenih problema. Konstruktori također konzultiraju ključne ljude unutar odjela ili kolege koji imaju iskustva u rješavanju sličnih konstrukcijskih zadataka. Da bi pronašli detalje i pretpostavke određenih konstrukcijskih rješenja konstruktori često pretražuju arhiviranu konstrukcijsku dokumentaciju. Takvi izvori informacija uključuju crteže, konstrukcijske planove i baze podataka. Kako bi potvrdili informacije pronađene u tehničkoj dokumentaciji starih projekata analiziraju dijelove i sklopove rastavljene konstrukcije. U literaturi se kao općeniti zaključak navodi da se konstruktori najčešće konzultiraju s kolegama kada traže informacije [26]. Iz tog razloga navedeni su oblici komunikacije između konstruktora:

- Komunikacija licem u lice dvije ili više osoba (neposredna).
- Komunikacija putem video konferencije (neposredna).
- Komunikacija preko telefona (posredna).
- Komunikacija preko elektronske pošte (posredna).
- Komunikacija pismenim putem (posredna).

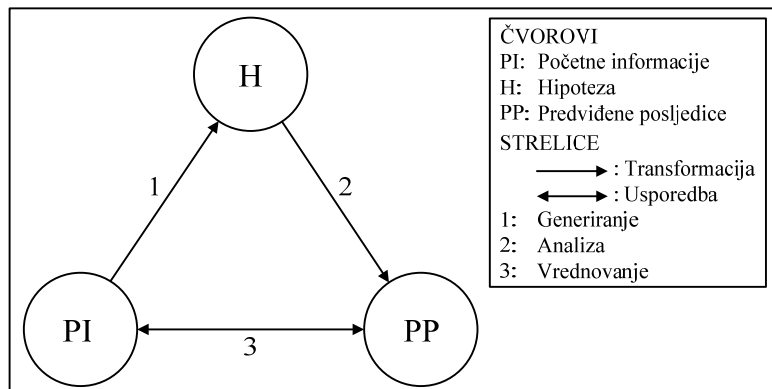
Konstruktori koriste elektronsku poštu u međusobnoj komunikaciji kako bi sačuvali pisani odgovor na koji se naknadno mogu referencirati, kada trebaju razmijeniti veću količinu informacija, te kada su u nemogućnosti da komunikaciju provedu licem u lice ili telefonski. Komunikaciju uspostavljaju kako bi potvrdili informacije koje su pronašli iz drugih izvora, te kako bi saznali detaljnije informacije od onih koje su pronašli iz drugih izvora.

5.4. Vrste konstrukcijskih problema

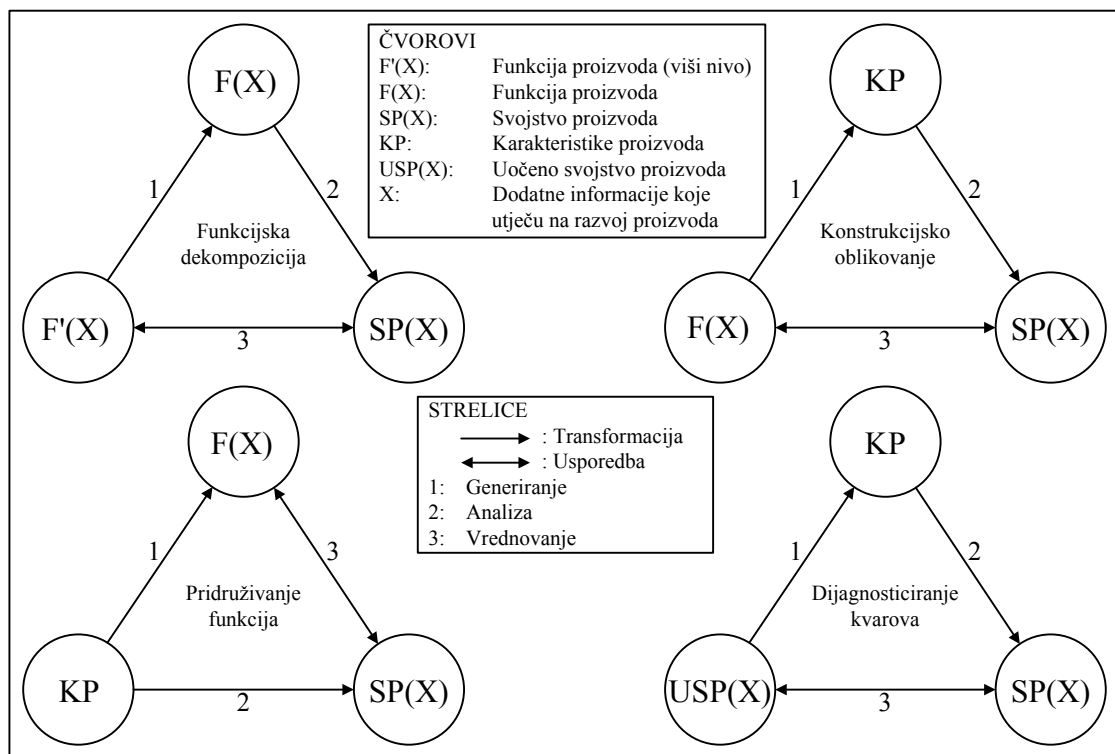
Važnost definiranja problema u procesu konstruiranja može se vidjeti iz izreke: *"dobro definirani problem je pola puta do njegovog rješenja"*. Iz definicije problema mora se vidjeti cilj aktivnosti u procesu njegovog rješavanja. Ukoliko problem nije jasno definiran vrlo je vjerojatno da rješenje neće biti u potpunosti zadovoljavajuće.

Općeniti model rješavanja problema opisuje se čvorovima koji prikazuju različita stanja informacija vezanih uz problem [Slika 5.2], [98]. Strelice predstavljaju tri procesa (dvije transformacije i usporedbu) pri čemu svaki od njih ima poseban cilj. Cilj prve transformacije je generiranje jedne ili više hipoteza na osnovu informacija koje su poznate na početku

rješavanja problema. Druga transformacija ima za cilj analizirati hipotezu sa svrhom predviđanja posljedica. Cilj usporedbe je vrednovanje predviđenih posljedica u odnosu na početne informacije.



Slika 5.2. Općeniti model rješavanja problema [98]



Slika 5.3. Modeliranje četiri vrste konstrukcijskih problema

Početne informacije, hipoteza i predviđene posljedice razlikuju se ovisno o vrsti problema s kojim je konstruktor suočen. Autori smatraju da konstruktor u procesu konstruiranja proizvoda rješava probleme vezane uz [Slika 5.3], [98]:

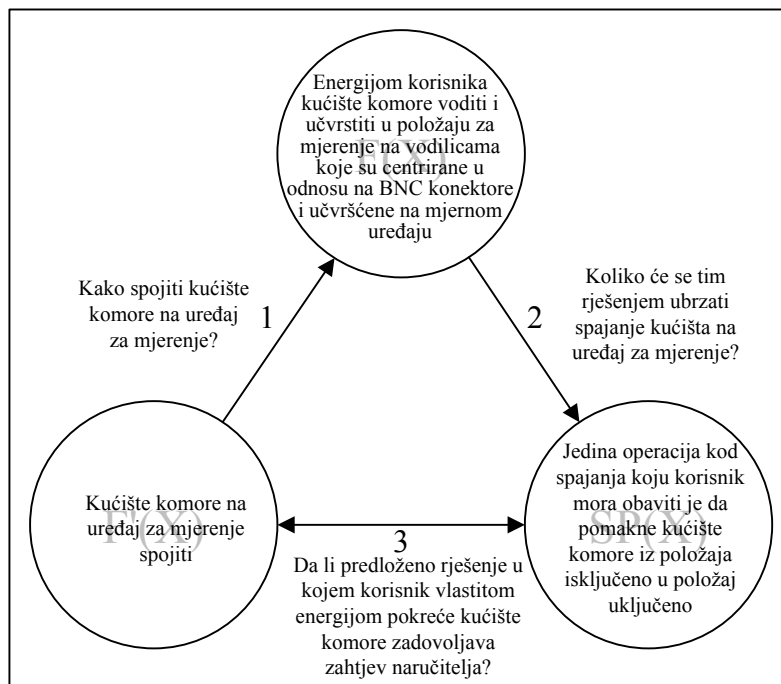
1. Rastavljanje funkcije proizvoda sa više razine apstrakcije na funkcije proizvoda i njegovih komponenata na nižoj razini apstrakcije – Funkcijska dekompozicija.

2. Definiranje karakteristika odnosno oblikovanje proizvoda i njegovih komponenata – Konstrukcijsko oblikovanje.
3. Određivanje odnosno dodjeljivanje funkcija komponentama proizvoda čije su karakteristike poznate (oblik, dimenzije, ...) – Pridruživanje funkcija.
4. Dijagnosticiranje i otklanjanje kvarova.

Navedeni problemi detaljnije su objašnjeni na primjerima prikupljenim tijekom razvoja komore za dielektričnu spektroskopiju vodenih otopina.

5.4.1. Konstrukcijski problem: funkcijska dekompozicija

Funkcijska dekompozicija je konstrukcijski problem koji se prvenstveno javlja u konceptualnoj fazi, no obzirom na iterativnu prirodu procesa konstruiranja⁶⁶ problemi te vrste se mogu javiti i u ostalim fazama. Na slici je prikazan primjer funkcijske dekompozicije kao jedan od konstrukcijskih problema prikupljenih tijekom istraživanja [Slika 5.4].



Slika 5.4. Primjer funkcijske dekompozicije

Informacije o vrsti proizvoda i zahtjevima koje mora zadovoljiti, konstruktor je dobio od naručitelja. Jedan od zahtjeva je glasio: "*Osigurati brzo i precizno spajanje kućišta komore putem četiri BNC konektora na uređaj za mjerenje.*". Analizirajući zahtjev konstruktor je

⁶⁶ Teoretske osnove procesa konstruiranja detaljnije su objašnjene u poglavlju 3.3.

uočio jednu od funkcija proizvoda koja se može rastaviti na veći broj podfunkcija: "*Kućište komore na uređaj za mjerenje spojiti.*".

Kada mu je poznata funkcija koju proizvod mora posjedovati, konstruktor je postavio pitanje "*Kako spojiti kućište komore na uređaj za mjerenje?*". Obzirom da se radilo o konceptualnoj fazi i problemu funkcijske dekompozicije od njega su se očekivali odgovori odnosno moguće alternative radnih principa te prepoznavanje podfunkcija i tokova (materijala, energije i signala) koji ih povezuju. Jedan od mogućih radnih principa je glasilo: "*Energijom korisnika kućište komore voditi i učvrstiti u položaju za mjerenje na vodilicama koje su centrirane u odnosu na BNC konektore i učvršćene na mjernom uređaju.*". Za definirani radni princip konstruktor je uočio četiri podfunkcije [Tablica 5.1].

Tablica 5.1. Veza zahtjeva naručitelja/korisnika s funkcijama proizvoda

| Zahtjev naručitelja/korisnika | Funkcije u vezi sa zahtjevom |
|--|---|
| Osigurati brzo i precizno spajanje kućišta komore putem četiri BNC konektora na uređaj za mjerenje | Kućište voditi |
| | Kućište u odnosu na mjerni uređaj centrirati |
| | Kućište u odnosu na mjerni uređaj pričvrstiti |
| | Kućište u položaju za mjerenje učvrstiti |

Obzirom na zahtjev u kojem se traži brzo i precizno spajanje kućišta na uređaj za mjerenje konstruktor postavlja pitanja:

"Koliko će se tim rješenjem ubrzati spajanje kućišta na uređaj za mjerenje?"

"Kako navedeno rješenje utječe na preciznost spajanja kućišta komore s BNC konektorima na uređaju za mjerenje?"

Pitanja su postavljena sa svrhom analiziranja odnosno otkrivanja utjecaja karakteristike proizvoda (struktura proizvoda) na vanjska svojstva proizvoda (funkcionalnost – brzina, eksploatacija – pouzdanost). Pri tome su odgovori na postavljena pitanja glasili:

"Ukoliko su vodilice učvršćene na uređaju za mjerenje i centrirane u odnosu na BNC konektore jedina operacija kod spajanja koju korisnik mora obaviti je da pomakne kućište komore iz položaja isključeno u položaj uključeno."

"Ukoliko su vodilice učvršćene na uređaju za mjerenje i centrirane u odnosu na BNC konektore, korisnik neće moći pogriješiti zbog toga što će preciznost spajanja biti unaprijed definirana tolerancijama oblika i položaja."

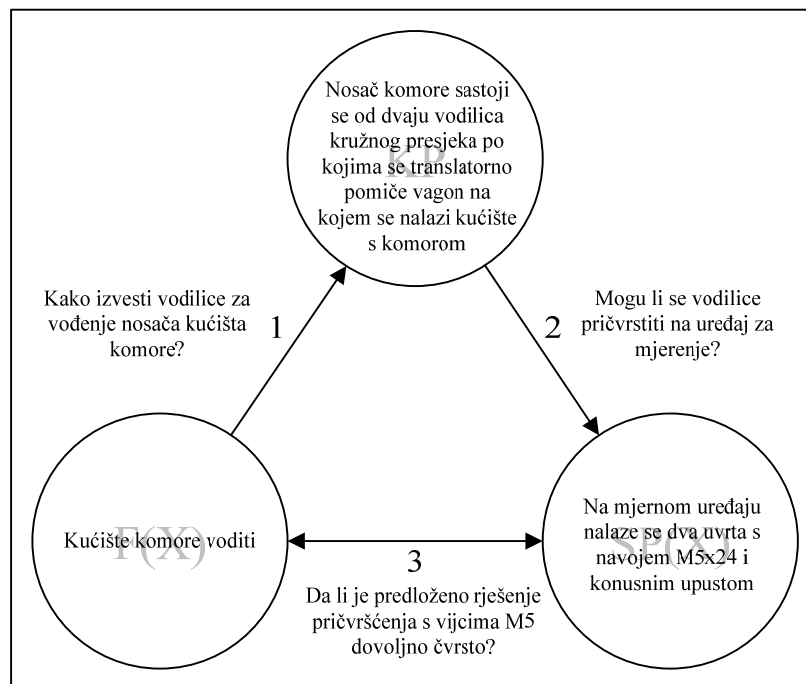
Ovisno o složenosti problema konstruktor može postaviti pitanje čiji je cilj vrednovanje predloženog rješenja u odnosu na informacije poznate na početku:

"Da li predloženo rješenje u kojem korisnik vlastitom energijom pokreće kućište komore zadovoljava zahtjev naručitelja?"

Obzirom da se u listi zahtjeva nije eksplicitno zahtijevalo tko ili što je operator koji obavlja spajanje (korisnik ili motor kao dio proizvoda), potvrđan odgovor na postavljeno pitanje je dobiven naknadnim razgovorom s naručiteljem.

5.4.2. Konstrukcijski problem: konstrukcijsko oblikovanje

Konstrukcijski problemi vezani uz konstrukcijsko oblikovanje javljaju se u fazama oblikovanja i detaljiranja, ali i koncipiranja. U nastavku je analiziran jedan od konstrukcijskih problema oblikovanja [Slika 5.5] prikupljen tijekom istraživanja, a povezan je s problemom funkcijske dekompozicije objašnjenim u prethodnom poglavlju. Kod problema konstrukcijskog oblikovanja jedna od informacija poznata prije definiranja problema je funkcija (obično na nižoj razini složenosti – podfunkcija), koja u ovom primjeru glasi: "Kućište komore voditi."



Slika 5.5. Primjer konstrukcijskog oblikovanja

Za poznatu funkciju proizvoda konstruktor je postavio pitanje: "Kako izvesti vodilice za vođenje nosača kućišta komore?". Obzirom da je riječ o problemu konstrukcijskog oblikovanja cilj njegovog rješavanja je definiranje karakteristika proizvoda (oblik vodilica, dimenzije vodilica, prostorne karakteristike, ...).

Mora se napomenuti da se rješenja ove vrste problema najčešće prikazuju crtežom (skica, 2D CAD crtež, 3D CAD model), no za potrebe ovog rada ovdje je prikazano samo tekstualno objašnjenje predložene alternative rješenja:

"Nosач komore sastoji se od dvaju vodilica kružnog presjeka po kojima se translatorno pomiče vagon na kojem se nalazi kućište s komorom."

Kada je konstruktor predložio rješenje s dvije vodilice kružnog presjeka morao je analizirati zadovoljavaju li karakteristike vodilica (oblik vodilica, dimenzije vodilica, prostorne karakteristike, ...) vanjsko svojstvo proizvoda (proizvodno svojstvo –sklapanje). Stoga je konstruktor postavio pitanje:

"Mogu li se vodilice pričvrstiti na uređaj za mjerenje?"

Analizom mjernog uređaja ustanovljeno je da na njemu postoje dva uvrta stoga konstruktor odgovara: *"Na mjernom uređaju nalaze se dva uvrta s navojem M5x24 i konusnim upustom."*

Da bi konstruktor bio siguran ili barem približno siguran, mora se kritički odnositi kako na tuđa tako i na svoja konstrukcijska rješenja. Stoga on vrednuje predloženu alternativu rješenja. Jedno od pitanja koje je postavio, a odnosilo se na određivanje utjecaja vanjskog svojstva (funkcionalnost – dimenzije spojeva) na unutrašnje svojstvo (čvrstoća vodilice) glasi:

"Da li je predloženo rješenje pričvršćenja s vijcima M5 dovoljno čvrsto?"

Analitičkim proračunom pojednostavljenog modela uklještene konzole konstruktor je izračunao tražene vrijednosti te utvrdio da predložena alternativa rješenja zadovoljava.

5.4.3. Konstrukcijski problem: pridruživanje funkcija

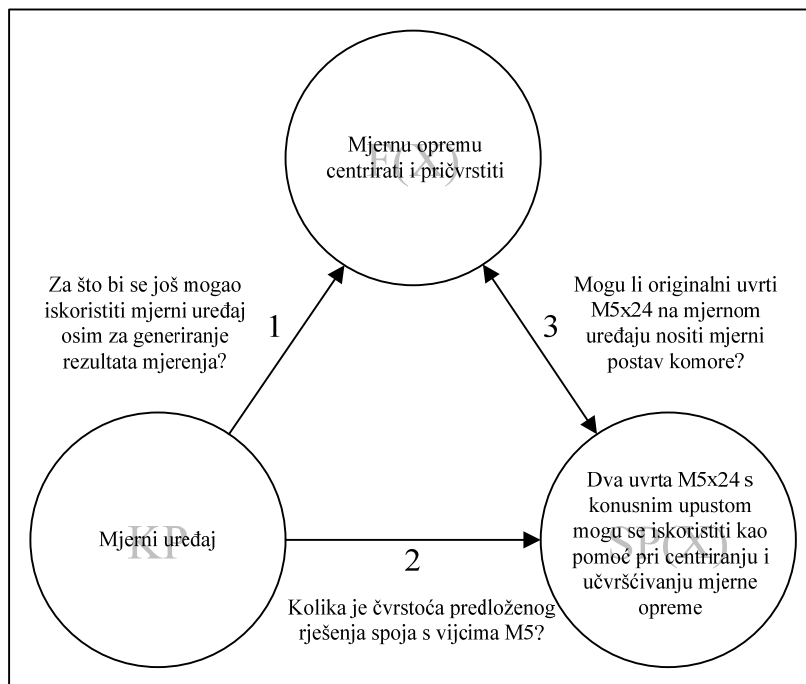
Konstrukcijski problemi vezani uz pridruživanje funkcija javljaju se u fazama koncipiranja, oblikovanja i detaljiranja. Kada konstruktori znaju ili mogu saznati karakteristike tehničkog proizvoda⁶⁷ (sklop, komponenta, značajka oblika), a ne znaju njegovu funkciju (obično na nižoj razini složenosti – podfunkcije) i utjecaj na svojstva proizvoda, tada postavljaju pitanja koja karakteriziraju probleme pridruživanja funkcija. U nastavku je analiziran jedan od konstrukcijskih problema vezan uz pridruživanje funkcija [Slika 5.6] prikupljen tijekom istraživanja, a povezan je s prethodno objašnjenim problemima funkcijske dekompozicije i konstrukcijskog oblikovanja.

⁶⁷ Definicija tehničkog proizvoda preuzeta je iz taksonomije procesa konstruiranja MOED [99].

Paralelno s rješavanjem prethodnog problema konstruktor postavlja pitanje: "Za što bi se još mogao iskoristiti mjerni uređaj osim za generiranje rezultata mjerenja?"

Od njega se traži da sazna i opiše podfunkcije koje uređaj ima ili bi mogao imati, a koje konstruktoru još nisu poznate. Stoga su prepoznate dvije funkcije uvrta koji se nalaze na prednjoj strani uređaja: "Mjernu opremu centrirati i pričvrstiti."

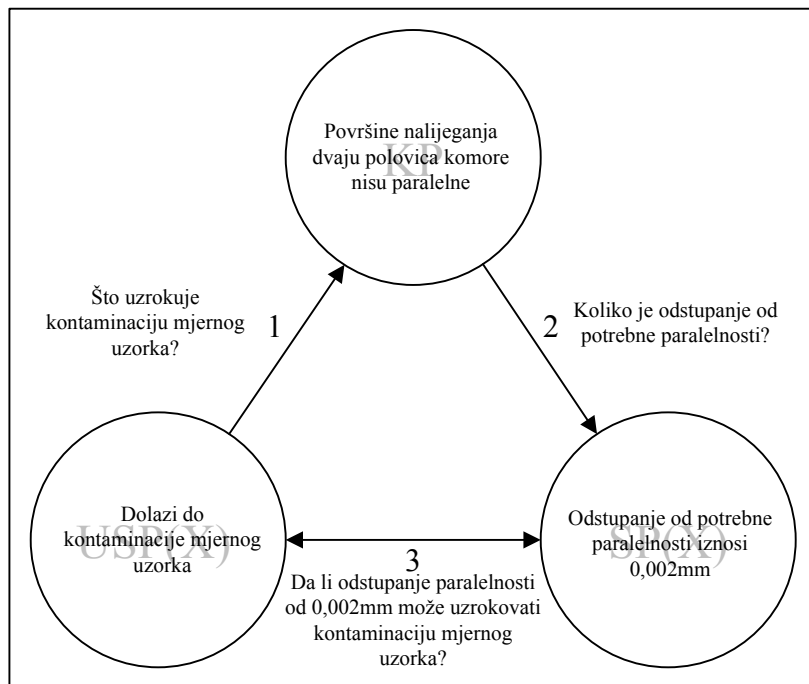
Nadalje je potrebno provesti analizu predloženog rješenja postavljajući pitanje: "Kolika je čvrstoća predloženog rješenja spoja s vijcima M5?". Te pitanje vezano uz vrednovanje: "Mogu li originalni uvrta M5x24 na mjernom uređaju nositi mjerni postav komore?". Nakon pojednostavljenog proračuna dobiven je odgovor: "Dva uvrta M5x24 s konusnim upustom mogu se iskoristiti kao pomoć pri centriranju i učvršćivanju mjerne opreme."



Slika 5.6. Primjer pridruživanja funkcija

5.4.4. Konstrukcijski problem: dijagnosticiranje i otklanjanje kvarova

Konstrukcijski problemi vezani uz dijagnosticiranje i otklanjanje kvarova najčešće se javljaju tijekom eksploatacije proizvoda (proizvod na tržištu, ispitivanje prototipa), a zahtijevaju rješavanje problema na konceptualnoj razini, razini oblikovanja ili detaljiranja. U nastavku je analiziran jedan hipotetski slučaj vezan uz proizvod čiji je razvoj razmatran u prethodnim problemima [Slika 5.7].



Slika 5.7. Primjer dijagnosticiranja kvara

Kada se uoči određeno neželjeno svojstvo proizvoda u obliku kvara ili neispravnog rada proizvoda kao što je u ovom slučaju: "Dolazi do kontaminacije mjernog uzorka." Tada konstruktor pokušava odgovoriti na sljedeće pitanje: "Što uzrokuje kontaminaciju mjernog uzorka?".

Kao jedan od mogućih odgovora mogao bi glasiti: "Površine nalijeganja dvaju polovica komore nisu paralelne."

Za predloženi uzrok kontaminacije mjernog uzorka potrebno je odgovoriti na sljedeće pitanje: "Koliko je odstupanje od potrebne paralelnosti?"

Provedbom potrebne analize dobiven je odgovor: "Odstupanje od potrebne paralelnosti iznosi 0,002mm." Nakon što je poznato odstupanje od paralelnosti potrebno je odgovoriti na još jedno pitanje: "Da li odstupanje paralelnosti od 0,002mm može uzrokovati kontaminaciju mjernog uzorka?". Vrednovanje utjecaja navedenog odstupanja na kontaminaciju mjernog uzorka, određuje slijed daljnjeg rješavanja uočenog problema.

5.4.5. Atributi koji opisuju konstrukcijske probleme

Prethodno prikazana detaljna analiza različitih vrsta konstrukcijskih problema rezultirala je prepoznavanjem osnovnih atributa koji ih opisuju [Tablica 5.2]: vrsta problema, pitanje, cilj pitanja, uzrok problema, subjekt problema, opis problema.

Tablica 5.2. Prepoznavanje atributa konstrukcijskih problema

| Redni broj | Konstrukcijski problem | |
|------------|--|--|
| | Pitanje | Opis problema |
| 1 | Kako mjeriti dielektrična svojstva vodenih otopina? | Potrebno je napraviti funkcijsku razradu proizvoda (komore) koji treba omogućiti dielektričnu spektroskopiju vodenih otopina, prema zahtjevima naručitelja koji posjeduje i ispituje prototip proizvoda. Pod funkcijskom razradom podrazumijeva se definjiranje funkcija i tokova materijala, energije i signala . |
| 2 | Kako spriječiti utjecaj nečistoća (izvana) na mjerni uzorak? | Mjerni uzorak je vodena otopina tvari (koloid) na kojoj se mjere dielektrična svojstva. Obzirom na vrlo sitne čestice svaki utjecaj nečistoća u otopini daje netočne rezultate ispitivanja . Stoga je za komoru potrebno dati rješenje izolacije uzorka od okoline . Kao alternative rješenja očekuju se radni principi opisno ili skicom . |
| 3 | Kako brtviti komoru? | Potrebno je ponuditi alternative rješenja brtvljenja komore koje neće biti u suprotnosti sa ostalim zahtjevima naručitelja . Kao alternative rješenja očekuju se konceptualne skice . |
| Legenda: | | vrsta problema ; pitanje ; cilj pitanja ; uzrok problema ; subjekt problema |

Analizom vrsta konstrukcijskih problema uočeno je da se problemi razlikuju i prema smjeru rasuđivanja. Naime, fokusirajući se na konstrukcijske probleme čiji je cilj: određivanje karakteristike tehničkog proizvoda, funkcijska dekompozicija, generiranje radnog principa, predlaganje koncepta, oblikovanje, ili detaljiranje proizvoda, uočeno je da postoje tri različita smjera rasuđivanja:

1. Utjecaj karakteristike tehničkog proizvoda na karakteristiku tehničkog proizvoda.
2. Utjecaj unutrašnjeg svojstva tehničkog proizvoda na karakteristiku tehničkog proizvoda.
3. Utjecaj vanjskog svojstva tehničkog proizvoda na karakteristike tehničkog proizvoda.

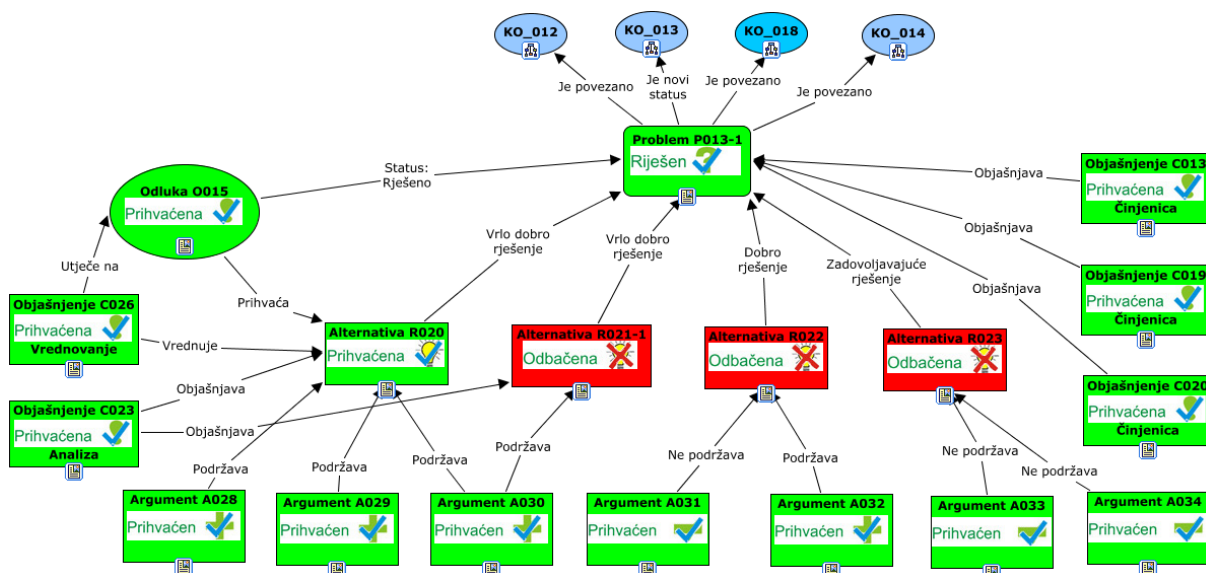
Da bi se objasnila njihova razlika prikazana je analiza šest primjera [Tablica 5.3].

Tablica 5.3. Primjeri problema s različitim smjerovima rasuđivanja

| Smjer rasuđivanja | Primjer problema i objašnjenje | |
|---|--------------------------------|---|
| Utjecaj karakteristike tehničkog proizvoda na karakteristiku tehničkog proizvoda . | 1 | Od kojeg materijala napraviti elastični lim (definiranog oblika i dimenzija)? Objašnjenje: Smjer rasuđivanja je za komponentu (elastični lim) definiranih karakteristika (oblika, dimenzija) odrediti karakteristiku (materijal elastičnog lima). |
| | 2 | Kolika je potrebna tolerancija vodilice promjera $\Phi 10\text{mm}$? Objašnjenje: Smjer rasuđivanja je za komponentu (vodilicu nosača komore) definirane dimenzije $\Phi 10\text{mm}$ odrediti drugu karakteristiku vodilice (toleranciju) . |
| Utjecaj unutrašnjeg svojstva tehničkog proizvoda na karakteristiku tehničkog proizvoda . | 3 | Kako oblikovati komoru da se zbog izmijene mjernog uzorka ne pojavljuje korozija na kućištu i nosaču komore ? Objašnjenje: Smjer rasuđivanja je definirati karakteristike komponenta komore (oblike, dimenzije, strukture, materijale, ...) na način da se poveća otpornost na pojavu korozije (unutrašnjeg svojstva) određenih komponenta (kućišta i nosača). |
| | 4 | Kako ukrutiti vodilice za vođenje nosača i komore? Objašnjenje: Smjer rasuđivanja je definirati karakteristike vodilica (oblike, dimenzije, strukture, materijale, ...) koje će osigurati potrebnu krutost vodilica (unutrašnje svojstvo). |
| Utjecaj vanjskog svojstva tehničkog proizvoda na karakteristike tehničkog proizvoda . | 5 | Kako pričvrstiti elastični lim na nosač komore? Objašnjenje: Smjer rasuđivanja je definirati karakteristike elastičnog lima (oblik, dimenzije, tolerancije, ...) kako bi se mogao pričvrstiti u sklop (proizvodno svojstvo: sklapanje) . |
| | 6 | Kako voditi kućište komore za spajanje s BNC konektorima na "Agilent" mjernom uređaju? Objašnjenje: Smjer rasuđivanja je definirati karakteristike sklopa (oblike komponenta, strukturu sklopa, prostorne karakteristike sklopa, dimenzije, ...) kako bi se omogućila funkcija kućišta (kućište voditi) . |

5.5. Analiza osnovnih elemenata na primjeru konstrukcijskog rasuđivanja

Na osnovu saznanja iz prethodnih poglavlja u nastavku je prikazana analiza elemenata koji čine jedno konstrukcijsko rasuđivanje nastalo tijekom razvoja komore za dielektričnu spektroskopiju vodenih otopina. Uz osnovni problem ponuđena su tri objašnjenja činjenica vezanih uz definirani problem, četiri alternative rješenja, četiri argumenta koji podržavaju određene alternative, tri argumenta koji ne podržavaju određene alternative, jedno objašnjenje rezultata analize vezane uz predložene alternative rješenja, jedna odluka i jedno objašnjenje rezultata vrednovanja [Slika 5.8].



Slika 5.8. Primjer strukture konstrukcijskog rasuđivanja

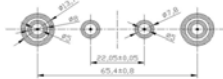
Osnovni konstrukcijski problem koji je razmatran u ovom primjeru rasuđivanja definiran je pitanjem: "Kako voditi kućište komore za spajanje s BNC konektorima na "Agilent" mjernom uređaju?" [Tablica 5.4].

Razlog zbog kojeg je problem uopće razmatran vezan je uz jedan od zahtjeva naručitelja. Obzirom da se radilo o konceptualnoj fazi procesa konstruiranja cilj pitanja bio je predlaganje koncepta uz određivanje nekih karakteristika glavnih komponenata (oblika, strukture, prostornih karakteristika). Ako se pogledaju moguće vrste konstrukcijskih problema, analizirane u prethodnim poglavljima, razmatrani problem se svrstava u vrstu problema konstrukcijskog oblikovanja.

Tablica 5.4. Primjer problema "Kako voditi kućište komore..."

| | | |
|--|----------------------------|--|
| P013-1 | Vrsta problema | |
| | KONSTRUKCIJSKO OBLIKOVANJE | |
| Pitanje | | |
| Kako voditi kućište komore za spajanje s BNC konektorima na "Agilent" mjernom uređaju? | | |
| Cilj pitanja | | Predlaganje koncepta |
| Opis problema | | |
| Spajanje prototipne komore na mjerni uređaj "Agilent" preko četiri BNC konektora oduzima relativno puno vremena. Osim toga takav proces spajanja oštećuje konektore kako na komori tako i na mjernom uređaju. Tijekom razrade liste zahtjeva s naručiteljem prepoznata je potreba za vođenjem komore što bi trebalo ubrzati proces spajanja i povećati trajnost BNC konektora. Kao alternative rješenja očekuju se konceptualne skice. | | |
| Uzrok problema | | Zadovoljiti zahtjev vezan uz razvoj |
| Subjekt problema | | Sklop |
| | | Komora za dielektričnu spektroskopiju vodenih otopina |
| Smjer rasuđivanja | | Utjecaj funkcije proizvoda na karakteristike proizvoda |


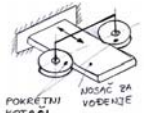
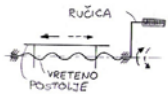
Tablica 5.5. Primjeri kvalitativnih i kvantitativnih činjenica vezanih uz problem


| | | |
|---|-------------------------|--|
| C013 | Vrsta objašnjenja | |
| | KVANTITATIVNE ČINJENICE | |
| Pitanje | | |
| Koliko su dimenzije i razmaci kontakata na Agilent mjernom uređaju? | | |
| Smjer rasuđivanja | | Nije određeno |
| Subjekt pitanja | | Proizvod – mjerni uređaj Agilent 4294A |
| Odgovor | | |
| Dimenzije i razmaci kontakata na Agilent mjernom uređaju nalaze se u dokumentu IO_011, a izmjerene vrijednosti na | | |
|  <p>slici 1. Slika 1. Izmjereni razmaci kontakata za precizni analizator impedancije AGILENT 4294A</p> | | |
| C019 | Vrsta objašnjenja | |
| | KVALITATIVNE ČINJENICE | |
| Pitanje | | |
| Koji je tip kontakata na Agilent mjernom uređaju? | | |
| Smjer rasuđivanja | | Nije određeno |
| Subjekt pitanja | | Proizvod – mjerni uređaj Agilent 4294A |
| Odgovor | | |
| Prototipna komora se spaja direktno na mjerni uređaj pomoću četiri BNC konektora koji ostvaruju takozvanu 4TP konfiguraciju. Dodatne informacije nalaze se u dokumentu IO_016. | | |
| C020 | Vrsta objašnjenja | |
| | KVALITATIVNE ČINJENICE | |
| Pitanje | | |
| Što je to 4TP konfiguracija spajanja na Agilent mjerni uređaj? | | |
| Smjer rasuđivanja | | Nije određeno |
| Subjekt pitanja | | Proizvod – mjerni uređaj Agilent 4294A |
| Odgovor | | |
| Ova konfiguracija spoja omogućuje mjerenje uzoraka pomoću mjernih uređaja koji koriste auto-balansirani mjerni krug. Prednost 4TP konfiguracije spoja jest u tome što može umanjiti utjecaj neželjene impedancije zbog toga što su put struje mjernog signala i naponski osjetni kablovi međusobno neovisni. Dodatna prednost jest da povratni strujni tok teče kroz vanjski oklop koaksijalnog kabla, a magnetski tok, koji je stvoren od strane unutarnjeg vodiča poništen je magnetskim tokom vanjskog vodiča (oklop). Ova konfiguracija se mora točno primijeniti, a duljine kablova se moraju smanjiti na najmanju moguću mjeru. Najvažnija stvar kod ovakvog načina spajanja jest ta da se oklopi koaksijalnih kablova spoje što je moguće bliže uzorku koji se mjeri (elektrode od platine s mjernim uzorkom). Povezano s dokumentom IO_016. | | |

Tijekom rješavanja problema potrebno je saznati određene činjenice vezane uz postojeću okolinu u kojoj će budući proizvod biti korišten. Odgovori na pitanja: (1) "Koliko su dimenzije i razmaci kontakata na Agilent mjernom uređaju?"; (2) "Koji je tip kontakata na Agilent mjernom uređaju?"; i (3) "Što je to 4TP konfiguracija spajanja na Agilent mjerni uređaj?" objašnjavaju problem [Tablica 5.5].

Nakon što su poznate određene činjenice vezane uz definirani problem, predložene su četiri alternative rješenja [Tablica 5.6].

Tablica 5.6. Predložene alternative rješenja uz problem

| | |
|--|----------------------------|
| R020 | Vrsta alternative rješenja |
| | KONCEPT |
| Izvor alternative | Postojeći proizvod |
| Prikaz alternative | 2D skica |
| Opis alternative | |
| <p>Vođenje rukom na klizačima kružnog poprečnog presjeka.</p>  <p>Nosač komore čine dva klizača kružnog poprečnog presjeka po kojemu klizi "vagon" s komorom za mjerenje. Predviđeno je ručno pomicanje vagona s komorom tijekom vođenja u procesu spajanja na mjerni uređaj. Dodatne informacije nalaze se u IO_070.</p> | |
| Korisnost prijedloga | Vrlo dobro rješenje |
| Status alternative | Prihvaćeno |
| R021-1 | Vrsta alternative rješenja |
| | KONCEPT |
| Izvor alternative | Postojeći proizvod |
| Prikaz alternative | 2D skica |
| Opis alternative | |
| <p>Rukom vođena komora na "vagonu" s kotačićima po profiliranom nosaču.</p>  <p>Nosač komore čini jednu konzolu profiliranog poprečnog presjeka po kojemu se kotrlja "vagon" s komorom za mjerenje s dva ili više kotačića. Predviđeno je ručno pomicanje vagona s komorom tijekom vođenja u procesu spajanja na mjerni uređaj. Dodatne informacije nalaze se u IO_071.</p> | |
| Korisnost prijedloga | Vrlo dobro rješenje |
| Status alternative | Odbačeno |
| R022 | Vrsta alternative rješenja |
| | KONCEPT |
| Izvor alternative | Postojeći proizvod |
| Prikaz alternative | 2D skica |
| Opis alternative | |
| <p>Vođenje komore na "vagonu" na vijčanom vretenu okretanjem ručice.</p>  <p>Nosač komore čini vijčano vreteno i još minimalno jednu vodilicu. Okretanjem ručice vijčanog vretena na jednu ili drugu stranu pokreće se "vagon" s komorom za mjerenje naprijed/nazad ostvarujući tako spajanje ili odvajanje komore s mjernim uređajem.</p> | |
| Korisnost prijedloga | Dobro rješenje |
| Status alternative | Odbačeno |

| | |
|---|------------------------------------|
| R023 | Vrsta alternative rješenja |
| | KONCEPT |
| Izvor alternative | Nova vlastita alternativa rješenja |
| Prikaz alternative | 2D skica |
| Opis alternative | |
| Vođenje komore pokretanjem poluge spojene s "vagonom" koji se nalazi na vodilicama. | |
|  <p>Nosač komore čine jedan ili više klizača po kojemu klizi "vagon" s komorom za mjerenje. Predviđeno je ručno pomicanje vagona s komorom pomoću poluge naprijed/nazad ostvarujući tako spajanje ili odvajanje komore s mjernim uređajem.</p> | |
| Korisnost prijedloga | Zadovoljavajuće rješenje |
| Status alternative | Odbačeno |

Ovisno o cilju rješavanja problema predložene alternative rješenja su koncepti prikazani 2D skicom. U općenitom slučaju to ne mora biti nužno tako. Naime, osoba (konstruktor) može predložiti i alternative rješenja koje su na višoj razini razrade. Što prvenstveno ovisi o raspoloživom vremenu, složenosti problema i fazi razvoja u kojoj se proizvod nalazi.

Tablica 5.7. Predloženi argumenti uz alternative rješenja

| | |
|--|--|
| A028 | Vrsta argumenta |
| | PODRŽAVA ALTERNATIVU |
| Grupa argumenta | Eksploatacijska svojstva - zahtjevi za prostorom |
| Opis argumenta | |
| Predložena alternativa zahtjeva malo prostora. Na prednjoj strani mjernog uređaja iznad BNC konektora nalazi se displej za očitavanje rezultata mjerenja. Konektori su smješteni uz donji rub uređaja. | |
| Utjecaj na odluku | Utječe na odluku |
| A029 | Vrsta argumenta |
| | PODRŽAVA ALTERNATIVU |
| Grupa argumenta | Ekonomska svojstva - cijena |
| Opis argumenta | |
| Predložena alternativa vodilice je jeftinija od ostalih predloženih alternativa rješenja. | |
| Utjecaj na odluku | Ne utječe na odluku |
| A030 | Vrsta argumenta |
| | PODRŽAVA ALTERNATIVU |
| Grupa argumenta | Proizvodna svojstva - jednostavnost sklapanja |
| Opis argumenta | |
| Predložena alternativa vođenja komore osigurava jednostavno sklapanje. Pod time se podrazumijeva sklapanje komponenata za vođenje komore na mjerni uređaj. | |
| Utjecaj na odluku | Ne utječe na odluku |
| A031 | Vrsta argumenta |
| | NE PODRŽAVA ALTERNATIVU |
| Grupa argumenta | Vanjska svojstva - funkcionalnost |
| Opis argumenta | |
| Mala brzina spajanja komore s mjernim uređajem. | |
| Utjecaj na odluku | Ne utječe na odluku |

U razvoju proizvoda, posebice se to odnosi na fazu koncipiranja, konstruktori pokušavaju pronaći odgovarajuće alternative rješenja pretraživanjem konstrukcijskih kataloga, postojeće

tehničke dokumentacije, udžbenika, itd.. Stoga se, zapisivanjem informacije o izvoru predložene alternative rješenja ostavlja trag prema kojem je moguće ustanoviti postoje li preduvjeti za pokretanje pravne zaštite rješenja ili obratno, dolazi li rješenje u koliziju s već zaštićenim rješenjem.

Osobe koje su uključene u razvoj proizvoda ili naknadno pretražuju zapisano znanje lakše će razumjeti alternativu, ukoliko je ona detaljnije opisana. Pri tome se opis alternative može nalaziti i u drugim informacijskim objektima koji se u tom slučaju uz nju povezuju.

Definiranjem ocjene korisnosti prijedloga alternative rješenja u odnosu na parcijalnu ili ukupnu funkciju proizvoda, može se utjecati na konačnu odluku o izboru jedne od ponuđenih alternativa.

Tablica 5.8. Predloženi argumenti uz alternative rješenja (nastavak)

| | |
|--|---|
| A032 | Vrsta argumenta |
| | PODRŽAVA ALTERNATIVU |
| Grupa argumenta | Vanjska svojstva - funkcionalnost |
| Opis argumenta | |
| Brzina spajanja komore s mjernim uređajem može se povećati viševojnim navojem. | |
| Utjecaj na odluku | Ne utječe na odluku |
| A033 | Vrsta argumenta |
| | NE PODRŽAVA ALTERNATIVU |
| Grupa argumenta | Vanjska svojstva - proizvodna svojstva |
| Opis argumenta | |
| Poluga za pokretanje vagona s komorom zahtjeva dodatne elemente na koje se poluga pričvršćuje, stoga se povećava broj dijelova. | |
| Utjecaj na odluku | Ne utječe na odluku |
| A034 | Vrsta argumenta |
| | NE PODRŽAVA ALTERNATIVU |
| Grupa argumenta | Vanjska svojstva - eksploatacijska svojstva |
| Opis argumenta | |
| Povećani gabariti mjernog postava. Okretište poluge nalazi se ispod vagona s komorom što znači da mjerni postav zahtjeva veći prostor. | |
| Utjecaj na odluku | Utječe na odluku |

Uz svaku alternativu rješenja za prikazani problem povezani su argumenti koji je podržavaju ili ne podržavaju [Tablica 5.7, Tablica 5.8]. Argumenti su grupirani, ovisno o "stajalištu" s kojeg se "gleda" na predložene alternative. U navedenim primjerima argumenti proizlaze razmatrajući vanjska svojstva komponenata, sklopova, i/ili cijelog proizvoda (za slučaj kada bi alternativa bila prihvaćena kao rješenje problema). Tako su npr. uz alternativu R020 povezana tri argumenta koji je podržavaju, a vezani su uz eksploatacijska, ekonomska i proizvodna svojstva.

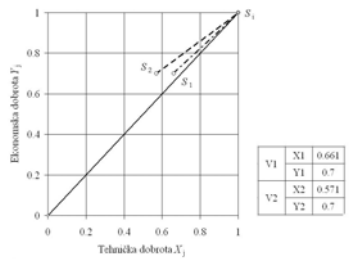
Osim vanjskih svojstava, u analizi prikupljenih konstrukcijskih rasuđivanja uočene su i ostale grupe argumenata: karakteristike proizvoda, lista zahtjeva, rokovi, povijesni argumenti, kulturološki argumenti, geografski argumenti. Ovisno o kriterijima prema kojima se alternative vrednuju određeni argumenti više ili manje utječu na konačnu odluku o izboru jedne od ponuđenih alternativa rješenja.

Kao što je pokazano u poglavlju 5.4, određena pitanja u procesu rješavanja konstrukcijskih problema zahtijevaju analizu (rješenja postojećih proizvoda, prototipova ili predloženih alternativa) provođenjem simulacija, proračuna, mjerenja, itd.. Tijekom rješavanja promatranog problema bilo potrebno odgovoriti na pitanje s ciljem objašnjenja rezultata analize: "Mogu li se vodilice pričvrstiti na uređaj za mjerenje?" [Tablica 5.9].

Tablica 5.9. Primjer objašnjenja rezultata analize

| | |
|---|---|
| C023 | Vrsta objašnjenja |
| | ANALIZA |
| Pitanje | |
| Mogu li se vodilice pričvrstiti na uređaj za mjerenje? | |
| Smjer rasuđivanja | Karakteristike TP na vanjsko svojstvo TP |
| Subjekt pitanja | Proizvod – vodilice komore za dielektričnu spektroskopiju vodenih otopina |
| Odgovor | |
| Prilikom posjeta laboratoriju u kojem se provodi dielektrična spektroskopija na Agilent uređaju za mjerenje uočeno je da se na uređaju pored BNC konektora nalaze dva uvrta s navojima. Pregledavanjem uputa za korištenje uređaja ustanovljeno je da su uvrta predviđeni za priključivanje mjerne opreme. Što znači da je moguće na njih pričvrstiti mjerni postav s komorom za dielektričnu spektroskopiju. Obzirom da u spomenutoj literaturi nisu navedene dimenzije, potrebne mjere su dobivene mjerenjem pomoću pomičnog mjerila. Na mjernom uređaju nalaze se dva uvrta s navojem M5x24 (dužina navoja 24mm) i koničnim upustom na međusobnom razmaku 110mm. Dužina koničnog upusta iznosi 2mm, polovični kut 30°, a veći promjer (na izlazu koničnog upusta) iznosi 9mm. Postoji veza s IO_011, IO_029, IO_030. | |

Tablica 5.10. Primjer objašnjenja rezultata vrednovanja

| | |
|---|---|
| C026 | Vrsta objašnjenja |
| | VREDNOVANJE |
| Pitanje | |
| Koji od dva predložena koncepta odabrati za daljnji razvoj? | |
| Smjer rasuđivanja | Karakteristike TP na vanjsko svojstvo TP |
| Subjekt pitanja | Proizvod – vodilice komore za dielektričnu spektroskopiju vodenih otopina |
| Odgovor | |
|  | <p>Ukupna dobrota rješenja za varijante V1 (KONCEPT 2) i V2 (KONCEPT 4) prikazuje se grafički pomoću S-dijagrama. Tehnička dobrota X_j nanosi se na apscisu, a ekonomska dobrota Y_j na ordinatu dijagrama. Točkama S_1 i S_2 označene su varijante rješenja i njihov položaj u ovisnosti o idealnom rješenju. Idealno rješenje predstavljeno je pravcem iz ishodišta koordinatnog sustava do točke S_i. Dobra rješenja su ona rješenja kod kojih se dobrote (tehnička i ekonomska) nalaze što bliže idealnom rješenju. Iz dijagrama [Slika 4.15] može se vidjeti da su obje varijante rješenja komore jako blizu pravca idealnog rješenja. U ovom slučaju pretpostavljene su iste ekonomske dobrote za obje varijante što je jasno vidljivo u ovom dijagramu. Stoga se izbor konačnog rješenja provodi samo na temelju tehničke dobrote. Veza s IO_031, IO_033, IO_034.</p> |

Prije no što je donesena konačna odluka o izboru alternative kao rješenja razmatranog problema, provedeno je tehničko-ekonomsko vrednovanje za dvije alternative rješenja. Odgovor na pitanje: "Koji od dva predložena koncepta odabrati za daljnji razvoj?" predstavlja objašnjenje rezultata vrednovanja [Tablica 5.10].

Detaljnije objašnjenje smjera rasuđivanja prikazano je na nekoliko primjera [Tablica 5.11].

Tablica 5.11. Primjeri objašnjenja s različitim smjerovima rasuđivanja

| Smjer rasuđivanja | Primjer pitanja i objašnjenje | |
|---|-------------------------------|---|
| Utjecaj karakteristike tehničkog proizvoda na unutrašnje svojstvo tehničkog proizvoda . | 1 | Gdje se javlja maksimalno naprezanje u vodilici ? Objašnjenje: Smjer rasuđivanja je analizom opterećenja i naprezanja vodilice poznatih karakteristika (oblika, dimenzija, materijala, ...) odrediti mjesto gdje se javlja maksimalno naprezanje (jedno od unutrašnjih svojstava) u vodilici . |
| | 2 | Koja od predloženih alternativa vodilica ima najveću krutost ? Objašnjenje: Smjer rasuđivanja je vrednovanjem alternativa vodilica poznatih karakteristika (oblika, dimenzija, materijala, ...) izračunati krutost vodilica (unutrašnje svojstvo). |
| Utjecaj karakteristike tehničkog proizvoda na vanjsko svojstvo tehničkog proizvoda . | 3 | Koja je funkcija Peltier elementa u prototipnoj komori? Objašnjenje: Smjer rasuđivanja je analiziranjem poznatih karakteristika (oblika, dimenzija, ...) jedne komponente (Peltier elementa) zaključiti njegovu funkciju u navedenom proizvodu (prototipnoj komori za dielektričnu spektroskopiju vodenih otopina). |
| | 4 | Koja od predloženih alternativa vodilica je najprihvatljivija obzirom na cijenu ? Objašnjenje: Smjer rasuđivanja je vrednovanjem alternativa vodilica poznatih karakteristika (oblika, dimenzija, materijala, ...) odrediti cijenu vodilica (ekonomsko svojstvo). |
| Utjecaj unutrašnjeg svojstva tehničkog proizvoda na unutrašnje svojstvo tehničkog proizvoda . | 5 | Kako utječe hrapavost površine mjerne elektrode na trošenje mjerne elektrode zbog ispiranja tijekom izmjena mjernih uzoraka? Objašnjenje: Smjer rasuđivanja je analizirati utjecaj jednog unutrašnjeg svojstva komponente (hrapavost površine mjerne elektrode) na drugo unutrašnje svojstvo iste komponente (trošenje površine mjerne elektrode). |

Tablica 5.12. Primjeri objašnjenja s različitim smjerovima rasuđivanja (nastavak)

| Smjer rasuđivanja | Primjer pitanja i objašnjenje | |
|--|-------------------------------|--|
| Utjecaj unutrašnjeg svojstva tehničkog proizvoda na vanjsko svojstvo tehničkog proizvoda . | 6 | Kako toplinska vodljivost kućišta komore utječe na pouzdanost rezultata mjerenja mjernog postava ? Objašnjenje: Smjer rasuđivanja je analizirati utjecaj unutrašnjeg svojstva jedne komponente (toplinske vodljivosti kućišta) na vanjsko svojstvo proizvoda (pouzdanost mjerenja u eksploataciji mjernog postava). |
| | 7 | Koji od predloženih materijala kućišta komore ima toplinsku vodljivost koja je dovoljna za pouzdanost rezultate mjerenja s mjernim postavom ? Objašnjenje: Smjer rasuđivanja je usporediti provođenje topline predloženih materijala kućišta komore te ocijeniti utjecaj na pouzdanost mjerenja (eksploatacijsko svojstvo mjernog postava). |
| Utjecaj vanjskog svojstva tehničkog proizvoda na vanjsko svojstvo tehničkog proizvoda . | 8 | Je li moguće kod domaćeg izvođača obraditi površinu elektrode od platine u potrebnoj kvaliteti ? Objašnjenje: Smjer rasuđivanja je analizirati mogućnost obrade površine elektrode (proizvodno svojstvo) kod domaćeg izvođača na način da se osigura potrebna kvaliteta površine (proizvodno svojstvo) elektrode . |
| | 9 | Koja od predloženih alternativa spajanja na mjerni uređaj (Agilent) ima najnižu cijenu ? Objašnjenje: Smjer rasuđivanja je vrednovati alternative spajanje na mjerni uređaj (eksploatacijsko svojstvo - puštanje u pogon) u odnosu na cijenu (ekonomsko svojstvo) alternativa . |
| Utjecaj vanjskog svojstva tehničkog proizvoda na unutrašnje svojstvo tehničkog proizvoda . | 10 | Na koji način obrada površine elektrode (od platine) utječe na otpornost na trošenje elektrode ? Objašnjenje: Smjer rasuđivanja je analizirati utjecaj obrade površine elektrode (proizvodno svojstvo) na povećanje otpornosti na trošenje (unutrašnje svojstvo) elektrode . |
| | 11 | Koja je proizvodna metoda najprihvatljivija za postizanje potrebne hrapavosti površine elektrode od platine? Objašnjenje: Smjer rasuđivanja je vrednovati proizvodne metode (proizvodna svojstva) u odnosu na potrebnu hrapavost površine (unutrašnje svojstvo) elektrode . |

Na kraju rješavanja problema potrebno se odlučiti za jednu od predloženih alternativa rješenja. Stoga se u odluci, temeljenoj na provedenom vrednovanju, odabire alternativa rješenja R020 [Tablica 5.13].

Tablica 5.13. Primjer odluke o izboru alternative rješenja

| | |
|--|-----------------------|
| O015 | Vrsta odluke |
| | RIJEŠENO |
| Razlog odluke | Provedeno vrednovanje |
| Opis odluke | |
| <p>Nakon provedenog vrednovanja (C026) može se zaključiti da je parcijalno rješenje vođenja kućišta komore (R020) u konceptu 4 (R037) bolje od razmatranog u konceptu 2 (R035) stoga se predlaže njegova prilagodba konceptu 2. Odluka je vezana s IO_034.</p> | |

Da bi osoba, koja naknadno pretražuje zapisane informacije, u potpunosti razumjela okolnosti koje su utjecale na konačni rezultat procesa konstruiranja, konstrukcijsko rasuđivanje je povezano s ostalim rasuđivanjima [Slika 5.8]. U razmatranom primjeru ta se konstrukcijska rasuđivanja odnose na rješavanje sljedećih problema:

1. *"Kako smjestiti mjerni postav u odnosu na mjerni uređaj Agilent?"*
2. *"Kako osigurati spojeve BNC konektora (komora-mjerni uređaj) od izvlačenja?"*
3. *"Od kojeg materijala napraviti vodilice nosača komore?"*

5.6. Implikacije na rad

Analiza konstrukcijskih rasuđivanja prikazana u prethodnim poglavljima pokazuje složenost problematike prikupljanja znanja pri konstrukcijskom oblikovanju proizvoda. Što se posebno odnosi na okolnosti prilikom rješavanja konstrukcijskih problema i informacije o tome kako konstruktori pristupaju rješavanju konstrukcijskih problema. Rezultat analize su razlikovni atributi pojedinih elemenata konstrukcijskog rasuđivanja. Njihov detaljan opis i pravila povezivanja tema su sljedećeg poglavlja.

6

MODEL PRIKUPLJANJA ZNANJA

Navedena saznanja iz prethodnog poglavlja iskorištena su u šestom poglavlju za detaljno opisivanje elemenata konstrukcijskog rasuđivanja. Opisivanjem glavnih atributa, mogućih veza između elemenata te pravila za definiranje elemenata tijekom zapisivanja predložena je osnova modela za prikupljanje znanja.

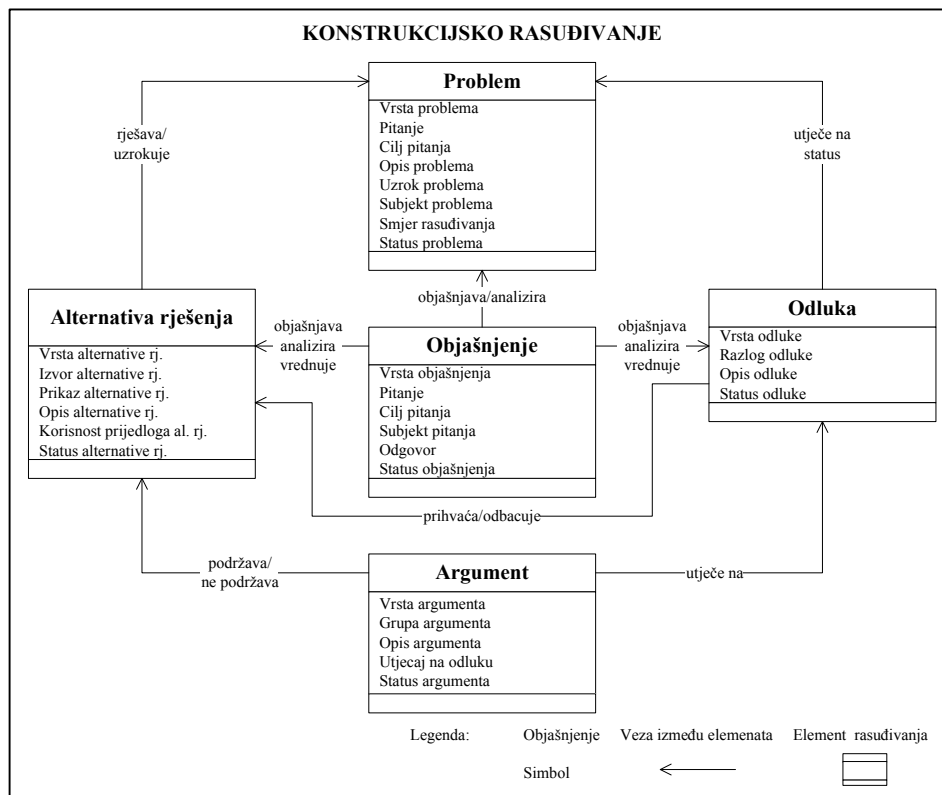
6.1. Elementi Konstrukcijskog rasuđivanja

Osnovni elementi *Konstrukcijskog rasuđivanja* proizašli su analizom postojećih modela zapisa i sustava za prikupljanje *Design rationalea* što je prikazano u 2. poglavlju. Analizom konstrukcijskih rasuđivanja u 5. poglavlju, prikupljenih u svrhu istraživanja prikazanog ovom disertacijom, prepoznati su dodatni elementi kao proširenje postojećih modela.

Obzirom da se u radu često spominje *Konstrukcijsko rasuđivanje* u nastavku se pod tim pojmom podrazumijevaju razlozi u pozadini, razmatrane alternative i argumenti prema kojima su donesene odluke o rješenjima konstrukcijskih problema (navedena definicija pojma u engleskom govornom području odnosi se na pojam *Design rationale*). Elementi *Konstrukcijskog rasuđivanja* koji su detaljno objašnjeni u narednim poglavljima [Slika 6.1]:

- Problem.
- Alternativa rješenja.
- Objašnjenje.

- Argument.
- Odluka.



Slika 6.1. Elementi *Konstruktivskog rasuđivanja*

Shematski prikazi elemenata *Konstruktivskog rasuđivanja* obuhvaćaju osnovne atribute koji ih opisuju [Slika 6.1 do Slika 6.7].

6.1.1. Problem kao element *Konstruktivskog rasuđivanja*

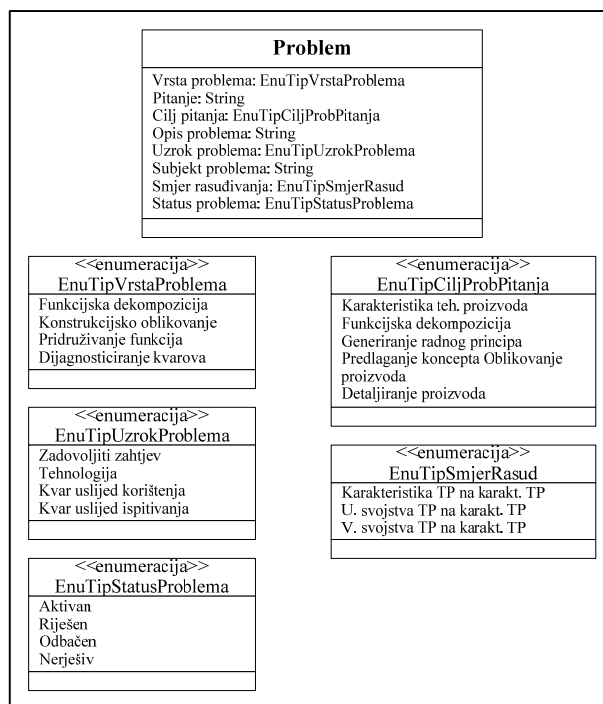
Analizom su uočeni osnovni atributi prema kojima je moguće razlikovati konstruktivske probleme⁶⁸ [Slika 6.2]. Da bi se definirao novi problem kao element *Konstruktivskog rasuđivanja* potrebno je odrediti vrstu problema kojoj pripada. Vrijednosti koje može poprimiti atribut *Vrsta problema* su [Tablica 6.1]:

- Funkcijska dekompozicija.
- Konstruktivsko oblikovanje.
- Pridruživanje funkcija.
- Dijagnosticiranje i otklanjanje kvarova.

⁶⁸ Rezultati analize konstruktivskih problema su prikazani u poglavlju 5.3.

Tablica 6.1. Vrijednosti atributa *Vrsta problema*

| Vrijednost atributa | Definicija |
|---|---|
| Funkcijska dekompozicija | Rastavljanje funkcije proizvoda s više razine apstrakcije na funkcije proizvoda i njegovih komponenata na nižoj razini apstrakcije. |
| Konstruktivsko oblikovanje | Definiranje karakteristika odnosno oblikovanje proizvoda i njegovih komponenata. |
| Pridruživanje funkcija | Određivanje odnosno dodjeljivanje funkcija komponentama proizvoda čije su karakteristike poznate (oblik, dimenzije, ...). |
| Dijagnosticiranje i otklanjanje kvarova | Za postojeći proizvod odrediti razloge zbog kojih se kvar pojavio. |



Slika 6.2. Problem kao *Element konstrukcijskog rasuđivanja*

Vrijednost atributa *Pitanje* zapisuje se tekstualno u obliku jedne upitne rečenice (npr. "Kako izolirati unutrašnjost komore od vanjskih nečistoća?"). Iz razloga što na sadržaj upitne rečenice utječe veliki broj čimbenika nemoguće ga je predvidjeti unaprijed. Stoga konstrukcija i sadržaj upitne rečenice nije unaprijed definiran.

Prilikom definiranja problema potrebno je odrediti što je cilj njegovog rješavanja. Vrijednosti koje može poprimiti atribut *Cilj problema* su [Tablica 6.2]:

- Karakteristika tehničkog proizvoda.
- Funkcijska dekompozicija.
- Generiranje radnog principa.
- Predlaganje koncepta.
- Oblikovanje proizvoda.
- Detaljiranje proizvoda.

Analizom konstrukcijskih problema uočeno je da se i u kasnijim fazama razvoja proizvoda (oblikovanja i detaljiranja) javljaju problemi koji imaju za cilj generiranje funkcijske strukture, radnih principa ili predlaganje konceptata. Razlog tome može se pronaći u iterativnoj prirodi procesa razvoja proizvoda.

Tablica 6.2. Vrijednosti atributa *Cilj problema*

| Vrijednost atributa | Definicija |
|------------------------------------|---|
| Karakteristika tehničkog proizvoda | Cilj problema je odrediti karakteristiku (dimenziju, materijal, toleranciju, ...) tehničkog proizvoda. |
| Funkcijska dekompozicija | Cilj problema je rastaviti funkciju proizvoda na podfunkcije uz definiranje tokova materijala, energije i signala. |
| Generiranje radnog principa | Cilj problema je predložiti moguće radne principe koji realiziraju željenu funkciju proizvoda. |
| Predlaganje koncepta | Cilj problema je predložiti rješenja u obliku koncepta. Kao rješenje se očekuje razrada radnog principa do razine koja obuhvaća osnovne karakteristike proizvoda kao što su gabariti, struktura komponenata i sklopova, prostorne karakteristike (razmještaj komponenata i sklopova, vrste spojeva, ...). |
| Oblikovanje proizvoda | Cilj problema je predložiti rješenja proizvoda koji je u potpunosti oblikovno definiran uzimajući u obzir različite grupe zahtjeva: funkcionalne, tehnološke, održavanja, posluživanja, pouzdanosti, ekonomske, ekološke, itd.. |
| Detaljiranje proizvoda | Cilj problema je predložiti rješenja proizvoda s razrađenom tehničkom dokumentacijom tehnički i ekonomski najpovoljnijeg rješenja. |

Svaki *Problem* potrebno je detaljnije opisati. Količina teksta u *Opisu problema* nije unaprijed određena, niti ograničena. Obzirom da je riječ o zapisivanju *Konstruktivskog rasuđivanja* čiji sadržaj ovisi o domeni u kojoj se prikuplja, nije unaprijed definirano kako problem treba opisati. Općenito opis problema sadrži detaljne informacije o uzroku problema. Pretpostavlja se da će razvojni tim sudjelovati kako u rješavanju problema tako i u opisivanju problema.

Problem ima svoj uzrok, a vrijednosti koje može poprimiti atribut *Uzrok problema* su (zadovoljiti zahtjev, tehnologija, kvar uslijed korištenja, kvar uslijed ispitivanja) [Tablica 6.3]. Ukoliko uzrok novog problema nije ponuđen u unaprijed definiranoj listi, potrebno je ostaviti mogućnost proširenja liste dodavanjem novog uzroka.

Tablica 6.3. Vrijednosti atributa *Uzrok problema*

| Vrijednost atributa | Definicija |
|--------------------------|---|
| Zadovoljiti zahtjev | Uzrok problema proizlazi iz zadovoljavanja zahtjeva definiranog u listi zahtjeva. |
| Tehnologija | Uzrok problema proizlazi zbog: (1) nedostupnosti tehnologije; (2) specifičnih zahtjeva koje nosi primjena tehnologije; (3) nepoznavanja tehnologije. |
| Kvar uslijed korištenja | Uzrok problema proizlazi zbog kvara nastalog uslijed korištenja proizvoda: (1) pogrešno dimenzioniranje komponenata ili sklopova; (2) loši odabir komponenata ili sklopova; (3) greške nastale u proizvodnji ili tijekom sklapanja; (4) uslijed neispravnog korištenja proizvoda koje proizlazi zbog loših rješenja. |
| Kvar uslijed ispitivanja | Uzrok problema proizlazi zbog kvara nastalog uslijed ispitivanja u jednoj od faza razvoja proizvoda. |

Fokus istraživanja prikazanog ovom disertacijom je proizvod, stoga kada se govori o definiranju subjekta na koji se problem odnosi, podrazumijeva se dovođenje problema u vezu s određenim tehničkim proizvodom (značajka oblika, komponenta, sklop). Kako, prema saznanjima autora disertacije, ne postoji jedinstvena i opće prihvaćena taksonomija tehničkih proizvoda u prijedlogu modela prikupljanja znanja nisu unaprijed definirane vrijednosti

atributa *Subjekt problema*. Autor disertacije smatra da je moguće za usko područje djelovanja (domenu) razvojne tvrtke definirati taksonomiju tehničkih proizvoda koja bi olakšala definiranje problema, te na taj način proširila mogućnost naknadnog pretraživanja zapisanog znanja.

Ovisno o vrsti problema prilikom njegovog definiranja moguće je odrediti i smjer rasuđivanja. U 5. poglavlju analizirana su pitanja koja se javljaju tijekom razvoja proizvoda. Obzirom da je težište istraživanja na pitanjima vezanim uz oblikovanje proizvoda, u tablici su prikazane i definirane vrijednosti atributa *Smjer rasuđivanja* [Tablica 6.4].

Tablica 6.4. Vrijednosti atributa *Smjer rasuđivanja*

| Vrijednost atributa | Definicija |
|---|---|
| Karakteristike TP na karakteristike TP | Utjecaj karakteristike tehničkog proizvoda na karakteristiku tehničkog proizvoda. |
| Unutrašnja svojstva TP na karakteristike TP | Utjecaj unutrašnjeg svojstva tehničkog proizvoda na karakteristiku tehničkog proizvoda. |
| Vanjska svojstva TP na karakteristike TP | Utjecaj vanjskog svojstva tehničkog proizvoda na karakteristiku tehničkog proizvoda. |

Objašnjenje značenja pojedinih vrijednosti za atribut *Smjer rasuđivanja* nalazi se u poglavlju 5.4.5 [Tablica 5.3].

Tablica 6.5. Vrijednosti atributa *Status problema*

| Vrijednost atributa | Definicija |
|---------------------|--|
| Aktivan | Problem je aktivan za vrijeme rješavanja problema sve dok se ne donese <i>Odluka</i> o novom <i>Statusu problema</i> . Status <i>Aktivan</i> može biti nepromijenjen kroz više faza procesa konstruiranja. |
| Riješen | Problem je riješen kada članovi konstrukcijskog tima prihvate jednu od ponuđenih alternativa rješenja. |
| Odbačen | Problem može biti odbačen u slučajevima kada članovi razvojnog tima procijene da bi rješavanje problema loše utjecalo na razvoj proizvoda (vremenske rokove, predviđeni budžet, potrebu za novim resursima, isl.). |
| Nerješiv | Problem je nerješiv kada postoje utemeljeni <i>Argumenti</i> da se problem ne može riješiti. |

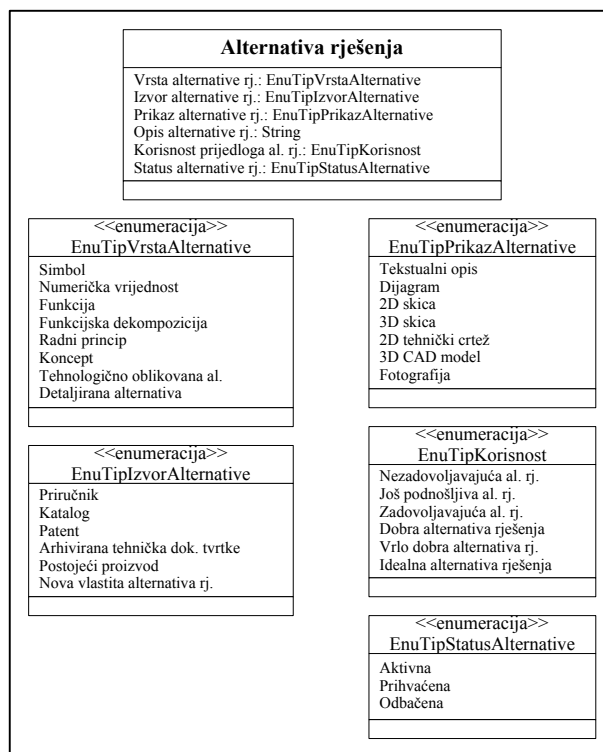
Razvoj proizvoda je proces što znači da traje određeno (najčešće unaprijed definirano) vrijeme. Tijekom razvoja dolazi do promijene statusa *Problema*. Vrijednosti koje može poprimiti atribut *Status problema* su (aktivan, riješen, odbačen, nerješiv) [Tablica 6.5].

U tablici je prikazan primjer potpuno definiranog *Problema* [Tablica 6.6].

Tablica 6.6. Primjer potpuno definiranog *Problema*

| | | | | | | |
|--|----------------------------|--|------------------|----------|--------|-------------|
| P012 | Vrsta problema | | | | | |
| | KONSTRUKCIJSKO OBLIKOVANJE | | | | | |
| Pitanje | | | | | | |
| Kako smjestiti mjerni postav u odnosu na mjerni uređaj "Agilent"? | | | | | | |
| Cilj problema | | Predlaganje koncepta | | | | |
| Opis problema | | | | | | |
| Na koji način fizički povezati mjerni uređaj i komoru za mjerenje kako bi se zadovoljili zahtjevi za vođenjem i centriranjem tijekom spajanja? Kao alternative rješenja očekuju se konceptualne skice. | | | | | | |
| Uzrok problema | | Zadovoljiti zahtjev | | | | |
| Subjekt problema | | Sklop | | | | |
| | | Komora za dielektričnu spektroskopiju vodenih otopina | | | | |
| Smjer rasuđivanja | | Utjecaj funkcije proizvoda na karakteristike proizvoda | | | | |
| Status problema | | Riješeno | | | | |
| Veza s IO | | | | | | |
| Veza s elementima rasuđivanja | | Problem | Alternativa | Argument | Odluka | Objašnjenje |
| | | P013; P013-1 | R017; R018; R019 | | O009 | C006 |

6.1.2. Alternativa kao element *Konstruktivskog rasuđivanja*



Slika 6.3. Alternativa rješenja kao *Element konstruktivskog rasuđivanja*

Analizom su uočeni osnovni atributi prema kojima je moguće razlikovati alternative rješenja⁶⁹ konstrukcijskih problema [Slika 6.3].

Tablica 6.7. Vrijednosti atributa *Vrsta alternative rješenja*

| Vrijednost atributa | Definicija |
|-----------------------------------|---|
| Simbol | Vrsta alternative rješenja je simbol u slučaju kada je <i>Cilj problema: Karakteristika tehničkog proizvoda</i> (npr. oznaka materijala). |
| Numerička vrijednost | Alternativa rješenja je numerička vrijednost u slučaju kada je <i>Cilj problema: Karakteristika tehničkog proizvoda</i> (npr. dimenzija komponente). |
| Funkcija | Alternativa rješenja je funkcija u slučaju kada je <i>Vrsta problema: Pridruživanje funkcija</i> . |
| Funkcijska dekompozicija | Alternativa rješenja je funkcijska dekompozicija u slučaju kada je <i>Cilj problema: Funkcijska dekompozicija</i> . Funkcija proizvoda je rastavljena na podfunkcije uz definiranje tokova materijala, energije i signala. |
| Radni princip | Alternativa rješenja je radni princip u slučaju kada je <i>Cilj problema: Generiranje radnog principa</i> . Radni princip realizira željenu funkciju proizvoda. |
| Koncept | Alternativa rješenja je koncept u slučaju kada je <i>Cilj problema: Predlaganje koncepta</i> . Koncept predstavlja razradu radnog principa do razine koja obuhvaća osnovne karakteristike proizvoda kao što su gabariti, struktura komponenata i sklopova, prostorne karakteris. (razmještaj komponenata i sklopova, vrste spojeva, ...). |
| Tehnološki oblikovana alternativa | Alternativa rješenja je tehnološki oblikovana alternativa u slučaju kada je <i>Cilj problema: Oblikovanje proizvoda</i> . Alternativa rješenja proizvoda je potpuno oblikovno definirana uzimajući u obzir različite grupe zahtjeva: funkcionalne, tehnološke, održavanje, posluživanje, pouzdanost, ekonomske, ekološke, itd.. |
| Detaljnija alternativa | Alternativa rješenja je detaljnija alternativa u slučaju kada je <i>Cilj problema: Detaljiranje proizvoda</i> . Alternativa rješenja proizvoda je razrađena i prikazana tehničkom dokumentacijom tehnički i ekonomski najpovoljnijeg rješenja. |

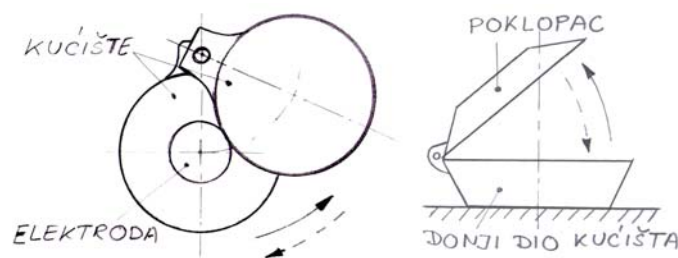
⁶⁹ Rezultati analize alternativa rješenja konstrukcijskih problema su prikazani u 5. poglavlju.

Da bi se definirala nova alternativa rješenja kao element *Konstruktivskog rasuđivanja* potrebno je odrediti vrstu alternative rješenja kojoj pripada. Vrijednosti atributa *Vrsta alternative rješenja* su: simbol, numerička vrijednost, funkcija, funkcijska dekompozicija, radni princip, koncept, tehnološki oblikovana alternativa, detaljirana alternativa [Tablica 6.7].

Tablica 6.8. Vrijednosti atributa *Izvor alternative rješenja*

| Vrijednost atributa | Definicija |
|--|--|
| Priručnik | Prava na alternativu rješenja nisu u ničijem vlasništvu već su dio općeg dobra i uz određene prilagodbe alternativa se može primijeniti u razvoju novog proizvoda. |
| Katalog | Alternativa rješenja nalazi se u prodajnom katalogu drugog proizvođača. Ovdje se razlikuju dva slučaja: (1) Alternativa rješenja se u potpunosti preuzima odabirom iz kataloga, što znači da će se i nabavljati od proizvođača; (2) Za predlaganje alternative rješenja koristi se ideja ili princip rješenja na način da se ne povrede prava vlasništva drugog proizvođača. |
| Patent | Prilagodba zaštićene alternative. Ovdje se razlikuju dva slučaja: (1) Sva prava na alternativu rješenja su u vlasništvu tvrtke i uz određene prilagodbe se može primijeniti u razvoju novog proizvoda; (2) Sva prava na alternativu rješenja su u vlasništvu druge tvrtke i uz određene prilagodbe se može primijeniti u razvoju novog proizvoda. No potrebno je provjeriti da li predložena alternativa povređuje prava druge tvrtke. |
| Arhivirana tehnička dokumentacija tvrtke | Alternativa rješenja za novi proizvod nastaje proučavanjem rješenja u tehničkoj dokumentaciji tvrtke. Sva prava na alternativu rješenja su u vlasništvu tvrtke. |
| Postojeći proizvod | Alternativa rješenja za novi proizvod nastaje proučavanjem rješenja na proizvodima: (1) Iz asortimana tvrtke. Sva prava na alternativu rješenja su u vlasništvu tvrtke; (2) Drugog proizvođača na način da se ne povrede prava vlasništva; Drugog proizvođača na način da se od njega nabavljaju potrebne komponente i/ili sklopovi. |
| Nova vlastita alternativa rješenja | Alternativa rješenja je u potpunosti nova i ponuđena od strane razvojnog tima. Sva prava na alternativu rješenja su u vlasništvu tvrtke i u cijelosti se može primijeniti u razvoju novog proizvoda. Postoji mogućnost zaštite patentnih prava. |

Za svaku alternativu rješenja postoji jedan *Izvor alternative*. Iz unaprijed definirane liste odabire se jedan od ponuđenih izvora (npr. priručnik, katalog, patent, arhivirana tehnička dokumentacija tvrtke, postojeći proizvod, nova vlastita alternativa rješenja) [Tablica 6.8]. Ukoliko se predloži alternativa rješenja koja je proširenje ili modifikacija predložene alternative za definirani *Problem*, tada je potrebno povezivanje predloženih alternativa. Na taj način moguće je definirati grupu alternativa (npr. grupa alternativa u kojoj je predviđeno zatvaranje poklopca komore zakretanjem oko vertikalne osi (lijevo) i grupa alternativa u kojoj je predviđeno zatvaranje nakretanjem oko horizontalne osi (desno) [Slika 6.4]).



Slika 6.4. Alternative zatvaranja poklopca komore

Ovisno o vrsti, alternativu rješenja je moguće različito prikazati. Vrijednosti koje može poprimiti atribut *Prikaz alternative rješenja* su: tekstualni opis, dijagram, 2D skica, 3D skica, 2D tehnički crtež, 3D CAD model, fotografija [Tablica 6.9].

Tijekom razvoja proizvoda članovi razvojnog tima predlažu *Alternative rješenja* definiranog problema. Bez obzira na vrstu i prikaz alternative, potrebno ju je opisati kako bi autor predložene alternative istaknuo bitne informacije, te na taj način olakšao razumijevanje ostalim članovima razvojnog tima. Količina teksta u *Opisu alternative rješenja* nije unaprijed određena, niti ograničena. Opis sadrži detaljne informacije o načinu na koji predložena *Alternativa rješenja* rješava definirani *Problem*. Uz opis alternative rješenja poželjno je povezati informacijske objekte (tekstualne opise, dijagrame, 2D skice, 3D skice, 2D tehničke crteže, 3D CAD modele, fotografije). Na taj način ostaje zapisan cjelokupni pregled informacija vezanih uz predloženu alternativu rješenja.

Kod definiranja veze između *Alternative rješenja* i *Problema* potrebno je odrediti koliko je alternativa prihvatljiva kao rješenje problema. Vrijednosti koje može poprimiti atribut *Korisnost prijedloga alternative rješenja* su: nezadovoljavajuća alternativa rješenja, još podnošljiva alternativa rješenja, zadovoljavajuća alternativa rješenja, dobra alternativa rješenja, vrlo dobra alternativa rješenja, idealna alternativa rješenja [Tablica 6.10]. Skala

vrednovanja alternativa preuzeta je iz smjernica VDI-2225 [100]. U ovom radu nije težište na vrednovanju i ocjenjivanju predloženih alternativa, već na prepoznavanju atributa koji alternative opisuju. Stoga se vrednovanje ovisno o potrebama tvrtke može provoditi i prema drugim skalama ocjenjivanja.

Tablica 6.9. Vrijednosti atributa *Prikaz alternative rješenja*

| Vrijednost atributa | Definicija |
|---------------------|--|
| Tekstualni opis | Alternativa rješenja opisana je tekstualno (alfanumerički). Na ovaj način najčešće se opisuje karakteristika tehničkog proizvoda (simbol, numerička vrijednost), no tekstualno je moguće opisati i ostale vrste alternativa rješenja [Tablica 6.7]. |
| Dijagram | Alternativa rješenja prikazana je u obliku dijagrama. Na ovaj način najčešće se prikazuje funkcija i funkcijska dekompozicija. |
| 2D skica | Alternativa rješenja prikazana je 2D skicom (prostoručna skica, skica nacrtana uz pomoć pribora za crtanja, skica nacrtana korištenjem računala). Na ovaj način najčešće se prikazuje radni princip i koncept, ali je moguće prikazati i tehnologično oblikovanu alternativu rješenja. |
| 3D skica | Alternativa rješenja prikazana je 3D skicom (prostoručna skica, skica nacrtana uz pomoć pribora za crtanja, skica nacrtana korištenjem računala). Na ovaj način najčešće se prikazuje radni princip i koncept, ali je moguće prikazati i tehnologično oblikovanu alternativu rješenja. |
| 2D tehnički crtež | Alternativa rješenja prikazana je 2D tehničkim crtežom (radionički i/ili sklopni crtež). Na ovaj način se prikazuje tehnologično oblikovana i detaljirana alternativa rješenja. |
| 3D CAD model | Alternativa rješenja prikazana je 3D CAD modelom. Na ovaj način najčešće se prikazuje tehnologično oblikovana i detaljirana alternativa rješenja, ali je moguće prikazati radni princip i koncept. |
| Fotografija | Alternativa rješenja prikazana je fotografijom. Na ovaj način moguće je prikazati: koncept, tehnologično oblikovanu i detaljiranu alternativu rješenja. |

Tablica 6.10. Vrijednosti atributa *Korisnost prijedloga alternative rješenja*

| Vrijednost atributa | Definicija |
|--|---|
| Nezadovoljavajuća alternativa rješenja | Alternativa ne zadovoljava kao rješenje definiranog problema. Prema VDI-2225 brojčana vrijednost za ovu ocjenu je 0. |
| Još podnošljiva alternativa rješenja | Alternativa se može prihvatiti kao rješenje problema no sadrži nedostatke. Prema VDI-2225 brojčana vrijednost za ovu ocjenu je 1. |
| Zadovoljavajuća alternativa rješenja | Alternativa zadovoljava kao rješenje problema. Prema VDI-2225 brojčana vrijednost za ovu ocjenu je 2. |
| Dobra alternativa rješenja | Alternativa je dobra kao rješenje problema i prelazi postavljeni cilj. Prema VDI-2225 brojčana vrijednost za ovu ocjenu je 3. |
| Vrlo dobra alternativa rješenja | Alternativa je vrlo dobra kao rješenje problema i daleko prelazi postavljeni cilj. Prema VDI-2225 brojčana vrijednost za ovu ocjenu je 4. |
| Idealna alternativa rješenja | Alternativa je idealna kao rješenje problema. Prema VDI-2225 brojčana vrijednost za ovu ocjenu je 4. |

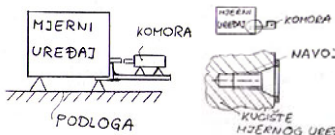
Tijekom razvoja proizvoda može doći do promijene statusa *Alternative rješenja*. Vrijednosti za atribut *Status alternative rješenja* su (aktivna, prihvaćena, odbačena) [Tablica 6.11].

Tablica 6.11. Vrijednosti atributa *Status alternative rješenja*

| Vrijednost atributa | Definicija |
|---------------------|---|
| Aktivna | Alternativa rješenja je aktivna za vrijeme rješavanja problema sve dok se ne donese <i>Odluka</i> o novom <i>Statusu problema</i> . Alternativa rješenja može biti aktivna sve dok je <i>Problem</i> aktivan. |
| Prihvaćena | Alternativa rješenja je prihvaćena kada članovi konstrukcijskog tima tako odluče, te navedu razloge (argumente za) svoje <i>Odluke</i> . |
| Odbačena | Alternativa rješenja je odbačena kada članovi konstrukcijskog tima tako odluče, te navedu razloge (argumente protiv) svoje <i>Odluke</i> . |

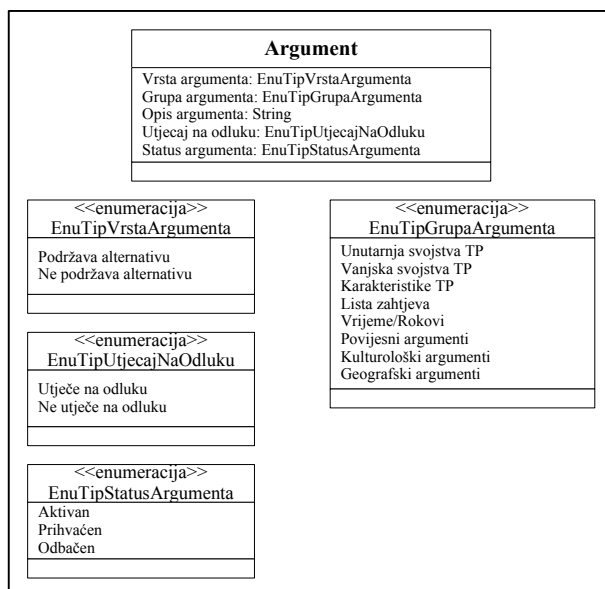
U tablici je prikazan primjer potpuno definiranog *Problema* sa svim atributima koji ga opisuju [Tablica 6.12].

Tablica 6.12. Primjer potpuno definirane *Alternative rješenja*

| | | | | | | |
|--|----------------------------|--------------------|-------------|------------------|--------|-------------|
| R019 | Vrsta alternative rješenja | | | | | |
| | KONCEPT | | | | | |
| Izvor alternative | | Postojeći proizvod | | | | |
| Prikaz alternative | | 2D skica | | | | |
| Opis alternative | | | | | | |
| <p>Direktno oslanjanje na uređaj</p>  <p>Mjerni uređaj i komora povezani su preko nosača koji je spojen na mjerni uređaj. Na taj način pomak mjernog uređaja ne utječe na proces spajanja komore preko četiri BNC konektora. Alternativa podrazumijeva razradu nosača i načina pričvršćenja na mjerni uređaj.</p> | | | | | | |
| Korisnost prijedloga | | Idealno rješenje | | | | |
| Status alternative | | Prihvaćeno | | | | |
| Veza s IO | | IO_022 | | | | |
| Veza s elementima rasuđivanja | | Problem | Alternativa | Argument | Odluka | Objašnjenje |
| | | P012 | | A025; A026; A027 | O009 | |

6.1.3. Argument kao element *Konstruktivskog rasuđivanja*

Analizom su uočeni osnovni atributi prema kojima je moguće razlikovati argumente⁷⁰ vezane uz predložene alternative rješenja: vrsta argumenta, grupa argumenta, opis argumenta, utjecaj na odluku, status argumenta [Slika 6.5].



Slika 6.5. Argument kao *Element konstruktivskog rasuđivanja*

⁷⁰ Rezultati analize argumenata su prikazani u 5. poglavlju.

Da bi se definirao novi argument kao element *Konstruktivskog rasuđivanja* potrebno je odrediti vrstu kojoj pripada. Vrijednosti koje može poprimiti atribut *Vrsta argumenta* su: podržava alternativu, ne podržava alternativu [Tablica 6.13].

Tablica 6.13. Vrijednosti atributa *Vrsta argumenta*

| Vrijednost atributa | Definicija |
|-------------------------|---|
| Podržava alternativu | Predloženi <i>Argument</i> ističe prednosti, odnosno podržava alternativu rješenja. |
| Ne podržava alternativu | Predloženi <i>Argument</i> ističe nedostatke, odnosno ne podržava alternativu rješenja. |

Tablica 6.14. Vrijednosti atributa *Grupa argumenta*

| Vrijednost atributa | Definicija |
|--|--|
| Unutarnja svojstva tehničkog proizvoda | Argument se odnosi na unutarnja svojstva tehničkih proizvoda (čvrstoće, žilavost, vodljivost, tvrdoća, krutost, otpornost na koroziju, stabilnost, hrapavost, otpornost na toplinu, otpornost na hladnoću, otpornost na trošenje, ...). |
| Vanjska svojstva tehničkog proizvoda | Argument se odnosi na vanjska svojstva tehničkih proizvoda (ekonomska, regulativa, distribucijska, estetska, ergonomska, eksploatacijska, funkcionalnost, ekološka, proizvodna, svojstva vezana uz funkcije proizvoda, svojstva vezana uz isporuku). |
| Karakteristike tehničkog proizvoda | Argument je vezan uz određene karakteristike proizvoda (dimenzije, tolerancije, proizvodne metode, teksture površine, strukture, prostorne karakteristike, materijal, oblik, ...). |
| Lista zahtjeva | Argument je vezan uz zahtjev definiran u listi zahtjeva. |
| Vrijeme/Rokovi | Argument je vezan uz vremenske rokove definirane na početku projekta. |
| Povijesni argumenti | Argument je vezan uz povijest tvrtke, serije proizvoda, itd.. Primjer: prednja maska automobila proizvođača BMW. |
| Kulturološki argumenti | Argument je vezan uz kulturu ciljane grupe korisnika novog proizvoda. Primjer: automobili povećanog putničkog prostora u Sjevernoj Americi. |
| Geografski argumenti | Argument je vezan uz geografski položaj ciljane grupe korisnika novog proizvoda. Primjer: materijali otporni na niske temperature za proizvode namijenjene tržištima na sjeveru. |

Za svaki argument postoji grupa u koju se može klasificirati. Vrijednosti koje može poprimiti atribut *Grupa argumenta* su: unutarnja svojstva tehničkog proizvoda, vanjska svojstva tehničkog proizvoda, karakteristike tehničkog proizvoda, lista zahtjeva, vrijeme/rokovi, povijesni argumenti, kulturološki argumenti, geografski argumenti [Tablica 6.14]. Navedene grupe predstavljaju prvu razinu klasifikacije argumenata. Broj razina klasifikacije argumenata vezanih uz svojstva proizvoda, karakteristike proizvoda i ostalih grupa argumenata ovisi o domeni primjene i potrebno je ostaviti mogućnost proširenja.

Tablica 6.15. Vrijednosti atributa *Utjecaj na odluku*

| Vrijednost atributa | Definicija |
|---------------------|---|
| Utječe na odluku | Argument je dominantan u odnosu na ostale i predstavlja temelj za donošenje odluke. |
| Ne utječe na odluku | Argument je prihvaćen ali nije dominantan i ne utječe direktno na odluku. |

Tijekom razvoja proizvoda može doći do promijene statusa *Argumenta*. Moguće vrijednosti za atribut *Status argumenta* su: aktivan, prihvaćen, odbačen [Tablica 6.16].

Tablica 6.16. Vrijednosti atributa *Status argumenta*

| Vrijednost atributa | Definicija |
|---------------------|--|
| Aktivan | Argument je aktivan sve dok nije u potpunosti definiran i povezan s minimalno jednom alternativom. Argument može biti aktivan sve dok je <i>Odluka</i> aktivna. |
| Prihvaćen | Argument je prihvaćen kada članovi konstrukcijskog tima tako odluče. To znači da argument ima određenu "težinu" te se na osnovu njega može temeljiti <i>Odluka</i> . |
| Odbačen | Argument je odbačen kada članovi konstrukcijskog tima tako odluče. To znači da argument nije utemeljen (npr. pretpostavka) te se na osnovu njega ne može temeljiti <i>Odluka</i> . |

Bez obzira na vrstu argumenta, potrebno ga je opisati kako bi autor predloženog argumenta istaknuo bitne informacije, te na taj način olakšao razumijevanje ostalim članovima razvojnog

tima. Količina teksta za atribut *Opis argumenta* nije unaprijed određena, niti ograničena. Opis sadrži detaljne informacije o razlogu zbog kojeg bi se predložena alternativa odbacila ili prihvatila kao rješenje problema. Uz opis je poželjno povezati informacijske objekte na kojima se argument temelji (izvješća, računalne analize, tablice vrednovanja, itd.). Na taj način ostaje zapisan cjelokupni pregled informacija vezanih uz predložen argument.

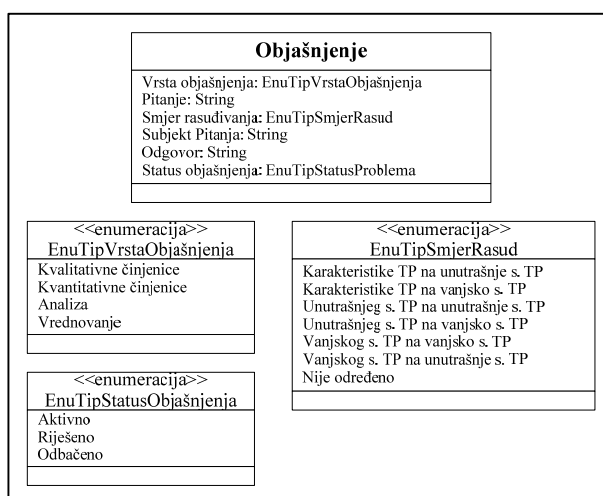
Nakon što se predlože alternative rješenja i uz njih povežu argumenti, potrebno je odlučiti u kojem smjeru se nastavlja razvoj proizvoda. Odabir najprihvatljivije alternative kao rješenje problema temelji se na predloženim argumentima. Vrijednosti koje može poprimiti atribut *Utjecaj na odluku* su: utječe na odluku, ne utječe na odluku [Tablica 6.15].

U tablici je prikazan primjer potpuno definiranog *Argumenta* sa svim atributima koji ga opisuju [Tablica 6.17].

Tablica 6.17. Primjer potpuno definiranog *Argumenta*

| | | | | | |
|---|---|-------------|----------|--------|-------------|
| A027 | Vrsta argumenta PODRŽAVA ALTERNATIVU | | | | |
| Grupa argumenta | Vanjska svojstva proizvoda - zadovoljavanje funkcija spajanja | | | | |
| Opis argumenta | | | | | |
| Alternativa osigurava preciznost kod centriranja mjerne komore prilikom spajanja na mjerni uređaj, jer je položaj nosača mjerne komore neovisan o položaju mjernog uređaja. | | | | | |
| Utjecaj na odluku | Utječe na odluku | | | | |
| Status argumenta | Prihvaćen | | | | |
| Veza s IO | | | | | |
| Veza s elementima rasuđivanja | Problem | Alternativa | Argument | Odluka | Objašnjenje |
| | | R019 | | O009 | |

6.1.4. Objašnjenje kao element *Konstruktivskog rasuđivanja*



Slika 6.6. Objašnjenje kao *Element konstruktivskog rasuđivanja*

Analizom su uočeni osnovni atributi prema kojima je moguće razlikovati objašnjenja⁷¹ vezana uz ostale elemente konstrukcijskog rasuđivanja (problem, alternative rješenja, argumente, odluke): vrsta objašnjenja, pitanje, smjer rasuđivanja, subjekt pitanja, odgovor, status objašnjenja [Slika 6.6].

Da bi se definiralo novo objašnjenje kao element *Konstrukcijskog rasuđivanja* potrebno je odrediti vrstu kojoj pripada. Vrijednosti koje može poprimiti atribut *Vrsta objašnjenja* su: kvalitativne činjenice, kvantitativne činjenice, analiza, vrednovanje [Tablica 6.18].

Tablica 6.18. Vrijednosti atributa *Vrsta objašnjenja*

| Vrijednost atributa | Definicija |
|-------------------------|--|
| Kvalitativne činjenice | Objašnjenjem se opisuju kvalitativne činjenice (karakteristike i svojstva proizvoda ili procesa). Pod činjenicama se podrazumijeva ono što je iskustvom potvrđeno da postoji ili da se događa. |
| Kvantitativne činjenice | Objašnjenjem se opisuju kvantitativne činjenice (mjerljive veličine kao što su udaljenost, promjer, masa, vrijeme). |
| Analiza | Objašnjenjem se želi ukazati na posljedice i/ili stanje rješenja provođenjem simulacija, proračuna, mjerenja, ... |
| Vrednovanje | Objašnjenjem se želi opisati: (1) je li rješenje zadovoljavajuće ili nije, a u slučaju da je zadovoljavajuće, stupanj prednosti uspoređujući posljedice s potrebama i ostalim kriterijima; (2) stupanj prednosti između više rješenja relativnom usporedbom. |

Vrijednost atributa *Pitanje* zapisuje se tekstualno u obliku jedne upitne rečenice (npr. "Što je dielektrična spektroskopija?"). Iz razloga što na sadržaj upitne rečenice utječe veliki broj čimbenika nemoguće ga je predvidjeti unaprijed. Stoga konstrukcija i sadržaj upitne rečenice nije unaprijed definiran.

Ovisno o vrsti objašnjenja prilikom njegovog definiranja moguće je odrediti i smjer rasuđivanja. U 5. poglavlju analizirana su pitanja koja se javljaju tijekom razvoja proizvoda.

⁷¹ Rezultati analize objašnjenja su prikazani u 5. poglavlju.

Dio pitanja koja postavljaju članovi razvojnog tima vezani su uz različite analize i vrednovanja, u tablici su prikazane i definirane vrijednosti atributa *Smjer rasuđivanja* [Tablica 6.19].

Tablica 6.19. Vrijednosti atributa *Smjer rasuđivanja*

| Vrijednost atributa | Definicija |
|---|--|
| Karakteristike TP na unutrašnje svojstvo TP | Utjecaj karakteristike tehničkog proizvoda na unutrašnje svojstvo tehničkog proizvoda. |
| Karakteristike TP na vanjsko svojstvo TP | Utjecaj karakteristike tehničkog proizvoda na vanjsko svojstvo tehničkog proizvoda. |
| Unutrašnjeg svojstva TP na unutrašnje svojs. TP | Utjecaj unutrašnjeg svojstva tehničkog proizvoda na unutrašnje svojstvo tehničkog proizvoda. |
| Unutrašnjeg svojstva TP na vanjsko svojstvo TP | Utjecaj unutrašnjeg svojstva tehničkog proizvoda na vanjsko svojstvo tehničkog proizvoda. |
| Vanjskog svojstva TP na vanjsko svojstvo TP | Utjecaj vanjskog svojstva tehničkog proizvoda na vanjsko svojstvo tehničkog proizvoda. |
| Vanjskog svojstva TP na unutrašnje svojstvo TP | Utjecaj vanjskog svojstva tehničkog proizvoda na unutrašnje svojstvo tehničkog proizvoda. |
| Nije određeno | Smjer rasuđivanja nije određen ukoliko je riječ o pitanjima čiji je cilj objašnjenje činjenice. |

Da bi se objasnilo značenje pojedinih vrijednosti za atribut *Smjer rasuđivanja* u tablici je prikazano jedanaest primjera [Tablica 5.11]. Kada je riječ o kvalitativnim ili kvantitativnim činjenicama ne definira se vrijednost ovog atributa.

U prijedlogu modela prikupljanja znanja nisu unaprijed definirane vrijednosti atributa *Subjekt pitanja*. Autor disertacije smatra da je moguće za usko područje djelovanja (domenu) razvojne tvrtke definirati taksonomije tehničkih proizvoda i tehničkih procesa koje bi služile kao predefinirane vrijednosti za atribut *Subjekt pitanja*. Time bi se proširila mogućnost naknadnog pretraživanja zapisanog znanja. Vrijednost atributa *Odgovor* zapisuje se tekstualno. Iz razloga što na sadržaj odgovora utječe veliki broj čimbenika nemoguće ga je predvidjeti, stoga nije


unaprijed definiran. Uz *Objašnjenje* poželjno je povezati informacijske objekte (izvještaje, rezultate analiza, rezultate vrednovanja, itd.). Na taj način ostaje zapisan cjelokupni pregled informacija vezanih uz predloženo objašnjenje. Tijekom razvoja proizvoda može doći do promijene statusa *Objašnjenja*. Moguće vrijednosti za atribut *Status objašnjenja* su: aktivno, riješeno, odbačeno [Tablica 6.20].

Tablica 6.20. Vrijednosti atributa *Status objašnjenja*

| Vrijednost atributa | Definicija |
|---------------------|---|
| Aktivno | Objašnjenje je aktivno sve dok nije u potpunosti definirano i povezano s minimalno jednim elementom <i>Konstruktivskog rasuđivanja</i> . Objasnenje može biti aktivno sve dok je <i>Problem</i> aktivan. Dok je <i>Objašnjenje</i> u statusu <i>Aktivno</i> na osnovu nije moguće temeljiti <i>Odluku</i> . |
| Riješeno | Objašnjenje je riješeno u slučaju da su definirani svi atributi, uključujući i odgovor na pitanje. Na osnovu <i>Objašnjenja</i> može se temeljiti <i>Odluka</i> . |
| Odbačeno | Objašnjenje je odbačeno kada članovi konstruktivskog tima tako odluče. To znači da su se pojavile okolnosti zbog kojih nije potrebno nastaviti s odgovaranjem na pitanje. |

U tablici je prikazan primjer potpuno definiranog *Objašnjenja* sa svim atributima koji ga opisuju [Tablica 6.21].

Tablica 6.21. Primjer potpuno definiranog *Objašnjenja*

| | | | | | |
|---|-------------------|--|--------------------|----------|-------------|
| C023 | Vrsta objašnjenja | | | | |
| | ANALIZA | | | | |
| Pitanje | | | | | |
| Mogu li se vodilice pričvrstiti na uređaj za mjerenje? | | | | | |
| Smjer rasuđivanja | | Karakteristike TP na vanjsko svojstvo TP | | | |
| Subjekt pitanja | | Proizvod | | | |
| Odgovor | | | | | |
|  | | <p>Prilikom posjeta laboratoriju u kojem se provodi dielektrična spektroskopija na Agilent uređaju za mjerenje uočeno je da se na uređaju pored BNC konektora nalaze dva uvrta s navojima. Pregledavanjem uputa za korištenje uređaja ustanovljeno je da su uvrta predviđeni za priključivanje mjerne opreme. Što znači da je moguće na njih pričvrstiti mjerni postav s komorom za dielektričnu spektroskopiju. Obzirom da u spomenutoj literaturi nisu navedene dimenzije potrebne mjere su dobivene mjerenjem pomoću pomičnog mjerila. Na mjernom uređaju nalaze se dva uvrta s navojem M5x24 (dužina navoja 24mm) i koničnim upustom na međusobnom razmaku 110mm. Dužina koničnog upusta iznosi 2mm, polovični kut 30°, a veći promjer (na izlazu koničnog upusta) iznosi 9mm.</p> | | | |
| Status objašnjenja | | Riješeno | | | |
| Veza s IO | | IO 011 | IO 029 | IO 030 | |
| Veza s elementima rasuđivanja | | Problem | Alternativa | Argument | Odluka |
| | | | R020; R021; R021-1 | | O010 |
| | | | | | Objašnjenje |

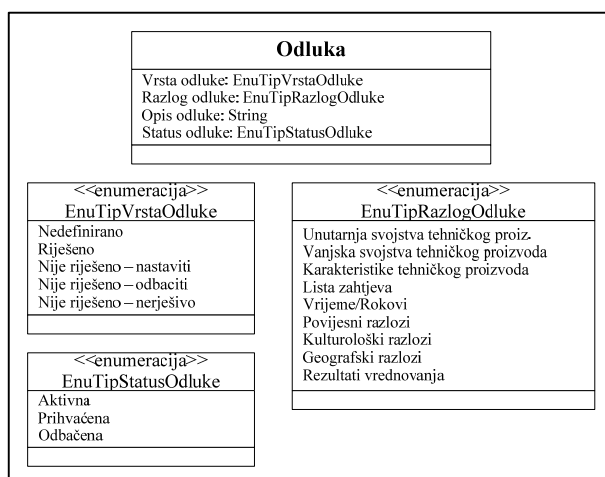
6.1.5. Odluka kao element *Konstruktivskog rasuđivanja*

Nakon što su definirani elementi *Konstruktivskog rasuđivanja* (problem, alternative rješenja, argumenti i objašnjenja) potrebno je da članovi razvojnog tima donesu odluku o daljnjem smjeru razvoja. Potrebno je odabirati jednu ili više predloženih *Alternativa rješenja* definiranog problema koja/koje će se iskoristiti u daljnjem razvoju odnosno procesu konstruiranja. Osnovni atributi koji opisuju *Odluku* su: vrsta odluke, razlog odluke, opis odluke, status odluke [Slika 6.7].

Tablica 6.22. Vrijednosti atributa *Vrsta odluke*

| Vrijednost atributa | Definicija |
|---------------------------|--|
| Nedefinirano | U odluci nije definiran status problema. |
| Riješeno | Odlukom se prihvatila jedna od predloženih alternativa kao rješenje definiranog problema. |
| Nije riješeno – nastaviti | Odlukom se prihvaća jedna od ili više predloženih alternativa rješenja za koje je potrebno: (1) napraviti dorade nakon kojih će se donesti konačna odluka; (2) provesti detaljnije vrednovanje nakon kojeg će se donesti konačna odluka; (3) paralelno razvijati jedan ili više prototipa, te ispitivanjem donesti konačnu odluku. |
| Nije riješeno – odbaciti | Odlukom se odbacuje potreba za rješavanjem definiranog problema. Članovi razvojnog tima procjenjuju da bi rješavanje problema loše utjecalo na razvoj proizvoda (vremenske rokove, predviđeni budžet, potrebu za novim resursima, isl.). |
| Nije riješeno – nerješivo | U odluci se problem smatra nerješivim kada za to postoje utemeljeni <i>Argumenti</i> . |

Da bi se definirala *Odluka* kao element *Konstruktivskog rasuđivanja* potrebno je odrediti vrstu kojoj pripada. Vrijednosti koje može poprimiti atribut *Vrsta odluke* su: nedefinirano, riješeno, nije riješeno – nastaviti, nije riješeno – odbaciti, nije riješeno – nerješivo [Tablica 6.22].



Slika 6.7. Odluka kao *Element konstrukcijskog rasuđivanja*

Odluka se može zasnivati na jednom ili više razloga. Vrijednosti koje može poprimiti atribut *Razlog odluke* su: unutarnja svojstva tehničkog proizvoda, vanjska svojstva tehničkog proizvoda, karakteristike tehničkog proizvoda, lista zahtjeva, vrijeme/rokovi, povijesni razlozi, kulturološki razlozi, geografski razlozi, rezultati vrednovanja [Tablica 6.23]. Navedene grupe predstavljaju prvu razinu klasifikacije razloga za odluke. Broj razina klasifikacije razloga vezanih uz svojstva proizvoda, karakteristike proizvoda i ostalih grupa razloga ovisi o domeni primjene i potrebno je ostaviti mogućnost proširenja.

Tablica 6.23. Vrijednosti atributa *Razlog odluke*

| Vrijednost atributa | Definicija |
|--|---|
| Unutarnja svojstva tehničkog proizvoda | Razlog odluke vezan je uz unutarnja svojstva tehničkih proizvoda (čvrstoću, žilavost, vodljivost, tvrdoću, krutost, otpornost na koroziju, stabilnost, hrapavost, otpornost na toplinu, otpornost na hladnoću, otpornost na trošenje, ...). |
| Vanjska svojstva tehničkog proizvoda | Razlog odluke vezan je uz vanjska svojstva tehničkih proizvoda (ekonomska, regulativa, distribucijska, estetska, ergonomska, eksploatacijska, funkcionalnost, ekološka, proizvodna, svojstva vezana uz funkcije proizvoda). |
| Karakteristike tehničkog proizvoda | Razlog odluke vezan je uz određene karakteristike proizvoda (dimenzije, tolerancije, proizvodne metode, teksture površine, strukture, prostorne karakteristike, materijal, oblik, ...). |
| Lista zahtjeva | Razlog odluke vezan je uz jedan ili više zahtjeva definiranih u listi zahtjeva. |

| | |
|-----------------------|---|
| Vrijeme/Rokovi | Razlog odluke vezan je uz vremenske rokove definirane na početku projekta. |
| Povijesni razlozi | Razlog odluke vezan je uz povijest tvrtke, serije proizvoda, itd.. |
| Kulturološki razlozi | Razlog odluke vezan je uz kulturu ciljane grupe korisnika novog proizvoda. |
| Geografski razlozi | Razlog odluke vezan je uz geografski položaj ciljane grupe korisnika novog proizvoda. |
| Rezultati vrednovanja | Razlog odluke vezan je uz rezultate vrednovanja. |

Vrijednost atributa *Opis odluke* zapisuje se tekstualno. Iz razloga što na sadržaj opisa utječe veliki broj čimbenika nemoguće ga je predvidjeti, stoga nije unaprijed definiran. Uz *Odluku* je potrebno povezati elemente *Konstruktivskog rasuđivanja* na osnovu kojih je odluka donesena (argumenti, objašnjenja) te elemente na koje se odluka direktno odnosi (problem, alternative rješenja, objašnjenja rezultata analize, objašnjenja rezultata vrednovanja). Također je poželjno uz *Odluku* povezati informacijske objekte (izvještaje, rezultate analiza, rezultate vrednovanja, itd.) kako bi ostao zapisan cjelokupni pregled informacija vezanih uz donesenu odluku.

Tijekom razvoja proizvoda može doći do promijene statusa *Odluke*. Moguće vrijednosti za atribut *Status odluke* su: aktivna, prihvaćena, odbaćena [Tablica 6.24].

Tablica 6.24. Vrijednosti atributa *Status odluke*

| Vrijednost atributa | Definicija |
|---------------------|--|
| Aktivna | Odluka je aktivna za vrijeme rješavanja problema sve dok se ne definiraju ostali atributi koji je opisuju (<i>Vrsta odluke</i> , <i>Razlog odluke</i> , <i>Opis odluke</i>), te veza prema <i>Problemu</i> . |
| Prihvaćena | Status odluke je <i>Prihvaćena</i> kada su definirane vrijednosti ostalih atributa. |
| Odbaćena | Odluci se može promijeniti status iz vrijednosti <i>Prihvaćena</i> u vrijednost <i>Odbaćena</i> u slučaju da se tijekom razvoja javila takva potreba (promjena rokova, financiranja, itd.). U tom slučaju potrebno je <i>Opis odluke</i> dopuniti novim informacijama. |

U tablici je prikazan primjer potpuno definirane *Odluke* sa svim atributima koji je opisuju [Tablica 6.25].

Tablica 6.25. Primjer potpuno definirane *Odluke*

| | | | | | |
|--|---|-------------|----------|--------|-------------|
| O009 | Vrsta odluke | | | | |
| | Riješeno | | | | |
| Razlog odluke | Vanjska svojstva proizvoda - zadovoljavanje funkcija spajanja | | | | |
| Opis odluke | | | | | |
| Alternativa R019 osigurava preciznost kod centriranja mjerne komore prilikom spajanja na mjerni uređaj, jer je položaj nosača mjerne komore neovisan o položaju mjernog uređaja. Ta neovisnost omogućava jednostavno prenošenje i korištenje proizvoda na drugim mjernim uređajima te vrste. | | | | | |
| Status odluke | Prihvaćena | | | | |
| Veza s IO | | | | | |
| Veza s elementima rasuđivanja | Problem | Alternativa | Argument | Odluka | Objašnjenje |
| | P012 | R019 | A027 | | |

6.2. Logičke osnove modela prikupljanja znanja

U prethodnom poglavlju definirani su osnovni elementi *Konstruktivskog rasuđivanja*, a u nastavku ovog poglavlja definirane su logičke osnove modela prikupljanja znanja tijekom razvoja proizvoda s težištem na konstrukcijskom oblikovanju. Logičke osnove definirane su s 26 pravila navedenih u nastavku:

Pravilo 1.

Osnovne vrste elemenata *Konstruktivskog rasuđivanja (KR)* su: (1) problem, (2) alternativa rješenja, (3) argument, (4) objašnjenje, (5) odluka [Slika 6.1].

Pravilo 2.

Jedan KR_j je konačan skup osnovnih elemenata.

Pravilo 3.

KR_j nužno sadrži samo jedan problem P_i za koji je potrebno definirati sve attribute koji ga opisuju. Osnovni atributi koji opisuju problem definirani su u poglavlju 6.1.1.

Pravilo 4.

Za jedan problem P_i moguće je predložiti konačan skup alternativa rješenja $R_j = \{R_1 \cup R_2 \cup \dots \cup R_u\}$.

Pravilo 5.

Skup R_j može biti prazan skup $R_j = \emptyset$ što znači da za definirani P_i nije predložena niti jedna alternativa rješenja.

Pravilo 6.

Za alternative rješenja R_j potrebno je definirati sve atribute koji ih opisuju. Osnovni atributi koji opisuju alternative rješenja definirani su u poglavlju 6.1.2.

Pravilo 7.

Alternative rješenja R_j potrebno je povezati s problemom P_i . Vrste veza između alternative rješenja i problema imaju iste vrijednosti kao i atribut *Korisnost prijedloga alternative rješenja*: nezadovoljavajuća alternativa rješenja, još podnošljiva alternativa rješenja, zadovoljavajuća alternativa rješenja, dobra alternativa rješenja, vrlo dobra alternativa rješenja, idealna alternativa rješenja.

Pravilo 8.

Uz svaku alternativu rješenja $R_u \in R_j$ moguće je predložiti konačan skup argumenata $A_k \subseteq A_l$ gdje je $A_l = \{A_1 \cup A_2 \cup \dots \cup A_s\}$ skup svih argumenata predloženih u KR_l .

Pravilo 9.

Skup A_k može biti prazan skup $A_k = \phi$ što znači da za definirani $R_u \in R_j$ nije predložen niti jedan argument.

Pravilo 10.

Skup A_l može biti prazan skup $A_l = \phi$ što znači da za definirane alternative rješenja R_j nije predložen niti jedan argument. Ukoliko vrijedi $A_k \subseteq A_l$ tada je i $A_k = \phi$.

Pravilo 11.

Za argumente A_k potrebno je definirati sve atribute koji ih opisuju. Osnovni atributi koji opisuju argumente definirani su u poglavlju 6.1.3.

Pravilo 12.

Argumente A_k potrebno je povezati s alternativom rješenja $R_u \in R_j$. Vrste veza između argumenata i alternative rješenja imaju iste vrijednosti kao i atribut *Vrsta argumenta*: podržava alternativu, ne podržava alternativu.

Pravilo 13.

Argument $A_s \in A_l$ moguće je povezati s više predloženih alternativa rješenja iz skupa R_j . Pri tome se atributi koji opisuju argument A_s ne mijenjaju (ostaju isti).

Pravilo 14.

Uz problem P_i nužno je povezana samo jedna odluka O_j . U tablici su navedeni slučajevi vezani uz promjene određenih vrijednosti atributa problema i odluke [Tablica 6.26]. Osnovni atributi koji opisuju odluku definirani su u poglavlju 6.1.5.

Tablica 6.26. Mogući slučajevi promjena vrijednosti atributa problema i odluke

| Slučaj | Vrsta odluke | Status odluke | Identifikacija odluke ($i, j \in \mathbb{N}$) | Status problema | Identifikacija problema ($i, j \in \mathbb{N}$) | |
|--------|--------------|-------------------------------------|---|-----------------|---|-------------|
| A | početno | Nedefinirano | Aktivna | O_i^j | Aktivan | P_i^j |
| | ... | Nastaviti | Prihvaćena | O_i^{j+1} | Aktivan | P_i^{j+1} |
| | konačno | Riješeno | Prihvaćena | O_i^{j+2} | Riješen | P_i^{j+2} |
| B | početno | Nedefinirano | Aktivna | O_i^j | Aktivan | P_i^j |
| | konačno | Riješeno | Prihvaćena | O_i^{j+1} | Riješen | P_i^{j+1} |
| C | početno | Nedefinirano | Aktivna | O_i^j | Aktivan | P_i^j |
| | konačno | Odbaciti | Prihvaćena | O_i^{j+1} | Odbačen | P_i^{j+1} |
| D | početno | Nedefinirano | Aktivna | O_i^j | Aktivan | P_i^j |
| | konačno | Nerješivo | Prihvaćena | O_i^{j+1} | Nerješiv | P_i^{j+1} |
| E | početno | Riješeno ili Nastaviti ili Odbaciti | Prihvaćena | O_i^{j+1} | Riješen ili Aktivan ili Odbačen | P_i^{j+1} |
| | ... | Nedefinirano | Odbačena | O_i^{j+2} | Aktivan | P_i^{j+2} |
| | ... | Nedefinirano | Aktivna | O_i^{j+3} | Aktivan | P_i^{j+3} |
| | konačno | Riješeno ili Nastaviti ili Odbaciti | Prihvaćena | O_i^{j+4} | Riješen ili Aktivan ili Odbačen | P_i^{j+4} |

Pravilo 15.

Odluka O_i povezana je s problemom P_i . Vrste veza između odluke i problema imaju iste vrijednosti kao i atribut *Vrsta odluke*: nedefinirano, nastaviti, riješeno, odbaciti, nerješivo

Pravilo 16.

Argumenti iz skupa A_i povezuju se s odlukom O_i . Vrste veza između argumenata i odluke imaju iste vrijednosti kao i atribut *Utjecaj na odluku*: utječe na odluku, ne utječe na odluku.

Pravilo 17.

Odluka O_i povezuje se s alternativama R_j . Vrste veza između odluke i alternativa mogu biti: nedefinirano, prihvaća, odbacuje.

Pravilo 18.

KR_i može sadržavati konačan skup objašnjenja $C_m = \{C_1 \cup C_2 \cup \dots \cup C_r\}$ za koje je potrebno definirati sve attribute koji ga opisuju. Osnovni atributi koji opisuju objašnjenje definirani su u poglavlju 6.1.4.

Pravilo 19.

Skup C_m može biti prazan skup $C_m = \emptyset$ što znači da u KR_i nije predloženo niti jedno objašnjenje.

Pravilo 20.

Svako objašnjenje iz skupa C_m potrebno je povezati s minimalno jednim elementom koji su dio KR_i (problemom, alternativom rješenja, argumentom, objašnjenjem, odlukom). Vrste veza između objašnjenja i ostalih elemenata imaju vrijednosti: objašnjava, analizira, vrednuje, utječe na odluku.

Pravilo 21.

Uz svaki element koji su dio KR_i (problem, alternativu rješenja, argument, objašnjenje, odluku) moguće je povezati konačan skup informacijskih objekata $IO_n = \{IO_1 \cup IO_2 \cup \dots \cup IO_p\}$. Vrsta veze između informacijskih objekata i ostalih elemenata ima vrijednost: *je povezano*.

Pravilo 22.

Jedan informacijski objekt IO_p može biti povezan s više elemenata (problema, alternativa rješenja, argumenata, objašnjenja, odluka) koji su dio skupa konstrukcijskih rasuđivanja $KR_o = \{KR_1 \cup KR_2 \cup \dots \cup KR_i\}$.

Pravilo 23.

Element konstrukcijskog rasuđivanja (problem, alternativu rješenja, argument, objašnjenje, odluku) moguće je obrisati samo u slučaju kada je KR_i odnosno P_i u statusu *Aktivan*.

Pravilo 24.

Status i identifikacijska oznaka konstrukcijskog rasuđivanja KR_i identični su statusu i identifikacijskoj oznaci problema P_i .

Pravilo 25.

Definirana konstrukcijska rasuđivanja koji su dio skupa $KR_o = \{KR_1 \cup KR_2 \cup \dots \cup KR_i\}$ moguće je međusobno povezivati. Definirane elemente koji su dio KR_i moguće je povezati s elementima definiranim u drugim konstrukcijskim rasuđivanjima koji su dio skupa $KR_o = \{KR_1 \cup KR_2 \cup \dots \cup KR_i\}$. U tablici su navedene moguće veze [Tablica 6.27].

Tablica 6.27. Vrste veza između elemenata u različitim KR

| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|----------|----------------------------|---|------|------|---|------|------|------|------|
| 1 | Konstrukcijsko rasuđivanje | A | A | A | A | A | A | A | A |
| 2 | Problem | A | A | A | - | A | A | A | A |
| 3 | Alternativa | A | B, I | A | A | A | A | A | A |
| 4 | Argument | A | - | G, H | A | A | A | A | A |
| 5 | Objašnjenje – činjenica | A | C | C | C | A | A, C | A, C | A, C |
| 6 | Objašnjenje – analiza | A | D | D | D | A, D | A, D | A, D | D |
| 7 | Objašnjenje – vrednovanje | A | A | E | A | A | A, E | A | E |
| 8 | Odluka | A | A | A | A | A | A | A | F |
| Legenda: | | A-je povezano; B-zahtjeva rješavanje problema; C-je činjenica; D-analizira; E-vrednuje; F-utječe na odluku; G-podržava; H-ne podržava; I-je alternativa rješenja. *U tablici je označeno kako elementi druge kolone mogu biti povezani s elementima u stupcima 1 do 8 (element u retku → element u stupcu) | | | | | | | |

Pravilo 26.

Model mora biti fleksibilan. To podrazumijeva mogućnost proširenja s novim vrijednostima postojećih atributa koji opisuju elemente konstrukcijskog rasuđivanja⁷², ali i dodavanje novih atributa.

6.3. Implikacije na rad

U prvom dijelu ovog poglavlja definirani su osnovni elementi koji čine konstrukcijska rasuđivanja. Opisivanje problema, razmatranih alternativa, objašnjenja, te argumenata koji vode do konstrukcijskih odluka prema definiranim pravilima, u drugom dijelu ovog poglavlja, predstavlja model za prikupljanje znanja. Definiranje atributa navedenih elemenata i pravila njihovog povezivanja čine logičku osnovu istraživanja. Predstavljeni koncepti iskorišteni su kako u pripremi izvještaja sa svrhom vrednovanja predloženog modela, tako i za prijedlog implementacije u PLM sustavu.

⁷² Atributi elemenata KR definirani su u poglavlju 6.1.

7

VREDNOVANJE MODELA PRIKUPLJANJA ZNANJA

U sedmom je poglavlju opisano vrednovanje predloženoga modela prikupljanja znanja odnosno konstrukcijskog rasuđivanja vezanog uz razvoj proizvoda. Eksperimentalno vrednovanje je provedeno u suradnji sa ispitanicima koristeći informacije prikupljene tijekom razvoja komore za dielektričnu spektroskopiju vodenih otopina. Poglavlje započinje opisivanjem istraživačkog pristupa u vidu postavljanja eksperimenta, zatim su prikazani rezultati analize prikupljenih podataka, a na kraju su navedeni zaključci i implikacije na rad.

7.1. Istraživački pristup

Provedeno je eksperimentalno vrednovanje tako što su dvije grupe po pet ispitanika čitali i interpretirali izvještaje kako bi pronašli odgovore na unaprijed zadana pitanja. Pitanja i izvještaje u kojima se nalaze odgovori pripremio je autor disertacije kako bi se ustanovilo kako definirani elementi konstrukcijskog rasuđivanja i njegovi atributi utječu na:

- Razumijevanje informacija o proizvodu i razvoju proizvoda.
- Pretraživanje zapisanih informacija.

Eksperiment je osmišljen na način da simulira stvarnu radnu situaciju u kojoj konstruktori pristupaju zapisanim informacijama i znanjima prikupljenim na starom projektu razvoja proizvoda. Važno je naglasiti da ispitanici nisu imali prethodnog doticaja s bilo kakvim

informacijama vezanim uz projekt na osnovu kojih je pripremljen eksperiment. Time se u eksperimentu težilo otkloniti mogućnost utjecaja iskustva i prethodnog znanja o proizvodu na eksperimentalne rezultate. Eksperiment se sastojao od četiri glavna koraka [Tablica 7.1]. Na početku svakog pitanja ispitanici su imali na raspolaganju određeno vrijeme za čitanje i njegovo tumačenje odnosno razumijevanje. Nakon toga su čitali i tumačili informacije iz unaprijed zadanog izvještaja. U trećem su koraku dohvaćali informacije iz izvještaja te na kraju sastavljali odgovor i zapisivali ga u unaprijed pripremljene tablice.

Tablica 7.1. Glavni koraci u eksperimentu

| Korak | Akcija | Objekt |
|-------|--------------|-------------|
| 1 | Čitanje | Pitanje |
| | Tumačenje | |
| 2 | Čitanje | Izvještaj |
| | Tumačenje | |
| 3 | Dohvaćanje | Informacija |
| 4 | Sastavljanje | Odgovor |

Prije eksperimenta ispitanici su bili raspodijeljeni u dvije grupe po pet ispitanika slučajnim odabirom. Za odgovaranje na pitanja grupe sudionika (A, B) su naizmjenice koristile dvije vrste (I i II) tehničkih izvještaja razvoja komore za dielektričnu spektroskopiju. Informacije koje su činile izvještaj I (standardni izvještaj koji je sadržavao opis zadatka, listu zahtjeva, tehnički proces korištenja proizvoda, ...) bile su zapisane u MS Office i Adobe PDF dokumentima. Izvještaj II je sadržavao strukturirani zapis informacija u obliku grafa koristeći elemente zapisa definirane u 6. poglavlju ove disertacije. Bitno je naglasiti da su iste informacije bile dostupne u obje vrste izvještaja osim što su prikazane i strukturirane na različiti način. Također je potrebno navesti da su uz svaki izvještaj ispitanici imali pristup konačnoj verziji tehničke dokumentacije koja je sačinjavala radioničke crteže nestandardnih dijelova i sklopne crteže podsklopova i glavnog sklopa s pripadajućim sastavnicama. Grupa A započela je eksperiment koristeći prvu vrstu izvještaja (izvještaj I), dok je grupa B eksperiment započela koristeći drugu vrstu izvještaja (izvještaj II). Nakon što su završili s odgovaranjem na prvu grupu pitanja, grupa A eksperiment je nastavila s drugom vrstom izvještaja, a grupa B s prvom vrstom izvještaja. Na isti način su sudionici eksperimenta iz grupa A i B odgovarali na sva pitanja predviđena u eksperimentu [Tablica 7.2].

Obzirom da je eksperiment zamišljen na način koji zahtjeva koncentraciju sudionika bilo je nužno definirati odnosno ograničiti dopušteno vrijeme za odgovaranje na pitanja. U svrhu određivanja tog podatka istraživač je napravio testni eksperiment u kojem je sudjelovalo troje

ispitanika. Svi preduvjeti predviđeni za glavni eksperiment odnosili su se i za testni eksperiment (ponajprije vezano uz iskustvo).

Tablica 7.2. Tijek eksperimenta

| Korak | Grupa ispitanika | Grupa pitanja | Izvještaj |
|-------|------------------|---------------|-----------|
| 1 | A | 1 | I |
| | B | 1 | II |
| 2 | A | 2 | II |
| | B | 2 | I |
| 3 | A | 3 | I |
| | B | 3 | II |
| 4 | A | 4 | II |
| | B | 4 | I |

U testnom eksperimentu sudionici su odgovorili na jedno pitanje iz svake grupe. Mjerenjem je ustanovljeno prosječno vrijeme od 15min po jednom pitanju. Svim ispitanicima je trebalo približno 20min za odgovaranje na prvo pitanje. U razgovoru s njima ustanovljeno je da je razlog za to, početno privikavanje na proceduru i računalnu okolinu. Dobivene informacije i stečeno iskustvo iz testnog eksperimenta naknadno je korišteno u pripremi glavnog eksperimenta.

Odgovori sudionika na postavljena pitanja prikupljeni tijekom eksperimenta vrednovani su prema potpunosti i ispravnosti [Tablica 7.3].

Tablica 7.3. Mjerne veličine

| Mjerna veličina | Definicija mjerne veličine |
|-----------------|--|
| Potpunost | Koliko su ponudeni odgovori potpuni, odnosno koliko bitnih informacija sadrže odgovori |
| Ispravnost | Koliko točnih informacija sadrže odgovori |

Tablica 7.4. Primjer pitanja i odgovora sastavljenog od više navoda

| Pitanje | Odgovor u obliku navoda |
|---|---|
| Koja svojstva proizvoda su utjecala na odabir načina vođenja kućišta komore za spajanje s BNC konektorima na "Agilent" mjerni uređaj? | <ol style="list-style-type: none"> 1. eksploatacijska svojstva 2. ekonomska svojstva 3. proizvodna svojstva 4. funkcionalnost |

Sva pitanja zahtijevala su složene odgovore sastavljene od više navoda [Tablica 7.4]. Stoga se potpunost i ispravnost mjerila brojanjem ispravnih i neispravnih navoda koje su sudionici eksperimenta uočili u izvještajima i zapisali u svojim odgovorima:

- Potpunost: broj ispravnih navoda (informacija) u odgovoru jednog sudionika eksperimenta podijeljen s ukupnim mogućim brojem ispravnih navoda u izvještaju.

- Ispravnost: broj ispravnih navoda (informacija) u odgovoru jednog sudionika eksperimenta podijeljen s ukupnim brojem navoda u odgovoru jednog sudionika.

Na taj su se način odgovori sudionika mogli uspoređivati jer su za sva pitanja granične vrijednosti (minimum i maksimum) za potpunost i ispravnost bile iste (od 0 do 1). Ako na primjer ispitanik na pitanje (koje ima odgovor s 4 ispravna navoda) odgovori sa 7 navoda, a od toga su 3 ispravna, tada je:

$$\text{Potpunost} = \frac{3}{4} = 0.75; \text{ Ispravnost} = \frac{3}{7} \approx 0.43$$

7.1.1. Sudionici eksperimenta

Deset sudionika eksperimenta bili su studenti konstrukcijskog smjera Fakulteta strojarstva i brodogradnje. U vrijeme kada se eksperiment provodio, studenti su slušali kolegij "*Računalom integrirani razvoj proizvoda*". Sudionici prije eksperimenta nisu bili upoznati s projektom razvoja komore za dielektričnu spektroskopiju vodenih otopina niti su bili upoznati sa strukturiranim zapisom koji je iskorišten u drugom izvještaju.

7.1.2. Postavljanje eksperimenta

Eksperiment je proveden u računalnoj učionici Fakulteta. Prije početka eksperimenta, istraživač je sudionicima prezentirao motivaciju istraživanja, te aktivnosti i zadatke vezane uz eksperiment u kojem su naknadno sudjelovali. Svakom sudioniku osiguran je pristup osobnom računalu sa softverskim aplikacijama koje su bile nužne za provođenje eksperimenta. Sudionicima eksperimenta bilo je na raspolaganju 30 minuta za odgovaranje na jednu grupu pitanja. Za prvo pitanje predviđeno je da traje 5min duže. Razlog proizlazi iz iskustva stečenog na testnom eksperimentu⁷³. Ukupno vrijeme trajanja eksperimenta iznosilo je 125 minuta.

U pripremi eksperimenta za izradu prve vrste izvještaja korištene su računalne aplikacije MS Office Word, MS Office Excel, te Adobe Acrobat Professional. U pripremi druge vrste izvještaja uz prethodno navedene, korištena je MS Office PowerPoint, te računalna aplikacija za prikaz konceptualnih mapa CmapTools V5.04⁷⁴. Prije početka eksperimenta istraživač je

⁷³ Okolnosti vezane uz testni eksperiment opisane su u poglavlju 7.1.

⁷⁴ [<http://cmap.ihmc.us/>], pristupljeno 16.9.2010.

objasnio način rada sa svakom od navedenih računalnih aplikacija posebice s posljednje navedenom.

7.1.3. Konstrukcijska rasuđivanja korištena u eksperimentu

Dokumentacija koja je iskorištena u pripremi i provedbi eksperimenta nastala je tijekom razvoja komore za dielektričnu spektroskopiju vodenih otopina. U dokumentaciji su sadržane informacije o proizvodu i tijeku njegovog razvoja [Tablica 7.5].

Tablica 7.5. Sadržaj prve vrste izvještaja

| Poglavlje | Sadržaj |
|-----------|----------------------------------|
| 1 | Uvod |
| 2 | Raščišćavanje zadatka |
| 3 | Razrada funkcijske strukture |
| 4 | Traženje principa rješenja |
| 5 | Najpovoljnija varijanta rješenja |
| 6 | Proračun |
| 7 | Zaključak |
| 8 | Prilog: tehnička dokumentacija |

Na osnovu dokumentacije nastale tijekom razvoja navedenog proizvoda istraživač je postojeće informacije zapisao na strukturirani način koristeći elemente zapisa obrađene u 6. poglavlju ove disertacije [Tablica 7.6]. Potrebno je naglasiti da se radilo o rekonstruiranju razvoja proizvoda koji se provodio nešto više od godine dana ranije. Navedeni način pripreme izvještaja koji se koristio za potrebe eksperimenta ima svoje nedostatke koji se očituju u nemogućnosti rekonstruiranja vremenske komponente. Naime u realnom procesu razvoja proizvoda nastajanje i bilježenje informacija je dinamičke prirode. Tijekom razvoja proizvoda konstantno nastaju novi ili se mijenjaju postojeći elementi konstrukcijskog rasuđivanja, te se stvaraju nove ili mijenjaju postojeće veze između istih. Ukoliko se žele dobiti izvještaji koji bi obuhvatili prethodno opisanu situaciju potrebno je informacije zapisivati neposredno nakon njihova nastanka⁷⁵.

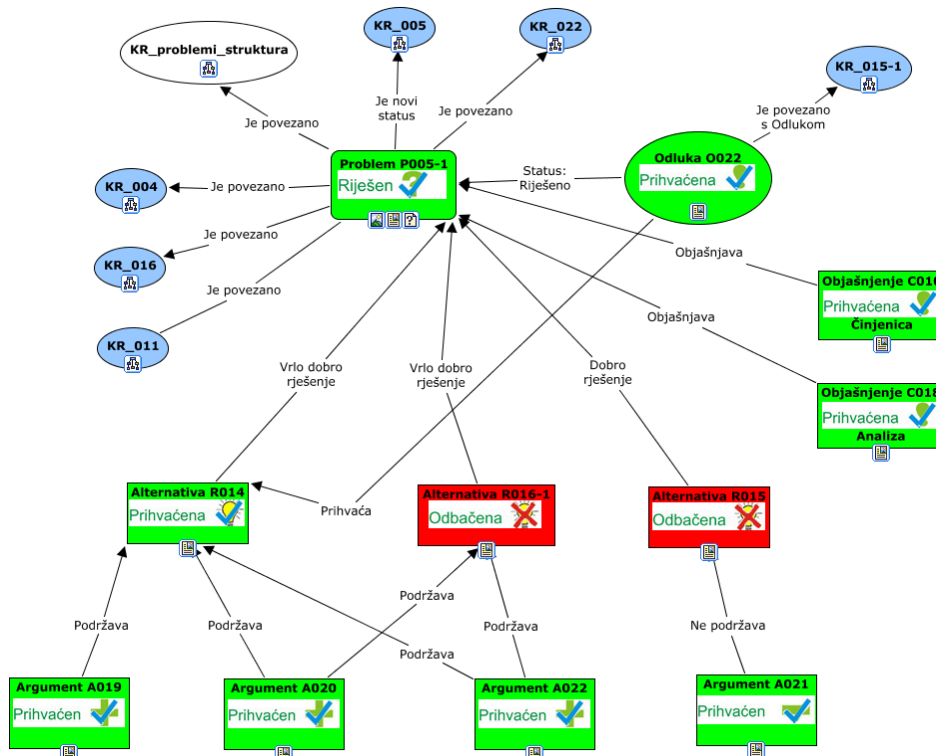
Konstrukcijsko rasuđivanje sadrži elemente znanja (alternative, argumente, odluke, objašnjenja) direktno vezane uz jedan problem. Prije eksperimenta pripremljeno je 22 konstrukcijska rasuđivanja u kojima su strukturirane informacije vezane uz rješavanje 22 problema za koje je razvojni tim predložio ukupno 52 alternative rješenja. Uz alternative rješenja povezano je 55 argumenta, na osnovu kojih je doneseno 22 odluke koje su utjecale na

⁷⁵ Prijedlog implementacije modela prikupljanja znanja u sustavu koji bi to omogućavao detaljnije je objašnjen u 8. poglavlju.

razvoj proizvoda. Navedeni elementi povezani su s 19 objašnjenja koja sadrže informacije o razmatranim činjenicama, provedenim analizama i vrednovanjima tijekom razvoja. Primjer zapisa *Konstruktivskog rasuđivanja* sadrži jedan *Problem*, tri *Alternative rješenja*, četiri *Argumenta*, dva *Objašnjenja*, te jednu *Odluku* [Slika 7.1].

Tablica 7.6. Elementi *Konstruktivskog rasuđivanja* i njihova stanja

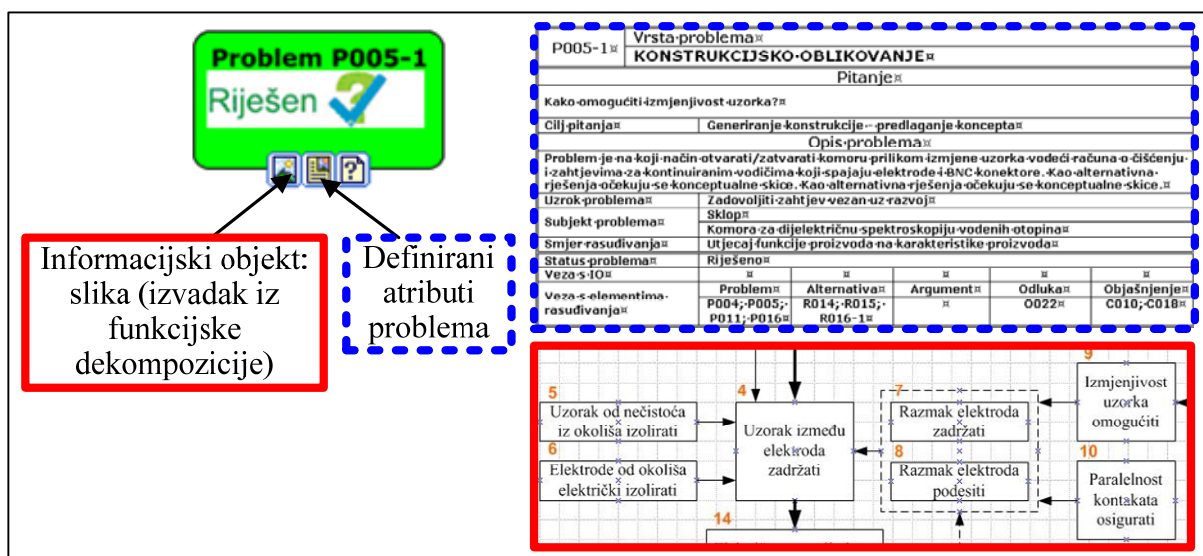
| | Aktivno | Prihvaćeno/ riješeno | Odbačeno |
|---------------------------|---------|-------------------------|----------|
| Problem | | | |
| Alternativa rješenja | | | |
| Argument | | | |
| Objašnjenje – činjenica | | | |
| Objašnjenje – analiza | | | |
| Objašnjenje – vrednovanje | | | |
| Odluka | | | |



Slika 7.1. Primjer *Konstruktivskog rasuđivanja* iskoristeno za potrebe eksperimenta

Osim veza među elementima znanja koji čine *Konstruktivsko rasuđivanje*, elementi mogu biti povezani i s drugim *Konstruktivskim rasuđivanjima* i informacijskim objektima. U pripremi izvještaja II pripremljeno je 69 informacijskih objekata na temelju informacija iz izvještaja I i tehničke dokumentacije.

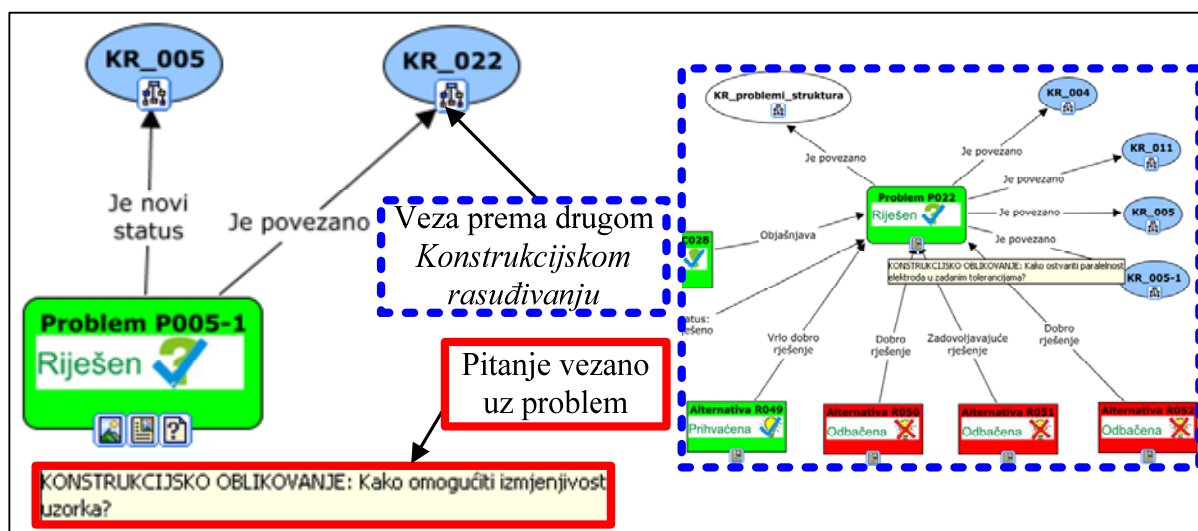
Uz grafički prikaz elementa konstruktivskog rasuđivanja koristeći alate dostupne u CmapTools V5.04 moguće je povezati datoteke u kojima se nalaze definirani atributi koji opisuju element, te informacijske objekte koji sadržavaju dodatne informacije o razmatranoj temi [Slika 7.2].



Slika 7.2. Otvaranje datoteke s definiranim atributima problema i informacijskog objekta

Na slici se nalazi primjer riješenog problema koji je opisan (njegovi atributi) u MS Office Word dokumentu (uokvireno plavom bojom) [Slika 7.2]. Uz problem su povezana dva informacijska objekta od kojih je jedan originalni dokument dijagramskog prikaza funkcijske dekompozicije (MS Office Visio dokument), a drugi je slika (JPG format) na kojoj je prikazan isječak tog dijagrama (uokvireno crvenom bojom). U strukturi jednog konstruktivskog rasuđivanja definirane su veze prema drugim konstruktivskim rasuđivanjima (uokvireno plavom bojom) [Slika 7.3]. Da bi ispitanicima bilo jednostavnije pretraživati strukturu KR, prelaskom pokazivača preko elementa u KR otvara se oblak sa skraćenim informacijama o elementu. Za problem prikazuje se vrsta problema i pitanje (uokvireno crvenom bojom) [Slika 7.3].

Sva konstruktivska rasuđivanja i njihovi elementi imaju oznake (npr. P005, R049) koje služe u svrhu identifikacije.



Slika 7.3. Otvaranje drugog konstrukcijskog rasuđivanja koji je u vezi s problemom

7.1.4. Pitanja za eksperiment

Pitanja su pripremljena na način da je na njih moguće odgovoriti služeći se s bilo kojom od dvije ponuđene vrste izvještaja (prvom standardnom ili drugom strukturiranom vrstom izvještaja) [Tablica 7.7].

Tablica 7.7. Pitanja i odgovori vezani uz eksperiment

| R. broj i grupa | Pitanje | Odgovor | Broj navoda | |
|-----------------|---------|--|---|----|
| I | 1 | Koji su motivi za razvoj komore za dielektričnu spektroskopiju? | Razvijena je nova metoda mjerenja, testni prototip je potvrdio novu metodu mjerenja, konstrukcijski nedostaci prototipne komore, postoji potencijal za komercijalizacijom mjerne komore | 4 |
| | 2 | Koji su konstrukcijski nedostaci uočeni na prototipnoj komori (trebaju biti otklonjeni novom komorom)? | Način ugradnje elektroda od platine, oblik elektroda, dimenzije elektroda, velika dužina vodiča od elektrode do BNC konektora, otvaranje komore kod izmjene uzorka, smanjenje veličine komponenata za grijanje/hlađenje, mali broj termometara, potreba za hlađenje vodom, priključivanje komore na mjerni uređaj Agilent, ovisnost nosača komore o okolini (stalak uređaja) u smislu prijenosa mjernog postava na drugo mjesto, potrebno svaki puta odvajati vodiče Peltiera iz banana konektora | 11 |
| II | 3 | Na koje zahtjeve naručitelja direktno utječe zahtjev za promjenom razmaka elektroda? | Omogućiti izmjenjivost uzorka, osigurati kontinuitet/neprekinutost vodiča od elektroda do BNC konektora, spriječiti utjecaj nečistoća (izvana) na mjerni uzorak, brtviti komoru, ostvariti paralelnost elektroda u zadanim tolerancijama, primjena komore za mjerenje različitih veličina mjernog uzorka | 6 |
| | 4 | Koji su razlozi primjene prstenastih etalona za podešavanje razmaka između elektroda? | Etalon ostaje u komori tijekom mjerenja tako da nema potrebe za njegovim izvlačenjem nakon određivanja razmaka elektrode, broj dijelova koji imaju funkciju regulacije razmaka je mali, cijena izrade etalonskih prstena je značajno niža od regulacije pomoću navoja, promjena razmaka između elektroda se ne dešava često, zadržavanje i podešavanje razmaka između elektroda, ostvarivanje tolerancije paralelnosti elektroda | 6 |

| | | | | |
|-----|---|--|---|---|
| III | 5 | Koje alternative spajanja mjernog postava na mjerni uređaj su razmatrane, te koje su prednosti i nedostaci uočeni kod predloženih alternativa? | Zaseban nosač, zajednički nosač, direktno oslanjanje na uređaj, ovisnost mjernog postava o položaju mjernog uređaja (Agilent), preciznost spajanja komore s mjernim uređajem, povoljna cijena, broj dijelova, gabariti mjernog postava, brzina spajanja | 9 |
| | 6 | Koja svojstva proizvoda su utjecala na odabir načina vođenja kućišta komore za spajanje s BNC konektorima na "Agilent" mjerni uređaj? | Eksploatacijska svojstva, ekonomska svojstva, proizvodna svojstva, funkcionalnost | 4 |
| IV | 7 | Koji su problemi (zahtjevi) razmatrani kod odabira rješenje zatvaranja komore polugom s ekscentrom? | Promjena razmaka između elektroda, osiguranje kontinuiteta vodiča kod zatvaranja, omogućiti izmjenjivost uzorka, zadržati paralelnost mjernih elektroda, izbjeći korištenje dodatnih alata za otvaranje/zatvaranje poklopca komore | 5 |
| | 8 | Koji argumenti su bili ključni kod odabira rješenja spajanja mjernog postava na mjerni uređaj? | Osigurana preciznost spajanja mjerne komore na mjerni uređaj, neovisnost mjernog postava o položaju mjernog uređaja (Agilent), izvođenje u okviru planiranog budžeta | 3 |

U tablici je prikazano četiri grupe po tri pitanja, te potpuni odgovori koji su očekivani od ispitanika tijekom eksperimenta. Pitanja i odgovori sadržavali su informacije iz raznih dijelova pripremljenih izvještaja. Ovisno o pitanju u odgovoru se očekivalo od dva do osam navoda. Na taj način moglo se provesti mjerenje potpunosti i ispravnosti odgovora.

7.1.5. Prikupljanje eksperimentalnih podataka

U pripremi eksperimenta uočeni su sljedeći zahtjevi koje je bilo nužno zadovoljiti:

- Potrebno je zabilježiti grupu sudionika, grupu pitanja i vrstu izvještaja koja se koristi za odgovaranje na pitanja.
- Potrebno je zabilježiti odgovore na pitanja.
- Kontrolirati provedbu eksperimenta kako bi se osiguralo da sudionici izvršavaju zadatke na način kako je u eksperimentu predviđeno.
- Primijeniti metodu prikupljanja podataka koja omogućava sudjelovanje većeg broja sudionika u isto vrijeme.
- Koristiti računalne alate (aplikacije) koji su sudionicima eksperimenta poznati ili zahtijevaju minimalni trud za učenje.

Obzirom na prethodno definirane zahtjeve vezane uz pripremu eksperimenta odabran je Microsoft Excel kao računalni alat za prikupljanje i obradu eksperimentalnih podataka.

7.2. Rezultati analize eksperimentalnih podataka

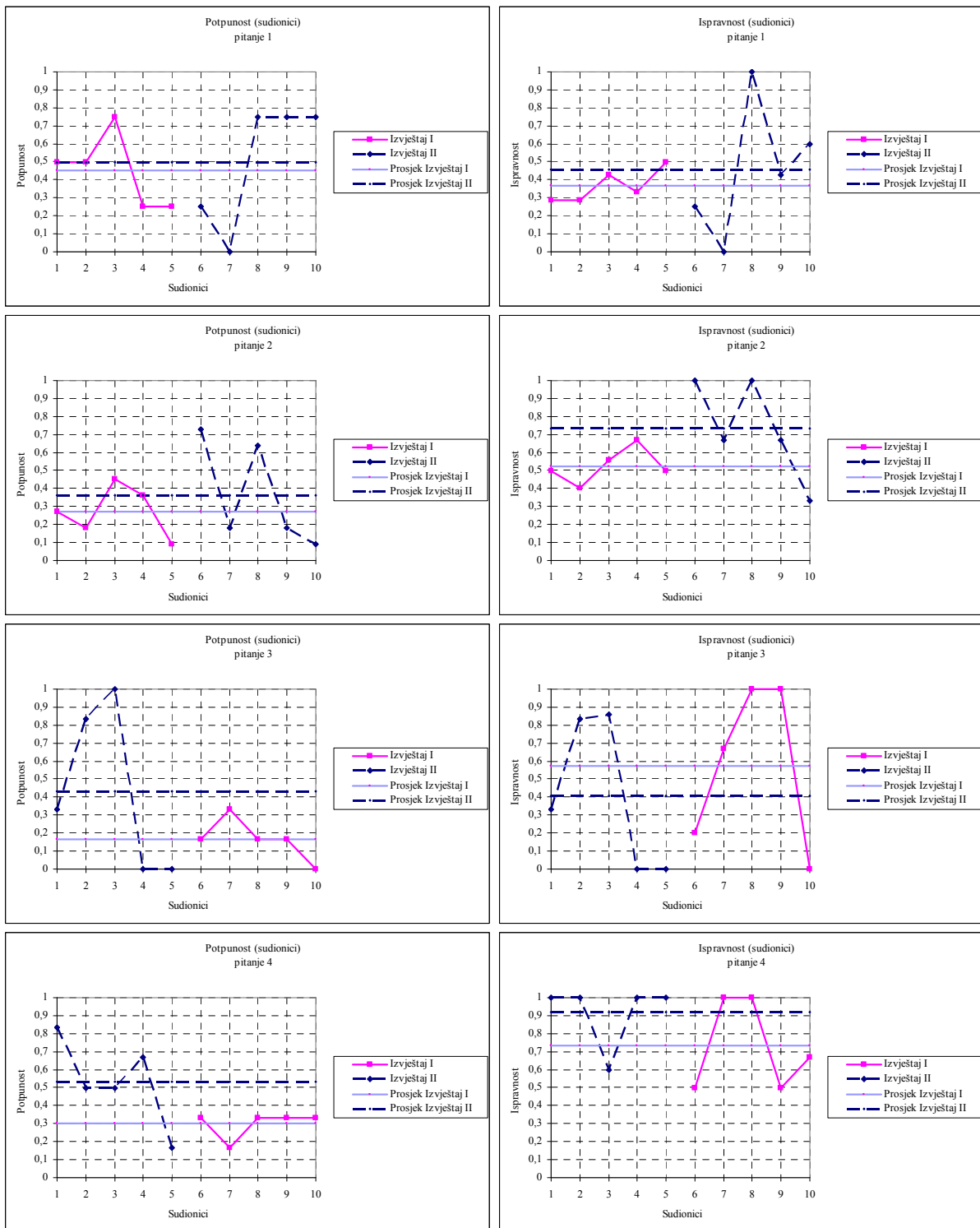
Odgovori na pitanja koje su dali sudionici eksperimenta analizirani su obzirom na potpunost i ispravnost⁷⁶. Kako bi se u nastavku poglavlja lakše pratili dijagramski prikazani rezultati analize u tablici je navedena pripadnost sudionika po grupama [Tablica 7.8].

Tablica 7.8. Podjela studenata po grupama

| Grupa ispitanika | Sudionik |
|------------------|----------|
| A | 1 |
| | 2 |
| | 3 |
| | 4 |
| | 5 |
| B | 6 |
| | 7 |
| | 8 |
| | 9 |
| | 10 |

Rezultati sudionika grupe su povezani crtom kako bi se istaknula pripadnost grupi te na taj način olakšalo objašnjavanje. Ovisno o vrsti izvještaja kojeg su koristili za odgovaranje na pitanja mijenja se vrsta crte (izvještaj I – puna crta, izvještaj II – isprekidana crta). Dijagrami prikazuju rezultate potpunosti (lijeva kolona) i ispravnosti (desna kolona) po sudionicima za svako pitanje. Osim toga prikazane su i srednje vrijednosti rezultata za svaku grupu (izvještaj I – horizontalna puna crta, izvještaj II – horizontalna isprekidana crta). Iz prikazanih dijagrama vidljivo je da su srednje vrijednosti rezultata potpunosti odgovora u svim pitanjima veće ukoliko su ispitanici koristili izvještaj II [Slika 7.4 i Slika 7.5]. Ako se usporede srednje su vrijednosti rezultata ispravnosti odgovora, osim za dva pitanja, također su veće ukoliko su ispitanici koristili izvještaj II. Ako se detaljnije promotre odgovori na 3. i 6. pitanje, razlog boljih rezultata ispravnosti krije se iza loših rezultata potpunosti odgovora. Naime, razlike srednjih vrijednosti potpunosti odgovora na oba pitanja iznose otprilike 30% (u korist izvještaja II). To znači da su ispitanici uz pomoć izvještaja I nepotpuno odgovorili na pitanja, ali su predloženi odgovori bili ispravni, te na taj način utjecali na bolji rezultat srednje vrijednosti ispravnosti odgovora. Iz dijagrama je vidljivo da su potpunost i ispravnost odgovora na određena pitanja za dio sudionika jednaki nuli. To ne znači da nisu predložili odgovor, već da nisu predložili niti jedan ispravan navod u odgovoru.

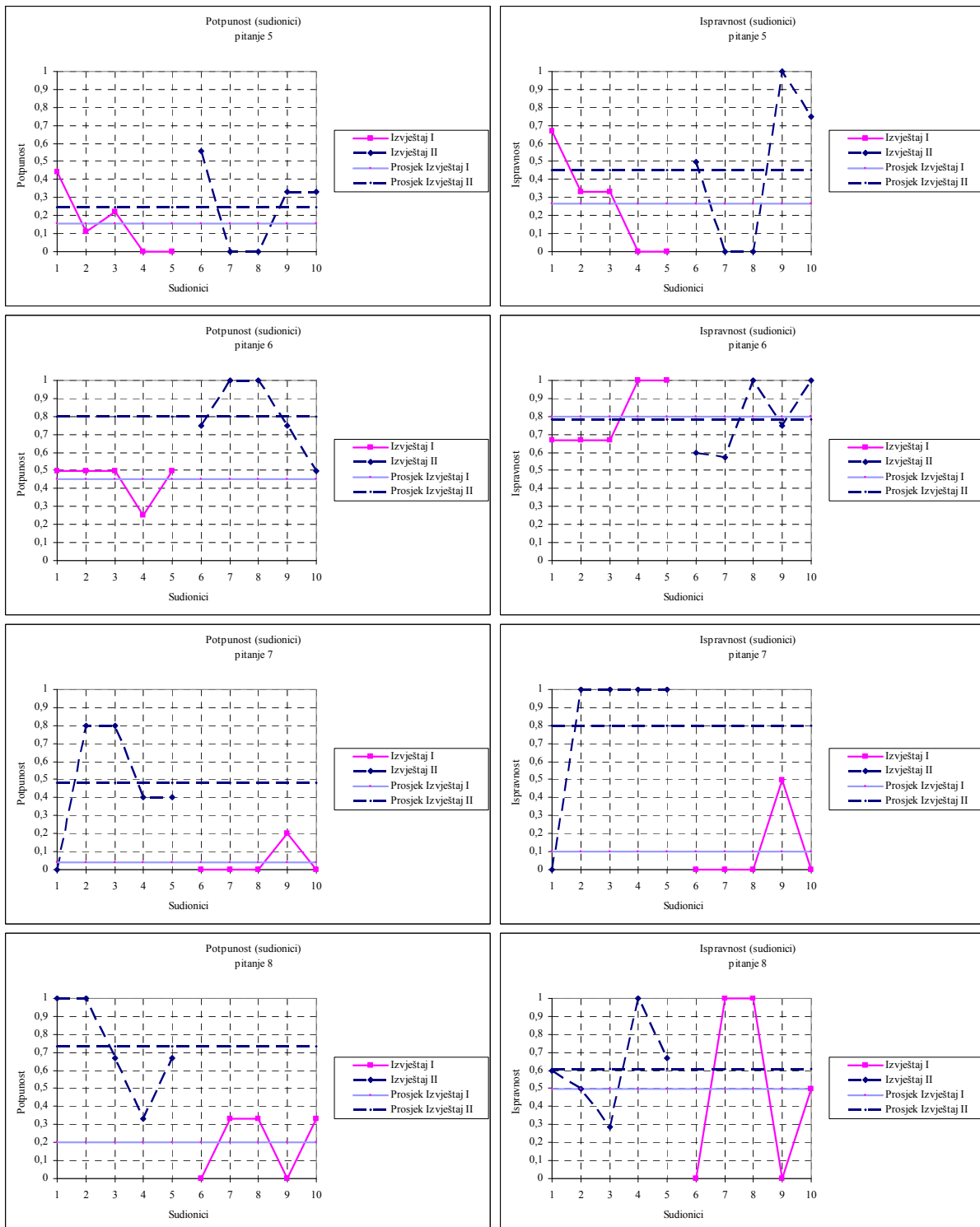
⁷⁶ Definicije navedenih mjernih veličina prikazane su u poglavlju 7.1.



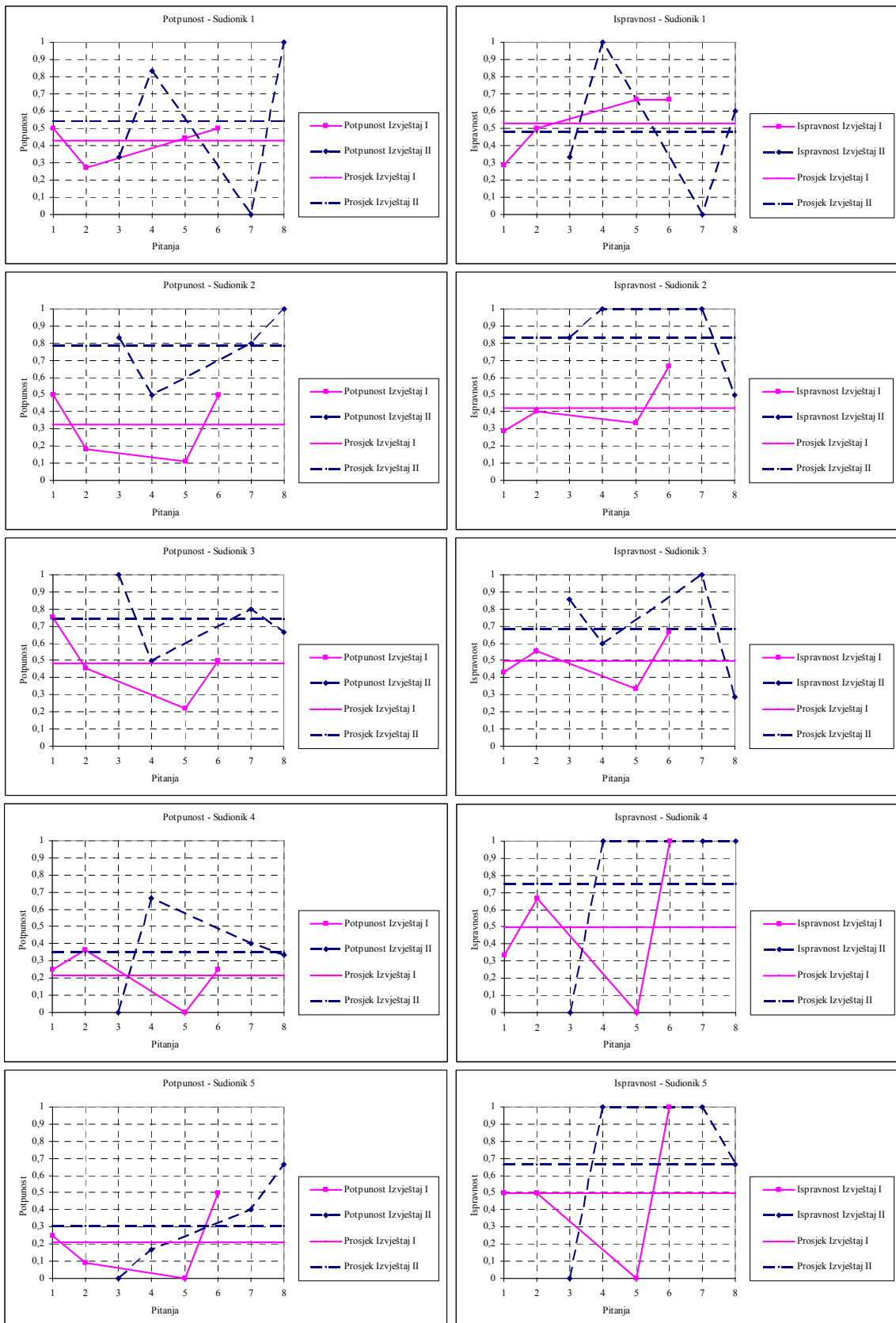
Slika 7.4. Usporedba izvještaja I i II prema potpunosti i ispravnosti odgovora (pitanja 1-4)

Srednje vrijednosti rezultata potpunosti odgovora, po pitanjima na koje su ispitanici odgovarali koristeći izvještaj II, su veće od onih na koje su odgovarali koristeći izvještaj I [Slika 7.6 i Slika 7.7]. Ako se usporede srednje su vrijednosti rezultata ispravnosti odgovora,

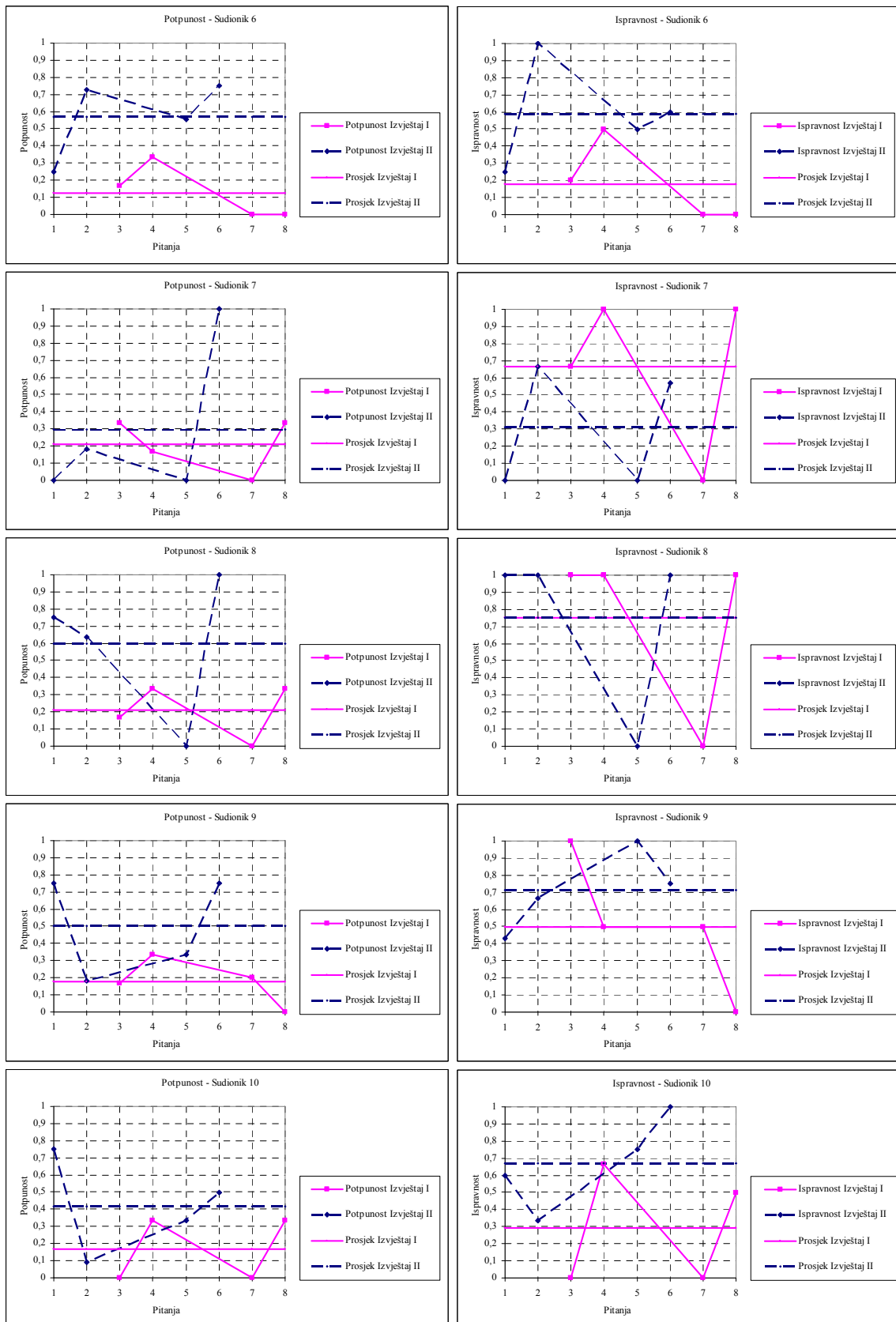
osim za 1. i 7. sudionika, također su veće kod onih pitanja na koje su ispitanici koristili izvještaj II.



Slika 7.5. Usporedba izvještaja I i II prema potpunosti i ispravnosti odgovora (pitanja 5-8)



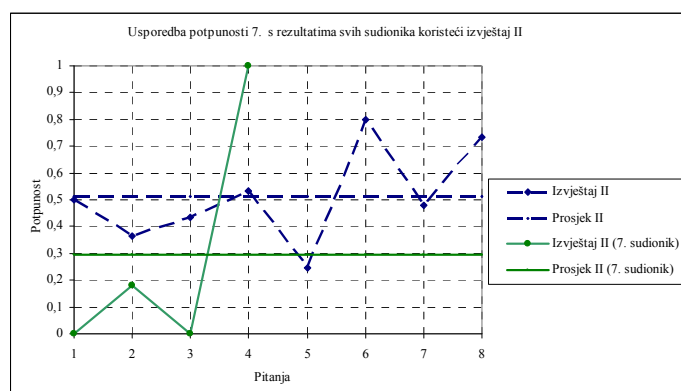
Slika 7.6. Usporedba prema potpunosti i ispravnosti odgovora sudionika 1 do 5



Slika 7.7. Usporedba prema potpunosti i ispravnosti odgovora sudionika 6 do 10

Kod 1. ispitanika razlika srednje vrijednosti rezultata ispravnosti odgovora nije značajna i iznosi 5% (za izvještaj I = 0.53; za izvještaj II = 0.48) [Slika 7.6]. Razlog boljeg rezultata ispravnosti kod 1. sudionika može se biti zbog nešto lošijih rezultata potpunosti odgovora. Naime, razlike srednjih vrijednosti potpunosti odgovora 1. sudionika iznose otprilike 10% (u korist izvještaja II), no razlika nije značajna pa se ne može uzeti kao glavni razlog za prikazani rezultat.

Razlika srednje vrijednosti rezultata ispravnosti odgovora kod 7. ispitanika je značajna i iznosi 36% (za izvještaj I = 0.67; za izvještaj II = 0.31) [Slika 7.7]. Razlog boljeg rezultata ispravnosti kod 7. sudionika nije zbog lošijih rezultata potpunosti odgovora, jer razlika srednjih vrijednosti potpunosti odgovora iznosi svega 10% (u korist izvještaja II). Tijekom razgovora sa sudionicima nakon provedenog eksperimenta ustanovljeno je da se neki sudionici nisu najbolje snašli s radom u aplikaciji CmapTools V5.04. Stoga se prikazani rezultat može tome pripisati. Navedeni zaključak može se potvrditi usporedbom rezultata 7. sudionika s rezultatima svih sudionika (izvještaj II) [Slika 7.8]. Iz dijagrama se može vidjeti da srednja vrijednost potpunosti 7. sudionika odstupa otprilike 20% od rezultata srednje vrijednosti svih sudionika (računajući i njega).

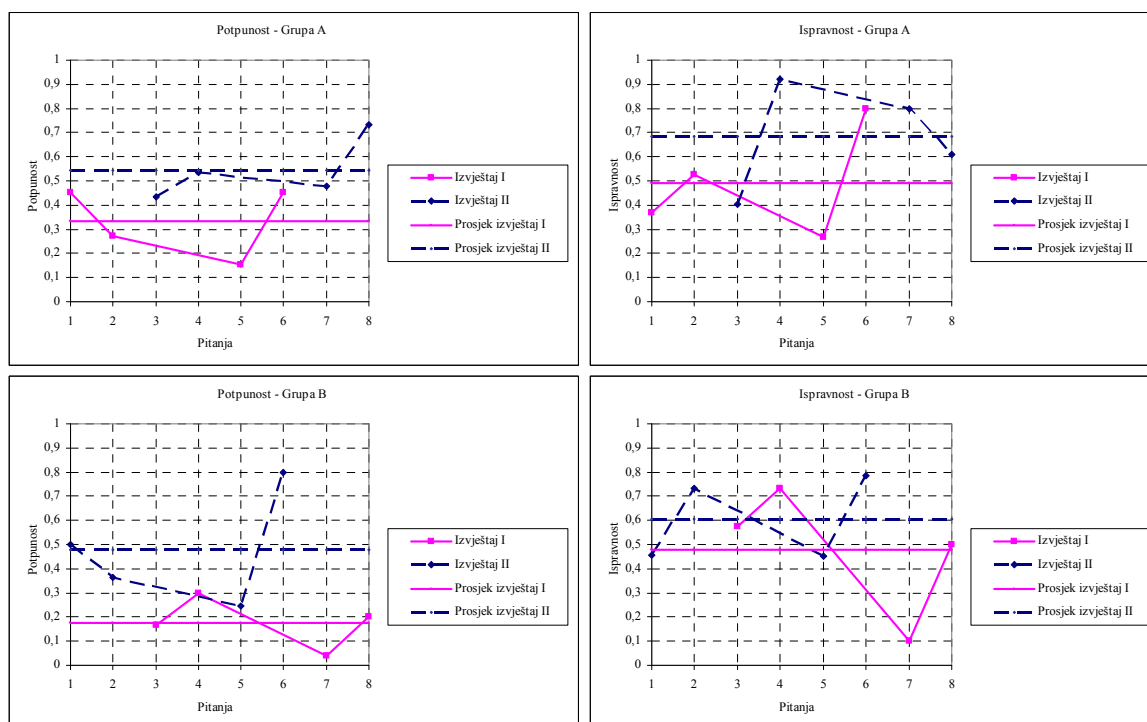


Slika 7.8. Usporedba potpunosti odgovora 7. sudionika s rezultatima svih sudionika za izvještaj II

U nastavku analize rezultata eksperimenta prikazana je usporedba izvještaja I i II promatrajući potpunost i ispravnost odgovora koja su ponudile grupa A odnosno grupa B [Slika 7.9]. Ovisno o vrsti izvještaja pomoću kojeg su sudionici odgovarali na pitanja mijenja se vrsta crte za prikaz rezultata (izvještaj I – puna crta, izvještaj II – isprekidana crta). Dijagrami prikazuju rezultate potpunosti (lijeva kolona) i ispravnosti (desna kolona) po grupama sudionika za

svako pitanje. Također su prikazane i srednje vrijednosti rezultata za svaku grupu (izvještaj I – horizontalna puna crta, izvještaj II – horizontalna isprekidana crta).

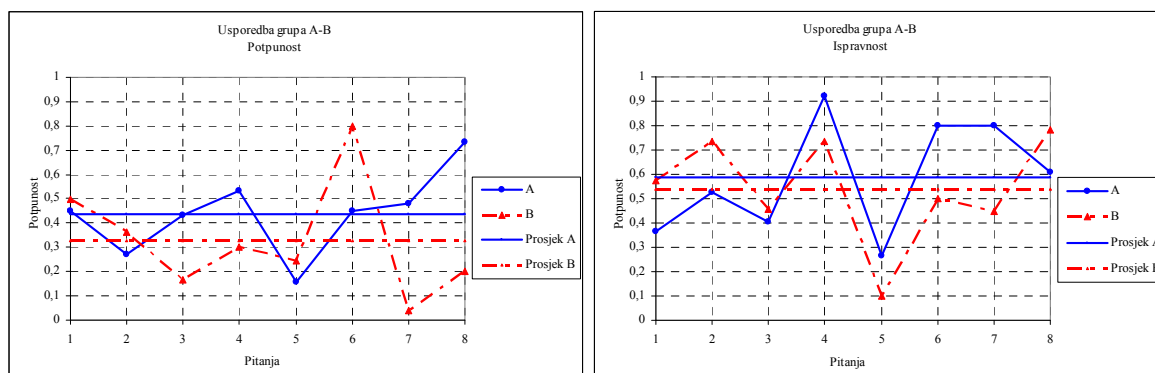
Iz prikazanih dijagrama vidljivo je da su obje grupe sudionika odgovarale potpunije i ispravnije na pitanja koristeći izvještaj II. Rezultati srednje vrijednosti za potpunost odgovora su za 22% bolji kod grupe A, a 30% kod grupe B u korist izvještaja II. S druge strane rezultati srednje vrijednosti za ispravnost odgovora su za 19% bolji kod grupe A, a 13% kod grupe B u korist izvještaja II.



Slika 7.9. Usporedba izvještaja I i II prema potpunosti i ispravnosti (grupe A i B)

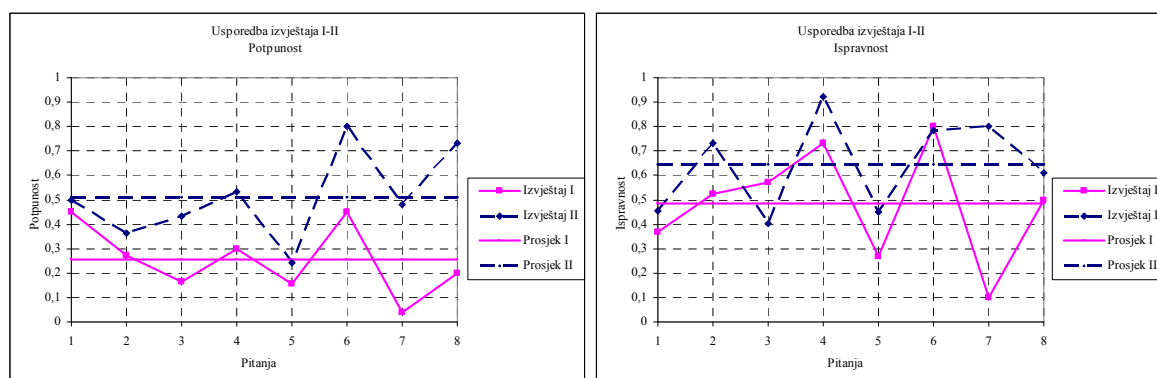
Kada se uspoređi potpunost i ispravnost odgovora koja su ponudile grupe A i B na jednom dijagramu vidi se da su rezultati grupe A bolji i za potpunost i za ispravnost [Slika 7.10]. Zanimljiv zaključak se može izvesti gledajući dijagram usporedbe potpunosti grupa A i B. Iako je srednja vrijednost potpunosti za grupu A veća za 11% od grupe B, može se uočiti da je za pitanja 1, 2, 5 i 6 rezultat grupe B bolji. Naime, navedeni rezultat proizlazi zbog činjenice što su na ta pitanja sudionici grupe B odgovarali uz pomoć izvještaja II. Ako se usporede rezultati ispravnosti odgovora grupe A i B, može se vidjeti da je srednja vrijednost grupe A neznatno bolja od grupe B (5%). Za razliku od rezultata vezanih uz potpunost odgovora, kod rezultata vezanih uz ispravnost odgovora na pitanja 5 i 6 sudionici grupe B imaju lošiji rezultat ispravnosti odgovora usprkos tome što su koristili izvještaj II. No, to se može

objasniti činjenicom da su na pitanja 5 i 6 predložili više navoda u odgovorima (potpuniji odgovori), ali s više pogrešnih navoda [Slika 7.10 lijevo].



Slika 7.10. Usporedba odgovora grupa A i B prema potpunosti i ispravnosti

Na kraju analize rezultata eksperimenta prikazana je usporedba potpunosti i ispravnosti odgovora na sva pitanja temeljena na izvještajima I i II [Slika 7.11]. Iz dijagrama se može vidjeti da je srednja vrijednost potpunosti odgovora 26% veća, a srednja vrijednost ispravnosti odgovora 16% veća u korist izvještaja II.



Slika 7.11. Usporedba odgovora prema potpunosti i ispravnosti koristeći izvještaje I i II

7.3. Implikacije na rad

Vrednovanje predloženoga modela prikupljanja znanja odnosno konstrukcijskih rasuđivanja vezanih uz razvoj proizvoda provedeno je u obliku eksperimenta. Sudionici eksperimenta koristili su informacije prikupljene tijekom razvoja komore za dielektričnu spektroskopiju vodenih otopina kako bi odgovarali na pitanja. U eksperimentu se vrednovanje modela prikupljanja znanja temeljilo na usporedbi potpunosti i ispravnosti odgovora sudionika koji su naizmjenično koristili dvije vrste izvještaja kao izvor informacija. Jedna vrsta predstavljala je standardni izvještaj o rezultatima razvoja proizvoda (MS Office Word dokument), dok je

druga vrsta izvještaja sadržavala strukturirane informacije koristeći elemente i pravila koja su predložena u 6. poglavlju. Rezultati vrednovanja potvrdili su pretpostavke istraživanja. Može se reći kako definirani elementi konstrukcijskih rasuđivanja i njihovi atributi olakšavaju razumijevanje informacija o proizvodu i razvoju proizvoda, te predstavljaju temelj za učinkovito pretraživanje zapisanih informacija. Bez obzira na dobre eksperimentalne rezultate osnovni preduvjet realne implementacije predloženog modela prikupljanja znanja jest njegova ugradnja u okoliš suvremenog alata za podršku razvoju proizvoda. Time bi se zaokružila cjelina i napravio korak bliže k definiranju sustava za prikupljanje znanja odnosno konstrukcijskih rasuđivanja vezanih uz razvoj proizvoda. Tek nakon ispitivanja i testiranja sustava u realnom procesu konstruiranja mogao bi se uočiti stvarni utjecaj predloženog modela na razumijevanje i pretraživanje informacija o proizvodu i razvoju proizvoda. Na taj su način otvoreni smjerovi budućeg istraživanja.

PRIJEDLOG IMPLEMENTACIJE U PLM SUSTAV

U nastavku je prikazan prijedlog strukture zapisa konstrukcijskog rasuđivanja kao proširenje PLM sustava⁷⁷. Namjera autora je ovim poglavljem pokazati mogućnost implementacije na način da se iskoriste mehanizmi postojećeg komercijalnog PLM sustava.

8.1. Klase i atributi *Konstrukcijskog rasuđivanja* u proširenom PLM sustavu

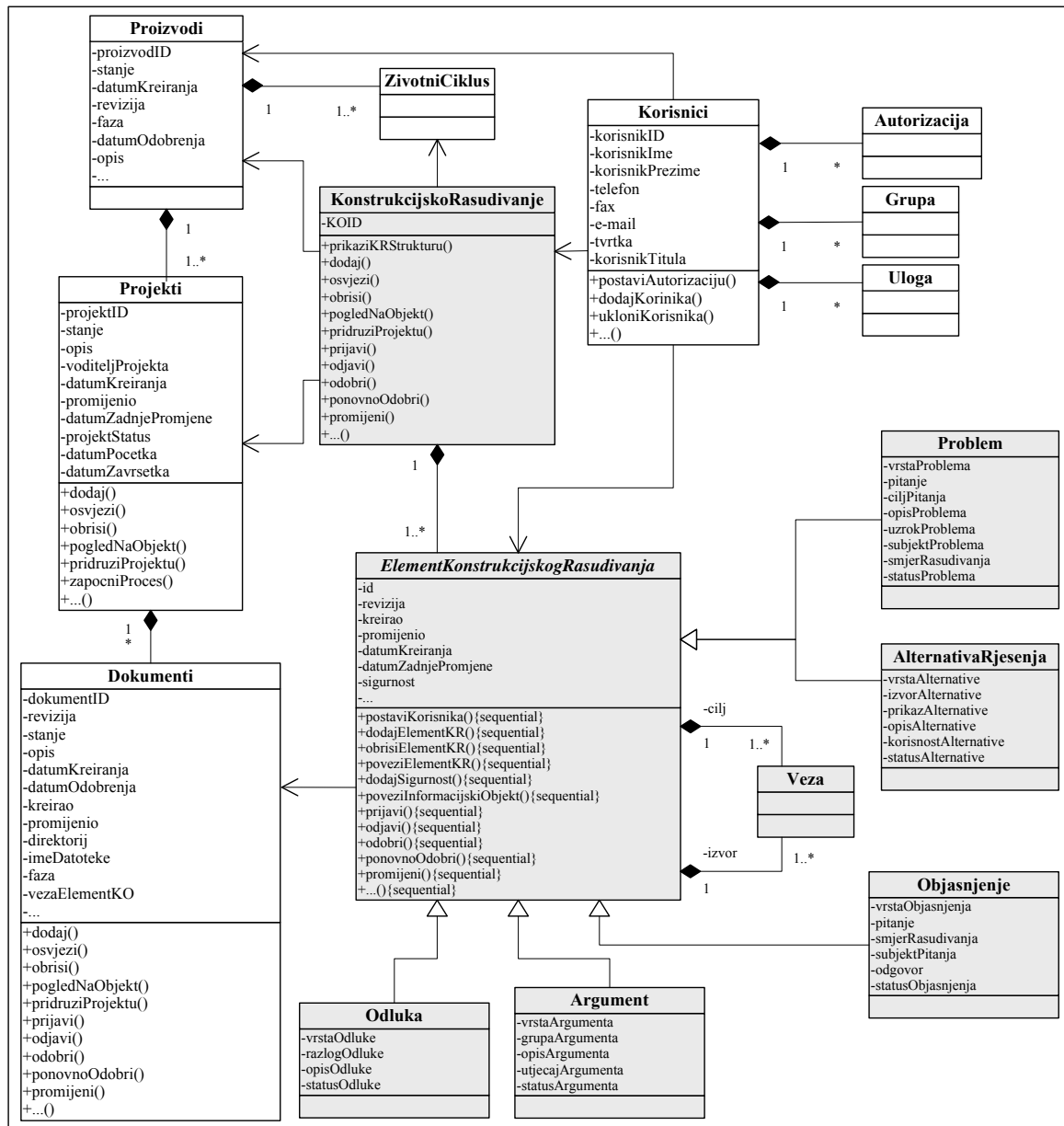
U svrhu prikupljanja *Konstrukcijskog rasuđivanja* (KR) tijekom procesa konstruiranja predlaže se proširenje postojećeg PLM sustava s novim klasama i atributima. Primjena proširenog PLM sustava omogućit će prikupljanje *Konstrukcijskih rasuđivanja*, ali i njegovo povezivanje s informacijskim objektima kao što su specifikacije, proračuni, CAD dokumenti te s informacijama vezanim uz konstrukcijske zadatke, faze procesa konstruiranja, varijante proizvoda, revizije, korisnike, itd.. U nastavku ovog poglavlja, kao primjer PLM sustava za koji se prikazuje proširenje novim klasama iskorišten je sustav SmarTeam⁷⁸.

Na slici su sivom bojom prikazane klase elemenata KR i veze prema postojećim klasama u PLM sustavu [Slika 8.1]. *Konstrukcijsko rasuđivanje* je agregacija više *Elementa rasuđivanja* u koje spadaju: (1) Problemi; (2) Alternative; (3) Argumenti; (4) Objašnjenja i

⁷⁷ Pojam je opširnije objašnjen u poglavlju 2.9.1.

⁷⁸ SmarTeam Corporation Ltd.

(5) Odluke. Atributi elemenata KR detaljno su obrađeni u poglavlju 6.1. Klasa *ElementKonstrukcijskogObrazlozenja* definirana je kao apstraktna klasa koja sadrži attribute i operacije zajedničke za sve podklase (ujedno elemente KR).

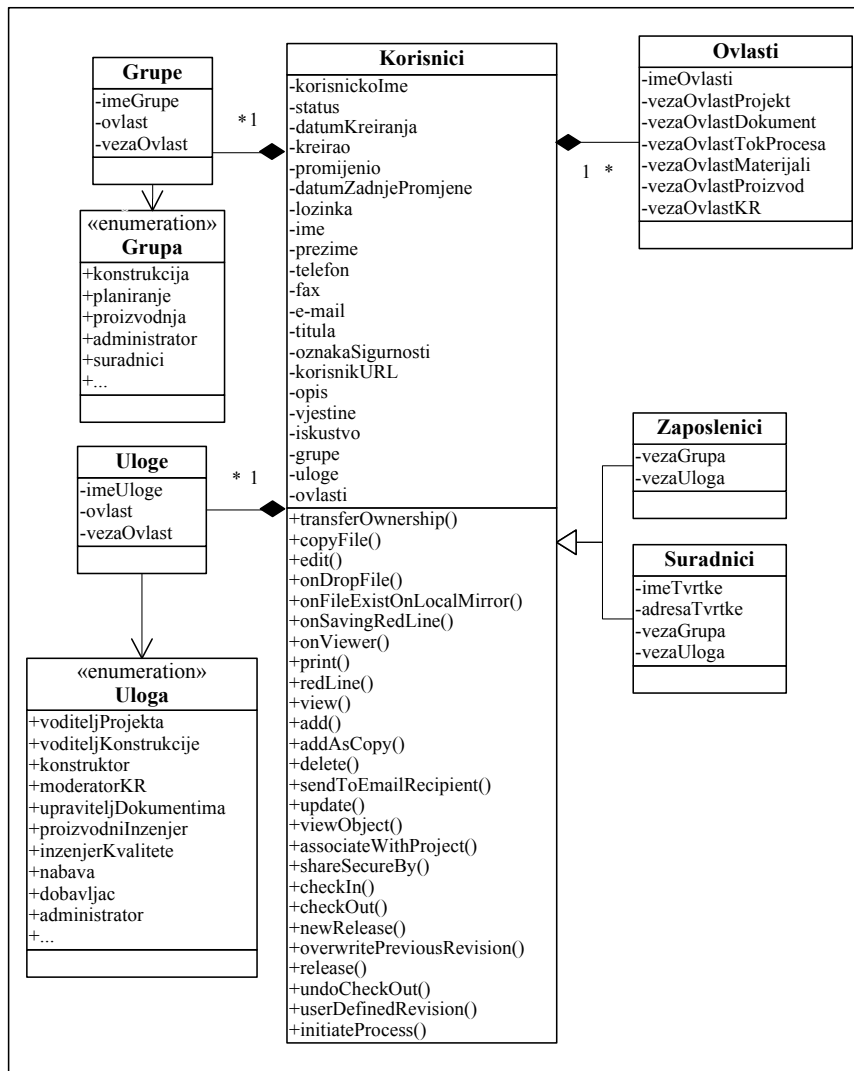


Slika 8.1. UML dijagram klasa proširenog PLM sustava

8.1.1. Klasa *Korisnici*

Klasa *Korisnici* definirana je kao apstraktna klasa koja sadrži attribute i operacije zajedničke za nekoliko podklasa [Slika 8.2]. U proširenom PLM sustavu klasa *Korisnici* je generalizacija dvaju podklasa *Zaposlenici* i *Suradnici*. To znači da individualni korisnik PLM sustava može biti zaposlenik tvrtke ili vanjski suradnik kao zaposlenik neke druge tvrtke. Svakom korisniku

dodjeljuje se jedna ili više *Uloga* koje posjeduju određene *Ovlasti* u radu s objektima unutar PLM sustava. Korisnik je ujedno pridružen jednoj ili više *Grupama*⁷⁹, pri čemu svaka *Grupa* posjeduju određene *Ovlasti*.



Slika 8.2. Struktura klase *Korisnici*

Lista *Uloga* prikazana na slici predstavlja prijedlog autora za potrebe objašnjavanja u disertaciji, te se može prilagoditi prema potrebama tvrtke [Slika 8.2].

Radi jednostavnijeg objašnjavanja grupirane su uloge moderatora (problema, alternative, argumenta, objašnjenja, odluke) u jednu ulogu moderatorKR koje se odnose na zapisivanje znanja u PLM sustavu. U realnom slučaju jedan *Korisnik* može imati više uloga iz navedene liste. U tablici je predložena lista *Uloga* grupe *Konstrukcija* [Tablica 8.1].

⁷⁹ Ovisno o organizaciji i načinu rada tvrtke korisnici mogu biti pridruženi timovima.

Tablica 8.1. Lista *Uloga* grupe *Konstrukcija* u proširenom PLM sustavu

| | Uloga |
|---|----------------------|
| 1 | voditeljProjekta |
| 2 | voditeljKonstrukcije |
| 3 | konstruktor |
| 4 | moderatorKR |

Uz uloge korisnika dolaze i *Ovlasti* koje su pridružene svakoj *Ulozi*. Ovlasti se odnose na prava izvođenja određenih operacija nad objektima unutar PLM sustava. Kao primjer prikazana je lista operacija grupiranih ovisno o tipu mehanizma⁸⁰ koje se mogu provoditi nad elementima KR [Tablica 8.2].

Tablica 8.2. Operacije koje se mogu provoditi nad elementima KR

| Operacija | Mehanizam |
|---|---|
| Prenesi vlasništvo (eng. transfer ownership) | Suradnja (eng. collaborative design) |
| Dodaj (eng. add) | Upravljanje objektima (eng. object management) |
| Dodaj kao kopiju (eng. add as copy) | |
| Obriši (eng. delete) | |
| Pošalji elektronsku poštu primatelju (eng. send to email recipient) | |
| Pošalji smarteam primatelju (eng. send to smarteam recipient) | |
| Osvježi (eng. update) | |
| Pogledati objekt (eng. view object) | |
| Poveži s projektom (eng. associate with project) | Ovlasti na projektu (eng. project-based authorizations) |
| dijeli sigurnost sa (eng. share secure by) | Kontrola revizija (eng. revision control) |
| Prijavi (eng. check in) | |
| Odjavi (eng. check out) | |
| Ponovno odobri (eng. new release) | |
| Piši preko prethodne revizije (eng. overwrite previous revision) | |
| Odobri (eng. release) | |
| Poništi odjavu (eng. undo check out) | Tok rada (eng. work flow) |
| Pokreni proces (eng. initiate process) | |

Ovisno o vrsti operacije *Korisnici* određenih *Uloga* imaju različite ovlasti nad objektima koji se u PLM sustavu nalaze u jednom od stanja životnog ciklusa⁸¹ [Tablica 8.3].

Ukoliko se jednom *Korisniku* dodijeli više *Uloga* (ovisno o broju i vrsti projekata na kojima radi, grupa kojima je dodijeljen) ukupne *Ovlasti* predstavljaju zbroj svih pojedinačnih ovlasti na sljedeći način⁸²:

- Dopušteno + dopušteno = dopušteno ("+" i "+" = "+")
- Uskraćeno + uskraćeno = uskraćeno ("- i "-" = "-")
- Uskraćeno + dopušteno = uskraćeno ("-" i "+" = "-")

⁸⁰ U tablici je prikazana djelomična lista operacija grupiranih ovisno o tipu mehanizma u SMARTEAM sustavu (SmarTeam Corporation Ltd.) koje su prema mišljenju autora bitne za ovo istraživanje.

⁸¹ Stanja u životnom ciklusu objekata objašnjena su u poglavlju 8.2.1 [Tablica 8.4].

⁸² Dopušteno (eng. allow); Uskraćeno (eng. deny); Nebitno (eng. don't care)

- Dopušteno + nebitno = dopušteno ("+" i " " = "+")
- Uskraćeno + nebitno = uskraćeno ("- " i " " = "-")
- Nebitno + nebitno = nebitno (" " i " " = " ")

U slučaju da je rezultat zbroja "nebitno" tada se operacija definira kao "uskraćeno".

Tablica 8.3. Ovlaсти koje imaju *Korisnici* određenih *Uloga* nad elementima KR

| Operacija | Stanje objekta u PLM sustavu | | | |
|---|------------------------------|------------|-------------|----------|
| | New | Checked In | Checked Out | Released |
| Prenesi vlasništvo (eng. transfer ownership) | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Dodaj (eng. add) | 1;2;3;4 | - | 1;2;3;4 | - |
| Dodaj kao kopiju (eng. add as copy) | 1;2;3;4 | 1;2;3;4 | 1;2;3;4 | 1;2;3;4 |
| Obriši (eng. delete) | 1;2;3;4 | 1;2;3;4 | 1;2;3;4 | 1;2 |
| Pošalji elektronsku poštu primatelju (eng. send to email recipient) | 1;2;3;4 | 1;2;3;4 | 1;2;3;4 | 1;2;3;4 |
| Pošalji smarteam primatelju (eng. send to smarteam recipient) | 1;2;3;4 | 1;2;3;4 | 1;2;3;4 | 1;2;3;4 |
| Osvježi (eng. update) | 1;2;3;4 | 1;2;3;4 | 1;2;3;4 | - |
| Pogledati objekt (eng. view object) | 1;2;3;4 | 1;2;3;4 | 1;2;3;4 | 1;2;3;4 |
| Poveži s projektom (eng. associate with project) | 1;2 | 1;2 | 1;2 | 1;2 |
| dijeli sigurnost sa (eng. share secure by) | 1;2 | 1;2 | 1;2 | 1;2 |
| Prijavi (eng. check in) | 1;2;3;4 | - | 1;2;3;4 | - |
| Odjavi (eng. check out) | - | 1;2;3;4 | - | - |
| Ponovno odobri (eng. new release) | - | - | - | 1;2 |
| Piši preko prethodne revizije (eng. overwrite previous revision) | - | - | 1 | - |
| Odobri (eng. release) | 1;2 | 1;2 | 1;2 | - |
| Poništi odjavu (eng. undo check out) | - | - | 1;2;3;4 | - |
| Pokreni proces (eng. initiate process) | 1;2;3;4 | 1;2;3;4 | 1;2;3;4 | 1;2 |

8.2. Upravljanje životnim ciklusom *Konstruktivskog rasuđivanja*

Kako proizvod prolazi kroz različite faze u svom životnom ciklusu tako nastaju novi i/ili se mijenjaju postojeći objekti⁸³ *Konstruktivskog rasuđivanja*. Kreiranje i mijenjanje objekata rezultira pojavom različitih verzija i revizija. Pri tome je vrlo važno osigurati mehanizme zaštite od neovlaštenog mijenjanja, mehanizme koji različitim osobama onemogućavaju istovremeni rad s istim objektima *Konstruktivskog rasuđivanja*, te mehanizme koji olakšavaju rad s elementima KR (npr. kod kreiranja nove revizije KR poželjno je imati mogućnost istovremene revizije i svih njegovih elemenata).

⁸³ Objekti KR su zapisani problemi, alternative, argumenati, objašnjenja i odluke u bazi PLM sustava.

8.2.1. Osnovni koncepti upravljanja životnim ciklusom

Za upravljanje revizijama KR nužno je obratiti pozornost na:

- Tok objekata KR kroz različite faze razvoja proizvoda.
- Kontrolu i pristup različitim revizijama istog objekta KR.
- Ograničenje pristupa onim objektima KR koji su u postupku izmjene.

U procesu revizije *Konstruktivskog rasuđivanja* korisnik može poduzeti sljedeće akcije [Slika 8.3]:

- Odjaviti objekt *Konstruktivskog rasuđivanja* iz sustava⁸⁴ – nakon njegovog odjavljivanja iz sustava Korisnik ga može otvoriti i promijeniti.
- Prijaviti objekt *Konstruktivskog rasuđivanja* u sustav⁸⁵ – nakon njegovog prijavljivanja u sustav, on postaje vidljiv ostalim Korisnicima.
- Kopirati element *Konstruktivskog rasuđivanja*⁸⁶ – nakon kopiranja Korisnik ga može vidjeti, ali ga ne može mijenjati jer ga je drugi Korisnik odjavio iz sustava.
- Odobriti element *Konstruktivskog rasuđivanja*⁸⁷ – nakon njegovog odobrenja zapisano znanje postaje trenutno važeće i prema tome se poduzimaju sljedeći koraci u razvoju proizvoda. Kreiranjem nove revizije *Konstruktivsko rasuđivanje* je moguće odjaviti iz sustava, promijeniti, prijaviti u sustav i iznova odobriti.

Kada je u pitanju upravljanje *Konstruktivskim rasuđivanjem* koje se sastoji od više objekata potrebno je sačuvati integritet *Konstruktivskog rasuđivanja* pridržavajući se sljedećih pravila:

- Moguće je napraviti novu reviziju *Konstruktivskog rasuđivanja* i svih njegovih objekata istovremeno.
- U slučaju da se odobrava *Konstruktivsko rasuđivanje* tada svakom objektu *Konstruktivskog rasuđivanja* mora biti odobreno stanje u kojem se trenutno nalazi.

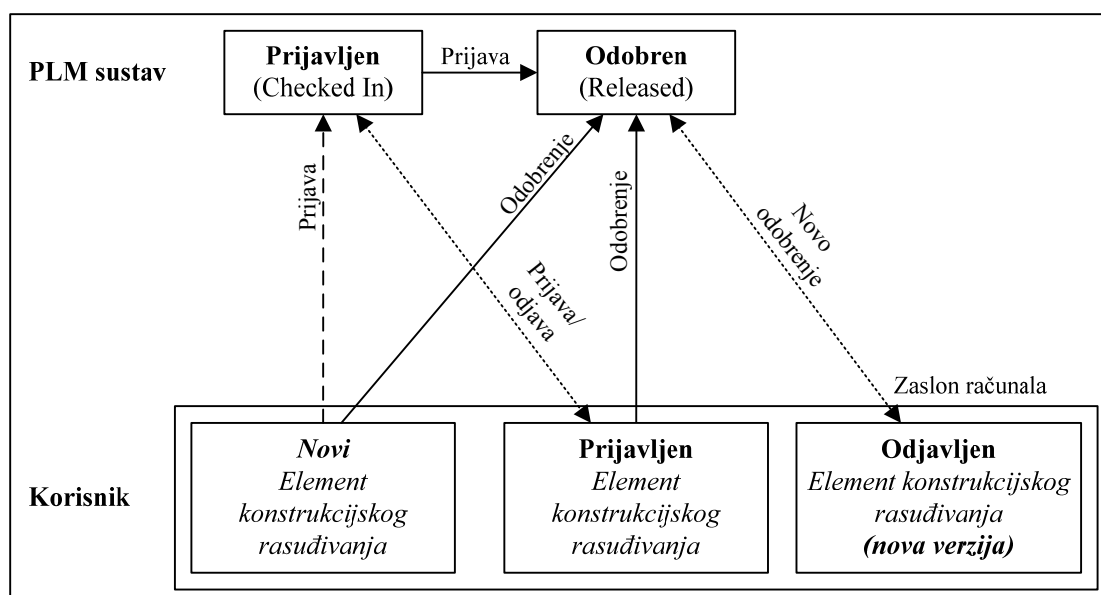
⁸⁴ eng. Check out the object from the vault.

⁸⁵ eng. Check in the object to the vault.

⁸⁶ eng. Copy a file.

⁸⁷ eng. Release the object by placing its file in the Released vault.

- Moguće je napraviti novu reviziju Konstrukcijskog rasuđivanja, ali ne nužno i njegovih objekata, također je moguće napraviti revizije njegovih objekata, ali ne nužno i Konstrukcijskog rasuđivanja.
- Moguće je odjaviti Konstrukcijsko rasuđivanje iz sustava, a da njegovi objekti ostanu u prijavljeni u sustavu.
- Moguće je odjaviti objekt Konstrukcijskog rasuđivanja, a da Konstrukcijsko rasuđivanje ostane prijavljeno u sustavu.
- Ukoliko je Konstrukcijsko rasuđivanje odjavljeno iz sustava, njegovi elementi ostaju prijavljeni u sustavu, ali ih je moguće pregledavati ako su kopirani u radno okruženje Korisnika.



Slika 8.3. Upravljanje životnim ciklusom *Konstrukcijskog rasuđivanja*

Koraci koje *Korisnik* izvodi tijekom upravljanja životnim ciklusom *Konstrukcijskog rasuđivanja* i/ili njegovih objekata su [Slika 8.3]:

1. Kreira novo *Konstrukcijsko rasuđivanje* ili neki njegov objekt.
2. Po prvi put prijavljuje novo *Konstrukcijsko rasuđivanje* ili neki njegov objekt u sustav (na taj način *Korisnik* štiti *Konstrukcijsko rasuđivanje* ili njegove objekte od promjena koje se ne mogu pratiti).
3. Odjavljuje postojeće *Konstrukcijsko rasuđivanje* ili neki njegov objekt iz sustava (na taj način *Korisnik* može promijeniti *Konstrukcijsko rasuđivanje* ili njegove objekte).

4. Prijavljuje promijenjeno *Konstruktivsko rasuđivanje* ili njegove objekte u sustav (na taj način se u sustavu evidentira promjena koja postaje vidljiva ostalim *Korisnicima*).
5. Odobrava postojeće *Konstruktivsko rasuđivanje* ili neki njegov objekt u sustavu (na taj način se u sustavu evidentira da *Konstruktivsko rasuđivanje* ili njegovi dijelovi mogu prijeći u narednu fazu razvoja proizvoda).
6. Odobrava već odobreno postojeće *Konstruktivsko rasuđivanje* ili neki njegov objekt u sustavu, nakon nove promjene (ukoliko se u narednoj fazi razvoja proizvoda pojavi potreba za promjenama *Konstruktivskog rasuđivanja* ili njegovih elemenata kreira se nova revizija koju *Korisnik* nakon promjena iznova odobrava).

Tablica 8.4. Stanja *Konstruktivskog rasuđivanja* i njegovih objekata u životnom ciklusu

| Stanje | Objašnjenje |
|--|--|
| Novo | <i>Konstruktivsko rasuđivanje</i> ili neki njegov objekt je novi, a kreirao ga je trenutni <i>Korisnik</i> . |
| Novo – netko drugi | <i>Konstruktivsko rasuđivanje</i> ili neki njegov objekt je novi, a kreirao ga je drugi <i>Korisnik</i> . |
| Odjavljeno | <i>Konstruktivsko rasuđivanje</i> ili neki njegov objekt je odjavljen iz sustava i prikazan na korisničkom sučelju <i>Korisnika</i> . |
| Odjavljeno – netko drugi | <i>Konstruktivsko rasuđivanje</i> ili neki njegov objekt je odjavljen iz sustava i prikazan na korisničkom sučelju drugog <i>Korisnika</i> . |
| Prijavljeno | <i>Konstruktivsko rasuđivanje</i> ili neki njegov objekt je prijavljen u sustav. |
| Prijavljeno – nije posljednja revizija | <i>Konstruktivsko rasuđivanje</i> ili neki njegov objekt je prijavljen u sustav, ali ne kao posljednja revizija. |
| Odobreno | <i>Konstruktivsko rasuđivanje</i> ili neki njegov objekt je odobren. |
| Odobreno – nije posljednja revizija | <i>Konstruktivsko rasuđivanje</i> ili neki njegov objekt je odobren, ali ne kao posljednja revizija. |
| Revidirano | <i>Konstruktivsko rasuđivanje</i> ili neki njegov objekt je u novoj reviziji. |
| Kopirano | <i>Konstruktivsko rasuđivanje</i> ili neki njegov element je kopiran u radno sučelje <i>Korisnika</i> koji ga ne može mijenjati. |

Ovisno o broju promjena u sadržaju *Konstruktivskog rasuđivanja* ili njegovih objekata neki od navedenih koraka se mogu ponavljati više puta ili se ne moraju nikada provesti (npr. 6. korak). Poduzimanjem različitih akcija tijekom upravljanja životnim ciklusom *Konstruktivskog rasuđivanja* i njegovih elemenata, ono može poprimiti različita stanja [Tablica 8.4].

8.2.2. Upravljanje procesom⁸⁸ zapisivanja objekata KR

Tijekom razvoja proizvoda odvijaju se radni procesi⁸⁹ koji zahtijevaju međusobno povezivanje ljudi, odjela, proizvoda, zadataka, itd.. Da bi se tvrtka uspješno nosila sa zahtjevima tržišta potrebno je pratiti i upravljati informacijskim objektima tijekom provođenja tih procesa. Pri tome je glavni cilj povećanje efikasnosti rada i smanjenje troškova unutar tvrtke.

Ovisno o ulogama i ovlastima u procesu razvoja proizvoda *Korisnici* trebaju poduzimati određene aktivnosti i/ili operacije vezane uz zapisivanje i/ili upravljanje objektima KR. Rezultati njihovih aktivnosti i operacija omogućavaju ostalim sudionicima (*Korisnicima*) poduzimanje novih aktivnosti i operacija s ciljem napredovanja u procesu razvoja proizvoda. U nastavku ovog poglavlja predložen je slijed definiranja atributa za status objekata *Konstruktivskog rasuđivanja*.

8.2.2.1. Proces definiranja *Statusa problema*

*Problem*⁹⁰ je element KR na najvišoj razini hijerarhije, stoga prepoznavanje, a zatim i definiranje novog problema podrazumijeva dodjeljivanje novih zadataka i aktivnosti ljudima koji sudjeluju u razvoju proizvoda. To znači da se definiciji problema i njegovom prihvaćanju mora posvetiti osobita pozornost kako razvoj proizvoda ne bi krenuo u krivom smjeru.

Probleme definiraju *Korisnici* koji u razvojnom procesu imaju ulogu *Moderatora KR* (*Moderator KR* je najčešće *Konstruktor*). Za svaki problem u PLM sustavu *Moderator KR* mora definirati attribute *Problema*. Nakon što *Moderator KR* po prvi put prijavi *Problem* u PLM sustav⁹¹, *Status problema* je aktivan [Slika 8.4]. Zadatak *Voditelja konstrukcije* je odlučiti o tome postoje li opravdani razlozi za njegovim rješavanjem. Ukoliko postoje,

⁸⁸ eng. workflow management

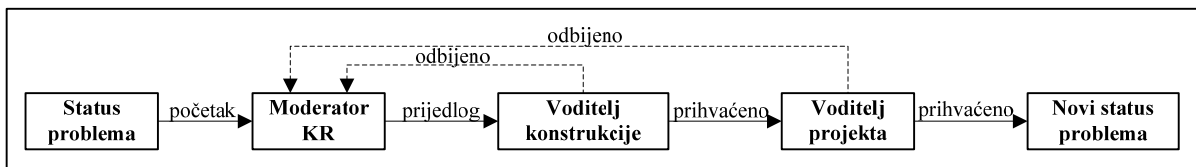
⁸⁹ Proces je skup povezanih aktivnosti i/ili operacija koji određene ulaze pretvaraju u izlaze [101]. Proces se prepoznaje po promjenama koje se zbivaju tijekom obavljanja aktivnosti i operacija. Rezultati tih promjena su izlazi.

⁹⁰ Atributi *Problema* detaljno su objašnjeni u poglavlju 6.1.1.

⁹¹ Prijava objekata KR u PLM sustav objašnjena je u poglavlju 8.2.1.

Korisnici (Konstruktori) pristupaju rješavanju problema (nakon što im *Voditelj konstrukcije* definira zadatke⁹²).

Kada je na temelju predloženih i argumentiranih alternativa rješenja donesena odluka o daljnjem smjeru razvoja, mijenja se *Status problema* od vrijednosti *Aktivan* u neku drugu vrijednost. Na dijagramu je prikazan tok aktivnosti i komunikacije koje *Korisnici*, određenih *Uloga* u razvojnom procesu, trebaju provesti kako bi se definirao novi *Status Problema* [Slika 8.4].

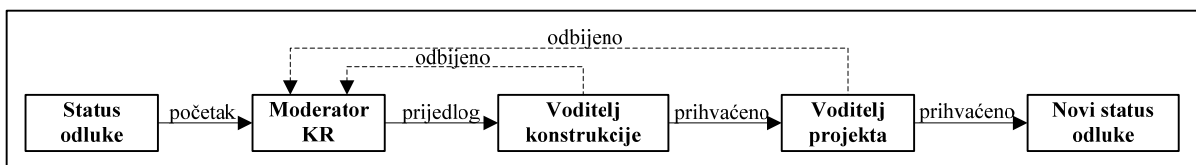


Slika 8.4. Proces definiranja novog *Statusa problema*

Obzirom da se definiranjem *Statusa problema* dodjeljuju novi zadaci i aktivnosti *Korisnicima* koji sudjeluju u razvoju proizvoda, bitno je u proces prihvaćanja/odbijanja *Problema* uključiti *Korisnike* odgovorne za razvoj proizvoda. U predloženoj disertaciji to su *Korisnici* koji imaju uloge *Voditelja konstrukcije* i *Voditelja projekta*⁹³.

8.2.2.2. Proces definiranja *Statusa odluke*

Prije procesa definiranja novog *Statusa problema* (nakon statusa *Aktivan*) potrebno je da *Korisnici* donesu određenu *Odluku*⁹⁴ o predloženim *Alternativama* rješenja na osnovu predloženih *Argumenata*. Iz istih razloga kao i u slučajevima definiranja *Statusa problema* u proces odlučivanja uključeni su *Korisnici* na višoj razini hijerarhije [Slika 8.5].



Slika 8.5. Proces definiranja novog *Statusa odluke*

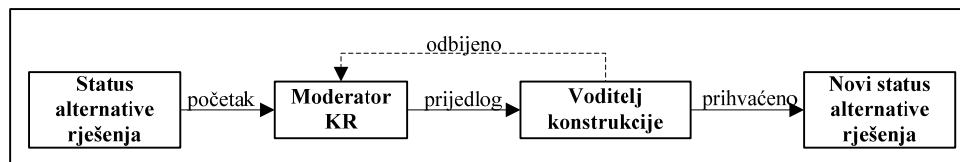
⁹² Raspodjela i definiranje zadataka nije predmet ove disertacije, stoga je prijedlog da se koriste postojeći mehanizmi PLM sustava.

⁹³ Ovo je prijedlog autora disertacije. Uloge i ovlasti se u PLM sustavima definiraju za svaku tvrtku posebno što ovisi o njezinoj veličini i vrsti organizacije.

⁹⁴ Atributi *Odluke* detaljno su objašnjeni u poglavlju 6.1.5.

8.2.2.3. Proces definiranja *Statusa alternative*

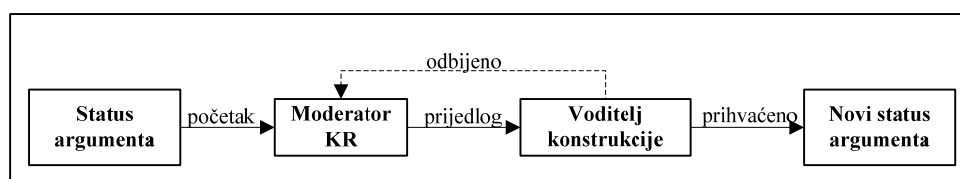
Alternative rješenja predlažu *Korisnici* koji u razvojnom procesu imaju ulogu *Moderatora KR*. Za svako predloženo rješenje u PLM sustavu *Moderator KR* mora definirati atribute *Alternative*⁹⁵. Nakon što *Moderator KR* po prvi put prijavi *Alternativu rješenja* u PLM sustav, *Status alternative rješenja* ima vrijednost *Aktivna*. Kada je na temelju predloženih i argumentiranih alternativa rješenja donesena odluka o daljnjem smjeru razvoja, mijenja se *Status alternative rješenja* od vrijednosti *Aktivna* u neku drugu vrijednost. Na dijagramu je prikazan tok aktivnosti i komunikacije koje *Korisnici*, određenih *Uloga* u razvojnom procesu, trebaju provesti kako bi se definirao novi *Status alternative rješenja* [Slika 8.6].



Slika 8.6. Proces definiranja novog *Statusa alternative rješenja*

8.2.2.4. Proces definiranja *Statusa argumenta*

Argumente koji podržavaju/ne podržavaju *Alternative rješenja* predlažu *Korisnici* koji u razvojnom procesu imaju ulogu *Moderatora KR*. Za svaki argument u PLM sustavu mora definirati atribute *Argumenta*⁹⁶. Nakon što *Moderator KR* po prvi put prijavi *Argument* u PLM sustav, *Status argumenta* ima vrijednost *Aktivan*. Zadatak *Moderatora KR* i *Voditelja konstrukcije* je odlučiti o promjeni *Statusa argumenta* [Slika 8.7].



Slika 8.7. Proces definiranja *Statusa argumenta*

8.2.2.5. Proces definiranja *Statusa objašnjenja*

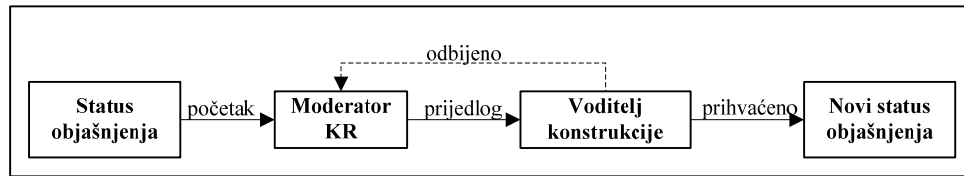
Objašnjenja koja dodatno objašnjavaju činjenice, rezultate analiza i vrednovanja provedena tijekom rješavanja problema predlažu *Korisnici* koji u razvojnom procesu imaju ulogu *Moderator KR*. Za svako objašnjenje u PLM sustavu mora definirati atribute *Objašnjenje*⁹⁷.

⁹⁵ Atributi *Alternative rješenja* detaljno su objašnjeni u poglavlju 6.1.2.

⁹⁶ Atributi *Argumenta* detaljno su objašnjeni u poglavlju 6.1.3.

⁹⁷ Atributi *Objašnjenja* detaljno su objašnjeni u poglavlju 6.1.4.

Nakon što *Moderator KR* po prvi put prijavi *Objašnjenje* u PLM sustav, *Status objašnjenja* ima vrijednost *Aktivno*. Zadatak *Moderatora KR* i *Voditelja konstrukcije* je odlučiti o promjeni *Statusa objašnjenja* [Slika 8.8].



Slika 8.8. Proces definiranja *Statusa objašnjenja*

8.3. Implikacije na rad

U ovom poglavlju prikazan je prijedlog moguće implementacije u jedan komercijalni PLM sustav. Iako je na samom početku istraživanja planirana, konačna i u praksi upotrebljiva implementacija predloženog modela prikupljanja znanja zahtijevala bi dodatne resurse (ljudske, vremenske). Autor disertacije je svjestan da bi potpuna implementacija modela predstavljala dodatnu "težinu" rezultatima prikazanog istraživanja, no praktična potvrda rezultata uslijedila bi tek nakon duže primjene u realnim projektima, što ovisi o ciklusu razvoja adaptibilnih proizvoda.

9

ZAKLJUČAK

U završnom poglavlju prikazan je sažetak istraživanja, diskusija rezultata proizašlih iz rada s osvrtom na doprinos istraživanja i postojeća ograničenja. Poglavlje, a time i disertacija završava s opisom mogućih smjerova budućih istraživanja.

9.1. Sažetak istraživanja

Prema općenitoj metodologiji istraživanja u znanosti o konstruiranju koja je podijeljena u četiri cjeline, opisanoj u poglavlju 1.4, cilj istraživanja prikazan u ovoj disertaciji je predložiti model zapisivanja objašnjenja i argumenata vezanih uz rješenja konstrukcijskih problema odnosno procesa odlučivanja. Slijedeći te cjeline prikazuje se postupni razvoj istraživanja, te se daje smisao i smjer detaljnoj raspravi koja se proteže kroz ovu disertaciju.

9.1.1. Problematika i fokusiranje istraživanja

Sudjelovanjem u razvojnim projektima te pregledom stručne i znanstvene literature na početku istraživanja uočene su značajke procesa konstruiranja i potrebe kod prikupljanja inženjerskoga znanja. Na temelju saznanja, koja su detaljno opisana u motivaciji istraživanja, definirani su teoretski i praktični ciljevi istraživanja. Učinkovitom upotrebom informacija i znanja može se utjecati na poboljšanje procesa konstruiranja i izvedbu kvalitetnije

konstrukcije. Informatička rješenja koja se danas koriste kao podrška razvoju proizvoda ne posjeduju ili imaju ograničenu mogućnost upravljanja širokim spektrom informacija nastalih tijekom razvoja proizvoda. Stoga je predlaganje modela za njihovo prepoznavanje, prikupljanje, pohranu i ponovno korištenje definirano kao poželjan rezultat istraživanja.

9.1.2. Istraživačka metoda i određivanje polazišta

Uvodni dio istraživanja obuhvatio je analizu značajki razvoja proizvoda odnosno pregled postojeće stručne i znanstvene literature unutar i izvan područja kako bi se: (a) razjasnila motivacija koja je istraživača potaknula na istraživanje; i (b) opravdao cilj istraživanja. Druga faza metodologije, koju je slijedio istraživač, obuhvatila je empirijsko istraživanje gdje su analizom literature u promatranom području identificirane teoretske osnove, te ključni pojmovi i veze među pojmovima. Tijekom ove faze odgovoreno je na dio istraživačkih pitanja, slijedeći tri koraka: (1) Etnografsko istraživanje; (2) Intervjuiranje konstruktora; i (3) Analizu prikupljenih podataka. Etnografsko istraživanje realizirano je aktivnim sudjelovanjem u realnom, timskom procesu razvoja proizvoda. Konstruktori razvojnog tima intervjuirani su tijekom procesa kako bi se odredile vrste informacija i znanja koje treba prikupljati za potrebe budućih projekata. Time je definirano polazište za razvoj modela za prikupljanje i pretraživanje objašnjenja i argumenata koji nastaju tijekom procesa rješavanja konstrukcijskih problema.

9.1.3. Doprinos istraživanja kroz definiranje elemenata konstrukcijskog rasuđivanja

Na temelju analize teoretskih polazišta i informacija prikupljenih tijekom etnografskog istraživanja istraživača u razvoju proizvoda, te provedene analize konstrukcijskih rasuđivanja kroz karakterizaciju informacija koje ih opisuju, pristupilo se sintezi, tj. ekstrakciji ključnih elemenata od kojih se sastoje konstrukcijska rasuđivanja. Prethodno opisani proces rezultirao je sa pet osnovnih vrsta elemenata od kojih se može sastojati konstrukcijsko rasuđivanje: problem, alternativa rješenja, argument, objašnjenje i odluka. Fokusirajući se na fazu konstrukcijskog oblikovanja proizvoda za svaki element definirani su atributi koji ih opisuju, te pravila kreiranja i povezivanja navedenih elemenata, čime je predstavljen model za prikupljanje znanja. Definiranje atributa i njihovih vrijednosti predstavlja izvornu dogradnju teoretskih osnova na kojima se zasniva istraživanje. Predstavljene koncepte iskorišteni su kako

u pripremi izvještaja sa svrhom vrednovanja predloženog modela, tako i za prijedlog implementacije u okoliš suvremenog alata za podršku razvoju proizvoda.

9.1.4. Vrednovanje modela prikupljanja znanja i prijedlog računalne implementacije

U radu je provedeno vrednovanje predloženoga modela prikupljanja znanja odnosno konstrukcijskih rasuđivanja koji nastaju tijekom razvoja proizvoda. Kako bi se omogućilo vrednovanje modela istraživač je pripremio izvještaj o razvoju konkretnog proizvoda koristeći elemente zapisa i pravila predložena u 6. poglavlju ove disertacije. Strukturiranjem i zapisivanjem informacija prema predloženom modelu na određeni način je testirana konzistentnost predloženoga modela. U nastavku je proveden eksperiment u kojem je tako strukturirani izvještaj uspoređen s uobičajenim (standardnim) izvještajem o rezultatima razvoja proizvoda.

Vrednovanje modela prikupljanja znanja, temeljilo se na usporedbi potpunosti i ispravnosti odgovora sudionika na postavljena pitanja pri čemu su koristili naizmjenično navedene dvije vrste izvještaja kao izvore informacija. Dobiveni rezultati pokazali su kako definirani elementi konstrukcijskog rasuđivanja i njegovi atributi olakšavaju razumijevanje predloženog načina zapisivanja znanja o procesu razvoja proizvoda, te predstavljaju temelj za učinkovito pretraživanje zapisanih informacija.

9.2. Diskusija rezultata

Tehnički opis proizvoda zabilježen u formalnim dokumentima kao što su izvještaji, tehnički crteži, 3D modeli itd., opisuje rezultat razvojnog procesa, ali ne i razvojni proces, odnosno postupak odlučivanja. Posebno nedostaje zapis odluka i argumentacije koja u većini slučajeva nije rezultat analiza i formalnih postupaka već iskustva. Time se gubi iskustvo i znanje stečeno pri rješavanju konstrukcijskih problema.

Projektiranje i konstruiranje imaju značajni utjecaj na troškove razvoja proizvoda. Stalan pritisak za smanjenjem troškova razvoja proizvoda uz smanjenje životnog vijeka proizvoda rezultira ubrzavanjem razvojnih procesa i ograničenjem raspoloživog vremena za konstrukcijsku razradu. To se posebno odnosi na slučajeve kada su u pitanju adaptibilni proizvodi koji se tijekom vremena poboljšavaju ili se razvijaju potpuno novi koncepti unutar

postojećeg proizvodnog programa tvrtke. U takvim je razvojnim procesima ključna sposobnost interpretiranja postojećih rješenja te odluka koje su takva, postojeća, rješenja implicirala. Znanje i informacije o kojima je ovdje riječ, pored razloga u pozadini konstrukcijskih odluka, uključuju i opravdanje za njih, razmatrane alternative, vrednovane kompromise i argumente koji vode do odluke (eng. Design rationale - DR). Upravo su prethodno navedena razmišljanja usmjerila tijek istraživanja prikazanog ovom disertacijom.

Pregledom znanstvene literature uočena su dva pristupa razvoju DR sustava: (1) sustavi temeljeni na zapisu procesa i (2) sustavi temeljeni na zapisu značajki. U početnim fazama proces konstruiranja je izrazito dinamičan i neodređen stoga je DR opisan neformalno u relaciji s aktivnostima i slijedom procesa konstruiranja. Sustavi orijentirani procesu konstruiranja izvorno potječu od IBIS sustava (Issue-Based Information System), a do danas su razvijena brojna radna okruženja. Nasuprot pristupa kod sustava orijentiranih zapisu procesa jest pristup po kojem se DR strukturira sukladno predodređenoj shemi odnosno značajkama kao što su svojstva proizvoda, elementi konstrukcija, proizvodni procesi ili primjena proizvoda. Zbog ograničenja koja proizlaze iz područja primjene odnosno domene proizvoda sustavi temeljeni na zapisu značajki vrlo teško se mogu proširiti izvan izvornog područja primjene.

Predloženi model prikupljanja znanja temeljen je na zapisu procesa konstruiranja. Fokus istraživanja usmjeren je na upravljanje znanjem (DR) pri konstrukcijskom oblikovanju što predviđa potrebu za zapisivanjem značajki tehničkih proizvoda (npr. svojstava proizvoda, elemenata konstrukcija). Stoga je osnovna logika IBIS sustava proširena s novim elementima i atributima kako bi se dotakla problematika vezana uz fokus istraživanja.

Dio predloženih sustava u znanstvenoj literaturi predviđa automatizirano prikupljanje, pohranu i dohvaćanje informacija i znanja. Pa ipak zbog neformalne prirode informacija i znanja, koja su predmet ovog istraživanja, uočena je potreba za uključivanjem osobe (konstruktora) u proces upravljanja znanjem u organizaciji u kojoj radi. U radu je istraženo koliko su osobe uključene u razvoj proizvoda (konstruktori) motivirane za prikupljanje znanja, odnosno koliko su vremena spremni za to odvojiti. Naravno da dodatno opterećenje ljudi u razvoju nije stimulirajuće, ali je kroz razgovore s njima i voditeljima ureda ustanovljeno da se određenim mjerama može postići željena suradnja. Prije svega se to odnosi na karakteristike sustava za prikupljanje informacija i znanja koji je prilagođen potrebama

korisnika, ali i na definiranju sustava nagrađivanja zaposlenika. U razgovoru s voditeljem konstrukcijskog ureda uočena je spremnost nagrađivanja utrošenog vremena za prikupljanje znanja. Razlog tome je veliki broj odrađenih razvojnih projekata za koje se nakon nekoliko godina javlja potreba za pretraživanjem i razumijevanjem informacija iz tehničke dokumentacije. Osim toga, što je vrijeme potrebno za pretraživanje značajno, u većini slučajeva nije moguće pronaći i razumjeti razloge zbog kojih je proizvod (sklop, komponenta, tehnički proces) izveden onako kako je to prikazano u tehničkoj dokumentaciji.

Upravo je prijedlog implementacije modela prikupljanja znanja u okoliš suvremenih alata za praćenje razvoja proizvoda kao što je PLM sustav, rješenje navedenog problema.

- Korištenje baze podataka PLM sustava i ugrađenih mehanizama pohranjivanja i pretraživanja osigurava efikasne procedure za dohvaćanje prikupljenog znanja.
- Konzistentne i relativno poznate metode i procedure za timski i istovremeni rad mogu se koristiti i za rad s elementima konstrukcijskog rasuđivanja.
- Povezivanje konstrukcijskog rasuđivanja s različitim informacijskim objektima moguće je korištenjem PLM mehanizama za kreiranje i održavanje veza između objekata u PLM sustavu.
- Upravljanje procesom zapisivanja objekata KR tijekom razvoja proizvoda u bazi PLM sustava ostaje zabilježena povijest konstrukcijskog rasuđivanja, uz informacije o ljudima koji su sudjelovali u tom procesu.

Bitno je naglasiti da je takav pristup moguć jedino u okolini (tvrtki) koja razvoj svojih proizvoda prati ili namjerava pratiti kroz neki od PLM sustava.

Saznanja prikupljena karakterizacijom informacija kao dio konstrukcijskih rasuđivanja u 5. poglavlju, iskorišteni su za definiranje odnosno detaljno opisivanje elemenata konstrukcijskog rasuđivanja. Opisivanjem glavnih atributa, mogućih veza između elemenata te pravila za definiranje elemenata tijekom zapisivanja predložena je osnova modela za prikupljanje znanja.

Vrednovanje predloženoga modela prikupljanja znanja provedeno je u obliku eksperimenta u kojem su sudionici koristili informacije prikupljene tijekom razvoja komore za dielektričnu spektroskopiju vodenih otopina kako bi odgovarali na pitanja.

Uspoređivana je potpunost i ispravnost odgovora sudionika koji su kao izvore informacija naizmjenično koristili standardni izvještaj o rezultatima razvoja proizvoda te izvještaj u kojem su iste informacije strukturirane prema predloženom modelu. Rezultati su pokazali kako su primjenom izvještaja strukturiranog prema predloženom modelu sudionici prosječno ponudili potpunije i ispravnije odgovore. Sudionici eksperimenta prethodno nisu imali doticaja (iskustva) s rezultatima razvoja proizvoda koji su korišteni u pripremi navedenih izvještaja. Stoga se može reći kako definirani elementi konstrukcijskog rasuđivanja i njihovi atributi olakšavaju razumijevanje informacija o proizvodu i razvoju proizvoda, te da ih je moguće koristiti u svrhu pretraživanja zapsanog znanja.

Ovo je istraživanje razmotrilo iskustva istraživača koji provode empirijska i teoretska istraživanja na području prikupljanja znanja i 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 faze konstrukcijskog oblikovanja i detaljiranja u području razvoja proizvoda iskorišten je pristup prikupljanja neformalnih znanja (eng. Design rationale) temeljen na zapisu procesa konstruiranja. Takav je pristup do sada u literaturi razmatran samo za rane faze procesa konstruiranja kao što su planiranje i koncipiranje proizvoda.
- Analizom konstrukcijskih rasuđivanja prikupljenih na stvarnim projektima prepoznati su, a zatim i definirani novi elementi koji su dio konstrukcijskog rasuđivanja, što se može gledati kao teoretski doprinos u upravljanju znanjem.
- Definiranjem razlikovnih atributa koji opisuju elemente konstrukcijskog rasuđivanja, te prijedlogom skupova vrijednosti tih atributa, izvršena je klasifikacija i strukturiranje elemenata konstrukcijskog rasuđivanja. Na taj način su postavljeni temelji za efikasnije pretraživanje, dohvaćanje i razumijevanje prethodno prikupljenog znanja, što je potvrđeno u eksperimentalnim uvjetima.

Uz prethodno opisane rezultate istraživanja može se zaključiti kako je njima potvrđena hipoteza ove disertacije, da je klasifikacijom i strukturiranjem konstrukcijskih problema, rješenja, argumenata i odluka moguće razviti sustav koji će omogućiti zapisivanje,

pronalaženje i ponovno korištenje objašnjenja i rješenja konstrukcijskih problema na efikasan i prikladan način za korištenje u praksi tijekom razvoja adaptibilnih proizvoda.

9.3. Ograničenja

Cilj svakog istraživanja na tehničkom području jest prezentiranje vrijednosti za istraživačku zajednicu i za inženjersku praksu. Potrebno je naglasiti 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 modela prikupljanja znanja u realnim projektima, za što najprije treba ostvariti potpunu implementaciju u okoliš suvremenog alata za podršku razvoju proizvoda, a nakon toga i njegovu implementaciju u radno okruženje tvrtke. Nakon toga moći će se dati detaljniji odgovori na pitanja korisnosti, implikacija te negativnih efekata realne primjene modela. Iz navedenih razloga će i konačno praktično vrednovanje doprinosa uslijediti naknadno. Problemi koji se mogu očekivati, s jedne strane su vezani uz spremnost i motiviranost ljudi za prikupljanje znanja, a s druge uz modelom predloženu terminologiju. Naime, unutar općenitoga razvoja proizvoda gotovo svaki razvojni odjel ima specifičnu terminologiju vezanu uz svoj specifični proizvodni asortiman.

9.4. Smjerovi daljnjeg istraživanja

Usprkos rezultatima provedenog eksperimenta osnovni preduvjet realne implementacije predloženog modela prikupljanja znanja jest njegova ugradnja u okoliš suvremenog alata za podršku razvoju proizvoda kao što je PLM sustav. Na taj su način otvoreni smjerovi budućeg istraživanja. Ugradnjom modela u okoliš PLM sustava zaokružila bi se cjelina i napravio korak bliže k definiranju sustava za prikupljanje znanja odnosno konstrukcijskog rasuđivanja vezanih uz razvoj proizvoda. Tek nakon ispitivanja i testiranja sustava u realnom procesu konstruiranja moći će se uočiti stvarni utjecaj predloženog modela na razumijevanje i pretraživanje informacija o proizvodu i razvoju proizvoda.

LITERATURA

- [1] *Gilbreth, F.B.: Field System, Private Publishing New York 1907 and Management History Series No. 30*
- [2] *Hubka, V.: Theorie der Konstruktionsprozesse, Berlin, Heidelberg, New York: Springer - Verlag, 1976.; Herold, Z.: Strukturiranje baze znanja u procesu konstruiranja, Disertacija, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 1997.*
- [3] *Ahmed, S.: Encouraging reuse of design knowledge: a method to index knowledge, Elsevier Science, Design Studies 26, 565–592, 2005.*
- [4] *Tichkiewitch, S., Brissaud, D.: Methods and tools for co-operative and integrated design Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Germany, 2004.*
- [5] *Leake, D.B., Wilson, D.C.: A case-based framework for interactive capture and reuse of design knowledge Applied Intelligence, Vol 14 No 1, 2001.*
- [6] *Kuffner, T.A., Ullman, D.G.: The information requests of mechanical design engineers Design Studies, Vol 12 No 1, 1991.*
- [7] *Pugh, S.: Total design: integrated methods for successful product engineering, Addison-Wesley, Wokingham, 1990.*
- [8] *Carroll J.M., Moran, T.P.: Design Rationale: Concepts, Techniques and Use. Lawrence Erlbaum Ass. Inc, New Jersey, 1996.*

- [9] Ognjanovic, M.: *Creativity in design incited by knowledge modelling*, *International Conference on Engineering Design, ICED*, 1999.
- [10] Hubka, V.: *Practical studies in systematic design*, UK: ButterWorth Scientific Co., 1988.
- [11] *New Oxford Dictionary of English*, Oxford University Press, 1998.
- [12] Conway, A., P.: *State of Art Review - Approaches to Design Information Capture*, University of Strathclyde, 2006.
- [13] McAlpine, H., Hicks, B. J., Huet, G., Culley, S. J.: *An investigation into the use and content of the engineer's logbook*, Elsevier Science, *Design Studies* 27, 481–504, 2006.
- [14] 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, 263–280, 2002.
- [15] Myers, K.L., Zumel, N.B., Garcia, P.: *Acquiring Design Rationale Automatically*, *Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing*, Volume 14 Issue 2, Cambridge University Press, 2000.
- [16] Ishino, Y., Jin, Y.: *An information value based approach to design procedure capture*, *Advanced Engineering Informatics* 20, 89–107, 2006
- [17] Ahmed, S., Wallace, K.M., Blessing, L.S.: *Understanding the differences between how novice and experienced designers approach design tasks* *Research in Engineering Design*, Vol 14 No 1, 2003.
- [18] Ray, M.S.: *Elements of engineering design*, London, Prentice-Hall International, 1985.
- [19] Cagan, J., Agogino, A.M.: *Innovative design of mechanical structures from first principles*, *Artificial Intelligence in Engineering, Design, Analysis and Manufacturing*, 1 (3), 169-189, 1987.
- [20] Dym, C.L.: *Engineering design: a synthesis of views*, Cambridge University Press, 1994.
- [21] Hubka, V., Eder. W.E.: *Theory of technical systems – A total Concept Theory for Engineering Design*, Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 1988.
- [22] Blessing, L.T.M., Chakrabarti, A.: *DRM, a Design Research Methodology*, Springer-Verlag London Limited, 2009.
- [23] Goodwin, C. J., *Research in Psychology: Methods and Design*, USA: John Wiley & Sons, Inc., 2005., http://en.wikipedia.org/wiki/Empirical_research

-
- [24] Wittel, A., *Ethnography on the Move: From Field to Net to Internet*, *Forum: Qualitative Social Research (On-line Journal)*, Volume 1, No. 1, 2000.
- [25] Denzin, N. K., Lincoln, Y. S., *Handbook of Qualitative Research 3rd ed.*, Thousand Oaks, CA: Sage, 2005.
- [26] Aurisicchio M.: *Characterising Information Acquisition In Engineering Design*, Thesis, Cambridge University Engineering Department, 2005.
- [27] Hauptmann, A., et al.: *Video Retrieval with the Informedia Digital Video Library System*, Text Retrieval Conference (TREC'01), Gaithersburg, Maryland, 2001.
- [28] Cambridge Dictionaries Online, Cambridge University Press, 2010. <http://dictionary.cambridge.org>
- [29] Miller, L.L., Honavar, V., Barta, T.: *Warehousing structured and unstructured data for data mining*. The American Society for Information Science, Annual Meeting 97, 1997.
- [30] McMahon, C.A., Pitt, D.J., Yang, Y., Sims Williams, J.H.: *An information management system for informal design data*. *Engineering with Computers*, 11, 123–135, 1995.
- [31] Wall, R.A.: *Finding and using product information*. UK: Gower, 1986.
- [32] Hollingum, J.: *Implementing an Information Strategy in Manufacture*, ISBN 0 94850747 0, Bedford, UK: IFS Publications Ltd., 1987.
- [33] Yang, M.C., Wood, W.H., Cutkosky, M.R.: *Design information retrieval: a thesauri-based approach for reuse of informal design information*. *Engineering with Computers*, 21, 177-192, 2005.
- [34] Osborn, A.F., *Applied imagination: Principles and procedures of creative problem solving (Third Revised Edition)*, New York, NY: Charles Scribner's Son., 1963.
- [35] Pearshall, J.: *New Oxford Dictionary of English*, Oxford University Press, 1998.
- [36] Conway, A.P., Wodehouse A.J., Ion, W.J., Juster, N.P.: *A study of information & knowledge generated during engineering design meetings*, *International conference on engineering design, ICED'07*, 2007.
- [37] Bezinović, I.: *Problem određenja znanja kao opravdanog istinitog vjerovanja, Diskrepancija*, Filozofski fakultet Zagreb, 2006.
- [38] Buckner, E.D., *The Logic Museum*, 2009. <http://www.logicmuseum.com>

- [39] Court, A.W.: *Modelling and classification of information for engineering design* Ph.D. Thesis, University of Bath, UK, 1997.
- [40] Huet, G.: *Design transaction monitoring: Understanding design reviews for extended knowledge capture*, Thesis, University of Bath, Department of Mechanical Engineering, 2006
- [41] Woolf, H., (Ed.) *Webster's new world dictionary of the American language*, G. and C. Merriam, 1990.; In Carayannis, E.G.: *Fostering synergies between information technology and managerial and organizational cognition: the role of knowledge management*, *Technovation* 19, 219–231, 1999.
- [42] Turban, E., Frenzel, L. E. Jr.: *Expert systems and applied artificial intelligence*, MacMillan Publishing, NewYork, 1992.; In Carayannis, E.G.: *Fostering synergies between information technology and managerial and organizational cognition: the role of knowledge management*, *Technovation* 19, 219–231, 1999.
- [43] Sowa, J.F.: *Conceptual structures information processing in mind and machine*, Reading, Mass: Addison-Wesley, 1984.; In Carayannis, E.G.: *Fostering synergies between information technology and managerial and organizational cognition: the role of knowledge management*, *Technovation* 19, 219–231, 1999.
- [44] Wiig K.M.: *Knowledge Management Foundations, Thinking About Thinking*. Lexington Books, Massachusetts, 1993.; In Carayannis, E.G.: *Fostering synergies between information technology and managerial and organizational cognition: the role of knowledge management*, *Technovation* 19, 219–231, 1999.
- [45] Van der Spek, R., Spijkervet, A.: *Knowledge management: Dealing intelligently with knowledge*, 1997.; In Carayannis, E.G.: *Fostering synergies between information technology and managerial and organizational cognition: the role of knowledge management*, *Technovation* 19, 219–231, 1999.
- [46] Beckman, T. J.: *A methodology for knowledge management*, *Proceedings of International Association of Science and Technology for Development (IASTED), AI and Soft Computing Conference, Banff, Canada, 1997.*; In Carayannis, E.G.: *Fostering synergies between information technology and managerial and organizational cognition: the role of knowledge management*, *Technovation* 19, 219–231, 1999.
- [47] Simpson, J., Weiner, E., *The Oxford English Dictionary*, Oxford University Press, 1989.

-
- [48] Štorga M.: *Model rječnika za računalnu razmjenu informacija u distribuiranom razvoju proizvoda*, Disertacija, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2005.
- [49] Boston, O.: *Technical liaisons in engineering design understanding by modelling*, Ph.D. Thesis, University of Bath, UK, 1998.
- [50] Kirwin, C.: 'Reasoning', In Ted Honderich (ed.), *The Oxford Companion to Philosophy*, Oxford: Oxford University Press: p. 748, 1995.
- [51] Roozenburg, N.F.M., Eekels, J.: *Product Design: Fundamentals and Methods*, ed. N. Cross and N. Roozenburg, John Wiley & Sons, Chichester, 1995.
- [52] Brown, B., Seilen, A.J., O'Hara, P.K.: *A Diary Study of Information Capture in Working Life*, 2000.
- [53] Myers, K.L., Zumel, N.B., Garcia, P.: *Automated Capture of Rationale for the Detailed Design Process*, *Proceedings of the Eleventh National Conference on Innovative Applications of Artificial Intelligence (IAAI-99)* AAAI Press, Menlo Park, CA, 1999.
- [54] Penoyer, J.A., Burnett, G., Fawcett, D.J., Liou S-Y: *Knowledge based product life cycle systems: principles of integration of KBE and C3P*, *Computer-Aided Design* 32: 311–320, 2000.
- [55] Russell, S.J., Norvig, P., *Artificial Intelligence A Modern Approach*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1995.
- [56] Duffy, A.H.B., Duffy, S.M.: *Learning for design reuse*, *AI EDAM*, 10, 139-142, 1996.
- [57] 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.
- [58] Finger, S.: *Design reuse and design approach*, *Engineering Design Conference 1998*, UK: Professional Engineering Publishing Limited, 1998.
- [59] Checkland, P.B.: *System thinking*, UK: Wiley, 1981.
- [60] Gross, M., Do, E., McCall, R., Citrin, W., Hamill, P., Warmack, A., Kuczun, K.: *Collaboration and Coordination in Architectural Design: approaches to computer mediated work*, *TeamCAD symposium on collaborative CAD*, 17-24, 1997.

- [61] Ziad, R., Kittredge, M.: *Information objects – applying cognitive load theory et object oriented thinking to information design*, ARC90 White Paper
- [62] Štorga, M., Darlington, M., Culely, S., Marjanović, D.: *Traceability of the development of 'information objects in the engineering design process*, *Research into Design - Supporting Multiple facets of Product Development / Chakarabarti, Amaresh (ur.), ICoRD'09 Bangalore, Research Publishing, India, 263-270, 2009.*
- [63] Štorga, M., Darlington, M., Culely, S., Marjanović, D.: *Toward a process and method for tracing the development of information objects used in engineering design*, *Proceedings of the 17th International Conference on Engineering Design - ICED 09, Stanford University, Stanford, USA, 2009.*
- [64] Ahmed, S.: *Understanding the use and reuse of experience in engineering design*, Thesis, Cambridge University Engineering Department, 2000.
- [65] Bojčetić, N.: *Računalni model konstrukcijskog znanja*, Disertacija, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2001.
- [66] Burge, J., Brown, D.C.: *Integrating Design Rationale with a Process Model*, *Workshop on Design Process Modelling, Artificial Intelligence in Design '02, Cambridge, UK, 2002.*
- [67] Shum, S., Hammond, N., *Argumentation-Based Design Rationale: From Conceptual Roots to Current Use*, Tech. Report EPC-1993-106, Rank Xerox Research Centre, Cambridge, 1993.
- [68] Sim, S., Duffy, A., *A New Perspective to Design Intent and design Rationale*, in *Artificial Intelligence in Design Workshop Notes for Representing and Using Design Rationale*, 15-18 August, pp. 4-12, 1994.
- [69] Fischer, G., Lemke, A., McCall, R., Morch, A., *Making Argumentation Serve Design*, in *Design Rationale Concepts, Techniques, and Use*, T. Moran and J. Carroll, eds., Lawrence Erlbaum Associates, pp. 267-294., 1995.
- [70] Conklin, J. and Burgess-Yakamovic, K., *A Process-Oriented Approach to Design Rationale*, in *Design Rationale Concepts, Techniques, and Use*, T. Moran and J. Carroll, eds., Lawrence Erlbaum Associates, Mahwah, NJ, pp. 293-428., 1995.
- [71] Lee, J., *Design Rationale Systems: Understanding the Issues*, *IEEE Expert*, Vol. 12, No. 3, pp. 78-85., 1997.
- [72] Pena-Mora, F., Vadhavkar, S., *Augmenting design patterns with design rationale*, *Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing*, 11, pp. 93-108., 1996.

-
- [73] Regli, W. C., Hu, X., Atwood, M., Sun, W., *A Survey of Design Rationale Systems: Approaches, Representation, Capture and Retrieval, Engineering with Computers, Springer-Verlag, London, 2000.*
- [74] Kunz, W., Rittel, H.: *Issues as Elements of Information Systems, Working Paper 131. Berkeley, CA: University of California, Berkeley, Center for Urban and Regional Development, 1970.*
- [75] McCall, R.J.: *PHI: A Conceptual Foundation for Design Hypermedia, Design Studies 12 (1), 30–41, 1991.*
- [76] Lee, J., Lai, K.: *What's in design rationale, Human-Comput. Interaction, 6, pp. 251–280, 1991.*
- [77] Suh, N. P.: *The Principles of Design, Oxford Univeristy Press, Oxford, 1990.*
- [78] Hubka, V., Eder, W.E.: *Design Science, Berlin, Heidelberg, New York: Springer -Verlag, 1996.*
- [79] Finger, S., Dixon, J.R.: *A Review of Research in Mechanical Engineering Design. Part I: Descriptive, Prescriptive and Computer-Based Models of Design Process, Research in Engineering Design, Vol1, No1, 51-67, 1989.*
- [80] Cross, N.: *Editorial, Design Studies 16(1), pp. 2-3, 1995.*
- [81] Duhovnik, J.: *Concept generation, selection and testing, Presentation for European Global Product Realization, University of Ljubljana, Slovenia, 2005.*
- [82] Ulrich K.T, Epingler, S.D.: *Product design and development (2nd edition), McGraw-Hill, Boston, USA, 2000.*
- [83] Otto, K.N., Wood, K.L.: *Product Design: Techniques in Reverse Engineering and New Product Development, Prentice Hall USA, 2001.*
- [84] *VDI 2221: Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte, Berlin, Beuth Verlag, 1993.*
- [85] Hubka, V., Eder, W.E.: *Engineering Design – General Procedural Model of Engineering Design, Heurista, Zürich, 1992.*
- [86] Roth K., *Konstruieren mit Konstruktionskatalogen, Berlin, Heidelberg, New York: Springer - Verlag, 1982.*
- [87] Backlund, A.: *The definition of system, Kybernetes, Vol. 29 nr. 4, 444-451, 2000.*

- [88] Savransky, S.D.: *Engineering of Creativity – Introduction to TRIZ Methodology of Inventive Problem Solving*, CRC Press, 2000.
- [89] Hubka, V., Eder, W.E.: *A scientific approach to engineering design*, *Design Studies*, Vol. 8, No. 3, pp. 123-137, 1987.
- [90] Andreasen, M.M.: *Conceptual Design Capture*, *Proceedings of EDC'98-Design Reuse*, Brunel Universit, pp. 21-30, 1998.
- [91] 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.
- [92] Eris, O.: *Asking Generative Design Questions: A Fundamental Cognitive Mechanism in Design Thinking*, in *Proceedings of the International Conference on Engineering Design*, Stockholm, Sweden, 2003.
- [93] Button, G.: *The ethnographic tradition and design*, *Design Studies*, Vol. 21, No. 4, pp.319-332, 2000.
- [94] Panian, Ž.: *Englesko – hrvatski informatički enciklopedijski rječnik*, Zagreb, Europapress holding d.o.o., 2005.
- [95] Oberšmit, E.: *Nauka o konstruiranju, metodičko konstruiranje i konstruiranje pomoću računala*, SNL Liber, Zagreb, 1985.
- [96] Herold. Z.: *Strukturiranje baze znanja u procesu konstruiranja*, *Disertacija*, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 1997.
- [97] Ahmed, S., Wallace, K.M.: *Understanding the knowledge needs of novice designers in the aerospace industry*, *Design Studies*, 25(2), 155-173, 2003.
- [98] Aurisicchio, M., Bracewell, R.H., Wallace, K.M.: *Characterising design questions that involve reasoning*, *International Conference on Engineering Design, ICED*, 2007.
- [99] Ahmed, S., Štorga, M.: *Merged ontology for engineering design: Contrasting empirical and theoretical approaches to develop engineering ontologies*, *Artificial Intelligence for Engineering Design Analysis*, in press.
- [100] N.N.: *VDI guidelines – VDI 2225*, <http://www.vdi.de/index.php?id=301>, 05.06.2009.
- [101] *Merriam-Webster Dictionaries*, 2010. <http://www.merriam-webster.com/dictionary/process>

PRILOZI

Tablica 11.1. Razmatrani problemi iskorišteni u provedbi eksperimenta

| Redni broj | Pitanje | Opis problema | Smjer rasuđivanja |
|------------|--|--|---|
| 1 | Kako mjeriti dielektrična svojstva vodenih otopina? | Potrebno je napraviti funkcijsku razradu proizvoda koji treba omogućiti dielektričnu spektroskopiju vodenih otopina, prema zahtjevima naručitelja koji posjeduje i ispituje prototip proizvoda. Pod funkcijskom razradom podrazumijeva se definiranje funkcija i tokova materijala, energije i signala. | Utjecaj vanjskog svojstva tehničkog proizvoda na karakteristike tehničkog proizvoda |
| 2 | Kako spriječiti utjecaj nečistoća (izvana) na mjerni uzorak? | Mjerni uzorak je vodena otopina tvari (koloid) na kojoj se mjere dielektrična svojstva. Obzirom na vrlo sitne čestice svaki utjecaj nečistoća u otopini daje netočne rezultate ispitivanja. Stoga je potrebno dati rješenje izolacije uzorka od okoline. Kao alternative rješenja očekuju se radni principi opisno ili skicom. | Utjecaj vanjskog svojstva tehničkog proizvoda na karakteristike tehničkog proizvoda |
| 3 | Kako brtviti komoru? | Potrebno je ponuditi alternative rješenja brtvljenja komore koje neće biti u suprotnosti sa ostalim zahtjevima naručitelja. Kao alternative rješenja očekuju se konceptualne skice. | Utjecaj vanjskog svojstva tehničkog proizvoda na karakteristike tehničkog proizvoda |
| 4 | Kako mijenjati razmak između elektroda? | Obzirom da je jedna od želja naručitelja primjena komore za mjerenje različitih veličina mjernog uzorka (što ovisi o veličini čestica tvari u koloidnoj otopini), potrebno je predložiti alternative rješenja promjene razmaka između elektroda, vodeći pritom računa o tolerancijama (± 0.001 mm). Kao alternative rješenja očekuju se konceptualne skice. | Utjecaj vanjskog svojstva tehničkog proizvoda na karakteristike tehničkog proizvoda |
| 5 | Kako omogućiti izmjenjivost uzorka? | Problem je na koji način otvarati/zatvarati komoru prilikom izmjene uzorka vodeći računa o čišćenju i zahtjevima za kontinuiranim vodičima koji spajaju elektrode i BNC konektore. Kao alternative rješenja očekuju se | Utjecaj vanjskog svojstva tehničkog proizvoda na karakteristike tehničkog proizvoda |

| | | | |
|----|--|--|---|
| | | konceptualne skice. Kao alternative rješenja očekuju se konceptualne skice. | |
| 6 | Kako dobiti vakuum u komori? | Za odabranu alternativu izolacije uzorka od vanjskih utjecaja u vakuumiranoj komori potrebno je riješiti problem izvlačenja zraka iz komore. Pri tome je potrebno voditi računa o utjecaju tog procesa na mjerni uzorak. Kao alternative rješenja očekuju se konceptualne skice. | Utjecaj vanjskog svojstva tehničkog proizvoda na karakteristike tehničkog proizvoda |
| 7 | Kako napuniti komoru s neutralnim plinom? | Za odabranu alternativu izolacije uzorka od vanjskih utjecaja u komori ispunjenoj s neutralnim plinom potrebno je riješiti problem punjenja komore s neutralnim plinom (dovod, odvod, pohrana, itd.). Kao alternative rješenja očekuju se konceptualne skice. | Utjecaj vanjskog svojstva tehničkog proizvoda na karakteristike tehničkog proizvoda |
| 8 | Kako podesiti razmak između elektroda pomoću navoja? | Problem je kako namjestiti točan razmak između dvije elektrode (0.7mm, 1mm, 1.4mm) uz toleranciju od +/-0.001mm. Kao alternative rješenja očekuju se konceptualne skice. | Utjecaj vanjskog svojstva tehničkog proizvoda na karakteristike tehničkog proizvoda |
| 9 | Kako povećati temperaturu u komori? | Obzirom da je jedan od zahtjeva mjerenje dielektričnih svojstava mjernog uzorka na temperaturi koja varira od 5 – 60°C potrebno je ponuditi alternative rješenja za povećanje temperature. Kao alternative rješenja očekuju se konceptualne skice. | Utjecaj vanjskog svojstva tehničkog proizvoda na karakteristike tehničkog proizvoda |
| 10 | Kako voditi toplinu od izvora topline do komore? | Potrebno je ponuditi alternative rješenja za predaju topline između različitih komponenata. Kao alternative rješenja očekuju se konceptualne skice ili tekstualni opis. | Utjecaj vanjskog svojstva tehničkog proizvoda na karakteristike tehničkog proizvoda |
| 11 | Kako zatvoriti (zaključati) komoru? | Kao jedna od operacija u procesu izmjene mjernog uzorka je zatvaranje komore. Potrebno je ponuditi alternative rješenja zaključavanja (zatvaranja) komore uz zadržavanje paralelnosti i koaksijalnosti mjernih elektroda. Kao alternative rješenja očekuju se konceptualne skice. | Utjecaj vanjskog svojstva tehničkog proizvoda na karakteristike tehničkog proizvoda |
| 12 | Kako smjestiti mjerni postav u odnosu na mjerni uređaj "Agilent"? | Pitanje je na koji način fizički povezati mjerni uređaj i komoru za mjerenje kako bi se zadovoljili zahtjevi za vođenjem i centriranjem tijekom spajanja. Kao alternative rješenja očekuju se konceptualne skice. | Utjecaj vanjskog svojstva tehničkog proizvoda na karakteristike tehničkog proizvoda |
| 13 | Kako voditi kučište komore za spajanje s BNC konektorima na "Agilent" mjernom uređaju? | Spajanje prototipne komore na mjerni uređaj "Agilent" preko četiri BNC konektora oduzima relativno puno vremena. Osim toga takav proces spajanja oštećuje konektore kako na komori tako i na mjernom uređaju. Tijekom razrade liste zahtjeva s naručiteljem prepoznata je potreba za vođenjem komore što bi trebalo ubrzati proces spajanja i povećati trajnost BNC konektora. Kao alternative rješenja očekuju se konceptualne skice. | Utjecaj vanjskog svojstva tehničkog proizvoda na karakteristike tehničkog proizvoda |
| 14 | Kako osigurati spojeve BNC konektora (komora-mjerni uređaj) od izvlačenja? | Kao jedna od operacija u procesu spajanja je osiguranje spojeva BNC konektora od izvlačenja. Potrebno je ponuditi alternative rješenja koja će ubrzati proces osiguranja uzimajući u obzir prostorne i dimenzijske karakteristike (razmaci, dimenzije BNC konektora) mjernog postava. Kao alternative rješenja očekuju se konceptualne skice. | Utjecaj vanjskog svojstva tehničkog proizvoda na karakteristike tehničkog proizvoda |
| 15 | Kako kombinirati alternative rješenja parcijalnih funkcija proizvoda u jednu cjelinu? | U ovoj fazi procesa konstruiranja konstruiranja problem je kako kombinirati veći broj rješenja parcijalnih funkcija prikazanih u morfološkoj matrici da bi dobili nekoliko izvedivih | Utjecaj karakteristike tehničkog proizvoda na karakteristiku tehničkog proizvoda |

| | | | |
|----|--|--|---|
| | | konceptata. Kao alternative rješenja očekuju se konceptualne skice. | |
| 16 | Kako osigurati kontinuitet vodiča kod zatvaranja? | U razgovoru s naručiteljem ustanovljeno je da vodiči koji spajaju elektrode i BNC konektore ne smiju imati prekide (dodatne spojeve između) jer takvi spojevi utječu značajno na rezultate mjerenja. Stoga je potrebno predložiti konceptualno rješenje koje će osigurati kontinuitet vodiča kod zatvaranja poklopca zakretanjem oko osi kao što predviđa alternativa rješenja R014. | Utjecaj vanjskog svojstva tehničkog proizvoda na karakteristike tehničkog proizvoda |
| 17 | Od kojeg materijala napraviti tijelo komore? | Tijelo komore čine dva dijela unutar kojeg se nalaze dvije elektrode između kojih dolazi mjerni uzorak. Tijelo komore mora imati dobru toplinsku vodljivost i neosjetljivost na atmosferske i kemijske utjecaje. | Utjecaj karakteristike tehničkog proizvoda na karakteristiku tehničkog proizvoda |
| 18 | Od kojeg materijala napraviti vodilice nosača komore? | Vodilice nosača komore su šipke kružnog poprečnog presjeka. Vodilice moraju biti krute kako bi se osiguralo precizno centriranje komore prilikom spajanja s mjernim uređajem preko četiri BNC konektora. Obzirom da proizvod spada u grupu mjernih instrumenata, mora biti estetski prihvatljiv i postojan obzirom na koroziju. | Utjecaj karakteristike tehničkog proizvoda na karakteristiku tehničkog proizvoda |
| 19 | Kako pričvrstiti <i>pokretnu komoru</i> na <i>nosač komore</i> ? | Radi lakše izmjene uzorka i bržeg centriranja pokretna komora se pričvršćuje na nosač komore (vagon) koji je cijelo vrijeme na vodilicama pričvršćenim na mjernom uređaju. Problem je kako što jednostavnije i brže pričvrstiti pokretnu komoru na takav nosač (vagon). | Utjecaj vanjskog svojstva tehničkog proizvoda na karakteristike tehničkog proizvoda |
| 20 | Kako pričvrstiti <i>elastični lim</i> na <i>nosač komore</i> ? | Problem je kako orijentirati, a zatim i pričvrstiti na nosač komore elastični lim koji sprečava neželjeno podizanje pokretne komore sa nosača komore. | Utjecaj vanjskog svojstva tehničkog proizvoda na karakteristike tehničkog proizvoda |
| 21 | Od kojeg materijala napraviti <i>elastični lim</i> ? | Problem je odabrati materijal koji je moguće savinuti u oblik definiran tehničkim crtežom, a da posjeduje elastična svojstva koja će osigurati pouzdano pričvršćenje pokretne komore na nosač komore. | Utjecaj karakteristike tehničkog proizvoda na karakteristiku tehničkog proizvoda |
| 22 | Kako ostvariti paralelnost elektroda u zadanim tolerancijama? | Problem je kako ostvariti paralelnost elektroda kod zatvaranja dviju polovica kućišta, a zatim je i zadržati tijekom mjerenja. | Utjecaj vanjskog svojstva tehničkog proizvoda na karakteristike tehničkog proizvoda |

Tablica 11.2. Razmatrane alternative rješenja iskorištene u provedbi eksperimenta

| Redni broj | Vrsta alternative rješenja | Opis alternative rješenja |
|------------|----------------------------|---|
| 1 | Funkcijska struktura | Uočene su glavne funkcije proizvoda: 1. Uzorak dovesti 2. Uzorak držati 3. Električnu energiju dovesti 4. Toplinu stvarati 5. Toplinu prenositi 6. Temperaturu mjeriti 7. Čišćenje kontakata osigurati 8. Razmak kontakata ostvariti |
| 2 | Funkcijska struktura | Na početku tehničkog procesa korištenja komore, potrebno je komoru otvoriti. Budući da se komora već koristila za mjerenje, potrebno ju je očistiti. Ako je komora čista slijedi umetanje i pozicioniranje novog uzorka koji je ušao kroz granicu sustava, međutim ako nije čista ponavlja se operacija čišćenja komore. Nakon uspješnog pozicioniranja uzorka slijedi operacija kemijske i |

| | | |
|----|---------------|--|
| | | <p>električne izolacije od okoline. Ove dvije operacije su međusobno grupirane zbog toga što ovise jedna o drugoj. Nakon ove operacije jedna za drugom slijede električno povezivanje uzorka s uređajem za mjerenje, termičko povezivanje uzorka s uređajem za održavanje stalne temperature i uključivanje uređaja za održavanje stalne temperature. Nakon što su se obavile navedene operacije, dolazi se do određivanja temperature uzorka nakon čega slijedi mjerenje temperature uzorka. Ako je postignuta temperatura uzorka kreće se sa sljedećom operacijom, a ako nije, temperatura uzorka se ponovno određuje i mjeri. Nakon što je uspostavljena temperatura uzorka slijedi uključenje mjernog uređaja i mjerenje uzorka. Ako je uzorak uspješno izmjeren, slijedi isključenje mjernog uređaja. U protivnom proces se vraća na ponovno mjerenje uzorka. Nakon isključenja mjernog uređaja slijedi isključenje uređaja za održavanje stalne temperature i odvajanje komore od svih vanjskih uređaja. Komora se otvara i zatim čisti. Prilikom čišćenja iz granica tehničkog procesa izlazi izmjereni uzorak vodene otopine. Nakon čišćenja slijedi provjera da li je komora dobro očišćena. Ako je postignuta čistoća komore, komora se zatvara i odlaže u spremište. U protivnom, komora se iznova čisti.</p> <p>Funkcijska struktura predstavlja smislenu i kompatibilnu kombinaciju parcijalnih funkcija koje čine ukupnu funkciju. Pri tome veze između parcijalnih funkcija moraju biti pažljivo definirane u smislu toka (konverzije) materijala, energije i informacija (signala). U funkcijskoj strukturi komore detaljno su prikazane sve parcijalne funkcije novog proizvoda koje opisuju transformaciju energije (E), materijala (M) i signala (S) od ulaza u sustav do njegovog izlaza.</p> <p>Uočene su sljedeće funkcije proizvoda:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Količinu uzorka odrediti 2. Uzorak dovesti 3. Uzorak pozicionirati 4. Uzorak između elektroda zadržati 5. Uzorak od nečistoća iz okoliša izolirati 5.1. Aksijalno brtvljenje: 5.2. Radijalno brtvljenje: 6. Elektrode od okoliša električki izolirati 7. Razmak elektroda zadržati 8. Razmak elektroda podesiti 9. Izmjenjivost uzorka omogućiti 10. Paralelnost kontakata osigurati 11. Elektrode čistiti 12. Medij za čišćenje na elektrode dovesti 13. Medij za čišćenje s elektrode odvesti |
| 3 | Radni princip | Uzorak u zabrtvljenoj komori ispunjenoj zrakom $p=p_{atm}$ |
| 4 | Radni princip | Uzorak u vakumiranoj komori $p < p_{atm}$ |
| 5 | Radni princip | Uzorak u atmosferi neutralnog plina. |
| 6 | Koncept | Aksijalno brtvljenje metal na metal |
| 7 | Koncept | Aksijalno brtvljenje O-brtvom Nalijeganjem dvaju polovica kućišta preko O-brtve sprječava se ulaz nečistoća u prostor oko mjernog uzorka. |
| 8 | Koncept | Radijalno brtvljenje O-brtvom |
| 9 | Koncept | Aksijalno brtvljenje plosnatom brtvom |
| 10 | Koncept | Brtvljenje konusnim površinama metal na metal |
| 11 | Koncept | Umetanjem etalona između elektroda |
| 12 | Koncept | Regulacija razmaka pomoću navoja |
| 13 | Koncept | Regulacija razmaka pomoću etalonskog prstena Za svaki razmak postoji etalonski prsten koji se u komori nalazi cijelo vrijeme tijekom ispitivanja. Prostor unutar prstena čini nepropusni prostor brtvljenjem metal na metal. |
| 14 | Koncept | Zakretanjem poklopca |
| 15 | Koncept | Odvajanjem poklopca podizanjem |
| 16 | Koncept | Nakretanjem poklopca |
| 17 | Koncept | Zaseban nosač Mjerni uređaj i komora nalaze se na različitim nosačima koji se međusobno |

| | | |
|----|-----------------------------------|--|
| | | spajaju rastavljivom vezom. |
| 18 | Koncept | Zajednički nosač Mjerni uređaj i komora nalaze se na zajedničkom nosaču te su preko njega oslonjeni na okolinu. Alternativa podrazumijeva konstruiranje zajedničkog nosača. |
| 19 | Koncept | Direktno oslanjanje na uređaj Mjerni uređaj i komora povezani su preko nosača koji je spojen na mjerni uređaj. Na taj način pomak mjernog uređaja ne utječe na proces spajanja komore preko četiri BNC konektora. Alternativa podrazumijeva razradu nosača i načina pričvršćenja na mjerni uređaj. |
| 20 | Tehnološki oblikovana alternativa | Vodjenje rukom na klizačima kružnog poprečnog presjeka. Nosač komore čine dva klizača kružnog poprečnog presjeka po kojemu klizi "vagon" s komorom za mjerenje. Predviđeno je ručno pomicanje vagona s komorom tijekom vođenja u procesu spajanja na mjerni uređaj. |
| 21 | Koncept | Rukom vođena komora na "vagonu" s kotačićima po profiliranom nosaču Nosač komore čini jednu konzolu profiliranog poprečnog presjeka po kojemu se kotrlja "vagon" s komorom za mjerenje s dva ili više kotačića. Predviđeno je ručno pomicanje vagona s komorom tijekom vođenja u procesu spajanja na mjerni uređaj. |
| 22 | Koncept | Vodjenje komore na "vagonu" na vijčanom vretenu okretanjem ručice Nosač komore čini vijčano vreteno i još minimalno jednu vodilicu. Okretanjem ručice vijčanog vretena na jednu ili drugu stranu pokreće se "vagon" s komorom za mjerenje naprijed/nazad ostvarujući tako spajanje ili odvajanje komore s mjernim uređajem. |
| 23 | Koncept | Vodjenje komore pokretanjem poluge spojene s "vagonom" koji se nalazi na vodilicama. Nosač komore čine jedan ili više klizača po kojemu klizi "vagon" s komorom za mjerenje. Predviđeno je ručno pomicanje vagona s komorom pomoću poluge naprijed/nazad ostvarujući tako spajanje ili odvajanje komore s mjernim uređajem. |
| 24 | Koncept | BNC konektor sa zatvaračem Moguće je nabaviti u trgovačkoj mreži BNC konektore sa zatvaračem. Nakon što se komora preko BNC konektora spoji s mjernim uređajem, korisnik zakreće zatvarač na jednom (ili sva četiri) konektora te na taj način sprječava odvajanje s mjernim uređajem. |
| 25 | Tehnološki oblikovana alternativa | Elastični osigurač U položaju za mjerenje od pomicanja se osigurava vagon na kojem se nalazi komora za mjerenje pomoću jednog ili više elastičnih osigurača. Osigurač oblikom zadire u žlijeb na vodilici te na taj način sprječava neželjeni pomak. Na tržištu postoje različiti elastični osigurači stoga je potrebno odabrati jedan tip ili konstruirati novi. Alternativa ujedno omogućava prihvata vagona s komorom tijekom vođenja. |
| 26 | Tehnološki oblikovana alternativa | Tarni zadržać U položaju za mjerenje od pomicanja se osigurava vagon na kojem se nalazi komora za mjerenje pomoću jednog ili više tarnih zadržać. Osigurač silom pritišće na površinu vodilice te na taj način sprječava neželjeni pomak. Na tržištu postoje različite izvedbe tarnih zadržać stoga je potrebno odabrati jedan tip ili konstruirati novi. |
| 27 | Tehnološki oblikovana alternativa | Zatvarač s ekscentrom U položaju za mjerenje od pomicanja se osigurava vagon na kojem se nalazi komora za mjerenje pomoću jednog ili više zatvarača s ekscentrom. Osigurač silom pritišće na površinu vodilice te na taj način sprječava neželjeni pomak. Na tržištu postoje različite izvedbe tarnih zadržać stoga je potrebno odabrati jedan tip ili konstruirati novi. |
| 28 | Koncept | Fiksiranjem krajnjeg položaja poluge za pomicanje komore U položaju za mjerenje od pomicanja se oblikom osigurava poluga za pomicanje vagona na kojem se nalazi komora za mjerenje pomoću. |
| 29 | Koncept | Pomoću poluge s ekscentrom Nakon što se poklopac komore dovede u položaj zatvoreno zaključava se komora djelovanjem sile koja se dobije okretanjem poluge s ekscentrom. |
| 30 | Koncept | Magnetno zaključavanje. (Zaključavanje permanentnim magnetom ili elektromagnetom) |

| | | |
|----|-------------------------------------|---|
| 31 | Tehnologično oblikovana alternativa | Osovina s elastično pozicioniranim kuglicama Osovina s elastično pozicioniranim kuglicama nalazi se na jednom od dijelava koji se međusobno zaključavaju. U drugom dijelu nalazi se provrt s žlijebom u koji kuglice uskaču i ostvaruju zaključavanje. |
| 32 | Koncept | Zakretna zadržka Nakon zatvaranja poklopca potrebno je zarotirati polugu koja oblikom zadržava dva dijela u spoju. |
| 33 | Koncept | Elastična zadržka Nakon zatvaranja poklopca potrebno je zarotirati polugu koja preko zavojnice potiskuje osovinicu. Osovinica ulazi u provrt na drugom dijelu te oblikom ostvaruje zaključavanje. |
| 34 | Koncept | Postolje komore izrađeno je kao potpuno samostalan nosač koji se putem rastavljivog spoja veže za postolje mjernog uređaja. Vođenje komore je osigurano putem kliznih staza određenog profila. One su čvrsto vezane za postolje komore. Centriranje komore u skladu s mjernim uređajem ovisno je i o centriranju samog mjernog uređaja u skladu sa postoljem. Kretanje komore po kliznim stazama je ručno to jest korisnik komoru gura rukom. Mjerni položaj komore je osiguran pomoću dva elastična držača, po jedan sa svake strane. Komora se kompletno može odvojiti od svog postolja tako da se dovede do drugog krajnjeg položaja i jednostavno skine s kliznih staza. Spoj komore i mjernog uređaja ostvaren je putem četiri BNC konektora. Jedna polovica konektore se nalazi na poklopcu, a druga polovica se nalazi na kućištu komore. Poklopac komore se skida i stavlja okomito, odvaja se potpuno od kućišta, a vođenje i paralelnost elektroda se postiže pomoću konusa. Konus nadalje služi i za brtvljenje komore u odnosu na okoliš. Razmak između elektroda je nepromjenjiv. Eventualno se može izraditi drugi poklopac s kraćim konusom kojim bi se ostvario drugi razmak elektroda. Brtvljenje komore je ostvareno obradom površine poklopca i kućišta. Elektrode su izrađene od platine, izolirane su putem epoksi smole, a povezane su koaksijalnim kablom sa BNC konektorima. Između konektora i elektroda nema nikakvih kontakata, a kabeli se nalaze u kanalima koji prolaze poklopcem i kućištem. Grijanje komore je ostvareno Peltier modulom koji se nalazi ispod donje elektrode, a na njega je spojen s donje strane pasivni hladnjak. Peltier modul je spojen vodičima i banana konektorima s vanjskim izvorom električne energije. „Banana“ konektori se nalaze na kućištu komore. Hlađenje komore ostvareno je izvedbom poklopca. Unutar poklopca se nalazi praznina u koju je doveden fluid određene količine koji mehanizmima isparavanja i kondenzacije prenosi toplinu s donje stijenke poklopca na gornju stjenku koja je u dodiru s okolinom. Mjerenje temperature se vrši pomoću PTC 100 termometra koji je smješten u kućištu komore, a povezan je vodičima i banana konektorima s vanjskim uređajem za regulaciju temperature. Njegovi konektori se također nalaze na kućištu komore. |
| 35 | Koncept | Nosač komore direktno je vezan za mjerni uređaj i potpuno je neovisan o nosaču mjernog uređaja. Veza i centriranje između nosača komore i mjernog uređaja je ostvarena pomoću originalnih provrta s vođenjem na mjernom uređaju. Proizvođač je predvidio dva provrta kao pomoć pri spajanju i učvršćivanju različite mjerne opreme. Vijčanom vezom se na jednostavan način pričvršćuje nosač komore na mjerni uređaj. Nosač komore je zamišljen kao jednostruka vodilica po kojoj uz pomoć kotačića sa svake strane vodilice klizi komora. Pomicanje komore po vodilici se ostvaruje ručno. Mjerni položaj komore je osiguran jednim elastičnim osiguračem koji se nalazi iza komore. Komora se skida s nosača tako da se gurne u drugi krajnji položaj i jednostavno odvoji od vodilice izvlačenjem. Mjerna veza komore s mjernim uređajem se ostvaruje putem četiri BNC konektora koji su učvršćeni na kućištu komore i oni su potpuno nepomični. Otvaranje poklopca je zamišljeno na način da se poklopac podigne i zakrene vodoravno oko jedne osi. Krajnji položaj, odnosno centriranje elektroda se ostvaruje pomoću oblika poklopca. Zadržak položaja služi za fiksiranje poklopca kada je komora zatvorena. Njegovim položajem možemo regulirati razmak elektroda. Time je ostvarena mogućnost promjene razmaka elektroda unutar ovog koncepta. Elektrode su napravljene od platine, a izolirane su od okoline epoksi smolom. Povezane su električki s BNC konektorima pomoću koaksijalnih kablova koji se nalaze u kanalima u kućištu. Održavanje kontinuiteta koaksijalnog kabla od elektrode |

| | | |
|----|---------|--|
| | | <p>poklopca do BNC konektora postignuto je provlačenjem kabela kroz šuplju osovinu koja je ujedno os rotacije poklopca. Grijanje komore se ostvaruje pomoću Peltier modula. On se nalazi integriran u kućištu komore na taj način da s jedne strane grije unutrašnju komoru (prostor oko uzorka), a s njegove donje strane metalni dio kućišta preuzima nepotrebnu toplinu s njega. Modul je spojen s vanjskim izvorom električne struje. Ta veza je ostvarena električnim vodičima, kliznim kontaktima između kućišta komore i vodilice za vođenje te „banana“ konektorima koji se nalaze sa donje strane šine za pomicanje komore. Termometar PTC 100 služi za mjerenje temperature uzorka i nalazi se neposredno uz elektrode. Spojen je na identičan način kao i Peltier modul s vanjskim uređajem za regulaciju temperature. Hlađenje komore je ostvareno preko poklopca komore na kojemu je pričvršćen pasivni hladnjak. Na posebnom nosaču se nalazi ventilator za dodatno hlađenje komore.</p> |
| 36 | Koncept | <p>Nosač komore direktno je vezan za mjerni uređaj i potpuno je neovisan o nosaču mjernog uređaja. Veza i centriranje između nosača komore i mjernog uređaja je ostvarena pomoću originalnih provrta s vođenjem na mjernom uređaju. Proizvođač je predvidio dva provrta kao pomoć pri spajanju i učvršćivanju različite mjerne opreme. Vijčanom vezom se na jednostavan način pričvršćuje nosač komore na mjerni uređaj.</p> <p>Nosač komore je zamišljen kao dvostruka klizna staza po kojoj se može translatorno kretati komora tako da se rukom pomiče ručica. Time se ostvaruje preko polužnog mehanizma prijenos sile na komoru i stvara se gibanje. Mjerni položaj komore je osiguran samom ručicom koja posjeduje element za fiksiranje krajnjeg položaja oblikom. Na kliznim stazama se nalazi pokretni nosač komore u koji se utakne komora tako da se ostvari fiksni položaj. Na isti način se komora i odvaja od postolja. Spoj komore i mjernog uređaja ostvaren je putem četiri BNC konektora. Jedna polovica konektore se nalazi na poklopcu, a druga polovica se nalazi na kućištu komore. Poklopac komore se skida i stavlja okomito, odvaja se potpuno od kućišta, a vođenje i paralelnost elektroda se postiže pomoću oblika poklopca i kućišta. Brtvljenje komore je osigurano oblikom poklopca koji naliježe u horizontalno postavljenu brtvu u kućištu. Razmak elektroda je određen umetanjem etalona. Etalon je kružni prsten precizne debljine, nije fiksiran i može se izvaditi iz kućišta komore. Za različite razmake elektroda potrebno je osigurati izradu više etalona različitih debljina. Elektrode su izrađene od platine i izolirane su epoksi smolom od ostatka komore. Spojene su koaksijalnim kabelom s BNC konektorima i dalje s mjernim uređajem. Grijanje komore je ostvareno Peltier modulom koji se nalazi ispod donje elektrode. S njegove druge strane nalazi se pasivni hladnjak koji naliježe na peltier modul kada se komora umetne u pokretni nosač. Pasivni hladnjak je fiksiran na pokretni nosač. Peltier je spojen električnim vodičima preko kliznih kontakata (između komore i pokretnog nosača) i „banana“ konektora (pričvršćeni na pokretni nosač) na vanjski izvor električne struje. Na isti način je spojen i termometar (mjerenje temperature komore) na vanjski uređaj za regulaciju temperature. On se nalazi u prostoru komore s uzorkom. Hlađenje komore je osigurano pasivnim hladnjakom koji se nalazi na poklopcu komore.</p> |
| 37 | Koncept | <p>Nosač komore [Slika 4.4] direktno je vezan za mjerni uređaj i potpuno je neovisan o nosaču mjernog uređaja. Veza i centriranje između nosača komore i mjernog uređaja je ostvarena pomoću originalnih provrta s vođenjem na mjernom uređaju. Proizvođač je predvidio dva provrta kao pomoć pri spajanju i učvršćivanju različite mjerne opreme. Vijčanom vezom se na jednostavan način pričvršćuje nosač komore na mjerni uređaj.</p> <p>Nosač komore je zamišljen kao limeni nosač na koji su pričvršćene dvije okrugle klizne staze. Na te dvije klizne staze stavljen je nosač komore na kojemu se nalaze konektori električnih vodiča peltier modula i termometra. Na njemu se osim toga nalazi i pasivni hladnjak za hlađenje peltier modula. Hladnjak je okrenut prema dolje i nalazi se između dvije klizne staze. Komora se pričvršćuje na nosač okomitim umetanjem pri čemu banana konektori ostvaruju funkcije centriranja i pričvršćenja komore na nosaču [Slika 4.5]. Odvajanje komore se radi ručno povlačenjem komore prema gore i odvajanjem od nosača. Mjerni položaj komore na kliznim stazama je osiguran elastičnim zadržkama sa svake strane koje ujedno služe tome da se korisnik</p> |

| | | |
|----|-----------------------------------|--|
| | | <p>može na njih osloniti prilikom manipulacije komore. Otvaranje komore je zamišljeno na način da se poklopac otvara bočno poput knjige. Mjerna veza između mjernog uređaja i komore ostvarena je pomoću četiri BNC konektora od kojih se dva nalaze na kućištu komore, a dva se nalaze na poklopcu komore i zajedno s njime se zakreću prilikom otvaranja. Otvaranje komore je moguće samo kada je komora u odnosu na kliznu stazu odmaknuta od mjernog uređaja. Osiguranje zatvorenog položaja poklopca je ostvareno putem zakretnog zatvarača. Elektrode su načinjene od platine i izolirane su epoksi smolom od ostatka komore. Brtvljenje komore je ostvareno obradenim površinama, a time je postignuta i paralelnost elektroda. Centriranje elektroda je ostvareno okretnim mehanizmom poklopca komore. Ovaj koncept komore ne podrazumijeva promjenjiv razmak elektroda. Elektrode i BNC konektori su spojeni koaksijalnim kabelima koji su zaliveni u kućište i poklopac.</p> <p>Grijanje komore se ostvaruje Peltier modulom koji se nalazi ispod donje elektrode. Povezan je električnim vodičima i banana konektorima s vanjskim izvorom električne energije. Na isti način je spojen i termometar (mjerenje temperature komore) s vanjskim uređajem za regulaciju temperature. Nalazi se u neposrednoj blizini elektroda. Hlađenje komore je osigurano pasivnim hladnjakom fiksiranim na poklopac komore i dodatnim ventilatorom koji u isto vrijeme hladi pasivni hladnjak na poklopcu komore kao i hladnjak za hlađenje peltier modula. Nalazi se uz komoru na posebnom nosaču koji je direktno vezan uz postolje komore.</p> |
| 38 | Tehnološki oblikovana alternativa | <p>Otvaranje poklopca je zamišljeno na način da se poklopac podigne i zakrene vodoravno oko jedne osi [Slika 1]. Krajnji položaj, odnosno centriranje elektroda se ostvaruje pomoću oblika poklopca. Zadržac položaja (ručica s ekscentrom) služi za fiksiranje poklopca kada je komora zatvorena [Slika 2, Slika 3]. Njegovim položajem (kut) možemo regulirati razmak elektroda koristeći distantne etalonske prstenove (Alternativa R013).</p> |
| 39 | Simbol | <p>X5CrNi18-10 (Č4580; AISI 304) Otporan na različite organske i anorganske kiseline. Primjena: industrija masnih kiselina, papira, tekstila, umjetnih vlakana, aparata za pranje. Primjenjiv do 300°C. [Filetin T., Svojstva i primjena materijala, str. 259.]</p> |
| 40 | Simbol | <p>X5CrNiMo18-10 (Č4571) Povišeno otporan na neoksidirajuće kiseline i na točkastu koroziju uslijed halogenih medija, otporan na interkristalnu koroziju i bez toplinske obrade. Primjena: industrija celuloze, boja, ulja, sapuna, tekstila, mljekarstva i pivovare. [Filetin T., Svojstva i primjena materijala, str. 259.]</p> |
| 41 | Simbol | <p>G-CuZn33Pb (P.CuZn33Pb2.01) Legura za konstrukcije, otporna na koroziju, postojana u pitkoj vodi do 90°C, za kućišta i armature za plin i vodu, dijelove konstrukcija i okova u strojogradnji, elektroindustriji, preciznoj mehanici, optici i sl. [Filetin T., Svojstva i primjena materijala, str. 259.]</p> |
| 42 | Simbol | <p>X5CrNi18-10 (Č4580; AISI 304) Otporan na različite organske i anorganske kiseline. Primjena: industrija masnih kiselina, papira, tekstila, umjetnih vlakana, aparata za pranje. Primjenjiv do 300°C. [Filetin T., Svojstva i primjena materijala, str. 259.]</p> |
| 43 | Simbol | <p>X5CrNiMo18-10 (Č4571) Povišeno otporan na neoksidirajuće kiseline i na točkastu koroziju uslijed halogenih medija, otporan na interkristalnu koroziju i bez toplinske obrade. Primjena: industrija celuloze, boja, ulja, sapuna, tekstila, mljekarstva i pivovare. [Filetin T., Svojstva i primjena materijala, str. 259.]</p> |
| 44 | Tehnološki oblikovana alternativa | <p>Pomicanje pokretne komore [Slika 1] na nosaču komore (vagonu) [Slika 3] u uzdužnom smjeru (smjeru vodilica) spriječeno je oblikom kućišta pokretne komore, a podizanje pomoću elastične zadržke [Slika 2, Slika 3, Slika 4]</p> |
| 45 | Tehnološki oblikovana alternativa | <p>Pomicanje pokretne komore [Slika 1] na nosaču komore (vagonu) [Slika 3] u uzdužnom smjeru (smjeru vodilica) spriječeno je oblikom kućišta pokretne komore, a podizanje pomoću dva elastična lima [Slika 2, Slika 3, Slika 4]</p> |
| 46 | Koncept | <p>Pomicanje pokretne komore na nosaču komore (vagonu) [Slika 3] u uzdužnom smjeru (smjeru vodilica) spriječeno je oblikom kućišta pokretne komore, a podizanje pomoću dva elastična lima [Slika 1] koji su vijcima spojeni na nosač komore. Elastični limovi podmetnuti su ispod pokretne komore.</p> |

| | | |
|----|-----------------------------------|---|
| | | Alternativa nije razrađena do kraja. Prikaz predstavlja samo konceptualnu izvedbu tako da se na kućištu pokretne komore još mogu vidjeti značajke (features) koje su korištenje u prikazu alternative R044 (prekriženo na slici 3). |
| 47 | Tehnološki oblikovana alternativa | Pomicanje pokretne komore [Slika 1] na nosaču komore (vagonu) [Slika 3] u uzdužnom smjeru (smjeru vodilica) spriječeno je oblikom kućišta pokretne komore, a podizanje pomoću dva elastična lima [Slika 2, Slika 3, Slika 4]. Elastični limovi pričvršćeni su na nosač komore pomoću dva vijka. Vijci se mogu pritezati i podešavati u sklopu s pokretnom komorom. Umjesto provrta predviđena su dva proreza [Slika 3] koji omogućavaju podešavanje položaja elastičnih limova, a time i sile pričvršćivanja pokretne komore. |
| 48 | Simbol | C60E (Č1731) Ugljični čelik za opruge čija je primjena mnogostrana. Može se nabaviti u obliku hladno valjane trake prema DIN 17222 [Decker K.-H., Elementi strojeva, str. 180., 2006] |
| 49 | Koncept | Vodenje po zaticima Poklopac komore spušta se i podiže po zaticima (provrt i zatik u kliznom dosjedu). Nalijeganjem poklopca na prstenasti etalon ostvaruje se paralelnost s tolerancijom paralelnosti koja je izvedena između čeonih površina etalonskog prstena. |
| 50 | Koncept | Prsten za centriranje Obradom cilindričnih i čeonih površina na poklopcu i kućištu komore ostvaruje se potrebna tolerancija oblika i položaja. |
| 51 | Koncept | Konusni poklopac Obradom koničnih i čeonih površina na poklopcu i kućištu komore ostvaruje se potrebna tolerancija oblika i položaja. |
| 52 | Koncept | Oblikom kućišta Obradom cilindričnih i čeonih površina na poklopcu i kućištu komore ostvaruje se potrebna tolerancija oblika i položaja. |

Tablica 11.3. Razmatrani argumenti iskorišteni u provedbi eksperimenta

| Redni broj | Opis argumenta | Grupa argumenta argument proizlazi razmatranjem: |
|------------|---|--|
| 1 | Iz predložene funkcijske strukture nisu jasno definirane funkcije spajanja komore na uređaj za mjerenje što je jedan od zahtjeva naručitelja: "7. Povezivanje komore s uređajem za mjerenje" | Vanjska svojstva proizvoda – Svojstva vezana uz funkcije proizvoda |
| 2 | U predloženoj funkcijskoj strukturi jasno su definirane sve funkcije proizvoda u svrhu zadovoljenja zahtjeva naručitelja | Vanjska svojstva proizvoda – Svojstva vezana uz funkcije proizvoda |
| 3 | Alternativa otvara podproblem postizanja potrebnog vakuuma u komori. Dodatni podsustavi poskupiti će cijenu razvoja, ali i izradu proizvoda | Vanjska svojstva proizvoda – Ekonomska svojstva |
| 4 | Dodatni podsustavi zahtijevaju utrošak energije tijekom rada/eksploatacije | Vanjska svojstva proizvoda – Eksploatacijska svojstva |
| 5 | Alternativa otvara podproblem tlačenja neutralnog plina. Dodatni podsustavi za spremanje plina i njegovo tlačenje na potreban tlak poskupiti će cijenu razvoja, ali i izradu proizvoda. | Vanjska svojstva proizvoda – Ekonomska svojstva |
| 6 | Alternativa je isprobana na prototipnoj komori i nije ustanovljen značajniji utjecaj nečistoća na rezultate mjerenja. | Vanjska svojstva proizvoda – Eksploatacijska svojstva |
| 7 | Brtvljenje mora biti jednako kvalitetno za različite razmake elektroda unutar komore. Rješenjem brtvljenja metal na metal omogućava promjenu razmaka između elektroda što je jedana od želja naručitelja definirana u listi zahtjeva. | Vanjska svojstva proizvoda – Svojstva vezana uz funkcije proizvoda |
| 8 | Na postojećoj prototipnoj komori brtvljenje je bilo zadovoljavajuće. | Vanjska svojstva proizvoda – Eksploatacijska svojstva |
| 9 | Brtvljenje mora biti jednako kvalitetno za različite razmake elektroda unutar komore. Rješenjem | Vanjska svojstva proizvoda – Funkcionalnost |

| | | |
|----|--|--|
| | brtvljenja u kojem postoji gumena brtva ukoliko se mijenja razmak između elektroda (što je jedana od želja naručitelja definirana u listi zahtjeva) brtva će biti nejednoliko pritisnuta. | |
| 10 | Kod brtvljenja metal na metal površine moraju biti fino obrađene što povećava cijenu obrade. | Vanjska svojstva proizvoda – Ekonomska svojstva |
| 11 | Kod brtvljenja s gumenim brtvama zbog učestalog otvaranja/zatvaranja komore dolazi do trošenja brtve. | Vanjska svojstva proizvoda – Eksploatacijska svojstva |
| 12 | Kod brtvljenja konusnim površinama metal na metal površine moraju biti fino obrađene jer zbog malih dimenzija proizvoda površine moraju savršeno nalijegati što otežava obradu. | Vanjska svojstva proizvoda – Proizvodna svojstva |
| 13 | Etaloni mogu oštetiti elektrode obzirom da naliježu na njihove površine. | Unutrašnja svojstva proizvoda – Otpornost na trošenje |
| 14 | Zbog malih razmaka i vrlo uskih tolerancija podešavanje razmaka zahtjeva vrlo precizne mehanizme (princip rada mikrometra) što bi poskupilo proizvod. | Vanjska svojstva proizvoda – Ekonomska svojstva |
| 15 | Zbog malih dimenzija etalonskog prstena javiti će se poteškoće kod zamjene kada se javi potreba za drugim razmakom. | Vanjska svojstva proizvoda – Ergonomska svojstva |
| 16 | Promjena razmaka između elektroda se ne dešava često. | Vanjska svojstva proizvoda – Eksploatacijska svojstva |
| 17 | Obzirom da je potrebno samo tri različita razmaka te jednostavnog rješenja cijena izrade etalonskih prstena je značajno niža od regulacije pomoću navoja. | Vanjska svojstva proizvoda – Ekonomska svojstva |
| 18 | Broj dijelova koji imaju funkciju regulacije razmaka je mali. | Vanjska svojstva proizvoda – Proizvodna svojstva |
| 19 | Alternativa omogućava povezivanje elektroda i BNC konektora provlačenjem vodiča kroz kanale bez potrebe za njihovim ljepljenjem ili zalijevanjem u kućište komore što omogućava njihovo jednostavno servisiranje. | Vanjska svojstva proizvoda – Eksploatacijska svojstva |
| 20 | Alternativu je moguće primijeniti na način da se zadovolji i zahtjev za kontinuiranim vodičima. U razgovoru s naručiteljem ustanovljeno je da vodiči koji spajaju elektrode i BNC konektore ne smiju imati prekide (dodatne spojeve između) jer takvi spojevi utječu značajno na rezultate mjerenja. | Vanjska svojstva proizvoda – Svojstva vezana uz funkcije proizvoda |
| 21 | Primjenom alternative odvajanjem poklopca može doći do promjene razmaka između BNC konektora uslijed trošenja zbog učestalog otvaranja/zatvaranja komore. | Vanjska svojstva proizvoda – Eksploatacijska svojstva |
| 22 | Alternativa je kompaktnog (robusnog) izgleda. | Vanjska svojstva proizvoda – Ergonomska svojstva |
| 23 | Alternativa može dovesti do poteškoća kod centriranja mjerne komore prilikom spajanja na mjerni uređaj, jer postoji ovisnost položaja nosača mjerne komore o položaju mjernog uređaja na nosaču mjernog uređaja. | Vanjska svojstva proizvoda – Svojstva vezana uz funkcije proizvoda |
| 24 | Alternativa podrazumijeva konstruiranje zajedničkog nosača koji po gabaritima (utrošak materijala) i potencijalnom broju dijelova izlazi iz okvira planiranog budžeta. | Vanjska svojstva proizvoda – Ekonomska svojstva |
| 25 | Alternativa podrazumijeva konstruiranje nosača mjerne komore koji se po gabaritima (utrošak materijala) i potencijalnom broju dijelova može izvesti u okviru planiranog budžeta. | Vanjska svojstva proizvoda – Ekonomska svojstva |
| 26 | Alternativa podrazumijeva konstruiranje nosača mjerne komore koji ne ovisi o položaju mjernog uređaja te se time može koristiti i na drugim uređajima te vrste. | Vanjska svojstva proizvoda – Eksploatacijska svojstva |

| | | |
|----|---|--|
| 27 | Alternativa osigurava preciznost kod centriranja mjerne komore prilikom spajanja na mjerni uređaj, jer je položaj nosača mjerne komore neovisan o položaju mjernog uređaja. | Vanjska svojstva proizvoda – Svojstva vezana uz funkcije proizvoda |
| 28 | Predložena alternativa zahtjeva malo prostora. Na prednjoj strani mjernog uređaja iznad BNC konektora nalazi se displej za očitavanje rezultata mjerenja. Konektori su smješteni uz donji rub uređaja. | Vanjska svojstva proizvoda – Eksploatacijska svojstva |
| 29 | Predložena alternativa vodilice je jeftinija od ostalih predloženih alternativa rješenja. | Vanjska svojstva proizvoda – Ekonomska svojstva |
| 30 | Predložena alternativa vođenja komore osigurava jednostavno sklapanje. Pod time se podrazumijeva sklapanje komponenata za vođenje komore na mjerni uređaj. | Vanjska svojstva proizvoda – Proizvodna svojstva |
| 31 | Mala brzina spajanja komore s mjernim uređajem. | Vanjska svojstva proizvoda – Funkcionalnost |
| 32 | Brzina spajanja komore s mjernim uređajem može se povećati viševojnim navojem. | Vanjska svojstva proizvoda – Funkcionalnost |
| 33 | Poluga za pokretanje vagona s komorom zahtjeva dodatne elemente na koje se poluga pričvršćuje, stoga se povećava broj dijelova. | Vanjska svojstva proizvoda – Proizvodna svojstva |
| 34 | Povećani gabariti mjernog postava. Okretište poluge nalazi se ispod vagona s komorom što znači da mjerni postav zahtjeva veći prostor. | Vanjska svojstva proizvoda – Eksploatacijska svojstva |
| 35 | Alternativa nije praktična zbog malih dimenzija BNC konektora i zatvarača. Zaključavanje položaja obavljalo bi se jednim prstom. Razmak između mjernog uređaja i poluge iznosi približno 15mm ako se pogledaju dimenzije BNC konektora. Obzirom na preporučene dimenzije od 15mm kod upravljanja s dugmadima za pritiskanje i kliznim prekidačima, predviđeni razmak je na granici. | Vanjska svojstva proizvoda – Ergonomska svojstva |
| 36 | Ukoliko se upotrijebe dva elastična osigurača, njihova geometrija ujedno može poslužiti i za prihvat nosača komore (vagona) kod vođenja tijekom spajanja komore na mjerni uređaj. | Vanjska svojstva proizvoda – Svojstva vezana uz funkcije proizvoda |
| 37 | Na tržištu je moguće kupiti komponentu koja se ugradi u sklop proizvoda. | Vanjska svojstva proizvoda – Proizvodna svojstva |
| 38 | Tarni zadržai koji se pokreću pomoću navoja usporavat će proces pomicanja komore. | Vanjska svojstva proizvoda – Funkcionalnost |
| 39 | Tarni zadržai koji rade na principu ekscentra ukoliko se učestalo koriste mogu oštetiti površinu na kojoj se ekscentar odupire čime narušava izgled površine proizvoda. | Vanjska svojstva proizvoda – Estetska svojstva |
| 40 | Rješenje osigurava zadovoljavanje tri zahtjeva: 1. zadržavanje kontinuiranosti vodiča 2. zaključavanje komore 3. podešavanje razmaka između elektroda a uzdužna os sklopa vijak-čahura kroz koji prolazi vodič ujedno služi kao os rotacije poklopca. | Vanjska svojstva proizvoda – Svojstva vezana uz funkcije proizvoda |
| 41 | Ovisno o kutu zatvorenosti poluge s ekscentrom moguće je dobiti različite vrijednosti pomaka poklopca koji se zatvara što se može iskoristiti kao parcijalno rješenje problema mijenjanja razmaka između elektroda (P004) | Vanjska svojstva proizvoda – Svojstva vezana uz funkcije proizvoda |
| 42 | Materijal je otporan na koroziju. | Unutrašnja svojstva – Otpornost na koroziju |
| 43 | Od razmatranih materijal najbolje vodi toplinu, odnosno ima najveći koeficijent provođenja topline. | Unutrašnja svojstva – Vodljivost topline |
| 44 | Kao želju naručitelj je istaknuo temperaturno područje mjerenja 5 – 95°C. Materijal je prema specifikaciji postojan u pitkoj vodi do 90°C. [Filetin T., Svojstva i primjena materijala, str. 259.] | Unutrašnja svojstva – Otpornost na koroziju |

| | | |
|----|---|--|
| 45 | Materijal je u standardnoj ponudi Strojopromet – Zagreb d.o.o.. Poluproizvod je u obliku šipke i moguće ga je nabaviti s promjerima (mm): 3, 4, 5, 6, 8, 10, 12, 14, 15, ..., 52, 55, 60, ... | Vanjska svojstva proizvoda – Proizvodna svojstva |
| 46 | Materijal je u standardnoj ponudi Strojopromet – Zagreb d.o.o.. Poluproizvod je u obliku šipke i moguće ga je nabaviti s promjerima (mm): 3, 4, 5, 6, 8, 10, 12, 14, 15, ..., 52, 55, 60, ... | Vanjska svojstva proizvoda – Proizvodna svojstva |
| 47 | Materijal je otporan na koroziju. | Unutrašnja svojstva – Otpornost na koroziju |
| 48 | Alternativa predviđa potrebu za četiri različite komponente po mjestu pričvršćenja. | Vanjska svojstva proizvoda – Proizvodna svojstva |
| 49 | Alternativa osigurava jednostavno priključivanje pokretne komore na nosač komore bez potrebe za dodatnim operacijama korisnika. | Vanjska svojstva proizvoda – Eksploatacijska svojstva |
| 50 | Alternativa predviđa potrebu za dvije različite (od ukupno tri) komponente po mjestu pričvršćenja. | Vanjska svojstva proizvoda – Proizvodna svojstva |
| 51 | Alternativa vizualno ne narušava izgled proizvoda. | Vanjska svojstva proizvoda – Estetska svojstva |
| 52 | Alternativa omogućava podešavanje sile pričvršćenja pokretne komore. | Vanjska svojstva proizvoda – Svojstva vezana uz funkcije proizvoda |
| 53 | Etalon zahtjeva postojanje otvora na kućištu komore kroz koji bi se mogao umetnuti i kasnije nakon podešavanja razmaka izvući izvan komore. | Vanjska svojstva proizvoda – Eksploatacijska svojstva |
| 54 | Etalon ostaje u komori tijekom mjerenja tako da nema potrebe za njegovim izvlačenjem nakon određivanja razmaka elektrode. | Vanjska svojstva proizvoda – Eksploatacijska svojstva |
| 55 | Alternativa omogućava ostvarivanje promjene razmaka između elektroda. | Vanjska svojstva proizvoda – Svojstva vezana uz funkcije proizvoda |

Tablica 11.4. Razmatrane odluke iskorištene u provedbi eksperimenta

| Redni broj | Opis odluke | Razlog odluke |
|------------|---|--|
| 1 | Alternativa R002 detaljno opisuje većinu funkcija proizvoda. Prepoznate su funkcije proizvoda koje zadovoljavaju sve zahtjeve naručitelja definirane u listi zahtjeva. | Lista zahtjeva |
| 2 | Alternativa R003 zadovoljava predviđeni postupak mjerenja tijekom eksploatacije proizvoda. Osnovni razlog zbog kojeg je alternativa prihvaćena su zadovoljavajući rezultati mjerenja na prototipnoj komori. | Vanjska svojstva proizvoda - Eksploatacijska svojstva |
| 3 | Alternativa R006 zadovoljava zahtjev za brtvljenjem komore. Osnovni razlog zbog kojeg je alternativa prihvaćena je to što se rješenjem brtvljenja metal na metal omogućava promjena razmaka između elektroda što je jedana od želja naručitelja definirana u listi zahtjeva ("5.3. Omogućiti 3 različita razmaka elektroda: 0.7mm; 1mm i 1.4mm uz toleranciju od +/-0.001mm"). | Vanjska svojstva proizvoda - Svojstva vezana uz funkcije proizvoda |
| 4 | Alternativa R013 zadovoljava zahtjev za promjenom razmaka između elektroda. Osnovni razlog zbog kojeg je alternativa prihvaćena je to što se rješenjem omogućava i regulacija razmaka i brtvljenje metal na metal s malo dijelova. To znači da se alternativom rješavaju dva problema P003 i P004. | Vanjska svojstva proizvoda - Proizvodna svojstva |
| 5 | Izmjenjivost uzorka na prototipnoj komori izvedena je otvaranjem komore koja se sastoji iz dva odvojena dijela što je bio jedan od nedostataka ustanovljen tijekom razgovora s naručiteljem. Alternative R014 i R015 će proizvodu dati kompaktan izgled što će olakšati rukovanje tijekom izmjene uzoraka. Obje alternative će se dalje razrađivati kako bi se vidjelo kako utječu na ostala parcijalna rješenja definiranih funkcija proizvoda. Nakon definiranja koncepata provest će se tehničko i ekonomsko vrednovanje prije daljnje razrade (oblikovanja i detaljiranja). | Vanjska svojstva proizvoda - Ergonomska svojstva |
| 6 | Pretpostavlja se da bi prihvaćanjem R012 alternative podešavanja razmaka s navojem te rješavanjem problema P008 izašli iz okvira zadanog budžeta. | Vanjska svojstva proizvoda - Ekonomska svojstva |
| 7 | Pretpostavlja se da bi prihvaćanjem alternative R004 izoliranja uzorka u vakuumiranoj komori i rješavanjem problema P006 izašli iz okvira zadanog budžeta. | Vanjska svojstva proizvoda - Ekonomska svojstva |
| 8 | Pretpostavlja se da bi prihvaćanjem alternative R005 izoliranja uzorka u | Vanjska svojstva proizvoda - |

| | | |
|----|---|--|
| | atmosferi neutralnog plina i rješavanjem problema P007 izašli iz okvira zadanog budžeta. Također je uzeta u obzir i potreba za spremnikom neutralnog plina. | Ekonomska svojstva |
| 9 | Alternativa R019 osigurava preciznost kod centriranja mjerne komore prilikom spajanja na mjerni uređaj, jer je položaj nosača mjerne komore neovisan o položaju mjernog uređaja. Ta neovisnost omogućava jednostavno prenošenje i korištenje proizvoda na drugim mjernim uređajima te vrste. | Vanjska svojstva proizvoda - Svojstva vezana uz funkcije proizvoda |
| 10 | Predložene alternative R020 i R021 vođenja komore osiguravaju jednostavno sklapanje komponenata za vođenje komore na mjerni uređaj zbog toga što predviđaju manji broj dijelova. Bez obzira što se već sada može reći da je alternativa R020 jeftinija od alternative R021, obje alternative će se dalje razrađivati kako bi se vidjelo kako utječu na ostala parcijalna rješenja definiranih funkcija proizvoda. Nakon definiranja koncepta provest će se tehničko i ekonomsko vrednovanje prije daljnje razrade (oblikovanja i detaljiranja). | Vanjska svojstva proizvoda - Proizvodna svojstva |
| 11 | Elastični osigurači su dimenzija koje neće značajno povećati gabarite proizvoda, a njihovom primjenom moguće je ostvariti dvije različite funkcije proizvoda: (1) osiguranje spojeva BNC konektora (komora-mjerni uređaj) od izvlačenja (2) prihvat nosača komore (vagona) kod vođenja tijekom spajanja komore na mjerni uređaj | Vanjska svojstva proizvoda - Svojstva vezana uz funkcije proizvoda |
| 12 | Odabrane su alternativa R035 i R037. Nad njima će se nadalje provesti tehničko vrednovanje prema definiranom sustavu ciljeva. Kao što se može vidjeti iz objašnjenja rezultata vrednovanja koje je provedeno kroz diskusiju članova tima tijekom razvoja komore, glavna vodilja bila je jednostavnost proizvoda uz zadovoljavanje definiranih zahtjeva s naručiteljem. Raspoloživi budžet i vrijeme su dodatni kriteriji koji su igrali važnu ulogu u donošenju ove odluke. | Rezultati vrednovanja |
| 13 | Predložena alternativa se prihvaća predloženu alternativu R038 iz razloga što zadovoljava nekoliko zahtjeva naručitelja uz određenu kompaktnost proizvoda. | Vanjska svojstva proizvoda - Svojstva vezana uz funkcije proizvoda |
| 14 | Budući da se varijanta V1 (KONCEPT 2) nalazi bliže idealnom rješenju od druge varijante V2 (KONCEPT 4), ta varijanta se usvaja kao zadnje i konačno rješenje koje će se dalje razraditi u projektnim razradama. Obzirom da je parcijalno rješenje vođenja kućišta komore (Alternativa R020) u konceptu 4 bolje od razmatranog u konceptu 2 predlaže se njegova prilagodba Konceptu 2. | Rezultati vrednovanja |
| 15 | Nakon provedenog vrednovanja (C026) može se zaključiti da je parcijalno rješenje vođenja kućišta komore (R020) u konceptu 4 (R037) bolje od razmatranog u konceptu 2 (R035) stoga se predlaže njegova prilagodba konceptu 2. | Rezultati vrednovanja |
| 16 | Sve predložene alternative mogu se primijeniti za zaključavanje komore, no alternativa poluge s ekscentrom može se dodatno iskoristiti i za podešavanje razmaka između mjernih elektroda stoga se odabire alternativa R029. | Vanjska svojstva proizvoda - Svojstva vezana uz funkcije proizvoda |
| 17 | Sve predložene alternative materijala zadovoljavaju osnovni kriterij otpornosti na koroziju. Materijal R041 (mjed) ima bolju vodljivost topline no nije postojan iznad 90°C u pitkoj vodi. Stoga je odabrana alternativa R039 (X5CrNi18-10 (Č4580; AISI 304)) koju je moguće nabaviti u standardnoj ponudi proizvođača/distributera. | Vanjska svojstva proizvoda - Proizvodna svojstva |
| 18 | Predložene alternative materijala zadovoljavaju osnovne kriterije otpornosti na koroziju i mehaničkih svojstava ($R_m=700\text{N/mm}^2$). Stoga je odabrana alternativa R042 (X5CrNi18-10 (Č4580; AISI 304)) koju je moguće nabaviti u standardnoj ponudi proizvođača/distributera. | Vanjska svojstva proizvoda - Proizvodna svojstva |
| 19 | Prihvaćena alternativa R045 pričvršćenja s dva elastična lima ne zahtjeva posebne operacije korisnika u procesu priključivanja pokretne komore na nosač komore čime se skraćuje potrebno vrijeme za pripremu mjernog postava za mjerenje. | Vanjska svojstva proizvoda - Eksploatacijska svojstva |
| 20 | Alternativa R046 također se mogla izvesti na način da se omogući podešavanje sile pričvršćenja. No zbog zadanog roka u kojem se morala isporučiti dokumentacija odlučeno je nastaviti s alternativom R047 jer ne zahtjeva veće promjene na komponentama u sklopu. | Vrijeme/Rokovi |
| 21 | U literaturi postoje brojni drugi materijali koji bi također zadovoljili postavljene zahtjeve. Proizvodna svojstva predloženog materijala su dobra. Dio | Vanjska svojstva proizvoda - Proizvodna svojstva |

| | | |
|----|---|--|
| | je moguće izraditi savijanjem iz čelične trake debljine 1.5mm prema tehničkoj dokumentaciji. Stoga se prihvaća predložena alternativa R048. | |
| 22 | Budući da se R035 [varijanta V1 (KONCEPT 2)] nalazi bliže idealnom rješenju od R036 [druge varijante V2 (KONCEPT 4)], ta varijanta se usvaja kao zadnje i konačno rješenje koje će se dalje razraditi u projektnim razradama. Odabrana alternativa R035 predviđa otvaranje poklopca zakretanjem oko osi R014. | Rezultati vrednovanja |
| 23 | Od svih predloženih alternativa R049 može se jednostavno prilagoditi kako bi se zadovoljio i zahtjev vezan uz promjenu razmaka između elektroda. | Vanjska svojstva proizvoda - Svojstva vezana uz funkcije proizvoda |

Tablica 11.5. Razmatrana objašnjenja iskorištena u provedbi eksperimenta

| Redni broj | Pitanje | Odgovor | Vrsta objašnjenja |
|------------|--|--|------------------------|
| 1 | Što je motivacija za razvoj komore za dielektričnu spektroskopiju? | Ideja o izradi komore pokrenuta je od strane dr. sc. Tomislava Vuletića iz Centra za dielektričnu spektroskopiju Instituta za fiziku u Zagrebu. Temeljem novo razvijene mjerene metode, vodene otopine su testirane prototipom komore pomoću preciznog analizatora impedancije Agilent 4294A. Testni prototip komora je izrađena na Institutu za fiziku u svrhu potvrđivanja nove mjerene metode, ali je nakon brojnih pokusa pokazao niz nedostataka koji u određenoj mjeri utječu na rezultate istraživanja. U smislu pojedinačnih mjerenja, prototipna komora ostvaruje odlične rezultate, no priprema komore za mjerenje ima brojne nedostatke koji proizlaze iz njezine izvedbe, a posebno su kritični ponovljivost i efikasnost mjerenja te uklanjanje polarizacije elektroda. Kako bi se uklonili ti nedostaci u suradnji s Fakultetom strojarstva i brodogradnje pokrenut je projekt razvoja komercijalnog prototipa. Prototipnu verziju komore potrebno je konstrukcijski unaprijediti kako bi se poboljšala efikasnost i ponovljivost mjerenja te uklonili svi oni nedostaci koji su uočeni kod testnog prototipa. Konstrukcijski se prototipna komora može unaprijediti promjenom načina ugradnje elektroda od platine, primjenom elektroda kružnog oblika i manjih dimenzija, skraćanjem vodiča od elektrode do BNC konektora, praktičnijim načinom otvaranja komore kod izmjene uzorka, smanjenjem veličine komponenata za grijanje/hlađenje, povećanjem broja termometara, uklanjanjem potrebe za hlađenje vodom, jednostavnijim priključivanjem komore na mjerni uređaj Agilent. Obzirom na jedinstvenost mjerene metode, pretpostavka je da na tržištu postoji potencijal za komercijalizacijom mjerne komore. | Analiza |
| 2 | Što je dielektrična spektroskopija? | Dielektrična spektroskopija je jedna od grana spektroskopije koja se kao znanstvena disciplina koristi dugi niz godina u fundamentalnim i primijenjenim istraživanjima. Ona nam daje uvid u dinamiku promatranog sustava, tj. prikazuje interakciju elektromagnetskog zračenja i materije. Odnosno, služi za određivanje fundamentalnih skala duljine koje opisuju organizaciju i uređenje vodenih otopina mjerenjem njihovih električnih vodljivosti i kapaciteta. Ova grana spektroskopije se bavi mjerenjem dielektričnih svojstava materije u funkciji frekvencije. Mjerenje se zasniva na interakciji vanjskog električnog polja i momenta električnog dipola uzorka. Mjere se kolebanja lokalnih električnih polja, a povezana su s dinamikom na molekularnoj razini uzorka. Postoji više vrsta dielektričnih mehanizama, a oni se međusobno razlikuju po tome kako promatrani medij reagira pod utjecajem nametnutog vanjskog polja. Svaki dielektrični mehanizam je povezan s frekvencijom, a djeluje u uskom frekvencijskom području. U ovom slučaju najvažniji mehanizam se naziva dielektrična relaksacija. | Kvalitativne činjenice |
| 3 | Što je dielektrična relaksacija? | Dielektrična relaksacija kao cjelina je rezultat pomicanja dipola (dipol relaksacije) i električnog izboja (ionske relaksacije) uslijed primijenjenog vanjskog izmjeničnog polja. | Kvalitativne činjenice |

| | | | |
|----|--|---|-------------------------|
| 4 | Što je koloidna otopina? | Koloide su sustavi dvije ili više faza u kojima najmanje jedna faza ima čestice dimenzija između 1 nanometra i 1 mikrometra (10^{-9} - 10^{-6} m). Zbog malih dimenzija i male mase koloidne čestice se ne talože već lebde u otopini, praveći koloidnu otopinu. Međudjelovanje biološki značajnih molekula u koloidnim otopinama je ovisno o naboju i dipol momentu molekula koje sudjeluju u interakciji. | Kvalitativne činjenice |
| 5 | Kako izgleda radni princip prototipne komore? | Prototipna komora se može opisati kao uređaj za mjerenje vodljivosti temeljen na principu paralelnih kondenzatorskih elektroda koje su izrađene od 99,9% čiste platine [Slika 2.2]. Svaka elektroda je postavljena u čeličnu čahuru s time da je prethodno izolirana od čahure pomoću tanke staklene podloge. Dvije čahure zajedno tvore tijelo komore koje se otvara i zatvara zbog izmjene uzoraka. Ponovljivost razmaka elektroda je kao vrlo bitna vrijednost u sklopu mjerenja osigurano precizno izrađenim čeličnim dijelovima tijela komore. Zadržavanje uzorka između elektroda se ostvaruje putem djelovanja kapilarnih sila. Na taj način uzorak ne dolazi u direktan dodir ni s jednim drugim dijelom komore osim elektroda od platine. Uzorak pokriva samo mali centralni dio elektroda pa je tako električno polje unutar uzorka vrlo homogeno, a rubna električna polja na granicama elektroda nisu poremećena prisutnošću uzorka ili nedostatkom istog kao što je to slučaj kod različitih ostalih izvedbi koje postoje na tržištu. Komora se sastoji od gornjeg i donjeg dijela [Slika 2] koji nasjedaju jedan na drugi. Osiguranje položaja je izvršeno pomoću 4 vijka koji su smješteni na obodu čeličnog tijela. | Analiza |
| 6 | Kako se prototipna komora spaja na Agilent mjerni uređaj? | Spajanje komore s mjernim uređajem [Slika 1] izvodi se tako da se cjelokupna komora zajedno sa stalkom putem vodilica približi do konektora mjernog uređaja i izvrši osiguranje zatvorenog položaja. Osiguranje položaja se ostvaruje zakretanjem oklopa na vanjskim muškim BNC konektorima na komori. | Analiza |
| 7 | Što je Peltier modul? | Objašnjenje opisano u dokumentu povezanim s objašnjenjem. | Kvalitativne činjenice |
| 8 | Kako se dimenzionira (odabire) Peltier modul? | Objašnjenje opisano u dokumentu povezanim s objašnjenjem. | Kvalitativne činjenice |
| 9 | Kako se sklapa (montira) Peltier modul? | Objašnjenje opisano u dokumentu povezanim s objašnjenjem. | Kvalitativne činjenice |
| 10 | Koliki je volumen mjernog uzorka vodene otopine? | Mjerni uzorak je obično veličine oko $100 \cdot 10^{-6}$ l no može biti veličine od $50 - 200 \cdot 10^{-6}$ l. | Kvantitativne činjenice |
| 11 | Koliki je razmak između elektroda na prototipnoj komori? | Razmak između elektroda na prototipnoj komori je 1mm. | Kvantitativne činjenice |
| 12 | Kolika je temperatura na kojoj se obavlja mjerenje u prototipnoj komori? | Temperatura komore se stabilizira u toleranciji od $\pm 0,01^\circ\text{C}$ unutar temperaturnog područja 0 do 60°C . | Kvantitativne činjenice |
| 13 | Kolike su dimenzije i razmaci kontakata na Agilent mjernom uređaju? | Dimenzije i razmaci kontakata na Agilent mjernom uređaju prikazani su na slici 1, a izmjerene vrijednosti na slici 2. | Kvantitativne činjenice |

| | | | |
|----|---|---|-------------------------|
| 14 | Može li se nabaviti Peltier modul u obliku prstena? | Peltier modul se može nabaviti u obliku prstena. | Kvalitativne činjenice |
| 15 | Od kojeg materijala su napravljene elektrode na prototipnoj komori? | Elektrode na prototipnoj komori napravljene su iz Platine čistoće 99,9%. | Kvalitativne činjenice |
| 16 | Kolike su dimenzije elektrode na prototipnoj komori? | Elektrode 20x20x0.25mm su izrezane iz platine u obliku trake. | Kvantitativne činjenice |
| 17 | Zašto su elektrode na prototipnoj komori napravljene od platine? | Da bi se dobili što točniji rezultati mjerenja potrebno je izbjeći kontaminaciju mjernog uzorka, stoga naručitelj dr. sc. Tomislav Vuletić smatra da platina kao materijal elektrode zadovoljava postavljene zahtjeve. Svojstva platine: Ne oksidira ni pri kojoj temperaturi; Platina je otporna na habanje i gubitak boje; Posjeduje veliku otpornost na kemijske utjecaje; Ima odlične visoko-temperaturne karakteristike; Ima stabilna električna svojstva | Analiza |
| 18 | Kako korisnik priprema prototipnu komoru za mjerenje? | Kada je komora otvorena, izmjereni uzorak se ispere mlazom čiste vode. Zatim se elektrode osuše pomoću struje stlačenog suhog zraka nakon čega se mikropipetom nanosi novi uzorak na elektrodu. Nakon što se uzorak postavi na jednu elektrodu, druga elektroda (poklopac) se stavlja na uzorak i komora se u potpunosti zatvara. Oba dijela komore nasjedaju jedan na drugi i pritežu se po obodu pomoću četiri vijka pri čemu elektrode u tom položaju ostaju paralelne i koncentrične. Elektrode, kao i uzorak, su potpuno zabrtvljene pomoću kružnog prstena koji sprečava isparavanje vode za otapanje s uzorka kako bi se omogućilo mjerenje u trajanju do dva sata na jednom uzorku. | Analiza |
| 19 | Koji je tip kontakata na Agilent mjernom uređaju? | Prototipna komora se spaja direktno na mjerni uređaj pomoću četiri BNC konektora koji ostvaruju takozvanu 4TP konfiguraciju. | Kvalitativne činjenice |
| 20 | Što je to 4TP konfiguracija spajanja na Agilent mjerni uređaj? | Ova konfiguracija spoja [Slika 1] omogućuje mjerenje uzoraka pomoću mjernih uređaja koji koriste auto-balansirani mjerni krug. Prednost 4TP konfiguracije spoja jest u tome što može umanjiti utjecaj neželjene impedancije zbog toga što su put struje mjernog signala i naponski osjetni kablovi međusobno neovisni. Dodatna prednost jest da povratni strujni tok teče kroz vanjski oklop koaksijalnog kabla, a magnetski tok, koji je stvoren od strane unutarnjeg vodiča poništen je magnetskim tokom vanjskog vodiča (oklop). Ova konfiguracija se mora točno primijeniti, a duljine kablova se moraju smanjiti na najmanju moguću mjeru. Najvažnija stvar kod ovakvog načina spajanja jest ta da se oklopi koaksijalnih kablova spoje što je moguće bliže uzorku koji se mjeri (elektrode od platine s mjernim uzorkom). | Kvalitativne činjenice |
| 21 | Uzima li predložena funkcijska struktura proizvoda u obzir sve aspekte definirane u listi zahtjeva? | Vrednovanje je provedeno prema shemi ocjenjivanja [Tablica 1]. Može se zaključiti da je alternativa R002 bolja od alternative R001. | Vrednovanje |
| 22 | Zadovoljava li brtvljenje metal na metal? | Brtvljenje nalijeganjem metal na metal (eng. metal to metal seals) primjenjuje se kod spajanja cjevovoda kroz koje protječe medij pod visokim tlakom i visoke temperature tako da se slobodno može | Vrednovanje |

| | | | |
|----|---|---|-------------|
| | | primijeniti i za brtvljenje komore. | |
| 23 | Mogu li se vodilice pričvrstiti na uređaj za mjerenje? | Prilikom posjeta laboratoriju u kojem se provodi dielektrična spektroskopija na Agilent uređaju za mjerenje uočeno je da se na uređaju pored BNC konektora nalaze dva uvrta s navojima. Pregledavanjem uputa za korištenje uređaja ustanovljeno je da su uvrta predviđeni za priključivanje mjerne opreme. Što znači da je moguće na njih pričvrstiti mjerni postav s komorom za dielektričnu spektroskopiju. Obzirom da u spomenutoj literaturi nisu navedene dimenzije potrebne mjere su dobivene mjerenjem pomoću pomičnog mjerila. Na mjernom uređaju nalaze se dva uvrta s navojem M5x24 (dužina navoja 24mm) i koničnim upustom na međusobnom razmaku 110mm. Dužina koničnog upusta iznosi 2mm, polovični kut 30°, a veći promjer (na izlazu koničnog upusta) iznosi 9mm. | Analiza |
| 24 | Da li je predloženo rješenje pričvršćenja s vijcima M5 dovoljno čvrsto? | Analitičkim proračunom pojednostavljenog modela uklještene konzole izračunato je naprezanje na mjestu uklještenja. Pretpostavljene vrijednosti: Broj vodilica $n=2$ Ukupna masa dijelova koji se nalaze na vodilicama $m=1.5\text{kg}$ Maksimalno udaljeni položaj središta masa (točka 2) $l=100\text{mm}$ Promjer vodilice na mjestu uklještenja (promjer je isti po cijeloj dužini) $d=5\text{mm}$ Materijal X5CrNi18-9 $R_m=700\text{N/mm}^2$ Koeficijent sigurnosti $S=2$ Dopušteno naprezanje: $\sigma_{\text{dop}}=R_m/S=350\text{N/mm}^2$ Sila: $F=mg/2=7.36\text{N}$ Površina poprečnog presjeka: $A=19.635\text{mm}^2$ Moment savijanja: $M=Fl=736\text{Nmm}$ Naprezanje na odrez: $\tau=F/A=0.375\text{N/mm}^2$ ZANEMARENO! Naprezanje na savijanje: $\sigma=M/W=60\text{N/mm}^2$ $\sigma=60\text{N/mm}^2 < \sigma_{\text{dop}}=350\text{N/mm}^2$ ZADOVOLJAVA! | Vrednovanje |
| 25 | Koji od četiri predložena koncepta zadovoljavaju postavljene zahtjeve? | Nakon što su se na temelju morfološke matrice definirala četiri koncepta, pristupa se preliminarnom ocjenjivanju istih kako bi se nakon ovog izbora dobile dvije varijante koje idu dalje u glavno vrednovanje.. Ocjenjivanje koncepta izvršit će se na temelju sljedećih kriterija: <ul style="list-style-type: none"> • Zahtjevi iz liste zahtjeva ispunjeni • Želje iz liste zahtjeva ispunjene • Mogućnost jednostavne izrade • Pehvatljivi troškovi • Zadovoljava u pogledu trajnosti • Dovoljno poznavanje problema KONCEPT 1 Ovaj koncept posjeduje nekoliko bitnih čimbenika koji negativno utječu na njegovu prolaznost u drugi krug ocjenjivanja. Komora je smještena na zasebni nosač koji se vijčanom vezom namješta na nosač mjernog uređaja. Ovakvim rješenjem pozicioniranja se jako komplicira centriranje komore na mjerni uređaj, komplicira se konstrukcija komore i smanjuje fleksibilnost u upotrebi. Drugi problem jest u načinu hlađenja komore koji je predstavljen pomoću zatvorene šupljine u poklopcu komore u kojoj se nalazi rashladni fluid koji prenosi toplinu s komore na okolinu pomoću kružnog procesa sastavljenog od isparavanja i kondenzacije. U ovom trenutku se dovoljno ne poznaje problem, a iz prijašnjeg vlastitog iskustva uočena je određena tromost unutar sličnih procesa. Treći problem se javlja kod centriranja poklopca komore koji je napravljen kao konus. Ovakva izvedba značajno poskupljuje proizvodnju zbog izrade konusa u uskom polju tolerancija. KONCEPT 2 Za razliku od prvog koncepta, ovaj posjeduje puno jednostavniji, direktni način spajanja nosača s mjernim uređajem. Komora se nalazi na jednostrukom kliznom nosaču čime je dodatno postignuta jednostavnost konstrukcije. Osim toga, koncept sadrži dosta | Vrednovanje |

| | | | |
|----|---|--|-------------------------|
| | | <p>standardnih dijelova. Hlađenje komore je puno kvalitetnije i daje mogućnost regulacije (ventilator). Otvaranje komore je inventivno i zbog svih tih detalja može se preimenovati ovaj koncept u prvu varijantu rješenja za koju će se provesti tehničko vrednovanje.</p> <p>KONCEPT 3</p> <p>Koncept 3 sadrži kompliciranu konstrukciju što se odnosi na mehanizam ručice za zatvaranje krajnjeg položaja i dvostruki nosač komore (jedan je pokretni, a drugi nije). Ovakva konstrukcija će zasigurno negativno utjecati na cijenu izrade, ali i na eksploatacijska svojstva komore u radu. Dodatan problem stvaraju brojni konektori i kontakti između nosača koji sigurno utječu na točnost mjerenja temperature unutar kućišta komore.</p> <p>KONCEPT 4</p> <p>U Konceptu 4 poklopac se otvara poput knjige i omogućava nesmetanu izmjenu uzoraka. Zadržka poklopca osigurava poklopac da se slučajno ne otvori. Prednost ovog koncepta je u korištenju konektora za spajanje peltier modula koji ujedno služe i za centriranje položaja pokretne komore u odnosu na nosač. Nosač komore se nalazi u kliznom kontaktu s dvama čeličnim kliznim stazama s kojima čini čvrsti i pokretni okvir za držanje komore. Ovaj koncept će se nadalje smatrati kao druga varijanta rješenja za koju će se provesti tehničko vrednovanje.</p> | |
| 26 | Koji od dva predložena koncepta odabrati za daljnji razvoj? | <p>Ukupna dobrota rješenja:</p> <p>Ukupna dobrota rješenja za varijante V1 (KONCEPT 2) i V2 (KONCEPT 4) prikazuje se grafički pomoću S-dijagrama. Tehnička dobrota X_j nanosi se na apscisu, a ekonomska dobrota Y_j na ordinatu dijagrama [Slika 4.15]. Točkama S1 i S2 označene su varijante rješenja i njihov položaj u ovisnosti o idealnom rješenju. Idealno rješenje predstavljeno je pravcem iz ishodišta koordinatnog sustava do točke Si. Dobra rješenja su ona rješenja kod kojih se dobrote (tehnička i ekonomska) nalaze što bliže idealnom rješenju. Iz dijagrama [Slika 4.15] može se vidjeti da su obje varijante rješenja komore jako blizu pravca idealnog rješenja. U ovom slučaju pretpostavljene su iste ekonomske dobrote za obje varijante što je jasno vidljivo u ovom dijagramu. Stoga se izbor konačnog rješenja provodi samo na temelju tehničke dobrote.</p> | Vrednovanje |
| 27 | Kolika je dopuštena tolerancija paralelnosti između elektroda tijekom mjerenja? | Tolerancija položaja proizlazi iz dopuštene tolerancije razmaka između elektroda $\pm 0,001$ mm. | Kvantitativne činjenice |

ŽIVOTOPIS

Danijel Rohde rođen je 1977. godine u Kutini, Republika Hrvatska. Nakon završene osnovne i srednje Tehničke škole u Kutini, 1996. godine upisuje Fakultet strojarstva i brodogradnje u Zagrebu. Diplomirao je 2002. godine na Konstrukcijskom smjeru sa temom "Metodička razrada familije strojeva za kopiranje duboreza". Iste godine zaposlen je pri Katedri za konstruiranje i razvoj proizvoda Fakulteta strojarstva i brodogradnje u Zagrebu kao znanstveni novak. Od tada sudjeluje u istraživanjima na projektu Ministarstva znanosti obrazovanja i športa Republike Hrvatske broj 0120017 "Modeli i metode unaprjeđenja računalne podrške razvoju proizvoda", te projektu broj 120-1201829-1828 "Modeli i metode upravljanja znanjem u razvoju proizvoda". Odslušao je i položio sve kolegije na poslijediplomskom studiju Fakulteta strojarstva i brodogradnje, smjer Teorija konstrukcija. Od 2002. do 2010. godine aktivno je sudjelovao na nekoliko projekata u suradnji s privredom. U svojstvu asistenta sudjelovao je u nastavi izvođenjem vježbi iz različitih kolegija na Fakultetu strojarstva i brodogradnje, te kao honorarni asistent na Strojarskom i Informatičkom odsjeku Tehničkog veleučilišta u Zagrebu. Kao komentor sudjelovao je u izradi više završnih i diplomskih radova na preddiplomskom, dodiplomskom i diplomskom studiju Fakulteta strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu.

Tijekom ljeta 2004. godine završio je međunarodni doktorandski seminar "Ph.D. Course – Design Methodology" u organizaciji Danskog tehničkog sveučilišta, Tehničkog sveučilišta u Berlinu, te Tehničkog sveučilišta Saarland.

Od 2004. aktivno sudjeluje i u organizaciji međunarodnih znanstvenih skupova iz serije DESIGN, koji se održavaju svake parne godine u Dubrovniku (Cavtat). Kao autor ili koautor objavio je nekoliko znanstvenih i stručnih radova u Hrvatskoj i inozemstvu.

BIOGRAPHY

Danijel Rohde was born in 1977 in Kutina, Republic of Croatia. After he completed his primary and secondary education (technical high school) in Kutina, in 1996 he enrolled in the study of mechanical engineering at the Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture University of Zagreb where he graduated in 2002. The same year he was employed at the Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture University of Zagreb as a Ph.D. research student at the Chair of Design and Product Development. His research is funded by Ministry of Science, Education and Sports of Republic of Croatia as a part of the research project 0120017 "Models and methods for improving the computer support of product development" and as a part of the research project 120-1201829-1828 "Model and Methods of Knowledge Management in Product Development".

He completed and passed all courses at the postgraduate studies at the Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture University of Zagreb. From 2002 to 2010 he has been actively involved in several projects in cooperation with industrial partners.

Besides teaching activities at the home faculty, he has been involved in the teaching at the Study of Mechanical Engineering and the Study of Computer Science (Informatics) at the Polytechnics of Zagreb. As a co-mentor he has led several final and graduate student works at the Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture University of Zagreb.

In summer of 2004 he attended an international two-week PhD seminar: "Ph.D. Course – Design Methodology" organised by the Danish Technical University, Technical University of Berlin and University of Saarland.

Since 2004 he took an active part in the organization of the international design conferences DESIGN 2004, DESIGN 2006, DESIGN 2008, DESIGN 2010 held in Dubrovnik (Cavtat). As the author or co-author he has published several scientific and technical reports in Croatia and abroad.