



УНИВЕРЗИТЕТ У НИШУ
МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ У НИШУ



Милан Б. Трифуновић

**ГЕОМЕТРИЈСКО МОДЕЛИРАЊЕ ОБЈЕКТА СА
ЕЛЕМЕНТИМА СЛОБОДНЕ ФОРМЕ ПОДРЖАНО
АНАЛИЗОМ ЊИХОВИХ СЕМАНТИЧКИХ ОДЛИКА**

докторска дисертација

Ниш, 2016.



UNIVERSITY OF NIŠ
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING IN NIŠ



Milan B. Trifunović

**GEOMETRIC MODELING OF OBJECTS WITH FREE-FORM
ELEMENTS SUPPORTED BY ANALYSIS OF THEIR
SEMANTIC FEATURES**

doctoral dissertation

Niš, 2016

ПОДАЦИ О МЕНТОРУ И ЧЛАНОВИМА КОМИСИЈЕ

Ментор

др Мирослав Трајановић, редовни професор, Универзитет у Нишу, Машински
факултет у Нишу

Чланови комисије

др Миодраг Манић, редовни професор, Универзитет у Нишу, Машински
факултет у Нишу

др Alexis Aubry, ванредни професор, Université de Lorraine, Нанси, Француска

др Љиљана Радовић, ванредни професор, Универзитет у Нишу, Машински
факултет у Нишу

др Милош Стојковић, доцент, Универзитет у Нишу, Машински факултет у
Нишу

Датум одбране: 26.02.2016. године

ЗАХВАЛНОСТ АУТОРА

Ова докторска дисертација је проистекла из вишегодишњег истраживачког рада који је започео на пројекту „Активни семантички модел података о производу“ (ТР-12010) под вођством проф. др Миодрага Манића, а затим је настављен у оквиру пројекта „Виртуелни коштано зглобни систем човека и његова примена у претклиничкој и клиничкој пракси“ (ИИИ41017) којим руководи проф. др Мирослав Трајановић. Хвала Министарству просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије које је финансирало ове пројекте.

Желим да се захвалим људима који су имали великог утицаја на мој професионални развој и који су сваки на свој начин допринели да ова дисертација угледа светлост дана.

Неизмерну захвалност дугујем проф. др Мирославу Трајановићу, свом ментору, на поверењу које ми је указао, на одлучном и стручном усмеравању, и корисним саветима баиш онда када су били потребни.

Такође, желео бих да изразим своју дубоку захвалност проф. др Миодрагу Манићу за безрезервну подршку коју ми је указао, стручне и веома корисне сугестије током мог рада на овој дисертацији.

Доц. др Милошу Стојковићу, од кога је и потекла идеја Активног семантичког модела, се захваљујем за свесрдну помоћ, ентузијазам и креативност које је делио са мном. Заједнички рад на развоју АСМ-а је био посебно и драгоцено искуство.

Захваљујем се проф. др Љиљани Радовић за сву помоћ током нимало једноставног истраживања у области утврђивања сличности графова.

Част ми је и велико задовољство имати проф. др Alexis Aubry-а за члана комисије за оцену и одбрану докторске дисертације.

Доц. др Драгану Мишићу велико хвала за несебичну помоћ у развоју апликације која је послужила за тестирање приступа.

И на крају, неизмерно хвала мојој породици, наслеђеној и стеченој, за пружену љубав, разумевање и неопходну подршку без које свакако не бих могао да завршим ово путовање са успехом.

Милан Трифуновић

... *Весни*

САЖЕТАК

Геометрија производа је често дефинисана комбинацијом правилних геометријских облика и облика слободне форме. Један од највећих изазова у пројектовању и реверзном моделирању слободних форми лежи управо у **јединствености** и **сложености** ових облика. Приликом пројектовања и/или реверзног моделирања облика слободне форме пројектант бира одговарајући скуп геометријских техничких елемената (*geometric features*) из палете коју му пружа CAD апликација, и потом их компоује (слаже и међусобно повезује) тако да што тачније моделира захтевану геометрију слободне форме. С тим у вези, пројектант настоји да искористи искуство у моделирању предмета са елементима слободне форме, сличних геометријских и функционалних карактеристика, како би применио проверени и најцелисходнији метод пројектовања. Исто важи и за реверзно моделирање предмета са елементима слободне форме.

Основни задатак у дисертацији је да се створи КВЕ (*Knowledge Based Engineering*; Инжењеринг базиран на знању) додатак CAD пакету уз помоћ кога би се у што је могуће већој мери аутоматизовао процес пројектовања / реверзног моделирања објеката са елементима слободне форме, а чиме би се створиле значајне уштеде по питању времена и трошкова пројектовања. Под аутоматизацијом процеса пројектовања / реверзног моделирања објеката са елементима слободне форме се овде мисли на доношење одлука у вези са избором геометријских техничких елемената и начином њиховог компоновања.

Проучавајући рад пројектанта може се закључити да аутоматизација процеса пројектовања и реверзног моделирања објеката са елементима слободне форме захтева и аутоматизацију семантичке интерпретације њихових геометријских, функционалних и технолошких одлика. За моделирање значењских одлика геометрије објеката са елементима слободне форме је неопходан семантички модел података. Обзиром да пројектант покушава да брже реши проблем тако што ће применити ранија решења (или делове решења) за сличне претходно разматране проблеме, неопходно је и постојање механизма закључивања на основу случајева / закључивања по аналогiji који ће функционисати на нивоу семантичке мреже.

Имајући у виду ограничења постојећих (стандардних) КВЕ метода и актуелних семантичких модела, као и потенцијале Активног Семантичког Модела (АСМ), постоји основана претпоставка да би АСМ уз неопходну и одговарајућу надоградњу био јако добар кандидат за КВЕ додатак за подршку пројектовању и реверзном моделирању објеката са елементима слободне форме. Управо из тог разлога, задаци у дисертацији су да се:

- развије поступак утврђивања тополошке аналогije делова семантичке мреже АСМ-а, који је неопходан за проналажење сличних раније разматраних случајева,
- унапреди поступак доградње контекста, који у суштини представља имплементиран механизам закључивања на основу случајева / закључивања по аналогiji у АСМ-у, и
- истражи и докаже употребљивост тако надограђеног АСМ-а за аутоматизацију процеса пројектовања и реверзног моделирања објеката са елементима слободне форме.

Активни Семантички Модел је створен у виду семантичке мреже у коме најважнију улогу имају асоцијације – значењске везе између чворова мреже, које су дефинисане као посебне информатичке структуре које одликује једанаест атрибута или параметара. Асоцијације семантичке мреже су организоване у контексте (скупове семантички блиских асоцијација). Чворови мреже представљају појмове дефинисане само називом. Главна предност АСМ-а над другим семантичким моделима је у самој структури семантичке мреже у којој су асоцијације или семантичке везе између чворова мреже дефинисане као посебне информатичке структуре које одликује одређени број атрибута или параметара. Оваква структура асоцијација је пројектована у тежњи да се подржи основна хипотеза да се знање проистекло из искуства које људи поседују о стварима (мисаоним и визуелним представама, објектима, ситуацијама, појавама и др.), садржи у асоцијацијама између појмова који апстрактно означавају те ствари.

Развијен је поступак утврђивања тополошки аналогних сплетова (сплет асоцијација је подскуп контекста) и контекста семантичке мреже АСМ-а. Овај поступак омогућава проналажење делова семантичке мреже који имају исту врсту или класу топологије и идентичне структуре. Овде се под врстом или класом топологије подразумева комбинација одговарајућих вредности тополошких параметара (улоге појмова, тип, карактер и смер асоцијације) асоцијација сплета. Овај поступак се у области теорије графова може категоризовати као утврђивање максималног заједничког подграфа улазног графа и сваког од преосталих графова семантичке мреже АСМ-а. Семантичка мрежа АСМ-а, која се састоји од асоцијација организованих у контексте, може се представити као скуп означених усмерених мултиграфова са јединственим ознакама чворова.

Унапређен је поступак доградње контекста семантичке мреже АСМ-а који представља оригинални метод закључивања по аналогiji у семантичкој мрежи. Овај поступак, заједно са претходним, је кључан за закључивање у условима неодређености, односно у ситуацијама када улаз није унапред познат, што је случај са објектима са елементима слободне форме.

Овако реализован процес закључивања по аналогији омогућава аутономну, флексибилну и аналитичну семантичку интерпретацију података уграђених у семантичку мрежу. Још једна предност овог поступка јесте полуаутоматска адаптација решења сличних претходно разматраних случајева.

Креирана је AcSeMod програмска апликација у чијој основи се налази АСМ. Ова апликација је коришћена за тестирање приступа.

Тестирање приступа је спроведено над проблемима који се јављају у процесу реверзног моделирања геометрије костију човека, конкретно бутне кости. Приликом тестирања приступа су као резултат предлагани поступци реверзног моделирања засебних регија бутне кости, издвојених на основу анатомских и морфолошких својстава исте. Конкретно су предлагани поступци реверзног моделирања *трохантерске регије, тела бутне кости и доњег крајка бутне кости*.

Резултати тестирања показали су да употреба семантичких структура АСМ-а и придружених процедура когнитивне обраде података пружа могућност да се изврши семантичка категоризација и интерпретација геометријских и функционалних одлика објеката са елементима слободне форме. Такође, АСМ је показао да је у стању да аутономно ствара одговоре (конкретно поступак реверзног моделирања) у условима унапред недефинисаних улазних пакета података (каква је ситуација у којој се као улаз разматра објекат са елементима слободне форме).

Коначно, овако надограђен и унапређен АСМ је показао потенцијал да значајно унапреди процес пројектовања и реверзног моделирања производа помоћу рачунара, активно подржавајући развој у сложеним колаборативним окружењима.

Кључне речи: *Геометријско моделирање, Слободне форме, Рачунаром подржано пројектовање, Семантичке мреже, Активни Семантички Модел, Семантичка интерпретација података, Когнитивна обрада података, Тополошка аналогија, Закључивање по аналогији, Закључивање на основу случајева*

Научна област: Техничко-технолошке науке

Ужа научна област: Производни системи и технологије

УДК: 004.925.8:519.711]:004.822(043.3)

Класификациона ознака: T210.T130

ABSTRACT

Product geometry is usually defined by combination of regular and free-form shapes. One of the biggest challenges associated with geometric modeling and digital reconstruction of free-forms comes from uniqueness and complexity of these shapes. While modeling or digitally reconstructing free-form shapes, the designer has to choose the right set of geometric features from the palette provided by CAD program and then compose them in a way which will enable the most accurate modeling or reconstruction of the geometry. Designer primarily relies on personal experience gained through work with objects with free-form elements of similar geometric and functional features.

The main task in dissertation is to create KBE (Knowledge Based Engineering) add-in in CAD software package, by means of which the process of design or/and reverse modeling of objects with free-form elements would be (as much as possible) automated, leading to significant savings in time and costs of designing. Automatization of the process of design and reverse modeling of objects with free-form elements here means making decisions about which geometric features should be used and how should they be composed.

By studying the work of the designer, it can be concluded that automatization of process of geometric modeling or/and digital reconstruction of objects with free-form elements requires automatization of semantic interpretation of their features. Semantic data model is necessary for modeling semantic features of geometry of objects with free-form elements. Since designer tries to solve the problem faster by applying previous solutions (or parts of solutions) for similar problems, existence of case-based / analogy-based mechanism which will operate at the semantic network level is necessary.

Taking into account limitations of current KBE methods and semantic models, as well as potentials of the Active Semantic Model (ASM), there exists reasonable assumption that ASM, with necessary and appropriate upgrade, would be very good candidate for KBE add-in for supporting process of geometric modeling or/and digital reconstruction of objects with free-form elements. For that reason, the tasks in research (dissertation) are:

- to develop procedure for determining topological analogy between parts of ASM semantic network, which is necessary for retrieval of similar previously considered cases,
- to improve context upgrading procedure, which is essentially implemented mechanism for case-base / analogy-based reasoning in ASM, and

- to investigate and prove applicability of upgraded ASM for automatization of the process of geometric modeling or/and digital reconstruction of objects with free-form elements.

ASM was created as a kind of semantic network in which associations play the most important role. The association of ASM is a kind of semantic relation between the network nodes which is defined as a specific informatic structure characterized by the nine attributes or parameters. Semantic network associations are organized into contexts (sets of semantically close associations). Each network node represents a concept which is characterized just by its name. The main advantage of ASM, compared to other semantic models, lies in semantic network structure where semantic relations or associations (the term that is used in ASM) between the nodes of the semantic network are defined as special informatic structures characterized by specific number of attributes or parameters. Such association structure was created in order to support the thesis stating that the knowledge people have about things (visual representations, objects, situations, etc.) is contained in associations between concepts that abstractly represent those things.

Procedure for determining topological analogous association plexuses (association plexus is subset of context) and contexts of the ASM semantic network was developed. This procedure enables retrieval of semantic network parts which have same type of topology and the same structure. Type of topology stands for combination of appropriate values of topological parameters (roles of concepts, type, character and direction) of associations in association plexus. In the context of graph theory this procedure can be categorized as recognizing simultaneously maximum common subgraph of input graph and each of the remaining graphs of the ASM semantic network. ASM semantic network, consisting of associations organized into contexts, can be represented as a set of labeled directed multigraphs with unique node labels.

Context upgrading procedure, which represents original method of analogy-based reasoning in the semantic network, was upgraded. This procedure, together with the previous, is essential for reasoning in case of uncertainty, i.e. in situations when the input is not known in advance, like with object with free-form elements. Process of analogy-based reasoning realized in this way enables autonomous, flexible and analytical semantic interpretation of data embedded in the semantic network. Another advantage of this procedure is semiautomatic adaptation of solutions of previously considered cases.

The AcSeMod application, implementing the ASM structure and accompanying cognitive data processing algorithms, was developed. This application was used for testing of the approach.

Testing of the approach was conducted over the problems that arise in the process of reverse modeling of human bone geometry, concretely human femur. During the testing of the approach, procedures for reverse modeling of separate regions of the femur, isolated on the basis of

anatomical and morphological features of femur, are proposed as a result. Procedures for reverse modeling of trochanteric region, femoral shaft and distal femur were proposed.

Results of testing showed that the usage of semantic structures of ASM and associated cognitive data processing procedures provides the ability to perform semantic categorization and interpretation of geometric, functional and technological features of objects with free-form elements. In addition, ASM was shown to be able to autonomously create responses (procedure for reverse modeling) for the unpredicted data input (which is the situation where object with free-form elements is the considered input).

Finally, ASM, improved and upgraded in this way, has shown the potential to significantly improve computer aided design and reverse modeling, at the same time actively supporting collaborative product development process.

Keywords: *Geometric modeling, Free-forms, Computer aided design, Semantic networks, Active Semantic Model, Semantic interpretation of data, Cognitive data processing, Topological analogy, Case-based reasoning, Analogy-based reasoning*

Scientific field: Technical and technological sciences

Specific scientific field: Manufacturing systems and technologies

UDC: 004.925.8:519.711]:004.822(043.3)

Classification code: T210.T130

Садржај

1. Увод.....	1
2. Преглед савремених истраживања у области.....	4
2.1 Инжењерски системи базирани на знању	4
2.1.1 Увод.....	4
2.1.2 Разлози за коришћење инжењеринга базираног на знању	6
2.1.3 Методолошки приступи инжењерингу базираном на знању	8
2.1.4 Недостаци инжењеринга базираног на знању	11
2.1.5 Позиционирање КВЕ-а у односу на друге њему блиске дисциплине	12
2.1.6 Корени инжењеринга базираног на знању у области вештачке интелигенције	13
2.1.7 Инжењерски системи базирани на знању	15
2.1.7.1 Сличности и разлике између инжењерских система базираних на знању и експертних система.....	16
2.1.8 Главне карактеристике КВЕ језика.....	19
2.1.8.1 КВЕ оператори за дефинисање хијерархија класа и објеката	19
2.1.8.2 Правила инжењеринга базираног на знању.....	20
2.1.9 КВЕ модели производа за генеративно пројектовање.....	21
2.1.10 Могућности програмерског приступа	25
2.1.11 Еволуција и трендови КВЕ технологије.....	28
2.2 Утврђивање сличности графова.....	30
2.2.1 Увод.....	30
2.2.2 Примери примене теорије графова	32
2.2.3 Утврђивање сличности графова	35
2.2.3.1 Основна нотација	36
2.2.3.2 Прецизно поклапање графова.....	39
2.2.3.3 Непрецизно поклапање графова.....	48
2.2.3.4 Остале технике непрецизног поклапања графова.....	51
2.3 Алати за подршку одлучивању приликом пројектовања	51

2.3.1 Закључивање на основу случајева	52
2.3.2 Закључивање по аналогији	58
2.3.2.1 Proteus.....	60
2.3.2.2 Associative Memory-Based Reasoning (AMBR).....	64
2.3.2.3 Learning and Inference with Schemas and Analogies (LISA)	68
2.3.2.4 MAC/FAC и SME	73
2.3.2.5 ARCS и ACME	81
2.4 Анализа истраживања у области.....	85
3. Задатак: Геометријско моделирање објеката са елементима слободне форме подржано анализом њихових семантичких одлика.....	87
4. Активни семантички модел и когнитивно процесирање	89
4.1 Поступак утврђивања тополошки аналогних сплетова и контекста.....	89
4.1.1 Тополошки аналогни сплетови и контексти	89
4.1.1.1 Тополошки кореспондентне асоцијације и појмови.....	90
4.1.1.2 Критеријуми за утврђивање тополошке аналогије сплетова или контекста.....	92
4.1.1.3 Врсте тополошки аналогних сплетова и контекста.....	92
4.1.2 Означавање сплетова асоцијација.....	94
4.1.3 Врста и статистика топологије сплета.....	94
4.1.4 Представљање контекста АСМ-а као графова.....	97
4.1.5 Пример.....	98
4.1.5.1 Општи алгоритам за „низање“ непрекинутих сплетова.....	100
4.1.5.2 Обрада улазног сплета.....	109
4.1.5.3 Обрада остатка АСМ-ове мреже	110
4.1.5.4 Упит упаривања 1	119
4.1.5.5 Упит упаривања 2	120
4.1.6 Сложеност алгоритма утврђивања тополошки аналогних сплетова и контекста ...	123
4.1.6.1 Сложеност алгоритама	123
4.1.7 Смештање пронађених тополошки аналогних сплетова у базу података.....	126
4.1.8 Успостављање асоцијација између тополошки аналогних сплетова	128

4.2 Поступак доградње контекста.....	128
4.2.1 Доградња тополошки аналогних сплетова.....	128
4.2.2 Први покушај	135
4.2.2.1 Семантички удаљени тополошки кореспондентни појмови	135
4.2.2.2 Семантички блиски тополошки кореспондентни појмови	138
4.2.2.3 Друга итерација првог покушаја	141
4.2.3 Прекид покушаја доградње.....	145
4.2.4 Други покушај.....	146
4.2.4.1 Проналажење појмова сличних појмовима улазног сплета.....	146
4.2.4.2 Виртуелни појмови	149
4.2.5 Поновно спровођење првог покушаја.....	154
4.2.6 Трећи покушај.....	156
4.2.7 Прекид поступка доградње тополошки аналогних сплетова	160
4.2.8 Случај примене	160
4.3 AcSeMod програмска апликација – Алат за тестирање приступа	169
4.3.1 Увод.....	169
4.3.2 Техничке карактеристике апликације.....	169
4.3.3 Опис апликације	172
4.3.3.1 Приказивање параметара асоцијација.....	173
4.3.3.2 Фразе	174
4.3.3.3 Креирање новог контекста, нових појмова и асоцијација између појмова	177
4.3.3.4 Проналажење одговора од стране АСМ-а	180
5. Тестирање: Експерименти и резултати.....	187
5.1 Увод	187
5.2 Реверзно моделирање геометрије хуманих костију	189
5.3 Трохантерска регија	192
5.4 Доњи крајак бутне кости	222
5.5 Тело бутне кости	241

5.5.1 Генерисање првог дела поступка реверзног моделирања тела бутне кости	252
5.5.2 Генерисање другог дела поступка реверзног моделирања тела бутне кости	264
6. Завршно разматрање резултата и закључак	279
7. Литература	283
8. Прилози	297
8.1 Активни семантички модел и когнитивно процесирање	297
8.1.1 Структура модела	297
8.1.2 Алгоритми когнитивне обраде података	299
8.1.2.1 Утврђивање степена семантичке сличности појмова и класе сличности асоцијација	300
8.1.2.2 Утврђивање параметара асоцијација (УПА)	301
8.1.2.3 Утврђивање сличности контекста (УСК)	306
8.1.2.4 Стварање хеуристика и бистрење знања	306

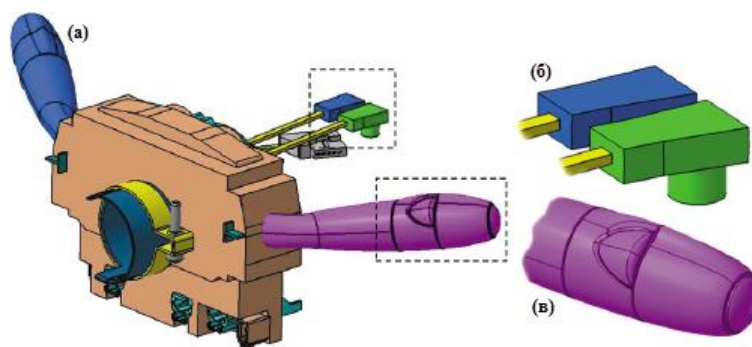
1. Увод

У данашње време у многим областима индустрије комерцијални успех производа у многоме зависи од изгледа производа. Да би се дизајн производа учинио атрактивнијим често се (при геометријском моделирању истих) користе облици слободне форме¹. Такође, слободне форме у инжењерском дизајну су неопходне и у случајевима где су функција и/или перформансе производа директно зависни од његовог облика, што је рецимо случај код дизајна имплантата костију. Распољивост нових материјала и еволуција производних процеса омогућују све већу слободу приликом дефинисања облика, чиме они постају све комплекснији.

Геометрија производа је често дефинисана комбинацијом правилних геометријских облика и облика слободне форме (слика 1-1). Слободне форме се најчешће срећу приликом пројектовања и реверзног моделирања предмета индустријског дизајна, уметничких предмета (попут скулптура), као и приликом реверзног моделирања биолошких форми (попут костију човека). Један од највећих изазова у пројектовању и реверзном моделирању слободних форми лежи управо у **јединствености** и **сложености** ових облика. Приликом пројектовања и/или реверзног моделирања облика слободне форме пројектант бира одговарајући скуп геометријских техничких елемената (*geometric features*) из палете коју му пружа CAD апликација, и потом их компоује (слаже и међусобно повезује) тако да што тачније моделира захтевану геометрију слободне форме. Истовремено, треба имати на уму да процес пројектовања / реверзног моделирања слободних форми мора задовољити и тражени ниво продуктивности. С тим у вези, пројектант настоји да искористи искуство у моделирању предмета са елементима слободне форме, сличних геометријских карактеристика, како би применио проверени и најцелисходнији метод пројектовања. Исто важи и за реверзно моделирање предмета са елементима слободне форме. Поред самих геометријских карактеристика, пројектант приликом избора начина моделирања геометрије узима у обзир и друге, тзв. значењске одлике предмета са елементима слободне форме. На пример, то може бити знање о производном процесу који треба применити како би се касније тај предмет са елементима слободне форме израдио, или ако се, на пример, ради о имплантату, знање о процесу имплантације, или пак знање о функцији предмета. Дакле, уградња знања (у форми захтева, ограничења, правила и препорука), које потиче од свих учесника у процесу стварања производа, у интегрисани модел производа, на самом почетку стварања производа,

¹ Разлика између облика слободне форме и облика правилне форме јесте у томе што у првом случају корисник има много већу слободу приликом моделирања облика (van den Berg et al., 2002).

представља незаобилазан корак у настојању да се предупредe могуће грешке појединих учесника, повећа продуктивност и створи вишак времена за креативне активности.



Слика 1-1 Геометријски модел командног блока аутомобила (а). Командни блок је моделиран уз помоћ правилних облика (б) и облика слободне форме (в). (преузето из (Pernot et al., 2008))

У општем случају, уградња знања, односно представљање и примена доменског знања у одговарајућим инжењерским апликативним програмским пакетима (CAD/CAA) се остварује надоградњом ових пакета. Надоградња најчешће подразумева употребу „базе знања“ и тзв. „механизма за закључивање“. Тако надограђени инжењерски програмски системи се називају *Knowledge Based Engineering Systems* – KBES (у нашој литератури најчешће срећемо кованицу „инжењерски системи базирани на знању“). Овакви системи су иницијално били названи интелигентним CAD системима с обзиром да су представљали интеграцију метода вештачке интелигенције и рачунаром потпомогнутог пројектовања. Говорећи у контексту пројектовања предмета са елементима који се одликују геометријом слободне форме, база знања инжењерског система базираног на знању би садржала пре свега програмиране „рецепте“ за генерисање детаљне геометрије површина и солида.

Приликом пројектовања и/или реверзног моделирања објеката са елементима слободне форме пројектант се обично сусреће са јединственим и сложеним објектима, односно са **унапред недефинисаним улазом** у процес пројектовања. У таквим ситуацијама се пројектант обично ослања на своје знање проистекло из искуства (тзв. тацитно знање), односно анализе значењских и узрочно-последичних веза између састојака ранијих ситуација, за које постоје одговарајући подаци. Конкретно, пројектант ће протумачити значење атрибута актуелне ситуације (улаза у процес пројектовања; геометрија доњег крајка бутне кости) у датом контексту (реверзно моделирање доњег крајка бутне кости) спрам одређеног циља (дефинисање поступка реверзног моделирања доњег крајка бутне кости) и очекиваног производа тог тумачења (поступак реверзног моделирања доњег крајка бутне кости), како би утврдио сличност са неком ранијом ситуацијом. Из претходних реченица се може закључити да је за аутоматизацију употребе тацитног знања помоћу

рачунара потребно аутоматизовати тумачење значења података, односно семантичку интерпретацију података. То, међутим, није могуће без одговарајућег семантичког модела података и придружених процедура за семантичку интерпретацију, односно когнитивну обраду података.

Када се говори о процедурама когнитивне обраде података, за очекивати је да ће пројектант, у потрази за одговарајућим поступком пројектовања / реверзног моделирања, анализирати и значајно различите ситуације, односно објекте из различитих (удаљених) домена. Стога процедуре когнитивне обраде података морају (пored механизма закључивања на основу случајева) садржати и механизам закључивања по аналогiji. Овај механизам би омогућио проналажење аналогних раније разматраних ситуација и трансфер поступка пројектовања / реверзног моделирања неког од раније разматраних објеката, укључујући и евентуалне измене истог. За проналажење аналогних раније разматраних ситуација је неопходно располагати поступком утврђивања тополошке аналогije делова семантичке мреже. С обзиром да се семантичка мрежа може представити као скуп графова, утврђивање тополошке аналогije делова семантичке мреже је уско повезано са проблемом утврђивања изоморфности (под)графова.

2. Преглед савремених истраживања у области

Рад на дисертацији је обухватио разматрање истраживања у више области:

1. Истраживања посвећена инжењерским системима базираним на знању
2. Истраживања посвећена теорији графова и посебно алгоритмима за утврђивање изоморфности (под)графова и максималних заједничких подграфова
3. Истраживања посвећена процесима закључивања на основу случаја и закључивања по аналозији

2.1 Инжењерски системи базирани на знању

2.1.1 Увод

Све конкурентнија и захтевнија тржишта приморавају компаније да траже начин за смањење времена и трошкова развоја новог производа, а да у исто време задовоље захтеве купца и одрже или побољшају квалитет производа. Компаније се због тога све више крећу ка *Масовној производњи према индивидуалним захтевима купца (Mass Customization – MC)*: производњи робе која ће задовољити индивидуалне захтеве купаца, са ефикасношћу која је блиска ефикасности масовне производње, по цени производа створених у процесу масовне производње (Tseng & Jiao, 2001). Ово захтева способност брзог и колаборативног (Wognum & Garpey, 2008) пројектовања и производње великог броја варијанти производа, базираних на принципима *модуларног пројектовања*². Једна од технологија која подржава брзо, модуларно пројектовање је *Инжењеринг базиран на знању (Knowledge Based Engineering – KBE)*. Ова технологија је у знатној мери и била коришћена за подршку MC-у (Cooper et al., 2001; Elgh, 2008; Elgh & Cederfeldt, 2010).

У литератури постоје различите дефиниције KBE-а, које типично одражавају погледе различитих учесника у развоју, или корисника KBE апликације. Због тога је можда најприхватљивија следећа проширена дефиниција (La Rocca, 2011):

Инжењеринг базиран на знању је технологија базирана на коришћењу наменских софтверских алата, званих KBE системи, који су у стању да чувају и систематски поново користе инжењерско знање о производу и процесу, са коначним циљем да се редукују време и трошкови развоја производа путем:

- Аутоматизације некреативних и задатака који се понављају приликом пројектовања. Ово се постиже инстанцијализовањем KBE модела и коришћењем истих за генерисање излаза попут 2D и 3D геометрије, различитих извештаја, итд.

² Модуларно пројектовање је приступ пројектовању код кога се систем дели на мање делове зване *модулима*, који се могу независно креирати и затим користити у различитим системима.

- Подршке *мултидисциплинарној оптимизацији дизајна*³ (*Multidisciplinary Design Optimization – MDO*) у свим фазама процеса пројектовања. Ово се постиже интегрисањем алата за анализу (попут САЕ-а система) са инстанцама КВЕ модела.

Знање које се овде помиње укључује, али никако није ограничено на, програмиране „рецепте“ за генерисање детаљне геометрије површина и солида, која се односи на производе и процесе.

КВЕ се налази у пресеку различитих фундаменталних дисциплина, попут вештачке интелигенције (*Artificial Intelligence – AI*), пројектовања подржаног рачунаром (*Computer Aided Design – CAD*) и објектно-оријентисаног програмирања (*Object-Oriented Programming – OOP*). Иако су ове дисциплине широко представљене у научној литератури, КВЕ још увек није. Ово се може објаснити чињеницом да је КВЕ већ дуги низ година ексклузивни домен неколико високо конкурентних индустрија (нарочито ваздухопловне и аутомобилске).

Објављени резултати истраживања у овој области су расути и нису обимни. Водич најбоље праксе са називом *Achieving Competitive Advantage through Knowledge-Based Engineering* (Cooper et al., 2001), публикован од стране Министарства трговине и индустрије Велике Британије, се сматра једним од најбољих текстова о КВЕ-у. Примарни циљ издавача је био да се демистификује терминологија која окружује КВЕ и да се објасни како се исти може применити у циљу стицања конкурентне предности. У првом делу публикације дат је кратак опис основних концепата КВЕ-а, а у остатку се говори о могућем утицају КВЕ-а на пословање и дају се смернице за његову имплементацију и коришћење. Водич је написан на основу искустава компанија које користе КВЕ, и кроз неколико студија случаја илуструје разноликост производа при чијем пројектовању је ова технологија била коришћена. Иако су предности и могућности примене КВЕ-а јасно наглашени, нису дате детаљне информације о самој технологији, нити су дате назнаке о активностима које постоје приликом развоја КВЕ апликација. У истом периоду су била публикована два рада Chapman-а и Pinfold-а (Chapman & Pinfold, 1999, 2001), који су имали много озбиљнији научни приступ КВЕ-у. Ови радови су вероватно најцитираније публикације из области КВЕ-а до данас. Ипак, главни фокус ових радова је био пре на специфичним случајевима примене, него на КВЕ технологији.

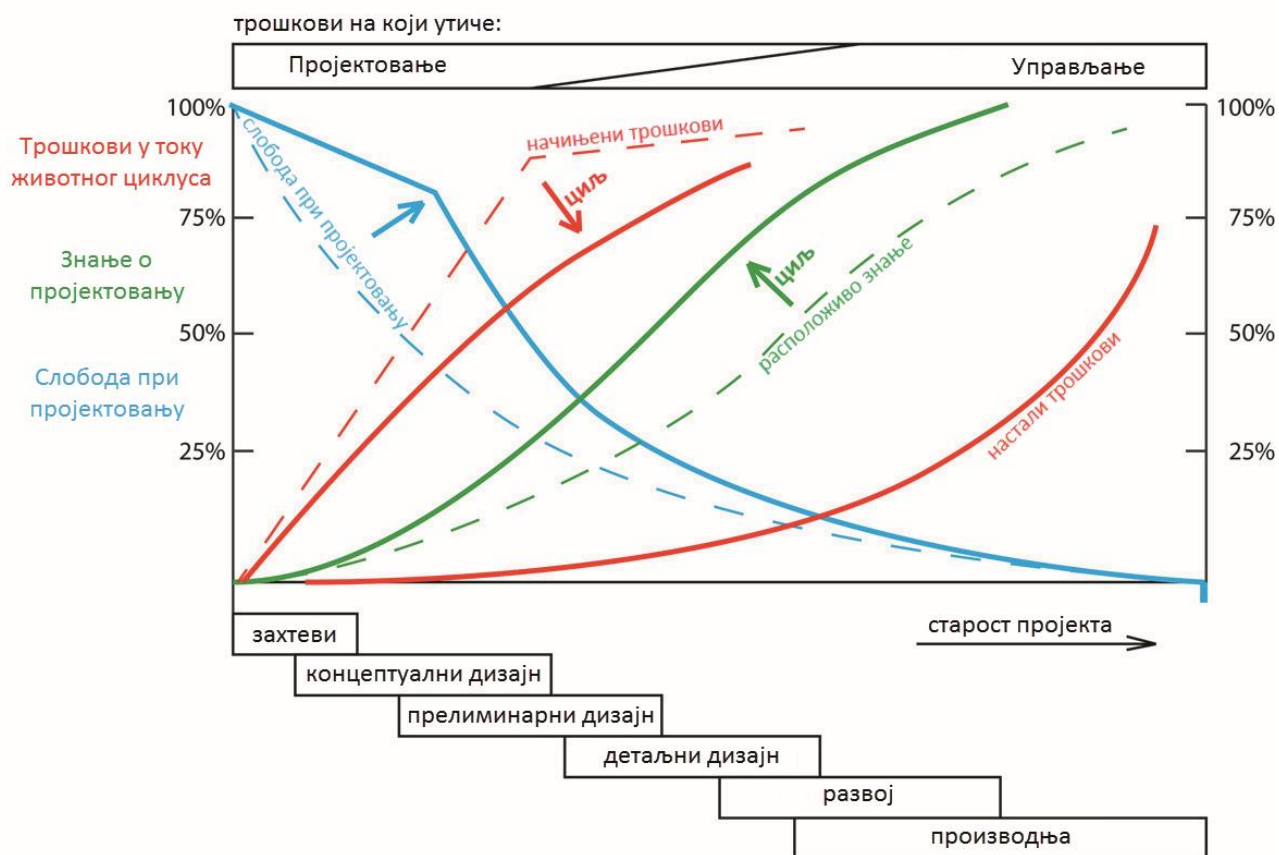
Литература о КВЕ-у садржи мали број радова који настоје да поставе теоријске основе КВЕ-а. Ови радови су проистекли из напора да се успостави методолошка база за КВЕ (Lovett et al., 2000; Stokes, 2001; Curran et al., 2010), затим напора да се разјасне технички аспекти КВЕ-а (Cooper & La Rocco, 2007; Kuhn, 2010; Pokojski et al., 2010) и коначно напора да се КВЕ повеже са различитим системима, као у случају интеграција КВЕ-

³ Мултидисциплинарна оптимизација дизајна је поље инжењерства које користи методе оптимизације за решавање проблема пројектовања који укључују више дисциплина (Martins & Lambe, 2013).

а са системом за управљањем животним циклусом производа (*Product Lifecycle Management* – PLM) (Ma & Liu, 2007; Bermell-Garcia & Fan, 2008; Fan & Bermell-Garcia, 2008).

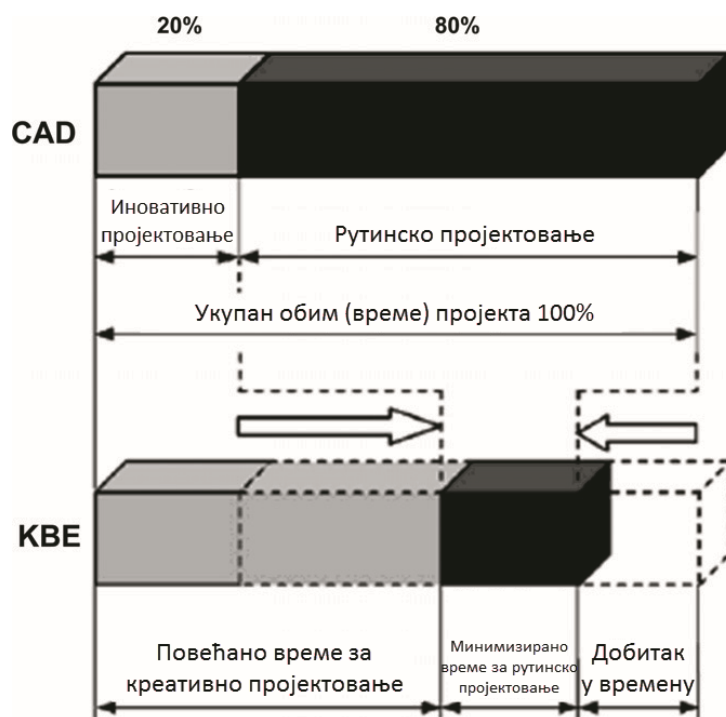
2.1.2 Разлози за коришћење инжењеринга базираног на знању

Већина аргумената у корист усвајања КВЕ-а проистичу из прилика које нуде рационализација и аутоматизација пројектовања у концептуалној и прелиминарној фази истог (Verhagen et al., 2012). Једна од препознатих одлика процеса пројектовања је да се велики проценат трошкова животног циклуса производа начини при крају прелиминарне фазе пројектовања, према проценама од 60 до 80% (Schneegans & Ehlermann, 2007). Одлуке које утичу на трошкове се доносе на основу компромиса. С тим у вези би било најбоље када би енvelope пројектовања (скуп опција које су на располагању инжењерима приликом пројектовања) била истражена у највећој могућој мери пре доношења одлука које имају велики утицај на начињене трошкове. Тренутно је знање на основу кога пројектант може заснивати одлуке у раној фази пројектовања ограничено. Међутим, временски интензивна природа многих рутинских задатака при пројектовању – до 80% времена пројектовања се потроши на рутинске задатке (Stokes, 2001) – обично онемогућава потпуно истраживање свих опција. Ово је илустровано на слици 2-1.



Слика 2-1 Трошкови у току животног циклуса производа, знање о пројектовању и слобода при пројектовању повезани са процесом пројектовања (преузето и прилагођено из (Verhagen et al., 2012))

Главна предност усвајања КВЕ-а је истакнута на слици 2-2. Као што дефиниција каже, једна од карактеристика КВЕ приступа је аутоматизација некреативних и задатака који се понављају код пројектовања. Овим се не само стварају значајне уштеде по питању времена и трошкова, већ се и ослобађа време за креативност, што даље омогућава истраживање већег дела енvelope пројектовања (Cooper et al., 2001). Све ово је подржано једном другом предношћу КВЕ-а: ова технологија омогућава поновно коришћење знања. Око 20% времена пројектанта се троши на трагање за информацијама или апсорбовање истих, а 40% свих захтева за информацијама при пројектовању се задовољавају из личних извора, иако у већој мери одговарајуће информације могу бити доступне из других извора (Baxter et al., 2007). Ови подаци указују на то да информације и знање о пројектовању нису представљени у дељеној и лако доступној бази знања. Јасно је да је у таквим случајевима поновно коришћење знања вођено успостављеним КВЕ окружењем може уштедети значајно време и напор.



Слика 2-2 Остварива подела времена за пројектовање са усвајањем КВЕ-а (преузето и прилагођено из (Skarka, 2007))

Још једна значајна предност КВЕ-а је његов приступ интегрисаног моделирања, где се одржава централна репрезентација захтеваног знања. На овај начин је могуће искористити дељену базу знања и понудити погледе на проблем пројектовања специфичне за одређени домен, на пример производни поглед на производ (van der Laan, 2011).

Успешни покушаји развоја и коришћења КВЕ-а постоје у различитим доменима. У домену аутомобилске индустрије, на пример, Chapman и Pinfold (Chapman & Pinfold, 2001) описују развој мултидисциплинарног КВЕ система који је способан да брзо генерише

дизајне каросерије аутомобила. Одличан пример је и примена тзв. *експертних портабилних система (Knowledge Embedded Templates)* за анализу технологичности приликом развоја аутомобилских пнеуматика (Стојковић, 2002; Stojkovic et al., 2003, 2005). У домену ваздухопловне индустрије аутори описују КВЕ системе уз помоћ којих се аутоматизује пројектовање трупа авиона са стопљеним крилима (*Blended Wing Body – BWB*) (La Rocca & van Tooren, 2007) и турбина ниског притиска (Corallo et al., 2009). КВЕ системи су такође били развијани и за пројектовање алата и процеса у производњи (Kulon et al., 2006; van der Laan et al., 2006).

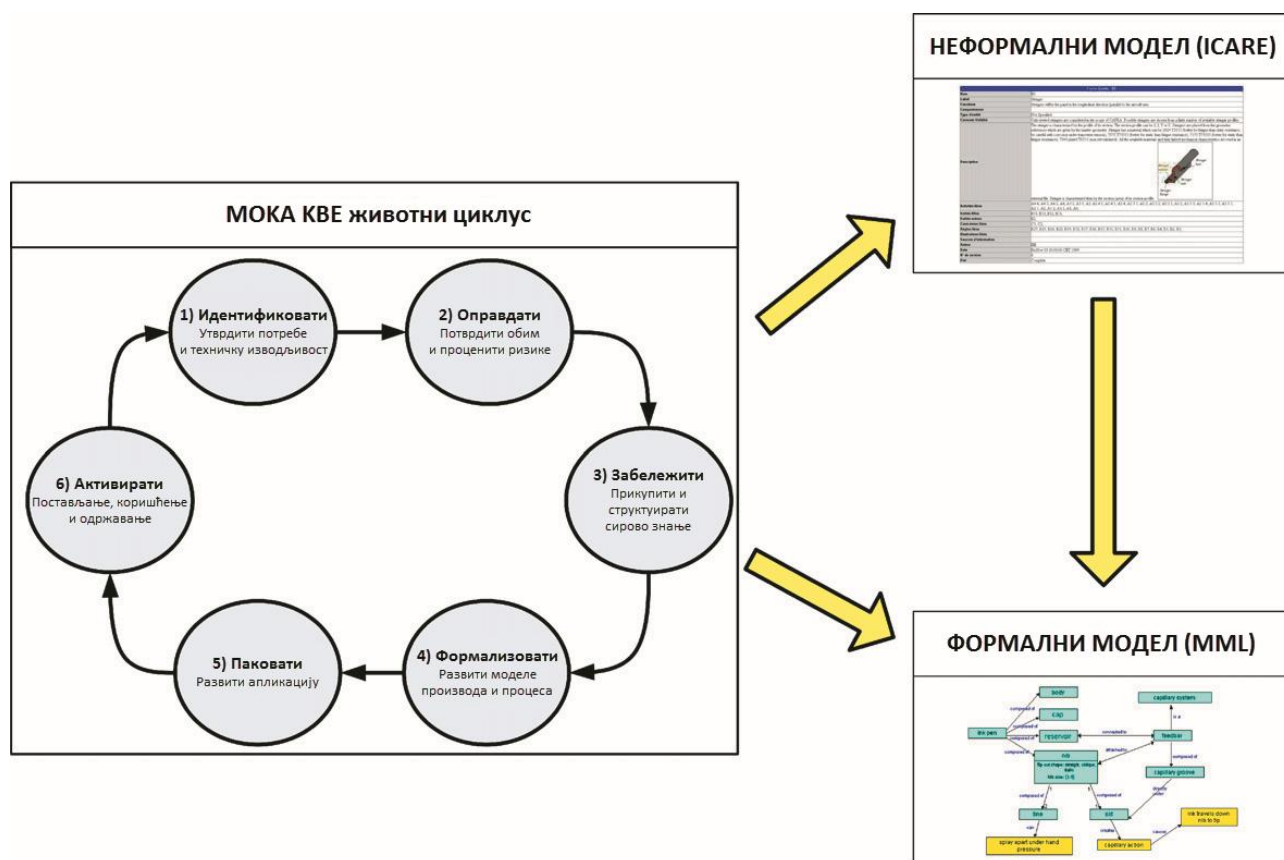
Важно је напоменути да КВЕ није по дефиницији погодан за све задатке пројектовања. Већи број аутора наводи разлоге против усвајања КВЕ-а. Следећи разлози идентификовани од стране Stokes-а (Stokes, 2001) се издвајају:

- Задатак пројектовања је релативно једноставан (јасан) и може бити решен коришћењем мање ресурса у односу на захтевнији КВЕ приступ.
- Менаџмент компаније нема вољу, новац или ресурсе за увођење КВЕ система. У данашње време компаније се чешће опредељују за готова комерцијална решења и избегавају развој софтвера у сопственој режији, који би био неопходан у случају усвајања КВЕ система.
- Процес пројектовања подразумева постојање креативних процеса и производа који су у великој мери подложни променама.
- Знање за жељену примену није расположиво.
- Процес пројектовања се не може јасно дефинисати; није могуће изоловати и дефинисати појединачне фазе процеса пројектовања.
- Технологије које се користе у процесу пројектовања се стално мењају.

2.1.3 Методолошки приступи инжењерингу базираном на знању

До данас је развијен одређени број КВЕ методологија са циљем пружања подршке развоју КВЕ апликација и система. Најпознатија од њих је МОКА методологија (*Methodology and software tools Oriented to Knowledge based engineering Applications* (методологија и софтверски алати оријентисани ка применама инжењеринга базираног на знању)). Ова методологија је базирана на шест корака КВЕ животног циклуса, а изражена кроз пратеће неформалне и формалне моделе специфичне за конкретан случај (Stokes, 2001). Креирана је са намером да се уз помоћ ње води пројекат од започињања, према стварном коришћењу. Неформални модел се састоји од такозваних ICARE образаца, где је акроним формиран од речи *Illustrations* (илустрације), *Constraints* (ограничења), *Activities* (активности), *Rules* (правила) и *Entities* (ентитети). Ови обрасци се користе за декомпоновање и складиштење

елемената знања. Следећи корак је повезивање елемената знања у циљу креирања структуриране мреже елемената знања који заједно чине репрезентацију домена проблема на коју се корисници различитих гледишта могу позивати. Након конвертовања знања о проблему у структурирану репрезентацију, следи формализација овог знања како би се исто представило у облику који је прихватљив за софтверске и инжењере знања, и који је погодан за даљи развој КВЕ апликације. Формални модел користи MML језик (*Moka Modelling Language*), који је адаптација UML-а, у циљу класификовања и структурирања елемената ICARE неформалног модела, који бивају преведени у формалне моделе производа и процеса. Главни елементи МОКА методологије су илустровани на слици 2-3, док се дубља разматрања МОКА методологије могу наћи у књизи Stokes-a (Stokes, 2001).



Слика 2-3 Елементи МОКА методологије (преузето и прилагођено из (Verhagen et al., 2012))

Главни фокус МОКА методологије је на „Забележити“ и „Формализовати“ корацима МОКА КВЕ животног циклуса (погледати слику 2-3). То је истовремено и један од главних недостатака МОКА методологије (Curran et al., 2010):

- МОКА методологија је фокусирана на пружање подршке инжењеру знања (особи (особама) одговорним за бележење и формализовање знања потребног за КВЕ апликацију), уместо крајњем кориснику. Крајњи корисник је, међутим, веома значајан за развој и стварно коришћење КВЕ апликације, пошто је исти типично експерт из

домена који поседује знање. Такође, крајњи корисник треба да има јасну корист од коришћења КВЕ апликације уз минимизирање додатног рада, затим треба да побољша прихватање, коришћење и одржавање апликације.

- Механизми представљања знања и алати за подршку нису у потпуности идентификовани. Ово је намерно урађено, пошто је намера била да МОКА методологија буде неутрална методологија. Међутим, овај избор има импликације по питању доступности знања у развијеним КВЕ апликацијама.
- МОКА методологија је фокусирана на развој КВЕ апликација. Она не поклања много пажње коришћењу КВЕ апликација у самом процесу пројектовања и не разматра детаљно одржавање и поновно коришћење знања.
- МОКА методологија је доминантно оријентисана ка производу, уместо према процесу.

Још једна расположива КВЕ методологија је KOMPRESSA: *Knowledge-Oriented Methodology for the Planning and Rapid Engineering of Small-Scale Applications* (ка знању оријентисана методологија за планирање и брзи инжењеринг апликација мањег обима) (Lovett et al., 2000). Ова методологија има за циљ да подржи КВЕ имплементацију у малим и средњим предузећима и дели многе принципе са МОКА методологијом, са којом је паралелно развијана. Од МОКА методологије се разликује по повећаном нагласку на анализу ризика и управљање истим, затим повећаном коришћењу дијаграма активности у циљу вођења учесника, и коначно по претпоставци мале или непостојеће ИТ експертизе за део корисника.

KNOMAD методологија је развијена као одговор на уочене недостатке МОКА методологије (Curran et al., 2010). Назив KNOMAD је акроним од *Knowledge Nurture for Optimal Multidisciplinary Analysis and Design* (неговање знања за оптималну мултидисциплинарни анализу и пројектовање). KNOMAD методологија служи за аналитичко коришћење, развој и еволуцију знања о мултидисциплинарном инжењерингу у домену пројектовања и производње. Акроним KNOMAD такође представља KNOMAD формализовани процес: Бележења знања (*Knowledge capture*), Нормализације (*Normalisation*), Организације (*Organisation*), Моделирања (*Modeling*), Анализе (*Analysis*) и Испоруке (*Delivery*). Ова методологија позиционира КВЕ унутар процеса пројектовања, укључује упутства за интеграцију са могућностима представљања знања како би се унапредили задржавање знања и одржавање апликације, и истиче и адресира улогу крајњег корисника.

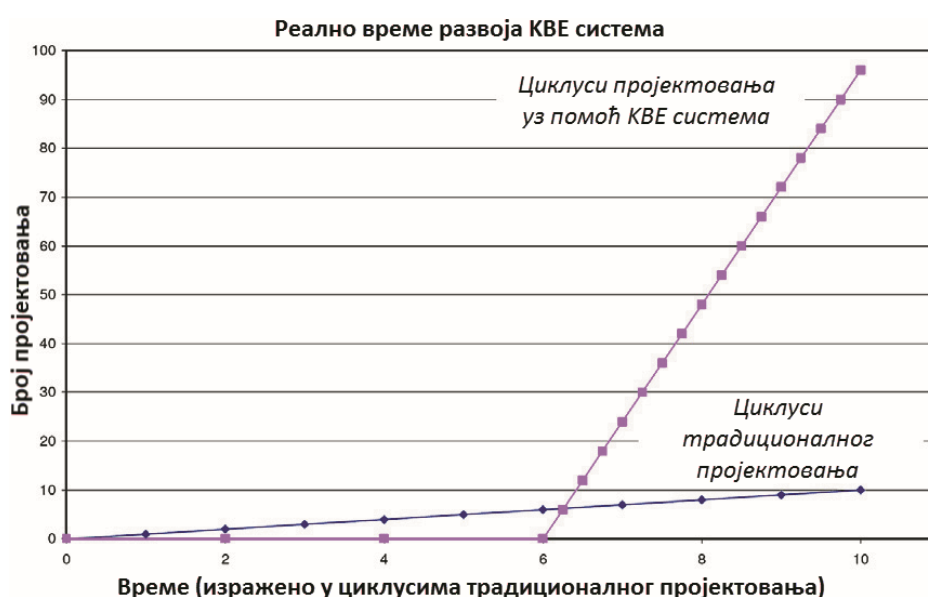
2.1.4 Недостаци инжењеринга базираног на знању

Пет главних недостатака КВЕ-а који су идентификовани од стране Verhagen-a и сарадника (Verhagen et al., 2012):

- **Ад хок развој КВЕ апликација (базираних на случају):** Уместо коришћења методологија за развој КВЕ апликација, особе задужене за развој обично идентификују проблем и импровизују КВЕ решење на основу прилагођеног процеса развоја. Развој КВЕ система на основу познатог случаја може довести до губитка знања због лошег пројектовања апликације и неадекватности језика коришћеног за развој и може проузроковати погрешно коришћење знања у случају развијања погрешне врсте апликације. Јавља се опасност недовољног коришћења знања због непостојања могућности његовог дељења и поновног коришћења на нивоу рачунара и корисника. Коначно ће у овом случају трошкови одржавања бити већи због нестандардног развоја (Sainter et al., 2000).
- **Тенденција према развоју „black-box апликација“:** Многе апликације у најбољем случају представљају забележено знање у виду података и формула, независно од контекста. Не постоје објашњење формула, стварног значења и контекста забележеног знања, а камоли могућности за бележење намере пројектанта. Део ових недостатака је несумњиво узрокован разликом између извора знања и инжењера знања: један има на уму производе и процесе из стварног живота, док други има на уму моделе и програмирање. Претходно истраживање је међутим показало важност и оправданост коментарисања кода као механизма повезивања података и формула са знањем (Bermell-Garcia, 2007).
- **Одсуство поновног коришћења знања:** „Black-box“ КВЕ апликација развијена на основу познатог случаја није нарочито погодна за поновно коришћење знања. Поред тога, знање вишег нивоа попут расуђивања о ограничењима пројекта, метода решавања проблема, стратегија генерисања решења, намера пројектанта и знања о ланцима снабдевања (Baxter et al., 2007) често не бива забележено, а камоли поново коришћено. Поновно коришћење знања је додатно компликовано потешкоћама око дељења знања између (КВЕ) апликација и платформи. Као пример се може узети STEP стандард за размену података који омогућава размену информација о геометрији, али не може садржати знање потребно за креирање те геометрије. Очигледно је потребно креирати нове стандарде који ће омогућити дељење знања између апликација и платформи.
- **Неукључивање квантитативне процене трошкова и користи од КВЕ-а:** Већина истраживања не илуструје квантитативно предности и трошкове развоја КВЕ-а.

Одличан пример како треба квантитативно илустровати развој КВЕ система је дат од стране Emberey-а и сарадника (Emberey et al., 2007) (слика 2-4). Систематичнија квантификација је извршена од стране Corallo-а и сарадника (Corallo et al., 2009), који користе *Activity Based Performance Measurement* (ABPM) (мерење перформанси базирано на активностима) за процену трошкова развоја и користи које доноси КВЕ код развоја (пројектовања) новог производа. На жалост ова квантификација је извршена на студији једног случаја, па се могу довести у питање валидност, поузданост и генеричност ABPM приступа за КВЕ квантификацију.

- **Недостатак окружења за идентификовање и оправдавање развоја КВЕ система:** Аспект којим се истраживачи нису бавили у великој мери је процена могућности развоја КВЕ система. Stokes (Stokes, 2001) представља неке квалитативне критеријуме за идентификацију и оправдавање КВЕ могућности, а Emberey и сарадници (Emberey et al., 2007) користе ове и друге критеријуме да би проценили да ли је задатак пројектовања погодан за развој КВЕ апликације. Међутим, поред ових иницијатива, не постоји окружење или метод који користи и квалитативне и квантитативне аспекте ради утврђивања погодности задатка пројектовања, производа или процеса за развој КВЕ апликације.



Слика 2-4 Време развоја КВЕ система према времену традиционалног пројектовања (преузето и прилагођено из (Emberey et al., 2007))

2.1.5 Позиционирање КВЕ-а у односу на друге њему блиске дисциплине

Развој рачунарских система који омогућавају повећање ефикасности рада инжењера путем повећања нивоа аутоматизације у процесу пројектовања је дефинитивно област од интереса за КВЕ. Чување, представљање, проналажење, као и кодирање знања и закључивање су неки аспекти који су у вези са КВЕ-ом и развојем КВЕ апликација. Међутим, они се налазе и у

фокусу неких других блиских дисциплина, попут инжењеринга знања (*Knowledge Engineering*) и управљања знањем (*Knowledge Management*).

У складу са типичним методолошким приступом коришћењу КВЕ-а, пре отпочињања развоја било које КВЕ апликације, неопходно је прво извршити идентификацију, аквизицију и коначно формализацију и кодирање формализованог релевантног знања које је неопходно уградити у саму КВЕ апликацију. Када се заврши развој КВЕ апликације иста ће бити постављена, типично као део ширег хетерогеног окружења за пројектовање, где ће бити интегрисана са другим рачунаром подржаним инжењерским алатима уз помоћ неког система за управљање радним токовима. Већ се у овом поједностављеном опису процеса развоја и постављања КВЕ апликације види да се области интереса КВЕ-а, инжењеринга знања и управљања знањем међусобно преклапају и допуњују. У КВЕ области фокус је на техничком развоју КВЕ апликације, док је у области инжењеринга знања нагласак на аквизицији и кодификацији знања. Општи циљ у области управљања знањем јесте неговање и подржавање иницијатива које могу омогућити ефикасније и ефективније коришћење знања у оквиру организације. У свакој од ових области су развијени и користе се специфични алати и технологије. Графичка репрезентација овог контекста дата је на слици 2-5.



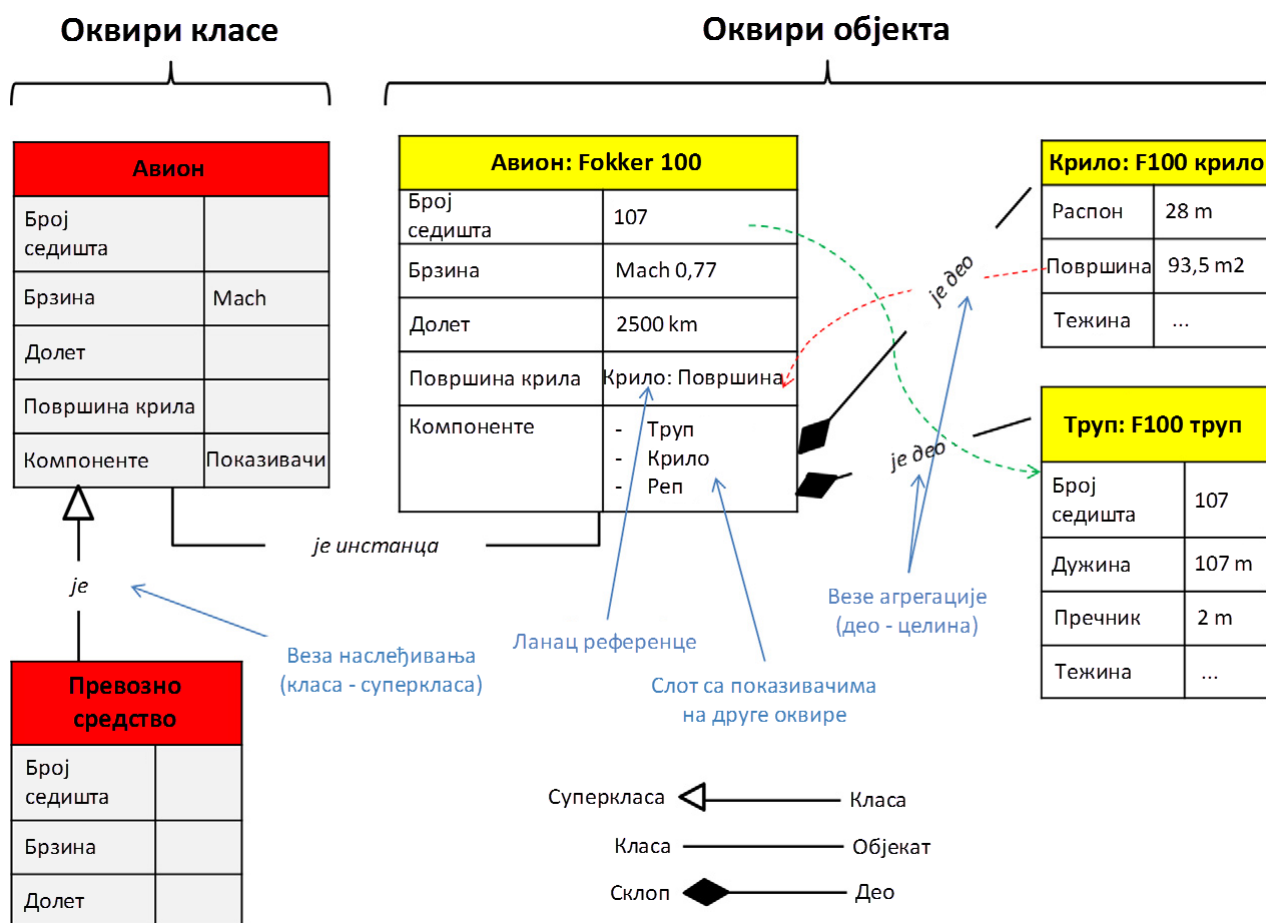
Слика 2-5 Релативно позиционирање инжењеринга базираног на знању, инжењеринга знања и управљања знањем (преузето и прилагођено из (La Rossa, 2012))

2.1.6 Корени инжењеринга базираног на знању у области вештачке интелигенције

КВЕ има јаке корене у пољу вештачке интелигенције, нарочито у технологији *система базираних на знању* (*Knowledge Based System – KBS*) из 70-тих година прошлог века. Системи базирани на знању (или експертни системи) су рачунарске апликације (системи) које користе

ускладиштено знање за решавање проблема у *специфичном домену* (Negnevitsky, 2005). Систем базиран на знању, слично као и експерт у некој области, користи неку врсту механизма за закључивање да би решио дати проблем (дао одговор на постављено питање). Систем функционише на основу ограниченог скупа чињеница (којима је описан проблем) и знања специфичног за одређени домен које је претходно смештено у наменско складиште, које се назива база знања.

Да би се омогућило смештање доменског знања и његова доступност (механизму за закључивање) исто мора бити структурирано и формализовано уз помоћ неке симболичке репрезентације. *Правила* и *оквири* су две најчешће коришћене форме представљања знања (Milton, 2008). Прва је базирана на добро познатој IF-THEN конструкцији. Друга је концепт, којег је 1975. године предложио Minsky (Minsky, 1975), а који је базиран на коришћењу колекције слотова за описивање атрибута и/или операција који одликују (карактеришу) дати објекат. Сваки слот може садржати подразумевану вредност, показивач на други оквир или скуп правила (укључујући IF-THEN правила) и процедура уз помоћ којих се добија вредност слота. Једноставан пример оквира је приказан на слици 2-6.



Слика 2-6 Примери оквира класе и објекта, везе наслеђивања и агрегације (преузето и прилагођено из (La Rocca, 2012))

Код система који користе правила комплетно доменско знање је представљено скупом IF-THEN правила. Насупрот њима, системи који користе оквири омогућавају софистицираније представљање знања. Они се често посматрају као примена парадигме објектно-оријентисаног програмирања у пољу експертних система (Negnevitsky, 2005) и имају одлике попут *апстракције* и *наслеђивања*. Код њих се могу дефинисати оквири класе и оквири објекта, где други представљају јединствене спецификације генеричких оквира класе, које су добијене кроз додељивање специфичног скупа вредности слотовима оквира. Такође се могу дефинисати оквири класе и оквири суперкласе, где су други специјализације првих, и као такви наслеђују све њихове слотове. Ови механизми омогућавају моделирање *таксономија* и, обзиром да слотови могу садржати показиваче на друге оквири, формирање веза агрегације (склоп-део).

Брзи развој нових система базираних на знању је омогућен пре свега постојањем специјалних софтверских алата названих *љуске*. Ови алати нуде основне компоненте система базираних на знању, попут базе знања и механизма за закључивање, без укљученог доменског знања. Основна идеја код љуски је била да се редукује или елиминише потреба за програмирањем у току развоја система базираних на знању. Међутим, у међувремену је постало јасно да су фазе аквизиције и формализације знања уско грло у процесу развоја система базираних на знању, а не програмирање (Milton, 2007).

Прави претходници инжењерских система базираних на знању су били системи базирани на знању који су користили оквири. Доказана ефектност концепта оквира у изградњи комплексних репрезентација знања се може пронаћи код савремених инжењерских система базираних на знању, где су нове врсте оквира, са другачијим називом и значајно увећаним могућностима, развијене да би се одговорило на специфичне изазове у процесу пројектовања (La Rossa, 2012).

2.1.7 Инжењерски системи базирани на знању

Системи базирани на знању су почели да се пробијају на тржиште софтверских апликација још од раних 70-тих година прошлог века, адресирајући проблеме различите комплексности из различитих домена. Међутим, ови системи у почетку нису реално имали утицај на поље *инжењерског пројектовања*, укључујући ваздухопловну и аутомобилску индустрију, и уопште окружења у којима се развијају комплексни производи. Осим изазова превођења знања о пројектовању у формална правила, главни разлог за ограничен успех система базираних на знању јесте њихова неспособност да се носе са две основне активности процеса инжењерског пројектовања – *манипулисањем геометријом* и *обработом података* (La Rossa, 2012). Системи базирани на знању су заправо алати развијени ради решавања проблема

закључивањем на основу чињеница, а не ради вршења израчунавања и комплексне обраде података. Ови системи такође нису били предвиђени за рад са геометријом. Инжењерско пројектовање, напротив, *захтева и производи* излаз чије генерисање изискује *манипулисање геометријом*, често подразумева генерисање *комплексних конфигурација производа* и управљање истим, *прослеђује податке* различитим врстама *алата за анализу* који су *специфични за одређене дисциплине* и *зависи од* резултата ових анализа у смислу унапређења процеса пројектовања.

Средином 80-тих година прошлог века су коначно почели да се појављују системи који су представљали спој могућности система за пројектовање подржано рачунаром (CAD система), система за анализу подржану рачунаром (*Computer Aided Analysis* – САА система) и могућности закључивања, чувања и репрезентације знања система базираних на знању. Ови системи се називају инжењерским системима базираним на знању (*Knowledge Based Engineering Systems* – KBES) и представљају еволуцију система базираних на знању према специфичним потребама домена инжењерског пројектовања.

Инжењерски системи базирани на знању или имају уграђене могућности CAD система или су чврсто интегрисани у спољашње CAD језгро или су пак комбинација система базираних на знању и CAD система. Они омогућавају имплементацију аналитичких процедура (на пример, алгоритама) и комуникацију/колаборацију са екстерним САА алатима. Коначно, они подржавају пројектовање базирано на правилима, ослобађајући на тај начин пројектанта од активности које се понављају и утичу на процес инжењерског пројектовања.

Кад год је случај пројектовања изразито вођен правилима, мултидисциплинаран, понавља се и захтева манипулисање геометријом и (ре)конфигурисање производа, инжењеринг базиран на знању ће вероватно бити најбоља могућа технологија на располагању (La Rossa, 2011).

Инжењерски системи базирани на знању се могу сматрати спојем техника вештачке интелигенције и пројектовања подржаног рачунаром (Chapman & Pinfold, 1999). Стога, не изненађује чињеница да су два оснивача компаније ICAD Inc., која је 1984. године избацила први КВЕ алат (ICAD) на тржиште, дошла из лабораторије за вештачку интелигенцију MIT-а (*Massachusetts Institute of Technology*) и CAD компаније Computervision (затим Parametrics, а данас PTC).

2.1.7.1 Сличности и разлике између инжењерских система базираних на знању и експертних система

За бављење инжењерским пројектовањем базираним на знању су неопходни специфични софтверски алати – инжењерски системи базирани на знању. Особа која се бави

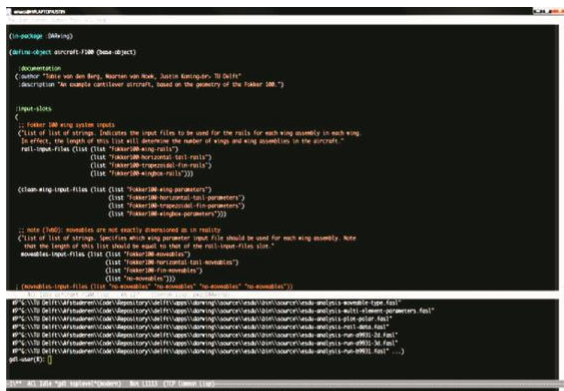
инжењерским пројектовањем користи инжењерски систем базиран на знању да би развила *инжењерску апликацију базирану на знању*: наменски програм намењен решавању специфичног проблема, који се типично, али не и неопходно, односи на моделирање и конфигурисање хардверских производа, како у погледу геометрије, тако и у погледу мета података. ICAD (производ компаније KTI коју је 2002. године купила компанија Dassault Systemes), GDL (производ компаније Genworks), AML (производ компаније Technosoft) и Knowledge Fusion (производ компаније Siemens NX) су само неки од комерцијалних КВЕ система.

Инжењерски систем базиран на знању, слично као и експертна љуска, је алат опште намене, па стога не садржи знање из одређеног домена (осим знања које је неопходно за генерисање и манипулисање примитивним ентитетима, укључујући геометријске објекте). Док експертна љуска дозвољава кориснику да попуни базу знања преко корисничког интерфејса, у исто време ограничавајући или елиминишући потребу за уређивањем текстуалне репрезентације знања, типични инжењерски системи базирани на знању имају другачији приступ, нудећи потпуно структуриран текстуални формат и семантику, заједно са специјализованим алатима за уређивање текста. Оваквим приступом је корисник оспособљен за генерисање флексибилних, детаљних и динамичких модела доменског знања који су неопходни за подршку пројектовању веома комплексних производа.

Развој инжењерске апликације базиране на знању се углавном своди на писање кода у КВЕ програмском језику. Савремени КВЕ системи нуде кориснику коришћење објектно-оријентисаног језика, који омогућава моделирање доменског знања као кохерентне мреже класа. Приказ развојног окружења GDL-а је дат на слици 2-7 као пример типичног радног окружења за развој КВЕ апликације. Радно окружење се типично састоји од прилагођеног текстуалног едитора који служи за писање програмског кода и једног или више графичких читача (прегледача) за тестирање, испитивање и визуелизацију резултата добијених као излаз из дате КВЕ апликације. Стварни КВЕ развојни систем ради у позадини и укључује компајлер, дебагер и извршно окружење.

Иако постоје сличности између развоја КВЕ апликације и развоја софтвера уз помоћ програмског језика опште намене, постоје и фундаменталне разлике. Једна од најистакнутијих одлика КВЕ система је то што се њихов програмски језик може користити за управљање CAD *engine*-а (језгра за геометријско моделирање), који је или интегрисан у КВЕ систем или је чврсто повезан са истим. Ова могућност генерисања и манипулисања геометријом представља такође и најочигледнију разлику између КВЕ система и конвенционалних система базираних на знању.

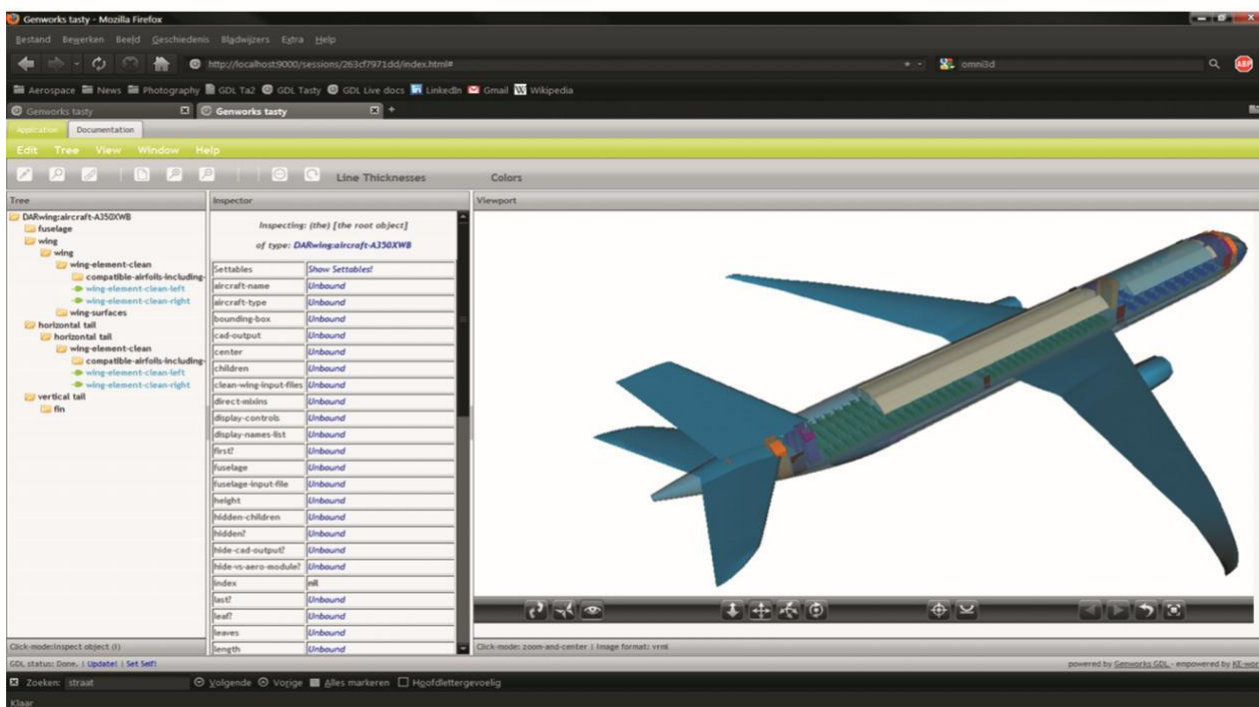
Завршена КВЕ апликација може бити уграђена у такозвану извршну апликацију и постављена као конвенцијални алат за рачунаром подржану инжењерску анализу (*Computer Aided Engineering* – CAE), по могућству са наменским корисничким интерфејсом.



Слика лево: *Emacs* едитор, који служи за писање, компајлирање и дебаговање програмског кода

Слика доле: *Tasty* - web базирани графички читач у коме се инстанце дефинисаног модела могу испитивати и визуелизовати уз помоћ три главна окна:

- У окну *Tree* је приказано стабло производа, чије гране могу да се прошире или скупе по потреби
- Преко окна *Inspector* се може приступити вредностима атрибута било ког објекта у стаблу производа
- Преко окна *Viewport* се могу визуелизовати геометријске одлике инстанцираног модела производа



Слика 2-7 Пример типичног корисничког интерфејса КВЕ система: две компоненте развојног окружења GDL-a (преузето и прилагођено из (La Rossa, 2012))

За разлику од конвенционалних система базираних на правилима, а слично системима базираним на оквирима, КВЕ апликација нема јасно раздвајање између знања и механизма за закључивање (La Rossa, 2012). Доменско знање и стратегија контроле за приступање и манипулисање истим су јако испреплетани. КВЕ системи такође остављају слободу (истовремено и терет) моделирања доменског знања особи која је задужена за развој КВЕ апликације. Другим речима, избор одговарајућих нивоа апстракције и дефиниција одговарајућих мрежа класа и објеката су у потпуности у рукама инжењера. Обзиром да се

проширење, ажурирање и одржавање КВЕ апликације не може свести на додавање и брисање правила из листе, компетенције особе задужене за развој КВЕ апликације треба да обезбеде да иста буде прегледна и добро структурирана, па самим тим и скалабилна и погодна за одржавање.

2.1.8 Главне карактеристике КВЕ језика

Савремени КВЕ системи обично нуде кориснику програмски језик који подржава објектно-оријентисану парадигму. КВЕ језици су веома често базирани на објектно-оријентисаним дијалектима Lisp програмског језика:

- IDL (*ICAD Design Language*) је базиран на пре-ANSI верзији Common Lisp-a, са Flavors системом објеката (рана објектно-оријентисана екстензија Lisp-a, развијена у MIT лабораторији за вештачку интелигенцију).
- GDL (*General-purpose Declarative Language*) Genworks-a је базиран на ANSI стандардној верзији Common Lisp-a и користи CLOS (*Common Lisp Object System*).
- AML (*Adaptive Modeling Language*) Technosoft-a је оригинално био написан у Common Lisp-у и накнадно рекодиран у приватан (власнички) језик сличан Lisp-у.
- Intent!, приватан (власнички) КВЕ језик развијен у Heide корпорацији и тренутно интегрисан у Knowledge Fusion, КВЕ пакет Siemens NX-a (претходно Unigraphics-a), припада такође фамилији језика који су били инспирисани Lisp-ом.

Ово појављивање Lisp-a у КВЕ области је још један доказ о AI коренима инжењеринга базираног на знању. Иако је Lisp други најстарији програмски језик после FORTRAN-a, он је и даље омиљен програмски језик за истраживања и имплементацију у пољу вештачке интелигенције (Graham, 2004).

Назив Lisp је изведен из LISt Processing (обрада листа). Листе су уједно и једна од главних структура података Lisp језика, а изворни код Lisp-a се и сам састоји од листа. Иако је Lisp сам по себи језик високог нивоа, он се може користити за грађење слојева језика још вишег нивоа над собом. Као резултат се у том случају добијају уграђени језици који су типично *надскупови* Lisp-a, а њихови представници су и КВЕ језици попут IDL-a и GDL-a. Предност коришћења надскупа Lisp-a се огледа у томе што су поред пуног Lisp језика расположиви и нови специјални оператори који омогућавају креирање језичких конструкција вишег нивоа на једноставан начин. У ствари, расположивост ових оператора представља главну додатну вредност КВЕ језика у односу на Lisp.

2.1.8.1 КВЕ оператори за дефинисање хијерархија класа и објеката

Оператор који се користи за дефинисање хијерархија класа и објеката је вероватно најважнији оператор савремених КВЕ система. Владање коришћењем овог оператора је

неопходан услов за развој било које КВЕ апликације у скоро сваком КВЕ систему на тржишту. Овај оператор је основно средство за примену објектно-оријентисане парадигме у КВЕ апликацијама и омогућава дефинисање класа, суперкласа, објеката и веза наслеђивања, агрегације и асоцијације (као пример се може узети GDL оператор *define-object*).

Све КВЕ апликације се састоје од одређеног броја декларација оператора, повезаних на одговарајући начин ради моделирања чак и веома комплексних производа. Ова мрежа декларација оператора се у КВЕ терминологији назива *модел производа* или *генеративни модел*. Хијерархијска структура објеката која се добија инстанцијацијом модела производа се назива *стабло објеката* или *стабло производа* (слика 2-7).

2.1.8.2 Правила инжењеринга базираног на знању

Сви изрази који се користе за дефинисање атрибута (слотова), специфицирање броја и типа објеката, комуникацију са екстерним алатима, итд. се код КВЕ система називају *правилима* (или *инжењерским правилима*). КВЕ се због тога назива и технологијом која омогућава *пројектовање базирано на правилима*.

У великом и хетерогеном скупу КВЕ правила (следећи примери су специфични за GDL; еквивалентни изрази расположиви у већини постојећих КВЕ језика) се могу идентификовати следеће врсте правила:

- **Логичка правила (или кондиционални (условни) изрази):** Поред основних IF-THEN правила (продукционих правила), КВЕ језици попут GDL-a, AML-a и IDL-a нуде софистицираније кондиционалне изразе који су често наслеђени из Common Lisp-a.
- **Математичка правила:** У ову групу су укључене све врсте математичких правила, укључујући и тригонометријске функције и операторе за матрична израчунавања и векторску алгебру. Основни математички оператори (попут аритметичких оператора) су Common Lisp функције. Многу други су функције и оператори које нуди конкретан КВЕ језик. Ова правила се обично користе за утврђивање вредности слотова који се израчунавају. Иста се могу користити и у условном и у акционом делу било ког продукционог правила.
- **Правила за манипулисање геометријом:** Овде спадају правила за *генерисање* геометријских ентитета и *манипулисање* истим. Ове језичке конструкције омогућавају генерисање разноврсних геометријских ентитета, од основних примитива (тачке, криве линије, цилиндри, итд.), све до комплексних површина и солид тела. Правила за манипулисање омогућавају различите врсте операција над било којим дефинисаним геометријским ентитетом, попут пројектовања, пресецања, извлачења, дељења,

спајања, итд., као и Булове операције над солидима. Овој категорији правила припадају и класична *параметарска правила* (изрази који омогућавају да се димензије, позиција и оријентација елемента модела дефинишу као функција димензија, позиције и оријентације неког другог елемента модела или неког другог ограничења).

- **Правила избора конфигурације (или правила топологије (тополошка правила)):** Ова правила су у ствари комбинација математичких и логичких правила. Користе се за динамичку промену и контролу броја и типа објеката у стаблу објеката. Отуда иста могу утицати на топологију КВЕ модела производа и процеса.
- **Комуникациона правила:** У овој групи се налазе специфична правила која омогућавају КВЕ апликацији да комуницира и/или интерагује са другим софтверским апликацијама (које не морају бити КВЕ апликације) и репозиторијумима података. Неки од примера су правила која омогућавају: 1) приступање базама података или различитим типовима фајлова ради парсирања и преузимања података и информација који ће бити обрађени у оквиру КВЕ апликације; 2) креирање фајлова који садрже податке и информације генерисане од стране КВЕ апликације; 3) покретање у времену извршавања екстерних апликација, чекање на резултате, преузимање резултата и наставак рада.

Расположивост програмског језика који може да изрази, манипулише и комбинује различите горе поменуте врсте правила је кључна за реализацију приступа *генеративног пројектовања* који ће бити представљен у следећем поглављу.

2.1.9 КВЕ модели производа за генеративно пројектовање

Као што је раније речено, КВЕ модел производа представља језгро било које КВЕ апликације. Састоји се од структуриране динамичке мреже класа, где су знање о производу и знање о процесу, оно које се односи на геометрију и оно које се не односи на геометрију, моделирани помоћу различитих врста правила.

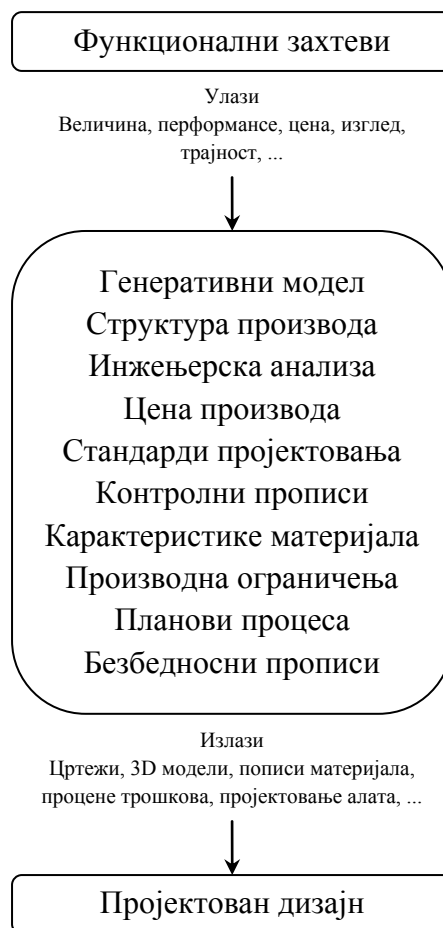
Модел производа је генеричка репрезентација типа производа за који је КВЕ апликација била креирана, па се назива и *мета моделом*. Он се не састоји од фиксних геометријских ентитета са фиксним димензијама у фиксној конфигурацији, већ садржи инжењерска правила која ће у времену извршавања одредити дизајн производа (Cooper et al., 2001).

Функционалност модела производа је илустрована поједностављеном схемом на слици 2-8: Скуп улазних вредности се додељује параметрима који се користе у моделу производа, затим КВЕ систем примењује правила да би обрадио улазне вредности и коначно

се генерише пројектовани дизајн са мало или без интервенције корисника. Ово се често назива и *генеративним пројектовањем*, док се модел производа назива *генеративним моделом*.

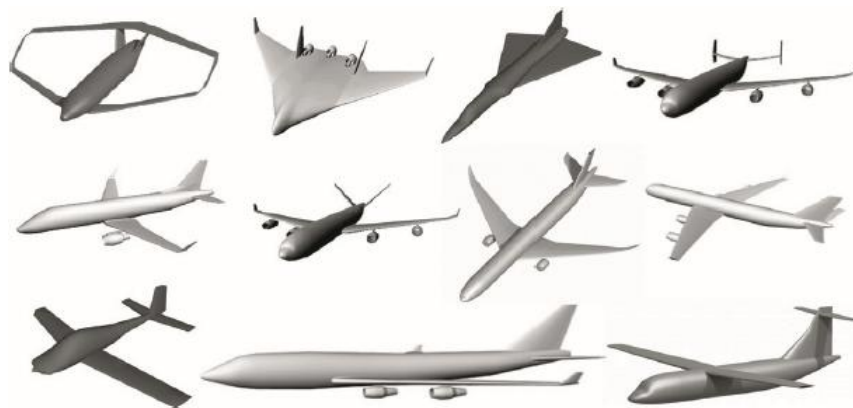
Једна од значајних предности генеративног приступа је то да постоји *кореспонденција* између скупа улазних података и генерисаног излаза: сваки пут када се модел производа инстанцијализује са истим скупом улазних вредности, иста правила ће бити систематски процењивана, исти објекти ће бити генерисани и коначно ће исти резултати бити добијени. Сагласност са свим правилима модела производа је увек загарантована и инжењери могу бити уверени да је сваки резултујући дизајн резултат темељно формализованог и детерминистичког приступа. Модел производа даје јасно образложење за сваку димензију, одлуку у току пројектовања и конфигурацију који су садржани у коначном излазу.

Схема на слици 2-8 указује на способност једне КВЕ апликације да аутоматски испоручи у потпуности пројектован производ са пратећом документацијом, само на основу скупа улазних параметара. Ова оптимистичка визија је била главни маркетиншки адут раних испоручилаца КВЕ апликација и циљ коме су тежили први корисници истих. Иако се у литератури могу пронаћи примери успешног коришћења потпуно интегрисаних КВЕ алата за пројектовање (Cooper et al., 2001), у случајевима када се ради са комплексним производима који захтевају комплексну мултидисциплинарну анализу и оптимизацију је потребан другачији приступ (La Rocca, 2011; van der Laan, 2011). У овим случајевима модуларна, хетерогена и дистрибуирана окружења за пројектовање имају много веће шансе за успех. КВЕ се у овим окружењима користи само у областима у којима има јасну компететивну предност, то јест за случајеве пројектовања базираног на правилима који се понављају, мултидисциплинарне природе и који захтевају манипулисање геометријом и (ре)конфигурисање производа. Овде није неопходно да све наведене карактеристике буду присутне истовремено, све док је бар једна од њих доминантна.



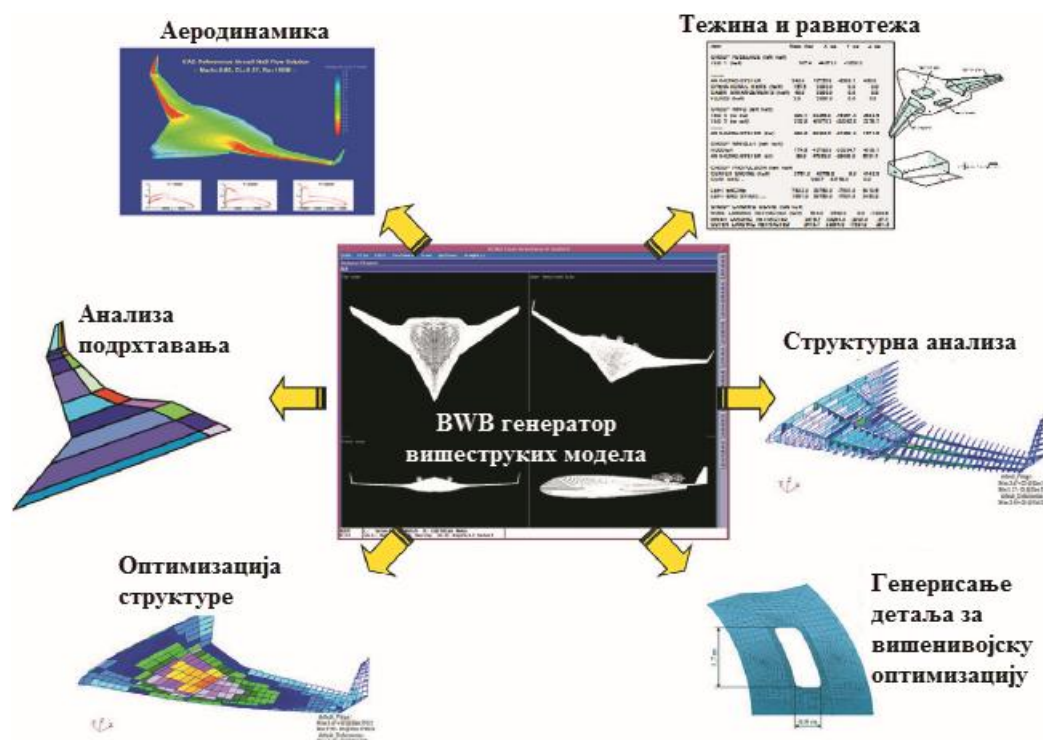
Слика 2-8 Модел производа (или генеративни модел) КВЕ апликације прима улазне спецификације, примењује релевантна правила и аутоматски генерише пројектовани дизајн (преузето и прилагођено из (Cooper et al., 2001))

У радовима La Rocca-е и van Tooren-а (La Rocca & van Tooren, 2007, 2010) се могу наћи примери дистрибуираних окружења за пројектовање која подржавају мултидисциплинарну оптимизацију дизајна авиона, где је КВЕ углавном био коришћен за развој тзв. генератора вишеструких модела (*Multi Model Generator* – MMG). Ово су КВЕ апликације које су способне да аутоматски генеришу моделе специфичне фамилије производа, на пример, комплетних конфигурација авиона (слика 2-9) и за сваки модел креирају апстракције потребне различитим алатима за анализу у оквиру окружења. Већина тих алата за анализу, као и већина модула за прелиминарно димензионисање и оптимизатор, у општем случају нису КВЕ апликације, већ су у питању комерцијални алати (на пример, NASTRAN) или апликације развијене од стране корисника (на пример, базиране на MATLAB-у).



Слика 2-9 Примери различитих конфигурација и варијанти авиона, генерисаних различитим инстанцијацијама истог модела производа (преузето из (La Rocca, 2011))

Слика 2-10 илуструје улогу MMG-a, развијеног у оквиру Европског пројекта MOB (Morris et al., 2004), у подршци дистрибуираној мултидисциплинарној оптимизацији дизајна конфигурација авиона код којих су крила стопљена са трупом. У овом случају је MMG развијен коришћењем ICAD KBE система. Ова KBE апликација је у стању да моделира тополошке и морфолошке варијанте авиона код којих су крила стопљена са трупом и да аутоматизује генерисање мноштва различитих (и кохерентних) подмодела који су потребни алатима за анализу које су користили партнери пројекта. Након постављања MOB окружења било је могуће проценити више од 50 варијанти авиона, без активности корисника, у временском оквиру од неколико дана.



Слика 2-10 Улога MMG-a у оквиру MOB окружења за мултидисциплинарну оптимизацију дизајна конфигурација авиона код којих су крила стопљена са трупом (преузето и прилагођено из (La Rocca, 2012))

Без обзира на комплексност окружења за пројектовање у оквиру кога функционише КВЕ модул, као и комплексност самог модела производа, начин на који КВЕ омогућава генеративно пројектовање се не мења значајно. Корисник увек почиње рад креирањем инстанце класе која се налази у корену стабла производа. У ту сврху је неопходно доделити вредности улазним атрибутима те класе, у општем случају преко неке врсте улазног фајла (фајлова), или интерактивно посредством корисничког интерфејса. Након инстанцијализовања објекта у корену стабла, постоје две главне опције:

1. *Принудно* израчунавање свих или неких грана стабла производа (прогресивно, од корена према лишћу). Вредности атрибута неопходне за инстанцијацију сваке (под)гране се аутоматски процењују и систематски прослеђују са родитеља на дете.
2. Захтева се да модел производа врати вредност одређеног атрибута или да генерише неки излазни фајл из листе излаза коју КВЕ апликација подржава. У овом случају захтевом гоњен механизам аутоматски окида процену само објекта и атрибута стабла производа који су неопходни за задовољавање захтева. Ова опција је, због ефикасности израчунавања, чешће коришћена у пракси.

Савремени КВЕ системи дозвољавају извршавање целог процеса (инстанцијација модела производа, подношење захтева, извршавање и генерисање излаза) такође и у *batch* моду, то јест без мешања корисника (аутоматски), што је суштина генеративног пројектовања. Слање захтева за извршавање у *batch* моду моделу производа може бити извршено од стране корисника или другог софтверског алата. Други случај је типичан (и неопходан) у случајевима када дата КВЕ апликација функционише у оквиру оптимизационог окружења.

Последња генерација КВЕ система допушта испоручивање апликација као web сервиса на удаљеним серверима у складу са *софтвер као сервис* (*Software as a Service*) парадигмом. У овом случају је КВЕ апликација константно расположива на серверу и може прихватити HTTP захтеве. Један пример је дат у раду van Dijk-a и сарадника (van Dijk et al., 2011).

2.1.10 Могућности програмерског приступа

Као што се може закључити из претходних одељака *бављење* инжењерингом базираним на знању се углавном своди на програмирање софтверских апликација чији је циљ повећање нивоа аутоматизације процеса инжењерског пројектовања.

Компаније које развијају CAD програме су коначно признале да је коришћење програмских језика једини начин на који се могу испунити специфични захтеви корисника. Да би понудили корисницима могућности аутоматизације пројектовања, а да при томе не

покваре једноставност коришћења алата, најнапреднији CAD системи данас нуде могућност снимања интерактивних сесија, као и писања макроа и коришћење функцијских позива екстерних рутина (на пример, написаних у Fortran-у, C-у, C++-у и Visual Basic-у). Међутим, резултати су ретко на нивоу правих КВЕ апликација код којих је програмерски приступ нативан.

Неколико главних CAD компанија нуде системе са наводно уграђеном КВЕ функционалношћу. Међу тим системима се истичу CATIA са KnowledgeWare-ом и Siemens NX са KnowledgeFusion-ом. Неки од главних недостатака ових система су:

- Да би се приступило компоненти ових хибридних система која се односи на знање, неопходно је да цео CAD систем буде покренут, а не само његово КВЕ проширење. Ово резултује додатним захтевима по питању рачунарских ресурса.
- Овакви системи у основи нису језички оријентисани. Ако је и присутан уграђен језик који се користи за репрезентацију, он је сакривен и од крајњег корисника и од особе која се бави развојем. Да би се додала нова функционалност (на пример, да би се додала могућност приступања бази података), инжењер мора да напусти своје радно окружење и пређе у ново.
- Језик за моделирање се код ових система „интерпретира“, а не „компајлира“. Ово резултује значајним диспаритетом по питању брзине, као у фази развоја, тако и у фази коришћења, у поређењу са брзином правог КВЕ система. Брзине се могу разликовати и за више редова величине.

Иако CAD и КВЕ деле неке могућности, они имају фундаментално различит фокус. CAD системи се фокусирају на геометрију, док се КВЕ системи фокусирају на бележење (чување) правила и знање, при чему је геометрија само један од улаза који се могу проследити и излаза који се могу генерисати. Постоје процене да је мање од 50 % КВЕ апликација директно повезано са геометријом (Chapman & Pinfold, 1999). Може се закључити да поређење погодности КВЕ програмерског приступа и интерактивног рада у CAD систему није одговарајуће. Суштина је у процени када је један од два приступа погоднији и у проналажењу могућности искоришћавања њихове синергије (La Rossa, 2012):

- Када је фокус само на генерисању геометрије и манипулисању истом; када су аспекти попут директне интеракције са геометријским моделом, визуелно представљање и инспекција битни; када је у питању једнократно пројектовање и када естетика и хеуристика погоне моделирање, пре него инжењерска правила; када се варијанте модела могу контролисати само коришћењем једноставних математичких израза и основних параметарских релација; када је фокус на детаљном пројектовању које може

имати користи од библиотеке техничких елемената, онда је погодније користити конвенционални CAD систем.

- Коришћење језика је неопходно у ситуацијама када се жели забележити *намера пројектовања*, пре него излаз из процеса пројектовања. У овим случајевима програмерски приступ КВЕ система нуди најбоље решење. Док CAD системи имају за циљ да забележе крајњи резултат процеса пројектовања, КВЕ системи имају за циљ да забележе процес пројектовања (то јест намеру пројектовања), а не само његов крајњи резултат.
- Коришћење језика је неопходно у ситуацијама када се жели *подржати аутоматизација уз гарантовање конзистентности*. Сваки пут када се КВЕ генеративни модел инстанцијализује, исти процес се конзистентно понавља (то јест примењују се иста правила и механизми закључивања) за различите валидне улазне вредности, без обзира на то ко је корисник система или колико пута је до тада генеративни модел био инстанцијализован. Постоје многи случајеви код инжењерског пројектовања, попут оптимизације дизајна, где је постојање корисника само препрека аутоматизацији и потенцијални извор грешака.
- Језик може понудити компететивну предност у случајевима када је битна *флексибилност интеграције* са екстерним алатима за пројектовање и симулацију. И CAD и КВЕ системи се у општем случају могу повезати (међусобно и) са другим алатима преко стандардних формата за размену података попут IGES-a, STEP-a, итд. Међутим, у случајевима када су неопходни ад хок, ASCII базирани фајлови за размену, потпуно функционалан програмски језик је природно решење.
- Када дизајн датог производа карактеришу аспекти естетике и захтева за генерисање детаља, али његова конфигурација и димензионисање захтевају мултидисциплинарну анализу и оптимизацију, комбинација КВЕ и CAD апликација може понудити најбоље решење. У овом случају геометрија генерисана у CAD систему може постати улаз за КВЕ апликацију која ће на даље подржавати процес комплексне мултидисциплинарне анализе (и оптимизације) и вратити испројектован производ у CAD систем.

У пољима ваздухопловне и аутомобилске индустрије има много прилика за примену КВЕ-а за подизање нивоа аутоматизације при пројектовању бележењем комплексних, некреативних и инжењерских процеса који се понављају. Међутим коришћење једног изабраног врхунског CAD система за снимање и дељење геометрије производа остаје обавезно. Штавише, коришћење таквог изабраног CAD система је такође обавезно за све добављаче. У овом случају нема дискусије о избору између CAD и КВЕ система.

2.1.11 Еволуција и трендови КВЕ технологије

Како су се КВЕ системи развијали и постали потпуна програмерска окружења опште намене, исти су доспели у категорију другачију од оне у којој су се налазили CAD системи. Асоцијација на CAD системе је, на жалост, остала дуги низ година и значајно је ограничила продор КВЕ система на тржишту.

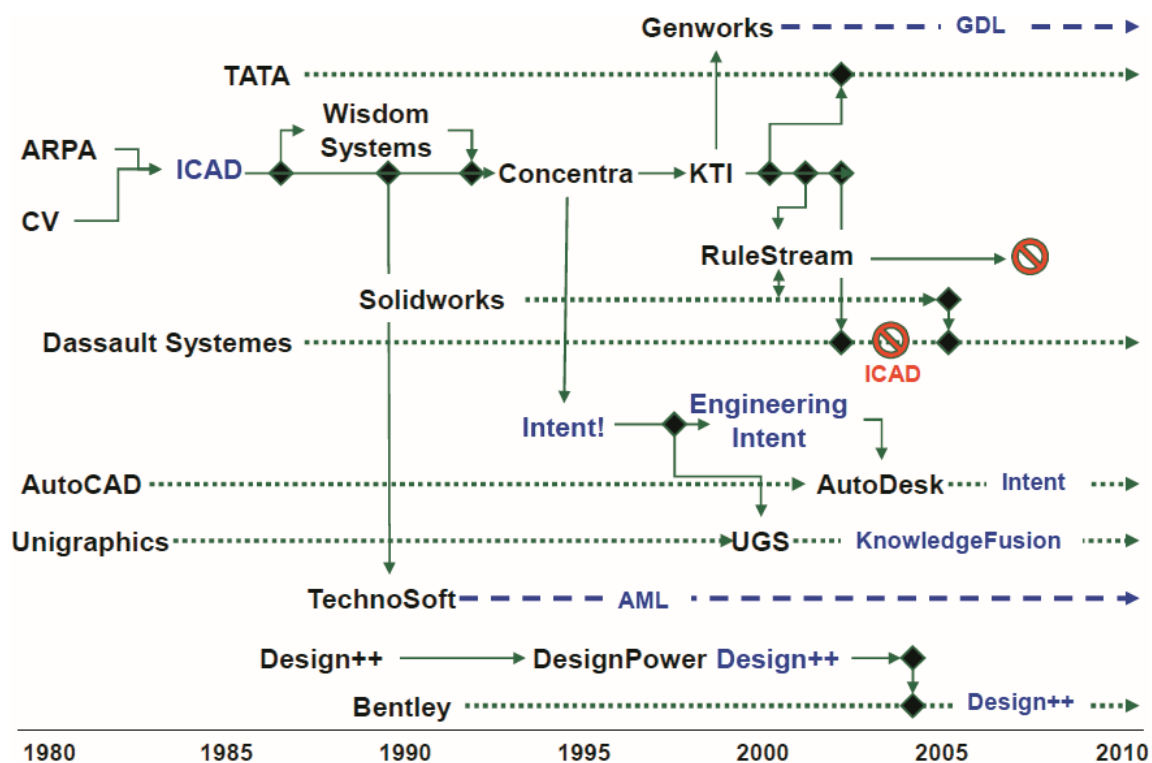
Први комерцијални КВЕ систем се је појавио на тржишту 80-тих година прошлог века. Међутим, озбиљније коришћење КВЕ технологије се бележи у задњих 10 до 15 година. Без обзира на велики потенцијал, КВЕ није могао да оствари успех на тржишту попут CAD-а у његових првих 15 година. Ограничен успех КВЕ технологије се може довести у везу са комбинацијом следећих узрока: висока цена софтверских лиценци и потребног хардвера, недостатак литературе, студија случајева и метрике, недостатак КВЕ развојне методологије, и низак ниво доступности.

Обзиром на околности, прве успешне имплементације КВЕ-а су у ствари само подвизи елите имућних и слободоумних организација. Међутим, током година, техничка достигнућа и промене стратегије су креирали окружење погодно за одржив развој КВЕ-а у оквиру индустрије и истраживања:

- Цена хардвера се је драматично смањила: оно што је некада захтевало веома скупе Lisp машине, а затим и радне станице, данас функционише на било ком лаптоп рачунару и то знатно брже. Многи КВЕ вендори су прилагодили своје системе најзаступљенијим оперативним системима и рачунарским архитектурама, то јест једноставним *desktop* рачунарима са Windows оперативним системом. Пад цене хардвера је пратио и пад цене савремених КВЕ система.
- Растућа комплексност производа које је потребно пројектовати је поспешивала развој још комплекснијих рачунаром потпомогнутих алата за пројектовање. Овај тренд је ишао на руку развоју КВЕ-а, пошто се је јаз по питању релативне сложености у односу на КВЕ алате аутоматски смањио.
- Посвећене (наменске) методологије за подршку структурном развоју КВЕ апликација су постале расположиве. МОКА (Stokes, 2001) је најистакнутији резултат у овом смеру. Ове методологије су обезбедиле смањење времена развоја за 20-25 % (Oldham et al., 1998).
- Водеће компаније у развоју PLM решења су коначно препознале вредност КВЕ приступа и прошириле су своје врхунске CAD производе КВЕ могућностима:
 - PTC је 1999. године представио скуп алата за моделирање понашања (*Behavioral Modelling toolkit*) за Pro/ENGINEER 2000i који нуди методе за бележење (чување) правила која управљају CAD машином.

- UGS је 2001. године преузео Intent! KBE језик од Heide корпорације и уградио га је у Unigraphics како би оформио Knowledge Fusion (2007. године UGS је купљен од стране Siemens PLM).
- Dassault Systemes је 2002. године преузео компанију KTI и њихов производ ICAD. Dassault Systemes гаси ICAD и на основу KTI експертизе развија KBE додатак CATIA-e V (KnowledgeWare).
- Autodesk је 2005. године преузео Engineering Intent корпорацију и интегрисао њихов KBE систем у Autodesk Inventor како би оформио AutodeskIntent (сада познат као Inventor Automation Professional).
- 2007. године, након преузимања компаније Design Power, Bentley интегрише њен KBE систем Design++ у Microstation.

Главне гране генеалогичке еволуције и вендора KBE технологије су илустроване на слици 2-11. Поред GDL-а и AML-а, који су вероватно једини прави KBE системи на тржишту, у свим осталим случајевима се ради у ствари о CAD систему са KBE могућностима, где је прави KBE језик (на пример, SiemensNX Knowledge Fusion) или су KBE могућности (на пример, Dassault Systemes CATIA V5 KnowledgeWare) интегрисани ради проширења CAD функционалности. Главна разлика између ових проширених CAD система и правих KBE система је у томе што су први CAD оријентисани, то јест код њих је CAD машина увек присутна и ради, а фокус аутоматизације је у великој мери на манипулисању геометријом (Cooper & LaRocca, 2007). Отуда није могуће вршити обраду података или имплементирати било коју врсту алгоритма који се не односе на, или нису директно уграђени у дефиницију неког геометријског објекта. Прави KBE системи се пак фокусирају на потпуније манипулисање знањем и информацијама, и чак и не укључују право CAD језгро у основном пакету, мада се исто може набавити преко додатне лиценце.



Слика 2-11 Генеалогија еволуције и вендора КВЕ технологије (преузето из (McGoeu, 2011))

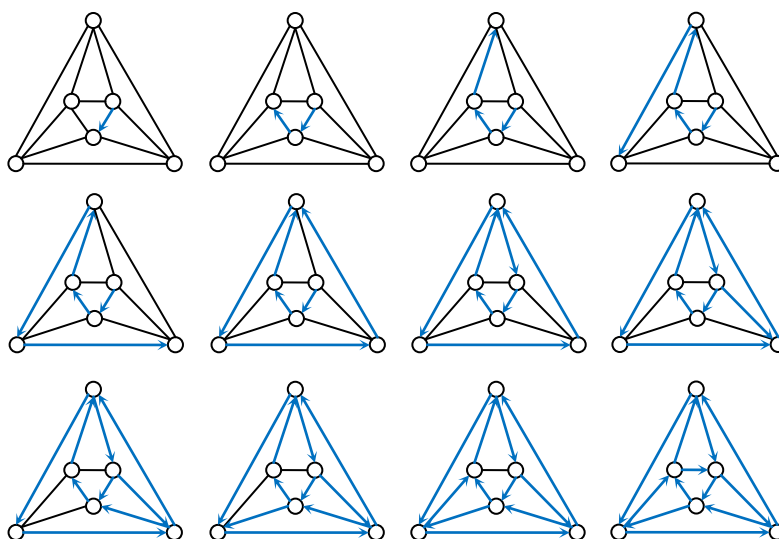
2.2 Утврђивање сличности графова

2.2.1 Увод

У математичкој терминологији *граф* представља колекцију тачака и линија које повезују неки (могуће празан) њихов подскуп. Тачке графа су познате као *чворови* графа, али се могу назвати и *теменима*. Линије које повезују чворове графа су познате као *ивице* графа, али се могу назвати и *луковима* или *гранама*.

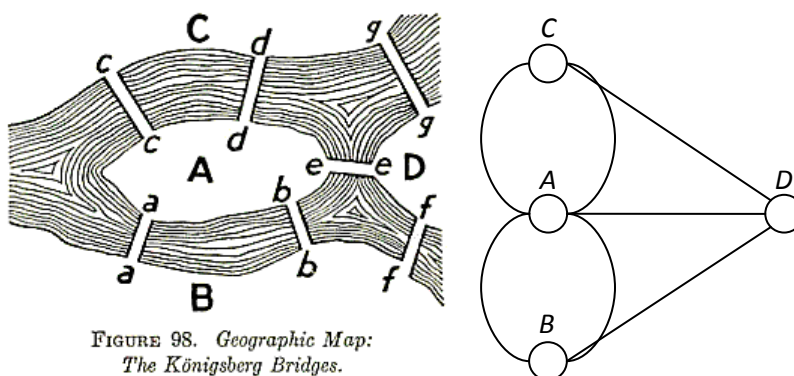
Теорија графова – проучавање бинарних односа између елемената скупа – је претрпела огромне промене од својих формалних почетака у 18-том веку. Рани радови су углавном били фокусирани на доказивање комбинаторичких и тврђења постојања у вези структура графова. Euler-ов доказ непостојања такозваног Euler-овог циклуса преко свих седам мостова Königsberg-a, сада познат као решење проблема мостова Königsberg-a, се сматра почетком теорије графова.

Euler-ов циклус је *циклус графа* који користи сваку ивицу графа тачно једном. Циклус графа g , који се понекад зове и *обилажење*, је *путања графа* која почиње и завршава се у истом чвору графа. Путања графа g је низ чворова графа такав да од сваког чвора низа постоји ивица до следећег чвора низа. На слици 2-12 је илустрован Euler-ов циклус за октаедарски граф.



Слика 2-12 Euler-ов циклус за октаедарски граф

Проблем мостова Königsberg-a се може описати питањем: Да ли је могуће прећи седам мостова преко реке Прегер града Königsberg-a (слика 2-13 (лево); Kraitichik, 1942) који је некада био у Немачкој, а сада је познат као Калининград и налази се у Русији, у једном путовању без поновног прелажења неког од мостова са додатним захтевом да се путовање заврши на истом месту на коме је и почело. Ово је еквивалентно питању да ли за *мултиграф* који има четири чвора и седам ивица (слика 2-13 (десно)) постоји Euler-ов циклус. Мултиграф је граф код кога су вишеструке ивице (две или више ивица које повезују два чвора графа) између чворова графа или дозвољене или захтеване. Euler је овај проблем решио 1736. године тако што је доказао да за мултиграф на слици 2-13 (десно) не постоји Euler-ов циклус.



Слика 2-13 Проблем мостова Königsberg-a (слика лево преузета са адресе

<http://mathworld.wolfram.com/KoenigsbergBridgeProblem.html>)

До значајног напретка у теорији графова је дошло 1959. године када су у раду Erdos-a и Renyi-a (Erdos & Renyi, 1959) представљени *насумични графови*, то јест графови код којих су чворови међусобно повезани по моделу вероватноће. У овом периоду истраживачи су се

углавном фокусирали на графове који су били теоријски конструисани и покушавали су да одговоре на питања у вези њихових својстава.

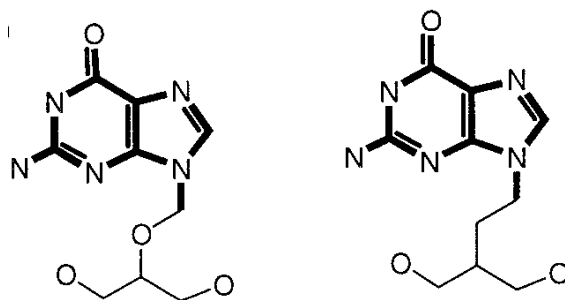
У задњих тридесет година истраживачи су, међутим, оживели теорију графова како би одговорили на питања у вези стварних графова који се јављају у реалном окружењу. Ово оживљавање се је јавило као одговор на неколико повезаних кретања. Прво је *експлозија података* која се је догодила у многим областима истраживања подстакнута непрекидним напретком у пољима рачунарства и складиштења података. Подаци се често могу прожети структуром графа која открива занимљиве односе и наводи на даље истраживање. Научницима суоченим са овим врстама графова података су неопходни алгоритми који могу вршити претраживање великих скупова података и пружити релевантне информације.

Други покретач који стоји иза скоре поновне актуелизације теорије графова јесте увећана *сарадња* између истраживача у некада диспаратним пољима, која се у великој мери јавила због лакоће електронског ширења информација. Ова нова сарадња је открила да структуре графова које виде биолози, физичари и социолози често имају исте интересантне и јединствене одлике.

2.2.2 Примери примене теорије графова

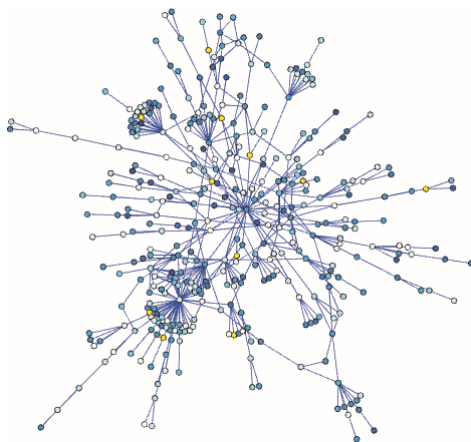
У овом делу ће бити наведени неки примери коришћења теорије графова у практичним истраживањима како би се стекао утисак о томе који су концепти теорије графова корисни.

Примена теорије графова за решавање проблема у хемији има дугу историју. Хемијска једињења имају природну структуру графа код које чворови представљају различите атоме, а ивице представљају међуатомске везе. Питање са којим се суочавају хемичари у данашње време није да ли је граф теоријски приступ одговарајућ, већ који алгоритам за решавање проблема из теорије графова треба изабрати. Када експериментални хемичари развијају ново једињење први корак је поређење његове молекуларне структуре са базом података структура једињења и проналажење једињења која су структурно идентична или која имају структурно идентичне подкомпоненте (слика 2-14). У теорији графова ово је познато као проблем утврђивања *максималног заједничког подграфа*.



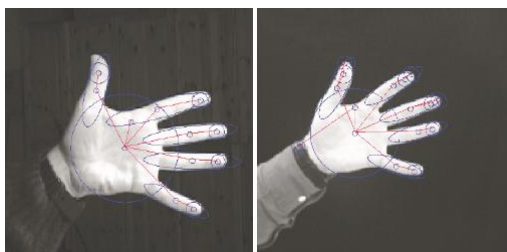
Слика 2-14 Максимална заједничка подструктура две хемијске структуре (преузето из (Raymond & Willett, 2002))

Један пример биолошких података са структуром графа је мапирање метаболичких мрежа у *графове ензима*: биолошки ензими служе као чворови графа, где ивица од ензима e_1 до ензима e_2 постоји ако e_1 катализује реакцију чији је производ супстрат за e_2 . Протеин-протеин интеракције било које врсте се могу представити као граф (слика 2-15). Још једна графичка репрезентација метаболичке мреже је она која представља диференцијалне једначине које управљају неким делом метаболичке путање организма. Код ових графова сваки чвор представља молекул који је укључен у одређен метаболички процес који подлеже очувању масе и термодинамичким захтевима представљеним ивицама графа. Код ових врста мрежа, истраживачи су често заинтересовани за истраживање различитих врста путања кроз мрежу како би се предвидело понашање или објаснили експериментални резултати.



Слика 2-15 Графичка репрезентација мреже протеин-протеин интеракције (преузето из (Vespignani, 2003))

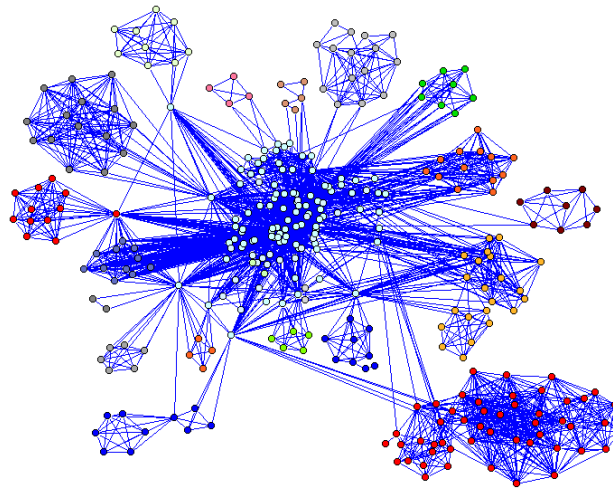
Једна од најинтересантнијих примена теорије графова је *препознавање образаца (pattern recognition)* и *добивање, обрада, анализа и разумевање слика (computer vision)*. Ако су дате две слике, софтвер за обраду слика може често идентификовати интересантне одлике и затим описати однос између ових одлика, на пример, по питању растојања или угла. Пример овакве врсте обраде је дат на слици 2-16. Овај приступ природно води репрезентацији слике помоћу *означеног графа*.



Слика 2-16 Две повезане (сродне) слике са означеним одликама (преузето из (Demirci et al., 2004))

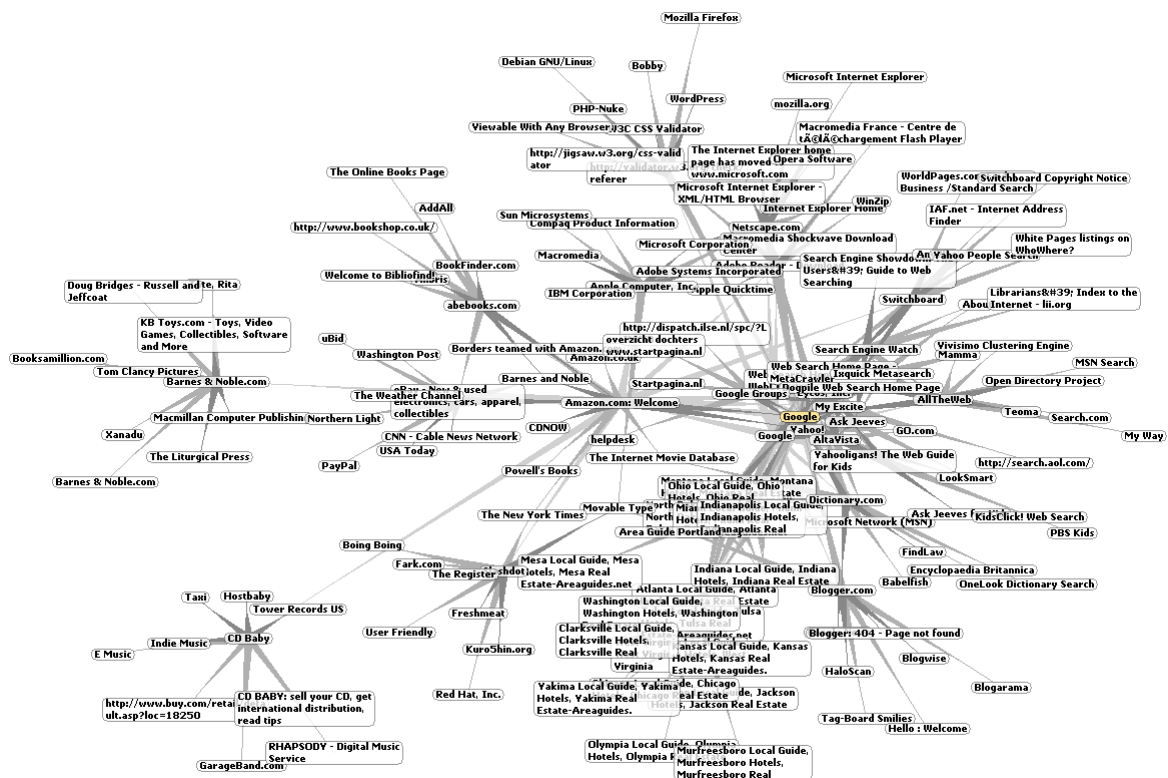
Примена теорије графова код социјалних мрежа се између осталог јавља код проучавања случајева *феномена малог света (small world phenomenon)* (слика 2-17) и

вирусног маркетинга (viral marketing). Феномен малог света се јавља када велика глобално слабо повезана мрежа има изненађујуће мало просечно растојање између било која два насумично изабрана чвора. Код вирусног маркетинга група жели да утиче на целу популацију тако што селективно утиче на добро повезане чланове те популације. У овом случају је главни проблем како најбоље дефинисати мрежу која моделира циљану популацију, затим како из ње изабрати најутицајније чланове и како проценити понашање мреже.



Слика 2-17 Феномен малог света: мало просечно растојање између насумично изабраних чворова; глобално слабо повезана, а локално густа мрежа

Web је фасцинантан граф који се константно мења од стране милиона независних корисника широм планете. Ивице између чворова графа web-а, које представљају линкове између web страница (представљених чворовима графа), могу представљати много различитих врста односа, укључујући персоналне, професионалне и навигационе (слика 2-18). Web нуди истраживачима два скупа изазова: први је разумевање статистике и динамике раста и повезаности web-а, а други је коришћење овог знања за унапређење алата за проналажење информација на web-у.



Слика 2-18 Google као део World Wide Web-a

Један корак у овом правцу је рад Dill-а и сарадника (Dill et al., 2002) у коме су аутори извршили екстензивно узорковање web-a и пронашли доказе о суштински *фракталној* организацији: исти типови структура (и стога и исте статистике) се могу идентификовати у различитим размерама графа web-a. Аутори тврде да ова структура која се понавља може да се искористи за поједностављење дизајна web базираних алгоритама и побољшање квалитета претраживања.

Величина графа web-a је запањујућа: тренутно је индексирано око 40 милијарди web страница (подаци се односе на Google машину за претраживање). Google-ов алгоритам за претраживање, који се користи у највећој мери, је оригинално био предложен 1998. године од стране Brin-а и Page-а (Brin & Page, 1998). Њихов приступ се издваја по томе што се не разматра само текст web документа и његова релевантност у односу на дати упит, већ се разматра и како се структура линкова графа као целина разликује између важних и маргиналних извора информација.

2.2.3 Утврђивање сличности графова

Процес процене сличности два графа се често назива и *поклапањем графова* (*graph matching*). Општи циљ поклапања графова је проналажење подударана између чворова и ивица два графа које задовољава нека, мање или више строга, ограничења. Другим речима, процесом поклапања графова, сличне подструктуре једног графа бивају мапиране

(пресликане) на сличне подструктуре другог графа. На основу овог поклапања се може израчунати оцена сличности или различитости која указује на блискост два графа.

Грубо говорећи, постоје две категорије задатака код поклапања графова: *прецизно поклапање* (*exact matching*) и *непрецизно поклапање* (*inexact matching*). У првом случају је неопходно пронаћи строго подударање између два графа или бар између њихових делова како би поклапање истих било успешно. У другом случају је овај захтев знатно релаксиран, пошто су могућа поклапања између неидентичних графова. Другим речима, алгоритми за непрецизно поклапање имају одређену толеранцију на грешке и шум, чиме је омогућено детектовање сличности на општији начин у поређењу са приступом прецизног поклапања. Стога се непрецизно поклапање графова још назива и *поклапањем графова толерантним на грешке* (*error-tolerant graph matching*).

Опсежан преглед метода за поклапање графова и случајева примене истих се може наћи у раду Conte-а и сарадника (Conte et al., 2004).

2.2.3.1 Основна нотација

У литератури се могу наћи различите дефиниције графа зависно од разматране примене. Дефиниција дата ниже је довољно флексибилна за различите случајеве примене (Riesen et al., 2010).

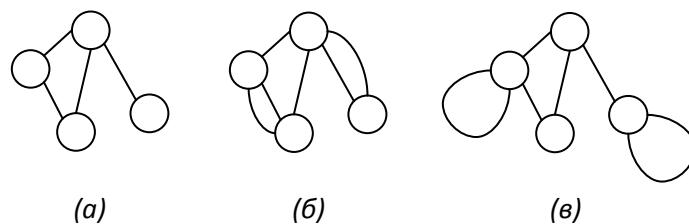
Нека су L_V и L_E коначни или бесконачни алфабети ознака за чворове и ивице, респективно. Граф g је четворка $g = (V, E, \mu, \nu)$, где је:

- V коначан скуп чворова,
- $E \subseteq V \times V$ скуп ивица,
- $\mu: V \rightarrow L_V$ функција означавања чворова и
- $\nu: E \rightarrow L_E$ функција означавања ивица⁴.

Број чворова графа g се означава са $|g|$, док G представља скуп свих графова над алфабетима ознака L_V и L_E .

Постоји широк спектар различитих врста графова. Најпознатија врста графова су они код којих највише једна ивица (то јест једна или ниједна) може повезивати било која два чвора. Овакви графови се називају *једноставним графовима*. Ако је дозвољено да између два чвора постоје вишеструке ивице, граф је познат као *мултиграф*. Обично није дозвољено да чворови буду самоповезани, али се ово ограничење понекад занемарује како би се омогућило креирање петљи код графова. Граф који може садржати вишеструке ивице и петље се назива *псеудограф*. Различите врсте графова су приказане на слици 2-19.

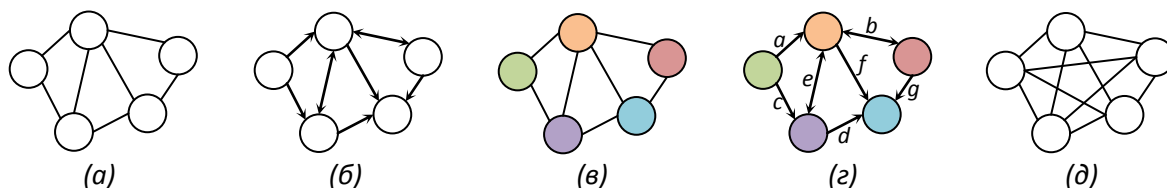
⁴ L – labels, V – vertices, E – edges



Слика 2-19 Врсте графова: (а) једноставан граф, (б) мултиграф и (в) псеудограф

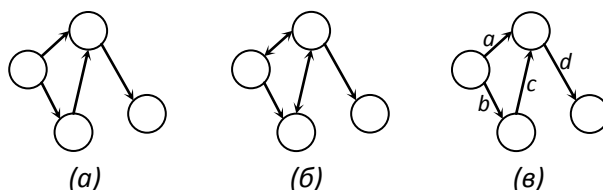
Ако су чворови и/или ивице графа означени граф се назива *означеним*. *Неозначени граф* се може посматрати као специјалан случај означеног графа код кога је иста ознака ε додељена свим чворовима и ивицама графа, то јест, $L_V = L_E = \{\varepsilon\}$.

Ивице су представљене паровима чворова (u, v) , где $u \in V$ означава изворни чвор, а $v \in V$ циљни чвор *усмерене ивице*. У општем случају, два чвора u и v који су повезани ивицом (u, v) се називају *суседним*. Граф се назива *комплетним* (*потпуним*) ако су за све парове чворова, чворови пара суседни. *Усмерени граф* је граф код кога су све ивице усмерене. *Неусмерени граф* је граф чије ивице немају одлику усмерења. На слици 2-20 су приказане различите врсте графова.



Слика 2-20 Различите врсте графова: (а) неусмерен и неозначен, (б) усмерен и неозначен, (в) неусмерен са означеним чворовима (различите боје одговарају различитим ознакама), (г) усмерен са означеним чворовима и ивицама и (д) комплетан (потпун) неозначен граф

Усмерени граф код кога свака ивица има један смер (то јест ивице не смеју бити двосмерне) се назива *оријентисаним графом*. Оријентисани граф са означеним ивицама се назива *мрежом*. Различите врсте усмерених графова су приказане на слици 2-21.

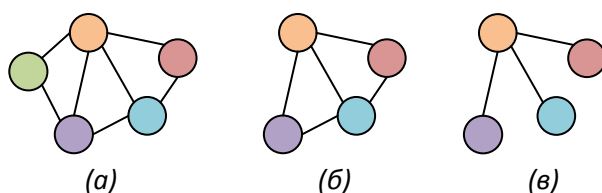


Слика 2-21 Врсте усмерених графова: (а) оријентисани граф, (б) усмерени граф, (в) мрежа

Нека су $g_1 = (V_1, E_1, \mu_1, \nu_1)$ и $g_2 = (V_2, E_2, \mu_2, \nu_2)$ графови. Граф g_1 је *подграф* графа g_2 , што се означава са $g_1 \subseteq g_2$, ако је:

- (1) $V_1 \subseteq V_2$,
- (2) $E_1 \subseteq E_2$,
- (3) $\mu_1(u) = \mu_2(u)$ за све $u \in V_1$ и
- (4) $\nu_1(e) = \nu_2(e)$ за све $e \in E_1$.

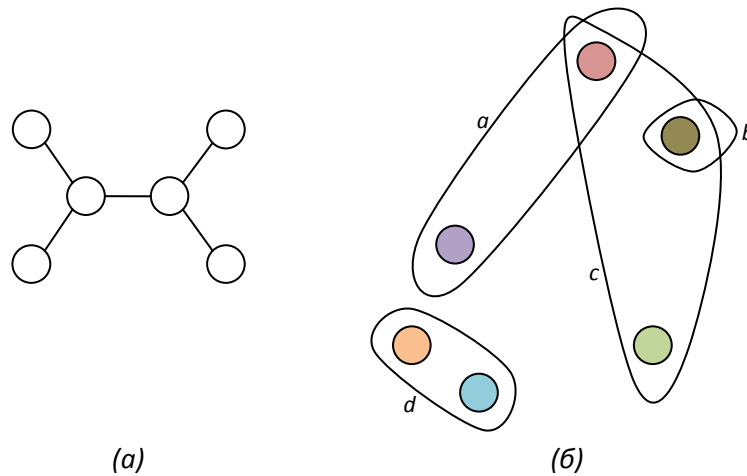
Ако је граф g_2 подграф графа g_1 , онда се граф g_1 назива *надграфом* графа g_2 . Заменом услова (2) у горњој дефиницији строжијим условом (2') $E_1 = E_2 \cap V_1 \times V_1$, граф g_1 постаје *индукован подграф* графа g_2 . Јасно је да се подграф g_1 добија из графа g_2 уклањањем неких чворова и ивица у којима исти учествују, као и евентуално неких додатних ивица графа g_2 . Да би g_1 био индукован подграф графа g_2 потребно је из графа g_2 уклонити неке чворове и само ивице у којима исти учествују (у овом случају није дозвољено уклањање додатних ивица графа g_2). На слици 2-22 (б) и (в) су приказани индукован и неиндукован подграф графа на слици 2-22 (а), респективно.



Слика 2-22 Граф (б) је индукован подграф графа (а), а граф (в) је неиндукован подграф графа (а)

Путања кроз граф је низ чворова $\{v_1, v_2, \dots, v_n\}$ таквих да су $(v_1, v_2), (v_2, v_3), \dots, (v_{n-1}, v_n)$ ивице графа, при чему се чворови у низу не понављају. *Циклус* графа је путања графа која се завршава у почетном чвору. Граф се назива *повезаним* ако постоји путања између било ког пара његових чворова. Повезани граф без циклуса се назива *стаблом* (слика 2-23 (а)).

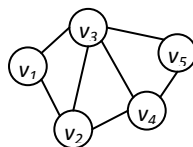
Једна природна екстензија графова (код којих ивице повезују два чвора (или један исти чвор у случају петље)) су *хиперграфови* код којих генерализоване ивице (које се називају *хиперивицама*) могу повезивати више од два чвора. Код хипергарафа су два чвора суседна ако постоји хиперивица која садржи оба чвора. Пример хиперграфа је дат на слици 2-23 (б) где су чворови означени бојама, а хиперивице словима.



Слика 2-23 Стабло (а) и гиперграф (б)

2.2.3.2 Прецизно поклапање графова

Циљ код прецизног поклапања графова је да се утврди да ли су два графа, или бар њихови делови, идентични по питању структуре и ознака. Структура графа се често описује матрицом суседства $A = (a_{ij})_{n \times n}$ графа $g = (V, E, \mu, \nu)$ ($|g| = n$) (слика 2-24). Елемент a_{ij} је једнак броју ивица које полазе из чвора v_i , а завршавају се у чвору v_j . Граф може бити представљен и матрицом инциденције чворова и ивица $R = (r_{ij})_{n \times m}$ графа (слика 2-24; колоне приказане матрице одговарају следећем редоследу ивица графа: $v_1v_2, v_1v_3, v_2v_3, v_2v_4, v_3v_4, v_3v_5, v_4v_5$). Елемент r_{ij} је једнак јединици уколико је чвор v_i инцидентан са ивицом e_j ; у супротном је једнак нули.

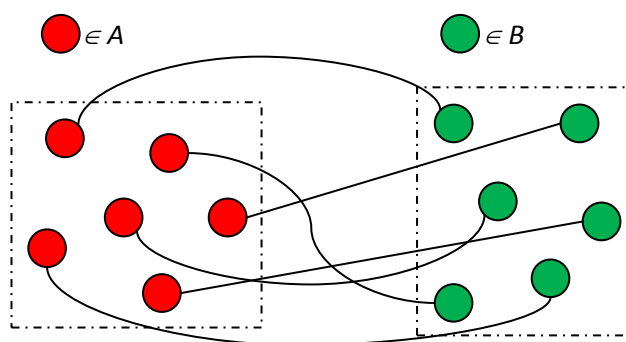


$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad R = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

Слика 2-24 Граф g и његове матрица суседности и матрица инциденције чворова и ивица за случај када је редослед чворова формиран на основу ознака чворова

У општем случају за чворове и ивице графа не постоји јединствени редослед, па за дати граф са n чворова постоји $n!$ матрица суседства графа, пошто постоји $n!$ могућих редоследа његових чворова. Стога се структурна идентичност два графа не може утврдити поређењем њихових матрица суседности. Идентичност два графа g_1 и g_2 се обично утврђује

дефинисањем функције, назване *изоморфизам графа*, која мапира (пресликава) граф g_1 у граф g_2 . Изоморфизам је општи концепт који се појављује у више области математике. Реч је изведена из грчког *iso* што значи *једнак* и *morphosis* што значи *формирати* или *обликовати*. Формално, изоморфизам је бијективни морфизам. Бијекција (или обострано једнозначно пресликавање) је пресликавање која је истовремено и инјективно („један-један“; $(\forall x_1, x_2 \in A) x_1 \neq x_2 \Rightarrow f(x_1) \neq f(x_2)$) и сирјективно („на“; $(\forall y \in B)(\exists x \in A) f(x) = y$) (слика 2-25). Морфизам је пресликавање једне математичке структуре у другу којим се чува структура. Неформално, изоморфизам је пресликавање којим се чувају скупови и односи (везе) између елемената скупа.

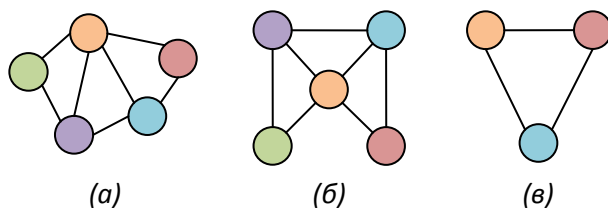


Слика 2-25 Бијекција – „један-један“ и „на“ пресликавање

Разматрају се два графа: $g_1 = (V_1, E_1, \mu_1, \nu_1)$ и $g_2 = (V_2, E_2, \mu_2, \nu_2)$. Изоморфизам графа је бијективна функција $f: V_1 \rightarrow V_2$ која задовољава следеће услове:

- (1) $\mu_1(u) = \mu_2(f(u))$ за све чворове $u \in V_1$
- (2) за сваку ивицу $e_1 = (u, v) \in E_1$ постоји ивица $e_2 = (f(u), f(v)) \in E_2$ таква да је $\nu_1(e_1) = \nu_2(e_2)$
- (3) за сваку ивицу $e_2 = (u, v) \in E_2$ постоји ивица $e_1 = (f^{-1}(u), f^{-1}(v)) \in E_1$ таква да је $\nu_1(e_1) = \nu_2(e_2)$

Два графа се називају изоморфним ако постоји изоморфизам између њих.



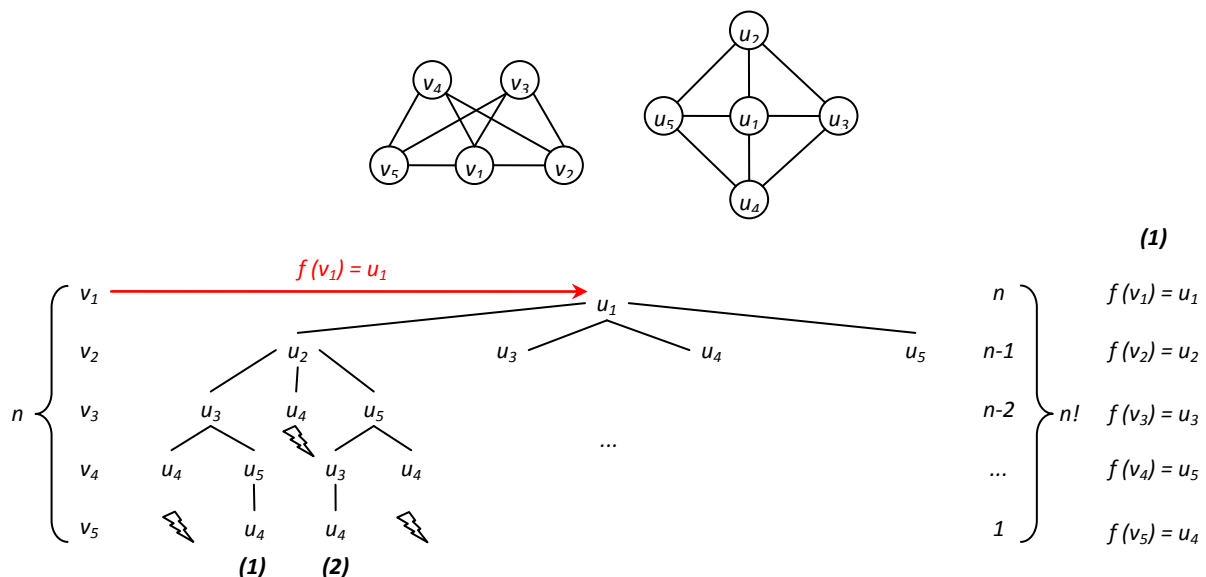
Слика 2-26 Граф (б) је изоморфан графу (а), а граф (в) је изоморфан подграфу графа (а).

Различите боје одговарају различитим ознакама чворова.

Изоморфни графови су очигледно идентични по питању структуре и ознака, што значи да постоји „један-један“ пресликавање између сваког чвора првог графа и сваког чвора другог графа којим се чува структура ивица и обезбеђује да ознаке чворова и ивица буду конзистентне.

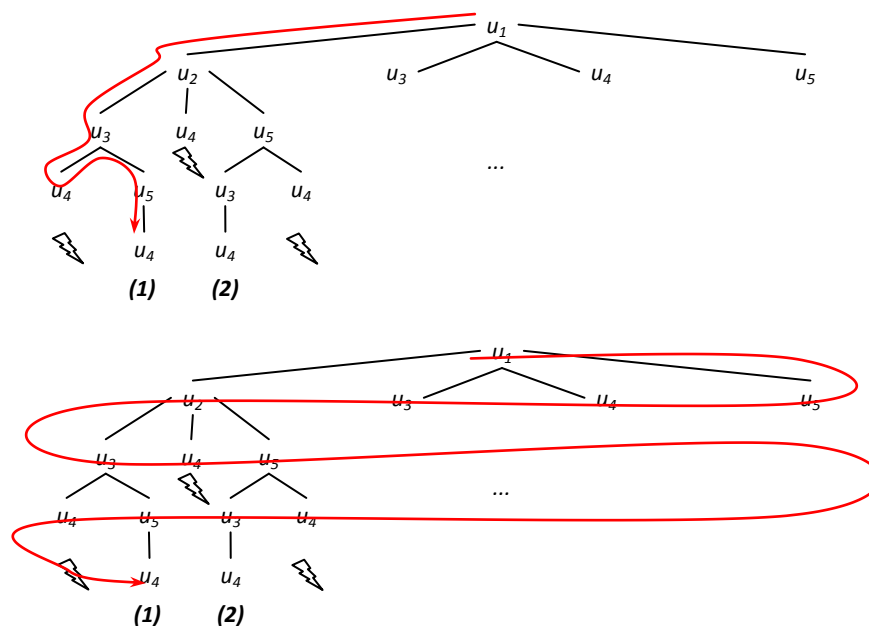
Нажалост, за проблем утврђивања изоморфности графова не постоји алгоритам полиномске временске сложености (алгоритам је полиномске временске сложености ако је временске сложености (броја операција) највише $O(n^k)$, за неку константу k ; n је димензија улазних података (рецимо број чворова графа)). Другим речима, временска сложеност било ког расположивог алгоритма за проблем утврђивања изоморфности графова је, у најгорем случају, експоненцијална ($O(n!)$, $O(2^n)$, итд.). Иначе, познато је да су за веће димензије улазних података алгоритми полиномске временске сложености једини ефикасни у пракси. Међутим, пошто су сценарији на које се наилази у пракси често разликују од најгорег случаја и пошто ознаке чворова и ивица често омогућавају значајну редукцију комплексности претраживања, стварно време извршавања алгоритма је често прихватљиво. Алгоритми полиномске сложености по времену извршавања за проблем утврђивања изоморфности графова су развијени за специјалне врсте графова попут стабала (Aho et al., 1974), планарних графова (графова који се могу нацртати у равни без међусобног пресецања ивица) (Hopcroft & Wong, 1974) и графова са јединственим ознакама чворова (Dickinson et al., 2004).

Стандардне процедуре за тестирање графова на изоморфизам су базиране на техници *претраживања стабла са трагањем уназад* (*tree search with backtracking*). Основна идеја је да се делимично поклапање (које је иницијално празно) проширује кроз итерације додавањем нових парова поклопљених чворова (слика 2-27). Пар чворова се бира применом неопходних услова који обезбеђују његову компатибилност са ограничењима која потичу од врсте поклапања, узимајући у обзир претходно поклопљене чворове и обично коришћењем неког хеуристичког услова да би се, што је раније могуће, уклониле неуносне („слепо“, „јалове“ или „неплодне“) путање претраживања. Коначно ће алгоритам пронаћи потпуно поклапање, или ће се показати да се тренутно делимично поклапање не може више проширивати због ограничења поклапања. У другом случају алгоритам врши трагање уназад, то јест поништавају се задња додавања поклопљених парова чворова све док се не нађе делимично поклапање за које је могуће алтернативно ширење. Ако су сва могућа поклапања која задовољавају ограничења већ била истражена, извршавање алгоритма се зауставља.



Слика 2-27 Претраживање стабла са трагањем уназад

Више различитих стратегија имплементације ове технике је до сада реализовано и углавном се разликују по редоследу истраживања делимичних поклапања. Најједноставнија је *претраживање прво по дубини (depth-first search)* која захтева мање меморије од других стратегија и подесна је за рекурзивну формулацију. Код ове стратегије се истражује путања све до *листа стабла* (чвор који се више не грана) пре евентуалног трагања уназад и истраживања неке друге путање (слика 2-28 (горе); у чвору u_4 је извршено трагање уназад). Друга позната стратегија је *претраживање прво по ширини (breadth-first search)* којом се прво истражују чворови најближи корену стабла, затим следећи удаљенији, итд. (слика 2-28 (доле)). Ове две стратегије претраживања стабла чине основу за све остале технике претраживања. Добро својство ових алгоритама је то што се могу лако прилагодити како би узели у обзир ознаке чворова и ивица приликом ограничавања жењеног поклапања, без ограничења по питању врсте ознака које се могу користити.



Слика 2-28 Претраживање стабла прво по дубини (горе) и прво по ширини (доле)

Добро познат и, без обзира на старост, још увек веома популаран, алгоритам који имплементира идеју претраживања стабла са трагањем уназад за проблем утврђивања изоморфности графова, као и изоморфности подграфова, је описан у раду Ullmann-а (Ullmann, 1976). Овај алгоритам је вероватно најпопуларнији алгоритам за поклапање графова. За уклањање неуносних путања Ullmann предлаже такозвану *процедуру пречишћавања* која се примењује на матрицу могућих будућих парова поклопљених чворова да би се, на основу погодне дефинисаног неопходног услова, уклонили парови који нису конзистентни са актуелним делимичним поклапањем. Новији алгоритми за решавање проблема утврђивања изоморфности графова, као и изоморфности подграфова, који су такође засновани на претраживању стабла, су VF алгоритам и његов наследник VF2 алгоритам (Cordella et al., 2004). Аутори VF алгоритма су дефинисали хеуристику која је базирана на анализи скупова чворова који су суседни онима који су већ били разматрани у делимичном поклапању. VF2 алгоритам је садржао измене које су омогућиле значајну редукцију захтева по питању меморије приликом извршавања алгоритма, што је овај алгоритам учинило нарочито интересантним за рад са великим графовима. У раду Larrosa-е и Valiente-а (Larrosa & Valiente, 2002) аутори су преформулисали проблем утврђивања изоморфности графова као *проблем задовољења ограничења* (Constraint Satisfaction Problem – CSP), који се у великој мери изучава у подручјима дискретне оптимизације и операционих истраживања, и применили хеуристике преузете из CSP литературе.

Nauty (McKay, 1981) је вероватно најинтересантнију алгоритам за поклапање графова који није базиран на претраживању стабла. Уз помоћ овог алгоритма је могуће решити проблем утврђивања изоморфности графова и исти се према многим ауторима сматра

тренутно најбржим алгоритмом за ту намену. Базиран је на теорији група и нарочито је ефикасан у случају упаривања једног графа са графовима у великој фиксној библиотеци графова који су претходно обрађени на одговарајући начин. Још један алгоритам који је ефикасан у овим ситуацијама, а који такође није базиран на претраживању стабла, је презентован у раду Messmer-а и Bunke-а (Messmer & Bunke, 2000). Аутори су приликом креирања овог алгоритма били инспирисани RETE алгоритмом (који се користи за упаривање чињеница и правила код експертних система; Forgy, 1982). Сам алгоритам је базиран на рекурзивној декомпозицији сваког графа из библиотеке у мање подграфове, све док се не дође до тривијалних графова који се састоје од једног чвора. Процес поклапања затим користи чињеницу да су неки од сегмената заједнички за више графова из библиотеке да би се избегло поновно упоређивање истих са улазним графом. Иницијална верзија овог алгоритма је била намењена решавању проблема утврђивања изоморфности графова и изоморфности подграфова. Messmer и Bunke су предложили још импресивнији алгоритам исте намене (Messmer & Bunke, 1999). Овај алгоритам у фази претходне обраде гради *стабло одлучивања* (*decision tree*) од библиотеке графова. Користећи ово стабло одлучивања може се извршити поклапање улазног графа и целе библиотеке графова са временском сложености $O(n^2)$, где је n број чворова улазног графа, при чему иста уопште не зависи од броја графова у библиотеци.

У радовима Lazarescu-а и сарадника (Lazarescu et al., 2000) и Irniger-а и Bunke-а (Irniger & Bunke, 2001) је предложена употреба стабла одлучивања за убрзавање поклапања улазног графа са графовима из библиотеке графова. У овим случајевима стабло одлучивања се не користи за сам процес поклапања, већ за брзо уклањање филтрирањем што је могуће већег броја графова, након чега се потпун алгоритам за упаривање примењује на преостале графове.

Изоморфност подграфова је у тесној вези са изоморфношћу графова и може се описати као концепт који описује једнакост подграфова. Изоморфизам подграфа је слабији облик поклапања у смислу да захтева да изоморфизам постоји само између графа g_1 и подграфа графа g_2 . Другим речима потребно је утврдити да ли је мањи граф идентично присутан у већем графу.

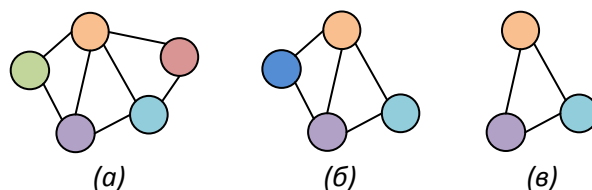
Нека су $g_1 = (V_1, E_1, \mu_1, \nu_1)$ и $g_2 = (V_2, E_2, \mu_2, \nu_2)$ графови. Инјективна функција $f : V_1 \rightarrow V_2$ између графа g_1 и графа g_2 је изоморфизам подграфа ако постоји подграф $g \subseteq g_2$ такав да је f изоморфизам графа између графа g_1 и графа g .

Алгоритми базирани на претраживању стабла за проблем утврђивања изоморфности графова, као и технике базирани на стаблу одлучивања могу такође бити примењени на

проблем утврђивања изоморфности подграфа. За разлику од проблема утврђивања изоморфности графова, решење проблема утврђивања изоморфности подграфа се може добити алгоритмом полиномске сложености по времену извршавања. Сам проблем утврђивања изоморфности подграфа је тежи проблем од проблема утврђивања изоморфности графова пошто је потребно не само проверити да ли је пермутација графа g_1 идентична графу g_2 , већ је потребно утврдити да ли је граф g_1 изоморфан било ком подграфу графа g_2 који има исту величину као и граф g_1 .

Процес поклапања графова има за примарни циљ идентификовање кореспондентних подструктура два графа који се разматрају. Кроз процедуру поклапања графова је могуће лако донети закључак о оцени сличности или различитости. Изоморфизам графа, као и изоморфизам подграфа даје кориснику основну меру сличности која је 1 (максимална сличност) за изоморфне (под)графове и 0 (минимална сличност) за нехоморфне (под)графове. Стога два графа морају бити идентична или мањи граф мора бити идентично садржан у другом графу да би се сматрали сличним. Применљивост ове мере сличности графова је прилично ограничена. Ово се може приметити у случају када су већина, али не и сви, чворова и ивица два графа идентични. У овом случају примена концепта изоморфности (под)графа би резултовала категоризовањем ових графова као потпуно различитих. Због тога је потребно увести формални концепт највећег заједничког дела два графа.

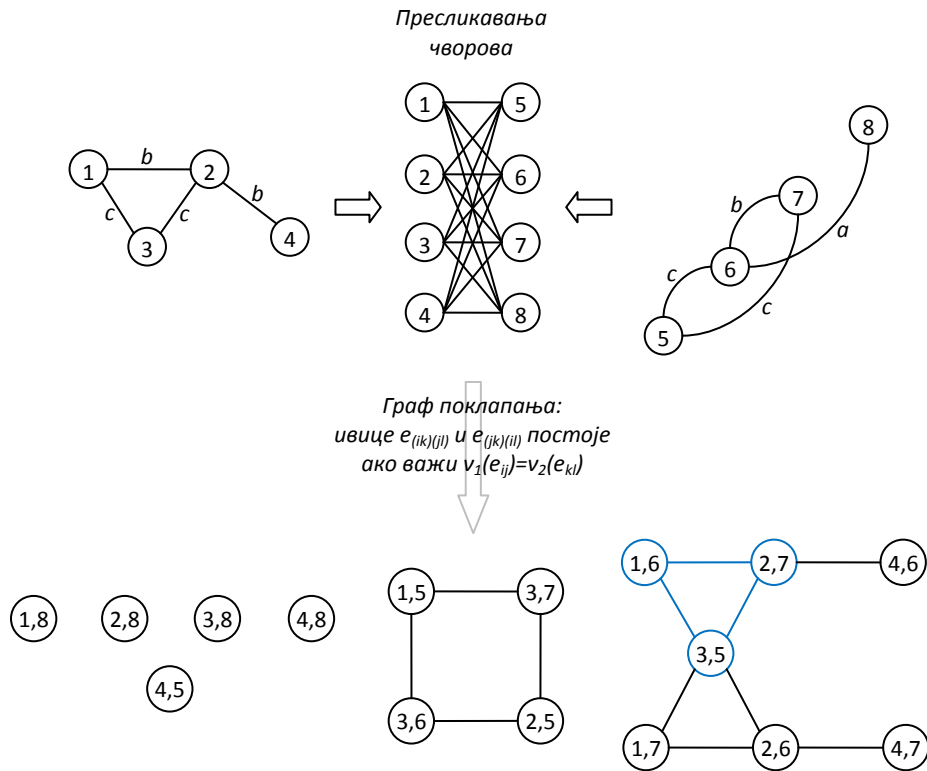
Нека су $g_1 = (V_1, E_1, \mu_1, \nu_1)$ и $g_2 = (V_2, E_2, \mu_2, \nu_2)$ графови. Заједнички подграф графова g_1 и g_2 , $cs(g_1, g_2)$, је граф $g = (V, E, \mu, \nu)$ такав да постоје изоморфизми подграфа између графа g и графа g_1 и између графа g и графа g_2 . Граф g се назива *максималним заједничким подграфом* графова g_1 и g_2 , $mcs(g_1, g_2)$, ако не постоји ниједан други заједнички подграф графова g_1 и g_2 који има више чворова од графа g .



Слика 2-29 Граф (в) је максимални заједнички подграф графова (а) и (б)

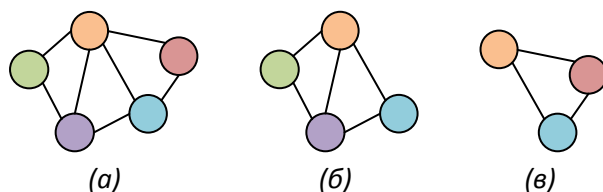
Максимални заједнички подграф два графа представља максимални део оба графа који је идентичан по питању структуре и ознака. На слици 2-29 је приказан граф (в) који је максимални заједнички подграф графова (а) и (б). Треба обратити пажњу на то да у општем случају максимални заједнички подграф није јединствено дефинисан, то јест може постојати више од једног заједничког подграфа са максималним бројем чворова. Познато је да се проблем утврђивања максималних заједничких подграфа два графа може редуковати на

проблем утврђивања максималне клике (*clique*) у графу поклапања (*correspondence graph*) (Levi, 1973) (слика 2-30). Клика графа g је комплетан (потпун) подграф графа g , док се клика највеће могуће величине назива максималном кликом. Граф поклапања два графа представља потпун скуп могућих мапирања (пресликавања) чвора на чвор којим се чувају структура ивица и ознаке оба графа. Проналажење максималне клике у графу поклапања, то јест комплетног (потпуног) максималног подграфа је еквивалентно проналажењу максималног заједничког подграфа. Јасно је да су два графа сличнија уколико је њихов максимални заједнички подграф већи.



Слика 2-30 Утврђивање максималне клике у графу поклапања

Нека су $g_1 = (V_1, E_1, \mu_1, \nu_1)$ и $g_2 = (V_2, E_2, \mu_2, \nu_2)$ графови. Заједнички надграф графова g_1 и g_2 , $CS(g_1, g_2)$, је граф $g = (V, E, \mu, \nu)$ такав да постоје изоморфизми подграфа између графа g_1 и графа g и између графа g_2 и графа g . Граф g се назива *минималним заједничким надграфом* графова g_1 и g_2 , $MCS(g_1, g_2)$, ако не постоји ниједан други заједнички надграф графова g_1 и g_2 који има мање чворова од графа g .



Слика 2-31 Граф (а) је минимални заједнички надграф графова (б) и (в)

На слици 2-31 је приказан граф (а) који је минимални заједнички надграф графова (б) и (в). Проблем утврђивања минималног заједничког надграфа може бити редукован на проблем утврђивања максималног заједничког подграфа (Bunke et al., 2000).

Приступ претраживања стабла са трагањем уназад је такође био коришћен за проналажење максималних клика и решавање проблема утврђивања максималних заједничких подграфова. Најпознатији алгоритам за проналажење максималних клика, познат као Алгоритам 457, је један од првих алгоритама који су користили приступ претраживања стабла са трагањем уназад за решавање неког од проблема поклапања графова (Bron & Kerbosch, 1973). Основна верзија алгоритма ради са три скупа чворова – *compsub*, *candidates* и *not* – и проналази максималну клику која укључује све чворове скупа *compsub*, неке чворове скупа *candidates* и ниједан од чворова скупа *not*. У оквиру рекурзивних позива алгоритма, скуп *candidates* је ограничен на чворове који образују клике када се додају скупу *compsub*, пошто су ово једини чворови који се могу користити као део излаза (резултата упоређивања), док је скуп *not* ограничен на чворове који треба да спрече да нека клика буде пријављена као излаз. Рекурзија се иницира дефинисањем скупова *compsub* и *not* као празних и додавањем свих чворова графа скупу *candidates*. У оквиру сваког рекурзивног позива, алгоритам разматра чворове скупа *candidates* по реду и ако нема чворова у овом скупу, алгоритам или пријављује чворове скупа *compsub* као максималну клику (ако је скуп *not* празан) или врши трагање уназад. За сваки чвор v изабран из скупа *candidates* алгоритам врши рекурзивни позив у коме се чвор v додаје скупу *compsub*, и у коме су скупови *candidates* и *not* ограничени на чворове који су повезани са чвором v (скуп суседних чворова $N(v)$), а који проналази и пријављује сва проширења скупа *compsub* која резултују кликом, а која садрже чвор v . Затим се чвор v пребацује из скупа *candidates* у скуп *not* и наставља се са следећим чвором скупа *candidates*. Алгоритам извршава следеће кораке (псеудо код):

BronKerbosch(compsub, candidates, not):

ако су *candidates* и *not* празни скупови:

пријавити *compsub* као максималну клику

за сваки чвор v скупа *candidates*:

BronKerbosch(compsub $\cup$ {v}, candidates $\cap$ $N(v)$, not $\cap$ $N(v)$)

candidates := candidates $\setminus$ {v}

not := not $\cup$ {v}

Аутори су у истом раду представили и другу верзију алгоритма која подразумева пажљиво бирање чвора кандидата како би се минимизирао број рекурзивних позива од стране алгоритма.

Алгоритмом Balas-а и Yu-а (Balas & Yu, 1986) се, попут претходно описаног алгоритма, може решити проблем проналажења максималне клике. Овај алгоритам такође користи приступ претраживања стабла са трагањем уназад, а разликује се од претходно

описаног алгоритма по хеуристици, која је у овом случају базирана на техникама бојења графа.

Алгоритмом McGregor-a (McGregor, 1982) се проблем утврђивања максималног заједничког подграфа не решава редуковањем на проблем утврђивања максималне клике. Овај алгоритам такође користи приступ претраживања стабла са трагањем уназад. За решавање проблема утврђивања максималног заједничког подграфа два графа се, поред матрица суседности и матрица инциденције чворова и ивица ових графова, користи и матрица (названа MARCS) која садржи податке о поклапању ивица за дато тренутно поклапање чворова ових графова. Ова матрица је типа $m_1 \times m_2$, где је m_1 број ивица првог графа, а m_2 је број ивица другог графа. Елемент ове матрице на позицији ij ће бити једнак јединици уколико се ивица e_i првог графа може поклапати са ивицом e_j другог графа за дато тренутно поклапање чворова ових графова. Алгоритмом се проналази поклапање чворова које дозвољава поклапање највећег могућег броја ивица графова.

Главна предност метода за прецизно поклапање графова је њихова строга дефиниција и чврста математичка основа. Ова предност се, међутим, може претворити у недостатак пошто је код прецизног поклапања графова за утврђивање сличности два графа g_1 и g_2 неопходно да значајан део топологије заједно са одговарајућим ознакама чворова и ивица у g_1 и g_2 буду идентични. У ствари, ово ограничење је превише строго за неке случајеве примене. Због тога је предложен велики број непрецизних или толерантних на грешку метода поклапања графова који би се бавили општијим проблемом поклапања графова у односу на проблем утврђивања изоморфизма (под)графа.

2.2.3.3 Непрецизно поклапање графова

Строга ограничења наметнута прецизним поклапањем графова су у неким ситуацијама превише крута за поређење два графа. У многим случајевима примене, посматрани графови су подложни деформацијама из више разлога: суштинска разноврсност образаца, шум у процесу аквизиције, присуство недетерминистичких елемената у процесима обраде који воде представљању графа, су неки од могућих разлога због којих се стварни графови донекле разликују од својих идеалних модела. Због тога процес поклапања мора бити толерантан: мора се прилагодити разликама релаксирањем, у извесној мери, ограничења која дефинишу тип поклапања. Ово може бити корисно чак и у случајевима када се не очекује деформисање графа. Као што се је могло видети, алгоритми за прецизно поклапање графова (осим оних намењених специјалним врстама графова) су у најгорем случају експоненцијалне сложености по времену извршавања. У неким случајевима је можда паметније прећи на алгоритме који не гарантују проналажење најбољег решења, али бар дају добро приближно решење у разумном временском периоду.

Код алгоритама за непрецизно поклапање графова (*inexact graph matching*), поклапање између два чвора које не задовољава захтеве који се односе на очување структуре ивица датог типа поклапања није забрањено. Уместо тога исто се кажњава придруживањем *цене* која може узети у обзир и друге разлике (на пример, између одговарајућих ознака чворова и/или ивица). Сам алгоритам у том случају мора пронаћи пресликавање којим се минимизира цена (трошак) поклапања.

Оптимални алгоритми за непрецизно поклапање увек проналазе решење којим се добија глобални минимум цене поклапања. Ово значи да ће у случају да прецизно решење постоји, исто бити пронађено овом врстом алгоритама. Стога се ови алгоритми могу посматрати и као генерализација алгоритама за прецизно поклапање графова. Оптимални алгоритми се суочавају са проблемом разноврсности графова и често су знатно сложенији по времену извршавања од одговарајућих алгоритама за прецизно поклапање графова.

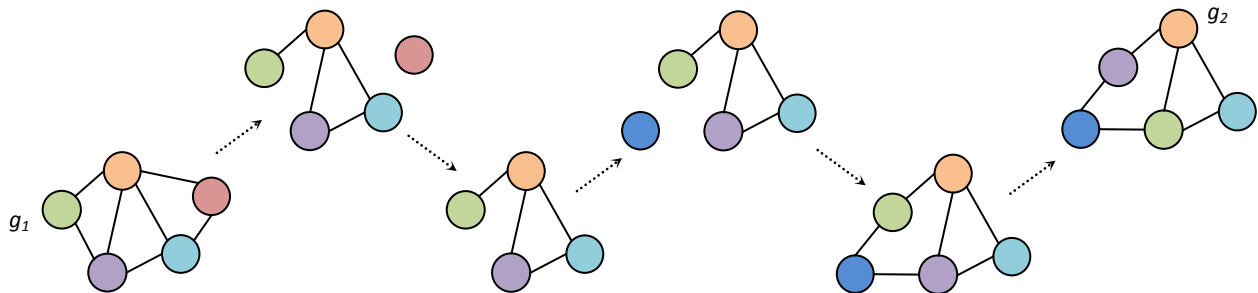
Приближни или *субоптимални* алгоритми за непрецизно поклапање графова обезбеђују само проналажење локалног минимума цене поклапања. Овај минимум се обично не налази далеко од глобалног, мада то није увек загарантовано. Чак и да постоји прецизно решење, ови алгоритми можда неће моћи да пронађу исто, што у неким случајевима примене може бити неприхватљиво.

У првом делу овог одељка ће бити представљен концепт *растојања измене графа* (*graph edit distance*) да би се на примеру објаснила парадигма непрецизног поклапања графова. У другом делу ће бити поменути неки други приступи непрецизном поклапању графова.

2.2.3.3.1 Растојање измене графа

Растојање измене графа (Bunke & Allermann, 1983; Sanfeliu & Fu, 1983) нуди интуитиван начин за интегрисање толеранције на грешке у процес поклапања графова и применљиво је на скоро све типове графова. Оригинално је растојање измене развијено за поклапање стрингова (Wagner & Fischer, 1974) и до данас је предложен значајан број варијанти и екстензија растојања измене за стрингове и графове. Основна идеја је моделирање варијације структуре уз помоћ операција измене које одражавају модификације структуре и означавања. Стандардни скуп операција измене сачињавају *уметања*, *брисања* и *замене* и чворова и ивица графа. Неке друге операције измене, попут *спајања* и *дељења* чворова, могу бити корисне у појединим случајевима примене. Ако су дата два графа, изворни граф g_1 и циљни граф g_2 , идеја растојања измене графа је да се обришу неки чворови и ивице из графа g_1 , поново означе (замене) неки од преосталих чворова и ивица, и уметну неки чворови и ивице у граф g_1 тако да се граф g_1 коначно трансформише у граф g_2 . Низ операција измене $e_1, e_2, \dots, e_k$ којим се граф g_1 трансформише у граф g_2 се назива *путањом измене* између графова g_1 и

g_2 . На слици 2-32 је дат пример путање измене између графова g_1 и g_2 . Ова путања измене се састоји од три операције брисања ивице, једне операције брисања чвора, једне операције уметања чвора, две операције уметања ивице и коначно две операције замене чвора.



Слика 2-32 Могућа путања измене између графова g_1 и g_2 (различите боје одговарају различитим ознакама чворова)

Нека $\Upsilon(g_1, g_2)$ означава скуп свих могућих путања измене између графова g_1 и g_2 . Да би се пронашла најпогоднија питања измене из скупа свих могућих путања измене неопходно је увести појам *цене* за сваку операцију измене којом се мери снага одговарајуће операције измене. Идеја увођења цене је да се дефинише да ли операција измене представља јаку модификацију графа. Јасно је да између два слична графа треба да постоји „јефтина“ путања измене која се састоји од операција измене ниске цене, док је за различите графове неопходна путања измене са високим ценама измене. Према томе, растојање измене два графа се дефинише путањом измене између та два графа са минималном ценом.

Нека је $g_1 = (V_1, E_1, \mu_1, \nu_1)$ изворни граф, а $g_2 = (V_2, E_2, \mu_2, \nu_2)$ циљни граф. Растојање измене графа између графова g_1 и g_2 је дефинисано са:

$$d(g_1, g_2) = \min_{(e_1, \dots, e_k) \in \Upsilon(g_1, g_2)} \sum_{i=1}^k c(e_i)$$

где $\Upsilon(g_1, g_2)$ означава скуп путања измене којим се граф g_1 трансформише у граф g_2 , а c означава функцију трошкова којом се мери снага $c(e)$ операције измене e .

Дефинисање адекватних и за дати случај примене одговарајућих функција трошкова је главни задатак код поклапања графова базираног на растојању измене графа. Претходно познавање ознака чворова и ивица графа је често неизбежно уколико се жели да растојање измене графа буде погодна мера блискости (сличности). Ова чињеница се често сматра и једним од главних недостатака растојања измене графа. Насупрот томе, могућност параметризовања растојања измене графа преко функције трошкова значајно доприноси применљивости овог модела различитости. Уз помоћ растојања измене графа је могуће интегрисати доменско знање у вези сличности објеката, ако је исто расположиво, приликом дефинисања цена елементарних операција измене. Штавише, ако у одређеном случају

претходно знање о ознакама и њиховом значењу није расположиво, доступне су такође и аутоматске процедуре за учење цена измене анализом скупа узорних графова (Neuhaus & Bunke, 2007).

Општи циљ функције трошкова је дакле да фаворизује слабе измене у односу на јаке модификације графа. Стога се цена дефинише у односу на ознаке чвора или ивице, односно цена $c(e)$ је функција која зависи од операције измене e .

Оптимални алгоритми за израчунавање растојања измене графова g_1 и g_2 су типично базирани на процедурама комбинаторијалне претраге које истражују простор свих могућих пресликавања чворова и ивица графа g_1 на чворове и ивице графа g_2 (Bunke & Allermann, 1983). Главни недостатак ових процедура је њихова комплексност израчунавања која је експоненцијална броју чворова графова који се разматрају. Због тога је примена оптималних алгоритама за израчунавање растојања измене у пракси ограничена на графове релативно мале величине.

Два брза, али субоптимална алгоритма за израчунавање растојања измене графа су представљена у раду Neuhaus-а и сарадника (Neuhaus et al., 2006). Аутори су предложили две једноставне варијанте стандардног алгоритма за израчунавање растојања измене графа којима се знатно убрзава израчунавање. Још један субоптималан алгоритам је предложен у раду Eshera-е и Fu-а (Eshera & Fu, 1984). Основна идеја је декомпоновање графова на скупове подграфова при чему се подграфови састоје од чвора и његових суседних чворова и ивица. Проблем поклапања графа се затим редукује на проблем проналажења поклапања између скупова подграфова.

2.2.3.4 Остале технике непрецизног поклапања графова

Предложено је и неколико других важних класа алгоритама за поклапање графова са толеранцијом на грешке. Неки од њих су алгоритми базирани на претраживању стабла са трагањем уназад, непрекидној оптимизацији и спектралним методима.

2.3 Алати за подршку одлучивању приликом пројектовања

Пројектовање се према Gero-у (Gero, 1994) може класификовати у *рутинско* и *нерутинско*. *Рутинско пројектовање* се може дефинисати као активност пројектовања која се дешава када је сво неопходно знање о променљивим пројектовања, циљевима и ограничењима израженим преко тих променљивих и процесима неопходним за проналажење вредности тих променљивих доступно. Додатно се ово пројектовање одвија у контексту који ограничава доступне (расположиве) опсеге вредности променљивих пројектовања преко добре праксе пројектовања. *Нерутинско пројектовање* се даље може поделити у две подгрупе: *иновативно* и *креативно* пројектовање. *Иновативно пројектовање* се може дефинисати као

активност пројектовања која се дешава када је контекст који ограничава доступне (расположиве) опсеге вредности променљивих пројектовања одсутан па неочекиване вредности променљивих пројектовања постају могуће. Ово може произвести два ефекта од којих се један односи на процес пројектовања, а други на сам производ. У погледу процеса пројектовања вредности променљивих изван уобичајених опсега имају потенцијал да произведу неочекивано и ненамеравано понашање (начин рада) које се може реализовати само ако је расположиво додатно знање на основу кога се ово понашање може објаснити. У погледу производа процеси иновативног пројектовања резултују производима који препознатљиво припадају истој класи као и њихови одговарајући „рутински“ производи, али се такође могу окарактерисати и као „нови“. *Креативно пројектовање* се може дефинисати као активност пројектовања која се дешава када се у процес уводи нова променљива пројектовања.

Одлучивање приликом пројектовања може бити подржано различитим алатима који раде са различитим врстама знања. Неки од коришћених алата су *закључивање на основу случајева*, *закључивање по аналогiji* и *филтрирање ограничења*. Ови алати су иницијално били предложени за област пројектовања производа, али се данас такође широко користе за подршку одлучивању приликом пројектовања система, процеса или услуга.

2.3.1 Закључивање на основу случајева

Код *закључивања на основу случајева* (*Case-Based Reasoning – CBR*) онај који закључује се присећа претходних ситуација које су сличне актуелној и користи их како би решио нови проблем. Основна идеја која стоји иза CBR-а јесте да *слични проблеми имају слична решења*. Закључивање на основу случајева представља у исто време и методологију за изградњу система (Watson, 1999) и когнитивни модел код људи (Anderson, 1983). Обзиром да CBR може користити било коју расположиву технологију, изазов је доћи до технологије која је одговарајућа за решавање проблема и учење у специфичном домену и за специфичну примену (окружење).

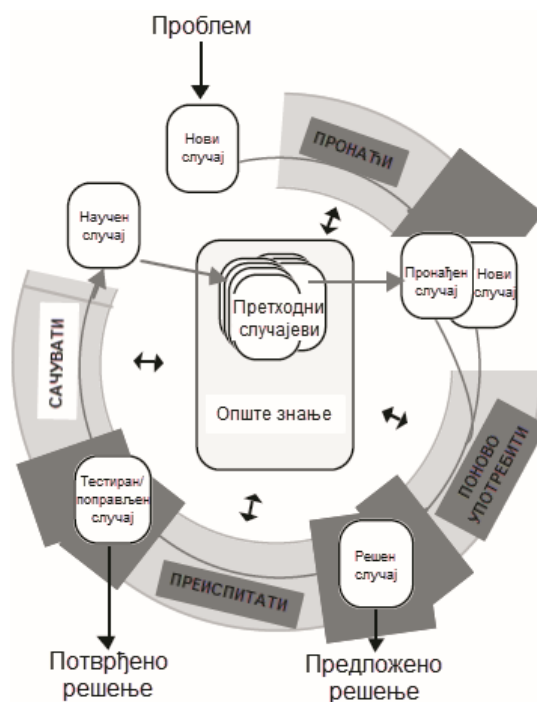
У CBR терминологији *случај* обично означава *ситуацију проблема*. Према Kolodner-овој (Kolodner, 1993) случај је контекстуализовани комад знања које представља искуство које учи лекцију фундаменталну за постизање циљева оног ко закључује.

Постоји много модела CBR-а који покушавају да обезбеде боље разумевање истог. Најчешће референциран је модел процеса којим се описује CBR циклус (познат као R⁴ модел процеса CBR циклуса) којег су представили Aamodt и Plaza (Aamodt & Plaza, 1994). Према овим ауторима CBR циклус се може описати уз помоћ следећа четири процеса:

1. *Пронаћи (retrieve)* најсличнији случај или случајеве,

2. *Поново употребити (reuse)* информације и знање тог случаја да би се решио проблем,
3. *Преиспитати (revise)* предложено решење и
4. *Сачувати (retain)* делове овог искуства, за које је вероватно да ће бити корисни, за будуће решавање проблема.

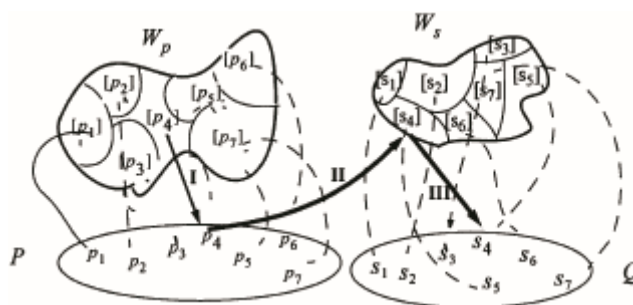
Нови проблем (случај) се решава *проналажењем* једног или више претходних случајева, *поновном употребом* тог случаја, *преиспитивањем* решења базираног на поновној употреби претходног случаја и *чувањем* новог искуства његовим укључивањем у постојећу базу знања (базу случајева). CBR циклус је илустрован на слици 2-33. На слици се може видети да опште знање учествује у циклусу и да је његова улога подржавање CBR процеса. Овде се под општим знањем подразумева опште доменско знање.



Слика 2-33 CBR циклус (преузето и прилагођено из (Aamodt & Plaza, 1994))

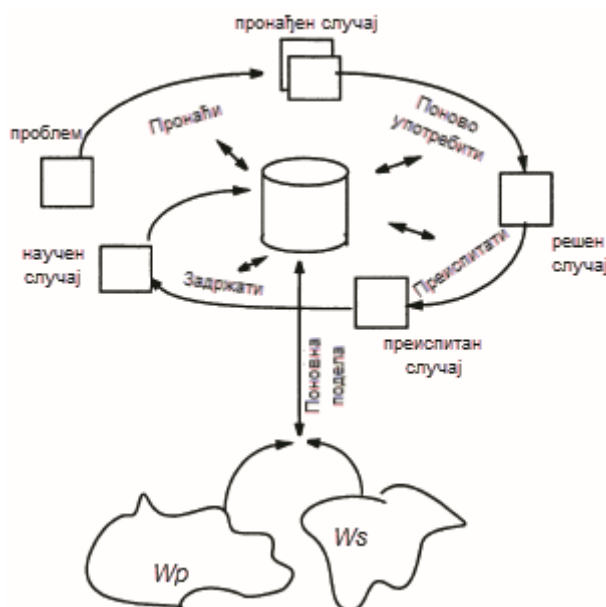
Finnie и Sun (Finnie & Sun, 2003) су предложили такозвани R^5 модел CBR-а као проширење модела Aamodt-а и Plaza-е. Основна идеја иза овог модела је да је изградња базе случајева важан задатак код CBR-а и да се база случајева може изградити на основу поделе могућег света проблема и света решења. Према ауторима, подела зависи од одређених релација сличности, па је изградња базе случајева вид закључивања на основу сличности. Свет проблема (W_p) је подељен на класе сличности ($[p_i]$) (групе сличних проблема) које су формиране на основу релација сличности. За сваку класу сличности је одређен репрезентативни проблем (p_i). Приликом изградње базе случајева се за класу сличности проналази репрезентативни проблем, затим се траже сва могућа решења тог проблема у свету решења (W_s) и коначно се од тих решења бира репрезентативно решење (s_i).

Репрезентативни проблем и изабрано репрезентативно решење чине случај ($c_i = (p_i, s_i); p_i \in P; s_i \in Q$) (слика 2-34).



Слика 2-34 Од света проблема и света решења до базе случајева (преузето из (Finnie & Sun, 2003))

R⁵ модел CBR-a је приказан на слици 2-35.



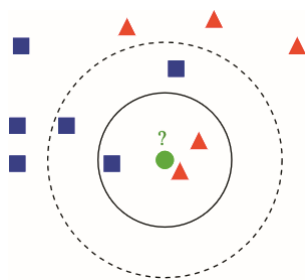
Слика 2-35 R⁵ модел CBR-a (преузето и прилагођено из (Finnie & Sun, 2003))

Да би се развио ефикасан CBR систем неопходно је пре свега: 1) Изабрати ефикасан метод за представљање случајева који обезбеђује прецизну и једноставну аквизицију доменског знања чиме се ствара добра основа за проналажење случајева и 2) Изабрати одговарајући метод за проналажење случајева који обезбеђује проналажење правог знања потребног за решавање новог проблема.

За представљање искуства садржаног у случајевима, за потребе закључивања, се користе познати формализми представљања знања из области вештачке интелигенције. Три главна типа случајева су: случајеви представљени као *вектор одлика* (или *пропозициони случајеви*), *структурирани* (или *релациони*) случајеви и *текстуални* (или *полуструктурирани*) случајеви (Bergmann et al., 2006). Код приступа који користи вектор одлика, случај је представљен као вектор парова атрибут-вредност. Структурирани случајеви су представљени

скупом релација између елементарних објеката који их чине. Код текстуалних случајева се текст који чини случај декомпонује у информационе ентитете, то јест речи или фразе садржане у тексту које су релевантне за утврђивање могућности поновног коришћења епизоде представљене у случају. Још један тип представљања случајева који се помиње у литератури је *сценарио* (Vo et al., 2003). Код сценарија је знање представљено уз помоћ два елемента: структуриране јединице сценарија које представљају сцене у приповедачком (наративном) тексту и јединице за повезивање које представљају релације између сцена.

Представљање случајева и начин на који се процењује сличност између случајева приликом проналажења најсличнијег случаја или случајева, су снажно међусобно повезани. У неким применама CBR-а сличност ускладиштених случајева се процењује у погледу њихових *површинских* (спољашњих) одлика које су делови њиховог описа који се типично представљају коришћењем парова атрибут-вредност. Најчешће коришћен метод у овом случају јесте алгоритам *k*-најближих суседа (*k*-Nearest Neighbors – *k*-NN) базиран на Еуклидском растојању (*Euclidean distance*). Улаз за овај алгоритам су вектори у вишедимензионалном простору одлика, при чему сваки вектор има ознаку класе. *k* представља константу дефинисану од стране корисника. У фази *класификације* неозначен вектор бива класификован додељивањем ознаке класе која је најчешћа међу њему најближих *k* узорака (слика 2-36). Као метрика растојања се користи Еуклидско растојање. Ова метрика је погодна за континуалне атрибуте, док за дискретне атрибуте даје лоше резултате. Поред *k*-NN метода су развијене и многе друге технике за проналажење најсличнијег случаја базиране на: вештачким неуронским мрежама (Chang et al., 2012), фази логици (Begum et al., 2009) и генетским алгоритмима (Passone et al., 2006).



Слика 2-36 Пример *k*-NN класификације. Улаз (зелени круг) ће бити класификован као црвени троугао за $k = 3$, односно као плави квадрат за $k = 5$.

Borner-ова (Borner, 1994) дефинише *структурну* сличност као најспецифичнију структуру која је заједничка за нови случај и један од претходних случајева, и скуп правила модификације, датих као позадинско знање, неопходних да би се утврдила ова заједничка структура. За домene у којима су случајеви представљени као графови Bunke и Messmer (Bunke & Messmer, 1994) предлажу мере сличности базиране на операцијама измене графа (на пример, уметање, брисање и замена чворова и ивица графа) и уводе алгоритам за

поклапање подграфова. Експерименти базирани на процени сличности и аналогича код човека потврђују да је за ваљано проналажење најсличнијег случаја потребно проценити и површинску (спољашњу) и структурну сличност (Forbus et al., 1995). Технике из области *проналажења информација (information retrieval)* се лако могу применити на текстуалне случајеве (Lopez De Mantaras et al., 2006).

У многим случајевима примене, проналажење случајева базирано само на процени сличности има ограничења. Због тога се сличност све више комбинује са другим критеријумима који воде процес проналажења, попут адаптабилности пронађеног случаја (Negny et al., 2010; Smyth & Keane, 1998).

Да би се избегло дуго време обраде приликом проналажења случајева, база случајева се често индексира као би се процена сличности ограничила на подскуп најрелевантнијих случајева. Код већине CBR система се за издвајање овог подскупа користи метод индексирања уз помоћ стабла одлучивања (*decision tree*). У питању је хијерархијска структура која се добија рекурзивним дељењем скупа података у подскупове у сваком чвору. У литератури постоје и више других метода индексирања који се користе у CBR системима, попут оних који се заснивају на k-медоид базираном алгоритму (Barioni et al., 2008), генетским алгоритмима (Bueno et al., 2007), Bayes-овом моделу (Pal & Shiu, 2004) и вештачким неуронским мрежама (Malek, 2001).

Онтологија може обезбедити формалну семантичку репрезентацију објеката за представљање структурираних случајева код CBR система (Lau et al., 2009), као и методе за процену сличности (Batet et al., 2011; Cordi et al., 2005). Онтологија је формална дељена концептуализација код које је семантика оличена у описима концепата домена примене, везама између истих и њиховим својствима (Studer et al., 1998; Gruber, 1993). Обично се моделира помоћу језика за представљање знања (на пример, описне логике (*Description Logics* – DL) (Krotzsch et al., 2013)) или посебно развијених језика за описивање (моделирање) онтологија (на пример, језик за описивање онтологија на web-у (*Web Ontology Language* – OWL)). У случајевима када је CBR процес базиран на онтологији, иста може потпомоћи процес дефинисања захтева, омогућити стандардизацију и поновно коришћење за процесе развоја решења и олакшати проналажење сличних случајева. Повезивањем концепата са захтевима и решењима се омогућава коришћење знања уграђеног у исте у току процеса пројектовања. Знање уграђено у концепт је формализовано уз помоћ променљивих, њихових домена и ограничења која се односе на неке променљиве. Методи развијени за процену значењске сличности применљиви на онтологије се могу поделити у три групе: растојање чворова (*Node Distance* – ND), садржај информација (*Information Content* – IC) и хибридни ND/IC. Метрика растојања чворова, која се још може назвати и *методом бројања*

ивица, је базирана на броју веза на најкраћој путањи између два концепта. Метрика садржаја информација је базирана на претпоставци да су два концепта сличнија уколико имају више заједничких информација (Resnik, 1995). Resnik је проширио ову идеју увођењем нове претпоставке да су два концепта сличнија уколико је одређенији концепт који их обухвата (у питању је њихов *најмањи заједнички садржалац*) (Resnik, 1999). Jiang и Conrath (Jiang & Conrath, 1997) су комбиновали ND и IC (прво се користи ND, а затим IC) ради процене семантичке сличности / растојања између речи и концепата.

Постоје два главна начина поновне употребе информација и знања из пронађеног случаја: 1) поновна употреба решења претходног случаја (*трансформациона* поновна употреба) и 2) поновна употреба метода којим је добијено решење претходног случаја (*деривациона (изведена)* поновна употреба) (Aamodt & Plaza, 1994). Решење претходног случаја се ретко користи без модификација. Адаптација решења представља тежак корак код CBR приступа. Знање потребно за адаптацију случаја се тешко стиче, а стицање истог захтева значајан напор на пољу инжењеринга знања (Policastro et al., 2006). У већини приступа адаптацију решења претходног случаја врши пројектант користећи се *тацитним* знањем (Romero Bejarano et al., 2014). У питању је врста знања која је повезана са искуством, интуицијом, неартикулисаним моделима, или имплицитним правилима проистеклим из праксе, које је неопходно за креирање нове вредности код производа (Chandrasegaran et al., 2013). Један од покушаја дефинисања правила за адаптацију претходних решења за нове проблеме се може наћи у радовима Negny-еве и сарадника и Ruet-ове и Geneste-a (Negny et al., 2010; Ruet & Geneste, 2002).

Већина CBR система данас поред знања представљеног у случајевима (познатог и као *контекстуално знање*) користе и *опште доменско знање*. Ово знање може бити представљено преко релација, правила или ограничења која повезују променљиве проблема (пројектовања) (Chenouard et al., 2009), то јест формализовано као *проблем задовољења ограничења* (*Constraint Satisfaction Problem – CSP*). Проблем задовољења ограничења је дефинисан скупом променљивих $X_1, X_2, \dots, X_n$ и скупом ограничења $C_1, C_2, \dots, C_m$ (Russell & Norvig, 2003). Свака променљива X_i има непразан домен D_i могућих вредности. Свако ограничење C_i укључује неки подскуп променљивих и специфицира дозвољене комбинације вредности за тај подскуп. Ограничење може имати различите форме: листа дозвољених комбинација, математичка формула или логичко правило. Сва ограничења чине модел који представља знање, изражавајући шта је прихватљиво, односно забрањено. Стање проблема је дефинисано додељивањем вредности неким или свим променљивим $\{X_i = v_i, X_j = v_j, \dots\}$. Додељивање које не нарушава било које ограничење се назива доследним (конзистентним) или легалним додељивањем. Потпуно додељивање је оно код кога су вредности додељене

свим променљивим. Решење проблема задовољења ограничења је потпуно додељивање које задовољава сва ограничења. Неки проблеми задовољења ограничења захтевају решење које максимизира неку функцију циља. *Филтрирање ограничења (constraint filtering)* је одговарајући алат за рад са општим знањем, када је исто формализовано као CSP. Технике филтрирања ограничења омогућавају интерактивно ширење (пропагацију) захтева корисника, дефинисаних над неким од променљивих пројектовања, кроз мрежу ограничења на друге променљиве пројектовања чиме се њихови домени ограничавају на доследне (конзистентне) вредности.

CSP приступ је био коришћен у многим радовима који су се бавили пружањем подршке одлучивању приликом пројектовања, попут (White et al., 2009; Vareilles et al., 2007; Bodirsky & Dalmau, 2006). Постоји и више студија фокусираних на секвенцијално коришћење CBR-а, који ради са контекстуалним знањем, и филтрирања ограничења које ради са општим знањем. Неки аутори, попут Roldan-а сарадника (Roldan et al., 2010) су прво користили CBR систем ради проналажења сличног случаја, а затим пропагацију захтева корисника (филтрирање ограничења) за адаптацију решења сличног случаја. Овај приступ је интересантан у ситуацијама када су модели ограничења валидни на само малом делу простора решења. Други аутори су користили систем за филтрирање ограничења као помоћни приликом дефинисања улаза за CBR систем, у ситуацијама где је CSP модел непотпун или нетачан и уз помоћ њега се не може решити проблем (Sqalli & Freuder, 1998). Vareilles-ова и сарадници (Vareilles et al., 2012) су симултано и итеративно користили филтрирање ограничења и CBR у смислу да су алати делили и размењивали знање (у складу са расположивошћу истог) како би дошли до решења.

2.3.2 Закључивање по аналогiji

Студије решавања проблема по аналогiji (Carbonell, 1986; Gentner, 1983) такође показују често коришћење претходног искуства приликом решавања нових проблема из различитих домена. Термин *закључивање по аналогiji (Analogy-Based Reasoning – ABR)* се често користи за методе којима се решавају нови проблеми на основу претходних случајева из другог домена, док се CBR типично фокусира на случајеве из истог домена (Aamodt & Plaza, 1994). Аналогija се може користити за вођење закључивања, за генерисање претпоставки о непознатом домену, или за генерализовање више искустава у апстрактну шему. Стога су за аналогije јако заинтересовани и когнитивни психолози и истраживачи у пољу вештачке интелигенције. Психолози желе да разјасне механизме који се налазе у основи аналогija, да би разумели закључивање и учење код човека. Истраживачи у пољу вештачке интелигенције

желе да опонашају обраду аналогија на рачунарима како би креирали флексибилније системе за закључивање и учење.

Закључивање по аналогији подразумева коришћење релативно добро познатог *изворног* (или *базног*) случаја за вођење закључивања у вези мање познатог *циљног* случаја. Процес има четири главне компоненте (подпроцеса): 1) коришћење циља за проналажење потенцијално корисног извора из меморије, 2) мапирање елемената извора на елементе циља ради идентификације одговарања (подударања), 3) коришћење мапирања за закључивање у вези са циљем (преношење (трансфер) знања из изворног у циљни случај), 4) оцењивање оног што је пренесено у контексту циљног случаја и смештање циљног случаја (заједно са закључцима) у меморију, и понекад 5) индуковање генерализоване шеме која бележи подударности између извора и циља (Gentner, 1989).

Истраживања у пољу закључивања по аналогији се пре свега баве механизмима за идентификацију и коришћење аналогија између различитих домена (Hall, 1989; Kedar-Cabelli, 1988). Главни фокус истраживања је на мапирању и проналажењу начина за преношење (трансфер) решења идентификованог аналогног проблема на актуелни проблем. Мапирање структура аналогија је проучавано у многим моделима аналогија, попут Proteus-a (Davies et al., 2008), AMBR-a (Kokinov, 1998), LISA-e (Hummel & Holyoak, 1996), MAC/FAC-a и SME-a (Forbus et al., 1995; Falkenhainer et al., 1989) и ARCS-a и ACME-a (Thagard et al., 1990; Holyoak & Thagard, 1989b).

У почетку су истраживања (Holyoak & Koh, 1987) показала да је проналажење аналогног изворног случаја скоро у потпуности вођено *површинским* сличностима између изворног и циљног случаја (овде се пре свега мисли на сличност објеката и релација између истих). Са друге стране је утврђено да се приликом мапирања доминантно користи *структурна* сличност између изворног и циљног случаја, то јест постојање заједничког система релација (Gentner, 1983, 1989). Ово објашњава зашто је удаљене аналогије много теже пронаћи него мапирати – оне обично немају површинску сличност, али зато имају (квази)изоморфну структуру релација неопходну за мапирање. Истраживачи су, следећи ове закључке, креирали засебне моделе проналажења (аналогних изворних случајева) и мапирања⁵, па су их чак називали и когнитивним модулима (Gentner, 1989). Убрзо је на основу експерименталних истраживања (Ross, 1989) утврђено да површинска сличност игра важну улогу приликом мапирања, као и да структурна сличност може играти улогу приликом проналажења аналогног изворног случаја. Због тога су код ACME модела мапирања узета у обзир ограничења значењске сличности, структурна ограничења и ограничења

⁵ Најпознатији примери су MAC/FAC (проналажење) + SME (мапирање), и ARCS (проналажење) + ACME (мапирање).

прагматичности, док су са друге стране MAC/FAC (Forbus et al., 1995) и ARCS (Thagard et al., 1990) модели проналажења укључивали подмодуле делимичног мапирања у оквиру модула за проналажење аналогног изворног случаја, што значи да је у раној фази разматрана структурна сличност. На крају је коначно потврђено да различите врсте сличности у различитој мери утичу на све подпроцесе закључивања по аналогији.

Преношење (трансфер) знања по аналогији захтева коришћење генеричких апстракција, које изражавају структуру релација између генеричких типова објеката и процеса (Goel, 1997). Код пројектовања базираног на аналогији ове апстракције дефинишу структуру релација између елемената проблема пројектовања, решења, домена или стратегије, као и то где се може извршити преношење (трансфер) знања да би се испунио било који задатак пројектовања у новој ситуацији (Chakrabarti et al., 2011). Понекад се преноси само део знања, а често је и само преношење аналогно (засновано на аналогији). Приликом интерпретације или креирања плана за решење проблема се такође морају разматрати вишеструки случајеви који представљају комбинацију аналогија (Kolodner et al., 1985). Сваки од више случајева може обезбедити део решења, а сви делови решења се накнадно морају спојити.

У даљем тексту ће бити дат детаљан преглед пет најзначајнијих модела аналогија.

2.3.2.1 *Proteus*

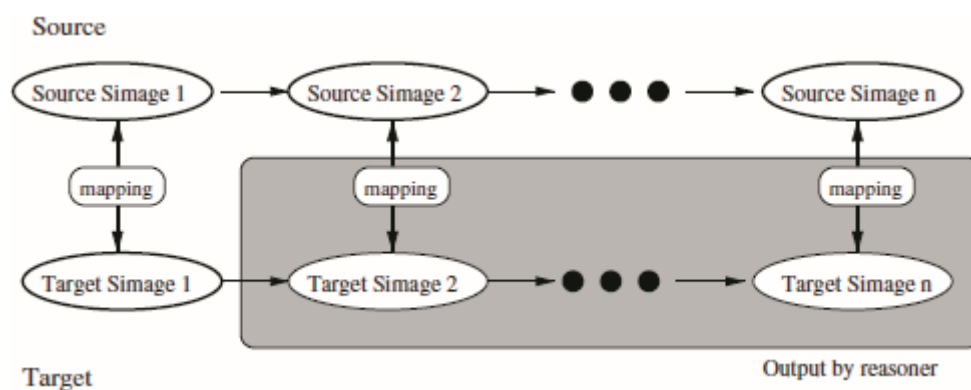
Proteus систем Davies-а и сарадника (Davies et al., 2008) је имплементација рачунске теорије решавања проблема по *визуелно-просторној аналогији (visuospatial analogy)*. Овај систем има имплементиране све главне подпроцесе закључивања по аналогији. Proteus систем се састоји из два подсистема: Geminus-а и Galatea-е. Geminus подсистем је одговоран за подпроцесе проналажења, мапирања и смештања у меморију. Galatea подсистем је одговоран за подпроцесе преношења (трансфера) знања и оцењивања, укључујући динамичко генерисање мапирања између стања знања изворног случаја и циљног случаја. Коришћење Galatea-е за решавање проблема по визуелно-просторној аналогији приликом пројектовања је презентовано у раду Davies-а и сарадника (Davies et al., 2009).

Решавање проблема се према ауторима може окарактерисати као генерисање процедура које садрже два или више корака. Типично су процедуре чврсто уређене, у смислу да неки кораци морају претходити другим корацима (Davies et al., 2008). Следи да *решавање проблема по аналогији* укључује преношење (трансфер) процедуре са изворног случаја на циљни случај.

Код *визуелно-просторне аналогије* стања знања код изворних и циљних случајева су карактерисана облицима објеката (на пример, линија, полукружница, итд.) и просторним релацијама између објеката или њихових компонената (на пример, изнад, лево од, садржано

у, итд.). Каузално⁶ и функционално⁷ знање или није присутно, или је у најбољем случају имплицитно. Главна теза аутора јесте да је визуелно-просторно знање само довољно за аналоган трансфер чврсто уређених процедура.

Стања знања су код Proteus-а представљена помоћу дводимензионалних линијских цртежа. Ова стања се називају *s-images* (скраћеница од *symbolic images* (симболичке слике)). Proteus као улаз прима стање знања које представља нерешен циљни случај, а као излаз даје процедуру за решавање истог, при чему је та процедура низ стања знања и трансформација истих (слика 2-37). Изворни случајеви су смештени у дугорочној меморији (*long-term memory*), где сваки изворни случај садржи процедуру за решавање проблема и индексиран је својим иницијалним стањем знања у процедури.



Слика 2-37 Улаз и излаз код Proteus-а (преузето из (Davies et al., 2008))

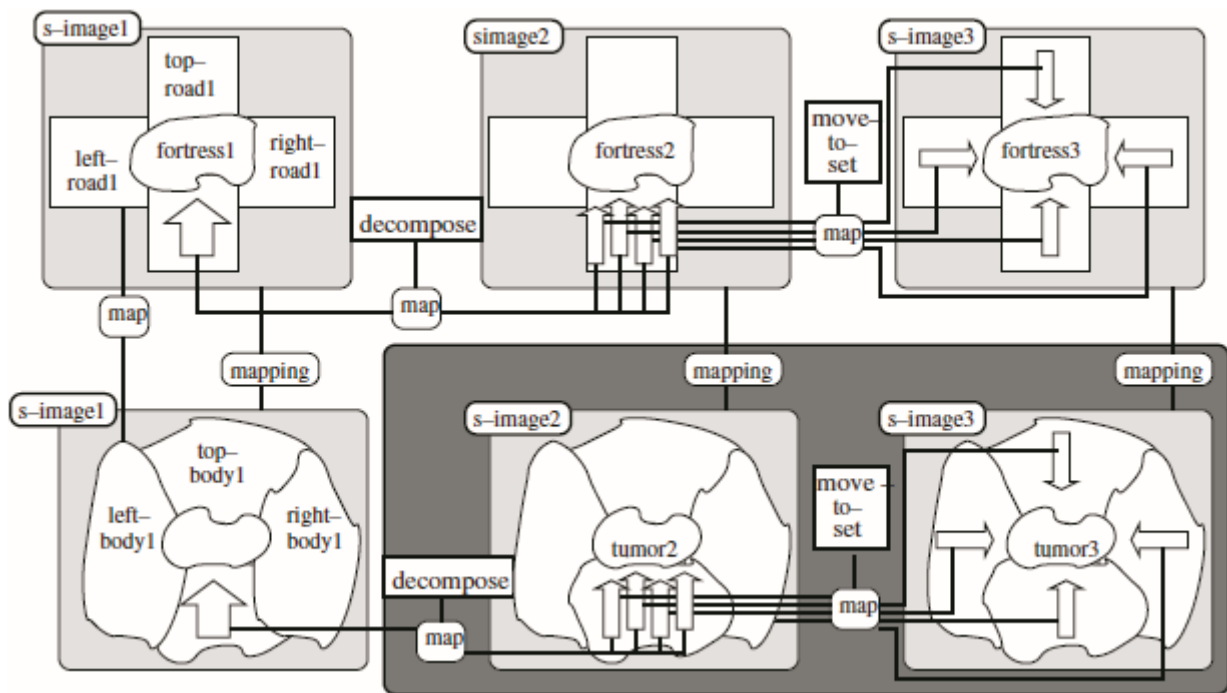
Рад Proteus система је демонстриран решавањем добро познатог тврђава/тумор проблема (Duncker, 1926), који се сматра канонским примером у литератури о аналогима (Gick & Holyoak, 1980)⁸. Код овог проблема генерал мора освојити тврђаву у којој се налази диктатор и тиме га збацити са власти. Његова армија се спрема да нападне дуж једног од многих путева који воде до тврђаве, када генерал сазнаје да су сви путеви минирани на тај начин да само мање групе људи могу њима да се крећу безбедно (диктатор је на овај начин омогућио кретање својих трупа и радника). Генерал одлучује да подели армију на мање групе војника које ће се истовремено кретати различитим путевима и стићи заједно до тврђаве, умањујући значајно на тај начин опасност од активирања мина. Код нерешеног циљног случаја тумор мора бити уништен зрачењем, али ће зрачење потребног интензитета

⁶ Каузалност је релација (однос) између једног догађаја (*узрока*) и другог догађаја (*последица*), где се подразумева да први догађај узрокује други.

⁷ Функционално (употребно) знање је способност примењивања претходно стеченог знања за решавање проблема.

⁸ Експерименти спроведени у раду Gick-ове и Holyoak-ове (Gick & Holyoak, 1980) су показали да људи имају тешкоће у спонтаном проналажењу аналогног изворног случаја, нарочито када је његов домен значајно различит од домена циљног случаја. У студији горе поменутих аутора је само 20% испитаника успело да реши циљни случај (зрачење тумора), иако им је аналогни изворни случај (освајање тврђаве) заједно са решењем био презентован непосредно пре тестирања. Када им је сугерисано да користе аналогни изворни случај, 75% испитаника је решило циљни случај.

из само једног правца уништити здраво ткиво које се налази на путу и тако убити пацијента. Аналогно решење је да се истовремено врши зрачење мањег интензитета из различитих праваца и да се тумор уништи конвергирањем ових зрачења. На слици 2-38 су приказани улаз и излаз подпроцеса преношења (трансфера) знања код Proteus-a за тврђава/тумор проблем. Овде треба напоменути да постоје рачунски модели (попут оног презентованог у раду Holyoak-ове & Thagard-a (Holyoak & Thagard, 1989a)) који су за демонстрацију такође користили овај пример, али су се ослањали на коришћење каузалног и функционалног знања.



Слика 2-38 Улаз и излаз подпроцеса преношења (трансфера) знања код Proteus-a за тврђава/тумор проблем (преузето из (Davies et al., 2008))

За све подпроцесе решавања проблема по визуелно-просторној аналогiji код Proteus-a постоји униформно представљање знања. Аутори су у ту сврху креирали језик за представљање знања назван Covlan (*Cognitive Visual Language*). Covlan обезбеђује речник за представљање: 1) примитивних визуелно-просторних елемената стања знања (попут кружнице, скупа, везе), 2) примитивних визуелних релација стања знања (попут додирује, изнад, лево од), 3) квалитативних променљивих стања знања (попут локација, величина, дебљина), 4) примитивних трансформација које се примењују на визуелно-просторне елементе и релације, и мењају елементе, релације и/или вредности променљивих (попут померити, декомпоновати, понављати) и 5) мапирања између стања знања. Covlan у тренутку публикаовања резултата аутора није био у потпуности развијен. За неку другу класу проблема, која би се разликовала од проучаваних, би биле неопходне додатне примитиве, које би обезбедиле додатну експресивност и прецизност.

По угледу на MAC/FAC (Forbus et al., 1995), Proteus дели подпроцес проналажења изворног случаја на подсећање и бирање. За подсећање Proteus користи *поклапање вектора одлика* (*feature vector matching*), док за бирање (исто као и ACME (Holyoak & Thagard, 1989b)) користи *задовољење ограничења са трагањем уназад* (*constraint satisfaction with backtracking*).

Пошто се стање знања може посматрати као мрежа релација између визуелних елемената, то се инстанце елемената стања знања циљног случаја могу посматрати као променљиве чије су потенцијалне вредности инстанце елемената свих изворних стања знања у меморији, а везе између инстанци елемената циљног случаја се могу посматрати као ограничења која морају важити за променљиве. Proteus не врши засебан тест на сваком потенцијалном изворном случају у меморији, већ се спроводи процедура претраживања над целом меморијом која се разматра колективно. Ограничења вредности које могу бити додељене променљивим (елементима циљног случаја) су управо она која намеће проблем утврђивања изоморфности подградова.

Процес поклапања (циљног и изворног (или изворних) случаја) има три фазе: иницијализација домена, редукција домена и проналажење поклапања, где се под поклапањем мисли на изоморфизам подграфа. У фази иницијализације домена се проналазе инстанце елемената у меморији које „изгледају слично“ као елементи циљног случаја (укључени су у исте врсте релација; ово се према ауторима назива „потписом“ елемента). Друга фаза редукује ове домене елиминисањем вредности које се не налазе у истом стању знања. У трећој фази се генеришу поклапања, у ходу се проверава конзистентност и врши се трагање уназад ако је неопходно. Очигледно је да је идеја прве две фазе да се сузи простор претраживања за трећу фазу.

Proteus-ов метод мапирања између изворног случаја и циљног случаја примењује два кључна ограничења: 1) чланови скупова (скупови обухватају било који број инстанци елемената) се не мапирају пошто не учествују у преношењу (трансферу) знања и 2) вредности атрибута елемената и квалитативне променљиве се не мапирају. Мапирају се само инстанце елемената.

Алгоритам мапирања генерише вишеструка мапирања, то јест враћа сва мапирања из свих изворних случајева која задовољавају дата ограничења. Ово је због тога што алгоритам мапирања користи само структурна ограничења присутна у визуелно-просторном приказу стања знања изворног случаја и циљног случаја. Исти не користи значењска и ограничења прагматичности, попут циља решавања проблема у изворном случају и циљном случају, пошто каузално и функционално знање није експлицитно представљено у визуелно-просторном приказу. Стога Proteus произвољно бира једно од више мапирања, преноси

процедуру решавања проблема на циљни случај и оцењује пренето решење. Уколико се оцењивање покаже као лоше, Proteus се враћа на излаз из подпроцеса мапирања, бира ново мапирање и понавља процес, све док се неко од мапирања не покаже као успешно или док се не тестирају сва расположива мапирања.

За подпроцесе проналажења изворног случаја и мапирања, проналажење изворних случајева за које је дати циљни случај подграф (гледајући циљни случај као граф) се је показало једноставним, али се проналажење изворних случајева таквих да се неки део циљног случаја мапира на део изворног случаја није показало једноставним.

Приликом преношења (трансфера) знања Proteus адаптира и преноси сваку трансформацију (трансформација повезује два стања знања) изворног случаја на циљни случај. Трансформације се преносе без измене, док се аргументи истих могу адаптирати. Уколико је аргумент литерал (попут броја четири), исти се преноси без измена. Ако је аргумент трансформације инстанца елемента који је део стања знања изворног случаја, онда процедура преношења ради са аналогним елементом у стању знања циљног случаја. Коначно, ако је аргумент функција иста се позива, али за њене аргументе важе претходно поменута правила адаптације. Сваки пут када трансформација креира нови објекат код циљног случаја појављује се потреба за динамичким генерисањем новог мапирања између новокреираног стања знања циљног случаја и одговарајућег стања знања изворног случаја. Овај корак је неопходан за преношење следећих трансформација. Према ауторима ово опажање важи за случајеве креирања нових објеката приликом решавања проблема по аналогiji, независно од врсте представљеног знања.

Што се тиче оцењивања пренесеног решења аутори сматрају да овај подпроцес код решавања проблема по визуелно-просторној аналогiji захтева експлицитно представљено каузално и функционално знање.

2.3.2.2 Associative Memory-Based Reasoning (AMBR)

Associative Memory-Based Reasoning (AMBR) Kokinov-a је предложен као модел закључивања код човека, који обједињује аналогije, дедукцију и индукцију (Kokinov, 1988). Резултат рада на моделу и тежње ка општости је била формулација језгра општих принципа и основних механизма, који су формирали општу когнитивну архитектуру DUAL (Kokinov, 1994b). AMBR је настао као одговор на неколико изазова са којима су се према аутору (Kokinov, 1998) суочили модели закључивања по аналогiji:

- потреба за креирањем интегрисаних модела,
- потреба за коришћењем динамичких и непосредних представљања (случајева),

- потреба за коришћењем динамичког и непосредног израчунавања⁹,
- потреба за интегрисањем закључивања по аналогiji са осталим когнитивним процесима.

Интегрисани модели закључивања по аналогiji су према Kokinov-у неопходни због постојања експерименталних података који указују на интеракцију између подпроцеса закључивања по аналогiji. Наиме, утврђено је да постоји јак утицај редоследа представљања елемената проблема на време потребно за решавање истог (конкретно на време потребно за мапирање (елемената изворног случаја на елементе циљног случаја)) (Keane et al., 1994). Ово је доказ интеракције између перцептивних процеса и процеса мапирања. Такође, показано је да је проналажење различитих елемената изворног домена повезано са мапирањем између изворног и циљног домена, то јест да већ успостављено мапирање усмерава проналажење елемената изворног домена (Kokinov, 1998). Kokinov сматра да је потребно напустити секвенцијално процесирање¹⁰ и прећи на паралелно интерактивно процесирање¹¹, које ће омогућити различитим подпроцесима да међусобно динамички интерагују.

Одавно је доказано да је људска меморија (ре)конструктивна по природи, а није складиште постојаних меморијских трагова из прошлости (Bartlett, 1932; Loftus, 1979). Репликација експеримента 1 из рада Holyoak-ове и Koh-ове (Holyoak & Koh, 1987) је показала да приликом подсећања на прошлу епизоду испитаници изостављају елементе, умећу елементе или пак мешају елементе те епизоде са другим епизодама. Изостављање или уметање елемената зависи од прагматично важних аспеката циљног проблема, док је мешање елемената резултат подударања између два елемента различитих епизода и њихове велике сличности.

Постоји више примера *ефеката контекста* који показују да закључивање по аналогiji није ни једноставно, ни предвидиво. У једном од експеримената (Kokinov & Yoveva, 1996) је доказано да наизглед ирелевантни елементи који се појављују у окружењу приликом решавања извесног проблема играју улогу у процесу решавања проблема и утичу на његове резултате. Још један важан аспект закључивања по аналогiji јесте чињеница да процес проналажења аналогног изворног случаја зависи од претходног унутрашњег стања особе која врши закључивање, а то стање није повезано са актуелним проблемом, већ са

⁹ Израчунавање се назива непосредним (*emergent computation*) када на нивоу система не постоји експлицитна а priori спецификација (опис) или онога шта се израчунава или како се исто израчунава (Kokinov et al., 1996).

¹⁰ Пример: прво се подпроцесом проналажења пронађе изворни случај, а затим се подпроцесом мапирања утврђују подударања између елемената изворног и циљног случаја. MAC/FAC + SME и ARCS + ACME су *линеарни* модели код којих су проналажење и мапирање одвојени у времену и простору.

¹¹ Пример: када је изворни случај делимично пронађен (присетили смо се само неких детаља случаја), могуће је почети са тражењем подударања са елементима циљног случаја. LISA такође интегрише подпроцесе проналажења и мапирања и изводи их паралелно.

претходним активностима исте особе. Ова појава је позната као *priming* ефекат (Kokinov, 1990).

У DUAL когнитивној архитектури су и представљање знања и обрада података дистрибуирани на велики број *микроагената*. Свако парче знања је представљено коалицијом микроагената, а сваку обраду података врши група микроагената који комуницирају локално. Коалиције микроагената се формирају динамички на основу комуникације између истих, на начин који зависи од контекста. Овако у различитим контекстима различите групе микроагената раде на истом задатку и могу коначно произвести различите резултате на глобалном нивоу (на овај начин су у DUAL когнитивној архитектури моделирани *ефекти контекста*). Микроагент може представљати једноставно тврђење, концепт или неки одређени објекат. Међутим, ниједан микроагент не поседује сво знање које систем има о одређеном концепту или објекту – ово знање је дистрибуирано на више микроагената. Не постоји централни процесор који управља микроагентима, већ исти обављају све активности самостално. Сваки појединачни микроагент је релативно једноставан и има приступ информацијама на локалу, на основу интеракције са неколико суседних микроагената. Самим тим понашање целог система проистиче из заједничке активности целе популације микроагената.

Учешће сваког микроагента у целом процесу је градирано. Степен учешћа микроагента зависи од његовог *нивоа активације*, који рефлектује релевантност знања које микроагент поседује за текући задатак и контекст. Микроагенти су хибридни – они имају симболичке и везне (неуронске) аспекте. Што се тиче симболичке стране сваки микроагент представља нешто (има неко значење) и може да врши једноставне манипулације симболима (помоћу симболичког процесора), попут поређења двеју листа или слања маркера другом микроагенту. Што се тиче везне стране сваки микроагент шаље/прима активацију од непосредних суседа. Везни аспект такође рачуна ниво активације за сваког микроагента. Комуникација између микроагената се врши путем *веза* између истих, које могу бити трајне или привремене. Исте везе се користе за размену од стране везног и симболичког аспекта – то јест за ширећу активацију и слање порука.

Ниво активације, израчунат од стране везног дела микроагента, одређује брзину симболичког процесора. То значи да активни микроагенти раде брзо, умерено активни раде споро, док симболички процесор неактивних микроагената уопште не ради. Овај двојаки начин рада микроагената је веома важан. Постоје два одвојена, али међузависна, аспекта обраде података – везни аспект рачуна релевантност спрам контекста (ниво активације), док је симболички аспект задужен за процес закључивања. Ове две врсте обраде података се врше паралелно и утичу једна на другу. Контекст се непрекидно развија, што узрокује

промене нивоа активације, чиме се пак мења брзина и расположивост симболичких процесора, па се на тај начин води процес закључивања. Са друге стране, процесом закључивања се постављају нови циљеви, усмерује пажња на различите аспекте окружења и отварају нове линије за комуникацију између микроагената. Све ово утиче на ниво активације који рачуна везни аспект микроагента.

Концепти, епизоде и објекти су представљени преко скупа микроагената који формирају коалицију. Микроагенти у коалицији су тако међусобно повезани да кад су неки чланови коалиције активни, и преостали чланови теже да постану активни. Микроагенти обитавају у великој заједници која одговара дугорочној меморији система (*long-term memory*). Радној меморији (*working memory*) система припадају сви микроагенти чији је ниво активације изнад дефинисаног прага. Само активни микроагенти могу вршити манипулације симболима (бити укључени у процес закључивања). Механизам ширеће активације игра кључну улогу приликом контролисања величине и садржаја радне меморије.

Проналажење аналогног изворног случаја се врши путем ширеће активације (*spreading activation*), преко везних аспеката микроагената. Извори ове активације су опажени елементи окружења и циљеви система. Пошто су епизоде представљене децентрализовано (преко коалиција микроагената), могуће је да одређена епизода буде само делимично пронађена, пошто су само неки од њених микроагената ушли у радну меморију.

Мапирање код AMBR модела се врши постепеним грађењем и релаксирањем *мреже задовољења ограничења* (*Constrain Satisfaction Network – CSN*), слично ACME-у (Holyoak & Thagard, 1989b). За разлику од ACME-a, мрежа се овде гради инкрементално и на дистрибуиран начин независним деловањем великог броја микроагената који базирају своје понашање само на локалним информацијама. Функција мреже јесте да интегрише локална мишљења различитих микроагената и пронађе глобално конзистентно мапирање на нивоу коалиције хипотеза. Мрежа се састоји од привремених *микроагената хипотеза* и привремених екситаторних и инхибиторних веза између истих. За разлику од ACME-a, ова мрежа је чврсто повезана са главном мрежом микроагената. Хипотезе добијају активацију од осталих микроагената и шаљу им активацију назад. Постоје два главна механизма за креирање микроагената хипотеза – *механизам прослеђивања маркера* и *механизам подударања структура*.

Прва верзија AMBR модела је интегрисала меморију, мапирање и преношење (трансфер) знања. Најинтересантнији проблем на коме је био демонстриран овај модел је следећи: *Потребно је загрејати воду у шуми, али су на располагању само нож, секира и кутија шибица. Није расположива посуда било ког типа. Могуће је направити посуду од дрвета, али би иста изгорела на ватри. Како је могуће загрејати воду у дрвеној посуди?* За

решавање овог проблема је потребно присетити се познате ситуације загревања воде у пластичној посуди уз помоћ потапајућег грејача. Решење горе поменутог проблема би било загревање ножа и стављање истог у посуду. Ова верзија је успешно коришћена за изучавање интеракција између меморије (*priming* – особама које су решавале горе поменути проблем је пре решавања представљена ситуација са пластичном посудом и потапајућим грејачем), перцепције (*ефекти контекста* – поред текста проблема је додата илустрација ситуације у шуми где се између осталог видело камење поред реке (особе које су решавале проблем су предложили да се камен уместо ножа искористи за загревање воде)) и закључивања (*решавања проблема*).

Главни недостатак прве верзије AMBR модела је било круто и замрзнуто представљање епизода. Наиме, знање епизоде је било дистрибуирано на коалицију микроагената, али је иста била централизована – имала је микроагента који указује на све агенте који представљају њене различите аспекте. Ово је био један од главних разлога за развој друге верзије модела. У овој верзији су епизоде представљене не само дистрибуирано, већ и децентрализовано. Ово значи да ниједан микроагент система не познаје све микроагенте коалиције.

2.3.2.3 Learning and Inference with Schemas and Analogies (LISA)

Научници у области когнитивне психологије већ дуже време користе појам *шема* за објашњавање низа аспеката закључивања код човека. Шема је генерализована структура знања која карактерише релације применљиве на неку класу објеката или догађаја. На пример, шема мотора са унутрашњим сагоревањем може специфицирати опште релације између делова и начина функционисања мотора са унутрашњим сагоревањем. Шеме подржавају закључивање (на пример, мотор неће функционисати након пресецања црева за довод горива). Битна карактеристика шема је да су оне *релационе структуре*, а не једноставне листе одлика или својстава. Другим речима, оне експлицитно специфицирају у којим се међусобним односима налазе објекти класе (на пример, црево за довод горива доводи бензин у карбуратор).

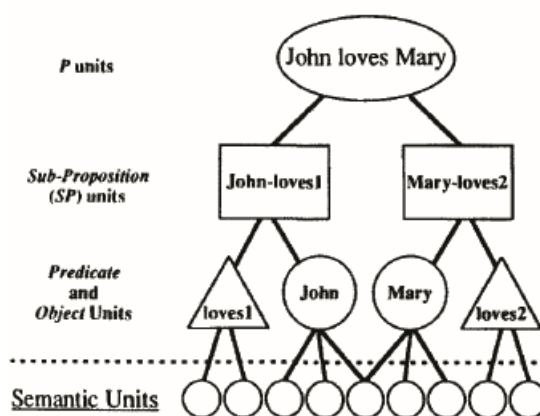
Важно питање које се намеће јесте како индуковати општу шему на основу искуства са одређеним објектима или догађајима? Индуковање шеме изискује проналажење систематских подударана између елемената специфичних познатих инстанци (објеката или догађаја) и коришћење тих подударана за индуковање опште шеме¹² (Holland et al., 1986).

¹² Може се размотрити пример где је неопходно индуковати једноставну шему која описује ситуације у којима човек воли жену, жени се свиђа цвеће и човек поклања жени цвеће, на основу следећег примера: 1) Jim воли Mary, Mary се свиђају руже и Jim поклања Mary руже, и 2) Bill воли Suzan, Suzan се свиђају лале и Bill поклања Suzan лале. Да би се генерисала шема на основу примера потребно је схватити да Jim одговара Bill-у, а не Mary, да *воли* одговара *воли*, а не поклања, итд.

Један од могућих приступа је коришћење закључивања по аналогији за индуковање шеме (Gentner, 1989; Holyoak & Thagard, 1989a).

Срце архитектуре LISA-e (*Learning and Inference with Schemas and Analogies*) (Hummel & Holyoak, 1996) је систем за активно (то јест динамичко) повезивање улога са њиховим објектима у радној меморији и кодирање тих веза у дугорочној меморији. LISA користи синхронизовано окидање за динамичко повезивање у радној меморији. Улоге и објекти су представљени у радној меморији као дистрибуирани обрасци активирања над скупом значењских јединица (представљене малим кружницама на слици 2-39); улоге и објекти окидају синхронизовано када су повезани, односно несинхронизовано када нису повезани.

Structure Units:



Слика 2-39 Илустрација представљања пропозиције „loves (John Mary)“ у LISA-и (преузето из (Hummel & Holyoak, 1997))

Свака пропозиција је кодирана у дугорочној меморији хијерархијом три врсте структурних јединица (слика 2-39). На дну хијерархије су *предикатске* и јединице *објеката* (ове две врсте структурних јединица су функционално еквивалентне). Свака предикатска јединица локално кодира значењске јединице једне улоге једног предиката¹³. Слични предикати ће делити значењске јединице код кореспондентних улога (на пример предикатске јединице *love1* и *likes1* деле велики број значењских јединица), чинећи значењску сличност различитих предиката експлицитном. Јединице објеката су сличне предикатским јединицама, с тим што су повезане са значењским јединицама које описују ствари, а не улоге. *Јединице подпропозиција* су структурне јединице које повезују предикатске јединице са јединицама објеката и *јединицама пропозиција*. Јединице пропозиција се налазе на врху хијерархије. Оне деле двосмерне ексцитаторне везе са одговарајућим јединицама подпропозиција. Јединице

¹³ На пример, предикатска јединица *loves1* представља прву улогу предиката *loves* и има двосмерне ексцитаторне везе са свим значењским јединицама које представљају ту улогу (на пример, *emotion1*, *strong1*, *positive1*, итд.). Предикатска јединица *loves2* представља другу улогу предиката *loves* и повезана је са одговарајућим значењским јединицама (на пример, *emotion2*, *strong2*, *positive2*, итд.).

подпропозиција деле двосмерне ексцитаторне везе са одговарајућим предикатским и јединицама објеката, а предикатске и јединице објеката деле двосмерне ексцитаторне везе са одговарајућим значењским јединицама.

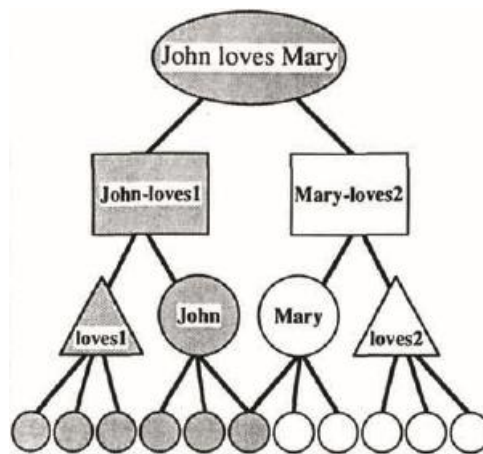
Сваки случај је представљен хијерархијом овог типа за сваку пропозицију коју садржи. Предикатске и јединице објеката се не понављају у оквиру дефиниције случаја. Постојање засебних структурних јединица је неопходно за мапирање аналогних елемената случајева.

Последња компонента архитектуре LISA-е је скуп *веза мапирања* између структурних јединица исте врсте у различитим аналогним случајевима. Претпоставља се да се ове везе налазе у радној меморији и да се успостављају када се аналогни случајеви пребаце у радну меморију ради мапирања. На почетку симулације се тежине ових веза иницијализују на вредност нула. Тежине ових веза расту (узимају веће позитивне вредности) када су јединице које повезују истовремено активне, односно опадају када је једна јединица активна, а друга није. На крају симулације ће кореспондентне јединице имати велике позитивне тежине својих веза мапирања, док ће јединице које нису кореспондентне имати велике негативне тежине својих веза мапирања. Везе мапирања играју значајну улогу у функционисању модела. Наиме, LISA третира мапирање као форму учења. Везе мапирања дозвољавају наученим мапирањима да ограничавају будућа мапирања, обзиром да структурне јединице једног случаја директно активирају структурне јединице других аналогних случајева.

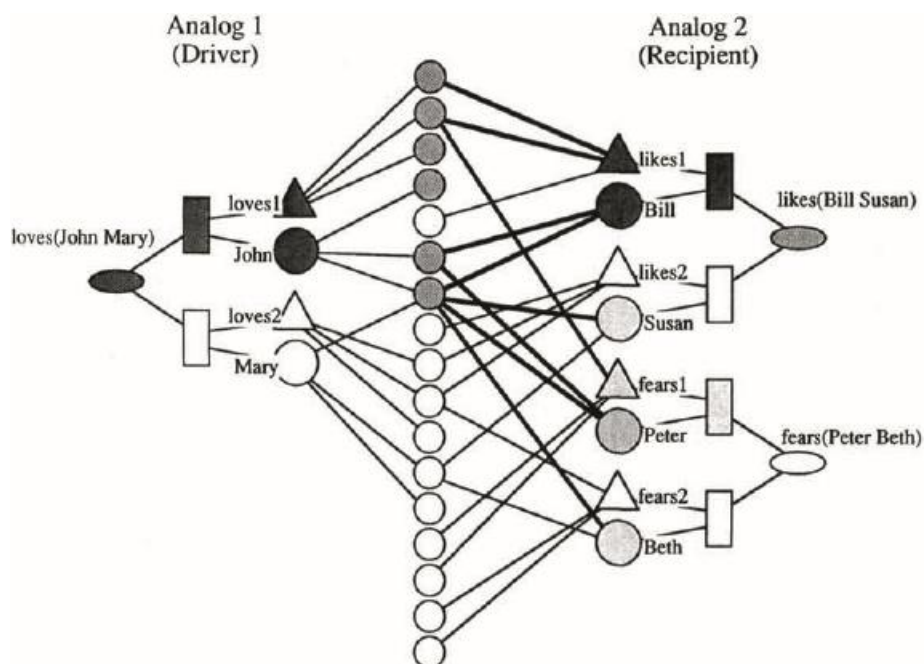
За потребе мапирања и проналажења случајеви су подељени у два међусобно искључива скупа: *покретач* и један или више *примаоца*. Покретач и сви примаоци се налазе у радној меморији. Проналажење и мапирање су контролисани од стране покретача. LISA врши мапирање у форми вођеног поклапања образаца (*guided pattern matching*). Како јединице пропозиција код покретача постају активне¹⁴, оне генеришу (преко својих подпропозиција¹⁵, предиката и објеката) обрасце активности на значењским јединицама (један образац за свако повезивање улога-објекат) (слика 2-40). Значењске јединице деле све пропозиције, па ће обрасци активности генерисани од стране једне пропозиције активирати један или више сличних пропозиција у дугорочној (приступ по аналогiji) или радној (мапирање по аналогiji) меморији (слика 2-41). Мапирање се разликује од проналажења само по (додатним) везама мапирања које могу да се модификују.

¹⁴ Протокол којим је дефинисан редослед активирања пропозиција је дат као улаз.

¹⁵ Подпропозиције инхибирају једна другу. Исте наизменично постају активне.



Слика 2-40 Образац активности на значењским јединицама (осенчене јединице су активне; неосенчене јединице су неактивне) (преузето из (Hummel & Holyoak, 1997))



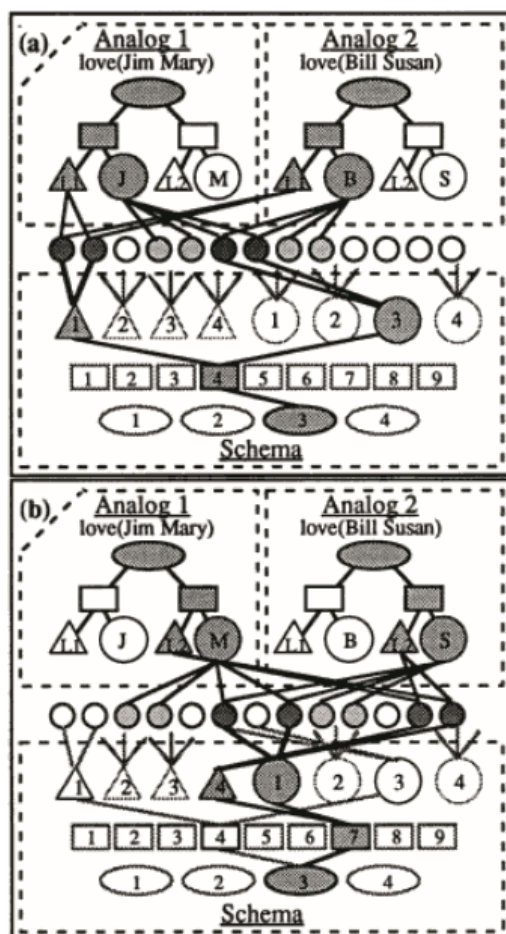
Слика 2-41 Илустрација мапирања „loves (John Mary)“ на „likes (Bill Susan)“. *Loves1* дели више значењских јединица са *likes1* него са *fears1*, па ће образац активности генерисан од стране *loves1* активирати *likes1* пре него *fears1*. (Црне јединице су врло активне; сиве јединице су умерено активне; беле јединице су неактивне) (преузето из (Hummel & Holyoak, 1997))

Појачан могућностима откривања пресека (*intersection discovery*) и ненадгледаног учења (*unsupervised learning*), LISA-ин приступ мапирању подржава закључивање и индукцију шеме као природну последицу. У току мапирања одговарајући елементи две аналогије ће истовремено постати активни. На пример пропозиција „love (Jim Mary)“ код покретача ће активирати пропозицију „love (Bill Susan)“ код примаоца (слика 2-42). Елементи који се поклапају (попут Jim и Bill) ће бити синхронизовано окинути, док ће елементи који се не поклапају (попут Jim и Susan) бити окинути несинхронизовано (слика 2-

42). Jim дели значењску јединицу *male* са Bill-ом, а Mary дели *female* са Susan, па је природна пропозиција која се индукује на основу ових поклапања „love (male female)“. Да би се индуковао овај део шеме потребно је: 1) утврдити шта одговарајући елементи имају заједничко, и 2) кодирати ове заједничке елементе у дугорочној меморији као нову пропозицију.

LISA утврђује шта одговарајући елементи имају заједничко помоћу откривања пресека. Активација значењске јединице је линеарна функција њених улаза, па ће свака значењска јединица која је заједничка и за покретача и за примаоца примити улаз и од једног и од другог и тако постати дупло активнија од било које значењске јединице која је примила улаз од само једног случаја. Значењски елементи се карактеришу заједничким на основу њихових вредности активације.

Заједнички значењски елементи се кодирају у дугорочној меморији уз помоћ алгоритма ненадгледаног учења. Наиме LISA поседује и скуп *нерегрутованих* структурних јединица (то јест јединица са насумичним међусобним везама и везама са значењским јединицама) које се налазе у трећем „шема случају“ (слика 2-42). Нерегрутоване предикатске јединице и јединице објеката имају улазне прагове који им омогућавају да приме улаз само од врло активних значењских јединица, то јест значењских јединица које су заједничке и за покретача и за примаоца. Овакве значењске јединице су означене тамно сивом бојом на слици 2-42. Без помоћи учитеља, ове нерегрутоване јединице шеме уче да реагују на заједничке елементе познатих случајева. Истовремено нерегрутоване јединице подпропозиција уче како да реагују на специфичне везе предикатских јединица и јединица објеката, а нерегрутоване јединице пропозиција уче како да реагују на специфичне комбинације јединица подпропозиција. Ово резултује кодирањем пропозиција који описују заједничке елементе познатих случајева у дугорочној меморији као трећег случаја – шеме.



Слика 2-42 Jim+love подпропозиција активира Bill+love подпропозицију (a). Mary+love подпропозиција активира Susan+love подпропозицију (b). (преузето из (Hummel & Holyoak, 1996))

Закључивање по аналогiji је код LISA-е реализовано уз помоћ истог алгоритма ненадгледаног учења који се користи и за индуковање шеме, с тим што се нерегрутоване јединице не налазе у потпуно одвојеном случају (шеми која ће бити индукована), већ у циљном случају.

Сличност LISA-е са AMBR-ом се огледа у томе да је LISA такође базирана на дистрибуираним представљањима, али само у радној меморији. Дугорочна меморија LISA-е се састоји од (замрзнутих) централизованих представљања епизода.

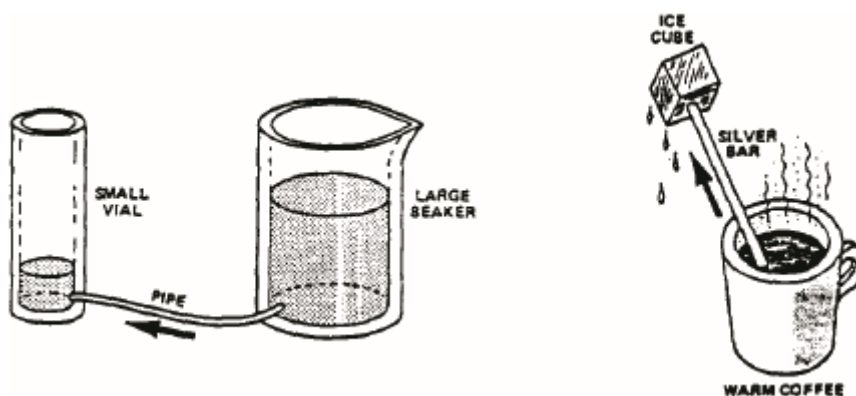
Способност LISA-е да индукује шеме на основу примера је успешно тестирана на претходно помињаном тврђава/тумор проблему (Duncker, 1926).

2.3.2.4 MAC/FAC и SME

Теоријски оквир за овај приступ јесте теорија мапирања структуре аналогiji Gentner-ове (Gentner, 1983). Мапирање структуре описује скуп имплицитних ограничења којим људи интерпретирају аналогije и сличност. Основна идеја теорије је тврдња да је аналогiji мапирање знања из једног домена (*извор*) на други (*циљ*), односно да систем релација између

објекта извора, такође важи и између објекта циља. Објекти циља не морају да буду слични објектима извора. Објекти се поклапају на основу одговарајућих улога у заједничкој структури релација. Дакле, према овој теорији, аналогија је начин уочавања истоветности структуре релација, независно од објекта које оне повезују.

Овај поглед на аналогије је базиран на опажању Falkenhainer-а и сарадника (Falkenhainer et al., 1989) да су релације најбитније код аналогија, а не једноставне одлике објекта. Структурне одлике (то јест, међуодноси између објекта) одређују садржај аналогије, без обзира на врсту знања (каузални модели, планови, приче, итд.). У примеру на слици 2-43 две ситуације се сматрају аналогним због тога што деле комплексну релацију познату као „простирање“ („протицање“). У оба случаја постоји појам нечега што се простира од извора ка одредишту. Занемарују се појаве и чак посебне дефинишуће одлике објекта, попут чињенице да су и вода и кафа течности.



Слика 2-43 Две ситуације које укључују проток (преузето из (Falkenhainer et al., 1989))

MAC/FAC је модел проналажења базираног на сличности. Циљ модела је да омогући проналажење изворних случајева првенствено на основу литералне сличности и површинске сличности (при чему је већи број проналажења базиран на литерарној сличности), а да повремено омогући проналажење изворних случајева само на основу структурне сличности¹⁶. Наиме, истраживања у пољу психологије проналажења случајева у меморији указују на претежну заступљеност два типа сличности: *литерарне сличности*¹⁷, која је базирана и на структурној и на површинској сличности, и *површинске сличности*¹⁸.

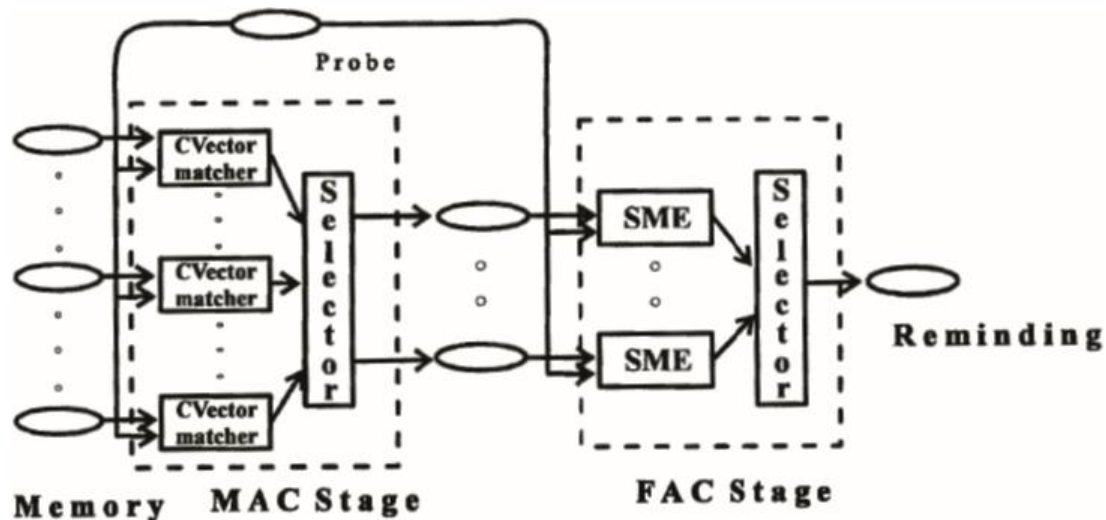
MAC/FAC модел је реализован у две фазе (слика 2-44). Улаз су описи изворних случајева у меморији и опис циљног случаја за који је потребно пронаћи аналогни изворни случај (случајеви) (циљни случај је означен са *Probe* на слици 2-44). Излаз је изворни случај (случајеви) из меморије и његово *поређење* са циљним случајем. Прва (MAC) фаза представља, по питању потребних рачунарских ресурса незахтеван, неструктурни филтер

¹⁶ На пример, периодни систем елемената подсећа на октаве у музици.

¹⁷ На пример, један бицикл подсећа на други бицикл.

¹⁸ На пример, бицикл подсећа на наочаре.

који пропушта само један део изворних случајева. Друга (FAC) фаза користи прецизније, по питању потребних рачунарских ресурса захтевно, структурно поклапање да би изабрала најсличнији (најсличније) случај (случајеве) из излаза MAC фазе који има заједничку структуру релација са циљним случајем. Свака фаза се састоји из елемената за поклапање (*matcher* на слици 2-44) који се примењују на описе свих случајева на улазу и елемента за бирање (*Selector* на слици 2-44) који користи процену елемената за поклапање да би одлучио који случајеви ће сачињавати излаз фазе. Елементи за поклапање се примењују паралелно на нивоу сваке фазе.



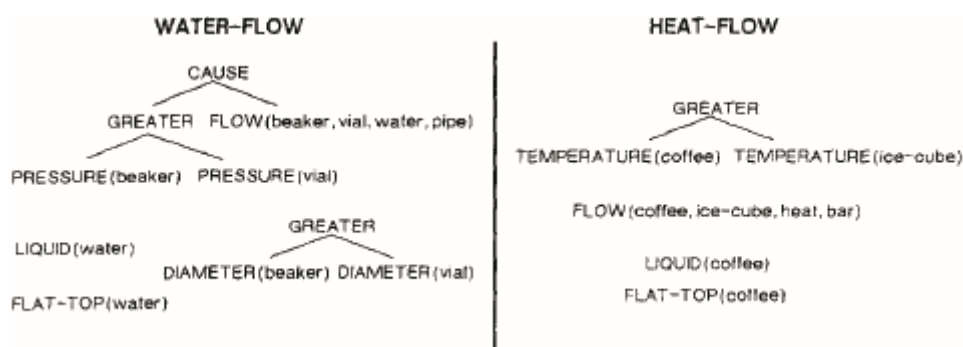
Слика 2-44 MAC/FAC модел (преузето из ((Forbus et al., 1995))

FAC фаза је моделирана коришћењем SME-ова (који пре свега моделирају подпроцес мапирања). SME (*Structure-Mapping Engine*) као улаз прима два описа случаја, при чему је један изворни, а други је циљни, и скуп *правила поклапања*. Правила поклапања специфицирају која поклапања су могућа и иста су кључ флексибилности SME-а (да би се направио нови систем за поклапање неопходно је само унети нови скуп правила поклапања). Излаз из SME-а су *глобалне интерпретације поређења* између изворног и циљног случаја, при чему свака глобална интерпретација укључује: скуп *одговарања* (*подударана*) између елемената описа изворног и циљног случаја, скуп *кандидата закључака*, то јест потенцијално ново знање о циљном случају које се предлаже на основу одговарања (*подударана*) између елемената описа случајева, и *структурну евалуацију* која говори о квалитету поклапања, на основу структурних својстава. Кандидати закључака су према ауторима само нагађања, и морају се накнадно тестирати и проценити.

Интерпретације које даје SME су структурно конзистентне, у смислу да задовољавају ограничења *један-један мапирања* и *паралелне везивности*. Ограничење један-један мапирања подразумева да глобална интерпретација поређења не може утврдити одговарање (*подударана*) једног елемента описа изворног случаја са више елемената описа циљног

случаја и обрнуто. Ограничење паралелне везивности подразумева да ако глобална интерпретација поређења утврди одговарање (подударање) пропозиција, онда мора постојати и одговарање (подударање) аргумената тих пропозиција. SME покушава да нађе *максималне* интерпретације. Интерпретација се назива максималном ако би је додавање бар једног додатног одговарања (подударања) учинило структурно неконзистентном.

Аутори користе предикатски рачун (*predicate calculus*) за представљање чињеница. Конструкције језика су *ентитети* (објекти и константе домена) и *предикати* (функције, *атрибути* и *релације*). На слици 2-45 су дати поједностављени описи протицања воде и простирања топлоте за пример на слици 2-43.

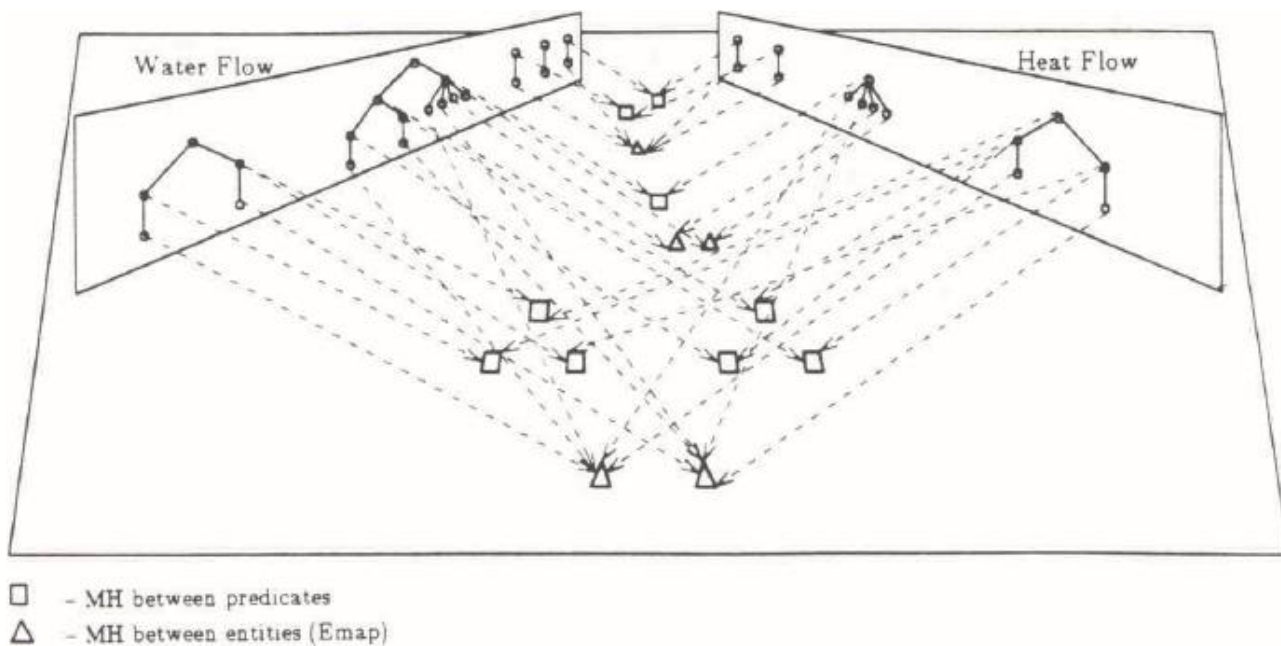


Слика 2-45 Поједностављени описи протицања воде и простирања топлоте за пример на слици 2-43 (преузето из (Falkenhainer et al., 1989))

SME алгоритам је подељен у четири фазе:

1. *Изградња мреже локалних поклапања*: Пронаћи све парове (<елемент извора>, <елемент циља>) који се потенцијално могу поклопити. За сваки пар се креира *хипотеза поклапања* да би се представила могућност да ово локално поклапање може бити део глобалног поклапања.
2. *Изградња глобалних поклапања*: Локална поклапања се комбинују у максималне конзистентне скупове поклапања.
3. *Изградња кандидата закључака*: Изводе се закључци предложени од стране сваког глобалног поклапања.
4. *Структурна евалуација*: Придруживање доказа свакој локалној хипотези поклапања и коришћење ових доказа за структурну евалуацију.

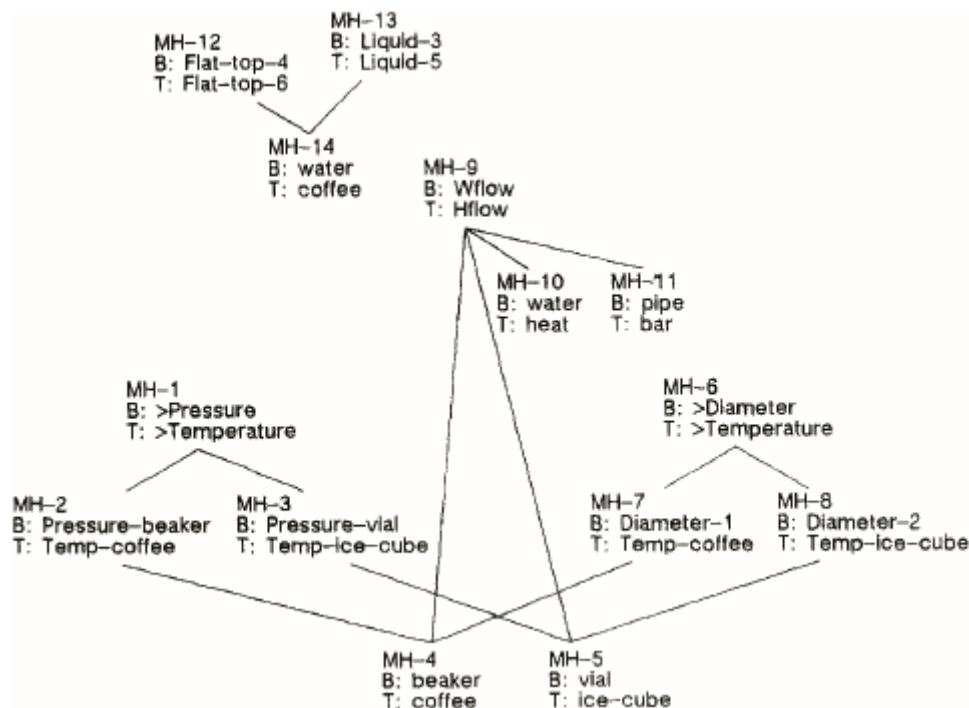
Изградња мреже локалних поклапања (слика 2-46). Дозвољена поклапања су специфицирана помоћу *правила поклапања*.



Слика 2-46 Изградња мреже локалних поклапања. Графови који одговарају поједностављеним описима протицања воде и простирања топлоте са слике 2-43 су приказани на левом и десном панелу, респективно. Квадрати и троуглови у средини представљају хипотезе поклапања креиране уз помоћ правила литерарне сличности. Квадрати представљају хипотезе поклапања које укључују предикате, док троуглови представљају хипотезе поклапања које укључују ентитете. (МН = *match hypothesis*; хипотеза поклапања) (преузето из (Falkenhainer et al., 1989))

Постоје три скупа правила поклапања преко којих су имплементирана поређења сличности код структурног мапирања: *литерарна сличност*, *аналогија* и *проста појава*. Правила литерарне сличности узимају у обзир и описе релација и описе објеката. Правила аналогије узимају у обзир системе релација, а дискриминишу описе објеката. Скуп правила прости појаве се разликује по томе што се у потпуности занемарују структуре вишег реда, а узимају се у обзир само описи објеката. Ова правила спречавају поклапања између функција и поклапања између релација.

Сви предикати који нису функције (функције се обично користе за упућивање на објекте и константе) се морају поклопити идентично. Ентитети се поклапају на основу својих улога у структури предиката. Функције се поклапају само са другим функцијама. Локална поклапања између ентитета се врше само када су оправдана неким другим поклапањем. На овај начин је број могућих поклапања значајно ограничен.

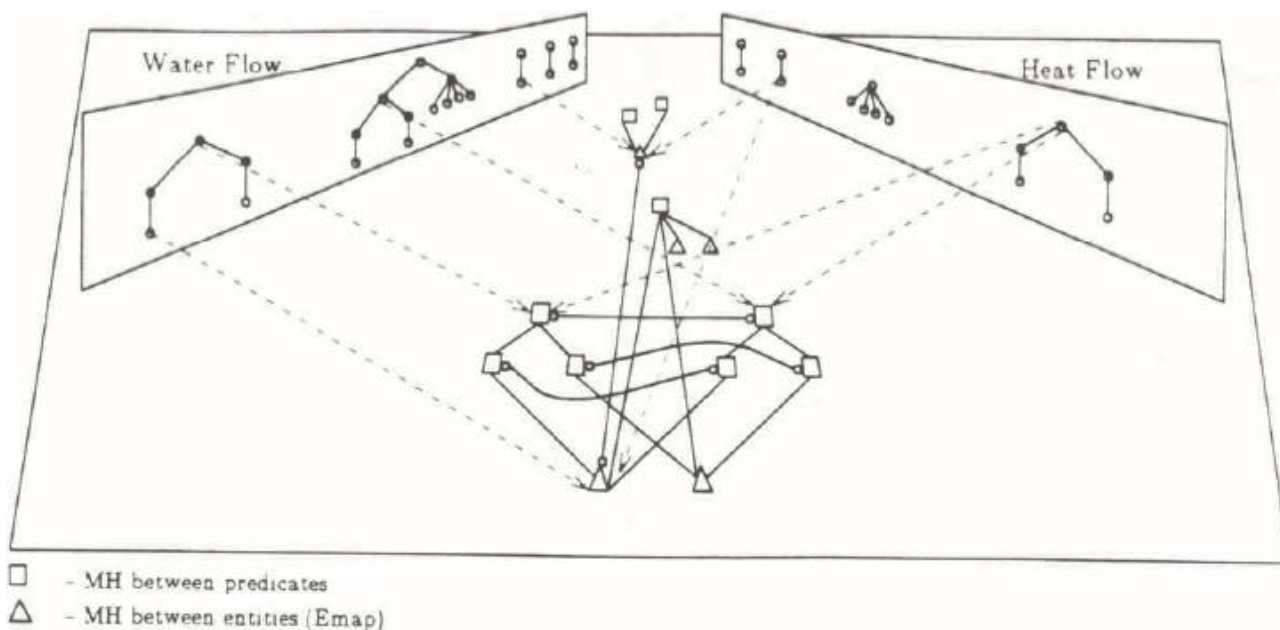


Слика 2-47 Протицање воде / простирање топлоте аналогија након изградње локалног поклапања. Овде је приказан граф хипотеза поклапања који је шематски приказан на слици 2-46 допуњен линијама које указују на везе између предиката и аргумената.

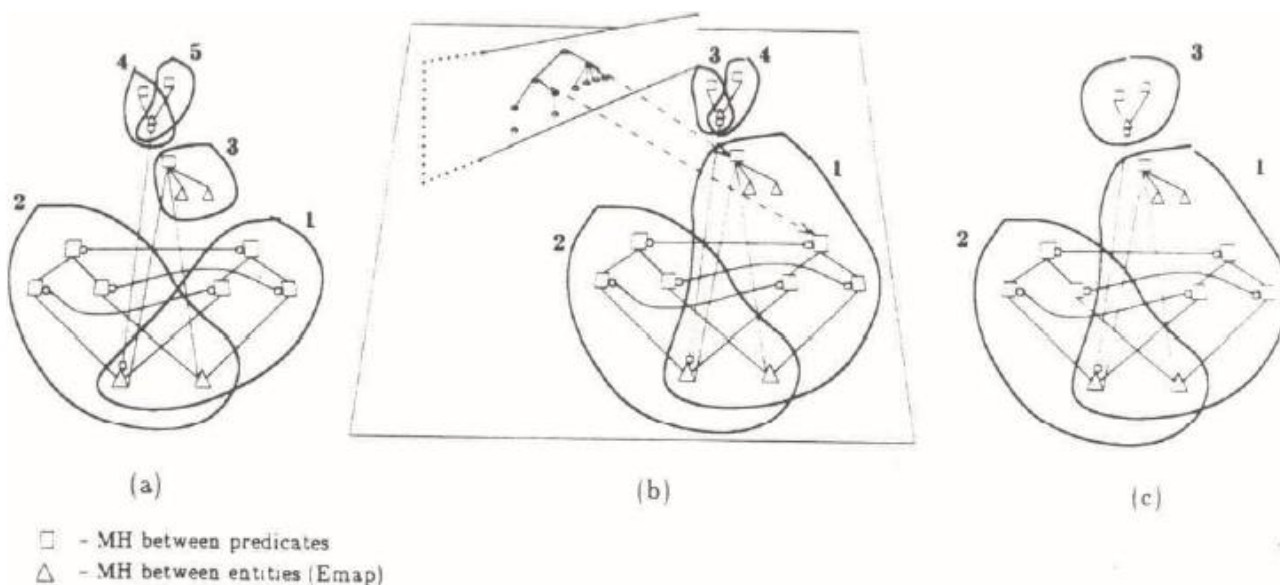
(преузето из (Falkenhainer et al., 1989))

Изградња глобалног поклапања. Глобална поклапања су максимални, структурно конзистентни скупови хипотеза поклапања. Граде се у два корака:

1. *Утврђивање веза конзистентности:* За сваку хипотезу поклапања се генеришу: а) скуп мапирања ентитета које она подразумева, б) скуп хипотеза поклапања са којима се локално сукобљава, и в) скуп хипотеза поклапања са којима је структурно неконзистентна.
2. *Спајање хипотеза поклапања:* Одредити глобална поклапања постепеним комбиновањем хипотеза поклапања на следећи начин:
 - а. *Креирање почетних комбинација:* Комбиновати потомке структурно конзистентних хипотеза поклапања највишег реда у почетни скуп глобалних поклапања.
 - б. *Комбиновање зависних глобалних поклапања:* Спојити почетна глобална поклапања чије се структуре извора преклапају (чији су корени у структури извора идентични), тако да подлежу структурној конзистентности.
 - с. *Комбиновање независних скупова:* Креирати комплетна глобална поклапања спајањем делимичних глобалних поклапања из претходног корака, тако да подлежу структурној конзистентности, задржавајући само максималне резултате.



Слика 2-48 Протицање воде / простирање топлоте аналогија након изградње конфликтних веза. Обичне линије приказују граф налик стаблу који ограничење паралелне везивности намеће хипотезама поклапања. Линије са завршенима у виду кружница означавају конфликтне везе између хипотеза поклапања. (преузето из (Falkenhainer et al., 1989))



Слика 2-49 Изградња глобалног поклапања: (а) Креирање почетних комбинација (повезане и конзистентне хипотезе поклапања); (b) Комбиновање зависних глобалних поклапања (конзистентни чланови са истом структуром извора); (c) Комбиновање независних скупова (даље конзистентне комбинације). (преузето из (Falkenhainer et al., 1989))

Изградња кандидата закључака. Да би генерисао кандидате закључака за глобално поклапање, SME анализира сваки корен у опису изворног случаја како би утврдио да ли је

исти предак корена било које хипотезе поклапања у глобалном поклапању. Ако јесте, онда се сви његови потомци који се не налазе у скупу елемената описа изворног случаја укључују у скуп кандидата закључака.

Кандидати закључака често укључују ентитете. Кадгод је могуће, SME замењује сва појављивања ентитета изворног случаја са њима одговарајућим ентитетима циљног случаја. У случајевима када ентитет изворног случаја нема одговарајући ентитет циљног случаја, а у питању је константа, исти се може неизмењен пренети у опис циљног случаја. Ако није у питању константа, SME уводи нови хипотетички ентитет у опис циљног случаја који је представљен као *skolem* функција оригиналног ентитета из описа изворног случаја.

Структурно мапирање не гарантује да су кандидати закључака валидни. Сваки кандидат закључка је само претпоставка која се мора проверити. SME у овом случају нуди само проверу конзистентности базирану на разматрањима по питању структуре.

Структурна евалуација. Типично ће дати изворни и циљни случај имати више глобалних поклапања, при чему ће свако представљати различиту глобалну интерпретацију. Потребно је изабрати најбољу глобалну интерпретацију. SME нуди програмабилни механизам за структурну евалуацију за свако глобално поклапање. Ово се може користити за рангирање глобалних поклапања.

Структурна евалуација се спроводи у две фазе које користе *правила доказа поклапања* за додељивање и управљање нумеричким оценама. У првој фази се појединачним хипотезама поклапања додељују тежине (на основу локалних својстава истих), док се у другој фази израчунава оцена структурне евалуације за свако глобално поклапање комбиновањем (обично сабирањем) доказа за његове хипотезе поклапања.

Друга компонента FАC фазе јесте елемент за бирање, који је у суштини нумерички праг и који бира неку подскуп глобалних интерпретација поређења као излаз из подпроцеса проналажења.

MAC фаза такође има више елемената за поклапање и један елемент за бирање, који ради на исти начин као и код FАC фазе. Што се тиче елемената за поклапање овде се користе такозвани вектори садржаја (*content vector*). Вектори садржаја су кратки прегледи знања садржаног у комплексним релационим структурама. За опис неког случаја вектор садржаја дефинише који функтори (на пример, релације, функције, атрибути, итд.) су коришћени у опису и колико пута. Функторима који нису коришћени се придружује вредност нула. На тај начин се формира *n*-торка бројева. Вектори садржаја се формирају за описе свих изворних случајева и за опис циљног случаја. За сваки од изворних случајева се проналази скаларни производ његовог вектора садржаја и вектора садржаја циљног случаја. Затим елемент за бирање генерише излаз из MAC фазе.

2.3.2.5 ARCS и ACME

ARCS (*Analog Retrieval by Constraint Satisfaction*) (Thagard et al., 1990) је програм написан у COMMON LISP-у који служи за проналажење аналогних изворних случајева коришћењем вишеструких ограничења. Тражење аналогних изворних случајева почиње тражењем предиката у описима изворних случајева који су у одређеној мери значењски слични предикатима у опису циљног случаја. Ако се у опису неког од изворних случајева пронађе предикат који је значењски сличан предикату у опису циљног случаја, онда према ауторима постоји могућност да је тај изворни случај аналоган циљном случају. Међутим, постоји могућност да ће многи изворни случајеви имати неко значењско преклапање са циљним случајем и основни задатак ARCS-а у том случају јесте да изабере оне изворне случајеве који су најрелевантнији спрам ограничења *значењске сличности*, *структурне конзистентности* и *прагматичне централности*. Након иницијалног уочавања потенцијално аналогних изворних случајева, ARCS формира мрежу ограничења како би утврдио њихову релевантност спрам циљног случаја. Након креирања мреже ARCS користи стандардни паралелни релаксациони алгоритам како би је довео у стање које указује на релативно одговарање (поклапање) различитих изворних случајева са циљним случајем.

Дакле, у случају ARCS-а подпроцес проналажења има два корака: 1) проналажење значењски повезаних изворних случајева у меморији, и 2) процена ових пронађених изворних случајева по питању целог скупа ограничења.

ARCS користи три врсте представљања знања у различите сврхе:

1. Описи изворних и циљног случаја се састоје од пропозиција предикатског рачуна (*predicate calculus*) или логике првог реда (*first-order logic*)¹⁹.
2. Семантичке информације које се користе за доношење закључака по питању значењске сличности предиката су смештене у структуре налик оквирима које су прикључене предикатима. Ове структуре аутори називају „концептима“. Концепти су организовани у хијерархије уз помоћ релација хијерархијског типа и релација типа припадности.
3. Мрежа ограничења која се користи за избор најрелевантнијег изворног случаја (или изворних случајева), а која се састоји од јединица које представљају одговарања (поклапања) између структура и делова структура.

¹⁹ Основни синтаксни елементи логике првог реда су симболи који означавају објекте, релације и функције (функције су релације код којих постоји само једна „вредност“ за дати „улаз“). Према томе постоје три врсте симбола: симболи константи који означавају објекте, симболи предиката који означавају релације и симболи функција који означавају функције (Russel & Norvig, 2010).

Прве две врсте представљања знања се користе у оквиру дугорочне меморије, док трећа настаје у току подпроцеса проналажења. Пропозиције предикатског рачуна имају следећу форму:

(predicate arguments truth-value proposition-name)

Семантичке структуре ARCS-а су моделиране по узору на WordNet, електронски лексички референтни систем базиран на психоллингвистичким теоријама организације лексичке меморије код човека (Miller et al., 1988). Код WordNet-а концепт је представљен скупом синонима, а скупови синонима се организују помоћу релација хијерархијског типа, типа припадности и антонимског типа. Улаз у ARCS укључује семантичке информације за сваки предикат у опису сваког случаја. Следи пример семантичких информација за именицу *animal*:

ANIMAL

SUPERORDINATES: organism living-thing

SUBORDINATES: prey person child mammal primate reptile amphibian fish bird insect vertebrate invertebrate game

PARTS: voice tooth tail claw-of-claw antler

PLURAL: animals

SYNONYMS: beast creature fauna

ANTONYMS: plant flora

Овако организоване семантичке информације омогућавају ARCS-у да доноси закључке о значењској сличности било која два предиката на основу врста значењских релација између истих. Највећи степен значењске сличности имају предикати који су идентични, а нижи степен имају синоними. Још нижи степени значењске сличности се изводе из релација хијерархијског типа и релација типа припадности.

Проналажење аналогног изворног случаја се код ARCS-а врши у четири фазе:

Фаза 1. Коришћењем информација о значењској сличности предиката програм креира мрежу ограничења која представља могућа одговарања (поклапања) између објеката, предиката, пропозиција и структура. Креирају се јединице које представљају одговарања (поклапања) и везе између јединица да би се означила одговарања (поклапања) која подржавају једно друго. Најважније су оне јединице којим је дефинисана хипотеза да је структура конкретног изворног случаја аналогна структури циљног случаја. Ове јединице добијају назив ЦИЉ=ИЗВОР. Ако је циљни случај означен са P1, а изворни са S1, тада ће назив јединице која је креирана да би се представило одговарање (поклапање) између истих бити P1=S1 (слика 2-50). Ако је P1-1 пропозиција у P1 која одговара (поклапа се са) пропозицији S1-1 у S1, тада ће јединица P1-1=S1-1 којом је дефинисана хипотеза да ове

пропозиције одговарају (поклапају се) имати ексцитаторну везу са јединицом $P1=S1$ (слика 2-50). Такође се креирају јединице којим се дефинише одговарање (поклапање) предиката и аргумената $P1-1$ са предикатима и аргументима $S1-1$ и ове ће јединице такође имати ексцитаторне везе са јединицом $P1-1=S1-1$ (слика 2-50). Ексцитаторне везе се такође успостављају између специјалне *значењске јединице* и предикат-предикат јединица на основу степена значењске сличности предиката (слика 2-50). Ниво активације специјалне значењске јединице се увек држи на максималној вредности (вредност 1), што значи да она тежи да активира све јединице са којим је повезана.

Фаза 2. Инхибиторне везе се формирају између јединица које представљају некомпатибилне хипотезе, на пример између јединица $P1=S1$ и $P1=S2$ (слика 2-50). Ове везе чине проналажење компететивним, у смислу да ће проналажење једног изворног случаја тежити да сузбије проналажење алтернативног изворног случаја.

Фаза 3. Ограничења прагматичности су имплементирана констатовањем да су одређени елементи (предикати, објекти или пропозиције) **важни** и да **се сматра** да одређена одговарања (поклапања) важе. Информације у вези одговарања (поклапања) за која се сматра да важе даје корисник (слично као што учитељ даје ученику наговештај приликом решавања проблема). Између специјалне *јединице прагматичности* и свих јединица које укључују **важне** елементе или представљају одговарања (поклапања) за која **се сматра** да важе се креирају ексцитаторне везе (слика 2-50).

Фаза 4. Мрежа се покреће постављањем активација свих јединица на минималну иницијалну вредност, сем значењске и јединице прагматичности, за које се активација поставља на вредност 1. Затим се активација сваке јединице²⁰ ажурира узимајући у обзир активације свих јединица са којима је повезана. Циклуси ажурирања активација се настављају све док све јединице не достигну асимптотску активацију (промена активације сваке јединице је мања од специфициране вредности, која је типично 0,001), што је типично мање од 150 циклуса. Ажурирање активација јединица се на нивоу циклуса врши паралелно, то јест симултано. Овај приступ нуди и концептуалне (истовремено задовољење што је могуће већег броја ограничења) и практичне предности (по питању коришћења рачунарских ресурса). За ажурирање активација се користи једначина која је иницијално предложена од стране Grossberg-а (Grossberg, 1978).

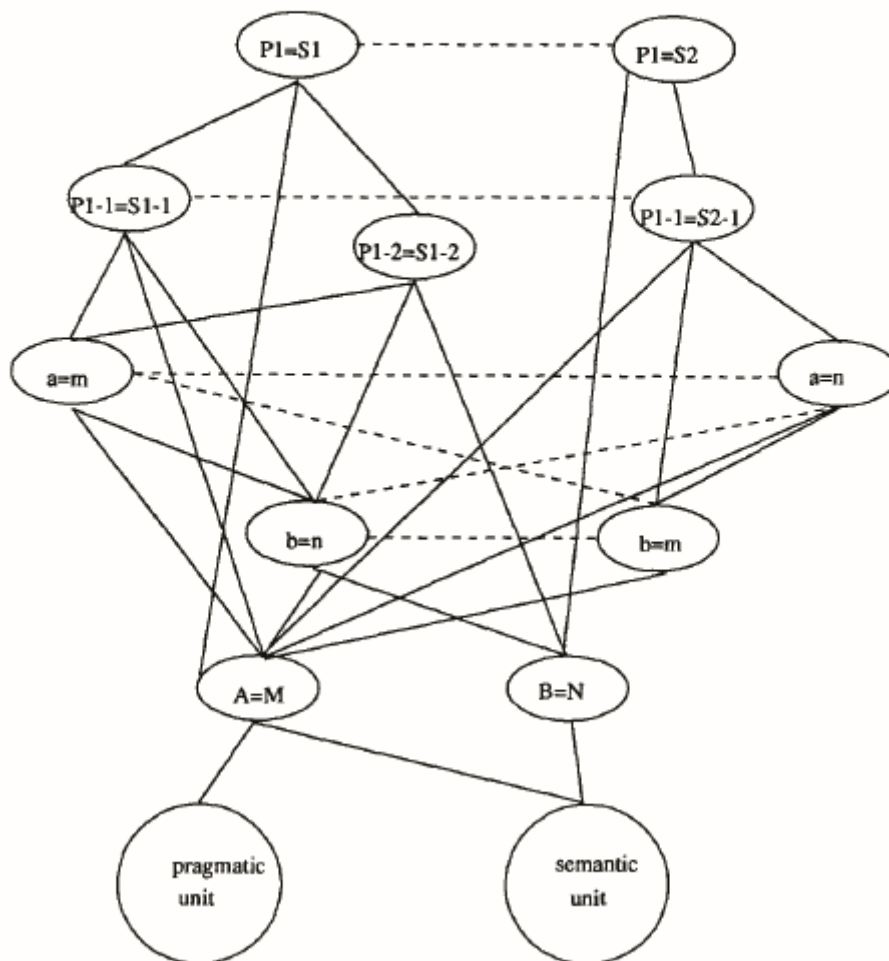
На слици 2-50 је дата илустрација целог процеса.

²⁰ *Ниво активације* јединице указује на веродостојност одговарајуће хипотезе, при чему виши ниво активације указује на већу веродостојност.

P1	S1	S2
P1-1 A(a,b)	S1-1 M(m,n)	S2-1 M(n,m)
P1-2 B(b,a)	S1-2 N(n,m)	S2-2 R(n,m)

A and M are semantically similar; B and N are semantically similar.

A is important.



Слика 2-50 Пример мреже конструисане од стране ARCS-а. Јединице које представљају могућа одговарања (поклапања) су представљене елипсама. Екситаторне везе су означене пуним линијама, а инхибиторне испрекиданим. (преузето из (Thagard et al., 1990))

Ограничење *структурне конзистентности* је имплементирано приликом креирања јединица и екситаторних веза између јединица: јединица која дефинише одговарање (поклапање) између пропозиције извора и циља се креира и повезује екситаторном везом са јединицом која дефинише одговарање (поклапање) између предиката ових двеју пропозиција. Затим се креира јединица која дефинише одговарање (поклапање) аргумената ових двеју пропозиција и повезује екситаторним везама са јединицама које дефинишу одговарање (поклапање) пропозиција и предиката. Коначно се формира јединица која дефинише одговарање (поклапање) изворног и циљног случаја и повезује екситаторним

везама са јединицама које дефинишу одговарање (поклапање) пропозиција и предиката. Један-један поклапања су потпомогнута креирањем инхибиторних веза.

Битно је нагласити да ARCS не врши поређење циљног случаја са свим изворним случајевима у меморији, већ разматра само оне изворне случајеве који имају значењски сличне предикате са циљним случајем. ARCS такође не врши комплетно поклапање (мапирање) између циљног случаја и изворних случајева чија је потенцијална релевантност индикована значењском сличношћу.

ARCS је само део целог модела аналогича аутора. Програм за мапирање ACME (*Analogical Constraint Mapping Engine*) (Holyoak & Thagard, 1989b) истих аутора користи принципе врло сличне онима код ARCS-а и у стању је да изврши комплетно мапирање изворног случаја (или изворних случајева) и циљног случаја, који представљају излаз из ARCS-а. ACME није завистан од значењске сличности као ARCS и може извршити мапирање елемената који немају значењско преклапање. Теорија и имплементација ACME-а су доста слични SME-у, али се по неким питањима и значајно разликују. Први корак приликом изградње мреже мапирања ACME-а је формирање *јединица мапирања* које одговарају свакој могућој хипотези у вези упаривања између елемената. При том се упаривање може вршити само између елемената истог основног типа. *Значењска јединица* се користи за преношење информација у вези претходне процене система о степену значењске сличности између сваког пара значајних концепата циља и извора. *Јединица прагматичности* се користи за преношење информација о прагматичној важности могућих подударана. Ограничење значењске сличности се примењује формирањем ексцитаторних веза између значењске јединице и свих јединица које представљају мапирања између предиката.

2.4 Анализа истраживања у области

Иако се у литератури може пронаћи доста приступа подршци одлучивању приликом пројектовања, само пар њих је из домена слободних форми. У овим приступима (Cheutet, 2007; Cheutet et al., 2007) се аутори ослањају на онтологију развијену за специфичан, узак домен проблема, попут пројектовања каросерије аутомобила. Ако се узме у обзир јединственост и сложеност слободних форми, може се само претпоставити које би биле потешкоће са којима би се сусрео истраживач који би покушавао да развије онтологију за подршку одлучивању приликом пројектовања или реверзног моделирања објеката са елементима слободне форме. Пошто се пројектант у овим ситуацијама примарно ослања на претходно искуство, јасно је да је неопходно користити CBR методологију. Изазов је, наравно, изабрати одговарајуће технологије. На основу анализе процеса пројектовања или

реверзног моделирања објеката са елементима слободне форме, као и анализе расположиве литературе, може се доћи до одређених закључака. Могуће ситуације проблема треба представити као структуриране случајеве, где су елементи проблема пројектовања (попут назива делова објеката са елементима слободне форме и њихових одлика), решења (попут назива коришћених геометријских техничких елемената), домена или стратегије, повезани релацијама. Структура могућих ситуација проблема (случајева) је непредвидива. У току проналажења претходних сличних случајева, треба процењивати и површинску (спољашњу) и структурну сличност. Пошто није могуће предвидети коначан број потенцијалних варијанти елемената слободне форме, треба вршити ефикасну процену структурне сличности. Коначно, приликом преношења (трансфера) решења пронађеног сличног случаја треба користити структуру релација између елемената проблема пројектовања, решења, домена или стратегије.

Анализа истраживања у области показује да би се истраживач, покушавајући да примени помињане приступе на домен слободних форми, суочио са многим њиховим ограничењима. КВЕ приступ је високо ефикасан за рутинско пројектовање, са некреативним задацима пројектовања који се понављају. Овај приступ се не може применити за креативно пројектовање или пројектовање производа који су у великој мери подложни променама. У већини CBR приступа подршци одлучивању приликом пројектовања, знање је представљено у виду вектора одлика, а предложени механизми закључивања су прилагођени овом типу представљања знања. Адаптација решења се разматра у само пар приступа, и то само за случајеве који су представљени уз помоћ вектора одлика. У свим осталим CBR приступима адаптацију решења врши сам корисник система.

3. Задатак: Геометријско моделирање објеката са елементима слободне форме подржано анализом њихових семантичких одлика

Основни задатак у истраживању (дисертацији) је да се покуша створити KBE додатак CAD пакету уз помоћ кога би се у што је могуће већој мери аутоматизовао процес пројектовања / реверзног моделирања објеката са елементима слободне форме, а чиме би се створиле значајне уштеде по питању времена и трошкова пројектовања. У случају реверзног моделирања геометрије хуманих костију, на пример, овим би се омогућило ефикасно креирање (пацијенту) прилагођених имплантата.

Проучавајући рад пројектанта, уочава се да пројектант анализу објеката са елементима слободне форме, пре свега, заснива на семантичкој интерпретацији њихових геометријских, функционалних и технолошких одлика, као и одлика читавог производа. У процесу семантичке интерпретације, пројектант трага за сличностима које актуелни и непредвиђени објекат стручног разматрања има са једним или више објеката који су раније већ разматрани, и у вези којих постоји извесни корпус знања. Уколико пронађе извесне сличности, пројектант најпре врши семантичку категоризацију посматраног објекта и ситуације, а потом доноси одлуку о реакцији која је, најчешће, адаптација претходних решења за актуелну ситуацију/проблем. Дакле, може се рећи да пројектант покушава да брже реши проблем тако што ће применити ранија решења (или делове решења) за сличне проблеме. Полазећи од ових запажања, може се закључити да аутоматизација процеса пројектовања и реверзног моделирања објеката са елементима слободне форме (у смислу доношења одлука у вези са избором геометријских техничких елемената и начином њиховог компоновања) захтева и аутоматизацију семантичке интерпретације њихових одлика (ова тврдња уједно представља и **истраживачку хипотезу**). Према томе, за моделирање значењских одлика геометрије раније разматраних објеката са елементима слободне форме, као и представљање поступака пројектовања / реверзног моделирања истих, је неопходан семантички модел са придруженим алгоритмима (поступцима) који ће омогућити семантичку интерпретацију података. Могућност утврђивања тополошке аналогije делова семантичке мреже је кључна за проналажење претходно разматраних објеката са елементима слободне форме чије су геометријске карактеристике сличне геометријским карактеристикама „новог“ објекта. За поновно коришћење поступка реверзног моделирања неког од раније разматраних објеката, укључујући и евентуалне измене истог, је неопходно постојање механизма закључивања на основу случајева / закључивања по аналогiji (CBR/ABR механизма).

Имајући у виду ограничења постојећих (стандардних) КВЕ метода и актуелних семантичких модела, као и потенцијале Активног Семантичког Модела (АСМ)²¹, постоји основана претпоставка да би АСМ уз неопходну и одговарајућу надоградњу био јако добар кандидат за КВЕ додатак за подршку пројектовању и реверзном моделирању објеката са елементима слободне форме. Управо из тог разлога, задаци у истраживању (дисертацији) су да се:

- развије поступак утврђивања тополошке аналогije делова семантичке мреже АСМ-а,
- унапреди поступак доградње контекста, који у суштини представља имплементиран механизам закључивања на основу случајева / закључивања по аналогiji у АСМ-у, и
- истражи и докаже употребљивост тако надограђеног АСМ-а за аутоматизацију процеса пројектовања и реверзног моделирања објеката са елементима слободне форме.

Ово ће бити доказано кроз примере из домена реверзног моделирања геометрије хуманих костију, у поглављима која следе. За тестирање приступа ће бити коришћења AcSeMod програмска апликација (за моделирање семантичких одлика информатичких садржаја свих врста) у чијој основи се налази АСМ.

²¹ Главна предност АСМ-а над другим семантичким моделима је у самој структури семантичке мреже у којој су асоцијације или семантичке везе између чворова мреже дефинисане као посебне информатичке структуре које одликује одређени број атрибута или параметара. Оваква структура асоцијација је пројектована у тежњи да се подржи основна хипотеза да се знање проистекло из искуства које људи поседују о стварима (мисаоним и визуелним представама, објектима, ситуацијама, појавама и др.), садржи у асоцијацијама између појмова који апстрактно означавају те ствари.

4. Активни семантички модел и когнитивно процесирање

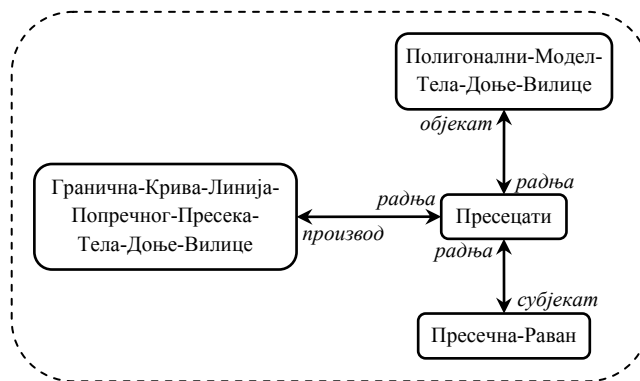
4.1 Поступак утврђивања тополошки аналогних сплетова и контекста

4.1.1 Тополошки аналогни сплетови и контексти

Сплет асоцијација (у даљем тексту сплет) у општем случају представља подскуп контекста²² у чисто математичком смислу и, за разлику од контекста, не мора семантички да представља целину, односно може се разматрати без специфичног апстрактног значења. Ова разлика између сплета асоцијација и контекста не утиче на обраду података и њихово коришћење за семантичку интерпретацију података у АСМ-у.

Јако важан случај сличности семантичког садржаја два различита сплета или контекста јесте *тополошка аналогија* (истоветност) два различита сплета или контекста.

Тополошки аналогни сплетови (ТАС) (или контексти (ТАК)) су сплетови (или контексти) исте врсте или класе топологије и идентичне структуре, па се могу назвати и *истоврсним* сплетовима (или контекстима). Овде се под врстом или класом топологије подразумева комбинација одговарајућих вредности тополошких параметара (улоге појмова, тип, карактер и смер асоцијације) асоцијација сплета. Неке од основних врста или класа топологије су топологије *сплета радње*, *сложјаја*, *склопа*, итд. (слика 4-1).



Слика 4-1 Део топологије *сплета радње*

Важност способности АСМ-а да препозна тополошке аналогне или истоврсне сплетове и контексте огледа се у томе што на основу ове способности АСМ (Стојковић, 2011):

- може да утврди *тип* асоцијације између појмова у карактеристичном случају када појмови CPT_X и CPT_N деле асоцијације 0. класе сличности (асоцијације различитог типа) са појмовима CPT_i . При томе, ова способност није везана за унапред предвиђену врсту сплета, односно независна је од типова асоцијација у разматраном сплету (ова

²² Контексти АСМ-а служе да означе скупове семантички блиских асоцијација, јасније су значењски одређени од сплетова асоцијација, и доносе апстрактно значење извесне ситуације или догађаја.

способност чини суштинску разлику између система за когнитивну обраду података (КОП) АСМ-а и „механизма за закључивање“ (*inference engine*) који се користе код других семантичких модела, на пример код OWL-а);

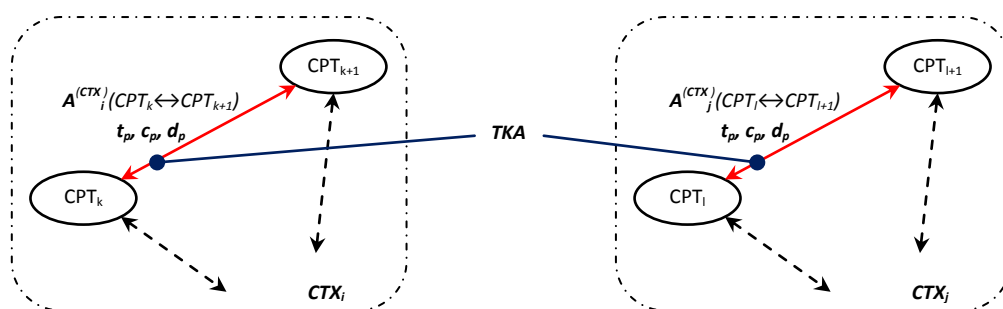
- може да препозна семантичку сличност између АСМ-у непознатог и познатих сплетова или контекста;
- може да препозна семантичку сличност између делимично описаног и АСМ-у потпуније описаних и познатих сплетова или контекста;
- може да препозна семантичку сличност између семантички веома удаљених сплетова и контекста и потом их *значењски* повеже и тако омогући стварање *смисленог* и *креативног одговора*.

4.1.1.1 Тополошки кореспондентне асоцијације и појмови

У оквиру поступка утврђивања тополошки аналогних сплетова и контекста врши се и утврђивање (препознавање) *тополошки кореспондентних асоцијација* и *тополошки кореспондентних појмова* два различита контекста па ће прво бити наведене дефиниције ових категорија.

4.1.1.1.1 Тополошки кореспондентне асоцијације

Две асоцијације које припадају различитим контекстима CTX_i и CTX_j и при томе имају сличне вредности тежинских параметара (тачност и значај асоцијације) и исте вредности тополошких параметара (улоге појмова, тип, карактер и смер асоцијације) (слика 4-2 и израз 4-1) називају се *тополошки кореспондентне асоцијације два различита контекста* или само *тополошки кореспондентне асоцијације* (ТКА) (Стојковић, 2011).



Слика 4-2 Тополошки кореспондентне асоцијације два различита контекста

НАПОМЕНЕ: На сликама у овом поглављу, ради јасноће представљања, ТКА су означене истом бојом. У изразима који следе елемент $\asymp$ означава тополошку кореспондентност (за асоцијације и појмове), или тополошку аналогију (за контексте и сплетове); елемент $\leftrightarrow$ означава асоцијацију између појмова; елемент $\sim$ означава сличност.

$$\exists CTX_i \mid \{A_{CPT_k \leftrightarrow CPT_{k+1}}^{CTX_i}\} \in CTX_i \Rightarrow \{CPT_k\} \in CTX_i$$

$$\exists CTX_j \mid \{A_{CPT_l \leftrightarrow CPT_{l+1}}^{CTX_j}\} \in CTX_j \Rightarrow \{CPT_l\} \in CTX_j$$

такви да је $CPT_k = CPT_l \vee CPT_k \sim CPT_l \vee CPT_k \neq CPT_l$

4-1

$$A_{CPT_k \leftrightarrow CPT_{k+1}}^{CTX_i} \simeq A_{CPT_l \leftrightarrow CPT_{l+1}}^{CTX_j} \text{ (су } \mathbf{TKA} \text{) ако}$$

$$|h_{A_{k,k+1}}^i - h_{A_{l,l+1}}^j| \leq 0,25,$$

где је $h_{A_{k,k+1}}^i = h(A_{k,k+1}^{CTX_i})$, а $A_{k,k+1}^{CTX_i} = A_{CPT_k \leftrightarrow CPT_{k+1}}^{CTX_i}$ и

$$h_{A_{l,l+1}}^j = h(A_{l,l+1}^{CTX_j}), \text{ а } A_{l,l+1}^{CTX_j} = A_{CPT_l \leftrightarrow CPT_{l+1}}^{CTX_j}$$

$$|s_{A_{k,k+1}}^i - s_{A_{l,l+1}}^j| \leq 0,25,$$

где је $s_{A_{k,k+1}}^i = s(A_{k,k+1}^{CTX_i})$,

$$\text{а } s_{A_{l,l+1}}^j = s(A_{l,l+1}^{CTX_j}),$$

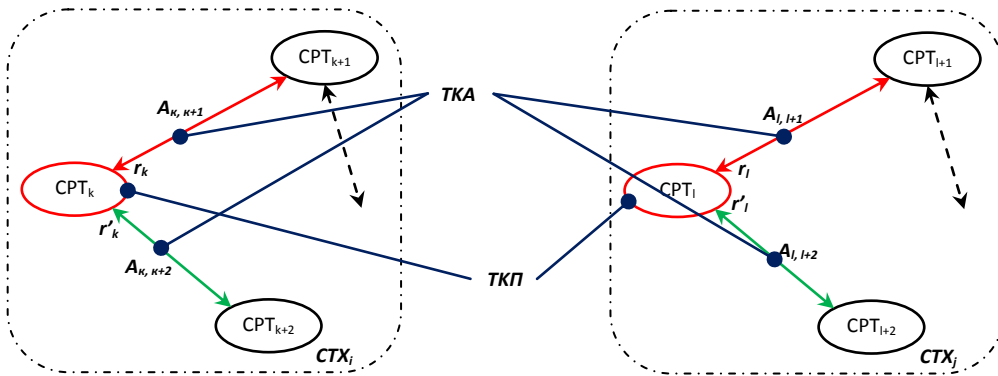
$$t(A_{k,k+1}^{CTX_i}) = t(A_{l,l+1}^{CTX_j}),$$

$$c(A_{k,k+1}^{CTX_i}) = c(A_{l,l+1}^{CTX_j}),$$

$$d(A_{k,k+1}^{CTX_i}) = d(A_{l,l+1}^{CTX_j}).$$

4.1.1.1.2 Тополошки кореспондентни појмови

Појмови који припадају ТКА два различита контекста или сплета (CTX_i и CTX_j), и при томе имају исту улогу у тим ТКА (слика 4-3 и израз 4-2) називају се *тополошки кореспондентни појмови два различита контекста* или само *тополошки кореспондентни појмови* (ТКП) (Стојковић, 2011).



Слика 4-3 CPT_k и CPT_l су тополошки кореспондентни појмови контекста CTX_i и CTX_j

НАПОМЕНА: На сликама у овом поглављу, ради јасноће представљања, ТКП су означени истом бојом.

$$\exists CTX_i \mid \{A_{CPT_k \leftrightarrow CPT_{k+1}}^{CTX_i}\} \in CTX_i \Rightarrow \{CPT_k\} \in CTX_i$$

$$\exists CTX_j \mid \{A_{CPT_l \leftrightarrow CPT_{l+1}}^{CTX_j}\} \in CTX_j \Rightarrow \{CPT_l\} \in CTX_j$$

такви да је $CPT_k = CPT_l \vee CPT_k \sim CPT_l \vee CPT_k \neq CPT_l$

4-2

$CPT_k^{CTX_i} \asymp CPT_l^{CTX_j}$ (су **ТКП**) ако

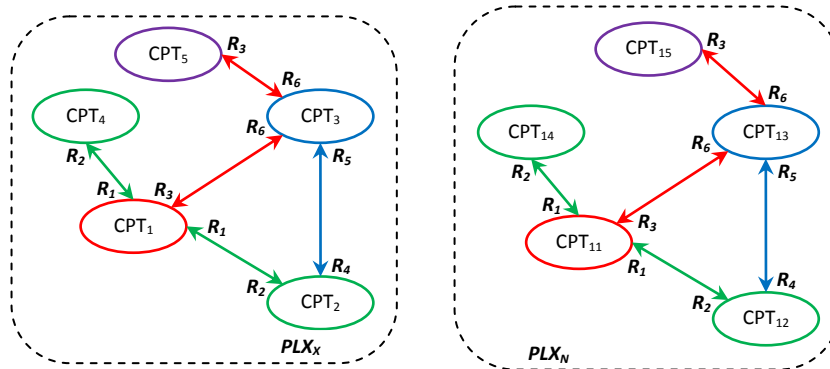
$r(CPT_k) = r(CPT_l)$ у свим ТКА:

$$A_{CPT_k \leftrightarrow CPT_{k+p}}^{CTX_i} \asymp A_{CPT_l \leftrightarrow CPT_{l+p}}^{CTX_j}, \quad p = 1, n.$$

4.1.1.2 Критеријуми за утврђивање тополошке аналогије сплетова или контекста

Критеријуми за утврђивање тополошке аналогије сплетова или контекста су представљени следећим условима који морају бити задовољени: 1) Одговарајуће асоцијације два тополошки аналогна сплета или контекста морају бити ТКА ових сплетова или контекста (оне такође морају имати исте смерове, узимајући у обзир одговарајуће појмове); 2) Одговарајући појмови два тополошки аналогна сплета или контекста морају бити ТКП ових сплетова или контекста; 3) Тополошки аналогни сплетови или контексти морају имати исту структуру (асоцијација).

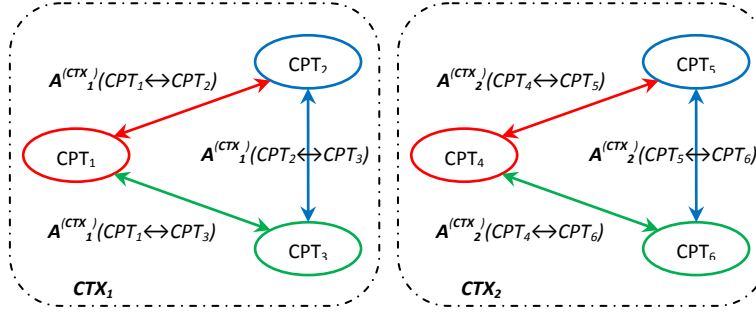
Два тополошки аналогна сплета су приказана на слици 4-4.



Слика 4-4 Сплетови PLX_X и PLX_N су тополошки аналогни

4.1.1.3 Врсте тополошких аналогних сплетова и контекста

Први подслучај тополошких аналогних сплетова и контекста јесте када су све асоцијације два различита сплета или контекста CTX_i и CTX_j *тополошки кореспондентне* и при томе су њихови појмови *тополошки кореспондентни*, с тим да између *ТКП* једног и другог контекста не постоје непосредне асоцијације (или веза у 1. или 2. колену) у општем или ширем контексту (слика 4-5 и израз 4-3). У овом случају ради се о *тополошки аналогним и семантички удаљеним* сплетовима, односно контекстима (Стојковић, 2011).



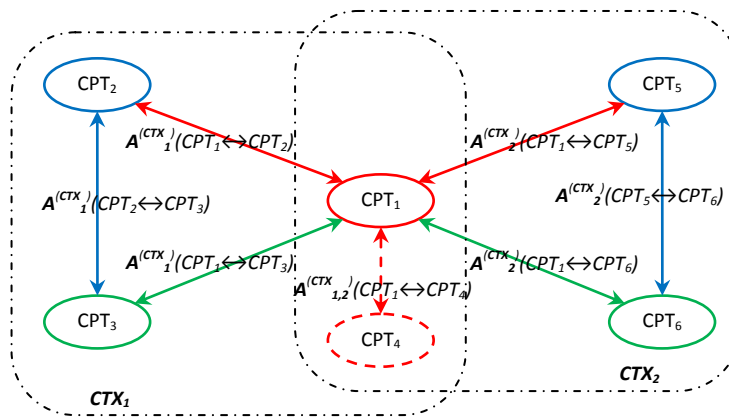
Слика 4-5 Тополошки аналогни семантички удаљени контексти

4-3

$$\exists CTX_i \mid \{CPT_k\} \in CTX_i \wedge \exists CTX_j \mid \{CPT_l\} \in CTX_j$$

1. такви да $\{CPT_k\} \notin CTX_j \wedge \{CPT_l\} \notin CTX_i$
2. такви да $\nexists A_{CPT_k \leftrightarrow CPT_l}^{CTX_0}$
3. такви да су $A_{CPT_k \leftrightarrow CPT_{k+1}}^{CTX_i} \asymp A_{CPT_l \leftrightarrow CPT_{l+1}}^{CTX_j} \wedge CPT_k^{CTX_i} \asymp CPT_l^{CTX_j}$

Други подслучај тополошки аналогних сплетова и контекста јесте када су све асоцијације два различита сплета или контекста CTX_i и CTX_j *тополошки кореспондентне* и њихови појмови *тополошки кореспондентни*, с тим да један или више тополошки кореспондентних појмова једног и другог сплета или контекста, али не и сви, припадају истовремено и CTX_i и CTX_j . Такође, овај случај је важећи и када једна или више, али не и све, ТКА једног и другог сплета или контекста, припадају истовремено и CTX_i и CTX_j (слика 4-6 и израз 4-4). У овом случају ради се о *тополошки аналогним и семантички блиским* сплетовима, односно контекстима (Стојковић, 2011).



Слика 4-6 Тополошки аналогни семантички блиски контексти

4-4

$$\exists CTX_i \mid \{CPT_k\} \in CTX_i \wedge \exists CTX_j \mid \{CPT_l\} \in CTX_j$$

$$1. \text{ такви да } \exists CPT_k \in CTX_j \vee \exists CPT_l \in CTX_i \vee$$

$$\vee \exists A_{CPT_k \leftrightarrow CPT_{k+1}}^{CTX_i} \in CTX_j \vee \exists A_{CPT_l \leftrightarrow CPT_{l+1}}^{CTX_j} \in CTX_i$$

$$2. \text{ такви да су } A_{CPT_k \leftrightarrow CPT_{k+1}}^{CTX_i} \asymp A_{CPT_l \leftrightarrow CPT_{l+1}}^{CTX_j} \wedge CPT_k^{CTX_i} \asymp CPT_l^{CTX_j}$$

4.1.2 Означавање сплетова асоцијација

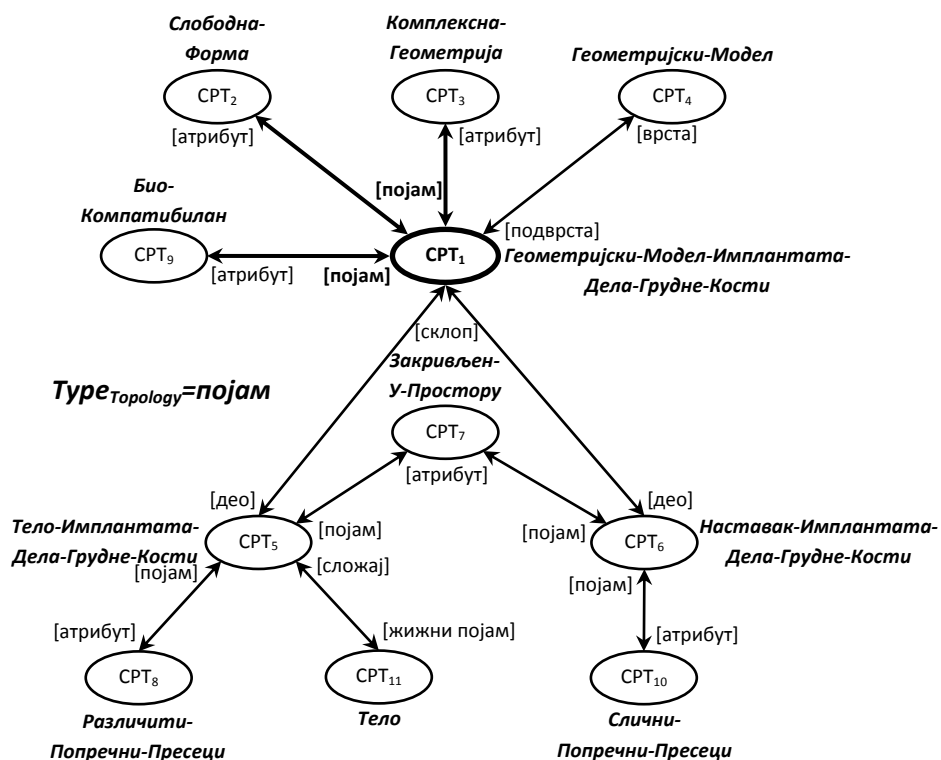
Сплетови асоцијација су један од семантичких елемената (основних састојака семантичких структура) АСМ-а. Преостали семантички елементи су: *симболи, појмови, ситуације, догађаји, контексти и асоцијације* (које повезују све остале семантичке елементе у семантичку мрежу). Сваки сплет асоцијација је, у мрежи АСМ-а, означен својим *називом, идентификационим бројем, називом врсте топологије и њеним идентификационим бројем* (израз 4-5). Назив сплета и назив врсте топологије сплета не морају да буду дефинисани од стране корисника (када се ради о сплетовима који нису настали са намером).

4-5

$$PLX : \{Name_{PLX}, ID_{PLX}, Type_{Topology}, ID_{Topology}\}; PLX_X \subseteq CTX_X$$

4.1.3 Врста и статистика топологије сплета

Топологију сплета, у контексту АСМ-а, није могуће у потпуности и прецизно описати у смислу бележења у оквиру неког система за складиштење података који би служио за смештање асоцијација и других елемената структуре АСМ-а. *Врста топологије сплета* (представљена *називом* (опционо) и *идентификационим бројем* (погледати претходно поглавље)) служи само за бележење утврђене тополошке аналогије. Утврђена тополошка аналогија два сплета се бележи тако што се и једном и другом сплету придружује иста врста топологије сплета. *Назив врсте топологије сплета*, уколико није дефинисан од стране корисника, АСМ може да одреди анализирајући асоцијације сплета и то тако што ће пронаћи појам који учествује у највећем броју асоцијација сплета, затим пронаћи улогу коју тај појам има у највећем броју асоцијација сплета и коначно назив те улоге прогласити називом врсте топологије сплета (слика 4-7). Овај податак ће послужити да се у будућим случајевима утврђивања тополошки аналогних сплетова сузи простор претраживања и самим тим убрза поступак.



Слика 4-7 Одређивање назива врсте топологије сплета од стране ACM-а

Статистика топологије сплета представља делимичан опис топологије сплета и садржи следеће податке:

- број асоцијација,
- број семантичких елемената (чланова асоцијација (рецимо појмова)),
- бројеве семантичких елемената који учествују у једној („гранични“ семантички елементи), две, три, ... асоцијације,
- различите типове асоцијација који се јављају укључујући и број асоцијација сваког типа,
- број асоцијација позитивног/негативног карактера, и
- број асоцијација смера $\leftrightarrow$.

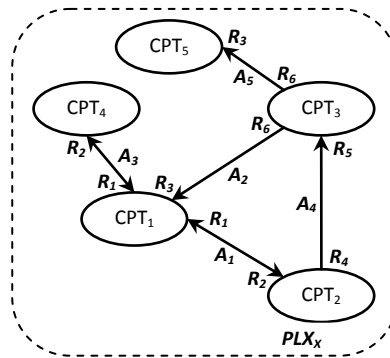
Истоветност статистика топологије сплета је само потребан, али не и довољан услов за постојање тополошке аналогije између сплетова. Другим речима једној врсти топологије сплета одговара тачно једна статистика топологије сплета, док једној статистици топологије сплета може да одговара више врста топологије сплета.

Статистика топологије сплета ће послужити да се у будућим случајевима утврђивања тополошки аналогних сплетова сузи простор претраживања и самим тим убрза поступак. У таквим случајевима би се проналазили претходно анализирани сплетови чији су статистика топологије и назив врсте топологије сплета истоветни статистици топологије и називу врсте топологије улазног сплета или његових фрагмената и утврђивање тополошки аналогних

сплетова би се вршило само за те пронађене сплетове или пак контексте чији су они подскуп. Ако је неки од претходно анализираних сплетова тополошки аналоган улазном сплету или неком његовом фрагменту, онда он мора имати идентичну статистику топологије сплета (а за очекивати је да има и идентичан назив врсте топологије сплета) као и тај улазни сплет или неки његов фрагмент. Обзиром да се овакав приступ сужавању простора претраживања базира на анализи резултата претходно спроведених поступака утврђивања тополошки аналогних сплетова, то ће ефикасност сужавања простора претраживања зависити од броја претходно спроведених поступака. Уколико корисник не буде био задовољан резултатима утврђивања тополошки аналогних сплетова над суженим простором претраживања, он може од АСМ-а захтевати да утврђивање тополошки аналогних сплетова изврши над остатком АСМ-ове мреже (сви контексти сем контекста чији је подскуп улазни сплет), односно над комплетним простором претраживања.

Статистика топологије сплета приказаног на слици 4-8 (асоцијације сплета су дате у табели 4-1) садржи следеће податке:

- Број асоцијација: 5
- Број семантичких елемената: 5
- Број семантичких елемената који учествују у:
 - једној асоцијацији: 2
 - две асоцијације: 1
 - три асоцијације: 2
- Различити типови асоцијација:
 - Припадност; број асоцијација: 2
 - Класификациони (Хијерархијски); број асоцијација: 1
 - Атрибутски; број асоцијација: 2
- Карактери асоцијација:
 - број асоцијација позитивног карактера: 3
 - број асоцијација негативног карактера: 2
- Број асоцијација смера $\leftrightarrow$: 2



Слика 4-8 Сплет за који се одређује статистика топологије

Табела 4-1 Асоцијације сплета за који се одређује статистика топологије

ID	Члан 1	Улога 1	Тип	Улога 2	Члан 2	Тачност	Смер	Значај	Карактер	Сплет
A ₁	CPT ₁	Појам	Атрибутски	Атрибут	CPT ₂	1	↔	0,75	+	PLX _x
A ₂	CPT ₁	Склоп	Припадност	Део	CPT ₃	0,75	←	1	+	PLX _x
A ₃	CPT ₁	Појам	Атрибутски	Атрибут	CPT ₄	1	↔	0,5	-	PLX _x
A ₄	CPT ₂	Подврста	Класификациони	Врста	CPT ₃	1	→	1	-	PLX _x
A ₅	CPT ₃	Део	Припадност	Склоп	CPT ₅	0,5	→	1	+	PLX _x

4.1.4 Представљање контекста АСМ-а као графова

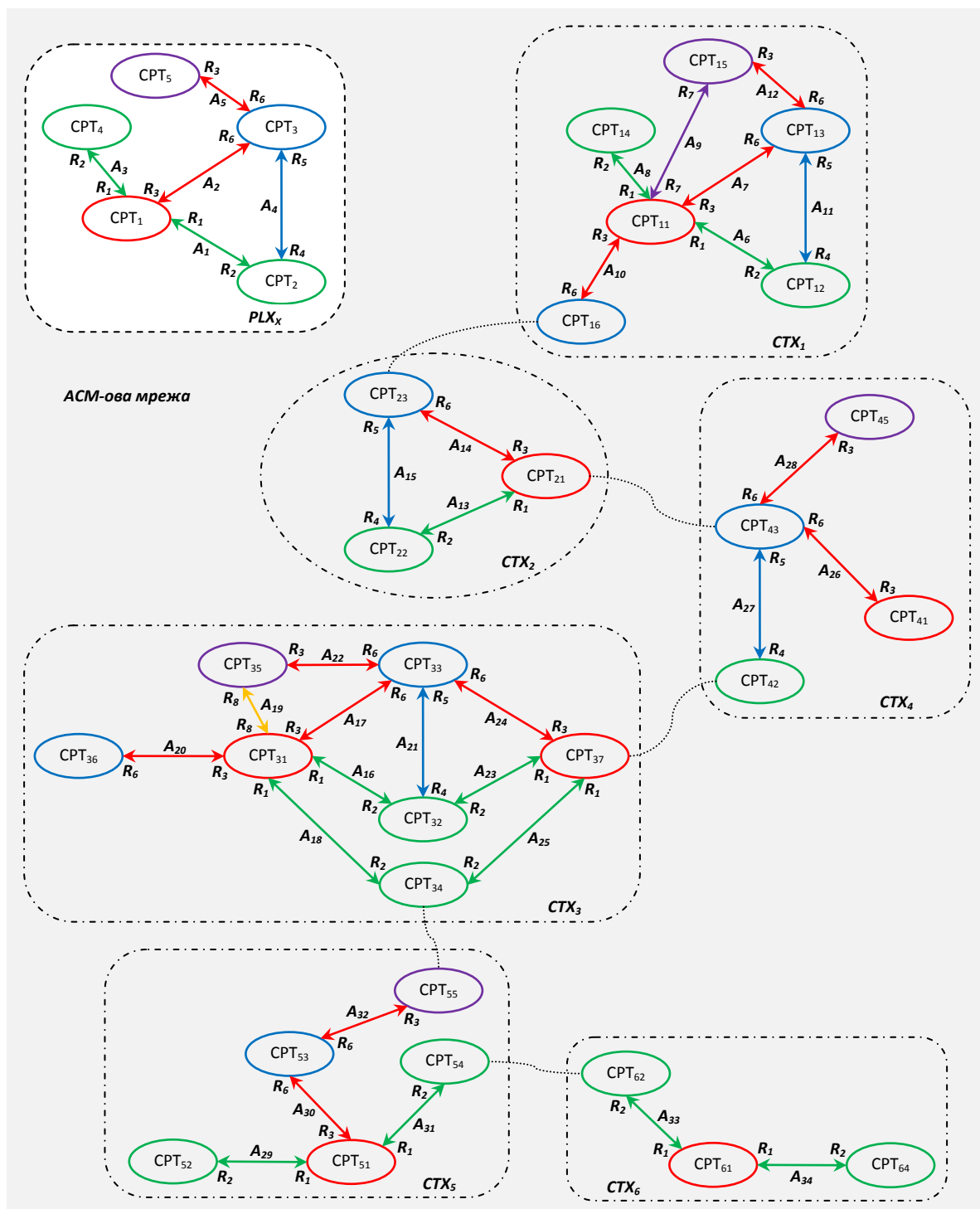
Семантичка мрежа АСМ-а, која се састоји од асоцијација организованих у контексте, се може представити као скуп графова. Чворови графа (појмови) су означени само једним атрибутом, а то је *назив*. Усмерене ивице графа (асоцијације) су означене са седам атрибута: *контекст*, *улога₁*, *тип*, *карактер*, *тачност*, *значај*, *улога₂*. Атрибути *улога₁* и *улога₂* се односе на чворове повезане ивицом.

Граф који представља контекст у семантичкој мрежи АСМ-а се може категоризовати као *означен усмерен мултиграф са јединственим ознакама чворова*. Пошто је сплет асоцијација у АСМ-у подскуп контекста, то се исти може сматрати подграфом графа који представља тај контекст. Имајући то у виду, препознавање тополошки аналогних сплетова или контекста у семантичкој мрежи АСМ-а се може окарактерисати као проблем *прецизног поклапања графова*. Овај проблем је уско повезан са проблемом утврђивања *изоморфности (под)графова*. Изморфни графови су идентични по питању структуре и ознака (ивица и чворова графа). Тополошки аналогни сплетови и контексти у семантичкој мрежи АСМ-а су идентични по питању врсте или класе топологије и структуре. Називи појмова ових сплетова не морају бити идентични. Само део параметара (тополошки параметри) асоцијација ових сплетова мора имати идентичне вредности. Имајући ово у виду, може се констатовати да је проблем утврђивања тополошки аналогних сплетова и контекста тежи за решавање од проблема утврђивања изоморфности графова.

Главни циљ приликом утврђивања тополошке аналогије сплетова или контекста у АСМ-у је проналажење максималних делова (у смислу броја асоцијација (ивица графа)) два сплета или контекста који су тополошки аналогни, што упућује на проблем утврђивања *максималног заједничког подграфа*. Коначно се може закључити да се у области теорије графова утврђивање тополошки аналогних сплетова или контекста може категоризовати као *утврђивање максималног заједничког подграфа два означена усмерена мултиграфа са јединственим ознакама чворова*. У случају када се утврђивање тополошки аналогних сплетова и контекста посматра као један од подпроцеса (*проналажење сличног случаја*) процеса закључивања на основу случајева или закључивања по аналогији, може се говорити о *утврђивању максималног заједничког подграфа улазног графа и сваког од преосталих графова* семантичке мреже АСМ-а.

4.1.5 Пример

У примеру приказаном на слици 4-9 је представљен случај када алгоритми когнитивне обраде података АСМ-а самостално проналазе тополошке аналогне сплетове *улазном* сплету, дефинисаном од стране корисника, или његовим фрагментима. На почетку корисник упознаје АСМ са новом ситуацијом, односно сплетом асоцијација PLX_x . Приликом креирања сплета корисник ствара везе између појмова који могу бити „познати“ и/или „непознати“ АСМ-у. Такође, приликом креирања новог сплета, корисник ствара и асоцијацију ка мотиву (појму који има улогу мотива) и тиме додатно усмерава семантичку интерпретацију новог сплета.



Слика 4-9 Препознавање тополошки аналогних сплетова улазном сплету и његовим фрагментима

Приликом претраживања мреже и проналажења тополошки аналогних сплетова се узима у обзир припадност асоцијације сплету, односно контексту. То значи да је неопходно задовољити услов да све асоцијације пронађеног тополошки аналогног сплета припадају истом контексту. ACM проналази тополошки аналогне сплетове, односно утврђује тополошку аналогију између улазног сплета и постојећих сплетова, на основу поклапања тополошких параметара асоцијација – улога појмова, а самим тим и типа асоцијације, затим

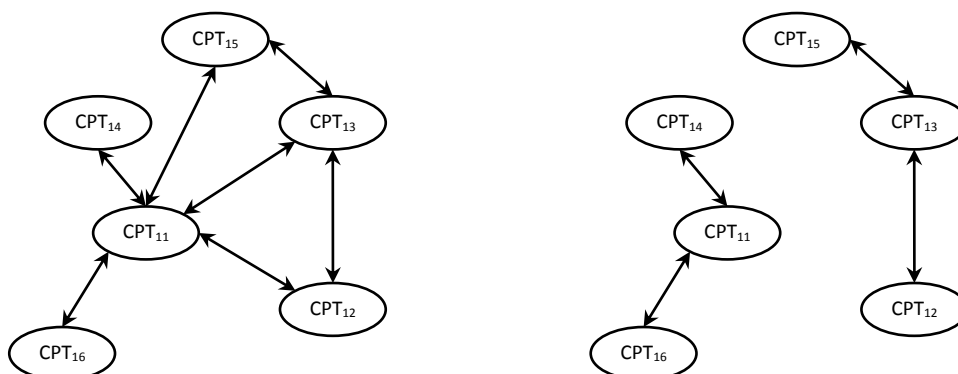
смера и коначно карактера асоцијације. Паралелно са анализом тополошких параметара асоцијација се врши и рафинација асоцијација остатка АСМ-ове мреже према тежинским параметрима (тачност и значај асоцијације). Другим речима поред поклапања тополошких параметара асоцијација је неопходно да и разлика вредности њихових тежинских параметара буде мала.

Број асоцијација у пронађеним тополошки аналогним сплетовима треба да буде 80% или више од броја асоцијација улазног сплета (80% од броја асоцијација улазног сплета представља такозвани *праг тополошке аналогije*). Ова редукција је неопходна ради повећања ефикасности процеса претраживања, као и због чињенице да препознати тополошки аналогни сплетови са малим бројем асоцијација (са две или три асоцијације, на пример) нису корисни за даљу когнитивну обраду података.

Битно је обратити пажњу на то да ће приликом утврђивања тополошки аналогних сплетова са једне стране бити разматран сплет асоцијација PLX_X који припада контексту CTX_X , а са друге стране остатак АСМ-ове мреже (што одговара *простору претраживања*), односно све асоцијације мреже сем оних које припадају контексту CTX_X .

4.1.5.1 Општи алгоритам за „низање“ непрекинутих сплетова

Веома важан алгоритам који се користи у оквиру поступка утврђивања тополошки аналогних сплетова је општи алгоритам за „низање“ *непрекинутих сплетова*. „Низање“ сплетова подразумева креирање свих могућих сплетова над улазним скупом асоцијација. *Непрекинути сплет* је сплет код кога је сваки појам сплета повезан (преко једне или више асоцијација) са било којим другим појмом сплета – погледати слику 4-10. Алгоритам се назива општим због тога што се може применити на било који произвољан скуп асоцијација или других елемената структуре графа.



Слика 4-10 Разлика између непрекинутог сплета (лево) и случаја десно који се може охарактерисати као комбинација два непрекинута сплета, а не као непрекинути сплет

Општи алгоритам за „низање“ непрекинутих сплетова као улаз прихвата скуп асоцијација за које треба проверити да ли се и како „нижу“, односно пронаћи непрекинуте

сплетове чије асоцијације представљају у општем случају подкуп улазног скупа асоцијација (може се десити да један од пронађених непрекинутих сплетова садржи све асоцијације улазног скупа асоцијација). Улаз може бити скуп асоцијација улазног сплета или било који произвољан скуп асоцијација. Излаз из овог алгоритма јесте скуп непрекинутих сплетова који су добијени „низањем“ асоцијација улазног скупа, при чему је број асоцијација добијених непрекинутих сплетова једнак или већи од прага тополошке аналогije.

Дакле, улаз је представљен скупом асоцијација:

$$A_i : (CPT_i, CPT_j)$$

$$A_j : (CPT_i, CPT_k)$$

$$A_k : (CPT_i, CPT_l)$$

⋮

$$A_u : (CPT_k, CPT_m)$$

Низање непрекинутих сплетова се врши кроз више итерација. Улаз за прву итерацију су асоцијације улазног скупа. У првој итерацији се креирају све комбинације од по две различите асоцијације улазног скупа и за сваку комбинацију утврђује да ли постоји пресек асоцијација (пресек постоји уколико је један појам члан обе асоцијације у комбинацији). Уколико пресек постоји ствара се непрекинути сплет, а уколико не постоји прелази се на следећу комбинацију (израз 4-6). Уколико се пронађени непрекинути сплет понавља прелази се на следећу комбинацију без стварања непрекинутог сплета. На овај начин бивају пронађени непрекинути сплетови који се састоје од само две повезане асоцијације (*елементарни сплетови*).

$$A_i \cap A_j \neq \emptyset$$

$$i, j \in \{1, 2, \dots, u\}$$

$$i \neq j$$

4-6

$$PLX_{1a} : (A_i, A_j) = A_i \cup A_j$$

$$a \in \{1, 2, \dots, b\}$$

Улаз за другу и све остале итерације јесте скуп непрекинутих сплетова који су били пронађени у претходној итерацији. Укупан број итерација је за један мањи од броја асоцијација улазног скупа. У другој и осталим итерацијама се креирају све комбинације од по два непрекинута сплета из претходне итерације и за сваку комбинацију утврђује да ли постоји пресек непрекинутих сплетова (пресек постоји уколико су једна или више асоцијација чланови оба непрекинута сплета у комбинацији) (израз 4-7). Уколико пресек постоји ствара се непрекинути сплет, а уколико не постоји прелази се на следећу

комбинацију. Ако се пронађени непрекинути сплет понавља прелази се на следећу комбинацију без стварања непрекинутог сплета. Може се десити да се у једној итерацији пронађе непрекинути сплет чији је ред виши од реда који одговара тој итерацији (на пример, у трећој итерацији је пронађен непрекинути сплет који има пет асоцијација). Уколико се ради о претпоследњој итерацији непрекинути сплет се ствара и не користи се као део улаза за следећу итерацију. У свим осталим случајевима се непрекинути сплет ствара и користи се као део улаза за следећу итерацију.

$$PLX_{1c} \cap PLX_{1d} \neq \emptyset$$

$$c, d \in \{1, 2, \dots, b\}$$

$$c \neq d$$

4-7

$$PLX_{2e} : (A_i, A_j, A_k) = PLX_{1c} \cup PLX_{1d}$$

$$e \in \{1, 2, \dots, f\}$$

У последњој итерацији неће бити пронађен ниједан непрекинути сплет или ће бити пронађен непрекинути сплет чији је број асоцијација једнак броју асоцијација улазног скупа (израз 4-8).

$$PLX_{(u-2)p} \cap PLX_{(u-2)r} \neq \emptyset$$

$$p, r \in \{1, 2, \dots, v\}$$

$$p \neq r$$

4-8

$$PLX_{(u-1)s} : (A_i, A_j, A_k, A_l, \dots) = PLX_{(u-2)p} \cup PLX_{(u-2)r}$$

$$s \in \{1, 2, \dots, t\}$$

Обзиром да се очекује да ће приликом „низања“ непрекинутих сплетова по овом алгоритму бити пронађено јакно пуно непрекинутих сплетова са две или три асоцијације, односно са малим бројем асоцијација, на крају алгоритма се врши редукција скупа непрекинутих сплетова тако што се задржавају само непрекинути сплетови чији је број асоцијација једнак или већи од прага тополошке аналогije (израз 4-9).

4-9

$$PLX_{vw} \wedge PLX_{(v+1)x} \wedge \dots \wedge PLX_{(u-1)s}$$

$$v \geq \text{round}(0,8(u-1))$$

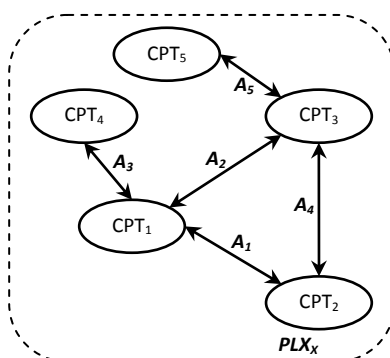
4.1.5.1.1 „Низање“ непрекинутих сплетова над улазним сплетом

„Низање“ непрекинутих сплетова по претходно описаном алгоритму ће бити демонстрирано на примеру улазног сплета (слика 4-11). Асоцијације улазног сплета (улазни скуп

асоцијација) су приказане у табели 4-2 и представљају улаз у прву итерацију. У првој итерацији се приликом низања анализирају само чланови асоцијације.

Табела 4-2 Асоцијације улазног сплета

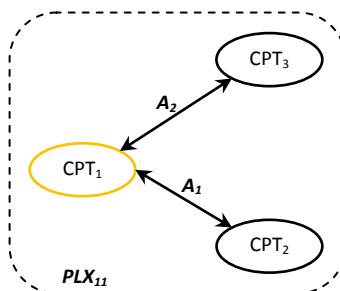
ID	Члан 1	Члан 2
A ₁	CPT ₁	CPT ₂
A ₂	CPT ₁	CPT ₃
A ₃	CPT ₁	CPT ₄
A ₄	CPT ₂	CPT ₃
A ₅	CPT ₃	CPT ₅



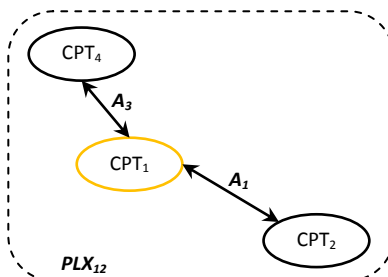
Слика 4-11 Асоцијације улазног сплета

Прва итерација:

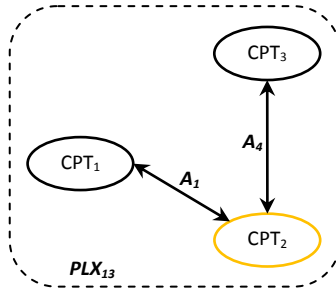
$A_1 \cap A_2 = CPT_1 \neq \emptyset \rightarrow PLX_{11} : (A_1, A_2) = A_1 \cup A_2$ / ствара се непрекинути сплет PLX_{11} који се састоји од асоцијација A_1 и A_2



$A_1 \cap A_3 = CPT_1 \neq \emptyset \rightarrow PLX_{12} : (A_1, A_3) = A_1 \cup A_3$



$$A_1 \cap A_4 = CPT_2 \neq \emptyset \rightarrow PLX_{13} : (A_1, A_4) = A_1 \cup A_4$$



$A_1 \cap A_5 = \emptyset$ / иде се на следећи пар

$$A_2 \cap A_3 = CPT_1 \neq \emptyset \rightarrow PLX_{14} : (A_2, A_3) = A_2 \cup A_3$$

$$A_2 \cap A_4 = CPT_3 \neq \emptyset \rightarrow PLX_{15} : (A_2, A_4) = A_2 \cup A_4$$

$$A_2 \cap A_5 = CPT_3 \neq \emptyset \rightarrow PLX_{16} : (A_2, A_5) = A_2 \cup A_5$$

$$A_3 \cap A_4 = \emptyset$$

$$A_3 \cap A_5 = \emptyset$$

$$A_4 \cap A_5 = CPT_3 \neq \emptyset \rightarrow PLX_{17} : (A_4, A_5) = A_4 \cup A_5$$

Улаз за другу итерацију:

$$PLX_{11} : (A_1, A_2)$$

$$PLX_{12} : (A_1, A_3)$$

$$PLX_{13} : (A_1, A_4)$$

$$PLX_{14} : (A_2, A_3)$$

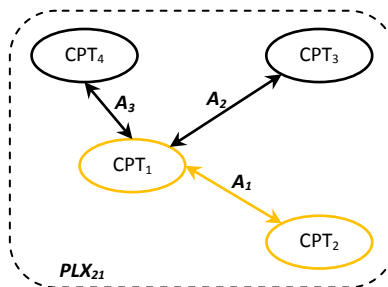
$$PLX_{15} : (A_2, A_4)$$

$$PLX_{16} : (A_2, A_5)$$

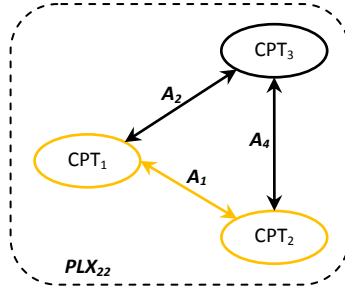
$$PLX_{17} : (A_4, A_5)$$

Друга итерација:

$$PLX_{11} \cap PLX_{12} = A_1 \neq \emptyset \rightarrow PLX_{21} : (A_1, A_2, A_3) = PLX_{11} \cup PLX_{12}$$



$$PLX_{11} \cap PLX_{13} = A_1 \neq \emptyset \rightarrow PLX_{22} : (A_1, A_2, A_4) = PLX_{11} \cup PLX_{13}$$



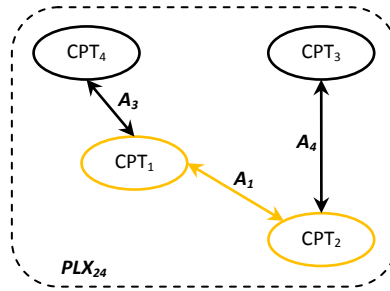
$PLX_{11} \cap PLX_{14} = A_2 \neq \emptyset \rightarrow (A_1, A_2, A_3) = PLX_{11} \cup PLX_{14} = PLX_{21}$ / ако се сплет понавља иде се на следећи пар без стварања новог сплета

$$PLX_{11} \cap PLX_{15} = A_2 \neq \emptyset \rightarrow (A_1, A_2, A_4) = PLX_{11} \cup PLX_{15} = PLX_{22}$$

$$PLX_{11} \cap PLX_{16} = A_2 \neq \emptyset \rightarrow PLX_{23} : (A_1, A_2, A_5) = PLX_{11} \cup PLX_{16}$$

$$PLX_{11} \cap PLX_{17} = \emptyset$$

$$PLX_{12} \cap PLX_{13} = A_1 \neq \emptyset \rightarrow PLX_{24} : (A_1, A_3, A_4) = PLX_{12} \cup PLX_{13}$$



$$PLX_{12} \cap PLX_{14} = A_3 \neq \emptyset \rightarrow (A_1, A_2, A_3) = PLX_{12} \cup PLX_{14} = PLX_{21}$$

$$PLX_{12} \cap PLX_{15} = \emptyset$$

$$PLX_{12} \cap PLX_{16} = \emptyset$$

$$PLX_{12} \cap PLX_{17} = \emptyset$$

$$PLX_{13} \cap PLX_{14} = \emptyset$$

$$PLX_{13} \cap PLX_{15} = A_4 \neq \emptyset \rightarrow (A_1, A_2, A_4) = PLX_{13} \cup PLX_{15} = PLX_{22}$$

$$PLX_{13} \cap PLX_{16} = \emptyset$$

$$PLX_{13} \cap PLX_{17} = A_4 \neq \emptyset \rightarrow PLX_{25} : (A_1, A_4, A_5) = PLX_{13} \cup PLX_{17}$$

$$PLX_{14} \cap PLX_{15} = A_2 \neq \emptyset \rightarrow PLX_{26} : (A_2, A_3, A_4) = PLX_{14} \cup PLX_{15}$$

$$PLX_{14} \cap PLX_{16} = A_2 \neq \emptyset \rightarrow PLX_{27} : (A_2, A_3, A_5) = PLX_{14} \cup PLX_{16}$$

$$PLX_{14} \cap PLX_{17} = \emptyset$$

$$PLX_{15} \cap PLX_{16} = A_2 \neq \emptyset \rightarrow PLX_{28} : (A_2, A_4, A_5) = PLX_{15} \cup PLX_{16}$$

$$PLX_{15} \cap PLX_{17} = A_4 \neq \emptyset \rightarrow (A_2, A_4, A_5) = PLX_{15} \cup PLX_{16} = PLX_{28}$$

$$PLX_{16} \cap PLX_{17} = A_5 \neq \emptyset \rightarrow (A_2, A_4, A_5) = PLX_{16} \cup PLX_{17} = PLX_{28}$$

Улаз за трећу итерацију:

$$PLX_{21} : (A_1, A_2, A_3)$$

$$PLX_{22} : (A_1, A_2, A_4)$$

$$PLX_{23} : (A_1, A_2, A_5)$$

$$PLX_{24} : (A_1, A_3, A_4)$$

$$PLX_{25} : (A_1, A_4, A_5)$$

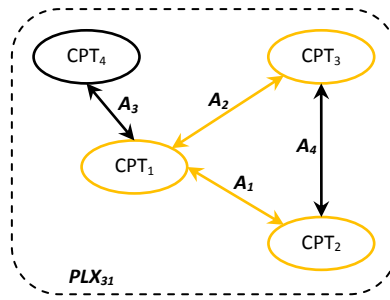
$$PLX_{26} : (A_2, A_3, A_4)$$

$$PLX_{27} : (A_2, A_3, A_5)$$

$$PLX_{28} : (A_2, A_4, A_5)$$

Трећа итерација:

$$PLX_{21} \cap PLX_{22} = (A_1, A_2) \neq \emptyset \rightarrow PLX_{31} : (A_1, A_2, A_3, A_4) = PLX_{21} \cup PLX_{22}$$



$$PLX_{21} \cap PLX_{23} = (A_1, A_2) \neq \emptyset \rightarrow PLX_{32} : (A_1, A_2, A_3, A_5) = PLX_{21} \cup PLX_{23}$$

$$PLX_{21} \cap PLX_{24} = (A_1, A_3) \neq \emptyset \rightarrow (A_1, A_2, A_3, A_4) = PLX_{21} \cup PLX_{24} = PLX_{31}$$

$$PLX_{21} \cap PLX_{25} = A_1 \neq \emptyset \rightarrow PLX_{41} : (A_1, A_2, A_3, A_4, A_5) = PLX_{21} \cup PLX_{25}$$

$$PLX_{21} \cap PLX_{26} = (A_2, A_3) \neq \emptyset \rightarrow (A_1, A_2, A_3, A_4) = PLX_{21} \cup PLX_{26} = PLX_{31}$$

$$PLX_{21} \cap PLX_{27} = (A_2, A_3) \neq \emptyset \rightarrow (A_1, A_2, A_3, A_5) = PLX_{21} \cup PLX_{27} = PLX_{32}$$

$$PLX_{21} \cap PLX_{28} = A_2 \neq \emptyset \rightarrow (A_1, A_2, A_3, A_4, A_5) = PLX_{21} \cup PLX_{28} = PLX_{41}$$

$$PLX_{22} \cap PLX_{23} = (A_1, A_2) \neq \emptyset \rightarrow PLX_{33} : (A_1, A_2, A_4, A_5) = PLX_{22} \cup PLX_{23}$$

$$PLX_{22} \cap PLX_{24} = (A_1, A_4) \neq \emptyset \rightarrow (A_1, A_2, A_3, A_4) = PLX_{22} \cup PLX_{24} = PLX_{31}$$

$$PLX_{22} \cap PLX_{25} = (A_1, A_4) \neq \emptyset \rightarrow (A_1, A_2, A_4, A_5) = PLX_{22} \cup PLX_{25} = PLX_{33}$$

$$PLX_{22} \cap PLX_{26} = (A_2, A_4) \neq \emptyset \rightarrow (A_1, A_2, A_3, A_4) = PLX_{22} \cup PLX_{26} = PLX_{31}$$

$$PLX_{22} \cap PLX_{27} = A_2 \neq \emptyset \rightarrow (A_1, A_2, A_3, A_4, A_5) = PLX_{22} \cup PLX_{27} = PLX_{41}$$

$$\begin{aligned}
PLX_{22} \cap PLX_{28} &= (A_2, A_4) \neq \emptyset \rightarrow (A_1, A_2, A_4, A_5) = PLX_{22} \cup PLX_{28} = PLX_{33} \\
PLX_{23} \cap PLX_{24} &= A_1 \neq \emptyset \rightarrow (A_1, A_2, A_3, A_4, A_5) = PLX_{23} \cup PLX_{24} = PLX_{41} \\
PLX_{23} \cap PLX_{25} &= (A_1, A_5) \neq \emptyset \rightarrow (A_1, A_2, A_4, A_5) = PLX_{23} \cup PLX_{25} = PLX_{33} \\
PLX_{23} \cap PLX_{26} &= A_2 \neq \emptyset \rightarrow (A_1, A_2, A_3, A_4, A_5) = PLX_{23} \cup PLX_{26} = PLX_{41} \\
PLX_{23} \cap PLX_{27} &= (A_2, A_5) \neq \emptyset \rightarrow (A_1, A_2, A_3, A_5) = PLX_{23} \cup PLX_{27} = PLX_{32} \\
PLX_{23} \cap PLX_{28} &= (A_2, A_5) \neq \emptyset \rightarrow (A_1, A_2, A_4, A_5) = PLX_{23} \cup PLX_{28} = PLX_{33} \\
PLX_{24} \cap PLX_{25} &= (A_1, A_4) \neq \emptyset \rightarrow PLX_{34} : (A_1, A_3, A_4, A_5) = PLX_{24} \cup PLX_{25} \\
PLX_{24} \cap PLX_{26} &= (A_3, A_4) \neq \emptyset \rightarrow (A_1, A_2, A_3, A_4) = PLX_{24} \cup PLX_{26} = PLX_{31} \\
PLX_{24} \cap PLX_{27} &= A_3 \neq \emptyset \rightarrow (A_1, A_2, A_3, A_4, A_5) = PLX_{24} \cup PLX_{27} = PLX_{41} \\
PLX_{24} \cap PLX_{28} &= A_4 \neq \emptyset \rightarrow (A_1, A_2, A_3, A_4, A_5) = PLX_{24} \cup PLX_{28} = PLX_{41} \\
PLX_{25} \cap PLX_{26} &= A_4 \neq \emptyset \rightarrow (A_1, A_2, A_3, A_4, A_5) = PLX_{25} \cup PLX_{26} = PLX_{41} \\
PLX_{25} \cap PLX_{27} &= A_5 \neq \emptyset \rightarrow (A_1, A_2, A_3, A_4, A_5) = PLX_{25} \cup PLX_{27} = PLX_{41} \\
PLX_{25} \cap PLX_{28} &= (A_4, A_5) \neq \emptyset \rightarrow (A_1, A_2, A_4, A_5) = PLX_{25} \cup PLX_{28} = PLX_{33} \\
PLX_{26} \cap PLX_{27} &= (A_2, A_3) \neq \emptyset \rightarrow PLX_{35} : (A_2, A_3, A_4, A_5) = PLX_{26} \cup PLX_{27} \\
PLX_{26} \cap PLX_{28} &= (A_2, A_4) \neq \emptyset \rightarrow (A_2, A_3, A_4, A_5) = PLX_{26} \cup PLX_{28} = PLX_{35} \\
PLX_{27} \cap PLX_{28} &= (A_2, A_5) \neq \emptyset \rightarrow (A_2, A_3, A_4, A_5) = PLX_{27} \cup PLX_{28} = PLX_{35}
\end{aligned}$$

Као излаз из треће итерације је добијен и непрекинути сплет $PLX_{41} : (A_1, A_2, A_3, A_4, A_5)$ који се састоји од пет асоцијација (сплет вишег реда) и који неће бити део улаза за четврту итерацију, али ће бити укључен у резултате.

Улаз за четврту итерацију:

$$\begin{aligned}
PLX_{31} &: (A_1, A_2, A_3, A_4) \\
PLX_{32} &: (A_1, A_2, A_3, A_5) \\
PLX_{33} &: (A_1, A_2, A_4, A_5) \\
PLX_{34} &: (A_1, A_3, A_4, A_5) \\
PLX_{35} &: (A_2, A_3, A_4, A_5)
\end{aligned}$$

Четврта итерација:

$$\begin{aligned}
PLX_{31} \cap PLX_{32} &= (A_1, A_2, A_3) \neq \emptyset \rightarrow (A_1, A_2, A_3, A_4, A_5) = PLX_{31} \cup PLX_{32} = PLX_{41} \\
PLX_{31} \cap PLX_{33} &= (A_1, A_2, A_4) \neq \emptyset \rightarrow (A_1, A_2, A_3, A_4, A_5) = PLX_{31} \cup PLX_{33} = PLX_{41}
\end{aligned}$$

$$PLX_{31} \cap PLX_{34} = (A_1, A_3, A_4) \neq \emptyset \rightarrow (A_1, A_2, A_3, A_4, A_5) = PLX_{31} \cup PLX_{34} = PLX_{41}$$

$$PLX_{31} \cap PLX_{35} = (A_2, A_3, A_4) \neq \emptyset \rightarrow (A_1, A_2, A_3, A_4, A_5) = PLX_{31} \cup PLX_{35} = PLX_{41}$$

$$PLX_{32} \cap PLX_{33} = (A_1, A_2, A_5) \neq \emptyset \rightarrow (A_1, A_2, A_3, A_4, A_5) = PLX_{32} \cup PLX_{33} = PLX_{41}$$

$$PLX_{32} \cap PLX_{34} = (A_1, A_3, A_5) \neq \emptyset \rightarrow (A_1, A_2, A_3, A_4, A_5) = PLX_{32} \cup PLX_{34} = PLX_{41}$$

$$PLX_{32} \cap PLX_{35} = (A_2, A_3, A_5) \neq \emptyset \rightarrow (A_1, A_2, A_3, A_4, A_5) = PLX_{32} \cup PLX_{35} = PLX_{41}$$

$$PLX_{33} \cap PLX_{34} = (A_1, A_4, A_5) \neq \emptyset \rightarrow (A_1, A_2, A_3, A_4, A_5) = PLX_{33} \cup PLX_{34} = PLX_{41}$$

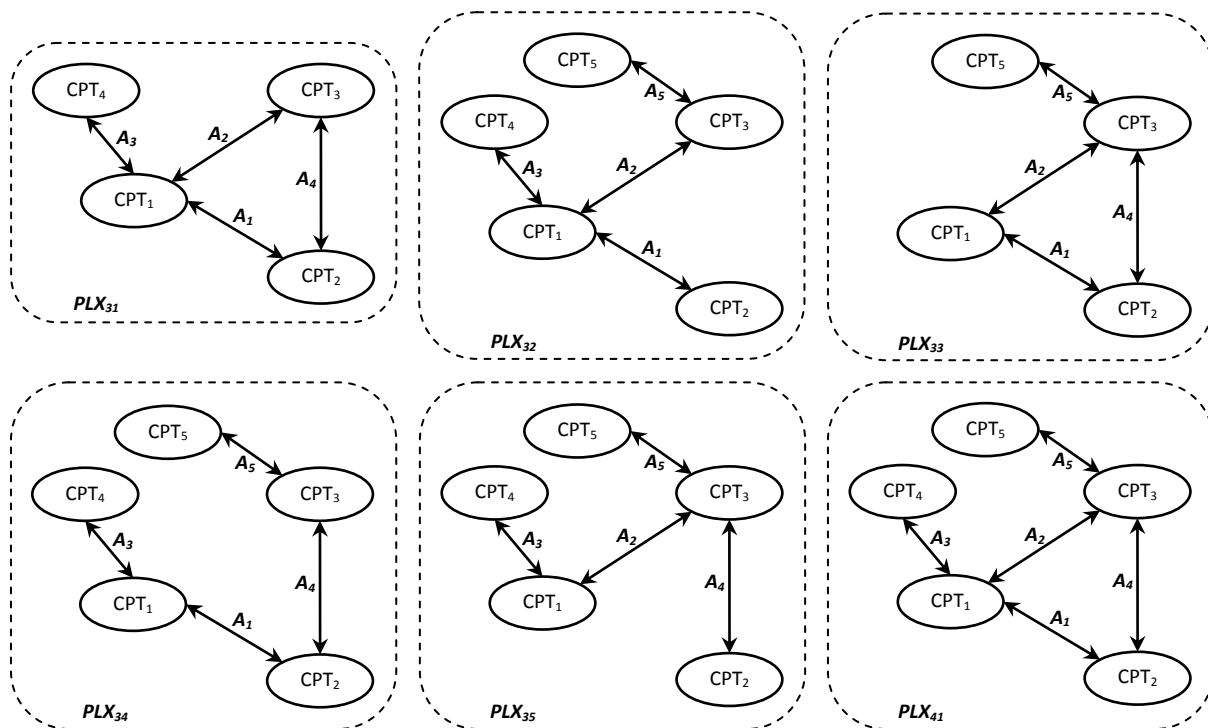
$$PLX_{33} \cap PLX_{35} = (A_2, A_4, A_5) \neq \emptyset \rightarrow (A_1, A_2, A_3, A_4, A_5) = PLX_{33} \cup PLX_{35} = PLX_{41}$$

$$PLX_{34} \cap PLX_{35} = (A_3, A_4, A_5) \neq \emptyset \rightarrow (A_1, A_2, A_3, A_4, A_5) = PLX_{34} \cup PLX_{35} = PLX_{41}$$

Скуп непрекинутих сплетова добијених „низањем“ асоцијација улазног сплета, чији је број асоцијација једнак или већи од прага тополошке аналогije (у овом случају је то 4 или више асоцијација), је приказан у табели 4-3 и на слици 4-12:

Табела 4-3 Редукован скуп непрекинутих сплетова насталих „низањем“ асоцијација улазног сплета

A_1	A_2	A_3	A_4	0	PLX_{31}
A_1	A_2	A_3	0	A_5	PLX_{32}
A_1	A_2	0	A_4	A_5	PLX_{33}
A_1	0	A_3	A_4	A_5	PLX_{34}
0	A_2	A_3	A_4	A_5	PLX_{35}
A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	PLX_{41}



Слика 4-12 Редукован скуп непрекинутих сплетова насталих „низањем“ асоцијација улазног сплета

4.1.5.2 Обрада улазног сплета

Обрада улазног сплета

$$A_{CPT_i \leftrightarrow CPT_j} \in PLX_X$$

$$PLX_X \subset CTX_X$$

који чине асоцијације

$$A_{CPT_i \leftrightarrow CPT_j}^{CTX_X}$$

$$A_{CPT_m \leftrightarrow CPT_n}^{CTX_X}$$

$$A_{CPT_r \leftrightarrow CPT_s}^{CTX_X}$$

...

...

подразумева „низање“ непрекинутих сплетова по претходно описаном алгоритму, а као производ се добија скуп непрекинутих сплетова чији је број асоцијација једнак или већи од прага тополошке аналогije. Овај скуп непрекинутих сплетова се смешта у помоћну табелу непрекинутих сплетова насталих обрадом улазног сплета (табела 4-4). У овом случају помоћна табела има карактеристичну структуру вредности. Међутим, у општем случају, структура вредности ове табеле може бити, и обично јесте, произвољна. Број поља помоћне табеле је једнак броју асоцијација улазног сплета. Сваки запис ове табеле одговара једном непрекинутом сплету. У првом пољу табеле се може наћи асоцијација A_1 (прва по реду

асоцијација улазног сплета гледајући табелу 4-2) или вредност A_0 („лажна“ асоцијација) која указује на то да асоцијација A_1 није члан непрекинутог сплета, у другом се може наћи асоцијација A_2 (друга по реду асоцијација улазног сплета гледајући табелу 4-2) или вредност A_0 која указује на то да асоцијација A_2 није члан непрекинутог сплета, итд.

Табела 4-4 Помоћна табела непрекинутих сплетова насталих обрадом улазног сплета

1 (a)	2 (b)	3 (c)	4 (d)	5 (e)
A_1	A_2	A_3	A_4	A_0
A_1	A_2	A_3	A_0	A_5
A_1	A_2	A_0	A_4	A_5
A_1	A_0	A_3	A_4	A_5
A_0	A_2	A_3	A_4	A_5
A_1	A_2	A_3	A_4	A_5

4.1.5.3 Обрада остатка АСМ-ове мреже

Обрада остатка АСМ-ове мреже (простор претраживања), који чине асоцијације

$$A_{CPT_i \leftrightarrow CPT_j} \notin CTX_X$$

, започиње проналажењем појмова на нивоу сваког контекста који су у највећој мери тополошки кореспондентни појмовима улазног сплета (израз 4-10). Другим речима, за одређени појам улазног сплета се проналазе један или више појмова на нивоу сваког контекста таквих да учествују у највећем могућем броју тополошки кореспондентних асоцијација и да у њима имају исте улоге (слика 4-13). Пронађени појмови су приказани у табели 4-5. Основна идеја је да се пронађени, у највећој мери тополошки кореспондентни, појмови касније искористе за сужавање простора претраживања.

$$\exists PLX_X \mid \{A_{CPT_k \leftrightarrow CPT_{k+1}}^{CTX_X}\} \in PLX_X \Rightarrow \{CPT_k\} \in PLX_X, PLX_X \subset CTX_X$$

$$\exists CTX_j \mid \{A_{CPT_l \leftrightarrow CPT_{l+1}}^{CTX_j}\} \in CTX_j \Rightarrow \{CPT_l\} \in CTX_j$$

такви да је $CPT_k = CPT_l \vee CPT_k \sim CPT_l \vee CPT_k \neq CPT_l$

4-10

$$CPT_k^{PLX_X} \cong CPT_l^{CTX_j} \text{ (су у највећој мери ТКП) ако}$$

$r(CPT_k) = r(CPT_l)$ у највећем могућем броју ТКА (у питању је највећи заједнички садржалац скупа ТКА у којима учествује CPT_k и скупа ТКА у којима учествује CPT_l):

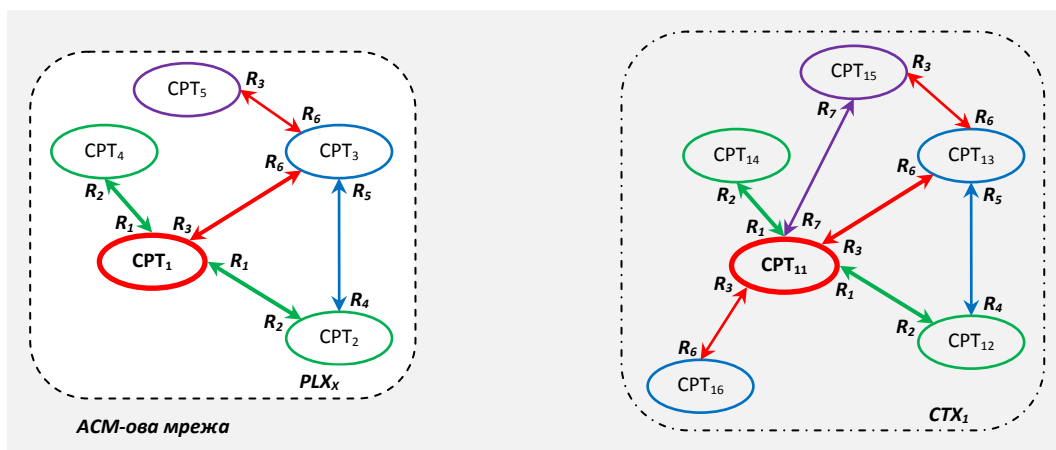
$$A_{CPT_k \leftrightarrow CPT_{k+p}}^{CTX_X} \asymp A_{CPT_l \leftrightarrow CPT_{l+p}}^{CTX_j}, p = 1, n$$

Пошто на нивоу датог контекста може постојати више појмова који су у највећој мери тополошки кореспондентни датом појму улазног сплета, и пошто се може десити да је један

од пронађених појмова идентичан датом појму улазног сплета или му је сличан или је његов синоним у општем контексту, скуп пронађених појмова се може редуковати одбацивањем осталих појмова и задржавањем појма који је идентичан/сличан/синоним. Оваквом редукцијом скупа пронађених појмова се обезбеђује додатно сужавање простора претраживања (погледати следећи пасус) и истовремено се приликом утврђивања тополошки аналогних сплетова фаворизује семантичка блискост.

Табела 4-5 Појмови на нивоу сваког контекста који су у највећој мери тополошки кореспондентни одговарајућим појмовима улазног сплета (погледати слику 4-9)

Контекст	Појам улазног сплета	Појам контекста	Максимални број ТКА
CTX ₁	CPT ₁	CPT ₁₁	3
CTX ₁	CPT ₂	CPT ₁₂	2
CTX ₁	CPT ₃	CPT ₁₃	3
CTX ₁	CPT ₄	CPT ₁₄	1
CTX ₁	CPT ₅	CPT ₁₅	1
CTX ₂	CPT ₁	CPT ₂₁	2
CTX ₂	CPT ₂	CPT ₂₂	2
CTX ₂	CPT ₃	CPT ₂₃	2
CTX ₃	CPT ₁	CPT ₃₁	3
CTX ₃	CPT ₁	CPT ₃₇	3
CTX ₃	CPT ₂	CPT ₃₂	2
CTX ₃	CPT ₃	CPT ₃₃	3
CTX ₃	CPT ₄	CPT ₃₄	1
CTX ₃	CPT ₅	CPT ₃₅	1
CTX ₄	CPT ₁	CPT ₄₁	1
CTX ₄	CPT ₁	CPT ₄₅	1
CTX ₄	CPT ₂	CPT ₄₂	1
CTX ₄	CPT ₃	CPT ₄₃	3
CTX ₄	CPT ₅	CPT ₄₁	1
CTX ₄	CPT ₅	CPT ₄₅	1
CTX ₅	CPT ₁	CPT ₅₁	3
CTX ₅	CPT ₂	CPT ₅₂	1
CTX ₅	CPT ₂	CPT ₅₄	1
CTX ₅	CPT ₃	CPT ₅₃	2
CTX ₅	CPT ₄	CPT ₅₂	1
CTX ₅	CPT ₄	CPT ₅₄	1
CTX ₅	CPT ₅	CPT ₅₅	1
CTX ₆	CPT ₁	CPT ₆₁	2
CTX ₆	CPT ₂	CPT ₆₂	1
CTX ₆	CPT ₂	CPT ₆₄	1
CTX ₆	CPT ₄	CPT ₆₂	1
CTX ₆	CPT ₄	CPT ₆₄	1



Слика 4-13 У контексту CTX_1 појам CPT_{11} је у највећој мери тополошки кореспондентан појму CPT_1 улазног сплета

Обрада се наставља проналажењем свих тополошки кореспондентних асоцијација асоцијацијама улазног сплета у којима учествују појмови који су у највећој мери тополошки кореспондентни појмовима улазног сплета и рафинацијом тополошки кореспондентних асоцијација према тежинским параметрима (израз 4-11). На овај начин се врши ефикасно сужавање простора претраживања, само што у овом случају, за разлику од сужавања простора претраживања на основу статистике топологије и назива врсте топологије сплета, није неопходно имати резултате претходно спроведених поступака утврђивања тополошки аналогних сплетова. Другим речима, у овом случају се може извршити ефикасно сужавање простора претраживања већ код првог спроведеног поступка утврђивања тополошки аналогних сплетова.

За сваку пронађену тополошки кореспондентну асоцијацију се проналазе тополошки кореспондентни појмови (појмовима одговарајуће асоцијације улазног сплета) *на нивоу асоцијације*. Из даљег разматрања се искључују тополошки кореспондентне асоцијације код којих се вредности тежинских параметара (тачност и значај асоцијације) значајно разликују од вредности тежинских параметара одговарајућих асоцијација улазног сплета (израз 4-11).

4-11

$$\begin{aligned}
& A_{CPT_k \leftrightarrow CPT_l}^{CTX_Y} \mid \\
& \left| h_{A_{i,j}}^X - h_{A_{k,l}}^Y \right| \leq 0,25, \\
& h_{A_{i,j}}^X = h(A_{i,j}^{CTX_X}), A_{i,j}^{CTX_X} = A_{CPT_i \leftrightarrow CPT_j}^{CTX_X}, h_{A_{k,l}}^Y = h(A_{k,l}^{CTX_Y}), A_{k,l}^{CTX_Y} = A_{CPT_k \leftrightarrow CPT_l}^{CTX_Y}, \\
& \left| s_{A_{i,j}}^X - s_{A_{k,l}}^Y \right| \leq 0,25, \\
& s_{A_{i,j}}^X = s(A_{i,j}^{CTX_X}), s_{A_{k,l}}^Y = s(A_{k,l}^{CTX_Y}), \\
& \left(r(CPT_i) = r(CPT_k) \wedge r(CPT_j) = r(CPT_l) \right) \vee \left(r(CPT_i) = r(CPT_l) \wedge r(CPT_j) = r(CPT_k) \right), \\
& t(A_{i,j}^{CTX_X}) = t(A_{k,l}^{CTX_Y}), \\
& c(A_{i,j}^{CTX_X}) = c(A_{k,l}^{CTX_Y}), \\
& d(A_{i,j}^{CTX_X}) = d(A_{k,l}^{CTX_Y}).
\end{aligned}$$

Тополошки кореспондентни појмови на нивоу (тополошки кореспондентне) асоцијације су појмови који имају исту *улогу* као и појмови одговарајуће асоцијације улазног сплета. Ако је, на пример, задовољен услов $r(CPT_i) = r(CPT_k) \wedge r(CPT_j) = r(CPT_l)$, онда је појам CPT_k тополошки кореспондентан појму CPT_i на нивоу асоцијације $A_{k,l}^{CTX_Y} = A_{CPT_k \leftrightarrow CPT_l}^{CTX_Y}$ (која је тополошки кореспондентна асоцијацији $A_{i,j}^{CTX_X} = A_{CPT_i \leftrightarrow CPT_j}^{CTX_X}$ улазног сплета), а појам CPT_l појму CPT_j . Тополошки кореспондентни појмови на нивоу асоцијације очигледно задовољавају само део услова које морају да задовоље тополошки кореспондентни појмови два различита контекста (погледати поглавље 4.1.1.1.2). У овој фази обраде је довољно детектовати тополошки кореспондентне појмове на нивоу асоцијације. Касније ће применом *упита упаривања 2* бити детектовани само тополошки кореспондентни појмови два различита контекста.

Пронађене тополошки кореспондентне асоцијације (и одговарајући тополошки кореспондентни појмови на нивоу сваке асоцијације) асоцијацијама улазног сплета, које су у ствари кандидати за чланове тополошки аналогних сплетова, се додају у помоћну табелу (табела 4-6). Сваки запис ове табеле садржи податке о асоцијацији улазног сплета, њеној тополошки кореспондентној асоцијацији и контексту коме та тополошки кореспондентна асоцијација припада.

Ако се детектује постојање асоцијација улазног сплета које на нивоу истог контекста имају исти број идентичних тополошки кореспондентних асоцијација и ако је број таквих асоцијација улазног сплета већи од броја идентичних тополошки кореспондентних асоцијација, онда се за те асоцијације улазног сплета за тај контекст у помоћну табелу 4-6 додају „лажне“ тополошки кореспондентне асоцијације (за ID асоцијације и ID тополошки

кореспондентних појмова се уносе вредности A_0 и CPT_0 респективно) (израз 4-12 (односи се на случај када две асоцијације улазног сплета на нивоу датог контекста имају по једну идентичну тополошки кореспондентну асоцијацију)). На овај начин се омогућава да се приликом „низања“ непрекинутих сплетова на нивоу датог контекста, које ће уследити касније, узму у обзир све тополошки кореспондентне асоцијације за све асоцијације улазног сплета, обзиром да се приликом „низања“ непрекинутих сплетова не смеју понављати идентичне „праве“ тополошки кореспондентне асоцијације за различите асоцијације улазног сплета, али се могу понављати „лажне“ тополошки кореспондентне асоцијације.

4-12

$$\begin{aligned} & \exists! A_{CPT_m \leftrightarrow CPT_n}^{CTX_Y} \mid A_{CPT_m \leftrightarrow CPT_n}^{CTX_Y} \asymp A_{CPT_i \leftrightarrow CPT_j}^{CTX_X} \wedge \\ & \exists! A_{CPT_m \leftrightarrow CPT_n}^{CTX_Y} \mid A_{CPT_m \leftrightarrow CPT_n}^{CTX_Y} \asymp A_{CPT_k \leftrightarrow CPT_l}^{CTX_X} \\ & A_{CPT_0 \leftrightarrow CPT_0}^{CTX_Y} \mid \\ & A_{CPT_0 \leftrightarrow CPT_0}^{CTX_Y} \asymp A_{CPT_i \leftrightarrow CPT_j}^{CTX_X} \\ & A_{CPT_0 \leftrightarrow CPT_0}^{CTX_Y} \asymp A_{CPT_k \leftrightarrow CPT_l}^{CTX_X} \end{aligned}$$

За асоцијације улазног сплета које немају тополошки кореспондентне асоцијације у неком од контекста у коме су пронађене тополошки кореспондентне асоцијације осталим асоцијацијама улазног сплета се за тај контекст у помоћну табелу 4-6 додају „лажне“ тополошки кореспондентне асоцијације (израз 4-13). На овај начин се омогућава „низање“ непрекинутих сплетова на нивоу датог контекста, пошто сада за дату асоцијацију улазног сплета постоји тополошки кореспондентна асоцијација на нивоу истог. За успешно „низање“ непрекинутих сплетова је потребно да свака асоцијација улазног сплета има бар по једну тополошки кореспондентну асоцијацију на нивоу датог контекста („праву“ или „лажну“). Ако ниједна асоцијација улазног сплета нема „праву“ тополошки кореспондентну асоцијацију на нивоу неког контекста, онда се тај контекст не узима у разматрање.

4-13

$$\begin{aligned} & \nexists A_{CPT_m \leftrightarrow CPT_n}^{CTX_Y} \mid A_{CPT_m \leftrightarrow CPT_n}^{CTX_Y} \asymp A_{CPT_i \leftrightarrow CPT_j}^{CTX_X} \wedge \\ & \exists A_{CPT_0 \leftrightarrow CPT_p}^{CTX_Y} \mid A_{CPT_0 \leftrightarrow CPT_p}^{CTX_Y} \asymp A_{CPT_k \leftrightarrow CPT_l}^{CTX_X} \\ & A_{CPT_0 \leftrightarrow CPT_0}^{CTX_Y} \mid \\ & A_{CPT_0 \leftrightarrow CPT_0}^{CTX_Y} \asymp A_{CPT_i \leftrightarrow CPT_j}^{CTX_X} \end{aligned}$$

Записи у помоћној табели 4-6 су груписани по контексту, асоцијацијама улазног сплета и њиховим тополошки кореспондентним асоцијацијама. Означена је група тополошки кореспондентних асоцијација из једног од контекста (CTX_3) и у оквиру ње подгрупе тополошки кореспондентних асоцијација које одговарају појединачним асоцијацијама

улазног сплета. Једна од додатих „лажних“ тополошки кореспондентних асоцијација је означена плавом бојом позадине.

Табела 4-6 Записи у помоћној табели (табела има назив „usk_tak_1“ у MySQL бази података) настали након прве фазе обраде остатка АСМ-ове мреже (* - назив овог поља у табели „usk_tak_1“ је „s_id_asociјације“; ** - назив овог поља у табели „usk_tak_1“ је „a_id_asociјације“; * - назив овог поља у табели „usk_tak_1“ је „a_kontekst“; ови називи се користе у SQL исказу уз помоћ кога ће се формирати комбинације ТКА)**

<i>PLX_x</i>			<i>АСМ-ова мрежа</i>			
ТКА*	ТКП ₁	ТКП ₂	ТКА**	ТКП ₁	ТКП ₂	СТХ***
A ₁	CPT ₁	CPT ₂	A ₆	CPT ₁₁	CPT ₁₂	СТХ ₁
A ₂	CPT ₁	CPT ₃	A ₇	CPT ₁₁	CPT ₁₃	СТХ ₁
A ₃	CPT ₁	CPT ₄	A ₈	CPT ₁₁	CPT ₁₄	СТХ ₁
A ₄	CPT ₂	CPT ₃	A ₁₁	CPT ₁₂	CPT ₁₃	СТХ ₁
A ₅	CPT ₃	CPT ₅	A ₁₂	CPT ₁₃	CPT ₁₅	СТХ ₁
A ₁	CPT ₁	CPT ₂	A ₁₃	CPT ₂₁	CPT ₂₂	СТХ ₂
A ₂	CPT ₁	CPT ₃	A ₁₄	CPT ₂₁	CPT ₂₃	СТХ ₂
A ₃			A ₀	CPT ₀	CPT ₀	СТХ ₂
A ₄	CPT ₂	CPT ₃	A ₁₅	CPT ₂₂	CPT ₂₃	СТХ ₂
A ₅			A ₀	CPT ₀	CPT ₀	СТХ ₂
A ₁	CPT ₁	CPT ₂	A ₁₆	CPT ₃₁	CPT ₃₂	СТХ ₃
A ₁	CPT ₁	CPT ₂	A ₂₃	CPT ₃₇	CPT ₃₂	СТХ ₃
A ₂	CPT ₁	CPT ₃	A ₁₇	CPT ₃₁	CPT ₃₃	СТХ ₃
A ₂	CPT ₁	CPT ₃	A ₂₄	CPT ₃₇	CPT ₃₃	СТХ ₃
A ₃	CPT ₁	CPT ₄	A ₁₈	CPT ₃₁	CPT ₃₄	СТХ ₃
A ₃	CPT ₁	CPT ₄	A ₂₅	CPT ₃₇	CPT ₃₄	СТХ ₃
A ₄	CPT ₂	CPT ₃	A ₂₁	CPT ₃₂	CPT ₃₃	СТХ ₃
A ₅	CPT ₃	CPT ₅	A ₂₂	CPT ₃₃	CPT ₃₅	СТХ ₃
A ₁			A ₀	CPT ₀	CPT ₀	СТХ ₄
A ₂	CPT ₁	CPT ₃	A ₂₆	CPT ₄₁	CPT ₄₃	СТХ ₄
A ₂	CPT ₁	CPT ₃	A ₂₈	CPT ₄₅	CPT ₄₃	СТХ ₄
A ₃			A ₀	CPT ₀	CPT ₀	СТХ ₄
A ₄	CPT ₂	CPT ₃	A ₂₇	CPT ₄₂	CPT ₄₃	СТХ ₄
A ₅	CPT ₃	CPT ₅	A ₂₆	CPT ₄₃	CPT ₄₁	СТХ ₄
A ₅	CPT ₃	CPT ₅	A ₂₈	CPT ₄₃	CPT ₄₅	СТХ ₄
A ₁	CPT ₁	CPT ₂	A ₂₉	CPT ₅₁	CPT ₅₂	СТХ ₅
A ₁	CPT ₁	CPT ₂	A ₃₁	CPT ₅₁	CPT ₅₄	СТХ ₅
A ₂	CPT ₁	CPT ₃	A ₃₀	CPT ₅₁	CPT ₅₃	СТХ ₅
A ₃	CPT ₁	CPT ₄	A ₂₉	CPT ₅₁	CPT ₅₂	СТХ ₅
A ₃	CPT ₁	CPT ₄	A ₃₁	CPT ₅₁	CPT ₅₄	СТХ ₅
A ₄			A ₀	CPT ₀	CPT ₀	СТХ ₅
A ₅	CPT ₃	CPT ₅	A ₃₂	CPT ₅₃	CPT ₅₅	СТХ ₅
A ₁	CPT ₁	CPT ₂	A ₃₃	CPT ₆₁	CPT ₆₂	СТХ ₆
A ₁	CPT ₁	CPT ₂	A ₃₄	CPT ₆₁	CPT ₆₄	СТХ ₆
A ₂			A ₀	CPT ₀	CPT ₀	СТХ ₆
A ₃	CPT ₁	CPT ₄	A ₃₃	CPT ₆₁	CPT ₆₂	СТХ ₆
A ₃	CPT ₁	CPT ₄	A ₃₄	CPT ₆₁	CPT ₆₄	СТХ ₆
A ₄			A ₀	CPT ₀	CPT ₀	СТХ ₆
A ₅			A ₀	CPT ₀	CPT ₀	СТХ ₆

Након додавања записа у помоћну табелу следи формирање комбинација тополошки кореспондентних асоцијација асоцијацијама улазног сплета на нивоу истог контекста, за све контексте (израз 4-14). На првом месту у комбинацији се налази тополошки кореспондентна асоцијација прве асоцијације у скупу асоцијација улазног сплета, на другом друге, итд. У комбинацији се могу појавити две или више „лажних“ тополошки кореспондентних асоцијација, али се не могу појавити две исте „праве“ тополошки кореспондентне асоцијације. Формирају се само комбинације код којих је број „правих“ асоцијација једнак или већи од прага тополошке аналогije.

4-14

$$\begin{aligned}
 &A_{CPT_k \leftrightarrow CPT_l}^{CTX_Y} | A_{CPT_k \leftrightarrow CPT_l}^{CTX_Y} \asymp A_{CPT_i \leftrightarrow CPT_j}^{CTX_X} \quad A_{CPT_0 \leftrightarrow CPT_0}^{CTX_Z} | A_{CPT_0 \leftrightarrow CPT_0}^{CTX_Z} \asymp A_{CPT_i \leftrightarrow CPT_j}^{CTX_X} \\
 &A_{CPT_0 \leftrightarrow CPT_p}^{CTX_Y} | A_{CPT_0 \leftrightarrow CPT_p}^{CTX_Y} \asymp A_{CPT_m \leftrightarrow CPT_n}^{CTX_X} \quad A_{CPT_c \leftrightarrow CPT_d}^{CTX_Z} | A_{CPT_c \leftrightarrow CPT_d}^{CTX_Z} \asymp A_{CPT_m \leftrightarrow CPT_n}^{CTX_X} \\
 &A_{CPT_0 \leftrightarrow CPT_0}^{CTX_Y} | A_{CPT_0 \leftrightarrow CPT_0}^{CTX_Y} \asymp A_{CPT_r \leftrightarrow CPT_s}^{CTX_X}, A_{CPT_e \leftrightarrow CPT_f}^{CTX_Z} | A_{CPT_e \leftrightarrow CPT_f}^{CTX_Z} \asymp A_{CPT_r \leftrightarrow CPT_s}^{CTX_X}, \dots \\
 &\quad \vdots \quad \quad \quad \vdots \\
 &\quad \dots \quad \quad \quad \dots
 \end{aligned}$$

Комбинације се формирају извршавањем SQL исказа који се формира динамички и чија структура зависи од структуре улазног сплета. Овај исказ се извршава над помоћном табелом са записима насталим након прве фазе обраде остатка ACM-ове мреже (табела 4-6). Генеричка структура SQL исказа је дата у исказу 4-15. Вредности „id_asociјације_1“, „id_asociјације_2“, „id_asociјације_3“, итд. у исказу одговарају ID-овима асоцијација улазног сплета.

4-15

SELECT a.a_id_asociјације **AS** a1, b.a_id_asociјације **AS** a2, c.a_id_asociјације **AS** a3, ...,

a.a_kontekst **AS** a_kontekst

from

(**SELECT** * **FROM** usk_tak_1 **WHERE** s_id_asociјације=id_asociјације_1) **AS** a,

(**SELECT** * **FROM** usk_tak_1 **WHERE** s_id_asociјације=id_asociјације_2) **AS** b,

(**SELECT** * **FROM** usk_tak_1 **WHERE** s_id_asociјације=id_asociјације_3) **AS** c,

...

WHERE

a.a_kontekst=b.a_kontekst **AND** a.a_kontekst=c.a_kontekst **AND** ... **AND**

(a.a_id_asociјације<>b.a_id_asociјације **OR** a.a_id_asociјације=0 **OR** b.a_id_asociјације=0) **AND**

(a.a_id_asociјације<>c.a_id_asociјације **OR** a.a_id_asociјације=0 **OR** c.a_id_asociјације=0) **AND**

... **AND**

(b.a_id_asociјације<>c.a_id_asociјације **OR** b.a_id_asociјације=0 **OR** c.a_id_asociјације=0) **AND**

...;

SQL исказ за пример који се овде разматра би имао следећу структуру:

```
SELECT a.a_id_asocijacije AS a1, b.a_id_asocijacije AS a2, c.a_id_asocijacije AS a3,  
d.a_id_asocijacije AS a4, e.a_id_asocijacije AS a5, a.a_kontekst AS a_kontekst  
FROM  
(SELECT * FROM usk_tak_1 WHERE s_id_asocijacije=1) AS a,  
(SELECT * FROM usk_tak_1 WHERE s_id_asocijacije=2) AS b,  
(SELECT * FROM usk_tak_1 WHERE s_id_asocijacije=3) AS c,  
(SELECT * FROM usk_tak_1 WHERE s_id_asocijacije=4) AS d,  
(SELECT * FROM usk_tak_1 WHERE s_id_asocijacije=5) AS e  
WHERE  
a.a_kontekst=b.a_kontekst AND a.a_kontekst=c.a_kontekst AND a.a_kontekst=d.a_kontekst AND  
a.a_kontekst=e.a_kontekst AND  
(a.a_id_asocijacije<>b.a_id_asocijacije OR a.a_id_asocijacije=0 OR b.a_id_asocijacije=0) AND  
(a.a_id_asocijacije<>c.a_id_asocijacije OR a.a_id_asocijacije=0 OR c.a_id_asocijacije=0) AND  
(a.a_id_asocijacije<>d.a_id_asocijacije OR a.a_id_asocijacije=0 OR d.a_id_asocijacije=0) AND  
(a.a_id_asocijacije<>e.a_id_asocijacije OR a.a_id_asocijacije=0 OR e.a_id_asocijacije=0) AND  
(b.a_id_asocijacije<>c.a_id_asocijacije OR b.a_id_asocijacije=0 OR c.a_id_asocijacije=0) AND  
(b.a_id_asocijacije<>d.a_id_asocijacije OR b.a_id_asocijacije=0 OR d.a_id_asocijacije=0) AND  
(b.a_id_asocijacije<>e.a_id_asocijacije OR b.a_id_asocijacije=0 OR e.a_id_asocijacije=0) AND  
(c.a_id_asocijacije<>d.a_id_asocijacije OR c.a_id_asocijacije=0 OR d.a_id_asocijacije=0) AND  
(c.a_id_asocijacije<>e.a_id_asocijacije OR c.a_id_asocijacije=0 OR e.a_id_asocijacije=0) AND  
(d.a_id_asocijacije<>e.a_id_asocijacije OR d.a_id_asocijacije=0 OR e.a_id_asocijacije=0);
```

Након формирања комбинација извршавањем SQL исказа задржавају се само комбинације код којих је број „правих“ тополошки кореспондентних асоцијација једнак или већи од прага тополошке аналогije. Издвојене комбинације се смештају у помоћну табелу 4-7. Записи ове табеле су сортирани растуће према вредностима у пољу „a_kontekst“.

У табели 4-7 постоје записи који су идентични по питању скупа вредности записа, а разликују се само по позицијама које вредности имају у запису (рецимо задња два записа ове табеле). Овде су у питању идентични сплетови асоцијација ако говоримо о графичком приказу сплета. Разликују се по томе која је асоцијација тополошки кореспондентна којој асоцијацији улазног сплета, а настали су због тога што једна асоцијација улазног сплета може на нивоу истог контекста имати више тополошки кореспондентних асоцијација, а једна асоцијација датог контекста може бити тополошки кореспондентна већем броју асоцијација улазног сплета.

Табела 4-7 Издвојене комбинације тополошки кореспондентних асоцијација асоцијацијама улазног сплета

a1	a2	a3	a4	a5	a_kontekst
A ₆	A ₇	A ₈	A ₁₁	A ₁₂	CTX ₁
A ₁₆	A ₁₇	A ₁₈	A ₂₁	A ₂₂	CTX ₃
A ₁₆	A ₂₄	A ₁₈	A ₂₁	A ₂₂	CTX ₃
A ₂₃	A ₁₇	A ₁₈	A ₂₁	A ₂₂	CTX ₃
A ₂₃	A ₂₄	A ₁₈	A ₂₁	A ₂₂	CTX ₃
A ₁₆	A ₁₇	A ₂₅	A ₂₁	A ₂₂	CTX ₃
A ₁₆	A ₂₄	A ₂₅	A ₂₁	A ₂₂	CTX ₃
A ₂₃	A ₁₇	A ₂₅	A ₂₁	A ₂₂	CTX ₃
A ₂₃	A ₂₄	A ₂₅	A ₂₁	A ₂₂	CTX ₃
A ₃₁	A ₃₀	A ₂₉	A ₀	A ₃₂	CTX ₅
A ₂₉	A ₃₀	A ₃₁	A ₀	A ₃₂	CTX ₅

Следећи корак је „низање“ непрекинутих сплетова по претходно описаном алгоритму над сваком од претходно издвојених комбинација тополошки кореспондентних асоцијација на нивоу истог контекста, за све контексте. На крају је потребно формирати унију свих „нанизаних“ непрекинутих сплетова и сместити их у помоћну табелу непрекинутих сплетова (табела 4-8). У првом пољу помоћне табеле се могу наћи само тополошки кореспондентне асоцијације првој асоцијацији улазног сплета (у овом примеру је то асоцијација A_1), у другом само тополошки кореспондентне асоцијације другој асоцијацији улазног сплета, итд. У табели 4-8 је приказан део „нанизаних“ непрекинутих сплетова (конкретно, за контекст CTX_3 су приказани само „нанизани“ непрекинути сплетови са пет тополошки кореспондентних асоцијација).

Табела 4-8 Помоћна табела са делом непрекинутих сплетова насталих обрадом остатка

АСМ-ове мреже					
1 (A)	2 (B)	3 (C)	4 (D)	5 (E)	Контекст
A ₆	A ₇	A ₈	A ₁₁	A ₁₂	CTX ₁
A ₁₆	A ₁₇	A ₁₈	A ₂₁	A ₂₂	CTX ₃
A ₁₆	A ₂₄	A ₁₈	A ₂₁	A ₂₂	CTX ₃
A ₂₃	A ₁₇	A ₁₈	A ₂₁	A ₂₂	CTX ₃
A ₁₆	A ₂₄	A ₂₅	A ₂₁	A ₂₂	CTX ₃
A ₂₃	A ₁₇	A ₂₅	A ₂₁	A ₂₂	CTX ₃
A ₂₃	A ₂₄	A ₂₅	A ₂₁	A ₂₂	CTX ₃
A ₃₁	A ₃₀	A ₂₉	A ₀	A ₃₂	CTX ₅
A ₂₉	A ₃₀	A ₃₁	A ₀	A ₃₂	CTX ₅

Додатна специфичност у овом случају јесте постојање „лажних“ тополошки кореспондентних асоцијација асоцијацијама улазног сплета у комбинацијама тополошки кореспондентних асоцијација на нивоу истог контекста. Приликом „низања“ непрекинутих сплетова „лажне“ тополошки кореспондентне асоцијације се третирају тако да не постоји пресек између две „лажне“ тополошки кореспондентне асоцијације, као ни између „лажне“ и

„праве“ тополошки кореспондентне асоцијације. Једини разлог због кога су „лажне“ тополошки кореспондентне асоцијације додаване у помоћну табелу (табела 4-6) јесте да би се обезбедило исправно формирање свих комбинација тополошки кореспондентних асоцијација.

Приликом утврђивања тополошки аналогних сплетова се на почетку прво одређују статистике топологије и називи врсте топологије улазног сплета и његових фрагмената добијених низањем (њихов број асоцијација је једнак или већи од прага тополошке аналогности). Затим се проналазе сплетови истих статистика топологије и истог назива врсте топологије који су претходно били смештени у базу података. Ако се не пронађе ниједан сплет исте статистике топологије сплета и истог назива врсте топологије сплета, онда се помоћна табела формира над остатком АСМ-ове мреже (сви контексти, сем контекста чији је улазни сплет подскуп). Ако се пронађу сплетови истих статистика топологије и назива врсте топологије, онда се помоћна табела формира над контекстима чији су ти сплетови подскуп. Резултати који се добијају спровођењем поступка утврђивања тополошки аналогних сплетова се приказују кориснику уз напомену да није анализиран остатак АСМ-ове мреже, већ само поједини контексти. Уколико корисник није задовољан резултатима, он може покренути поступак утврђивања тополошки аналогних сплетова над остатком АСМ-ове мреже.

4.1.5.4 Упит упаривања 1

Да би се извршило упаривање непрекинутих сплетова из помоћних табела (табела 4-4 и табела 4-8) и самим тим препознали сплетови и фрагменти сплетова који имају исту структуру (вредности у табели) као и улазни сплет и његови фрагменти, потребно је издвојити све записе табеле 4-8 које задовољавају логички услов који се формира динамички и чија структура зависи од структура табела 4-4 и 4-8. Генеричка структура овог логичког услова је дата у изразу 4-16:

4-16

$$\begin{aligned} & ((A = A_0 \wedge a = A_0) \vee (A \neq A_0 \wedge a \neq A_0)) \wedge \\ & ((B = A_0 \wedge b = A_0) \vee (B \neq A_0 \wedge b \neq A_0)) \wedge \\ & ((C = A_0 \wedge c = A_0) \vee (C \neq A_0 \wedge c \neq A_0)) \wedge \\ & \dots \end{aligned}$$

Логички услов за пример који се овде разматра би имао следећу структуру:

$$\begin{aligned}
& ((A = A_0 \wedge a = A_0) \vee (A \neq A_0 \wedge a \neq A_0)) \wedge \\
& ((B = A_0 \wedge b = A_0) \vee (B \neq A_0 \wedge b \neq A_0)) \wedge \\
& ((C = A_0 \wedge c = A_0) \vee (C \neq A_0 \wedge c \neq A_0)) \wedge \\
& ((D = A_0 \wedge d = A_0) \vee (D \neq A_0 \wedge d \neq A_0)) \wedge \\
& ((E = A_0 \wedge e = A_0) \vee (E \neq A_0 \wedge e \neq A_0))
\end{aligned}$$

У помоћној табели 4-9 су приказани препознати сплетови и фрагменти сплетова који имају исту структуру (вредности у табели) као и улазни сплет и његови фрагменти. Записи табеле 4-9 у општем случају чине подскуп записа табеле 4-8. Упит упаривања 1 пре свега служи да припреми податке (записе) за извршавање упита упаривања 2.

Табела 4-9 Препознати сплетови и фрагменти сплетова који имају исту структуру (вредности у табели) као и улазни сплет и његови фрагменти

1 (A)	2 (B)	3 (C)	4 (D)	5 (E)	Контекст
A ₆	A ₇	A ₈	A ₁₁	A ₁₂	CTX ₁
A ₁₆	A ₁₇	A ₁₈	A ₂₁	A ₂₂	CTX ₃
A ₁₆	A ₂₄	A ₁₈	A ₂₁	A ₂₂	CTX ₃
A ₂₃	A ₁₇	A ₁₈	A ₂₁	A ₂₂	CTX ₃
A ₁₆	A ₂₄	A ₂₅	A ₂₁	A ₂₂	CTX ₃
A ₂₃	A ₁₇	A ₂₅	A ₂₁	A ₂₂	CTX ₃
A ₂₃	A ₂₄	A ₂₅	A ₂₁	A ₂₂	CTX ₃
A ₃₁	A ₃₀	A ₂₉	A ₀	A ₃₂	CTX ₅
A ₂₉	A ₃₀	A ₃₁	A ₀	A ₃₂	CTX ₅

У општем случају једном фрагменту улазног сплета асоцијација могу одговарати (по структури вредности у табели) више фрагмената сплета који су кандидати тополошки аналогних сплетова на нивоу истог контекста. Једном фрагменту сплета који је кандидат тополошки аналогног сплета може одговарати само један фрагмент улазног сплета асоцијација.

4.1.5.5 Упит упаривања 2

Да би се извршило упаривање сплетова из помоћних табела 4-4 и 4-9 и самим тим препознали тополошки аналогни сплетови и њихови фрагменти потребно је пронаћи тополошки кореспондентне појмове (појмовима одговарајуће асоцијације улазног сплета) на нивоу асоцијације, за сваку асоцијацију на нивоу истог кандидата тополошки аналогног сплета, за сваког кандидата тополошки аналогног сплета. Кандидат тополошки аналогног сплета се одбацује ако бар један појам који је члан асоцијације улазног сплета на нивоу истог кандидата тополошки аналогног сплета има два или више различитих тополошки кореспондентних појмова на нивоу асоцијације. Улаз за овај упит су табеле 4-4, 4-9 и 4-6. Ниже су дати делови ових табела (табеле 4-10, 4-11 и 4-12, респективно).

Табела 4-10 Део непрекинутих сплетова насталих обрадом улазног сплета асоцијација

1 (a)	2 (b)	3 (c)	4 (d)	5 (e)
A_1	A_2	A_3	A_4	A_5

Табела 4-11 Део препознатих сплетова и фрагмената сплетова који имају исту структуру (вредности у табели) као и улазни сплет и његови фрагменти

1 (A)	2 (B)	3 (C)	4 (D)	5 (E)	Контекст
A_{16}	A_{17}	A_{18}	A_{21}	A_{22}	CTX_3
A_{16}	A_{24}	A_{18}	A_{21}	A_{22}	CTX_3

Табела 4-12 Део записа у помоћној табели насталих након прве фазе обраде остатка АСМ-ове мреже

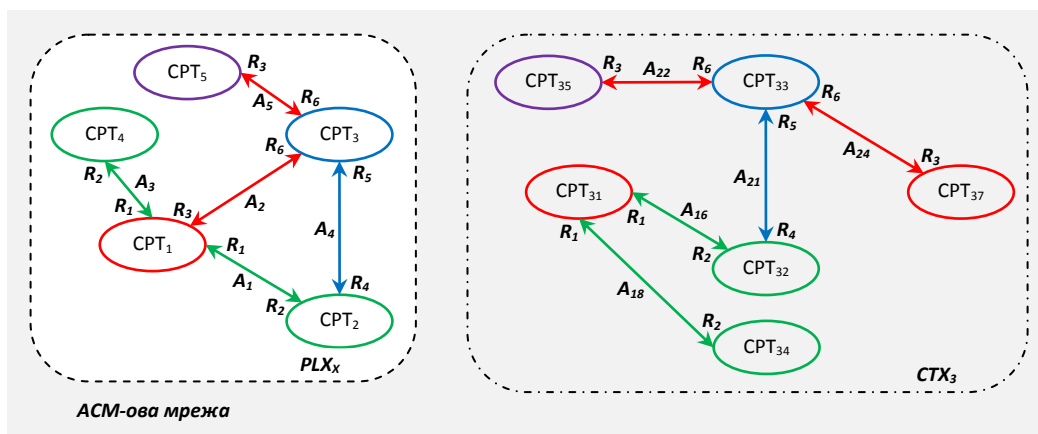
PLX_x			АСМ-ова мрежа			
ТКА	ТКП ₁	ТКП ₂	ТКА	ТКП ₁	ТКП ₂	СТХ
A_1	CPT_1	CPT_2	A_{16}	CPT_{31}	CPT_{32}	CTX_3
A_1	CPT_1	CPT_2	A_{23}	CPT_{37}	CPT_{32}	CTX_3
A_2	CPT_1	CPT_3	A_{17}	CPT_{31}	CPT_{33}	CTX_3
A_2	CPT_1	CPT_3	A_{24}	CPT_{37}	CPT_{33}	CTX_3
A_3	CPT_1	CPT_4	A_{18}	CPT_{31}	CPT_{34}	CTX_3
A_3	CPT_1	CPT_4	A_{25}	CPT_{37}	CPT_{34}	CTX_3
A_4	CPT_2	CPT_3	A_{21}	CPT_{32}	CPT_{33}	CTX_3
A_5	CPT_3	CPT_5	A_{22}	CPT_{33}	CPT_{35}	CTX_3

Кандидат тополошки аналогног сплета који одговара другом запису табеле 4-11 - (A_{16} , A_{24} , A_{18} , A_{21} , A_{22}) - се одбацује због тога што на нивоу истог кандидата тополошки аналогног сплета члан CPT_1 , као члан асоцијација A_1 и A_2 , има два различита тополошки кореспондентна појма на нивоу асоцијација A_{16} и A_{24} (CPT_{31} и CPT_{37} респективно) (табела 4-13).

Табела 4-13 Резултати извршавања упита упаривања 2 за сплет (A_{16} , A_{24} , A_{18} , A_{21} , A_{22})

PLX_x			АСМ-ова мрежа			
ТКА	ТКП ₁	ТКП ₂	ТКА	ТКП ₁	ТКП ₂	СТХ
A_1	CPT_1	CPT_2	A_{16}	CPT_{31}	CPT_{32}	CTX_3
A_1	CPT_1	CPT_2	A_{23}	CPT_{37}	CPT_{32}	CTX_3
A_2	CPT_1	CPT_3	A_{17}	CPT_{31}	CPT_{33}	CTX_3
A_2	CPT_1	CPT_3	A_{24}	CPT_{37}	CPT_{33}	CTX_3
A_3	CPT_1	CPT_4	A_{18}	CPT_{31}	CPT_{34}	CTX_3
A_3	CPT_1	CPT_4	A_{25}	CPT_{37}	CPT_{34}	CTX_3
A_4	CPT_2	CPT_3	A_{21}	CPT_{32}	CPT_{33}	CTX_3
A_5	CPT_3	CPT_5	A_{22}	CPT_{33}	CPT_{35}	CTX_3

На слици 4-14 се јасно може видети због чега сплет (A_{16} , A_{24} , A_{18} , A_{21} , A_{22}) није тополошки аналоган сплету (A_1 , A_2 , A_3 , A_4 , A_5). Ови сплетови очигледно немају исту структуру.



Слика 4-14 Графички приказ одбаченог кандидата тополошки аналогног сплета

Кандидат тополошки аналогног сплета који одговара првом запису табеле 4-11 - (A_{16} , A_{17} , A_{18} , A_{21} , A_{22}) - се не одбацује због тога што сви појмови који су чланови асоцијација улазног сплета на нивоу тог кандидата тополошки аналогног сплета имају по један исти тополошки кореспондентан појам на нивоу асоцијације (табела 4-14).

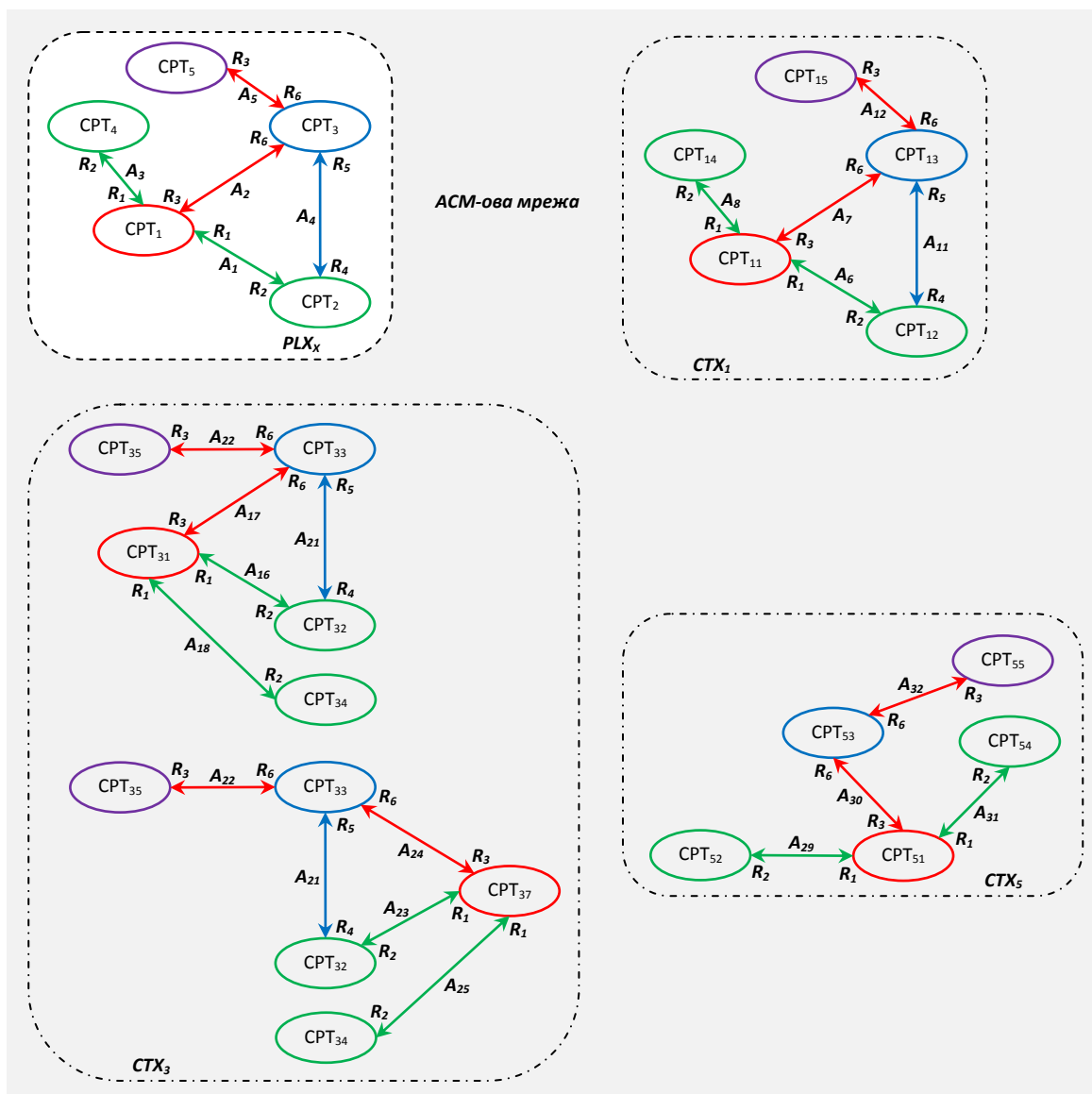
Табела 4-14 Резултати извршавања упита упаривања 2 за сплет (A_{16} , A_{17} , A_{18} , A_{21} , A_{22})

PLX_x			$АСМ-ова мрежа$			
ТКА	ТКП ₁	ТКП ₂	ТКА	ТКП ₁	ТКП ₂	CTX
A_1	CPT ₁	CPT ₂	A_{16}	CPT ₃₁	CPT ₃₂	CTX ₃
A_1	CPT ₁	CPT ₂	A_{23}	CPT ₃₇	CPT ₃₂	CTX ₃
A_2	CPT ₁	CPT ₃	A_{17}	CPT ₃₁	CPT ₃₃	CTX ₃
A_2	CPT ₁	CPT ₃	A_{24}	CPT ₃₇	CPT ₃₃	CTX ₃
A_3	CPT ₁	CPT ₄	A_{18}	CPT ₃₁	CPT ₃₄	CTX ₃
A_3	CPT ₁	CPT ₄	A_{25}	CPT ₃₇	CPT ₃₄	CTX ₃
A_4	CPT ₂	CPT ₃	A_{21}	CPT ₃₂	CPT ₃₃	CTX ₃
A_5	CPT ₃	CPT ₅	A_{22}	CPT ₃₃	CPT ₃₅	CTX ₃

Сви препознати тополошки аналогни сплетови улазном сплету или његовим фрагментима су приказани у табели 4-15 и на слици 4-15 (графички приказ сплетова који одговарају последњем и претпоследњем запису табеле 4-15 је идентичан).

Табела 4-15 Препознати тополошки аналогни сплетови улазном сплету или његовим фрагментима

1	2	3	4	5	Контекст
A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	CTX _x
A_1	A_2	A_3	A_0	A_5	CTX _x
A_6	A_7	A_8	A_{11}	A_{12}	CTX ₁
A_{16}	A_{17}	A_{18}	A_{21}	A_{22}	CTX ₃
A_{23}	A_{24}	A_{25}	A_{21}	A_{22}	CTX ₃
A_{31}	A_{30}	A_{29}	A_0	A_{32}	CTX ₅
A_{29}	A_{30}	A_{31}	A_0	A_{32}	CTX ₅



Слика 4-15 Препознати тополошки аналогни сплетови улазном сплету или његовим фрагментима

Алгоритам утврђивања тополошки аналогних сплетова и контекста је дат у прилогу.

4.1.6 Сложеност алгоритма утврђивања тополошки аналогних сплетова и контекста

4.1.6.1 Сложеност алгоритама

Да би се из скупа могућих алгоритама за решавање неког проблема (класе задатака истог типа) издвојио најефикаснији (или класа ефикасних алгоритама) обично је потребно оценити две величине: *Временску* и *просторну сложеност алгоритама*.

Сложеност алгоритама се тражи као функција „величине“ (димензије) проблема (n). У случају утврђивања изоморфности графова, на пример, димензија проблема може бити изражена бројем чворова графа. У случају сортирања низа елемената, димензија проблема је

број елемената. Приликом испитивања сложености алгоритма је потребно разматрати „најгори могући случај“ по питању димензије проблема.

Временска сложеност алгоритма се може неформално дефинисати као максималан број (*основних*) *операција* потребних за извршавање алгоритма (Илић, 2011). *Основне операције* представљају скуп операција чије се време извршавања може ограничити неком константом која зависи само од конкретне реализације (рачунара, програмског језика, преводиоца ...). Другим речима, претпоставља се да се свака основна операција извршава за *јединично време*. Типичне основне операције су:

- додела вредности променљивој,
- поређење две променљиве,
- аритметичке и логичке операције,
- улазно/излазне операције.

Како је и сама горња дефиниција временске сложености још увек компликована, неопходно је игнорисати одређене факторе. Из тог разлога се уводи правило *занемаривања константи*: Сложеност ће зависити од димензије проблема, док ће константе које су „много“ мање од димензије проблема бити занемарене. Овај приступ ће бити илустрован примером који следи (Илић, 2011).

Следећи алгоритам приказује део функције за рачунање средње вредности низа. Број операција које ће бити извршене у току овог алгоритма је $2n + 2$ (n пута ће бити повећана вредност променљиве i ; n пута ће бити повећана сума за вредност $a[i]$; једна операција за иницијализацију $suma$ на 0; једна операција за рачунање средње вредности). Како се константе занемарују, добија се да је сложеност овог алгоритма: n операција. У овом случају се каже да је алгоритам *линеарне сложености*.

```
01  suma = 0;
02  for i = 1 to n
03  suma = suma + a [i];
04  avg = suma / n;+
```

Уобичајен начин за изражавање сложености алгоритма је $O()$ -нотација (*Order of* (ред величине)). Временска сложеност алгоритма реда величине $O(f(n))$ подразумева да алгоритам има време извршавања „пропорционално“ функцији $f(n)$.

Већина алгоритама има време извршавања пропорционално једној од следећих функција:

- **1: константно време извршавања** (сви искази се извршавају по неколико пута, независно од димензије проблема; *константна сложеност*)

- **$\log n$:** време извршавања лагано расте (када се n квадрира, време извршавања се удвостручи; *логаритамска сложеност*)
- **n :** за сваки улазни податак потребно је неко константно време обраде (када се n удвостручи, и време извршавања се удвостручи; *линеарна сложеност*)
- **$n \log n$:** алгоритми који проблем решавају тако што га разбију у мање потпроблеме, реше их независно и онда комбинују решење (када се n удвостручи, време извршавања се повећа за нешто више него двоструко)
- **n^2 :** алгоритми који обрађују све парове улазних података (двострука петља) (када се n удвостручи, време извршавања се увећа 4 пута; *квадратна сложеност*)
- **n^3 :** алгоритми који обрађују тројке улазних података (трострука петља) (када се n удвостручи, време извршавања се увећа 8 пута; *кубна сложеност*)
- **2^n :** *експоненционална сложеност* (када се n удвостручи, време извршавања се квадрира; за неке проблеме нису познати бољи алгоритми)

Код *просторне сложености алгоритама* се анализира захтевани додатни меморијски простор (пored простора за смештање улазних података). Нотација и класе алгоритама су исти као и за временску сложеност алгоритама.

4.1.6.1.1 Процена сложености алгоритма утврђивања тополошки аналогних сплетова и контекста

Обзиром да је један део алгоритма утврђивања тополошки аналогних сплетова и контекста имплементиран на нивоу базе података преко ускладиштених процедура и погледа, а други реализован на програмском нивоу, није било могуће одредити број основних операција приликом извршавања алгоритма (анализа *a priori*). Због тога је процена сложености алгоритма извршена посредно – мерењем времена извршавања алгоритма и захтеваног додатног меморијског простора за различите димензије проблема (анализа *a posteriori*). Димензија проблема у случају алгоритма утврђивања тополошки аналогних сплетова и контекста је број појмова у простору претраживања. Случај са најмањом димензијом проблема (28) је приказан на слици 4-9 (пример који је коришћен за демонстрацију алгоритма). Случајеви са већим димензијама проблема су генерисани једноставним умножавањем контекста у простору претраживања (на пример, у случају са димензијом проблема 140, у простору претраживања има 5 семантички удаљених контекста чија је структура иста као структура контекста CTX_1 , затим 5 семантички удаљених контекста чија је структура иста као структура контекста CTX_2 , итд.). Улазни сплет је у свим разматраним случајевима са различитим димензијама проблема био идентичан улазном сплету на слици 4-9.

Приликом испитивања сложености алгоритма није разматран „најгори могући случај“ по питању димензије проблема, обзиром да није могуће реално проценити који би то случај био. Уместо тога се је водило рачуна да *сви контексти у простору претраживања за сваку разматрану димензију проблема буду семантички удаљени*. На овај начин је креиран „најгори могући случај“ по питању семантичке блискости контекста у простору претраживања, обзиром да алгоритам фаворизује семантичку блискост појмова, па је реално очекивати боље перформансе истог у случајевима када постоји извесна семантичка блискост контекста у простору претраживања. У реалним случајевима коришћења се може очекивати постојање извесне семантичке блискости контекста у простору претраживања.

Процена сложености алгоритма утврђивања тополошки аналогних сплетова и контекста је извршена на *desktop* рачунару са Windows 7 Enterprise оперативним системом, следећих хардверских спецификација: Intel Core i5 четворојезгарни процесор брзине 3.0 GHz са 6 MB кеш меморије; 8 GB DDR3 RAM меморије; хард диск капацитета 1 TB са 32 MB кеш меморије. Што се тиче софтверских спецификација коришћени су MySQL Community Server v5.5.27 систем за управљање релационим базама података, Apache Tomcat v6.0.37 апликациони сервер и Google Chrome v34.0.1847.131 m web прегледач. Добијени резултати су приказани у табели 4-16.

На основу добијених резултата се може закључити да алгоритам утврђивања тополошки аналогних сплетова и контекста има приближно *линеарну временску сложеност* (реда величине $O(n)$), и приближно *константну просторну сложеност* (реда величине $O(1)$). Алгоритми линеарне временске сложености спадају у групу ефикасних алгоритама.

Табела 4-16 Резултати добијени приликом процењивања сложености алгоритма утврђивања тополошки аналогних сплетова и контекста

Број контекста	Број појмова (димензија проблема)	Број асоцијација	Нормализована димензија проблема	Број препознатих ТАС	Време извршавања алгоритма [s]	Нормализовано време извршавања алгоритма	Захтевани додатни меморијски простор [GB]	Нормализован захтевани додатни меморијски простор
6	28	29	1	4	10,7	1	0,2	1
12	56	58	2	8	22,8	2,13	0,3	1,5
30	140	145	5	20	52,5	4,91	0,3	1,5
60	280	290	10	40	102,8	9,61	0,3	1,5

4.1.7 Смештање пронађених тополошки аналогних сплетова у базу података

Ако посматрамо све пронађене тополошке аналогне сплетове на нивоу једног контекста, у базу података се смешта онај који има највећи број асоцијација (број асоцијација пронађених

тополошки аналогних сплетова је једнак или већи од прага тополошке аналогности). Уколико на нивоу једног контекста има више таквих тополошки аналогних сплетова (рецимо 3 сплета са по 5 асоцијација, а највећи број асоцијација сплета је 5) онда се сви они смештају у базу података. У примеру који се обрађује је у контексту CTX_1 пронађен један тополошки аналоган сплет са 5 асоцијација и то је уједно и тополошки аналоган сплет на нивоу овог контекста са највећим бројем асоцијација. Овај сплет је тополошки аналоган (целом) улазном сплету. Улазни сплет се увек смешта у базу података. Фрагмент улазног сплета се смешта у базу података само ако је пронађен бар један њему тополошки аналоган сплет. За сваку смештену комбинацију „улазни сплет“ – „тополошки аналоган сплет“ или „фрагмент улазног сплета“ – „тополошки аналоган сплет“ се у помоћној табели бележе подаци о тополошки кореспондентним асоцијацијама (табела 4-17 – тополошки кореспондентне асоцијације за комбинацију „улазни сплет“ – „тополошки аналоган сплет“ пронађен у контексту CTX_1).

Табела 4-17 Помоћна табела са тополошки кореспондентним асоцијацијама улазног сплета (УЛС) и њему тополошки аналогног сплета (ТАС) пронађеног у контексту CTX_1

ID TKA (УЛС)	ID TKA (ТАС)
A_1	A_6
A_2	A_7
A_3	A_8
A_4	A_{11}
A_5	A_{12}

Када се рецимо пронађу тополошки аналогни сплетови фрагменту улазног сплета, проверава се да ли је неки од њих већ смештен у базу података (ако је био пронађен у неком претходном поступку). Ако се такав сплет (сплетови) пронађе читава се његова врста топологије сплета и придружује фрагменту улазног сплета и свим пронађеним њему тополошки аналогним сплетовима који нису били претходно смештени у базу података. Ако се такав сплет (сплетови) не пронађе, онда се креира нова врста топологије сплета (одређује се и нова статистика топологије сплета) и придружује се фрагменту улазног сплета и свим пронађеним њему тополошки аналогним сплетовима.

Приликом додавања статистике топологије сплета се проверава да ли је иста већ смештена у базу података и ако јесте онда се врсти топологије сплета придружује постојећа статистика топологије сплета. Ако то није случај, онда се одређује нова статистика топологије сплета и придружује врсти топологије сплета.

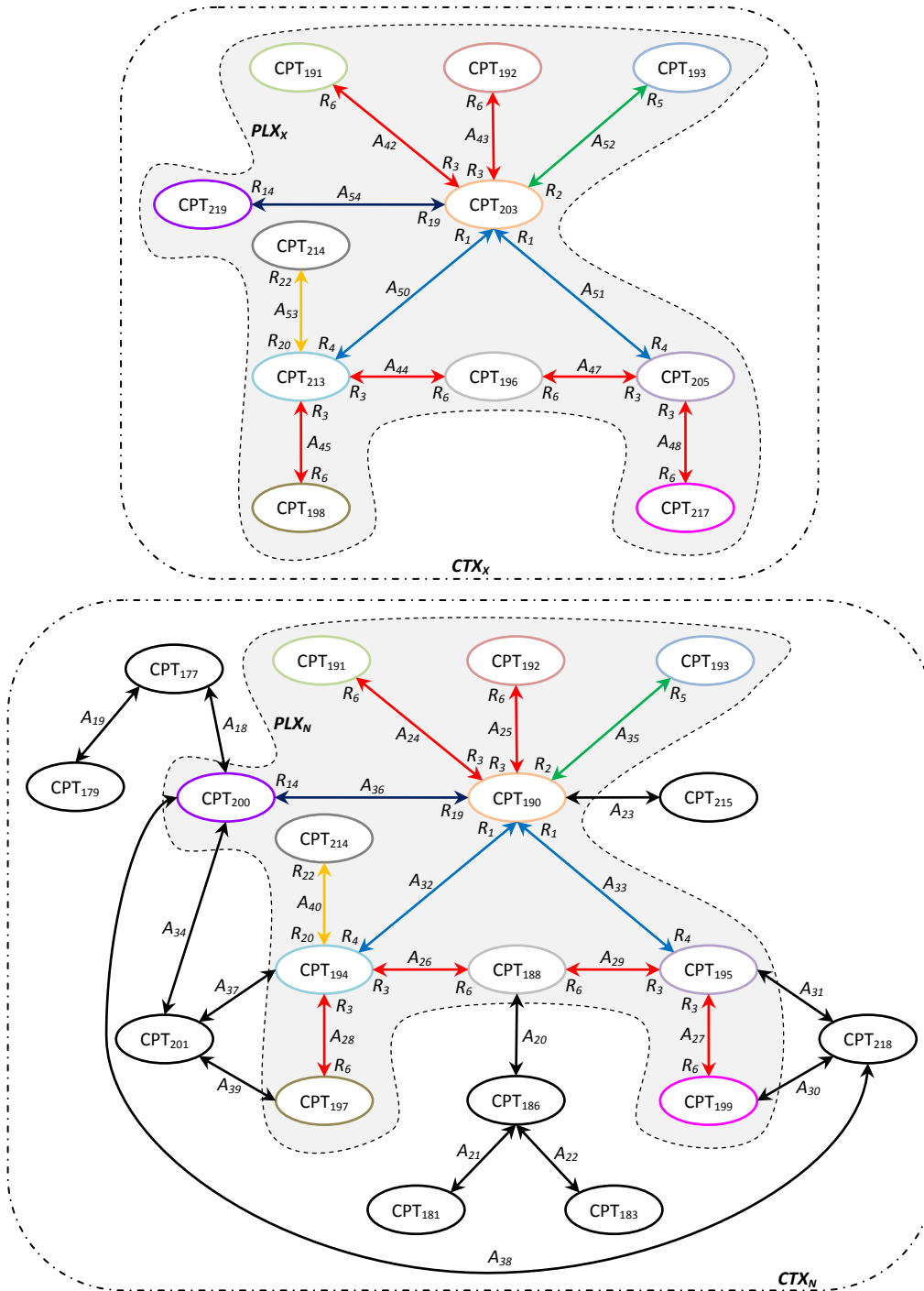
4.1.8 Успостављање асоцијација између тополошки аналогних сплетова

Након спроведеног поступка утврђивања тополошки аналогних сплетова кориснику бивају графички приказани улазни сплет (или његови фрагменти) и њему (или њима) тополошки аналогни сплетови који су смештени у базу података. Кориснику се овде нуди могућност да успостави асоцијације између изабраних тополошки аналогних сплетова. Чланови асоцијације су у том случају тополошки аналогни сплетови означени својим идентификационим бројем, а за остале параметре асоцијације су кориснику доступне све вредности као и код креирања асоцијација између других семантичких елемената (рецимо појмова или контекста). На овај начин би могла да се изврши семантичка категоризација два семантички удаљена (и тополошки аналогна) сплета или контекста. Касније би, захваљујући овако успостављеним асоцијацијама, било могуће вршити претраживање мреже преко ових асоцијација које повезују делове мреже, односно скупове семантички блиских асоцијација, а не „фронтално“. Овакав приступ даје и додатну дубину семантичке интерпретације и категоризације АСМ-а јер је могуће увести и сплетове и контексте у процес утврђивања сличности асоцијација.

4.2 Поступак доградње контекста

4.2.1 Доградња тополошки аналогних сплетова

У случају када је улазни сплет PLX_X тополошки аналоган неком познатом сплету PLX_N , без обзира да ли се ради о семантички блиским или семантички удаљеним тополошки аналогним сплетовима, АСМ ће користити такозвану логику доградње тополошки аналогних сплетова (изоморфних графова). У основи ове логике је препознавање сплетова и фрагмената сплетова из мреже који су тополошки аналогни улазном сплету и његовим фрагментима (слика 4-16). Пошто препозна један или више сплетова из мреже који су тополошки аналогни улазном сплету, АСМ приказује исте кориснику (погледати слику 4-48 из поглавља 4.3 AcSeMod програмска апликација – Алат за тестирање приступа). Уз сваки приказан тополошки аналоган сплет су наведени подаци који говоре о његовој семантичкој блискости са улазним сплетом (број заједничких (идентичних) појмова, број семантички блиских појмова (појмови који су синоними или слични у општем контексту), назив врсте топологије, број асоцијација, број појмова). Корисник бира један од приказаних сплетова као *узорни сплет* за доградњу, након чега АСМ спроводи поступак доградње улазног сплета према узору на сплет који је корисник изабрао.



Слика 4-16 Препознавање тополошки аналогних сплетова у процесу доградње контекста

Логика доградње тополошки аналогног сплета је следећа:

$$\text{Ако } \{A_{i,j}^{PLX_X}\} \asymp \{A_{k,l}^{PLX_N}\} \wedge \{CPT_i^{PLX_X}\} \asymp \{CPT_k^{PLX_N}\} \Rightarrow PLX_X \asymp PLX_N$$

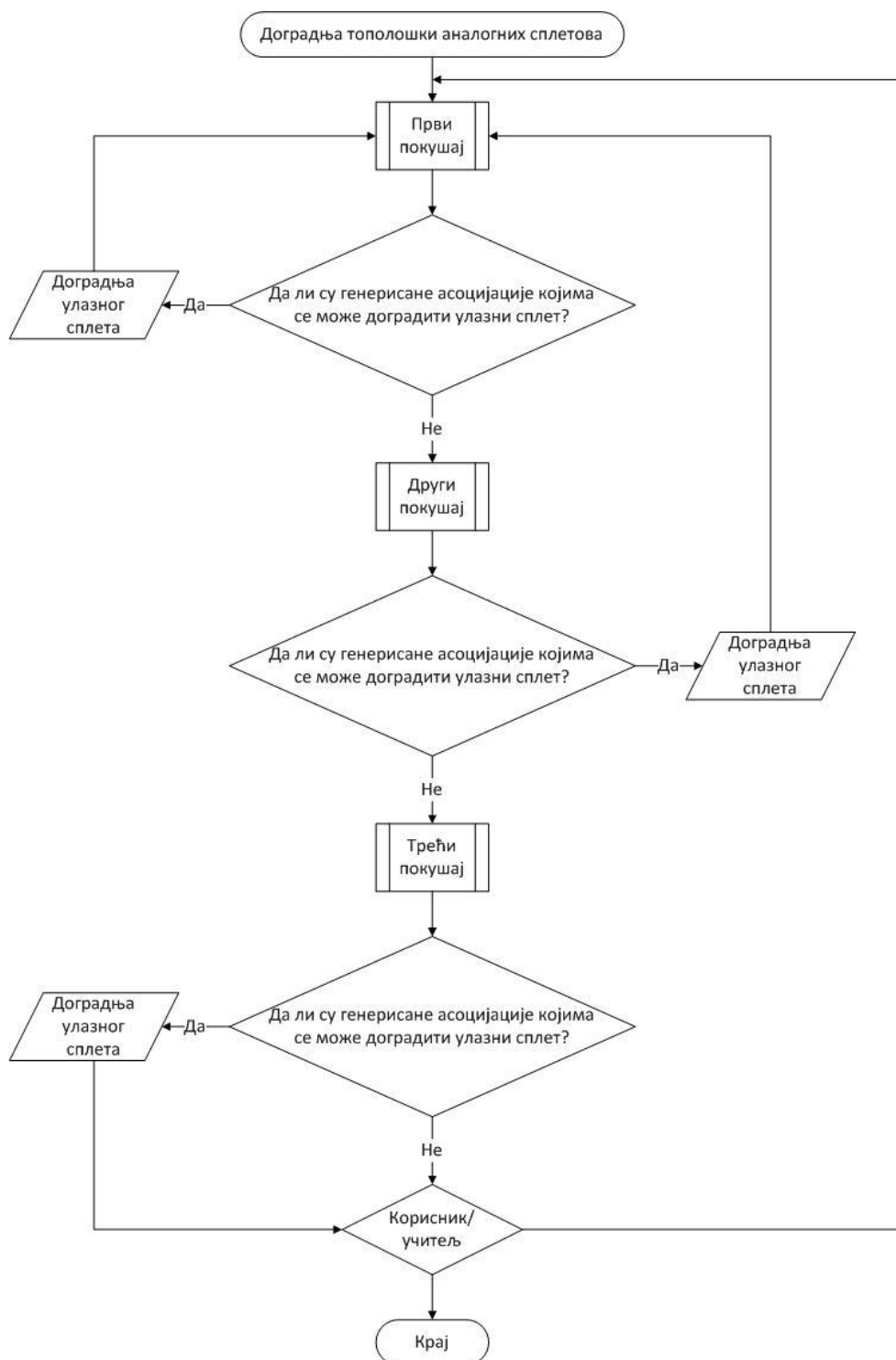
$$\text{где су } A_{i,j}^{PLX_X} = A_{CPT_i \leftrightarrow CPT_j}^{PLX_X}, A_{k,l}^{PLX_N} = A_{CPT_k \leftrightarrow CPT_l}^{PLX_N}, PLX_N \subseteq CTX_N$$

тада је могуће да постоји контекст CTX_X , чији је подскуп улазни („новоузнати“) сплет PLX_X , који је тополошки аналоган познатом контексту CTX_N :

$$\exists CTX_X \mid CTX_X \supseteq PLX_X \wedge CTX_X \asymp CTX_N$$

Према томе, улазни сплет PLX_X треба доградити до контекста CTX_X по узору на преостали део познатог контекста CTX_N .

Логика доградње тополошки аналогног сплета се изводи у три тзв. *покушаја*. Први и други покушај се спроводе у више итерација (слика 4-17). Након спроведеног трећег покушаја корисник одлучује, у зависности од тога да ли је задовољан резултатима, да ли ће се поступак доградње завршити или ће бити спроведен из почетка (од првог покушаја, са истим улазним сплетом).



Слика 4-17 Редослед спровођења покушаја приликом спровођења поступка доградње

Пре спровођења покушаја је потребно додати записе у помоћну табелу *узорних асоцијација* и помоћну табелу *тополошки кореспондентних појмова*. У помоћну табелу *узорних асоцијација* (назив табеле је *uzorna_asocijacija*) се додају асоцијације које припадају контексту чији је подскуп узорни сплет, а не припадају узорном сплету (табела 4-18) (ове асоцијације представљају у ствари разлику између контекста чији је подскуп узорни сплет и узорног сплета). Ова помоћна табела садржи асоцијације по узору на које ће бити дограђен улазни сплет (асоцијације означене црном линијом на слици 4-16). Узорна асоцијација се у току поступка доградње брише из помоћне табеле *узорних асоцијација* када се на основу ње догради улазни сплет.

Табела 4-18 Помоћна табела узорних асоцијација

ID	Члан 1	Члан 2
A ₁₈	CPT ₂₀₀	CPT ₁₇₇
A ₁₉	CPT ₁₇₉	CPT ₁₇₇
A ₂₀	CPT ₁₈₈	CPT ₁₈₆
A ₂₁	CPT ₁₈₁	CPT ₁₈₆
A ₂₂	CPT ₁₈₃	CPT ₁₈₆
A ₂₃	CPT ₂₁₅	CPT ₁₉₀
A ₃₀	CPT ₁₉₉	CPT ₂₁₈
A ₃₁	CPT ₁₉₅	CPT ₂₁₈
A ₃₄	CPT ₂₀₀	CPT ₂₀₁
A ₃₇	CPT ₁₉₄	CPT ₂₀₁
A ₃₈	CPT ₂₀₀	CPT ₂₁₈
A ₃₉	CPT ₁₉₇	CPT ₂₀₁

У помоћну табелу *тополошки кореспондентних појмова* (назив табеле је *splet_tkp*) се иницијално додају тополошки кореспондентни појмови улазног и узорног сплета (табела 4-19). Записе ове табеле је могуће лако формирати на основу записа помоћне табеле са тополошки кореспондентним асоцијацијама који се односе на улазни и узорни сплет (ови записи су били додати у току поступка утврђивања тополошки аналогних сплетова улазном сплету). Сваки пут када се улазном сплету дода нова асоцијација (то јест, када се исти догради) у табелу 4-19 се, уколико је неопходно, додаје запис са подацима о новим тополошки кореспондентним појмовима (у овим случајевима ће то већ бити тополошки кореспондентни појмови контекста CTX_X и CTX_N).

Табела 4-19 Помоћна табела *тополошки кореспондентних појмова*

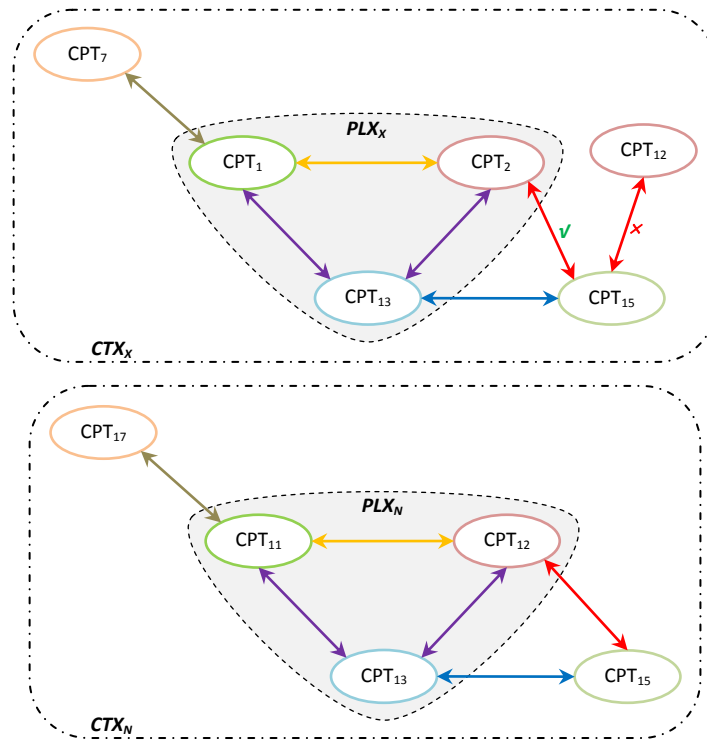
ТКП CTX_X	ТКП CTX_N
CPT_{191}	CPT_{191}
CPT_{192}	CPT_{192}
CPT_{193}	CPT_{193}
CPT_{196}	CPT_{188}
CPT_{198}	CPT_{197}
CPT_{203}	CPT_{190}
CPT_{205}	CPT_{195}
CPT_{213}	CPT_{194}
CPT_{214}	CPT_{214}
CPT_{217}	CPT_{199}
CPT_{219}	CPT_{200}

Трећа табела која се користи приликом доградње тополошки аналогних сплетова је помоћна табела *dogradnja_spleta*. У ову табелу након сваке итерације или дела итерације АСМ додаје асоцијације којима се може доградити улазни сплет. Овде треба обратити пажњу на чињеницу да је на основу једне узорне асоцијације у ову табелу могуће додати више асоцијација. Након додавања асоцијација у ову табелу АСМ анализира садржај табеле и одбацује неке од додатих асоцијација и евентуално додаје нове асоцијације на основу одбачених асоцијација. Ова процедура, којом се, у општем случају, врши редукција садржаја помоћне табеле *dogradnja_spleta* се одвија у три корака, према дефинисаној логици.

У првом кораку се анализирају чланови асоцијација и упоређују са члановима у пољу $TKП\ CTX_N$ помоћне табеле *тополошки кореспондентних појмова* (тополошки кореспондентни појмови контекста чији је подскуп узорни сплет). Уколико се испостави да се неки од чланова асоцијација појављују у пољу $TKП\ CTX_N$, они у асоцијацијама бивају замењени својим тополошки кореспондентним појмом у улазном сплету (одговарајућим појмом у пољу $TKП\ CTX_X$ помоћне табеле *тополошки кореспондентних појмова*) (израз 4-17 и слика 4-18).

4-17

$$\begin{aligned} & \exists A_{CPT_i \leftrightarrow CPT_j} \mid \{A_{CPT_i \leftrightarrow CPT_j}\} \in dogradnja_spleta, \{CPT_i\} \in CTX_X, \{CPT_j\} \in CTX_N \wedge \\ & \exists CPT_k \mid \{CPT_k\} \in CTX_X \wedge CPT_k \asymp CPT_j \\ & \{A_{CPT_i \leftrightarrow CPT_k}\} \in dogradnja_spleta \wedge \{A_{CPT_i \leftrightarrow CPT_j}\} \notin dogradnja_spleta \end{aligned}$$

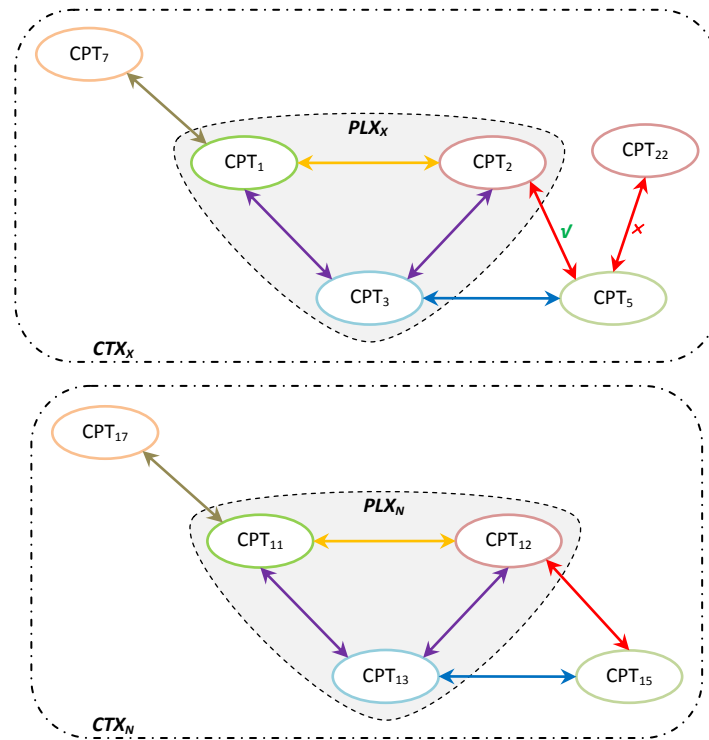


Слика 4-18 Први корак редукције садржаја помоћне табеле *dogradnja_spleta*. Појам CPT_{12} ће у асоцијацији бити замењен појмом CPT_2 , односно својим тополошки кореспондентним појмом у улазном сплету.

У другом кораку се анализирају чланови асоцијација и проналазе они који су тополошки кореспондентни члановима у пољу $TKП\ CTX_N$ помоћне табеле *тополошки кореспондентних појмова* (тополошки кореспондентни појмови контекста чији је подскуп узорни сплет). Уколико се испостави да је неки од чланова асоцијација тополошки кореспондентан појму у пољу $TKП\ CTX_N$, он у асоцијацији бива замењен одговарајућим појмом у пољу $TKП\ CTX_X$ помоћне табеле *тополошки кореспондентних појмова* (израз 4-18 и слика 4-19).

4-18

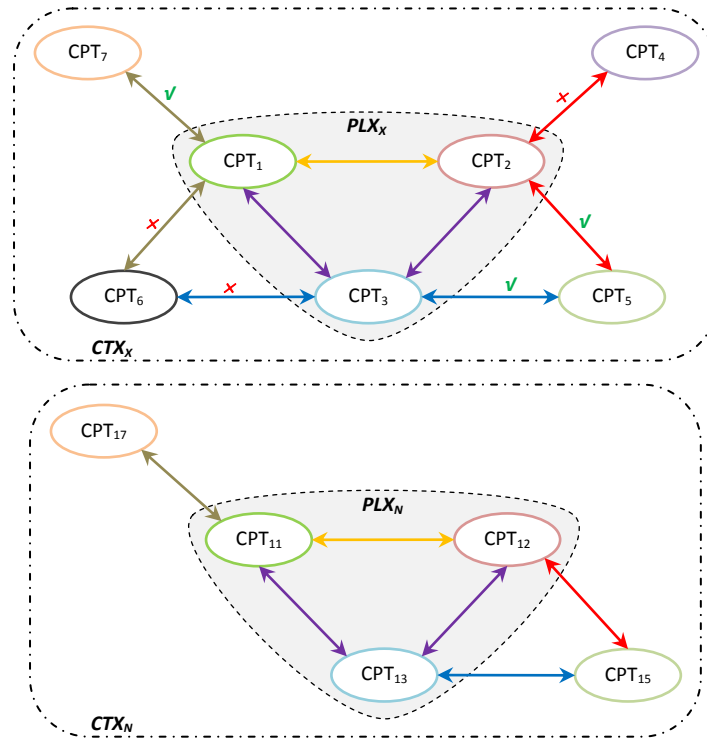
$$\begin{aligned} & \exists A_{CPT_i \leftrightarrow CPT_j} \mid \{A_{CPT_i \leftrightarrow CPT_j}\} \in dogradnja_spleta, \{CPT_i\} \in CTX_X, \{CPT_j\} \notin CTX_N \wedge CPT_j \asymp CPT_k, \{CPT_k\} \in CTX_N \\ & \exists CPT_l \mid \{CPT_l\} \in CTX_X \wedge CPT_l \asymp CPT_k \\ & \{A_{CPT_i \leftrightarrow CPT_l}\} \in dogradnja_spleta \wedge \{A_{CPT_i \leftrightarrow CPT_j}\} \notin dogradnja_spleta \end{aligned}$$



Слика 4-19 Други корак редукције садржаја помоћне табеле *dogradnja_spleta*. Појам CPT_{22} (тополошки кореспондентан појму CPT_{12} узорног сплета) ће у асоцијацији бити замењен појмом CPT_2 , који је тополошки кореспондентан појам улазног сплета појму CPT_{12} узорног сплета.

У трећем кораку се анализирају чланови асоцијација и међусобно упоређују. Задржава се само скуп асоцијација чија је структура идентична структури скупа асоцијација контекста CTX_N , по узору на који је исти формиран (слика 4-20).

Након редукције садржаја помоћне табеле *dogradnja_spleta*, асоцијације из ове табеле бивају понуђене кориснику као асоцијације за доградњу улазног сплета. Предвиђена је могућност одбацивања (неке или свих) понуђених асоцијација од стране корисника. Након одбацивања понуђене асоцијације ACM, у следећим случајевима доградње улазног сплета, неће више нудити исту кориснику (неће нудити асоцијацију између датих појмова, датог типа асоцијације (и улога појмова) у датом контексту).



Слика 4-20 Трећи корак редукције садржаја помоћне табеле *dogradnja_spleta*

4.2.2 Први покушај

Први покушај се спроводи у више итерација. Поступак за сваку итерацију је идентичан. Једина разлика је у томе што се између итерација мења стање у помоћним табелама *узорних асоцијација* и евентуално *тополошки кореспондентних појмова* и што се додају асоцијације контексту чији је подскуп улазни сплет чиме се исти дограђује.

4.2.2.1 Семантички удаљени тополошки кореспондентни појмови

На почетку се проналазе семантички удаљени тополошки кореспондентни појмови улазног и узорног сплета уз додатни услов да су пронађени појмови узорног сплета чланови узорних асоцијација (записи у помоћној табели *узорних асоцијација*) (израз 4-19).

4-19

$$\exists CPT_i \mid \{CPT_i\} \in PLX_X \wedge \exists CPT_j \mid \{CPT_j\} \in PLX_N$$

1. такви да $CPT_i \asymp CPT_j$
2. такви да $CPT_i \neq CPT_j, \nexists A_{CPT_i \leftrightarrow CPT_j}^{CTX_0} \mid t(A_{CPT_i \leftrightarrow CPT_j}^{CTX_0}) = \text{сличност} \vee t(A_{CPT_i \leftrightarrow CPT_j}^{CTX_0}) = \text{синонимски}$
3. такви да $\exists A_{CPT_j \leftrightarrow CPT_{j+1}}^{CTX_N} \mid \{A_{CPT_j \leftrightarrow CPT_{j+1}}^{CTX_N}\} \in CTX_N \wedge \{A_{CPT_j \leftrightarrow CPT_{j+1}}^{CTX_N}\} \notin PLX_N, PLX_N \subseteq CTX_N$

Ако такви појмови буду пронађени, АСМ тражи све асоцијације које у мрежи граде појмови улазног сплета, а које су тополошки кореспондентне узорним асоцијацијама у којима учествују њихови тополошки кореспондентни појмови у којима они имају исте улоге и њих додаје у помоћну табелу *dogradnja_spleta* (израз 4-20).

4-20

$$\exists A_{CPT_i \leftrightarrow CPT_k}^{CTX_M} \mid \{A_{CPT_i \leftrightarrow CPT_k}^{CTX_M}\} \in CTX_M \wedge A_{CPT_i \leftrightarrow CPT_k}^{CTX_M} \asymp A_{CPT_j \leftrightarrow CPT_{j+1}}^{CTX_N}, r(CPT_i) = r(CPT_j)$$

$$\{A_{CPT_i \leftrightarrow CPT_k}^{CTX_X}\} \in dogradnja_spleta$$

$$t(A_{i,k}^{CTX_X}) = t(A_{i,k}^{CTX_M})$$

$$c(A_{i,k}^{CTX_X}) = c(A_{i,k}^{CTX_M})$$

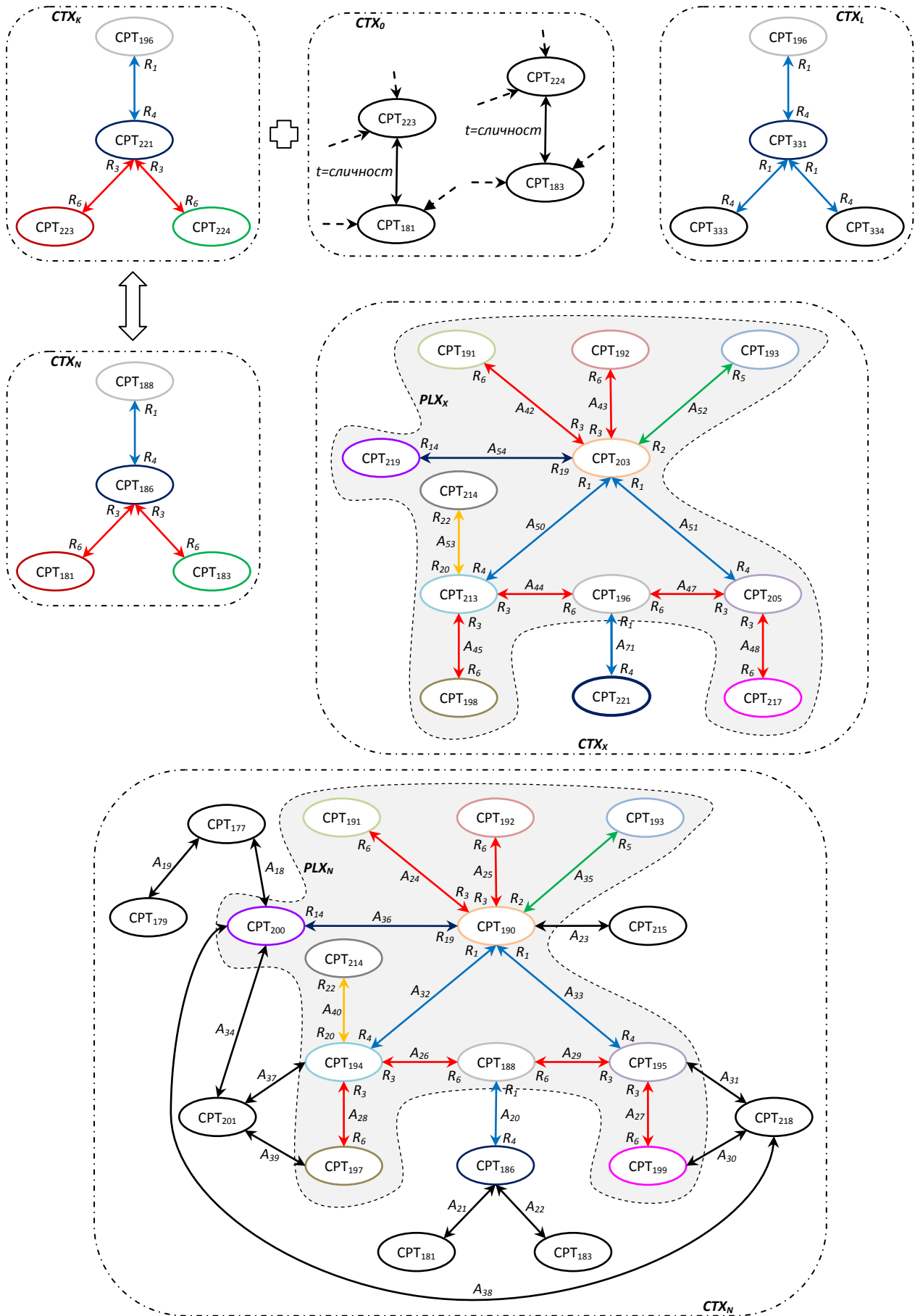
$$d(A_{i,k}^{CTX_X}) = d(A_{i,k}^{CTX_M})$$

$$h(A_{i,k}^{CTX_X}) = h(A_{i,k}^{CTX_M})$$

$$s(A_{i,k}^{CTX_X}) = s(A_{i,k}^{CTX_M})$$

где је $A_{i,k}^{CTX_X} = A_{CPT_i \leftrightarrow CPT_k}^{CTX_X}$, а $A_{i,k}^{CTX_M} = A_{CPT_i \leftrightarrow CPT_k}^{CTX_M}$

У примеру на слици 4-21 ACM је пронашао две асоцијације које у мрежи гради појам CPT_{196} улазног сплета, а које су тополошки кореспондентне асоцијацији A_{20} узорног сплета у којој учествује његов (семантички удаљен) тополошки кореспондентан појам CPT_{188} . У питању су асоцијација између појмова CPT_{196} и CPT_{221} у контексту CTX_K и асоцијација између појмова CPT_{196} и CPT_{331} у контексту CTX_L (слика 4-21 (горе)). Даљом анализом асоцијација које граде појам CPT_{221} у контексту CTX_K и појам CPT_{331} у контексту CTX_L ACM одлучује да догради улазни сплет асоцијацијом између појмова CPT_{196} и CPT_{221} (слика 4-21) из следећих разлога: 1) Појам CPT_{221} учествује у асоцијацијама са појмовима CPT_{223} и CPT_{224} у контексту CTX_K које су тополошки кореспондентне асоцијацијама које појам CPT_{186} гради са појмовима CPT_{181} и CPT_{183} у контексту CTX_N ; 2) између појмова CPT_{223} и CPT_{181} и појмова CPT_{224} и CPT_{183} у општем контексту постоји асоцијација типа сличности. Другим речима, појам CPT_{221} гради тополошки кореспондентне асоцијације са сличним појмовима (у контексту CTX_K) асоцијацијама које гради појам CPT_{186} (у контексту CTX_N). Ово не важи за асоцијације које греди појам CPT_{331} (у контексту CTX_L).



Слика 4-21 Прва итерација првог покушаја доградње тополошки аналогних сплетова – семантички удаљени тополошки кореспондентни појмови

Након додавања асоцијације бивају ажуриране помоћне табеле узорних асоцијација и тополошки кореспондентних појмова (табеле 4-20 и 4-21, респективно).

Табела 4-20 Помоћна табела узорних асоцијација у првој итерацији првог покушаја након проналажења семантички удаљених тополошки кореспондентних појмова

ID	Члан 1	Члан 2
A ₁₈	CPT ₂₀₀	CPT ₁₇₇
A ₁₉	CPT ₁₇₉	CPT ₁₇₇
A ₂₁	CPT ₁₈₁	CPT ₁₈₆
A ₂₂	CPT ₁₈₃	CPT ₁₈₆
A ₂₃	CPT ₂₁₅	CPT ₁₉₀
A ₃₀	CPT ₁₉₉	CPT ₂₁₈
A ₃₁	CPT ₁₉₅	CPT ₂₁₈
A ₃₄	CPT ₂₀₀	CPT ₂₀₁
A ₃₇	CPT ₁₉₄	CPT ₂₀₁
A ₃₈	CPT ₂₀₀	CPT ₂₁₈
A ₃₉	CPT ₁₉₇	CPT ₂₀₁

Табела 4-21 Помоћна табела тополошки кореспондентних појмова у првој итерацији првог покушаја након проналажења семантички удаљених тополошки кореспондентних појмова

ТКП CTX_X	ТКП CTX_N
CPT ₁₉₁	CPT ₁₉₁
CPT ₁₉₂	CPT ₁₉₂
CPT ₁₉₃	CPT ₁₉₃
CPT ₁₉₆	CPT ₁₈₈
CPT ₁₉₈	CPT ₁₉₇
CPT ₂₀₃	CPT ₁₉₀
CPT ₂₀₅	CPT ₁₉₅
CPT ₂₁₃	CPT ₁₉₄
CPT ₂₁₄	CPT ₂₁₄
CPT ₂₁₇	CPT ₁₉₉
CPT ₂₁₉	CPT ₂₀₀
CPT ₂₂₁	CPT ₁₈₆

4.2.2.2 Семантички блиски тополошки кореспондентни појмови

Следи проналажење тополошки кореспондентних појмова улазног и узорног сплета (или контекста чији су они подскуп) који су идентични (означено елементом $\equiv$) или су пак синоними (означено елементом 5.~ (*пета класа сличности*)) или слични (означено елементом 4.~ (*четврта класа сличности*)) у општем контексту (*семантички блиски тополошки кореспондентни појмови*), уз додатни услов да су пронађени појмови узорног сплета чланови узорних асоцијација (записи у помоћној табели *узорних асоцијација*) (израз 4-21).

4-21

$$\exists CPT_i \mid \{CPT_i\} \in PLX_X \wedge \exists CPT_j \mid \{CPT_j\} \in PLX_N$$

1. такви да $CPT_i \asymp CPT_j$

2. такви да $CPT_i \equiv CPT_j \vee CPT_i \overset{5. \sim}{\leftrightarrow} CPT_j \vee CPT_i \overset{4. \sim}{\leftrightarrow} CPT_j$ у општем контексту

3. такви да $\exists A_{CPT_j \leftrightarrow CPT_{j+1}}^{CTX_N} \mid \{A_{CPT_j \leftrightarrow CPT_{j+1}}^{CTX_N}\} \in CTX_N \wedge \{A_{CPT_j \leftrightarrow CPT_{j+1}}^{CTX_N}\} \notin PLX_N, PLX_N \subseteq CTX_N$

Ако такви појмови буду пронађени, АСМ додаје узорне асоцијације у којима учествују пронађени тополошки кореспондентни појмови узорног сплета у табелу *dogradnja_spleta*, с тим што ће у њима појам узорног сплета бити замењен својим тополошки кореспондентним појмом у улазном сплету (израз 4-22).

4-22

$$\{A_{CPT_i \leftrightarrow CPT_{j+1}}^{CTX_X}\} \in dogradnja_spleta$$

$$t(A_{i,j+1}^{CTX_X}) = t(A_{j,j+1}^{CTX_N})$$

$$c(A_{i,j+1}^{CTX_X}) = c(A_{j,j+1}^{CTX_N})$$

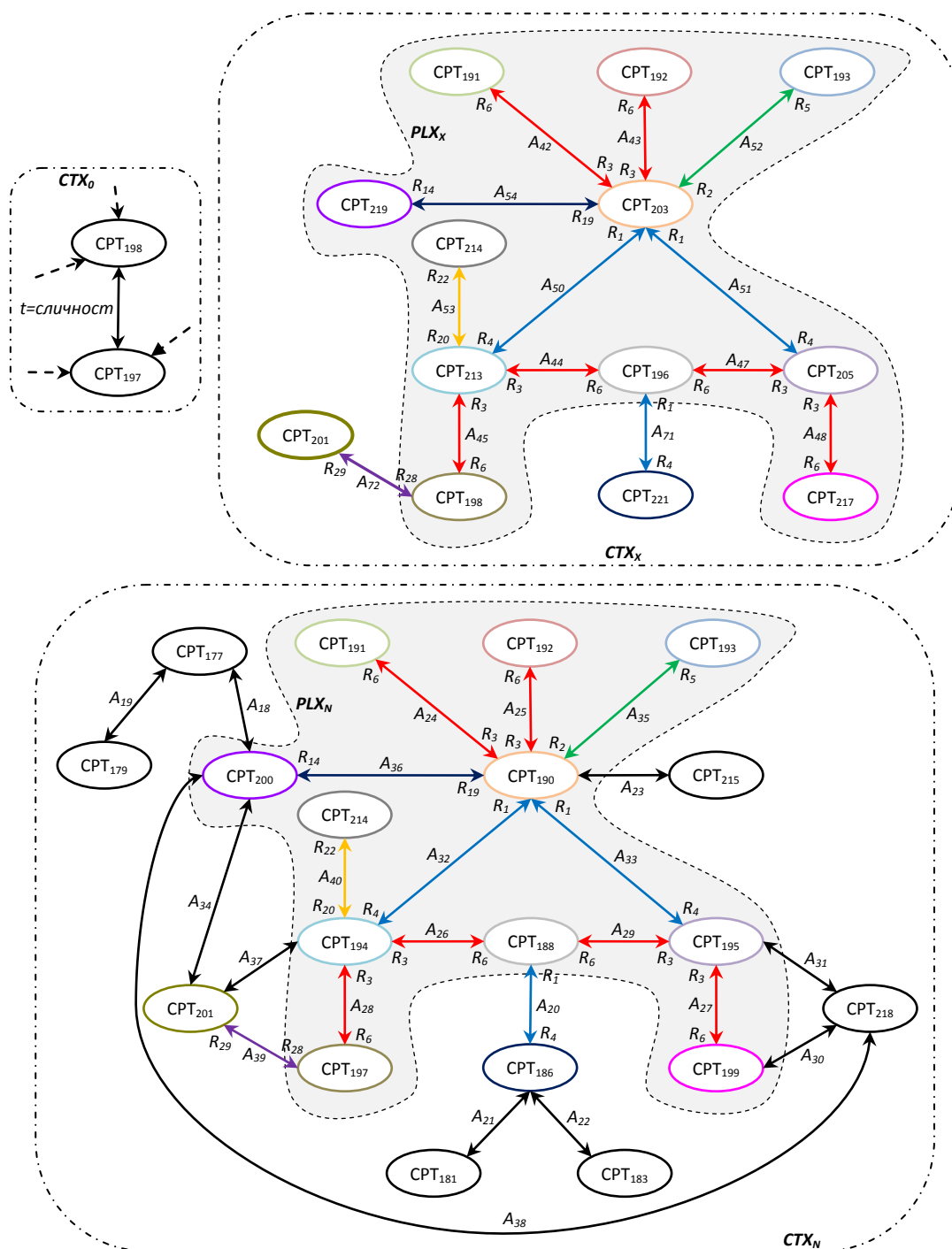
$$d(A_{i,j+1}^{CTX_X}) = d(A_{j,j+1}^{CTX_N})$$

$$h(A_{i,j+1}^{CTX_X}) = h(A_{j,j+1}^{CTX_N})$$

$$s(A_{i,j+1}^{CTX_X}) = s(A_{j,j+1}^{CTX_N})$$

где је $A_{i,j+1}^{CTX_X} = A_{CPT_i \leftrightarrow CPT_{j+1}}^{CTX_X}$, а $A_{j,j+1}^{CTX_N} = A_{CPT_j \leftrightarrow CPT_{j+1}}^{CTX_N}$

У примеру на слици 4-22 између појма CPT_{197} узорног сплета, који је члан узорне асоцијације A_{39} (погледати табелу 4-20), и њему тополошки кореспондентног појма у улазном сплету (CPT_{198} – погледати табелу 4-21), у општем контексту постоји асоцијација типа сличности, па ће у табелу *dogradnja_spleta* бити додата асоцијација између појмова CPT_{198} и CPT_{201} која ће имати идентичне параметре као и узорна асоцијација A_{39} . Други појам ове асоцијације – CPT_{201} – нема тренутно тополошки кореспондентан појам у улазном сплету (погледати табелу 4-21), па није потребно вршити редукцију, односно измену, садржаја табеле *dogradnja_spleta* (погледати израз 4-17 и слику 4-18). Улазни сплет ће коначно (по узору на асоцијацију A_{39}) бити дограђен асоцијацијом између појмова CPT_{198} и CPT_{201} из табеле *dogradnja_spleta* (слика 4-22).



Слика 4-22 Прва итерација првог покушаја доградње тополошки аналогних сплетова – семантички блиски тополошки кореспондентни појмови

Након додавања асоцијације бивају ажуриране помоћне табеле узорних асоцијација и тополошки кореспондентних појмова (табеле 4-22 и 4-23 респективно).

Табела 4-22 Помоћна табела узорних асоцијација у првој итерацији првог покушаја након проналажења семантички блиских тополошки кореспондентних појмова

ID	Члан 1	Члан 2
A ₁₈	CPT ₂₀₀	CPT ₁₇₇
A ₁₉	CPT ₁₇₉	CPT ₁₇₇
A ₂₁	CPT ₁₈₁	CPT ₁₈₆
A ₂₂	CPT ₁₈₃	CPT ₁₈₆
A ₂₃	CPT ₂₁₅	CPT ₁₉₀
A ₃₀	CPT ₁₉₉	CPT ₂₁₈
A ₃₁	CPT ₁₉₅	CPT ₂₁₈
A ₃₄	CPT ₂₀₀	CPT ₂₀₁
A ₃₇	CPT ₁₉₄	CPT ₂₀₁
A ₃₈	CPT ₂₀₀	CPT ₂₁₈

Табела 4-23 Помоћна табела *тополошки кореспондентних појмова* у првој итерацији првог покушаја након проналажења семантички блиских тополошки кореспондентних појмова

ТКП CTX_X	ТКП CTX_N
CPT ₁₉₁	CPT ₁₉₁
CPT ₁₉₂	CPT ₁₉₂
CPT ₁₉₃	CPT ₁₉₃
CPT ₁₉₆	CPT ₁₈₈
CPT ₁₉₈	CPT ₁₉₇
CPT ₂₀₃	CPT ₁₉₀
CPT ₂₀₅	CPT ₁₉₅
CPT ₂₁₃	CPT ₁₉₄
CPT ₂₁₄	CPT ₂₁₄
CPT ₂₁₇	CPT ₁₉₉
CPT ₂₁₉	CPT ₂₀₀
CPT ₂₂₁	CPT ₁₈₆
CPT ₂₀₁	CPT ₂₀₁

4.2.2.3 Друга итерација првог покушаја

У примеру на слици 4-23 АСМ је пронашао две асоцијације које у мрежи гради појам CPT_{221} улазног сплета у контексту CTX_K , а које су тополошки кореспондентне асоцијацијама A_{21} и A_{22} узорног сплета у којима учествује његов (семантички удаљен) тополошки кореспондентан појам CPT_{186} (слика 4-23). Улазни сплет ће бити дограђен асоцијацијама између појмова CPT_{221} и CPT_{223} и појмова CPT_{221} и CPT_{224} (слика 4-23).

Након додавања асоцијација бивају ажуриране помоћне табеле узорних асоцијација и тополошки кореспондентних појмова (табеле 4-24 и 4-25 респективно).

Табела 4-24 Помоћна табела узорних асоцијација у другој итерацији првог покушаја након проналажења семантички удаљених тополошки кореспондентних појмова

ID	Члан 1	Члан 2
A ₁₈	CPT ₂₀₀	CPT ₁₇₇
A ₁₉	CPT ₁₇₉	CPT ₁₇₇
A ₂₃	CPT ₂₁₅	CPT ₁₉₀
A ₃₀	CPT ₁₉₉	CPT ₂₁₈
A ₃₁	CPT ₁₉₅	CPT ₂₁₈
A ₃₄	CPT ₂₀₀	CPT ₂₀₁
A ₃₇	CPT ₁₉₄	CPT ₂₀₁
A ₃₈	CPT ₂₀₀	CPT ₂₁₈

Табела 4-25 Помоћна табела тополошки кореспондентних појмова у другој итерацији првог покушаја након проналажења семантички удаљених тополошки кореспондентних појмова

ТКП CTX_X	ТКП CTX_N
CPT ₁₉₁	CPT ₁₉₁
CPT ₁₉₂	CPT ₁₉₂
CPT ₁₉₃	CPT ₁₉₃
CPT ₁₉₆	CPT ₁₈₈
CPT ₁₉₈	CPT ₁₉₇
CPT ₂₀₃	CPT ₁₉₀
CPT ₂₀₅	CPT ₁₉₅
CPT ₂₁₃	CPT ₁₉₄
CPT ₂₁₄	CPT ₂₁₄
CPT ₂₁₇	CPT ₁₉₉
CPT ₂₁₉	CPT ₂₀₀
CPT ₂₂₁	CPT ₁₈₆
CPT ₂₀₁	CPT ₂₀₁
CPT ₂₂₃	CPT ₁₈₁
CPT ₂₂₄	CPT ₁₈₃

У примеру на слици 4-24 у другој итерацији првог покушаја је пронађен идентичан (семантички близак) тополошки кореспондентан појам контекста чији су подскупови улазни и узорни сплет – CPT₂₀₁ – који је у контексту CTX_N члан узорних асоцијација A₃₇ и A₃₄. АСМ у помоћну табелу *dogradnja_spleta* додаје асоцијације између појмова CPT₂₀₁ и CPT₁₉₄ и појмова CPT₂₀₁ и CPT₂₀₀ које имају идентичне параметре као и асоцијације A₃₇ и A₃₄ респективно. Обзиром да су појмови CPT₂₁₃ и CPT₂₁₉ улазног сплета тополошки кореспондентни појмовима CPT₁₉₄ и CPT₂₀₀ узорног сплета, респективно (погледати табелу 4-25), у додатим асоцијацијама ће појмови узорног сплета CPT₁₉₄ и CPT₂₀₀ бити замењени појмовима CPT₂₁₃ и CPT₂₁₉, респективно (погледати израз 4-17 и слику 4-18). Улазни сплет ће

Табела 4-26 Помоћна табела *узорних асоцијација* у другој итерацији првог покушаја након проналажења семантички блиских тополошки кореспондентних појмова

ID	Члан 1	Члан 2
A ₁₈	CPT ₂₀₀	CPT ₁₇₇
A ₁₉	CPT ₁₇₉	CPT ₁₇₇
A ₂₃	CPT ₂₁₅	CPT ₁₉₀
A ₃₀	CPT ₁₉₉	CPT ₂₁₈
A ₃₁	CPT ₁₉₅	CPT ₂₁₈
A ₃₈	CPT ₂₀₀	CPT ₂₁₈

Садржај помоћне табеле *тополошки кореспондентних појмова* се неће променити обзиром да у овој итерацији нису били пронађени нови тополошки кореспондентни појмови (табела 4-27).

Табела 4-27 Помоћна табела *тополошки кореспондентних појмова* у другој итерацији првог покушаја након проналажења семантички блиских тополошки кореспондентних појмова

ТКП CTX_X	ТКП CTX_N
CPT ₁₉₁	CPT ₁₉₁
CPT ₁₉₂	CPT ₁₉₂
CPT ₁₉₃	CPT ₁₉₃
CPT ₁₉₆	CPT ₁₈₈
CPT ₁₉₈	CPT ₁₉₇
CPT ₂₀₃	CPT ₁₉₀
CPT ₂₀₅	CPT ₁₉₅
CPT ₂₁₃	CPT ₁₉₄
CPT ₂₁₄	CPT ₂₁₄
CPT ₂₁₇	CPT ₁₉₉
CPT ₂₁₉	CPT ₂₀₀
CPT ₂₂₁	CPT ₁₈₆
CPT ₂₀₁	CPT ₂₀₁
CPT ₂₂₃	CPT ₁₈₁
CPT ₂₂₄	CPT ₁₈₃

4.2.3 Прекид покушаја доградње

Понављање (*првог* и *другог*) *покушаја* доградње се изводи све док помоћна табела *узорних асоцијација* не остане празна или док АСМ није у стању да дода нову асоцијацију у помоћну табелу *dogradnja_spleta*. Испуњење првог критеријума значи да више нема узорних асоцијација на основу којих би улазни сплет био дограђен, односно да је улазни сплет дограђен до контекста CTX_X који је (или чији је подскуп) *тополошки аналоган* контексту CTX_N чији је подскуп узорни сплет. Испуњење другог критеријума значи да са постојећим стањем у мрежи није више могуће дограђивати улазни сплет или да је корисник одбацио већину понуђених асоцијација од стране АСМ-а.

У примеру на слици 4-24 први покушај доградње се прекида након друге итерације.

4.2.4 Други покушај

Други покушај се спроводи у више итерација. Поступак за сваку итерацију је идентичан. Између сваке од итерација се спроводи комплетан први покушај (погледати слику 4-17).

4.2.4.1 Проналажење појмова сличних појмовима улазног сплета

У другом покушају АСМ тражи све појмове у мрежи који су слични појмовима улазног сплета, а који граде асоцијације које су тополошки кореспондентне преосталим узорним асоцијацијама. Потребно је пронаћи појмове који су слични појмовима улазног сплета у минимално 3. класи сличности (апсолутна вредност разлике тачности и значаја свих парова асоцијација који повезују те појмове мора бити мања од 0,5; сви парови асоцијација који повезују те појмове морају имати исте типове асоцијација (и исте одговарајуће улоге појмова) и карактере) (израз 4-23).

4-23

$$\exists CPT_i \mid \{CPT_i\} \in CTX_X \wedge \exists CPT_j \mid \{CPT_j\} \in CTX_K$$

1. такви да $CPT_i \overset{\geq 3}{\leftrightarrow} CPT_j$

2. такви да $\exists A_{CPT_j \leftrightarrow CPT_{j+1}}^{CTX_K} \mid \{A_{CPT_j \leftrightarrow CPT_{j+1}}^{CTX_K}\} \in CTX_K \wedge A_{CPT_j \leftrightarrow CPT_{j+1}}^{CTX_K} \asymp A_{CPT_k \leftrightarrow CPT_{k+1}}^{CTX_N}$

Ако такви појмови буду пронађени, АСМ додаје асоцијације које они граде, а које су тополошки кореспондентне преосталим узорним асоцијацијама, у помоћну табелу *dogradnja_spleta*, с тим што ће у њима пронађен појам бити замењен појмом улазног сплета коме је сличан (израз 4-24).

4-24

$$\{A_{CPT_i \leftrightarrow CPT_{j+1}}^{CTX_X}\} \in dogradnja_spleta$$

$$t(A_{i,j+1}^{CTX_X}) = t(A_{j,j+1}^{CTX_K})$$

$$c(A_{i,j+1}^{CTX_X}) = c(A_{j,j+1}^{CTX_K})$$

$$d(A_{i,j+1}^{CTX_X}) = d(A_{j,j+1}^{CTX_K})$$

$$h(A_{i,j+1}^{CTX_X}) = h(A_{j,j+1}^{CTX_K})$$

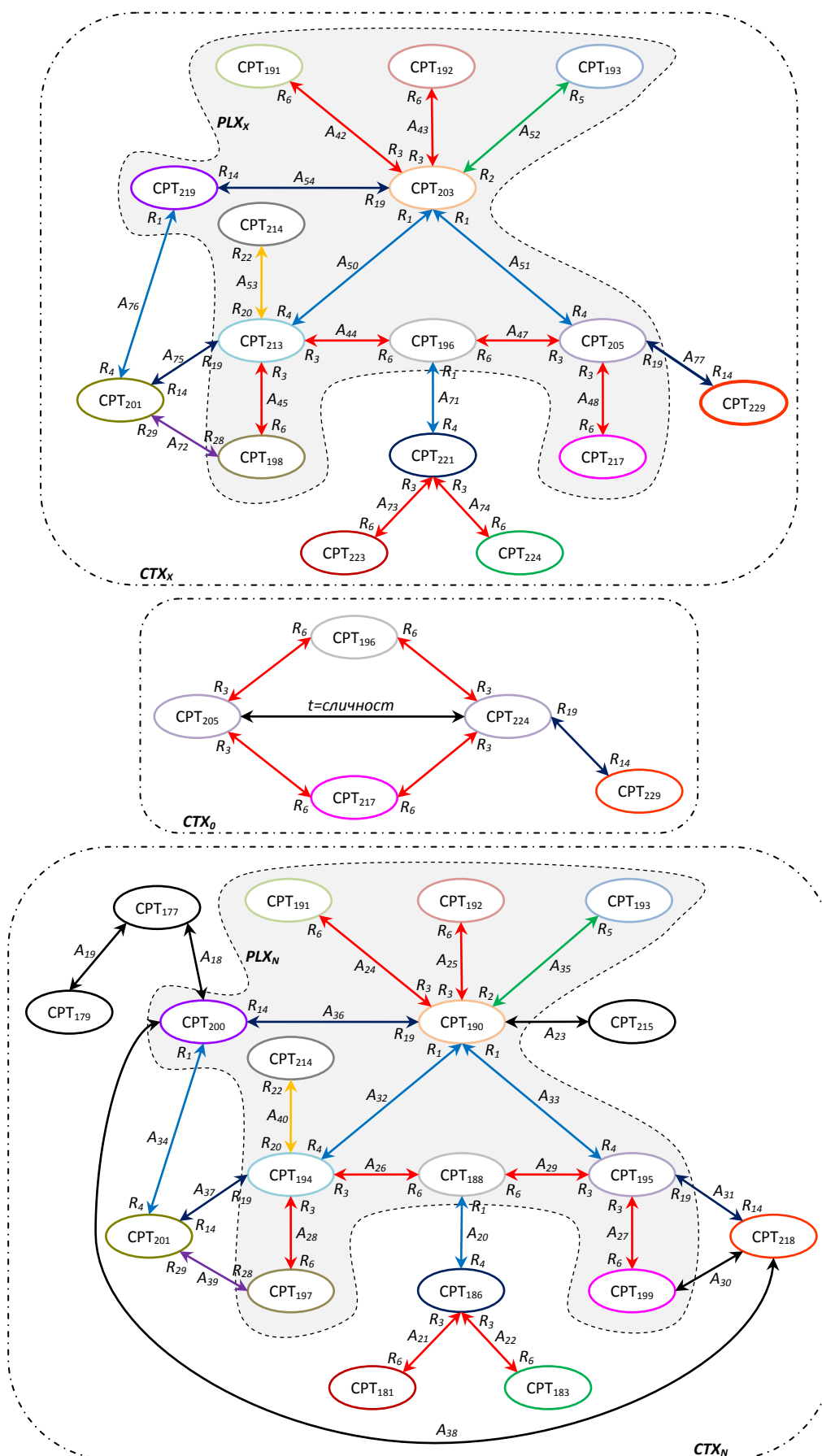
$$s(A_{i,j+1}^{CTX_X}) = s(A_{j,j+1}^{CTX_K})$$

где је $A_{i,j+1}^{CTX_X} = A_{CPT_i \leftrightarrow CPT_{j+1}}^{CTX_X}$, а $A_{j,j+1}^{CTX_K} = A_{CPT_j \leftrightarrow CPT_{j+1}}^{CTX_K}$

Асоцијације које је АСМ додао у помоћну табелу *dogradnja_spleta* бивају придружене и контекстима у којима су пронађени појмови слични појму улазног сплета (у минимално 3. класи сличности) (израз 4-25).

$$\left\{ A_{CPT_i \leftrightarrow CPT_{j+1}}^{CTX_K} \right\} \in CTX_K$$

У примеру на слици 4-25 појам улазног сплета CPT_{205} је у општем контексту сличан (у минимално 3. класи сличности) појму CPT_{224} који у истом контексту гради асоцијацију са појмом CPT_{229} која је тополошки кореспондентна асоцијацији A_{31} узорног сплета. АСМ додаје асоцијацију између појмова CPT_{205} и CPT_{229} која има идентичне параметре као и асоцијација између појмова CPT_{224} и CPT_{229} у општем контексту у помоћну табелу *dogradnja_spleta*. Други појам ове асоцијације – CPT_{229} – нема тренутно тополошки кореспондентан појам у контексту чији је подскуп улазни сплет (погледати табелу 4-27), па није потребно вршити редукцију, односно измену, садржаја табеле *dogradnja_spleta* (погледати израз 4-18 и слику 4-19). Улазни сплет ће коначно (по узору на асоцијацију A_{31}) бити дограђен асоцијацијом између појмова CPT_{205} и CPT_{229} из табеле *dogradnja_spleta* (слика 4-25). АСМ такође придружује општем контексту асоцијацију између појмова CPT_{205} и CPT_{229} која има идентичне параметре као и асоцијација између појмова CPT_{224} и CPT_{229} у том истом контексту.



Слика 4-25 Прва итерација другог покушаја доградње тополошки аналогних сплетова
– проналажење појмова сличних појмовима улазног сплетета

Након додавања асоцијације бивају ажуриране помоћне табеле узорних асоцијација и тополошки кореспондентних појмова (табеле 4-28 и 4-29, респективно).

Табела 4-28 Помоћна табела узорних асоцијација у првој итерацији другог покушаја

ID	Члан 1	Члан 2
A ₁₈	CPT ₂₀₀	CPT ₁₇₇
A ₁₉	CPT ₁₇₉	CPT ₁₇₇
A ₂₃	CPT ₂₁₅	CPT ₁₉₀
A ₃₀	CPT ₁₉₉	CPT ₂₁₈
A ₃₈	CPT ₂₀₀	CPT ₂₁₈

Табела 4-29 Помоћна табела тополошки кореспондентних појмова у првој итерацији другог покушаја

ТКП CTX_X	ТКП CTX_N
CPT ₁₉₁	CPT ₁₉₁
CPT ₁₉₂	CPT ₁₉₂
CPT ₁₉₃	CPT ₁₉₃
CPT ₁₉₆	CPT ₁₈₈
CPT ₁₉₈	CPT ₁₉₇
CPT ₂₀₃	CPT ₁₉₀
CPT ₂₀₅	CPT ₁₉₅
CPT ₂₁₃	CPT ₁₉₄
CPT ₂₁₄	CPT ₂₁₄
CPT ₂₁₇	CPT ₁₉₉
CPT ₂₁₉	CPT ₂₀₀
CPT ₂₂₁	CPT ₁₈₆
CPT ₂₀₁	CPT ₂₀₁
CPT ₂₂₃	CPT ₁₈₁
CPT ₂₂₄	CPT ₁₈₃
CPT ₂₂₉	CPT ₂₁₈

4.2.4.2 Виртуелни појмови

Уколико АСМ не може да пронађе појмове у мрежи који су слични појмовима улазног сплета, а који граде асоцијације које су тополошки кореспондентне преосталим узорним асоцијацијама, прелази се на анализу преосталих узорних асоцијација. Проналазе се појмови контекста CTX_N који имају тополошки кореспондентне појмове у контексту CTX_X , а који учествују у преосталим узорним асоцијацијама. Затим се проналазе све узорне асоцијације које ти појмови (контекста CTX_N) граде са појмовима који пак учествују у узорним асоцијацијама типа *атрибутска*, *класификациона (хијерархијска)* и *одредница-сложај*, или *било ког* типа ако се други појам појављује у пољу $TKP\ CTX_N$ помоћне табеле тополошки кореспондентних појмова (израз 4-26).

4-26

$$\exists CPT_i \mid \{CPT_i\} \in CTX_X \wedge \exists CPT_j \mid \{CPT_j\} \in CTX_N$$

1. такви да $CPT_i \asymp CPT_j$

2. такви да $\exists A_{CPT_j \leftrightarrow CPT_k}^{CTX_N} \mid \{A_{CPT_j \leftrightarrow CPT_k}^{CTX_N}\} \in uzorna_asocijacija$

$\exists A_{CPT_k \leftrightarrow CPT_l}^{CTX_N} \mid \{A_{CPT_k \leftrightarrow CPT_l}^{CTX_N}\} \in uzorna_asocijacija \wedge$

3. такви да $\left(\begin{array}{l} t(A_{CPT_k \leftrightarrow CPT_l}^{CTX_N}) = атрибуиска \vee \\ t(A_{CPT_k \leftrightarrow CPT_l}^{CTX_N}) = класификациона(хијерархијска) \vee \\ t(A_{CPT_k \leftrightarrow CPT_l}^{CTX_N}) = одредница - сложај \vee \\ CPT_l \in splet_tkp \end{array} \right)$

Ако такви појмови и асоцијације буду пронађени, АСМ додаје у помоћну табелу *dogradnja_spleta* узорне асоцијације које ти појмови граде са појмовима који учествују у узорним асоцијацијама типа *атрибутска*, *класификациона (хијерархијска)* и *одредница-сложај* или било ког типа. У помоћну табелу *dogradnja_spleta* се додају и пронађене узорне асоцијације горе поменутих типова. У додатим асоцијацијама ће појмови узорног сплета (или контекста CTX_N) бити замењени својим тополошки кореспондентним појмовима у улазном сплету (или у контексту CTX_X). „Међупојмови“ (који учествују у узорним асоцијацијама горе поменутих типова) се замењују појмовима чији су називи Виртуелни-Појам-1, Виртуелни-Појам-2, итд. (израз 4-27).

4-27

$\{A_{CPT_i \leftrightarrow CPT_{vp}}^{CTX_X}\} \in dogradnja_spleta, CPT_{vp} = Виртуелни - Појам$

$t(A_{i,vp}^{CTX_X}) = t(A_{j,k}^{CTX_N})$

$c(A_{i,vp}^{CTX_X}) = c(A_{j,k}^{CTX_N})$

$d(A_{i,vp}^{CTX_X}) = d(A_{j,k}^{CTX_N})$

$h(A_{i,vp}^{CTX_X}) = h(A_{j,k}^{CTX_N})$

$s(A_{i,vp}^{CTX_X}) = s(A_{j,k}^{CTX_N})$

где је $A_{i,vp}^{CTX_X} = A_{CPT_i \leftrightarrow CPT_{vp}}^{CTX_X}$, а $A_{j,k}^{CTX_N} = A_{CPT_j \leftrightarrow CPT_k}^{CTX_N}$

$\{A_{CPT_{vp} \leftrightarrow CPT_l}^{CTX_X}\} \in dogradnja_spleta, CPT_{vp} = Виртуелни - Појам$

$t(A_{vp,l}^{CTX_X}) = t(A_{k,l}^{CTX_N})$

$c(A_{vp,l}^{CTX_X}) = c(A_{k,l}^{CTX_N})$

$d(A_{vp,l}^{CTX_X}) = d(A_{k,l}^{CTX_N})$

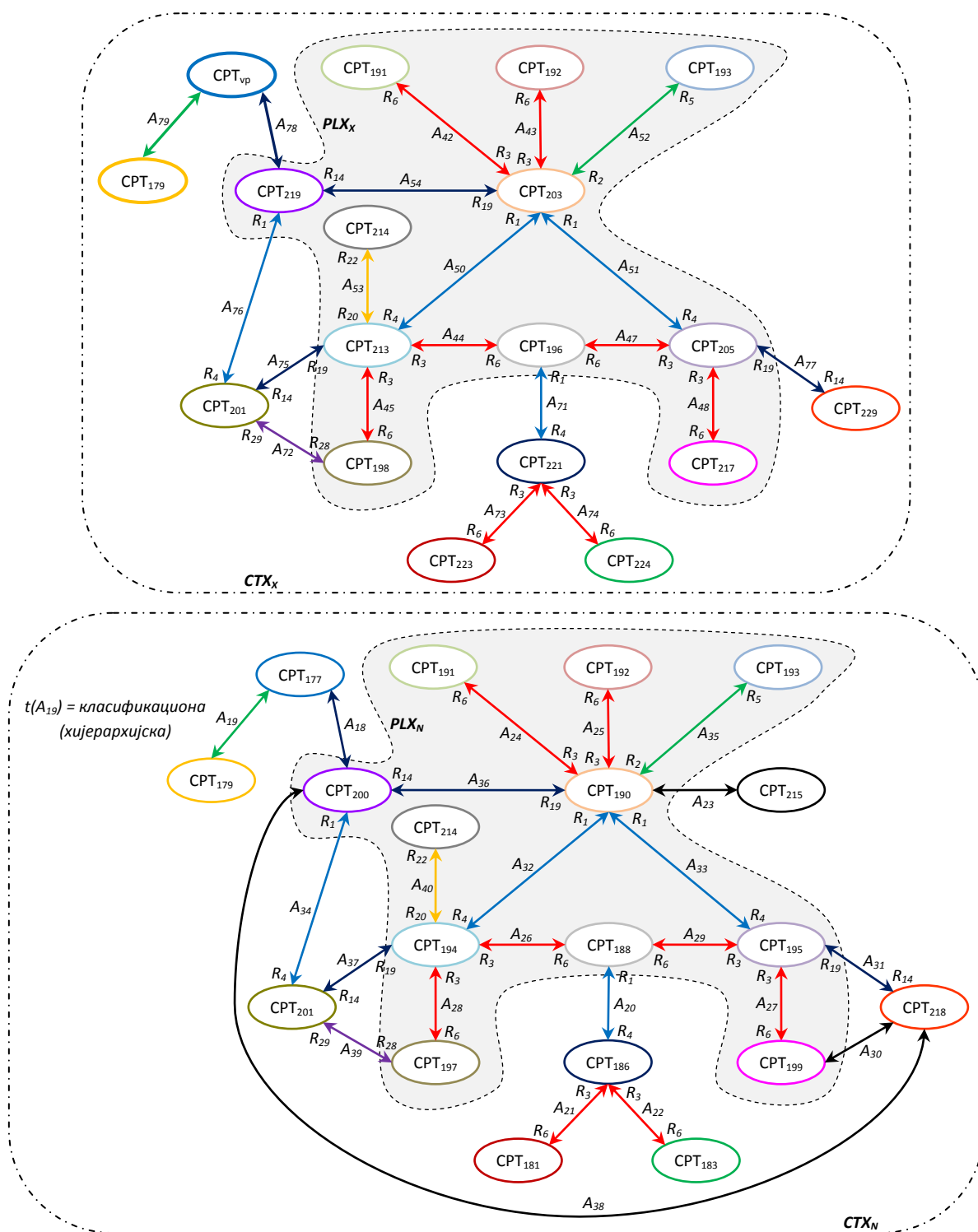
$h(A_{vp,l}^{CTX_X}) = h(A_{k,l}^{CTX_N})$

$s(A_{vp,l}^{CTX_X}) = s(A_{k,l}^{CTX_N})$

где је $A_{vp,l}^{CTX_X} = A_{CPT_{vp} \leftrightarrow CPT_l}^{CTX_X}$, а $A_{k,l}^{CTX_N} = A_{CPT_k \leftrightarrow CPT_l}^{CTX_N}$

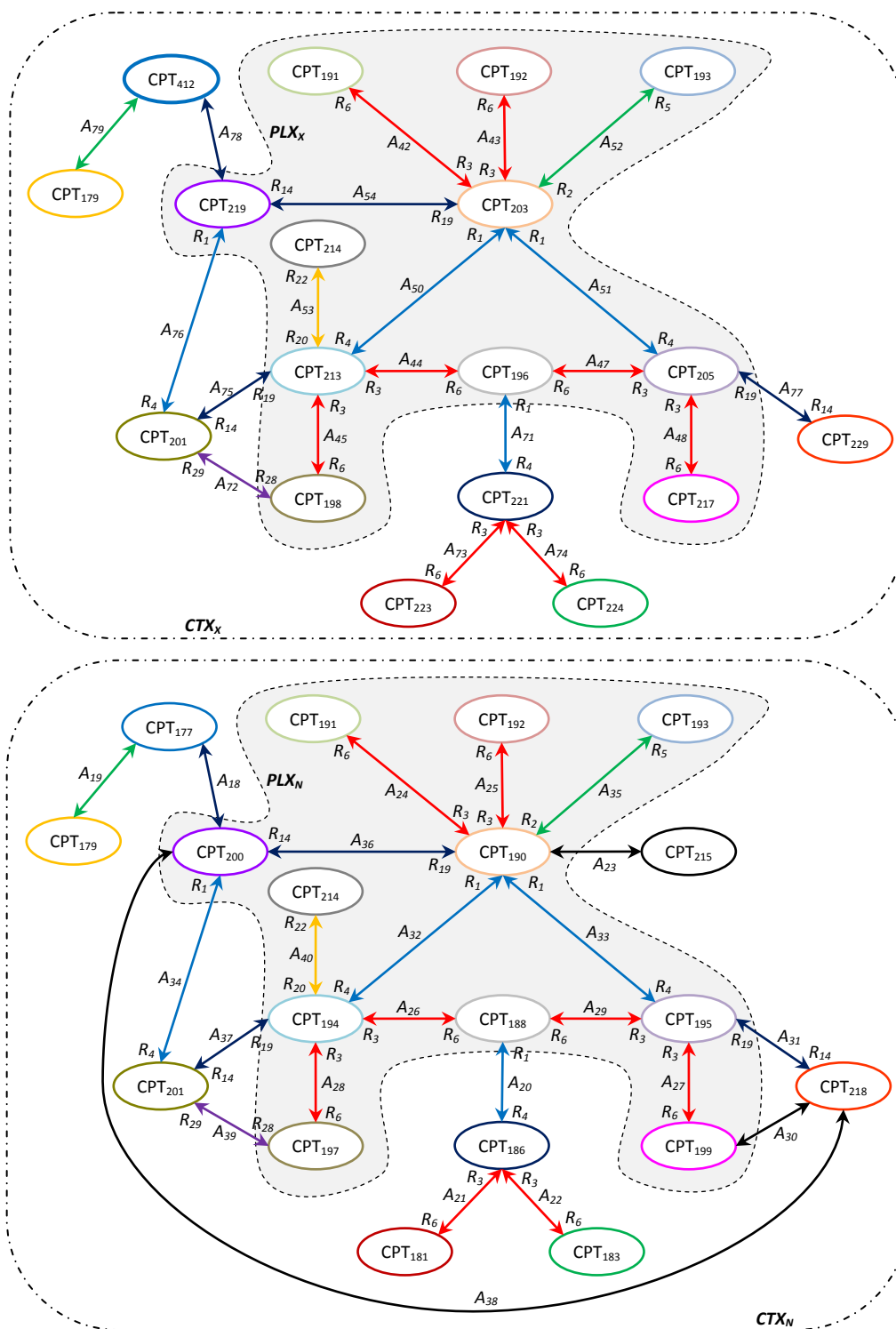
Асоцијације помоћне табеле *dogradnja_spleta* бивају понуђене кориснику, при чему се од њега очекује да измени називе виртуелних појмова, односно да виртуелне појмове замени стварним појмовима.

У примеру на слици 4-26 АСМ је пронашао појам CPT_{200} контекста CTX_N , који има тополошки кореспондентан појам CPT_{219} у контексту CTX_X , и који учествује у узорној асоцијацији A_{18} . Појам CPT_{200} гради асоцијацију A_{18} са појмом CPT_{177} , који пак учествује у узорној асоцијацији A_{19} типа *класификациона (хијерархијска)*. АСМ додаје асоцијацију између појмова CPT_{219} и CPT_{vp} (Виртуелни-Појам-1), која има идентичне параметре као и асоцијација A_{18} , у помоћну табелу *dogradnja_spleta* (уместо појма CPT_{200} у асоцијацији учествује његов тополошки кореспондентан појам CPT_{219} , а уместо појма CPT_{177} у асоцијацији учествује виртуелни појам) (слика 4-26). АСМ такође додаје асоцијацију између појмова CPT_{vp} и CPT_{179} , која има идентичне параметре као и асоцијација A_{19} , у помоћну табелу *dogradnja_spleta* (уместо појма CPT_{177} у асоцијацији учествује виртуелни појам) (слика 4-26).



Слика 4-26 Прва итерација другог покушаја доградње тополошки аналогних сплетова – виртуелни појмови

Кориснику се сада нуди могућност да именује виртуелни појам, па чак и да појам CPT_{179} замени неким другим појмом. У овом случају корисник именује виртуелни појам ($CPT_{vp} \rightarrow CPT_{412}$) (слика 4-27).



Слика 4-27 Прва итерација другог покушаја доградње тополошки аналогних сплетова – именовање виртуелног појма од стране корисника

Након додавања асоцијација бивају ажуриране помоћне табеле узорних асоцијација и тополошки кореспондентних појмова (табеле 4-30 и 4-31, респективно).

Табела 4-30 Помоћна табела узорних асоцијација у првој итерацији другог покушаја

ID	Члан 1	Члан 2
A_{23}	CPT_{215}	CPT_{190}
A_{30}	CPT_{199}	CPT_{218}
A_{38}	CPT_{200}	CPT_{218}

Табела 4-31 Помоћна табела тополошки кореспондентних појмова у првој итерацији другог покушаја

ТКП CTX_X	ТКП CTX_N
CPT_{191}	CPT_{191}
CPT_{192}	CPT_{192}
CPT_{193}	CPT_{193}
CPT_{196}	CPT_{188}
CPT_{198}	CPT_{197}
CPT_{203}	CPT_{190}
CPT_{205}	CPT_{195}
CPT_{213}	CPT_{194}
CPT_{214}	CPT_{214}
CPT_{217}	CPT_{199}
CPT_{219}	CPT_{200}
CPT_{221}	CPT_{186}
CPT_{201}	CPT_{201}
CPT_{223}	CPT_{181}
CPT_{224}	CPT_{183}
CPT_{229}	CPT_{218}
CPT_{412}	CPT_{177}
CPT_{179}	CPT_{179}

4.2.5 Поновно спровођење првог покушаја

Након спроведене прве итерације другог покушаја спроводи се комплетан први покушај (погледати слику 4-17). У примеру на слици 4-28 АСМ је пронашао асоцијације које у мрежи гради појам контекста чији је подскуп улазни сплет CPT_{229} , а које су тополошки кореспондентне узорним асоцијацијама A_{30} и A_{38} у којима учествује његов семантички удаљен тополошки кореспондентан појам CPT_{218} (погледати табелу 4-31) и у којима они имају исте улоге. У помоћну табелу *dogradnja_spleta* бивају додате пронађене асоцијације. Обзиром да појмови узорног сплета CPT_{199} и CPT_{200} , који учествују у узорним асоцијацијама A_{30} и A_{38} , имају тополошки кореспондентне појмове CPT_{217} и CPT_{219} респективно у контексту чији је подскуп улазни сплет (погледати табелу 4-31), одговарајући појмови у додатим асоцијацијама ће бити замењени појмовима CPT_{217} и CPT_{219} (погледати израз 4-18 и слику 4-19). Коначно ће улазни сплет бити дограђен асоцијацијама између појмова CPT_{229} и CPT_{217} и појмова CPT_{229} и CPT_{219} које имају идентичне параметре као и узорне асоцијације A_{30} и A_{38} , респективно (слика 4-28).

Након додавања асоцијација бива ажурирана само помоћна табела *узорних асоцијација* (табела 4-32).

Табела 4-32 Помоћна табела *узорних асоцијација* након поновног спровођења првог покушаја након прве итерације другог покушаја

ID	Члан 1	Члан 2
A_{23}	CPT_{215}	CPT_{190}

Садржај помоћне табеле *тополошки кореспондентних појмова* се неће променити обзиром да у овој итерацији нису били пронађени нови тополошки кореспондентни појмови (табела 4-33).

Табела 4-33 Помоћна табела *тополошки кореспондентних појмова* након поновног спровођења првог покушаја након прве итерације другог покушаја

ТКП CTX_X	ТКП CTX_N
CPT_{191}	CPT_{191}
CPT_{192}	CPT_{192}
CPT_{193}	CPT_{193}
CPT_{196}	CPT_{188}
CPT_{198}	CPT_{197}
CPT_{203}	CPT_{190}
CPT_{205}	CPT_{195}
CPT_{213}	CPT_{194}
CPT_{214}	CPT_{214}
CPT_{217}	CPT_{199}
CPT_{219}	CPT_{200}
CPT_{221}	CPT_{186}
CPT_{201}	CPT_{201}
CPT_{223}	CPT_{181}
CPT_{224}	CPT_{183}
CPT_{229}	CPT_{218}
CPT_{412}	CPT_{177}
CPT_{179}	CPT_{179}

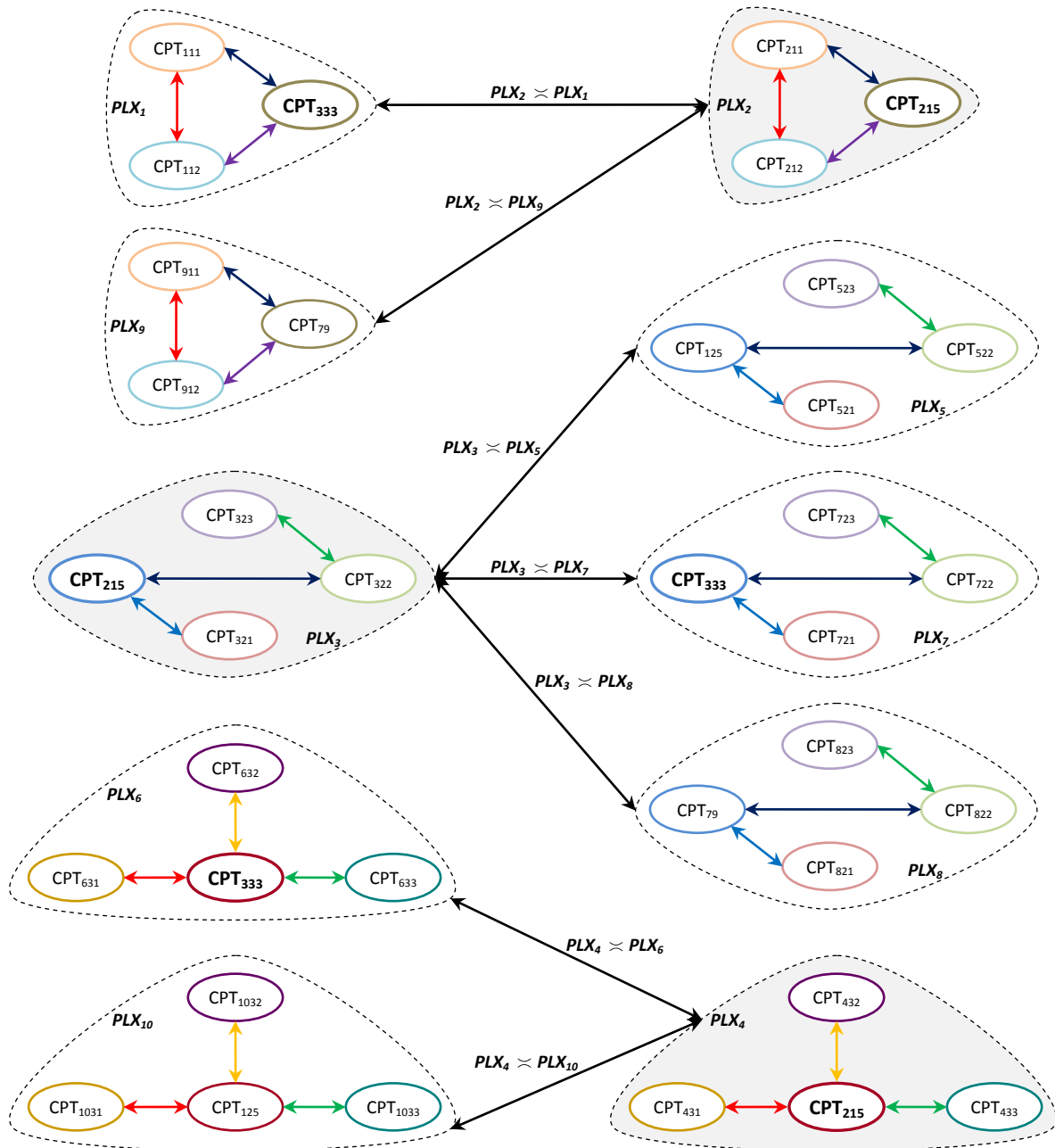
У примеру на слици 4-28 други покушај доградње се прекида након прве итерације.

4.2.6 Трећи покушај

Трећи покушај нема итерације. Након спроведеног трећег покушаја корисник одлучује, у зависности од тога да ли је задовољан резултатима, да ли ће се поступак доградње завршити или ће бити спроведен из почетка (од првог покушаја, са истим улазним сплетом).

АСМ у трећем покушају проналази појмове који су чланови узорних асоцијација и који у том тренутку немају тополошки кореспондентан појам у контексту чији је подскуп улазни сплет (погледати табеле 4-32 и 4-33). У примеру на слици 4-28 је пронађен појам CPT_{215} који је члан узорне асоцијације A_{23} . Потом АСМ издваја све сплетове у којима

пронађени појмови граде асоцијације, као и њима тополошки аналогне сплетове²³. У последњем кораку АСМ издваја тополошки кореспондентне појмове пронађеним појмовима који граде исти или сличан скуп тополошки кореспондентних асоцијација у пронађеним тополошки аналогним сплетовима (слика 4-29).



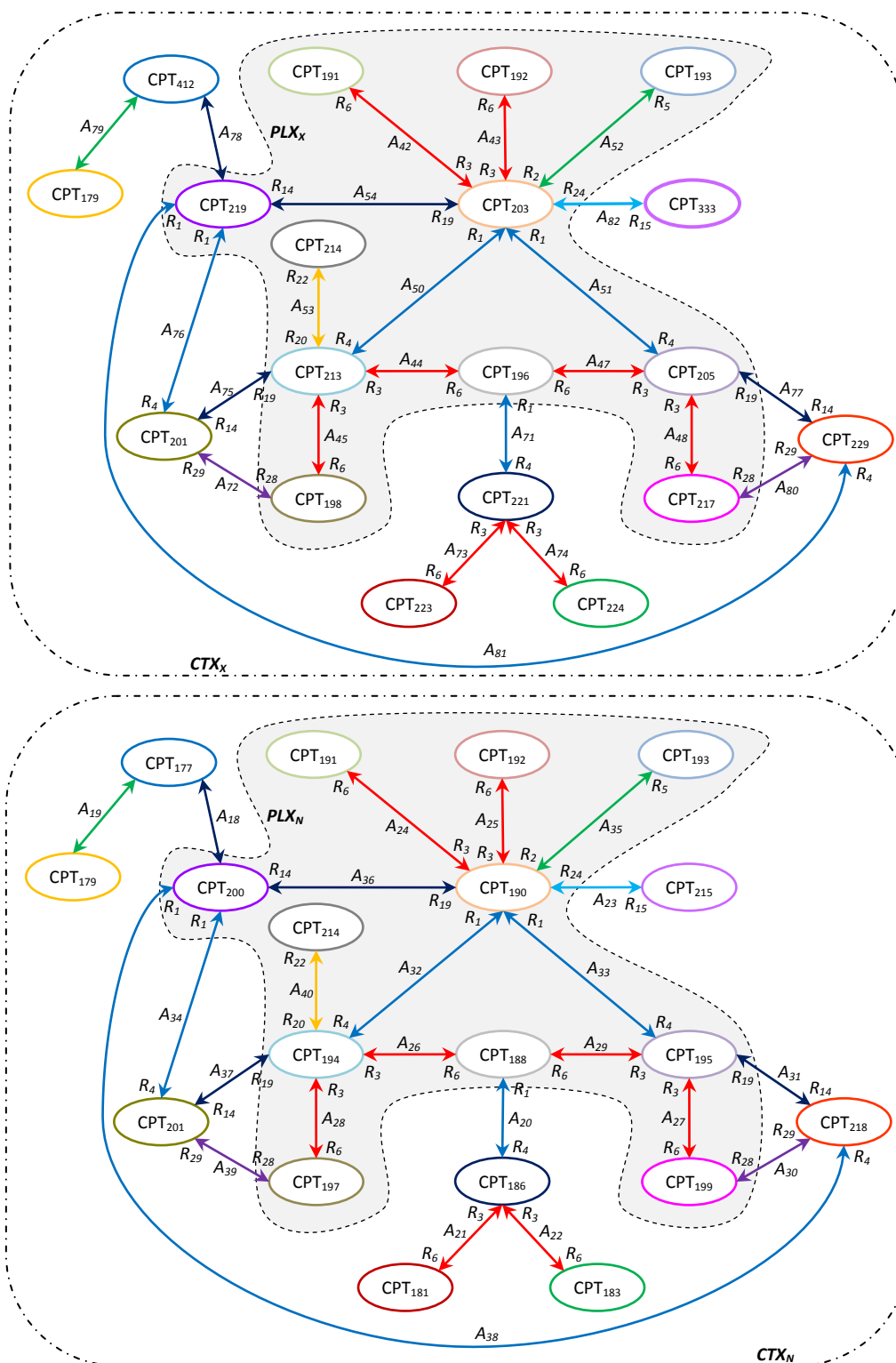
Слика 4-29 Издвајање тополошки кореспондентних појмова пронађеном појму који граде исти или сличан скуп тополошки кореспондентних асоцијација у пронађеним тополошки аналогним сплетовима

²³ Када се говори о имплементацији поступка доградње контекста (погледати поглавље „4.3 AcSeMod програмска апликација – Алат за тестирање приступа“), тополошки аналогни сплетови се тренутно издвајају на основу анализе података о претходно пронађеним тополошки аналогним сплетовима који су смештени у базу података (погледати поглавље „4.1.7 Смештање пронађених тополошки аналогних сплетова у базу података“), а не на основу анализе целокупне семантичке мреже АСМ-а у датом тренутку.

Ако такви тополошки кореспондентни појмови буду пронађени АСМ додаје у помоћну табелу *dogradnja_spleta* асоцијације између тих појмова и одговарајућих појмова улазног сплета при чему ће те асоцијације имати идентичне параметре као и узорне асоцијације пронађене на почетку покушаја.

У примеру на слици 4-29 АСМ је издвојио сплетове PLX_2 , PLX_3 и PLX_4 у којима појам CPT_{215} гради асоцијације и пронашао је њима тополошки аналогне сплетове. У пронађеним тополошки аналогним сплетовима су идентификовани тополошки кореспондентни појмови појма CPT_{215} . Појам CPT_{333} гради не само исти скуп тополошки кореспондентних асоцијација какве гради појам CPT_{215} , у којима има исту улогу као и појам CPT_{215} , већ су те тополошки кореспондентне асоцијације елементи сплетова који су тополошки аналогни свим сплетовима у којима појам CPT_{215} гради асоцијације. Појмови CPT_{79} и CPT_{125} јесу слични појму CPT_{215} , али не у мери у којој је сличан појам CPT_{333} .

Коначно ће улазни сплет бити дограђен асоцијацијом између појмова CPT_{203} и CPT_{333} која ће имати идентичне параметре као и узорна асоцијација A_{23} (слика 4-30). Појам CPT_{203} је тополошки кореспондентан појам у контексту чији је подскуп улазни сплет, појму CPT_{190} који је члан узорне асоцијације A_{23} .



Слика 4-30 Резултати спровођења трећег покушаја доградње тополошки аналогних сплетова

Након додавања асоцијације бива ажурирана само помоћна табела *тополошки кореспондентних појмова* (табела 4-34).

Табела 4-34 Помоћна табела *тополошки кореспондентних појмова* након спровођења трећег покушаја доградње контекста

ТКП CTX_X	ТКП CTX_N
CPT ₁₉₁	CPT ₁₉₁
CPT ₁₉₂	CPT ₁₉₂
CPT ₁₉₃	CPT ₁₉₃
CPT ₁₉₆	CPT ₁₈₈
CPT ₁₉₈	CPT ₁₉₇
CPT ₂₀₃	CPT ₁₉₀
CPT ₂₀₅	CPT ₁₉₅
CPT ₂₁₃	CPT ₁₉₄
CPT ₂₁₄	CPT ₂₁₄
CPT ₂₁₇	CPT ₁₉₉
CPT ₂₁₉	CPT ₂₀₀
CPT ₂₂₁	CPT ₁₈₆
CPT ₂₀₁	CPT ₂₀₁
CPT ₂₂₃	CPT ₁₈₁
CPT ₂₂₄	CPT ₁₈₃
CPT ₂₂₉	CPT ₂₁₈
CPT ₄₁₂	CPT ₁₇₇
CPT ₁₇₉	CPT ₁₇₉
CPT ₃₃₃	CPT ₂₁₅

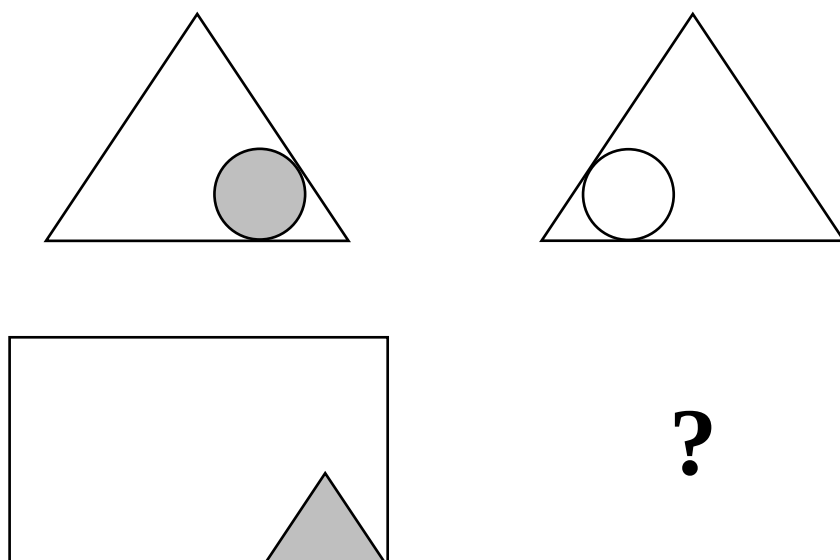
Помоћна табела *узорних асоцијација* више нема записа због чега се овде прекида трећи покушај поступка доградње, а самим тим и поступак доградње тополошки аналогног сплета. У овом случају је улазни сплет PLX_X дограђен до контекста CTX_X који је *тополошки аналоган* контексту CTX_N чији је подскуп узорни сплет PLX_N (погледати слику 4-30). Алгоритам доградње контекста је дат у прилогу.

4.2.7 Прекид поступка доградње тополошки аналогних сплетова

Додатни критеријум за прекид поступка *доградње* може бити „испуњење“ циља, односно мотива упознавања новог сплета. То конкретно представља ситуацију када АСМ препозна и „повеже“ појам или сплет, који има улогу *производа*, са појмом или сплетом који има улогу *мотива* контекста (уједно и *производ* са *радњом*). Често се, управо тај момент реакције АСМ-а, сматра стварањем његовог *одговора* на задати улаз (ситуацију) и циљ.

4.2.8 Случај примене

Поступци утврђивања тополошки аналогних сплетова и контекста и доградње контекста ће бити демонстрирани на реалном случају примене – приликом решавања једне *Raven-ове прогресивне матрице* (слика 4-31).



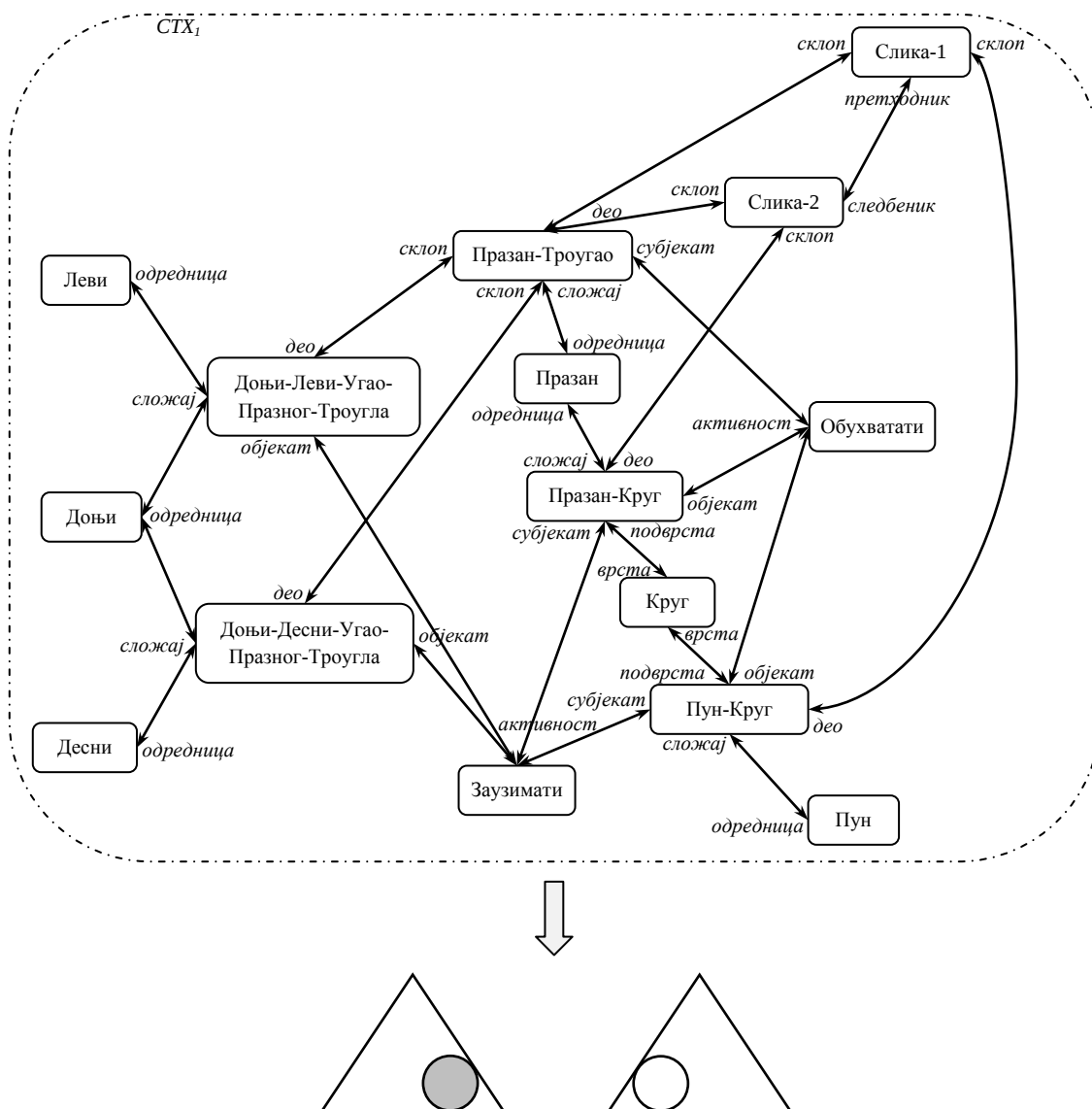
Слика 4-31 Raven-ова прогресивна матрица коришћена приликом демонстрације поступака утврђивања тополошки аналогних сплетова и контекста и доградње контекста

Raven-ове прогресивне матрице (РПМ) представљају тест апстрактног закључивања са вишеструким избором, који је креирао др John C. Raven 1936. године. Исти се обично користи за тестирање такозване *опште интелигенције* (Snow et al., 1984), што је такође био и један од циљева аутора. Сваки РПМ проблем је представљен као 2x2 или 3x3 матрица слика које прате образац. Доња десна позиција сваке матрице је празна и задатак особе која решава матрицу је да изабере слику која недостаје на тој позицији из понуђеног скупа од осам слика. Први и најзаступљенији скуп РПМ су *Стандардне прогресивне матрице* (СПМ). Овај скуп се састоји од 60 прогресивних матрица. Креиран је 1936. године (Raven, 1936), а публикован 1938. године.

Когнитивне и рачунске карактеристике РПМ нису још добро схваћене (Kunda et al., 2009), па још увек није креиран општи алгоритам за решавање истих у целости.

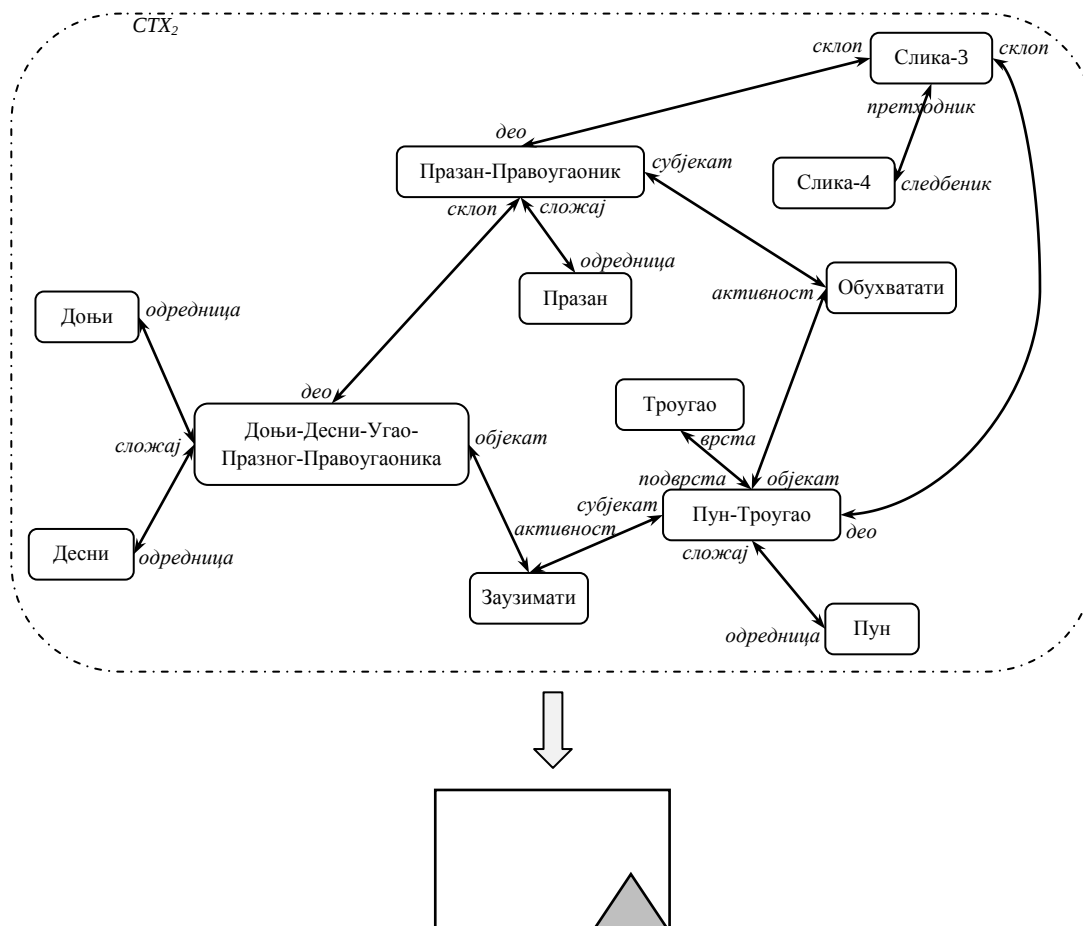
Приликом решавања прогресивне матрице приказане на слици 4-31 слика која недостаје (решење) се не бира из понуђеног скупа слика (алтернатива), већ се генерише. Овако постављен задатак је много тежи од конвенционалног решавања РПМ.

Две слике у првом реду матрице са слике 4-31 су семантички описане уз помоћ скупа асоцијација контекста CTX_1 (слика 4-32).



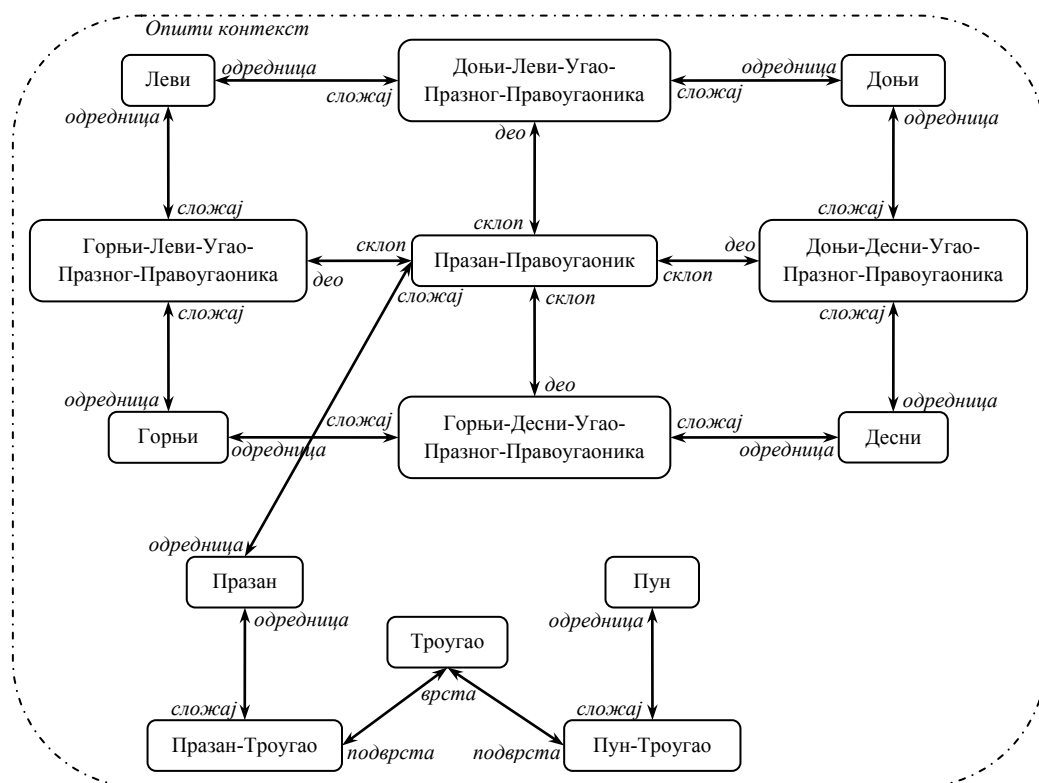
Слика 4-32 Значењски опис две слике („Слика-1“ (лево) и „Слика-2“ (десно)) у првом реду матрице. На првој слици празан троугао обухвата пун круг, док пун круг заузима доњи десни угао празног троугла. На другој слици, која следи прву, празан троугао обухвата празан круг, док празан круг заузима доњи леви угао празног троугла.

Једна слика у другом реду матрице са слике 4-31 је семантички описана уз помоћ скупа асоцијација контекста CTX_2 (слика 4-33).



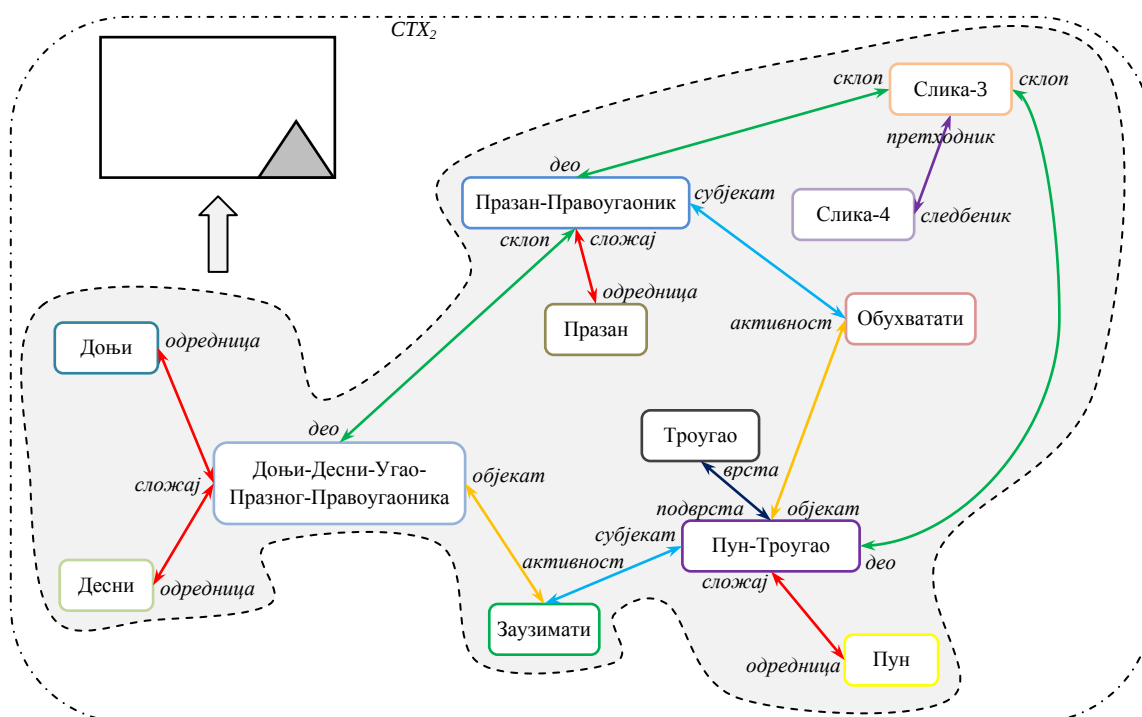
Слика 4-33 Значењски опис слике („Слика-3“) у другом реду матрице. „Слика-4“ ће коначно бити недостајућа слика (решење).

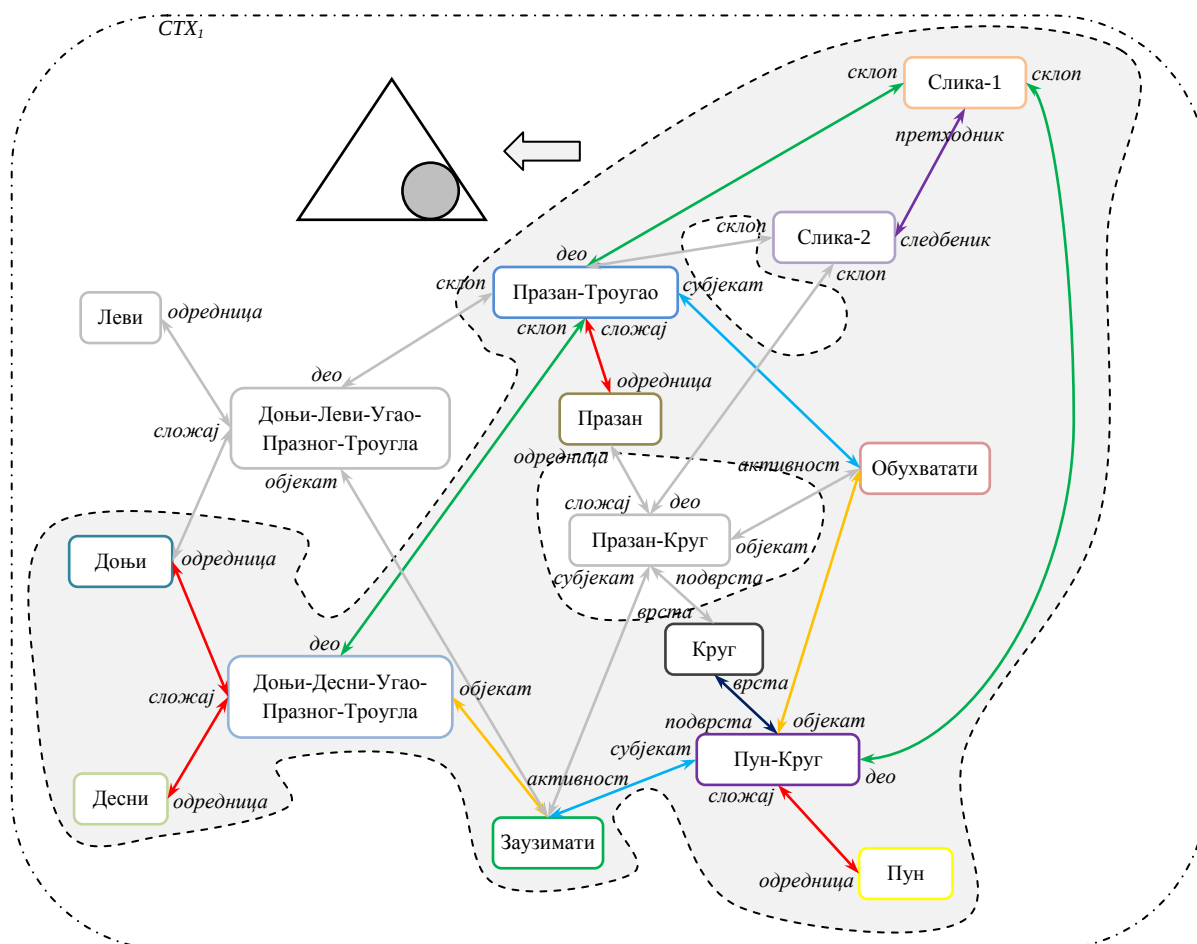
Општи контекст садржи, између осталог, знање у вези геометријских фигура присутних на сликама матрице (слика 4-34).



Слика 4-34 Знање у вези геометријских фигура присутних на сликама матрице

Сплет асоцијација којим је представљено знање о слици у другом реду матрице и сплет асоцијација којим је представљено знање о првој слици у првом реду матрице су *тополошки аналогни* и *семантички блиски* (слика 4-35). Тополошки кореспондентне асоцијације ова два сплета асоцијација су представљене линијама исте боје, док су тополошки кореспондентни појмови ова два сплета асоцијација означени истом бојом.

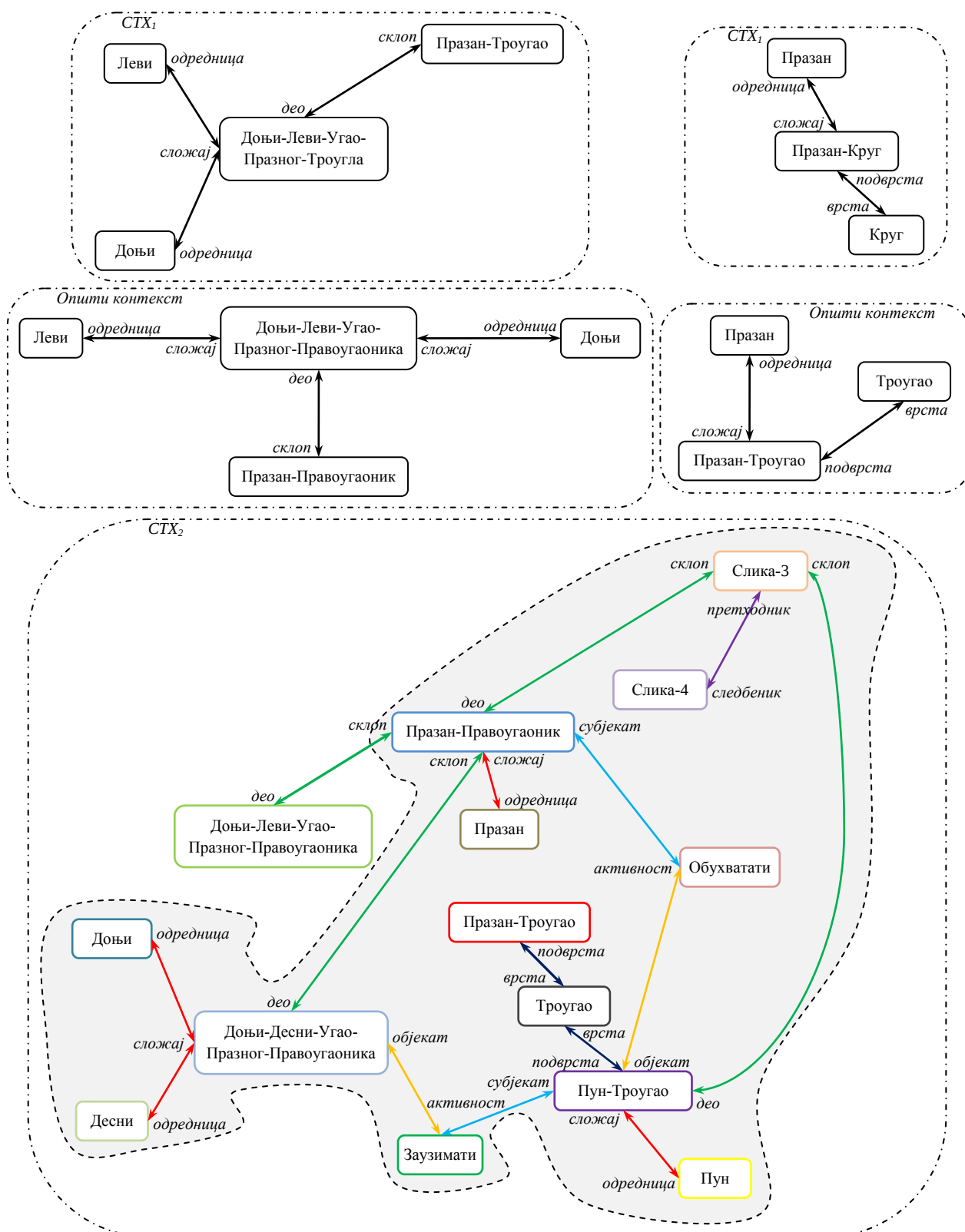




Слика 4-35 Препознати тополошки аналогни и семантички блиски сплетови асоцијација – подскупови контекста CTX_1 и CTX_2 . Тополошки кореспондентне асоцијације су представљене линијама исте боје, док су тополошки кореспондентни појмови означени истом бојом. Асоцијације из контекста CTX_1 које не припадају препознатом тополошки аналогном сплету су представљене линијом сиве боје.

АСМ покушава да надогради нови сплет асоцијација (којим је представљено знање о првој слици у другом реду матрице) кроз више итерација. У првој итерацији првог покушаја АСМ препознаје семантички удаљене ТКП-ове два сплета асоцијација: 1) „Празан-Правоугаоник“ и „Празан-Троугао“ и 2) „Троугао“ и „Круг“. АСМ тражи асоцијације у семантичкој мрежи у којима учествује појам „Празан-Правоугаоник“ које су тополошки кореспондентне асоцијацији између појмова „Празан-Троугао“ и „Доњи-Леви-Угао-Празног-Троугла“. У случају да је пронађено више таквих асоцијација (на пример, у општем контексту), АСМ бира ону чији други појам учествује у истим или сличним асоцијацијама као појам „Доњи-Леви-Угао-Празног-Троугла“ (слика 4-36 (горе)). Исти приступ се користи за појам „Троугао“ (слика 4-36 (горе)). Следећи корак је надоградња новог сплета асоцијација кроз креирање нових асоцијација: 1) између појмова „Празан-Правоугаоник“ и

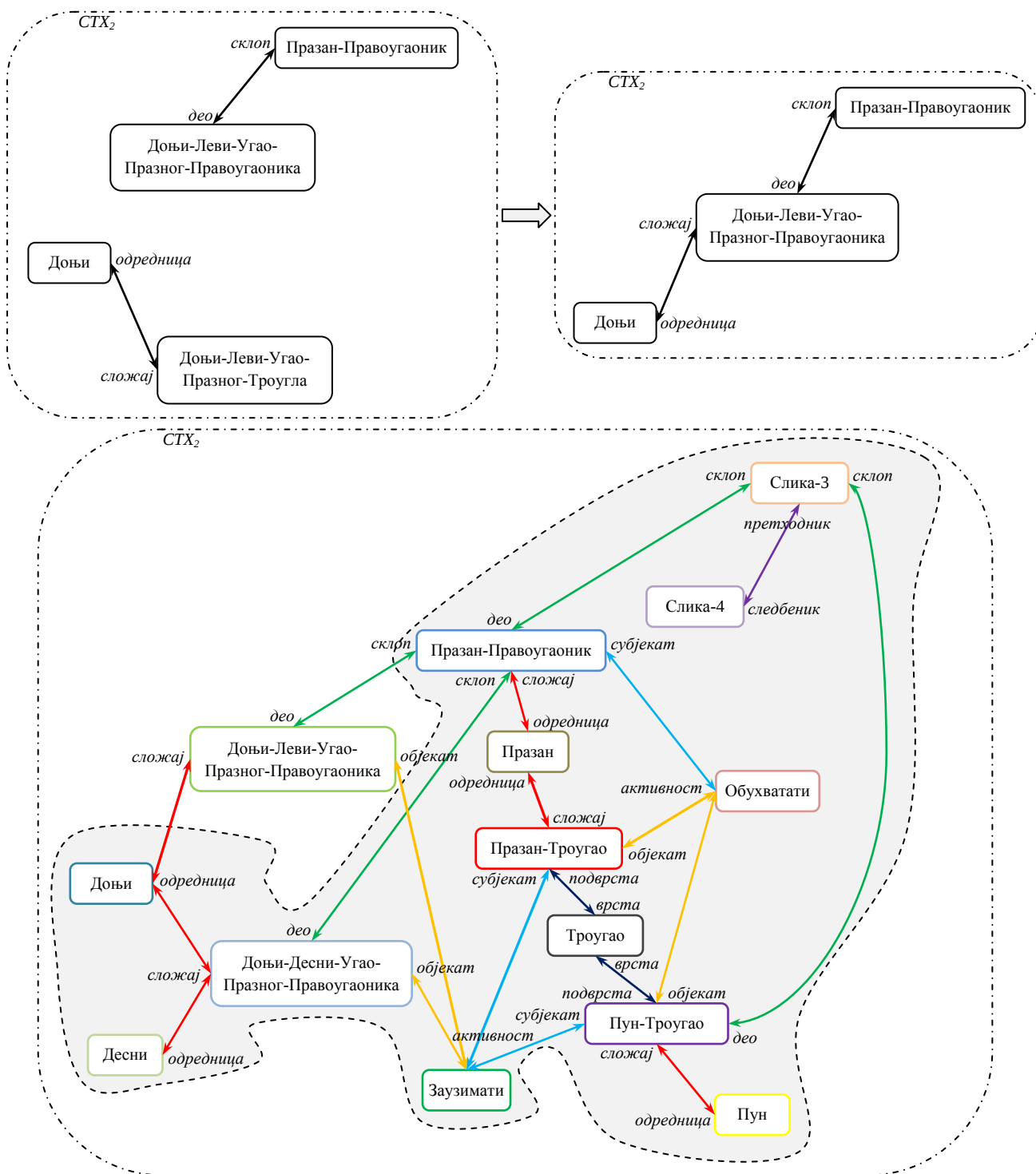
„Доњи-Леви-Угао-Празног-Правоугаоника“ и 2) између појмова „Троугао“ и „Празан-Троугао“ (слика 4-36 (доле)).



Слика 4-36 Прва итерација првог покушаја доградње новог сплета асоцијација – Креирање нових асоцијација: 1) између појмова „Празан-Правоугаоник“ и „Доњи-

Леви-Угао-Празног-Правоугаоника“ и 2) између појмова „Троугао“ и „Празан-Троугао“ (доле). Објашњење разлога бирања одговарајућих асоцијација (горе).

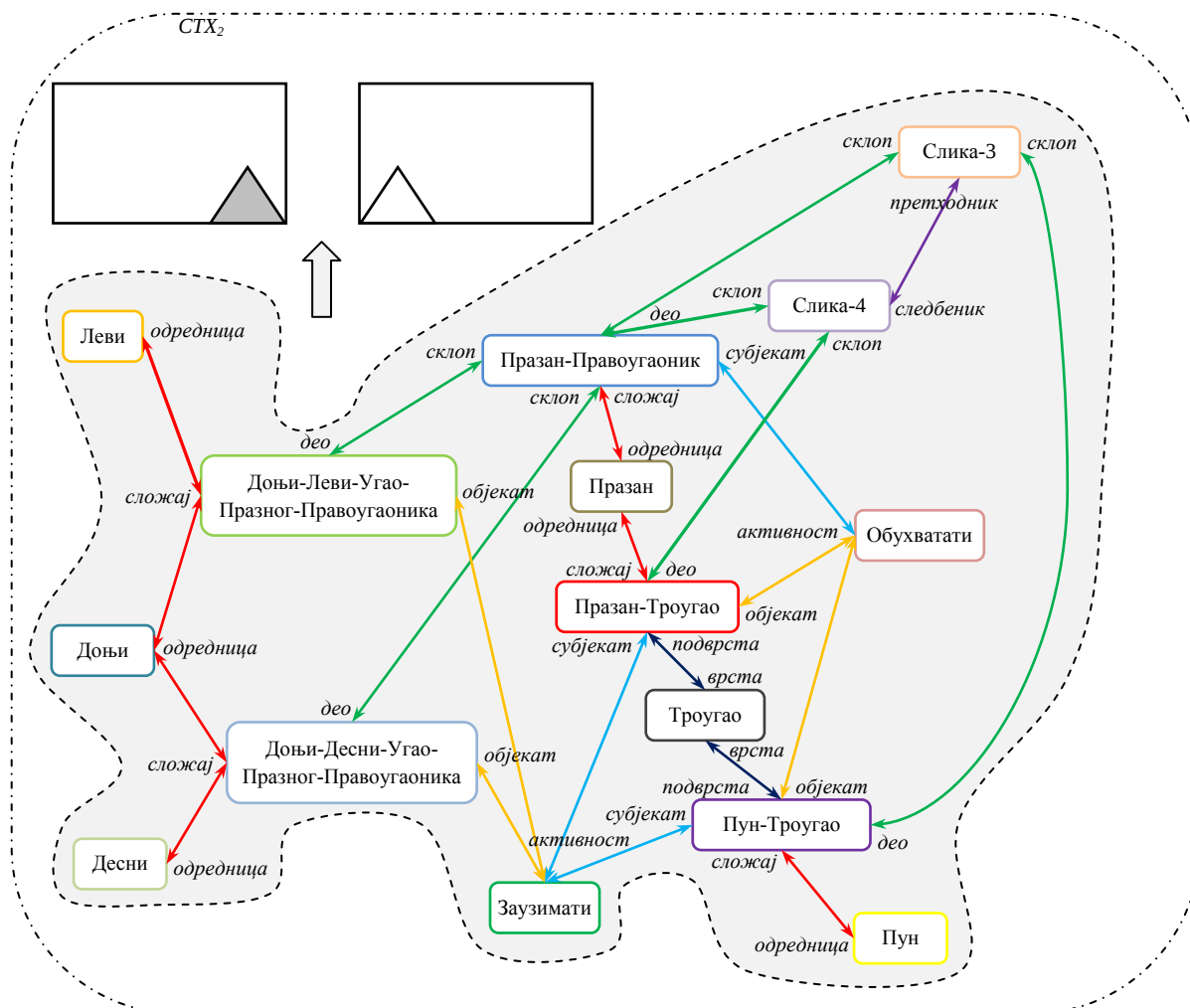
У другој итерацији првог покушаја АСМ препознаје семантички блиске ТКП-ове два сплета асоцијација (појмови „Доњи“, „Празан“, „Заузима“ и „Обухвата“). Уместо додавања асоцијација из контекста CTX_1 у којима учествују пронађени семантички блиски ТКП-ови (попут асоцијације између појмова „Доњи“ и „Доњи-Леви-Угао-Празног-Троугла“), АСМ анализира структуру контекста CTX_1 и креира одговарајуће асоцијације између постојећих појмова (попут асоцијације између појмова „Доњи“ и „Доњи-Леви-Угао-Празног-Правоугаоника“) (слика 4-37 (горе)). Исти приступ се користи за друге препознате семантички блиске ТКП-ове. АСМ дограђује нови сплет асоцијација кроз креирање пет нових асоцијација (слика 4-37 (доле)).



Слика 4-37 Друга итерација првог покушаја доградње новог сплета асоцијација – Креирање пет нових асоцијација (доле). Одлуке су донете на основу анализе контекста CTX_1 (горе).

У трећој итерацији првог покушаја АСМ препознаје семантички удаљене ТКП-ове два сплета асоцијација: 1) „Доњи-Леви-Угао-Празног-Правоугаоника“ и „Доњи-Леви-Угао-Празног-Троугла“, 2) „Празан-Правоугаоник“ и „Празан-Троугао“ и 3) „Празан-Троугао“ и „Празан-Круг“. Асоцијација између појмова „Доњи-Леви-Угао-Празног-Правоугаоника“ и „Леви“, пронађена у општем контексту, је тополошки кореспондентна асоцијацији између

појмова „Доњи-Леви-Угао-Празног-Троугла“ и „Леви“. Што се тиче преостала два ТКП-ова, АСМ анализира структуру контекста CTX_1 и креира одговарајуће асоцијације између постојећих појмова у контексту CTX_2 . АСМ коначно надограђује нови сплет асоцијација кроз креирање три нове асоцијације (слика 4-38).



Слика 4-38 Нови сплет асоцијација је коначно надограђен кроз креирање три нове асоцијације

4.3 AcSeMod програмска апликација – Алат за тестирање приступа

4.3.1 Увод

AcSeMod је програмска апликација за моделирање семантичких одлика информатичких садржаја свих врста у чијој основи се налази АСМ. Ова апликација је пре свега коришћена за тестирање приступа. Основна идеја је била и да апликација помогне да се резултати истраживања лакше дисеминирају, а капацитети АСМ-а учине знатно шире применљивијим.

4.3.2 Техничке карактеристике апликације

Програмски део апликације, који се односи, пре свега, на кориснички интерфејс и визуелизацију АСМ мреже је реализован у програмском језику Јава. Ради лакше употребе

апликације било је потребно да она буде доступна преко web-a, али су технички детаљи везани за визуализацију захтевали да се користе елементи Јаве који нису доступни преко чисте web апликације. Због тога је изабрана технологија Java аплета, која је успела да помири оба захтева, да апликација буде доступна преко web-a, али и да може да користи све елементе графичког корисничког интерфејса који постоји у Јави.

АСМ по својој природи представља семантичку мрежу, па је најприродније било да се он графички представи у виду графа. Да би корисник могао да једноставно визуализује елементе АСМ-а, као и да са њим комуницира, за представљање појмова и асоцијација мреже је употребљена софтверска библиотека JUNG (*Java Universal Network/Graph Framework*). JUNG је софтверска библиотека која садржи процедуре и алате за моделирање, анализу и визуелизацију података који су представљени у облику графа или мреже. Она је писана у програмском језику Јава, што омогућава да апликације које је користе истовремено имају приступ и до других библиотека које нуди Јава, било да су у питању библиотеке које су део стандардног Јава API-ја, било да су питању библиотеке које долазе од независних произвођача.

Архитектура ове библиотеке је направљена тако да се подрже различити начини представљања ентитета и њихових веза, односно чворова и ивица који чине графове. Библиотека нуди и могућности за означавање графова (чворова и ивица), а такође и олакшава креирање алата за анализу комплексних скупова података, који могу да испитују везе између чворова, као и ознаке истих. У оквиру библиотеке су већ имплементирани различити алгоритми из теорије графова, од којих су неки употребљени и приликом креирања AcSeMod-a. Овде се пре свега мисли на алгоритме за распоређивање елемената графа што је од велике важности за визуелизацију графова са великим бројем чворова и ивица (односно контекста АСМ мреже са великим бројем асоцијација). Сама библиотека нуди и могућност креирања кориснички дефинисаних распореда елемената графа.

JUNG је систем са отвореним кодом, што значи да нису била потребна никаква додатна средства за његово коришћење. Ово је и један од разлога због кога је изабран за потребе ове апликације. Како је доступан и програмски код ове библиотеке то су, за потребе AcSeMod-a, извршене и различите допуне JUNG библиотеке, у циљу што бољег прилагођавања специфичним потребама које су се јавиле приликом креирања AcSeMod-a.

Употреба програмског језика Јава и технологије аплета омогућава да се поменута апликација користи у оквиру свих постојећих оперативних система, односно на свим платформама (Windows, Linux, Unix, ...). Као апликациони сервер употребљен је Apache Tomcat, који је такође из категорије софтвера са отвореним кодом.

За смештање асоцијација и других елемената структуре АСМ-а је коришћена релациона база података. Коришћен је MySQL систем за управљање релационим базама података, који спада у системе са отвореним кодом. Структура базе података је прилагођена структури АСМ-а. База података садржи 56 табела, и то 22 главне табеле и 34 помоћне табеле. Структура базе података (са приказаним главним табелама и везама између истих) је дата у прилогу. Алгоритми за когнитивну обраду података АСМ-а су у највећој могућој мери имплементирани на нивоу базе података преко ускладиштених процедура и погледа, обзиром да су перформансе овако имплементираних алгоритама боље у поређењу са перформансама алгоритама који би били имплементирани на програмском нивоу (на нивоу апликације). База података садржи 508 погледа и 167 ускладиштених процедура. Делови алгоритма утврђивања тополошки аналогних сплетова и контекста су ипак реализовани на програмском нивоу. У питању су пре свега SQL искази који бивају динамички креирани, или пак делови алгоритма чија имплементација у великој мери зависи од структуре улазних података. Овде је важно још једном напоменути да имплементирани алгоритми омогућавају когнитивну обраду података која апсолутно не зависи од структуре улазних података, односно која не подразумева постојање унапред предвиђених улаза.

За складиштење података је изабран систем за управљање релационим базама података имајући у виду његове могуће недостатке за ову примену, попут потенцијалне деградације перформанси система, проблема са претраживањем мреже, проблема са праћењем ... Овакав избор је са друге стране омогућио бржу имплементацију алгоритама за когнитивну обраду података АСМ-а, која је представљала један од најзахтевнијих задатака. Перформансе система у првим тестовима, који су рађени над неколико контекста са по више од 20 асоцијација по контексту, су биле задовољавајуће.

Имплементирани су следећи алгоритми когнитивне обраде података:

- алгоритам утврђивања сличности асоцијација – УСА (у чијем језгру је поступак утврђивања параметара асоцијација – УПА), укључујући CASE алгоритам за одређивање типа асоцијације и „плитак“ поступак утврђивања тополошке аналогije контекста,
- алгоритам утврђивања сличности контекста – УСК (сплетова асоцијација) према сличности асоцијација,
- алгоритам утврђивања тополошки аналогних сплетова и контекста (ТАС, ТАК) и
- алгоритам или поступак доградње контекста – ПДК (формирања „одговора“).

Нису имплементирани следећи алгоритми когнитивне обраде података:

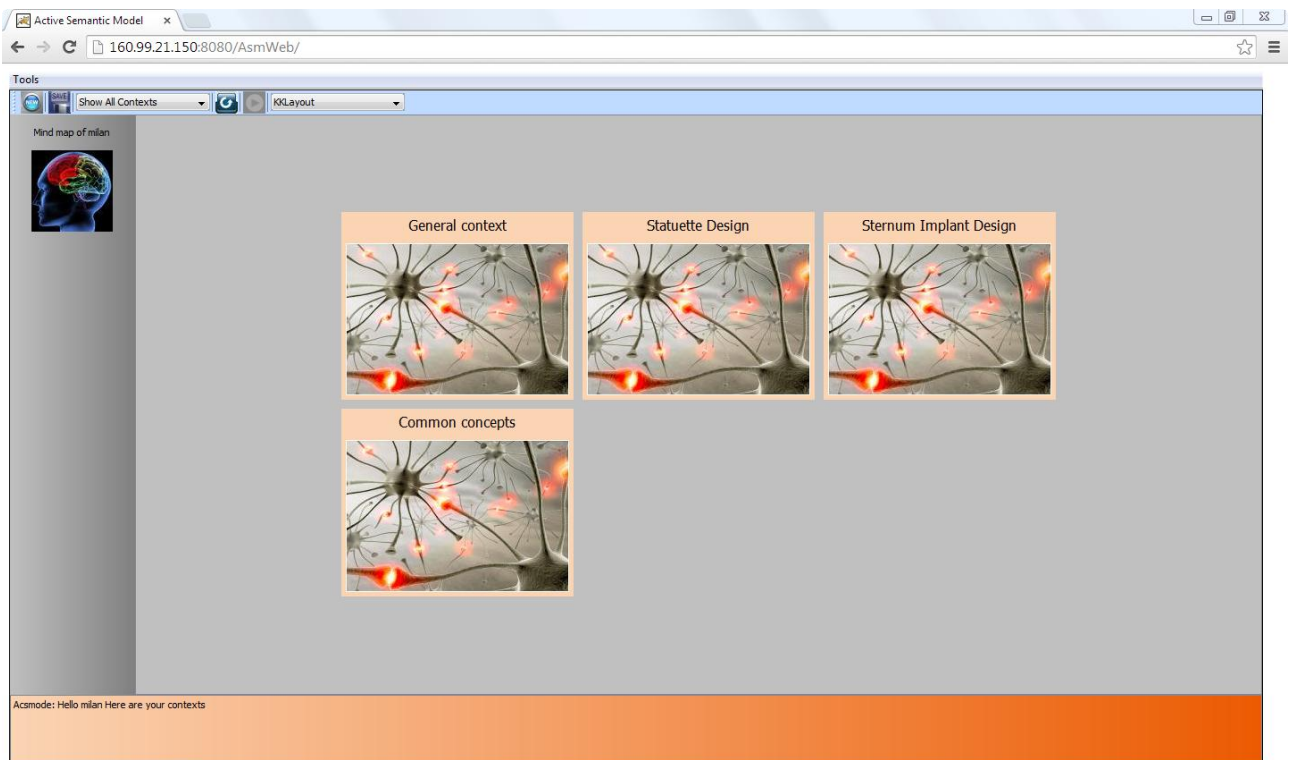
- алгоритам утврђивања степена сличности појмова и класе сличности асоцијација,

- алгоритам утврђивања сличности контекста – УСК (сплетова асоцијација) према семантичком садржају и
- алгоритам стварања хеуристика и бистрења знања.

4.3.3 Опис апликације

Једна инсталација АСМ-а није намењена употреби од стране само једног корисника. Како начин употребе АСМ-а од стране корисника утиче на његово закључивање, то са АСМ-ом могу да раде само пријављени корисници. Пошто је АСМ намењен могуће потпуно различитим корисницима, који ће га користити у различите сврхе, било је потребно дефинисати и одговарајући интерфејс, који би омогућио што једноставнију комуникацију са корисником.

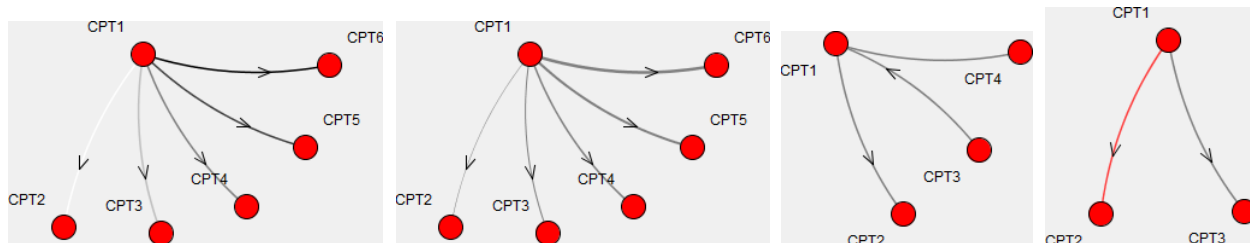
Асоцијације у оквиру АСМ-а су, као што је познато, груписане у контексте. Због тога корисник, након пријављивања, прво треба да изабере контекст у коме жели да ради, уколико исти постоји, или пак креира нови контекст. Постојећи контекст је могуће изабрати из централног дела програмског прозора или из падајуће листе *Show All Contexts* (слика 4-39). Нови контекст је могуће креирати кликом на дугме *NEW* у горњем левом делу програмског прозора (слика 4-39). У сваком тренутку је могуће имати отворено више контекста, при чему сваки контекст има своју картицу у горњем делу програмског прозора. У доњем делу програмског прозора се налази подручје у коме АСМ исписује поруке намењене кориснику.



Слика 4-39 Бирање постојећег или креирање новог контекста

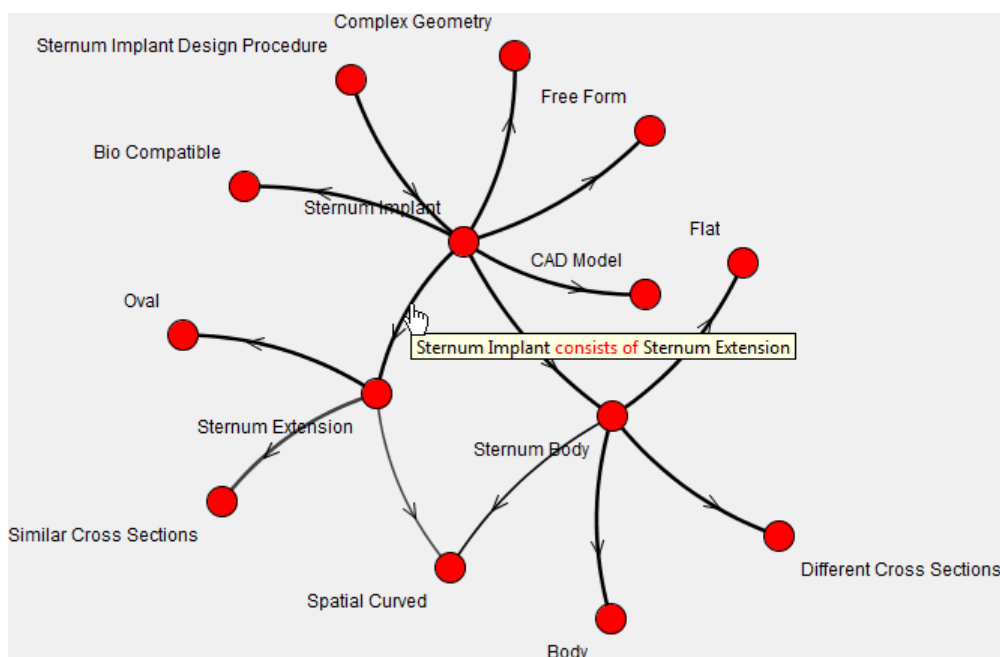
4.3.3.1 Приказивање параметара асоцијација

Обзиром на сложеност структуре асоцијације, било је неопходно графички приказати поједине параметре асоцијације како би корисник погледом на асоцијацију могао да у одређеној мери протумачи саму асоцијацију (слика 4-40). У том смислу је тачност асоцијације приказана различитим нијансама сиве боје линије која представља асоцијацију (бела боја за вредност тачности 0; црна боја за вредност тачности 1), док је значај асоцијације приказан различитом дебљином линије која представља асоцијацију (најмања дебљина за вредност значаја 0; највећа дебљина за вредност значаја 1). Смер асоцијације је приказан одговарајућом стрелицом, с тим што се за смер *с десна у лево* и *с лева у десно* не приказују стрелице. Негативан карактер асоцијације је приказан црвеном бојом линије која представља асоцијацију (различите тачности асоцијације су у овом случају представљене различитим нијансама црвене боје).



Слика 4-40 Приказивање параметара асоцијације (с лева у десно: тачност, значај, смер, карактер)

Довођењем показивача на линију која представља асоцијацију уместо вредности параметара асоцијације бивају исписани називи асоцираних појмова повезани фразом (слика 4-41).



Слика 4-41 Исписивање назива асоцираних појмова са фразом, односно реченице којом се описује асоцијација

4.3.3.2 Фразе

Тип асоцијације декларише односе између два појма, тј. улогу сваког од појмова у асоцијацији. На тај начин су вредности r_i , t , и r_j (r_i и r_j означавају улоге појмова у асоцијацији, а t означава тип асоцијације) спрегнуте и можемо их сматрати *уређеним тројкама*. Комбинација вредности тополошких параметара асоцијације (улоге појмова у асоцијацији, (тип), карактер и смер асоцијације) се може на много погоднији и природнији начин описати уз помоћ *фразе*. *Фраза* је исказ уз помоћ кога је могуће формирати реченицу која описује однос између два појма у асоцијацији. Овакав начин описивања односа између два појма у асоцијацији је много ближи кориснику јер одговара свакодневном изражавању. Такође, коришћењем фраза уместо комбинација вредности тополошких параметара асоцијације приликом приказивања асоцијација се знатно олакшава прегледање асоцијација као и представљање закључака донетих од стране АСМ-а. Ово у неку руку одговара формату за приказивање података у апликацијама где се податак увек уноси на исти начин (у случају АСМ-а би то била комбинација вредности тополошких параметара асоцијације), а приказује се у дефинисаном формату (у случају АСМ-а би то била фраза).

Оваквим прилагођавањем структуре података асоцијације је омогућено да корисник приликом креирања нове асоцијације између појмова бира фразу и евентуално мења само вредности за тачност и значај асоцијације (уколико подразумеване вредности (0,75) за ова два параметра асоцијације нису одговарајуће). Другим речима бирањем фразе приликом креирања асоцијације између појмова корисник дефинише вредности за пет параметара

асоцијације (у питању су тополошки параметри асоцијације) и преостаје му да евентуално промени вредности за још два параметра асоцијације (у питању су тежински параметри асоцијације). Главни добици у овом случају су повећање ефикасности рада корисника и знатно једноставнија и природнија интеракција корисника са web-апликацијом.

Пример: комбинацији вредности тополошких параметара асоцијације (*подврста*, *хијерархијска*, *врста*, +, →) одговара фраза *је врста* па се приликом дефинисања или приказивања асоцијације између појмова *статуета* и *уметнички предмет* може уз помоћ фразе *је врста* формирати или приказати реченица *статуета је врста уметнички предмет* (односно *статуета је врста уметничког предмета* у случају да се користи модификатор другог појма у асоцијацији) која на много природнији начин осликава однос између ових појмова; комбинацији вредности тополошких параметара асоцијације (*део*, *припадност*, *склоп*, +, ←) одговара фраза *је део* па се приликом дефинисања или приказивања асоцијације између појмова *тело статуете* и *статуета* може уз помоћ фразе *је део* формирати или приказати реченица *тело статуете је део статуета*.

Фраза може имати и „контрафразу“, тј. фразу која одговара истој комбинацији вредности тополошких параметара асоцијације, али са замењеним позицијама вредности улога појмова и супротним смером асоцијације. Ако би некој фрази одговарала комбинација вредности тополошких параметара асоцијације (r_i , t , r_j , c , d), њеној „контрафрази“ би одговарала комбинација вредности тополошких параметара асоцијације (r_j , t , r_i , c , $-d$).

Пример: комбинацији вредности тополошких параметара асоцијације (*део*, *припадност*, *склоп*, +, ←) одговара фраза *је део*, док комбинацији вредности тополошких параметара асоцијације (*склоп*, *припадност*, *део*, +, →) одговара фраза *се састоји од* (или *има*); ово значи да је фраза *се састоји од* контрафраза фразе *је део*.

Фраза може бити и „негативна“. У овом случају говоримо о фрази која одговара комбинацији вредности тополошких параметара асоцијације у којој је карактер асоцијације негативан. За већину фраза је могуће креирати „негативну“ фразу. „Негативна“ фраза фразе која одговара комбинацији вредности тополошких параметара асоцијације (r_i , t , r_j , +, d) одговара комбинацији вредности тополошких параметара асоцијације (r_i , t , r_j , -, ↔). Подразумевани смер асоцијације код „негативних“ фраза је ↔ (оба појма асоцирају један на другог). Ова врста фраза може олакшати представљање закључака донетих од стране АСМ-а у случајевима када асоцијације креиране од стране АСМ-а без надзора корисника имају негативан карактер.

Пример: негативна фраза фразе *је* која одговара комбинацији вредности тополошких параметара асоцијације (*појам*, *атрибутска*, *атрибут*, +, →) је фраза *није* која одговара комбинацији вредности тополошких параметара асоцијације (*појам*, *атрибутска*, *атрибут*, -

, $\leftrightarrow$), па се приликом дефинисања или приказивања асоцијације између појмова *бутна кост* и *пљоснат* може уз помоћ фразе *није* формирати или приказати реченица *бутна кост није пљоснат*.

У општем случају једној комбинацији вредности тополошких параметара асоцијације може одговарати више фраза, а једној фрази може одговарати више комбинација вредности тополошких параметара асоцијације. На овај начин је кориснику омогућена потпуна слобода у изражавању приликом креирања асоцијација. Ово на крају одговара и случајевима из стварног живота где се пре свега дешава да се једна иста фраза користи за описивање два или више различитих односа између појмова у асоцијацији.

Пример: комбинацији вредности тополошких параметара асоцијације (*подврста*, *хијерархијска*, *врста*, +, $\rightarrow$) могу одговарати фразе *је врста* и *припада* (*статуета је врста уметнички предмет*; *дуга кост припада кост*). Фрази *има* могу одговарати комбинације вредности тополошких параметара асоцијације (*склоп*, *припадност*, *део*, +, $\rightarrow$) и (*појам*, *атрибутска*, *атрибут*, +, $\rightarrow$) (*статуета има тело статуете*; *статуета има комплексну геометрију*). Фрази *је* могу одговарати комбинације вредности тополошких параметара асоцијације (*подврста*, *хијерархијска*, *врста*, +, $\rightarrow$) и (*појам*, *атрибутска*, *атрибут*, +, $\rightarrow$) (*надлактица је дуга кост*; *тело бутне кости је вретенасто*).

Приликом креирања нове асоцијације од стране АСМ-а без надзора корисника, АСМ ће унети фразу коју је тај корисник за познату комбинацију вредности тополошких параметара асоцијације најчешће користио. Уколико тренутно логован корисник није претходно користио дату комбинацију вредности тополошких параметара асоцијације АСМ ће унети фразу која је најчешће коришћена уз дату комбинацију вредности тополошких параметара асоцијације од стране осталих корисника. Коначно, уколико дата комбинација вредности тополошких параметара асоцијације није била никада коришћена приликом креирања асоцијација од стране било ког корисника, а дефинисана је на нивоу система заједно са одговарајућом фразом, АСМ ће унети ту фразу (уколико тој комбинацији вредности тополошких параметара асоцијације одговара више фраза, биће унета прва по реду дефинисана фраза). На овај начин је решен проблем додавања фраза приликом аутоматског креирања асоцијација од стране АСМ-а.

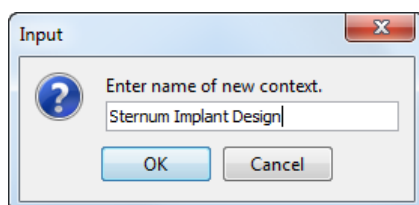
АСМ оставља могућност кориснику да проширује скупове улога појмова у асоцијацијама и типова асоцијација, као и да креира нове комбинације вредности тополошких параметара асоцијације и фразе које одговарају истим. Предвиђено је да садржај атрибута *улога* може да узме вредности само из скупа назива појмова у мрежи (само оних појмова који су претходно дефинисани у семантичкој мрежи АСМ-а), што значи да је пре

креирања нове улоге потребно креирати нови појам истог назива, уколико исти не постоји у мрежи.

Давање оволике слободе кориснику у изражавању је са једне стране неопходно, а са друге може довести до отежавања процеса препознавања. Проблем овог типа може бити решен кроз поступак бистрења знања. Наиме један од алгоритама у оквиру овог поступка анализира улоге појмова у асоцијацијама (односно појмове истог назива који су претходно дефинисани у семантичкој мрежи АСМ-а) и може резултовати стварањем асоцијација типа *сличност* или *синонимски* између улога појмова у асоцијацији, што након тога може проузроковати стварање асоцијација истог типа између одговарајућих типова асоцијације, односно између фраза. Примена овог алгорита може резултовати и креирањем асоцијација између појмова који су повезани једним паром или већим бројем парова асоцијација нулте класе сличности.

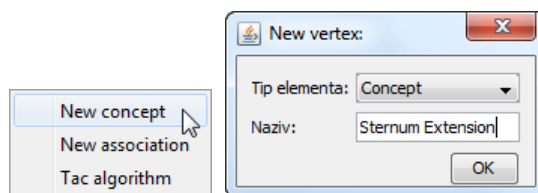
4.3.3.3 Креирање новог контекста, нових појмова и асоцијација између појмова

Описивање улаза се врши стварањем новог сплета асоцијација. Неки од појмова који ће бити искоришћени за формирање сплета су познати, односно постоје у семантичкој мрежи АСМ-а од раније и посредно (преко асоцијација) припадају неким другим контекстима, а неки су нови, односно настају у току описивања улаза. Први корак у процесу описивања је креирање новог (или избор постојећег) контекста чији ће део бити горе поменути сплет асоцијација. Приликом креирања новог контекста је потребно дефинисати само назив истог (слика 4-42).



Слика 4-42 Креирање новог контекста

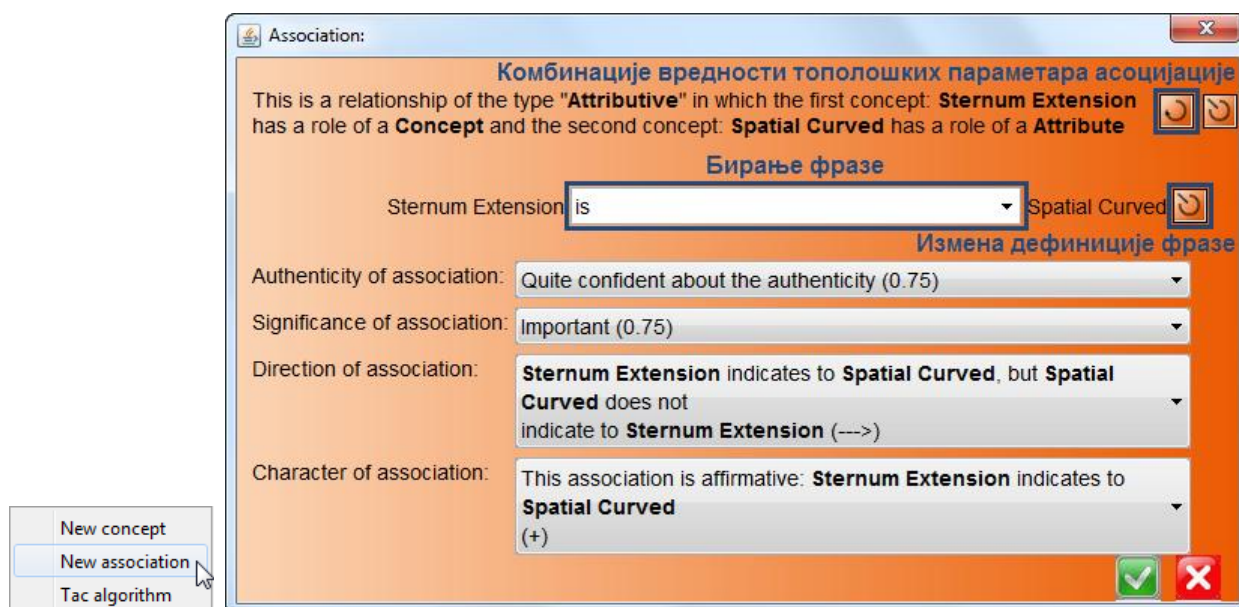
Након креирања контекста се приступа креирању нових појмова. Приликом креирања новог појма је потребно дефинисати само назив појма (слика 4-43). Подразумевани тип семантичког елемента је *појам* (*concept*). Приликом креирања семантичких елемената осталих типова је потребно изабрати жељени тип семантичког елемента из падајуће листе и након тога дефинисати назив семантичког елемента.



Слика 4-43 Креирање новог појма

Да не би дошло до вишеструког уноса истих појмова и самим тим се база података оптеретила непотребним дупликатама и когнитивна обрада података учинила знатно мање ефективном, приликом креирања новог појма се проверава да ли појам са истим називом већ постоји. Ако постоји, корисник се о томе обавештава и у текући контекст се додаје постојећи појам.

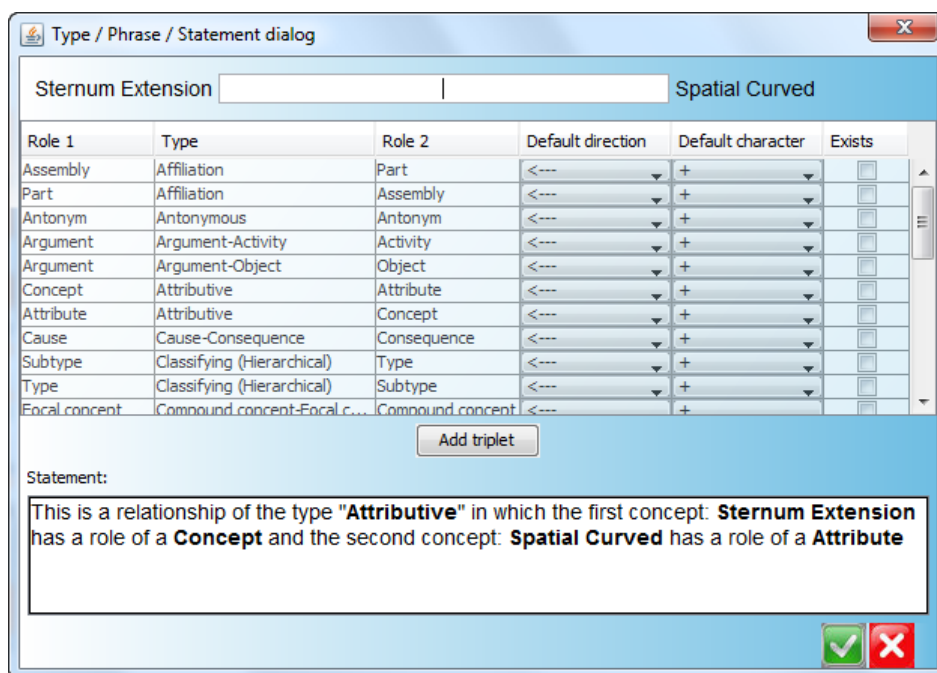
Након креирања појмова се прелази на дефинисање веза између њих, односно на креирање асоцијација. Приликом креирања нове асоцијације корисник прво бира (повезује показивачем) појмове које жели асоцирати. Након тога се појављује оквир за дијалог *Association*. У овом оквиру за дијалог је прво потребно изабрати жељену фразу из падајуће листе (слика 4-44). Обзиром да једној фрази може одговарати више комбинација вредности тополошких параметара асоцијације, након избора фразе корисник, уколико је то неопходно, узастопним кликтањем на одговарајуће дугме у горњем десном делу оквира за дијалог може изабрати комбинацију вредности тополошких параметара асоцијације која је одговарајућа за асоцијацију која се креира (слика 4-44). Свака од расположивих комбинација вредности тополошких параметара асоцијације је описана реченицом у горњем делу оквира за дијалог у којој фигуришу називи асоцираних појмова. Подразумеване вредности за тачност и значај асоцијације су 0.75. Вредности у падајућим листама за смер и карактер асоцијације су описане исказима у којима фигуришу називи асоцираних појмова, како би вредности ових параметара биле разумљивије за корисника.



Слика 4-44 Креирање нове асоцијације

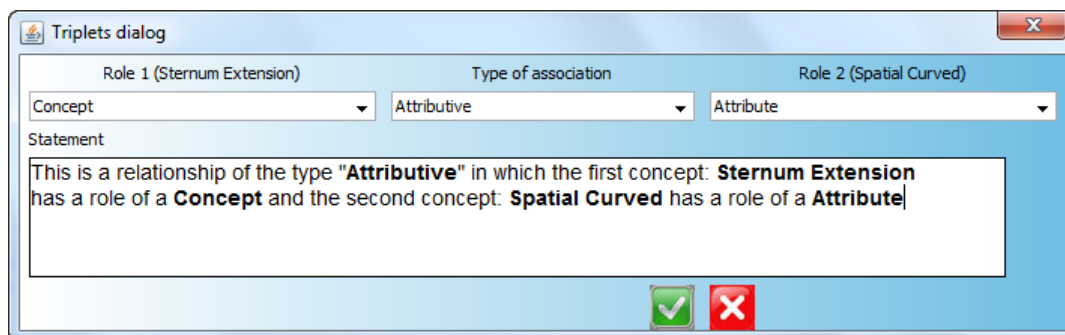
Кликом на дугме десно од падајуће листе за избор фразе корисник може покренути процедуру за измену дефиниције изабране фразе (слика 4-44). Уколико ниједна од расположивих фраза није одговарајућа, корисник може покренути процедуру креирања нове фразе бирањем вредности *New phrase ...* у падајућој листи за избор фразе. Том приликом се

појављује оквир за дијалог *Type / Phrase / Statement dialog* (слика 4-45). Назив нове фразе се уписује у поље у горњем делу оквира за дијалог. Новокреирана фраза се придружује једној или већем броју комбинација тополошких параметара асоцијације чекирањем поља у колони *Exists*.



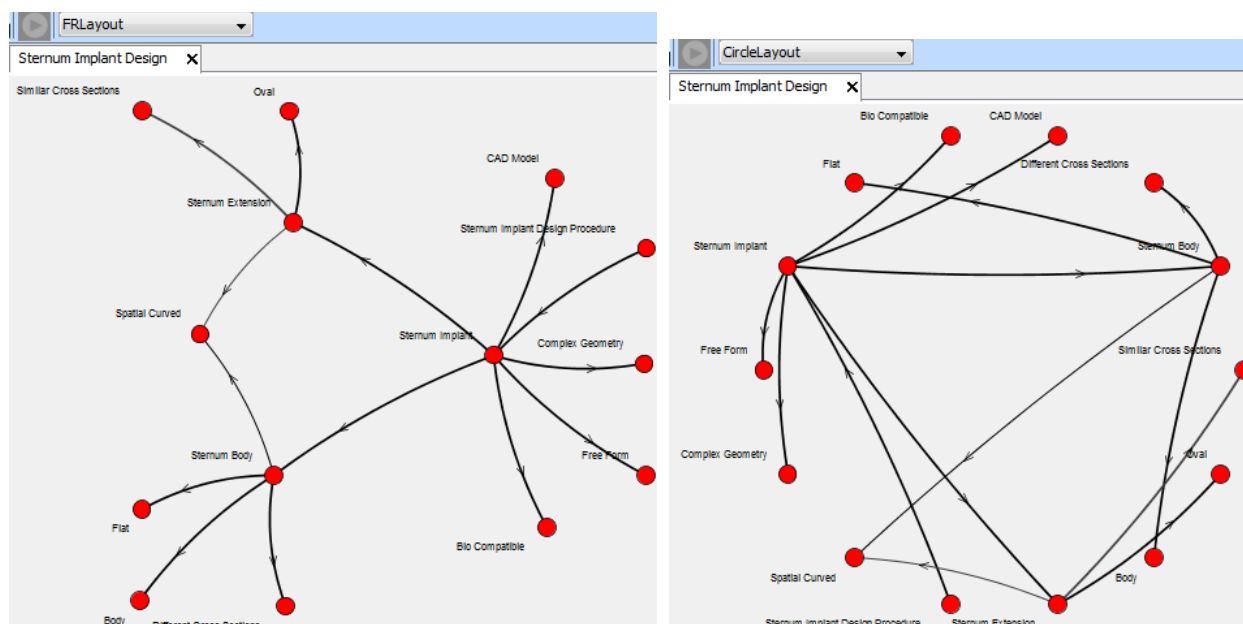
Слика 4-45 Креирање нове фразе

Уколико се новокреирана фраза жели придружити комбинацији тополошких параметара асоцијације која се не налази у листи, могуће је кликом на дугме *Add triplet* у оквиру за дијалог *Type / Phrase / Statement dialog* покренути процедуру додавања нове комбинације најважнијих тополошких параметара асоцијације (улоге појмова у асоцијацији и тип асоцијације), која се још назива и триплетом (*triplet*) или уређеном тројком. Том приликом се појављује оквир за дијалог *Triplets dialog* (слика 4-46). Из овог оквира за дијалог је такође могуће покренути процедуру додавања нове улоге појма у асоцијацији (избором вредности *New role ...* у падајућој листи за избор улоге) или пак новог типа асоцијације (избором вредности *New type ...* у падајућој листи за избор типа). Након додавања новог триплета је потребно да се у оквиру за дијалог *Type / Phrase / Statement dialog* за исти изабери одговарајући карактер (падајућа листа *Default character*) и смер (падајућа листа *Default direction*) асоцијације (слика 4-45) чиме би креирање нове комбинације тополошких параметара асоцијације било завршено.



Слика 4-46 Креирање новог триплета (уређене тројке)

Контексти у општем случају могу да садрже много појмова и асоцијација, тако да приказивање тих елемената може да доведе до претрпаног програмског прозора, на коме се тешко могу разликовати исти. Због тога је у овој фази развоја кориснику омогућено да из падајуће листе бира различите начине распоређивања елемената графа, односно појмова контекста, а самим тим и асоцијација (слика 4-47). У том смислу се користе различити алгоритми за распоређивање елемената графова, који су имплементирани у оквиру JUNG библиотеке, која је раније поменута.

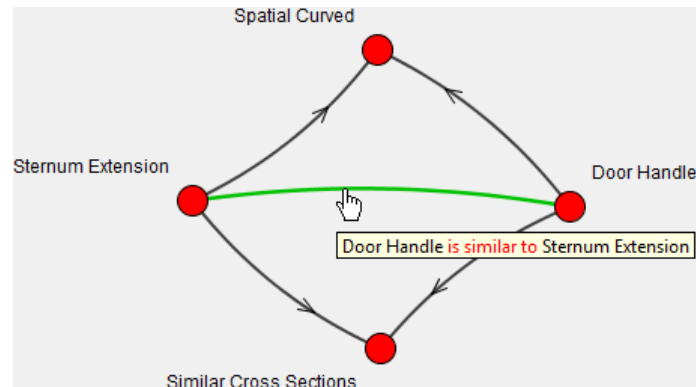


Слика 4-47 Различити алгоритми за распоређивање елемената графа (FRLLayout и CircleLayout)

4.3.3.4 Проналажење одговора од стране АСМ-а

АСМ прати креирање нових асоцијација и у одређеним случајевима самостално креира асоцијације између појмова вршећи на тај начин њихову семантичку категоризацију. Параметри овако креираних асоцијација бивају одређени поступком утврђивања параметара асоцијација – УПА, који се налази у језгру алгоритма утврђивања сличности асоцијација – УСА. Овај алгоритам се покреће непосредно после креирања сваке нове асоцијације, при чему је први појам који је био изабран приликом креирања асоцијације такозвани *појам* у

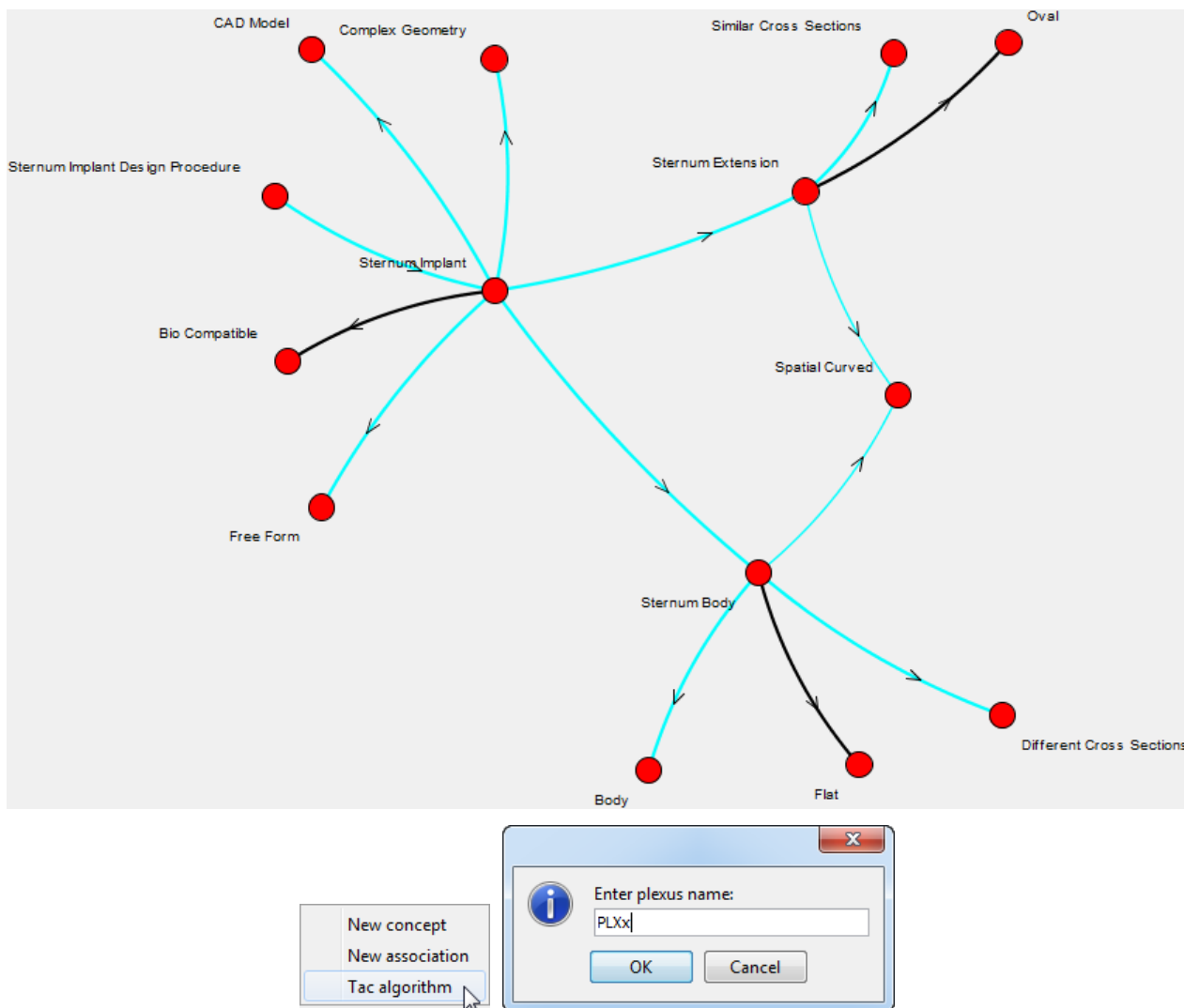
фокусу, односно појам који се покушава семантички категоризовати. Све асоцијације које су самостално креиране од стране АСМ-а бивају обележене зеленом бојом линије која представља асоцијацију (слика 4-48).



Слика 4-48 Асоцијација обележена зеленом бојом је самостално креирана од стране АСМ-а

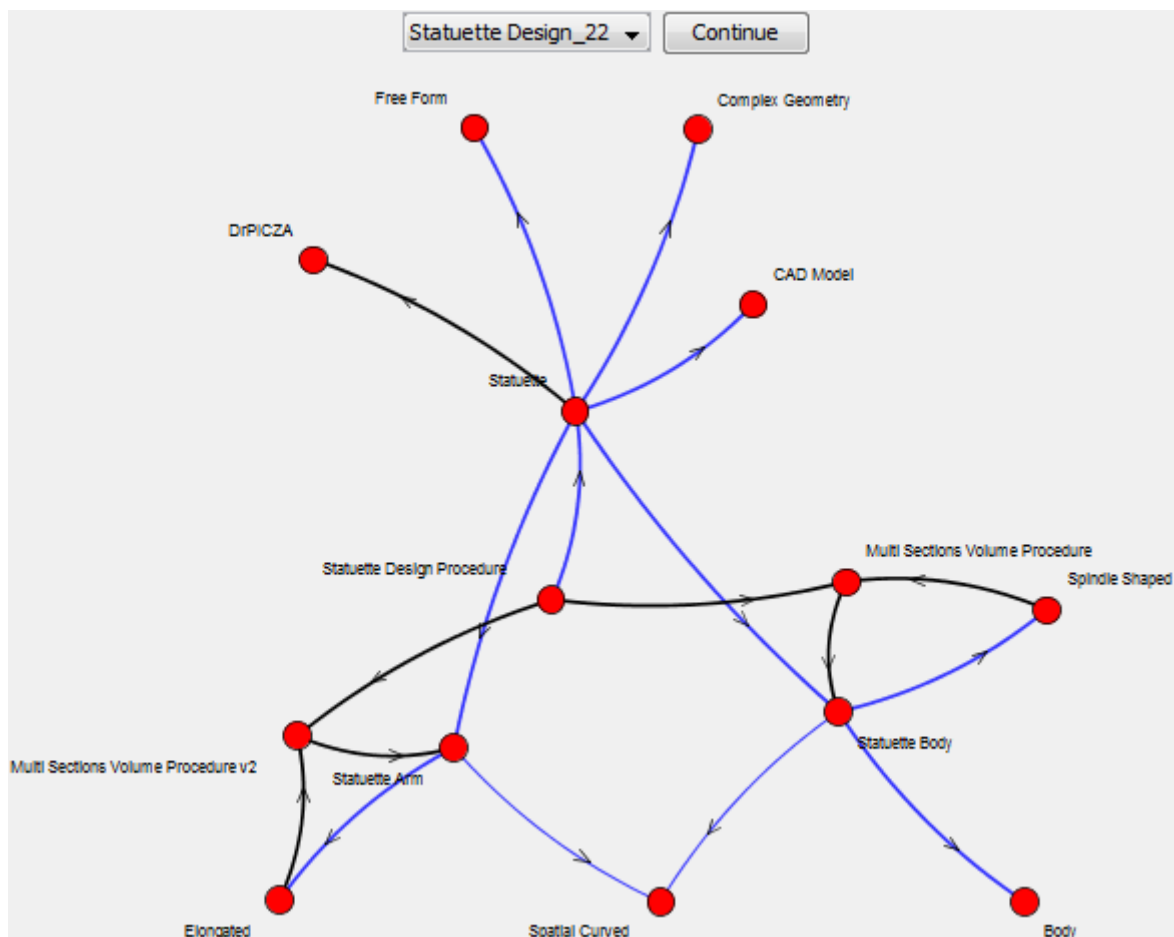
Сваку од асоцијација самостално креираних (предложених кориснику) од стране АСМ-а је могуће одбацити бирањем команде *Reject association* у контекстуалном менију који се отвара када се десним тастером миша кликне на новокреирану асоцијацију. Ако се конкретна асоцијација одбаци, АСМ у будуће неће више у датом контексту предлагати кориснику асоцијацију датог типа између датих појмова.

Корисник покреће поступак утврђивања тополошки аналогних сплетова и контекста тако што изабере део асоцијација из новокреираног контекста (ове асоцијације чине улазни сплет асоцијација), затим кликне десним тастером миша на празну позадину и из менија који се појављује изабере команду *TAC Algorithm* (слика 4-49). Истом приликом корисник дефинише назив улазног сплета у оквиру за дијалог који се појављује.



**Слика 4-49 Бирање асоцијација улазног сплета и покретање поступка утврђивања
тополошки аналогних сплетова**

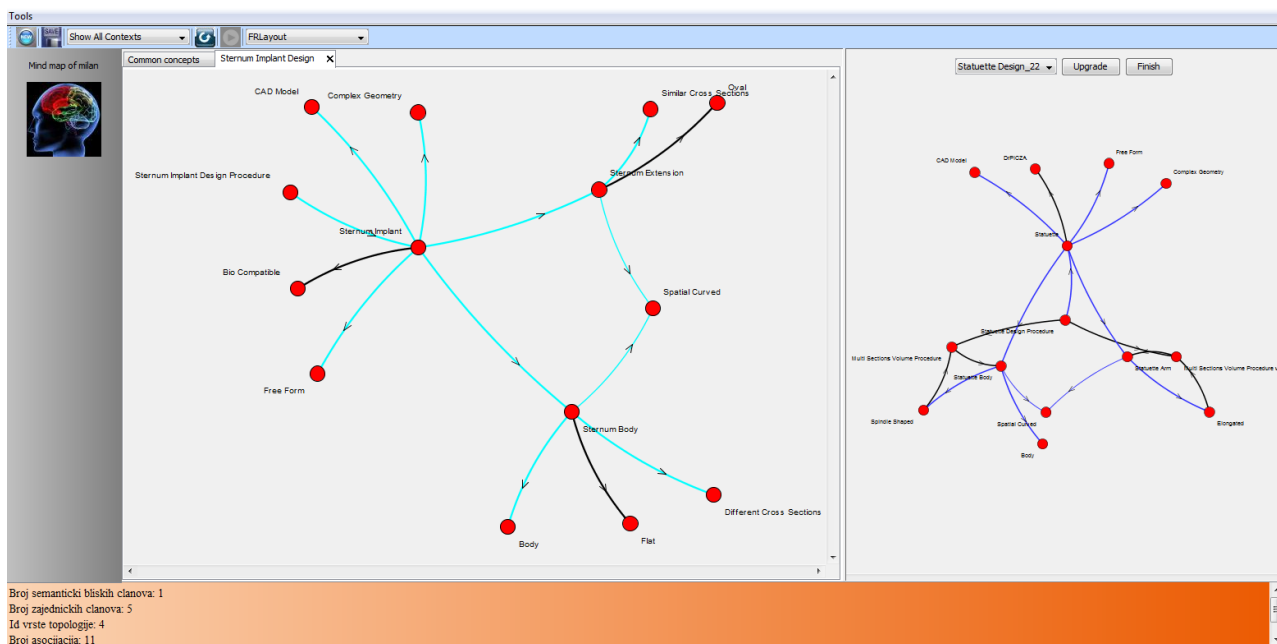
Пронађене тополошки аналогне сплетове улазном сплету или његовим фрагментима АСМ приказује у засебном прозору (слика 4-50). Том приликом се приказује читав контекст чији је подкуп пронађен тополошки аналоган сплет, с тим што су асоцијације пронађеног тополошки аналогног сплета представљене линијом плаве боје. Уколико су резултати добијени претраживањем само појединих контекста семантичке мреже АСМ-а (погледати поглавље „4.1.4.3 Обрада остатка АСМ-ове мреже“), кориснику бивају приказана два дугмета – *Satisfied* и *Not Satisfied* – уз одговарајућу поруку у доњем делу програмског прозора. У случају да је корисник задовољан приказаним резултатима, кликом на дугме *Satisfied* се у базу података смештају пронађени тополошки аналогни сплетови и наставља рад. Уколико пак корисник није задовољан приказаним резултатима, кликом на дугме *Not Satisfied* се поступак утврђивања тополошки аналогних сплетова покреће поново, с тим што ће овом случају простор претраживања обухватати остатак семантичке мреже АСМ-а, односно све контексте сем контекста чији је подкуп улазни сплет.



Слика 4-50 Један од сплетова асоцијација који је тополошки аналоган улазном сплету асоцијација

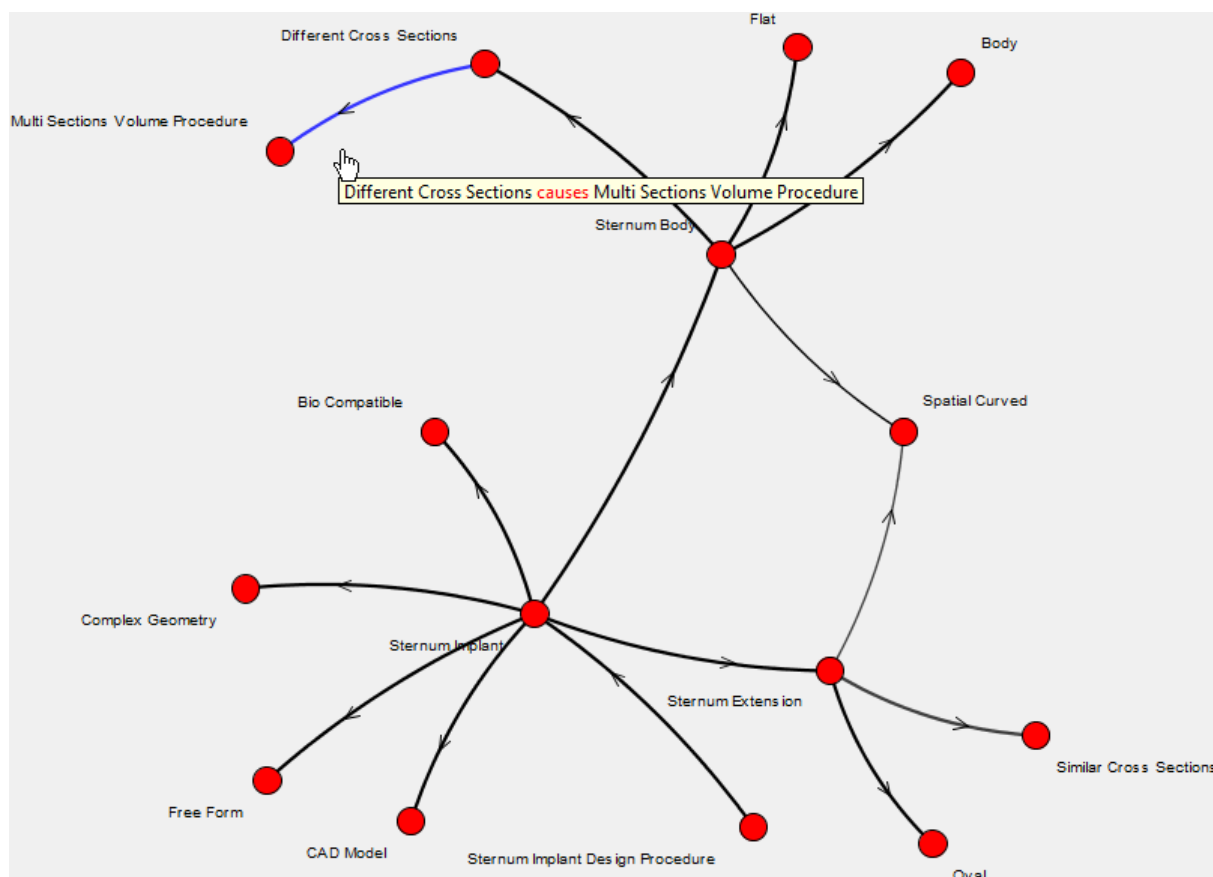
Уколико постоје више пронађених тополошки аналогних сплетова, остале је могуће прегледати бирањем из падајуће листе. За сваки приказан тополошки аналоган сплет су у доњем делу програмског прозора наведени подаци који говоре о његовој семантичкој блискости са улазним сплетом (слика 4-51). Кликом на дугме *Continue* се у базу података смештају пронађени тополошки аналогни сплетови. У базу података се за сваки контекст у коме су пронађени тополошки аналогни сплетови улазном сплету или његовим фрагментима смешта тополошки аналоган сплет са највећим бројем асоцијација.

Основна идеја је да се након смештања у базу података пронађених тополошки аналогних сплетова улазном сплету или његовим фрагментима један од њих изабере (из падајуће листе) као узорни сплет за доградњу улазног сплета. Након избора узорног сплета је кликом на дугме *Upgrade* могуће покренути поступак доградње улазног сплета (слика 4-51).



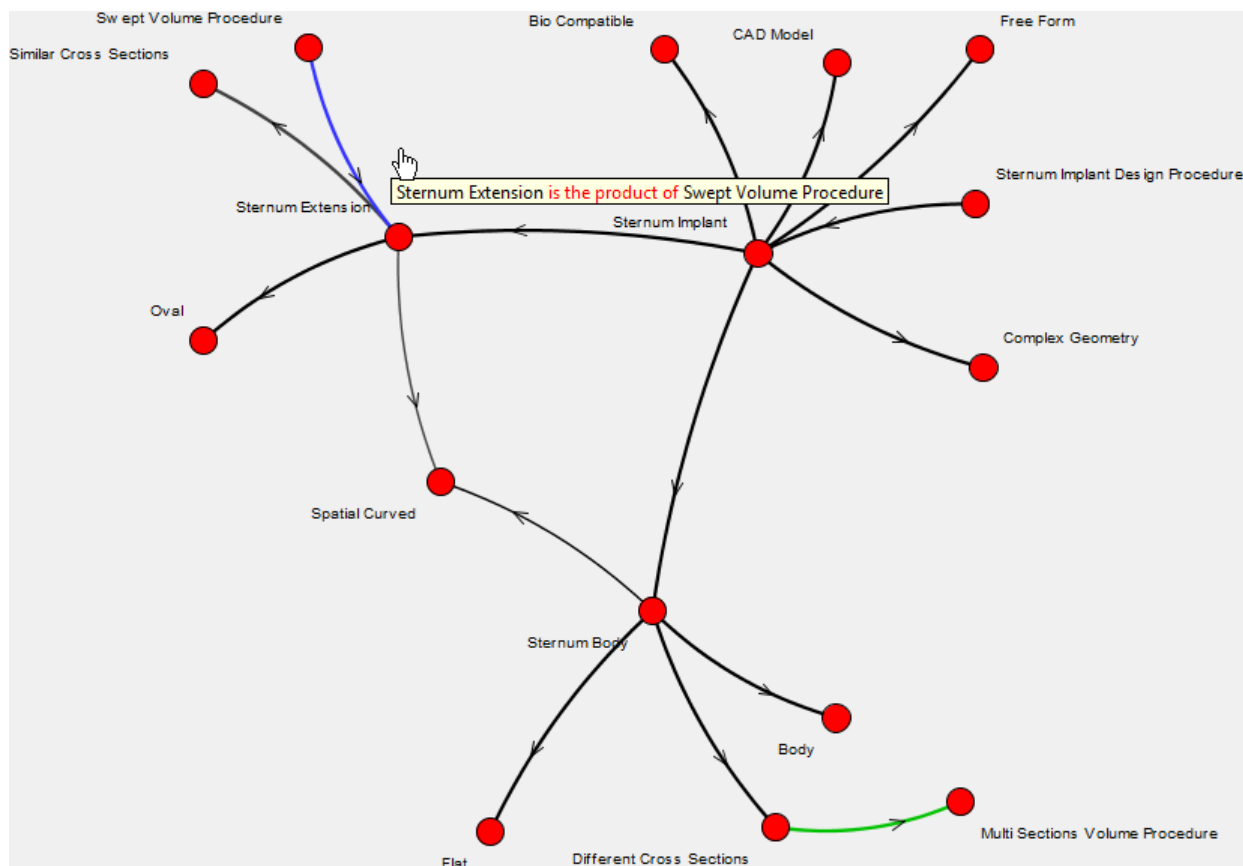
Слика 4-51 Корисник је изабрао узорни сплет

Асоцијације додате од стране АСМ-а након сваке итерације у току поступка доградње улазног сплета бивају представљене плавом линијом (слика 4-52). Корисник има могућност одбацивања предложених асоцијација. Поступак доградње улазног сплета се након прегледања асоцијација наставља избором команде *Continue upgrade* из менија који се добија када се десним тастером миша кликне на празну позадину.



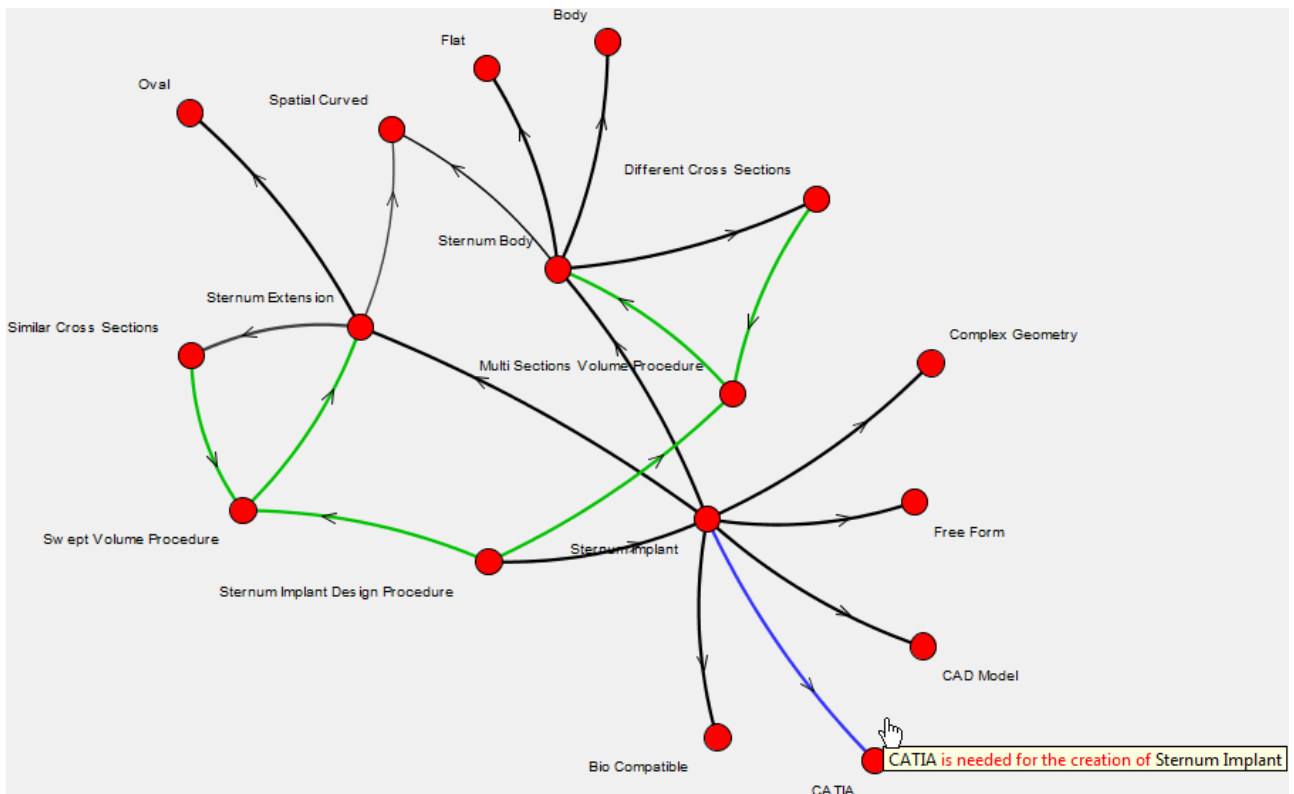
Слика 4-52 Доградња улазног сплета након прве итерације првог покушаја

У свакој од следећих итерација асоцијације додате у претходним итерацијама бивају представљене зеленом линијом (слика 4-53).



Слика 4-53 Доградња улазног сплета након друге итерације првог покушаја

На слици 4-54 је приказан комплетно дограђен улазни сплет након завршеног поступка доградње.



Слика 4-54 Комплетно дограђен улазни сплет

5. Тестирање: Експерименти и резултати

5.1 Увод

Експерименти који су спроведени у оквиру истраживања треба да покажу да је могуће и оправдано користити семантичке одлике објеката са елементима слободне форме ради пружања подршке кориснику приликом реверзног моделирања истих. При томе, посебно је значајно показати способност семантичке интерпретације семантичких одлика објеката са елементима слободне форме ради пружања подршке кориснику приликом реверзног моделирања оних објеката који нису унапред предвиђени, односно који нису били претходно разматрани. Велики део истраживања посвећен је дефинисању поступка утврђивања тополошки аналогних сплетова и контекста и унапређењу поступка доградње контекста, као и имплементацији истих у оквиру програмске апликације за моделирање семантичких одлика информатичких садржаја свих врста (AcSeMod). Из тог разлога експерименти треба да покажу да су горе поменути поступци они који омогућавају аутономно и интелигентно реаговање на непредвиђене улазе.

Када говоримо о семантичким одликама објеката са елементима слободне форме, у контексту пружања подршке кориснику приликом реверзног моделирања истих, најчешће мислимо на значење геометријских одлика горе поменутих објеката. У примерима су поред геометријских коришћене и друге одлике објеката, попут функционалних. Моделирање и касније интерпретација семантичких одлика објеката са елементима слободне форме треба да омогући пружање подршке кориснику приликом реверзног моделирања истих. То је веома значајно, јер би се остваривањем и применом оваквог концепта у CAD системима обезбедило значајно увећање ефикасности и квалитета рада пројектанта.

У примеру ће се тестирати способност АСМ-а да спроведе семантичку интерпретацију геометријских одлика *новог*, односно *непознатог* објекта, у процесу реверзног моделирања. У првој фази корисник, уз помоћ семантичких структура АСМ-а, значењски описује геометрију објекта који до тада није био описан у АСМ-у. Излаз из ове фазе јесте сплет асоцијација уз помоћ кога је значењски описана геометрија *новог* објекта. У другој фази значењски опис геометрије *новог* објекта послужиће као улазни пакет података за когнитивну обраду која треба да резултира значењском категоризацијом сплета асоцијација уз помоћ кога је значењски описана геометрија *новог* објекта у односу на друге сплетове асоцијација уз помоћ којих је значењски описана геометрија *познатих* објеката, који су већ описани и уграђени у семантичку мрежу АСМ-а. У овом случају се ради о утврђивању семантичке сличности сплетова асоцијација према *семантичком садржају*

(односно према њиховим члановима – асоцијацијама), а конкретан случај сличности јесте *тополошка аналогија* сплетова асоцијација. У последњој фази алгоритми когнитивне обраде података АСМ-а треба да покажу способност да препознају/генеришу применљиве и релевантне *одговоре* спрам захтева корисника²⁴, који је у овом примеру *поступак реверзног моделирања објекта*. Одговор бива генерисан спровођењем поступка доградње сплета уз помоћ кога је значењски описана геометрија *новог* објекта, према узору на један од њему тополошки аналогних сплетова (уз помоћ кога је значењски описана геометрија *познатог* објекта) који је изабран као *узорни* од стране корисника.

Тестирање приступа је вршено на примеру реверзног моделирања костију човека, конкретно бутне кости. То је уједно и један од најзаступљенијих примера на коме су демонстрирани различити приступи реверзног моделирања у доступној литератури. У складу са *методом карактеристичних регија*, који је настао као резултат истраживања у Лабораторији за Интелигентне Производне Системе (ЛИПС) на Машинском факултету у Нишу, приликом тестирања приступа ће као резултат бити предлагани поступци реверзног моделирања засебних регија (области геометрије) бутне кости, издвојених на основу анатомских и морфолошких својстава исте. Конкретно ће у оквиру примера бити предлагани поступци реверзног моделирања *трохантерске регије, тела бутне кости и доњег краја бутне кости*.

Бутна кост је дугачка парна кост која сачињава скелет бута и важи за најдужу и најјачу кости људског тела. Она је хомолога раменици на горњем уду. На бутној кости се разликују *тело* и два *краја*: *горњи*, који се зглобљава са карличном кости и *доњи*, који се зглобљава са голењачом и чашицом. Горњи крајак заклапа са телом туп угао. Он се састоји из: 1) *главе* бутне кости, 2) анатомског *врата*, 3) *великог трохантера* и 4) *малог трохантера*. На споју горњег краја са телом налази се хируршки врат. Доњи крајак, облика зарубљене четвороугаоне пирамиде, састоји се из два велика испупчења звана *спољни кондил* и *унутрашњи кондил* (Šljivić, 1973).

На сликама у овом поглављу, ради јасноће представљања, тополошки кореспондентне асоцијације су означене истом бојом и тополошки кореспондентни појмови су означени истом бојом. Асоцијације и појмови који не припадају тополошки аналогним сплетовима су на сликама означени сивом бојом. Асоцијације које бивају додате у току поступка доградње контекста су на сликама означене линијом веће дебљине (само у кораку у коме је извршено

²⁴ Мотив за комуникацију са АСМ-ом корисник може дефинисати коришћењем матрице комуникационог контекста (Стојковић, 2011). Пример комуникационог контекста: **Субјекат:** „АСМ“ треба да обави **Радњу:** „Когнитивну-обработку података“ над **Објектом:** „Трохантерска-Регија“ са **Циљем** (задатком или мотивом) да се изврши: „Дефинисање-Поступка-Реверзног-Моделирања“ и добије **Производ:** „Поступак-Реверзног-Моделирања“. На овај начин корисник помаже АСМ-у да формира критеријумско, и према томе, усмерено претраживање семантичке мреже. Главна добит у овом случају јесте сужавање простора претраживања.

додавање асоцијација). Појмови који бивају додати у току поступка доградње контекста су на сликама означени линијом веће дебљине (само у кораку у коме је извршено додавање појмова). Од параметара асоцијација су на сликама наведене само улоге појмова у асоцијацији. У појединим ситуацијама су наведени и тежински параметри асоцијације, углавном на местима где је то било битно истаћи. Оваква одлука је донесена због прегледности дијаграма, као и због чињенице да се у експериментима тестира приступ који обухвата утврђивање тополошке аналогије делова семантичке мреже и доградњу сплета асоцијација. За разлику од рецимо поступка утврђивања сличности асоцијација, овде је довољно означити само тополошки кореспондентне асоцијације, обзиром да тополошка кореспондентност већ доста говори о поклапању/блискости вредности параметара асоцијације.

5.2 Реверзно моделирање геометрије хуманих костију

У ортопедској хирургији, као и у осталим гранама хирургије, у ситуацијама где постоји потреба за креирањем имплантата или фиксатора прилагођених пацијенту, је неопходно располагати прецизним геометријским моделом хумане кости. Стога је важно прецизно и брзо креирати геометрију хумане кости. Обично се за то користе технике реверзног моделирања (Veselinovic et al., 2011a, 2011b).

Реверзно моделирање геометрије хумане кости коришћењем CAD софтвера подразумева генерисање 3D дигиталног модела геометрије хумане кости на основу радиолошке слике (X-Ray, CT, MRI). Радиолошка слика хумане кости, која се у CAD терминологији често назива и „сировим“ подацима, представља улазне податке за реверзно моделирање исте. „Сирове“ податке чине координате тачака скениране хумане кости.

У примерима у дисертацији је коришћен тзв. *метод карактеристичних регија* који је настао као резултат истраживања у Лабораторији за Интелигентне Производне Системе (ЛИПС) на Машинском факултету у Нишу. Код овог метода се геометријски модел креира на основу анатомских и морфолошких својстава хумане кости.

Процедура реверзног моделирања геометрије хуманих костију се састоји из следећих фаза (Stojkovic et al., 2009):

1. Увожење и обрада (филтрирање, поравнавање, итд.) облака тачака,
2. Креирање и обрада полигоналног модела,
3. Идентификација референтних геометријских ентитета (тачака, оса, праваца, равни и погледа),
4. Креирање и обрада кривих линија на полигоналном моделу,
5. Креирање и обрада површинског модела,

6. Опционо је задња фаза реверзног моделирања хумане кости креирање запреминског (*solid*) модела кости.

Увожење „сирових“ података у CAD систем резултује генерисањем једног или већег броја облака тачака (дискретних тачака кости које су скениране уз помоћ неке радиолошке методе) (слика 5-1). Филтрирање облака тачака подразумева скривање дела тачака облака у циљу убрзавања наредних операција над облаком тачака. У случајевима када постоји више облака тачака, поравнавањем се исти репозиционирају један у односу на други како би се реконструисала комплетна хумана кост.



Слика 5-1 Део облака тачака (доњи крајак бутне кости) (преузето из (Stojkovic et al., 2009))

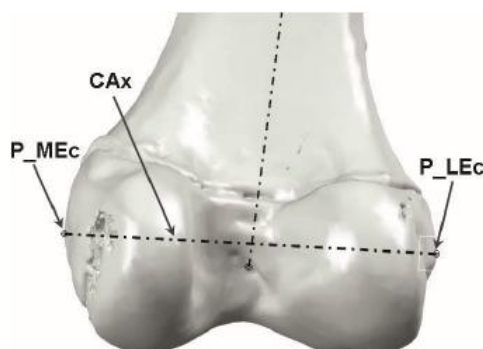
Полигонални модел се добија креирањем мреже полигоналних страна (троуглова) која представља површину хумане кости (слика 5-2). Троуглови се креирају између тачака облака тако да не постоје преклапање или празнине (пукотине) између истих. Познато је да СТ или MRI скен укључује и приказ околних меких ткива, па је иста неопходно уклонити обрадом полигоналног модела. Метод карактеристичних регија не захтева потпуно исправан полигонални модел.



Слика 5-2 Део полигоналног модела (доњи крајак бутне кости) (преузето из (Stojkovic et al., 2009))

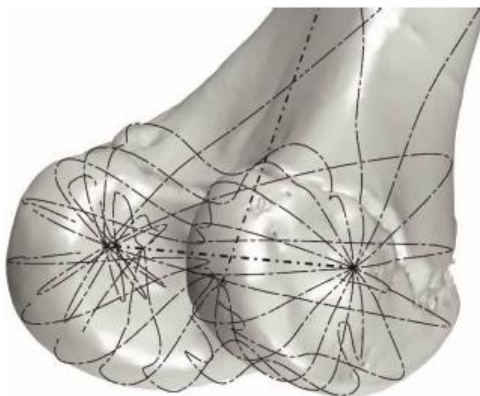
Основни предуслов за брзо и прецизно реверзно моделирање геометрије хуманих костију је идентификација *референтних геометријских ентитета* (РГЕ), то јест карактеристичних тачака, праваца, равни и погледа (слика 5-3). Сви остали елементи

геометрије хумане кости (криве линије, површине и *solid*-и) треба да буду референцирани у односу на РГЕ. Да би се креирао робустан геометријски модел хумане кости којим је лако руковати треба настојати да скуп примарних РГЕ буде минималан. Сва остала геометријска ограничења и односи треба да буду базирани на том минималном скупу РГЕ. Оно што је карактеристично за реверзно моделирање геометрије хуманих костију је то што је неопходно веома прецизно одредити правила за креирање свих праваца и погледа који ће бити коришћени (Schmutz et al., 2006). Примери РГЕ-а су рецимо А-Р раван и механичка оса бутне кости. РГЕ хумане кости представљају такозвани скелет или основу 3D дигиталног модела исте (као и било ког другог објекта са елементима слободне форме).



Слика 5-3 РГЕ доњег крајка бутне кости – Оса кондила (преузето из (Stojkovic et al., 2009))

Пресецањем полигоналног модела равнима се добијају контурне криве линије (контура попречног пресека) (слика 5-4). Пресечне равни се дефинишу на локацијама полигоналног модела на којима постоје неки карактеристични елементи површине попут гребена или улегнућа. Контурне криве линије се затим користе за креирање тачака и *spline* кривих линија. Овако креиране *spline* криве линије прате морфолошке карактеристике праве хумане кости (узимају се у обзир и облик и функција објекта), па ће се тако касније уз помоћ истих може генерисати реалистична (природна, верна) површина.



Слика 5-4 Ротациони низ кривих линија попречних пресека доњег крајка бутне кости (преузето из (Stojkovic et al., 2009))

Геометријска прецизност генерисаног површинског модела је директно пропорционална броју коришћених *spline* кривих линија. Она такође зависи и од позиције пресечних равни.

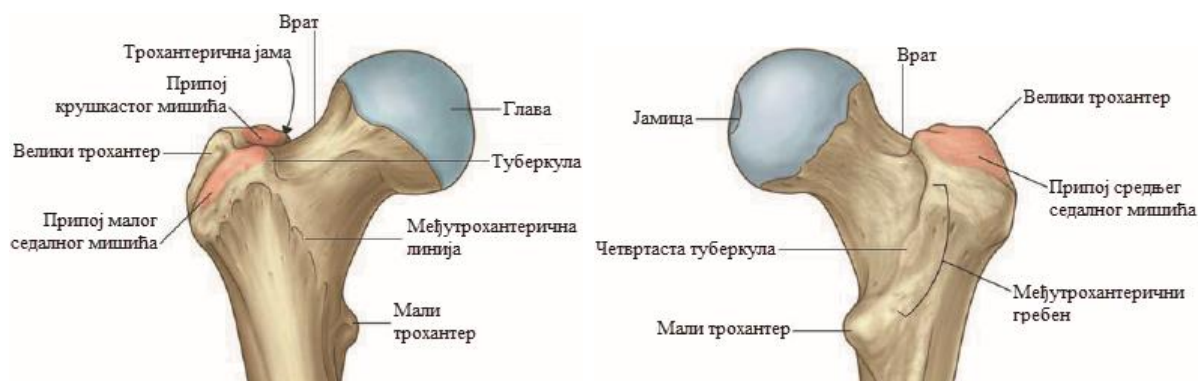
Spline криве линије се коначно користе за креирање површинских модела карактеристичних регија. Површински модел хумане кости се добија спајањем површинских модела карактеристичних регија. Овај приступ је проблематичан због поравнавања ових површина приликом спајања, због чега се често прибегава апроксимацијама површинских модела карактеристичних регија на месту спајања.

Са аспекта морфометрије овај приступ омогућава креирање прецизнијих модела у поређењу са приступима који користе стандардне технике моделирања (Veselinovic et al, 2011a). Код приступа реверзном моделирању који користе прецизно дефинисане геометријске ентитете (тачке, равни, *spline* криве линије, итд.) се може контролисати прецизност површинског модела.

Постоји неколико комерцијалних (попут Mimics-a) и система отвореног кода (попут Canvas-a) који се могу користити за креирање геометријског модела хуманих костију на основу СТ или MRI скенова. Ова софтверска решења се не користе пошто не дозвољавају креирање одговарајућих функционалних односа између геометријских ентитета. Метод карактеристичних регија омогућава дефинисање различитих геометријских ентитета и функционалних односа између истих, што се касније може користити за креирање параметарских геометријских модела (Vitković et al., 2011).

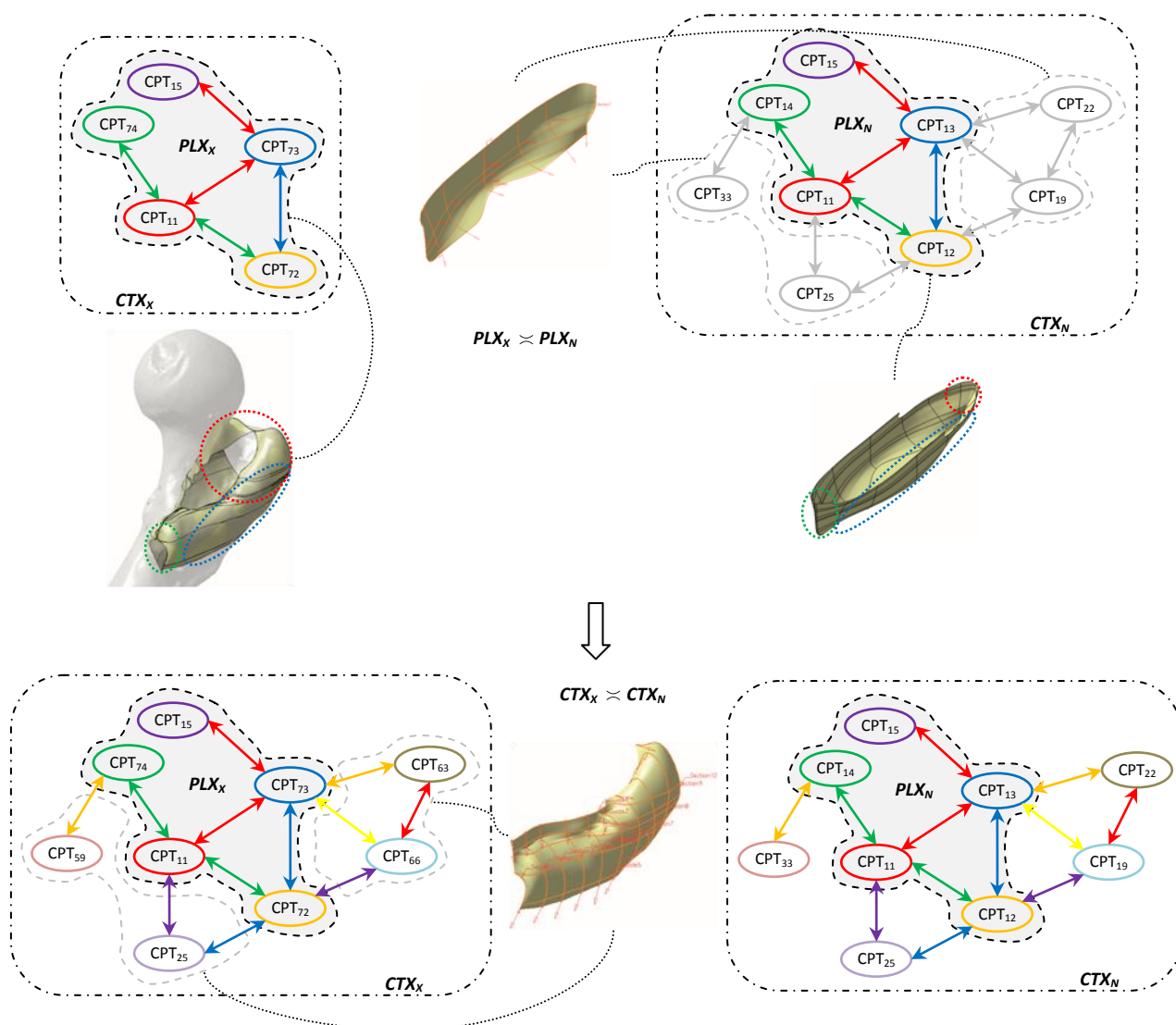
5.3 Трохантерска регија

Трохантерска регија је део горњег окрајка бутне кости. Чине је велики трохантер, мали трохантер, међутрохантерични гребен и међутрохантерична линија (слика 5-5). Велики трохантер је четвороугласто испупчење које лежи на темену угла којег заклапају врат и тело бутне кости (Šljivić, 1973) и по изгледу подсећа на округлу ручицу (AnatomyExpert). Мали трохантер је мање, тупо купасто испупчење, које се налази на задњем делу доњег краја врата бутне кости (Drake et al., 2014; Šljivić, 1973). Међутрохантерични гребен је широк и гладак (Standring, 2008). Међутрохантерична линија се у литератури (Standring, 2008) категоризује као гребен. Реч трохантер потиче од грчких речи *τρέχειν* (*trechein*), што значи трчати, и *τροχός* (*trochos*), што значи точак. Galen је првобитно употребљавао овај термин за главу бутне кости, пошто је иста личила на точак који се окреће у зглобној чашици карличне кости. Касније се је овај термин почео употребљавати за коштану испупчења на горњем окрајку бутне кости, вероватно због тога што се на њима налазе припоји мишића који омогућавају обртне или ротационе покрете у зглобу кука (AnatomyExpert).



**Слика 5-5 Горњи крајак бутне кости: предњи поглед (лево) и задњи поглед (десно)
(преузето и прилагођено из (Drake et al., 2014))**

Непознати објекат у овом случају представљаће *трохантерска регија*, односно њен геометријски модел. Геометрија овог објекта је значењски описана уз помоћ сплета асоцијација (*улазни сплет*) (слика 5-6 (горе лево)). *Познати* објекат представљаће *оплата трупа брода*, односно њен геометријски модел. Геометрија оплате трупа брода је значењски описана уз помоћ сплета асоцијација (*узорни сплет*) (слика 5-6 (горе десно)) који је *тополошки аналоган* сплету асоцијација уз помоћ кога је значењски описана геометрија трохантерске регије. Контекст чији је подскуп узорни сплет поред истог садржи и сплет асоцијација уз помоћ кога је описан поступак геометријског моделирања оплате трупа брода (слика 5-6 (горе десно)). Генерисање поступка реверзног моделирања трохантерске регије (слика 5-6 (доле лево)) се врши спровођењем поступка доградње контекста чији је подскуп улазни сплет по узору на преостали део контекста чији је подскуп узорни сплет.



Слика 5-6 Семантичка интерпретација код дела тест примера који се односи на трохантерску регију

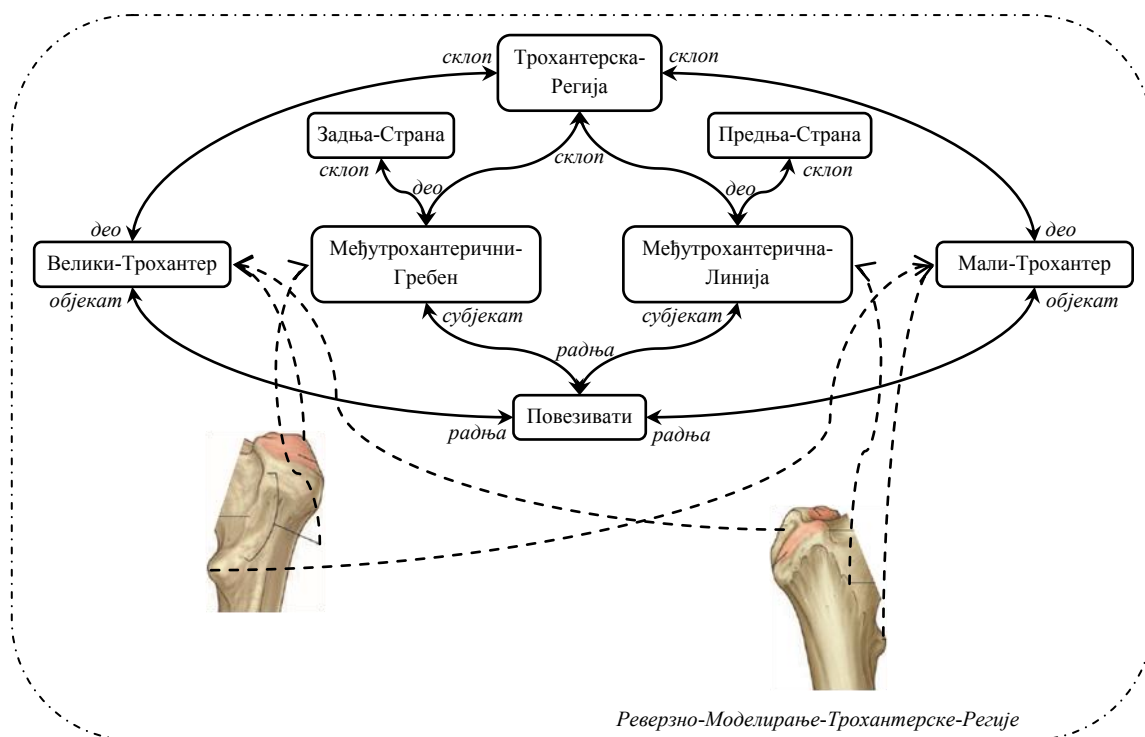
Описивање објекта семантичке интерпретације – (геометријског модела) трохантерске регије – врши корисник креирањем новог сплета асоцијација (у оквиру контекста Реверзно-Моделирање-Трохантерске-Регије) које на одговарајући начин повезују међусобно појмове који означавају делове трохантерске регије (слика 5-7), као и појмове који означавају делове трохантерске регије са појмовима који ће послужити да се семантички опише геометрија (присутни облици) трохантерске регије (слика 5-8). Објекат семантичке интерпретације у АСМ-у означава појам Трохантерска-Регија²⁵. Неки од појмова који ће бити искоришћени за формирање горе поменутог сплета асоцијација су *познати*, односно постоје у семантичкој мрежи АСМ-а од раније и припадају неким другим контекстима (попут појмова Слободна-

²⁵ У овом случају се мисли на геометријски модел трохантерске регије, али је због лакшег праћења дијаграма појму дат назив Трохантерска-Регија.

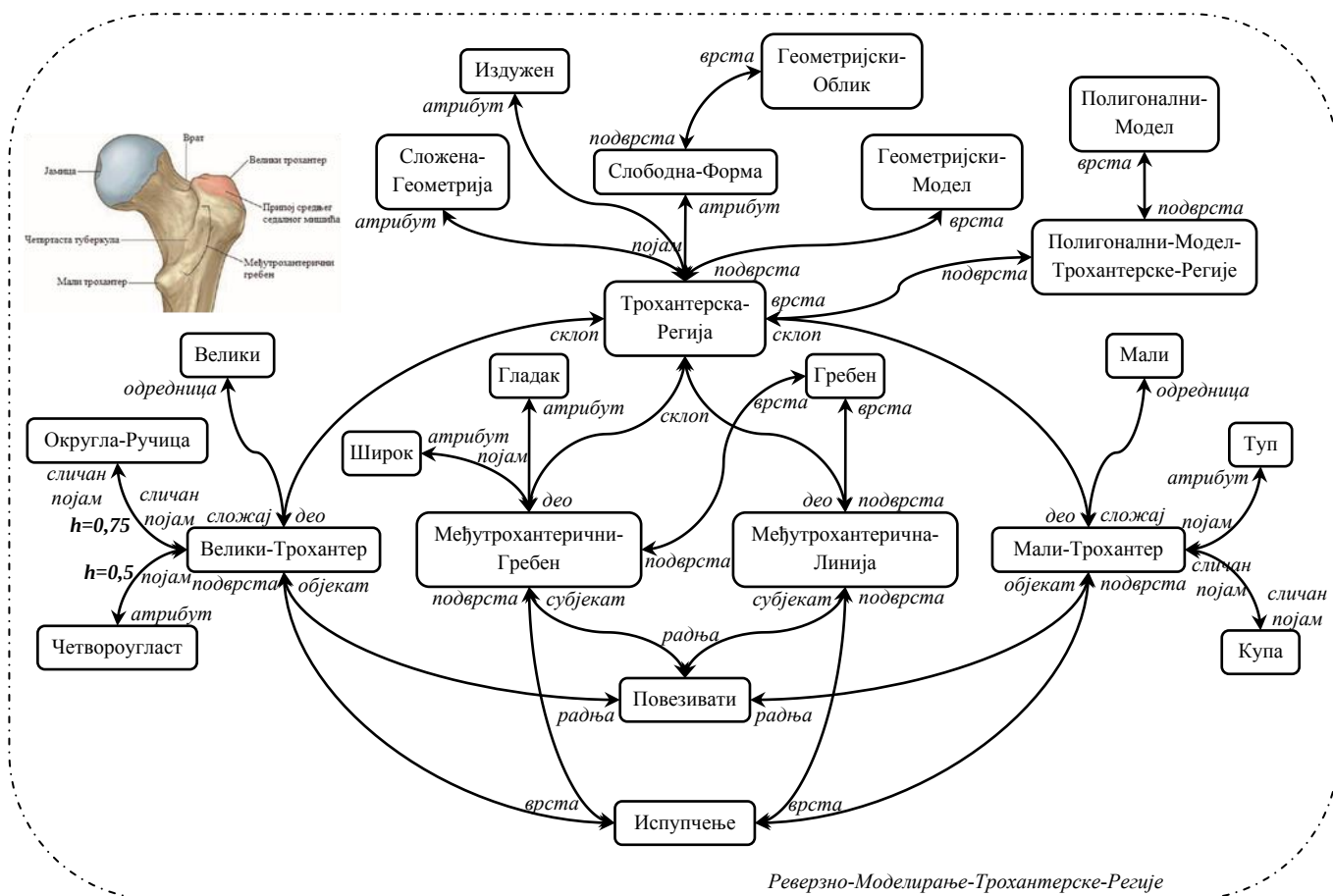
Форма, Испупчење, Повезивати, итд.), а неки су *нови*, односно настају у току описивања самог објекта семантичке интерпретације.

На слици 5-7 је приказан сплет асоцијација које повезују међусобно појмове који означавају делове трохантерске регије. Може се видети да међутрохантерични гребен, који се налази на задњој страни (бутне кости), и међутрохантерична линија, која се налази на предњој страни (бутне кости), повезују велики трохантер и мали трохантер.

На слици 5-8 се, поред асоцијација из претходно поменутог сплета, налазе и асоцијације које повезују појмове који означавају делове трохантерске регије са појмовима који ће послужити да се семантички опише њихова геометрија, у складу са описима из литературе. Додатно су присутне асоцијације уз помоћ којих се описује сама трохантерска регија (њен геометријски модел). Може се видети да је трохантерска регија слободна форма, да је издужена и да има сложену геометрију, као и да је кориснику на располагању полигонални модел трохантерске регије.

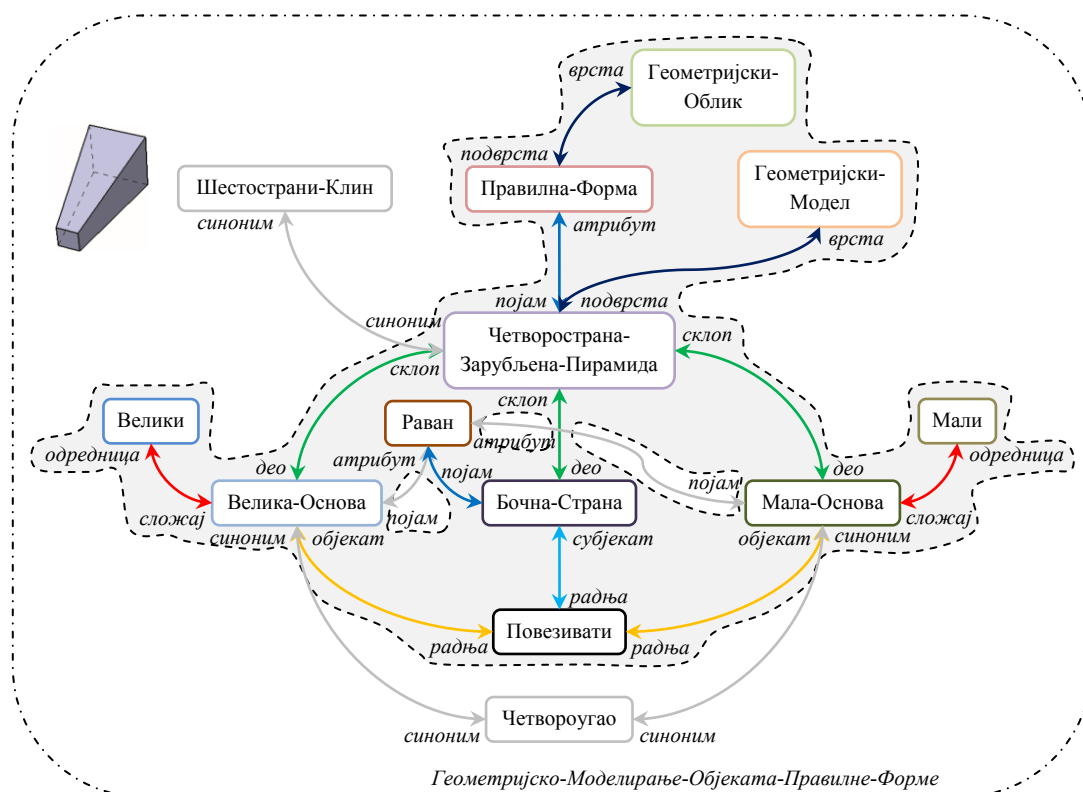
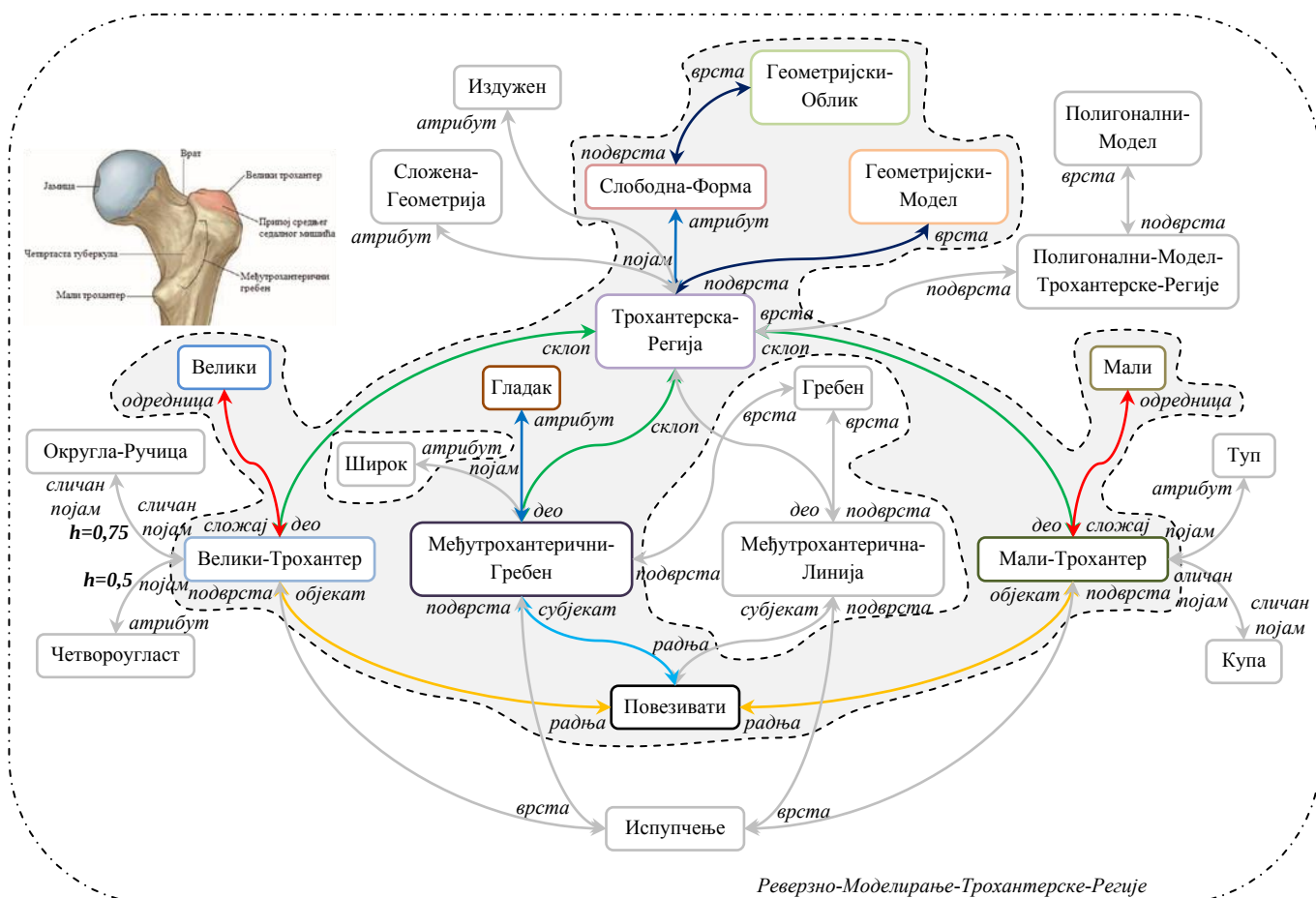


Слика 5-7 Шематски приказ иницијалног описивања објекта семантичке интерпретације



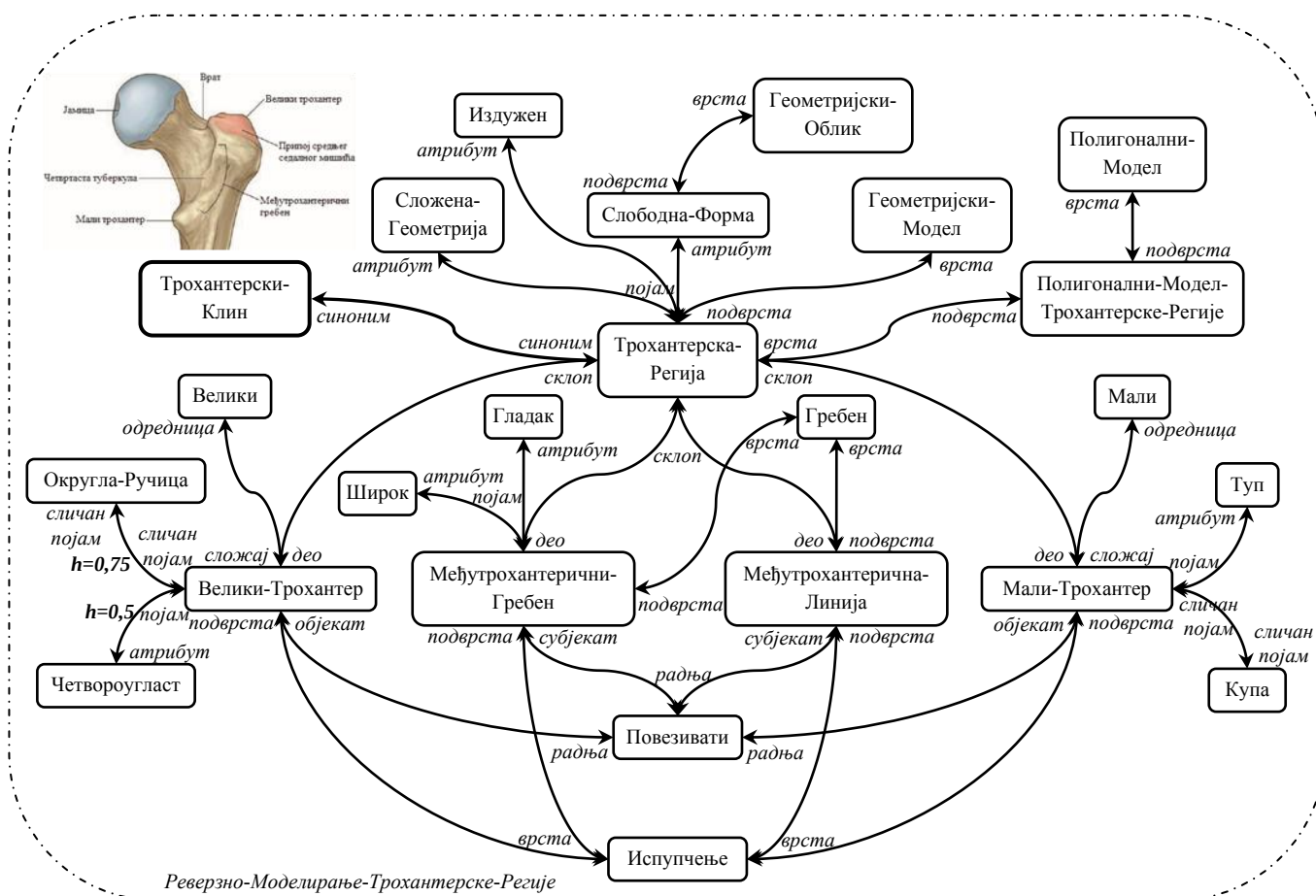
Слика 5-8 Стварање асоцијација које прати описивање семантичких одлика геометрије трохантерске регије

Сплет асоцијација приказан на слици 5-8 представља *улазни сплет асоцијација*. Овај сплет асоцијација броји 23 појма и 29 асоцијација. Пошто препозна један или више сплетова из семантичке мреже који су тополошки аналогни улазном сплету, АСМ приказује исте кориснику. Уз сваки приказан тополошки аналоган сплет су наведени подаци који говоре о његовој семантичкој блискости са улазним сплетом. Један од препознатих тополошки аналогних сплетова је и сплет асоцијација који је део контекста Геометријско-Моделирање-Објеката-Правилне-Форме (слика 5-9). Уз помоћ овог сплета асоцијација су описане семантичке одлике геометрије четворостране зарубљене пирамиде. Семантичка блискост овог сплета асоцијација се може проценити на основу следећих података: број заједничких појмова: **5** (Геометријски-Облик, Геометријски-Модел, Велики, Мали, Повезивати), број семантички блиских појмова: **0**, назив врсте топологије: **склоп**, број асоцијација: **12**, број појмова: **11**.



Слика 5-9 Сплет асоцијација уз помоћ кога су описане семантичке одлике геометрије четворостране зарубљене пирамиде је тополошки аналоган сплету асоцијација уз помоћ кога су описане семантичке одлике геометрије трохантерске регије

У овом случају се може видети да је утврђена тополошка аналогија између сплетова асоцијација уз помоћ којих су описане семантичке одлике геометрије једног објекта *слободне* форме и једног објекта *правилне* форме. Реално је очекивати да корисник приликом бирања *узорног сплета* (за доградњу *улазног сплета*) неће изабрати сплет асоцијација уз помоћ кога су описане семантичке одлике геометрије четворостране зарубљене пирамиде (слика 5-9), пошто се поступци које се користе приликом геометријског моделирања објеката правилне форме обично не могу употребити при реверзном моделирању објеката слободне форме. Међутим, утврђена тополошка аналогија између ових сплетова може резултовати категоризацијом појма Трохантерска-Регија од стране корисника. Обзиром да су појмови Четворострана-Зарубљена-Пирамида и Шестострани-Клин синоними, корисник може креирати асоцијацију синонимског типа између појма Трохантерска-Регија и новокреираног (од стране корисника) појма Трохантерски-Клин (слика 5-10).

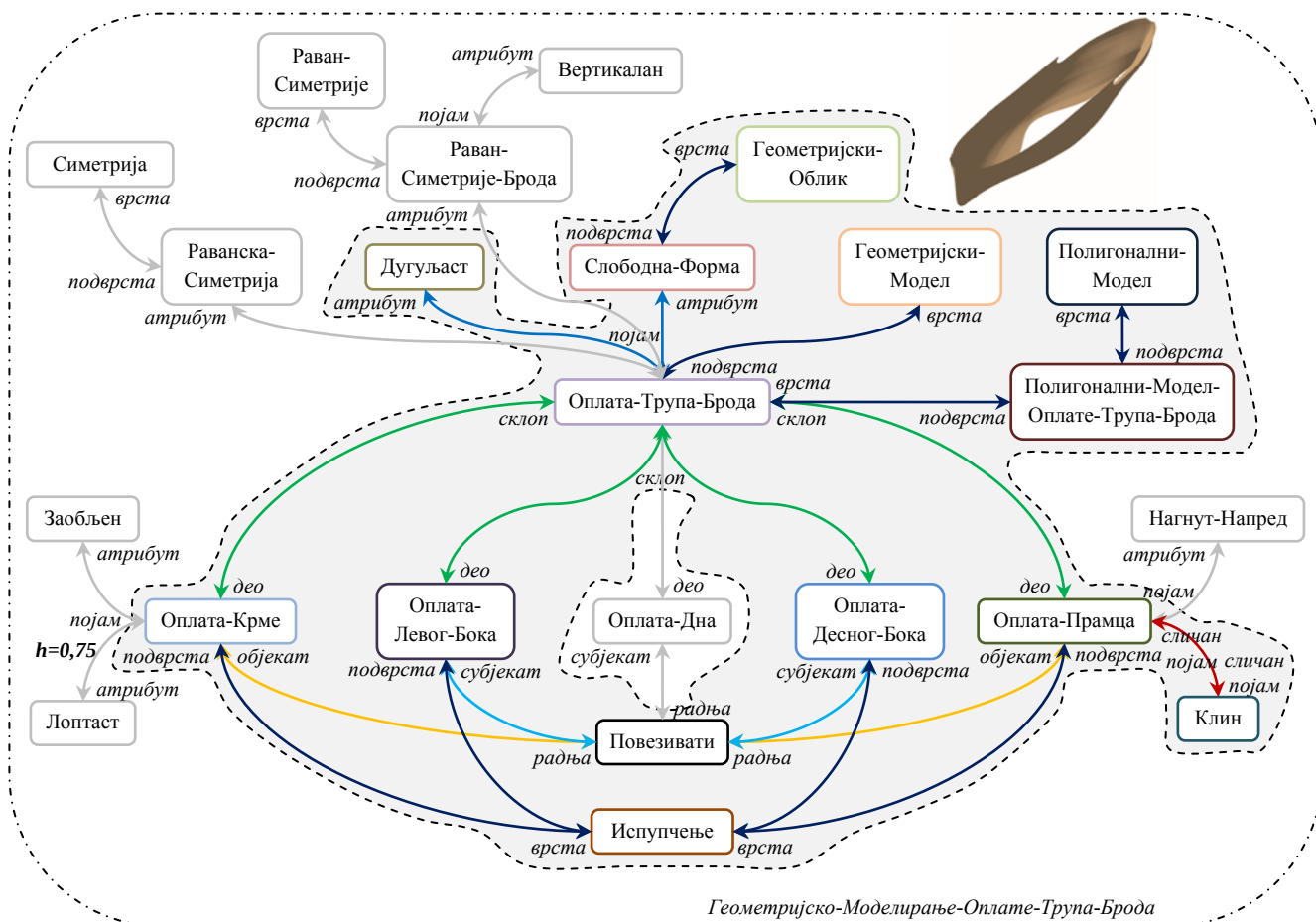
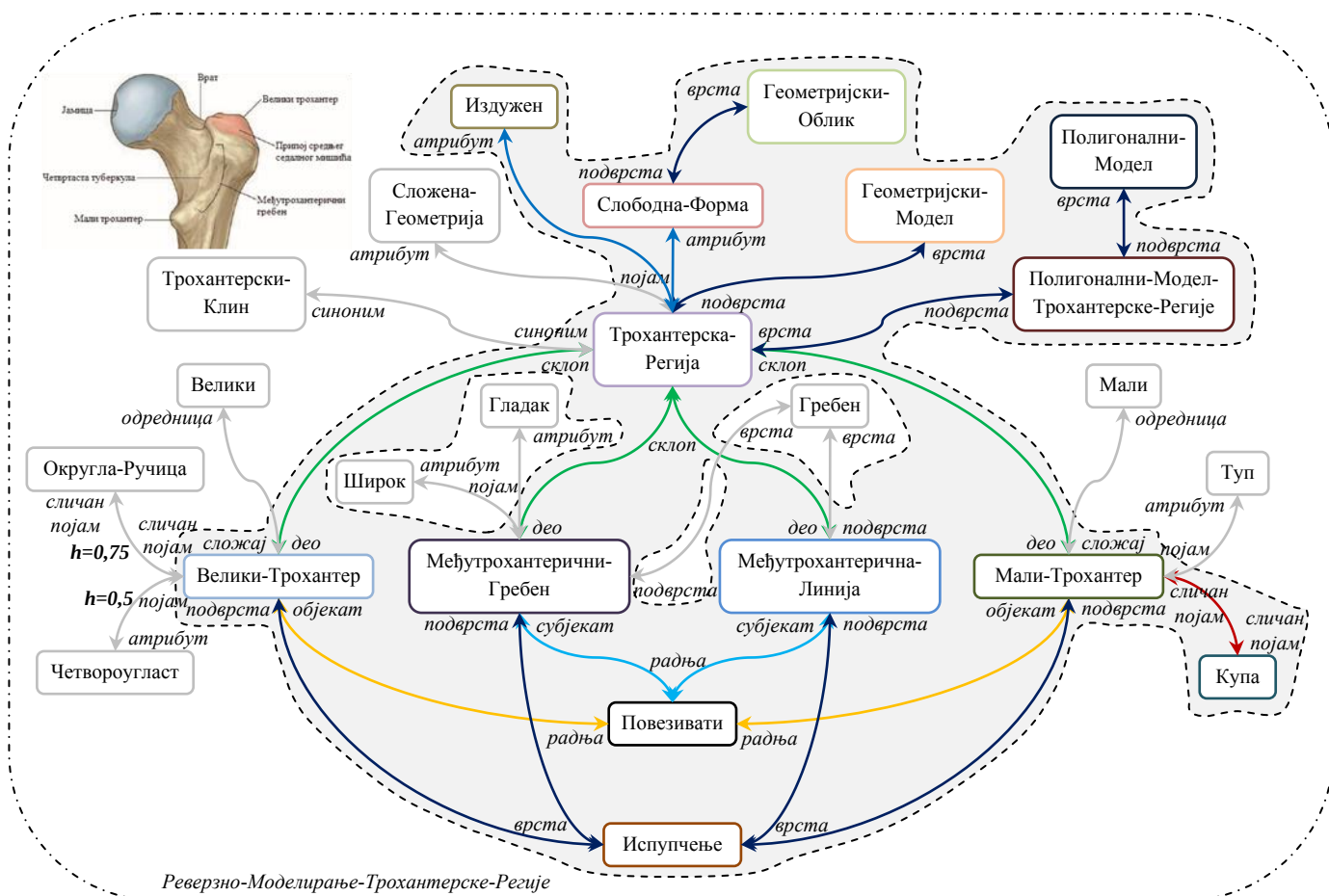


Слика 5-10 Категоризација појма Трохантерска-Регија од стране корисника извршена након прегледања резултата утврђивања тополошке аналогије између улазног сплета асоцијација и остатка семантичке мреже АСМ-а

Према Стојковићу и сарадницима (Stojkovic et al., 2012) анализа геометријског модела бутне кости показује да је трохантерска регија засебна морфолошка јединица горњег краја бутне кости и да су велики и мали трохантер гранични делови морфолошке јединице

коштане структуре облика клина која је лоцирана између врата и тела бутне кости (аутори су овај облик назвали *трохантерски клин*).

Даљим прегледањем препознатих тополошки аналогних сплетова корисник уочава сплет асоцијација који је део контекста Геометријско-Моделирање-Оплате-Трупа-Брода (слика 5-11). Уз помоћ овог сплета су описане семантичке одлике геометрије оплате трупа брода. Семантичка блискост овог сплета асоцијација се може проценити на основу следећих података: број заједничких појмова: **6** (Слободна-Форма, Геометријски-Облик, Геометријски-Модел, Полигонални-Модел, Повезивати, Испупчење), број семантички блиских појмова: **3** (Издужен – Дугуљаст, Велики-Трохантер – Оплата-Крме, Купа – Клин), назив врсте топологије: **склоп**, број асоцијација: **19**, број појмова: **14**. На основу ових података се може закључити да је сплет асоцијација уз помоћ кога су описане семантичке одлике геометрије оплате трупа брода семантички ближи улазном сплету од сплета асоцијација уз помоћ кога су описане семантичке одлике геометрије четворостране зарубљене пирамиде. Додатно се у случају оплате трупа брода може видети да су уз помоћ сплета асоцијација описане семантичке одлике геометрије једног објекта *слободне форме*. Занимљиво запажање у овом случају је и то што је поступак утврђивање тополошки аналогних сплетова и контекста омогућио препознавање тополошке аналогije између сплетова асоцијација уз помоћ којих су описане семантичке одлике геометрије објеката (трохантерске регије и оплате трупа брода) који нису у великој мери семантички блиски. Наиме, семантичка блискост ових објеката се огледа у томе да су оба објекта објекти слободне форме и да имају сличне семантичке одлике геометрије, док су са друге стране у питању објекти који припадају доменима реверзног моделирања хуманих костију и геометријског моделирања (пројектовања) бродова. Према Стојковићу и сарадницима (Stojkovic et al., 2012) претходно поменута коштана структура облика клина представља оквир за комплексан облик који личи на кану или неку врсту брода (аутори су овај облик назвали *трохантерски кану*).



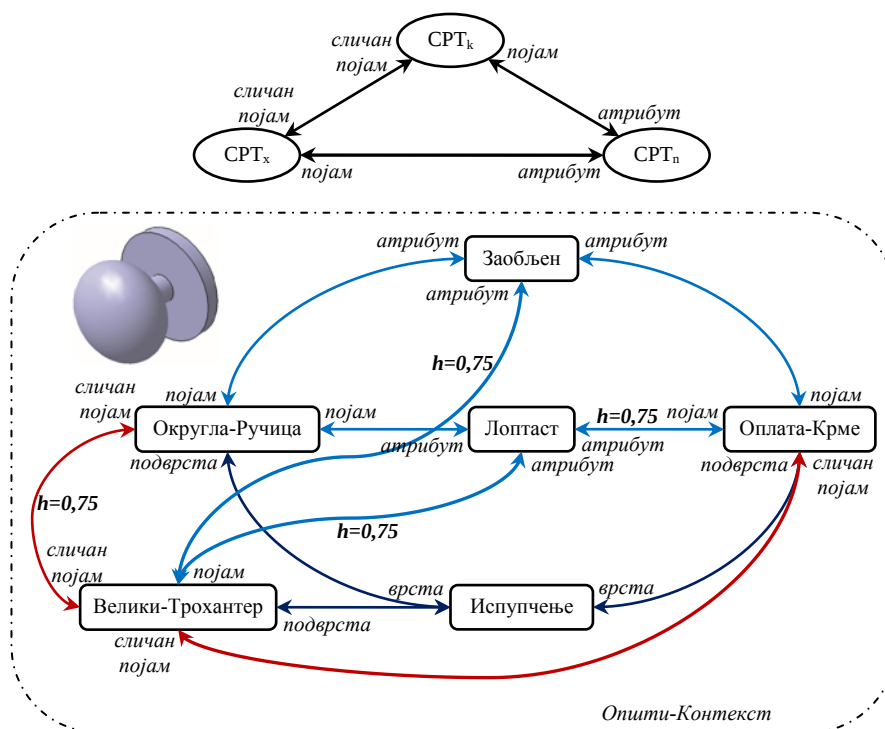
**Слика 5-11 Сплет асоцијација уз помоћ кога су описане семантичке одлике геометрије
оплате трупа брода је тополошки аналоган сплету асоцијација уз помоћ кога су описане
семантичке одлике геометрије трохантерске регије**

Један од података на основу којих се процењује семантичка блискост препознатог тополошки аналогног сплета улазном сплету је *број семантички блиских појмова* (појмови који су синоними или слични у општем контексту). У случају сплета асоцијација који је део контекста Геометријско-Моделирање-Оплате-Трупа-Брода, а који је препознат као тополошки аналоган улазном сплету, међу семантички блиским појмовима су и следећи појмови: Велики-Трохантер – Оплата-Крме, Купа – Клин. Семантичка блискост појмова се обично процењује на нивоу *општег контекста*. Наиме, приликом додавања нове асоцијације неком *посебном контексту* од стране корисника, иста бива придодата и *општем контексту*, али обично са другим вредностима параметара асоцијације (Стојковић, 2011).

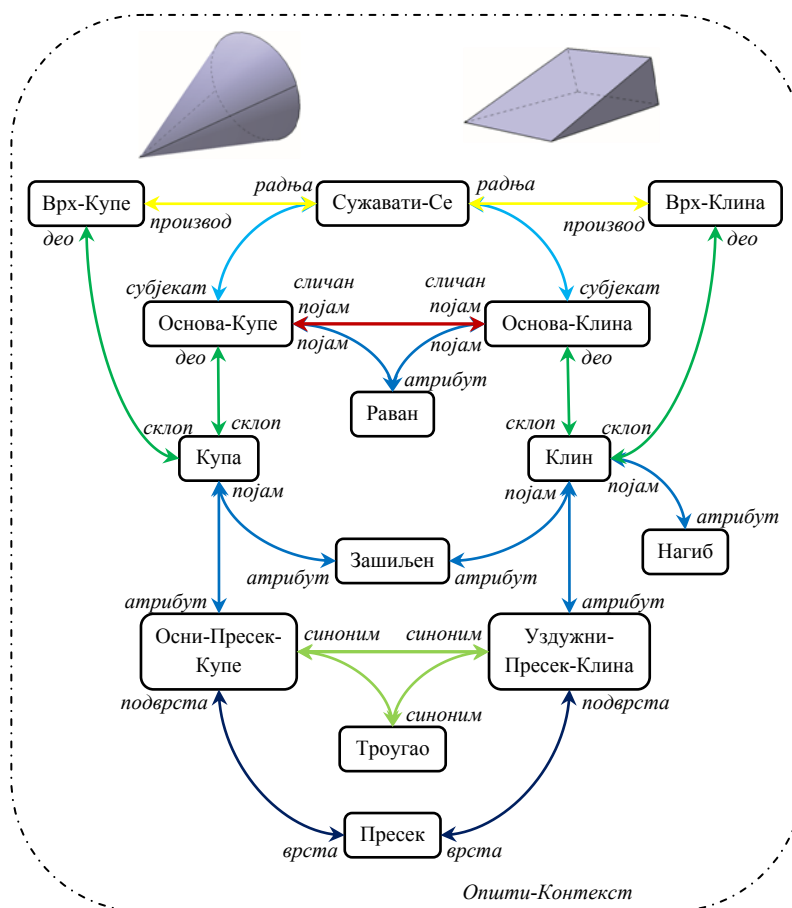
Обзиром да је појам Велики-Трохантер у контексту Реверзно-Моделирање-Трохантерске-Регије категоризован као сличан појам појму Округла-Ручица, иста асоцијација ће, са евентуално измењеним вредностима параметара асоцијације, бити додата општем контексту (слика 5-12 (доле)). Исто важи и за асоцијацију класификационог (хијерархијског) типа између појмова Велики-Трохантер и Испупчење (слика 5-12 (доле)). Са друге стране три асоцијације у којима учествује појам Оплата-Крме у контексту Геометријско-Моделирање-Оплате-Трупа-Брода такође постоје, са евентуално измењеним вредностима параметара асоцијације, у општем контексту (слика 5-12 (доле)).

Један од најчешћих случајева CASE алгоритма, намењеног за унапред предвиђене елементарне (просте) врсте сплетова, који се састоје од једног пара асоцијација, јесте случај где је једна асоцијација типа *сличности* (друга, наравно, није тог типа) (Стојковић, 2011). У том случају ACM ствара асоцијацију између неповезаних појмова истог типа каква је и асоцијација у датом сплету која није типа *сличности* (слика 5-12 (горе)). Овај CASE алгоритам омогућава креирање асоцијација атрибутског типа између појма Велики-Трохантер и појмова Заобљен и Лоптаст (слика 5-12 (доле)).

Након креирања асоцијација применом CASE алгоритма ACM утврђује да појмови Велики-Трохантер и Оплата-Крме имају асоцијације најмање истог типа ка везним појмовима (Заобљен, Лоптаст и Испупчење), што резултује креирањем асоцијације типа *сличности* између појмова Велики-Трохантер и Оплата-Крме (слика 5-12 (доле)). Ова асоцијација је креирана поступком утврђивања сличности асоцијација, у чијем језгру је поступак утврђивања параметара асоцијација (погледати прилог „8.1.2.2 Утврђивање параметара асоцијација (УПА)“ и (Стојковић, 2011)).

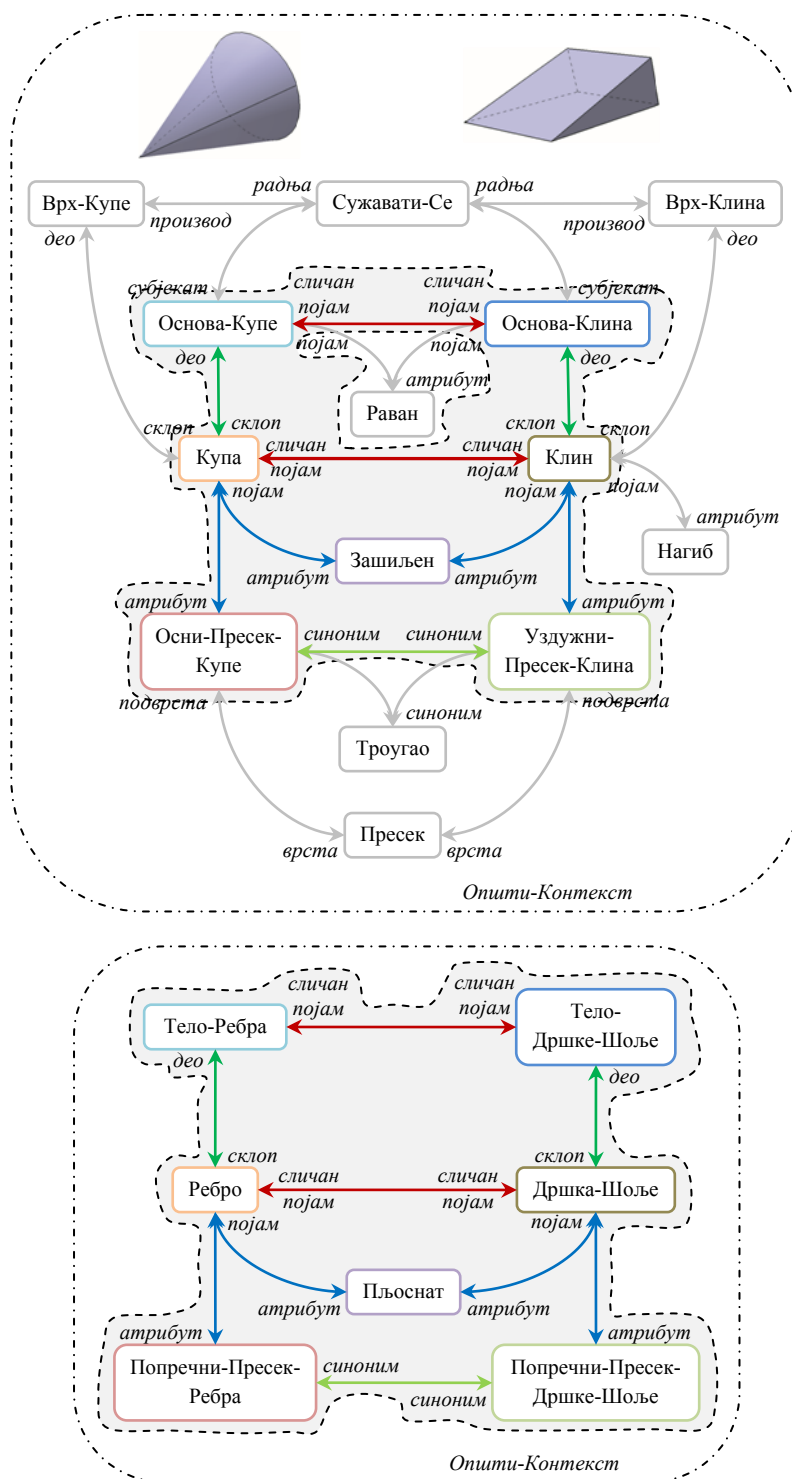


У општем контексту се налазе и сплетови асоцијација уз помоћ којих су описане семантичке одлике геометрије купе и клина (слика 5-13). Након анализе асоцијација ова два сплета АСМ утврђује да појмови Основа-Купе и Основа-Клина имају асоцијације најмање истог типа ка везним појмовима (Сужавати-Се и Раван), што резултује креирањем асоцијације типа *сличности* између појмова Основа-Купе и Основа-Клина (слика 5-13). АСМ такође утврђује потпуно поклапање свих параметара свих парова асоцијација којима су повезани појмови Осни-Пресек-Купе и Уздужни-Пресек-Клина, што резултује креирањем *синонимске* асоцијације између појмова Осни-Пресек-Купе и Уздужни-Пресек-Клина (слика 5-13).



Слика 5-13 Мапа асоцијација у процесу утврђивања сличности (семантичке блискости) појмова Купа и Клин

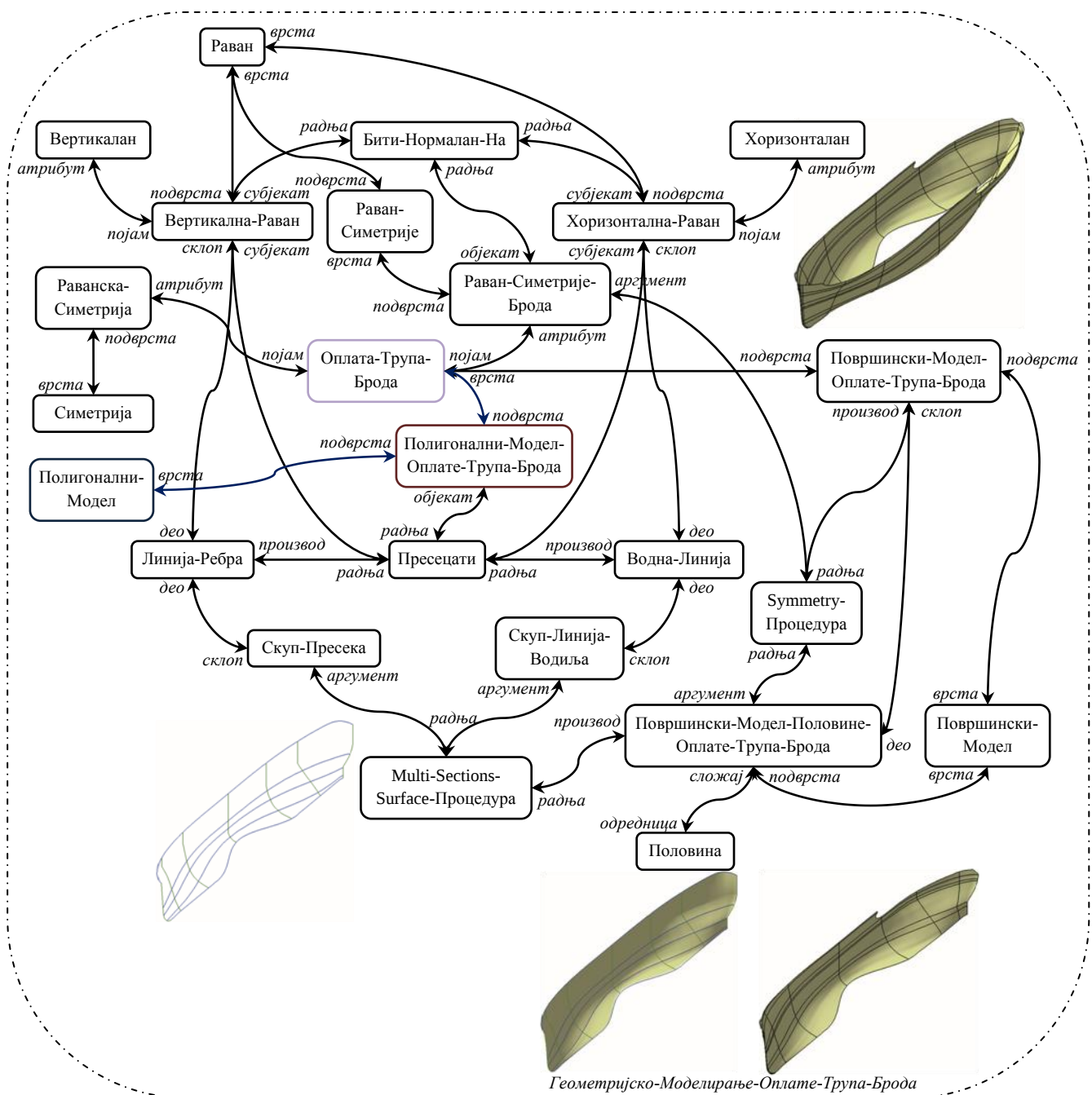
Сплет асоцијација у којима учествују појмови Купа и Клин (слика 5-14 (горе)) је тополошки аналоган једном од раније похрањених сплетова асоцијација (слика 5-14 (доле)). У том случају ће АСМ креирати асоцијацију типа *сличности* између појмова Купа и Клин, према узору на асоцијацију истог типа између њима тополошки кореспондентних појмова у тополошки аналогном сплету (слика 5-14 (горе)). Додатно анализа асоцијација у сплету на слици 5-14 (горе) показује да купа и клин имају делове који су слични, затим да имају пресеке који су синоними, као и да су зашиљени (имају асоцијације најмање истог типа ка појму Зашиљен).



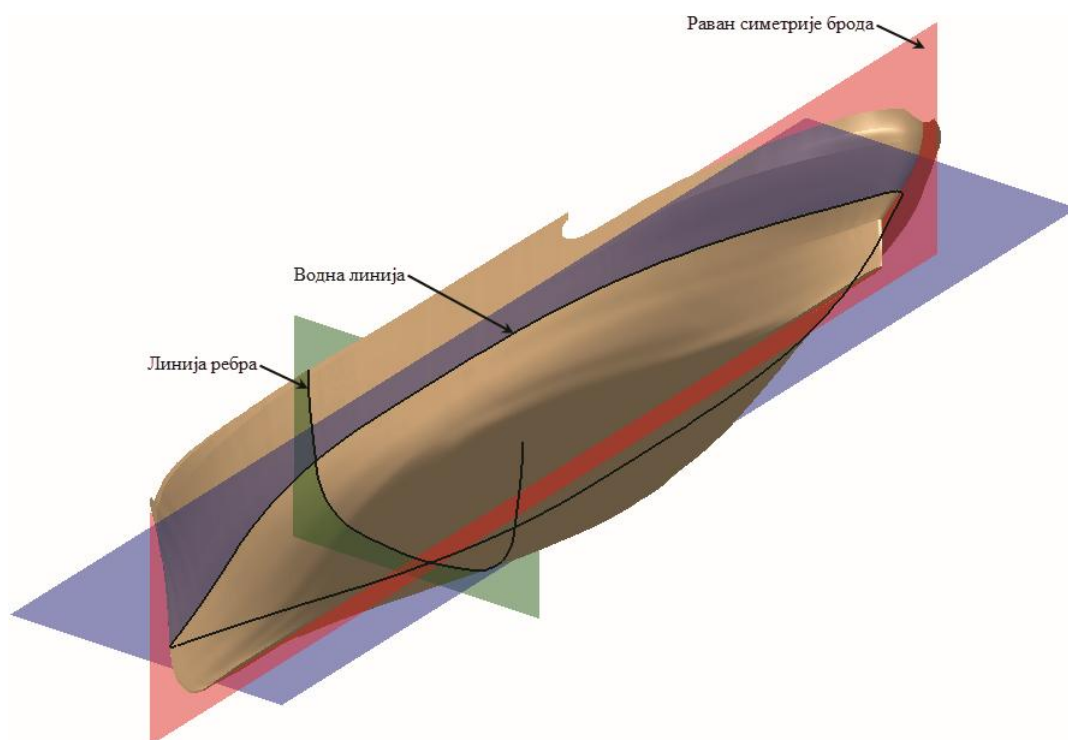
Слика 5-14 Креирање асоцијације типа *сличности* између појмова Купа и Клин (горе) након препознавања тополошке аналогije између сплета асоцијација у којима учествују ови појмови и једног од раније похрањених сплетова асоцијација (доле)

Контекст Геометријско-Моделирање-Оплате-Трупа-Брода, поред сплета асоцијација који је препознат као тополошки аналоган улазном сплету асоцијација (слика 5-11), садржи и сплет асоцијација уз помоћ кога је описан сам поступак геометријског моделирања оплате трупа брода (слика 5-15). Оплата трупа брода је равански симетрична структура. *Линије ребара* и *водне линије* су кључне криве линије приликом геометријског моделирања оплате

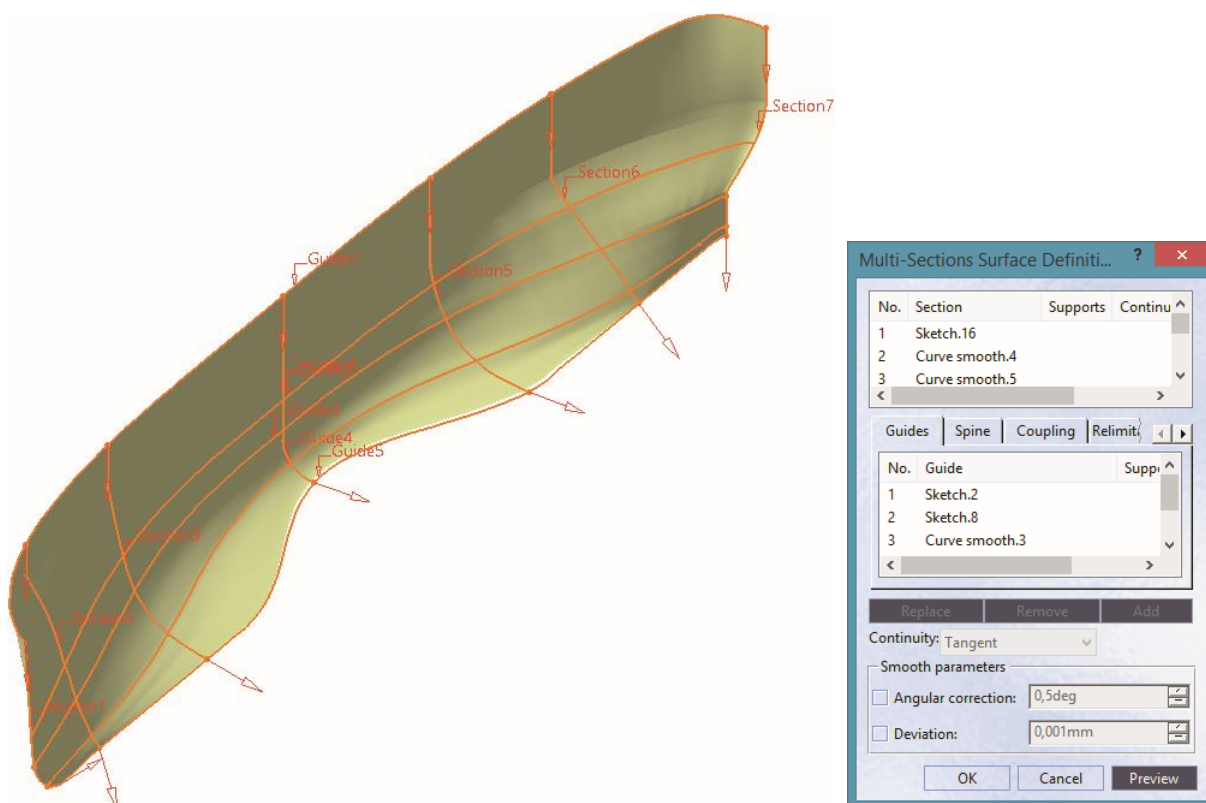
трупа брода (слика 5-16). Линије ребара се добијају пресецањем оплате трупа брода вертикалним равнима нормалним на раван симетрије брода (слика 5-16). Водне линије се добијају пресецањем оплате трупа брода хоризонталним равнима нормалним на раван симетрије брода (слика 5-16). Обзиром да је оплата трупа брода равански симетрична структура, основна идеја приликом геометријског моделирања исте јесте да се уз помоћ *Multi Sections Surface* геометријског техничког елемента (овде је у питању прављење сложене површине извлачењем кроз различите пресеке) креира површински модел половине оплате трупа брода, а да се затим применом *Symmetry* операције (равански симетрично пресликавање) добије површински модел оплате трупа брода (слика 5-15). Приликом дефинисања *Multi Sections Surface* геометријског техничког елемента линије ребара се бирају као *пресеци* (*Sections*), а водне линије се бирају као *линије водиле* (*Guides*) (слика 5-17).



Слика 5-15 Сплет асоцијација уз помоћ кога је описан поступак геометријског моделирања оплате трупа брода



Слика 5-16 Карактеристичне равни и криве линије приликом геометријског моделирања оплате трупа брода



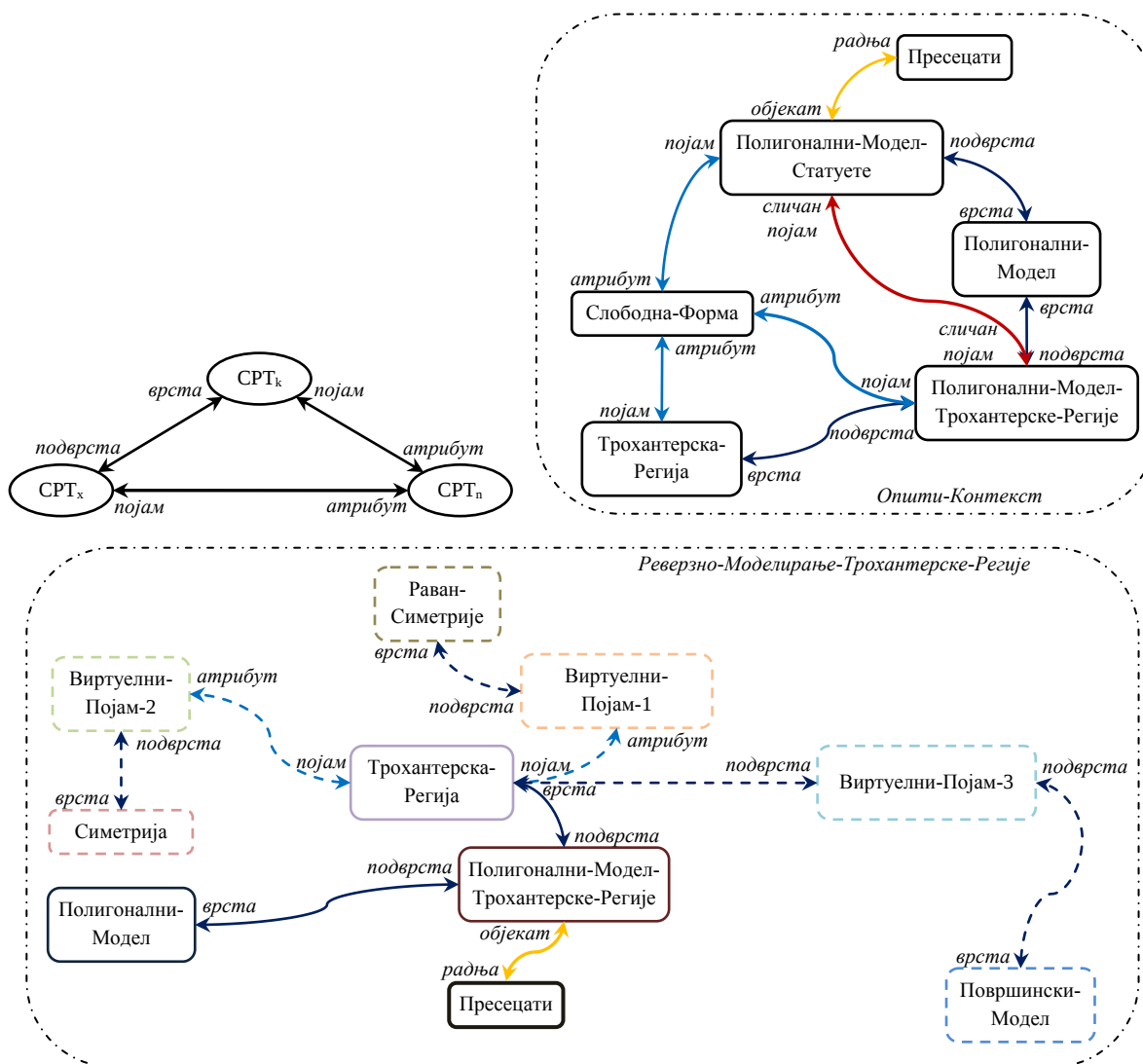
Слика 5-17 Параметри *Multi Sections Surface* геометријског техничког елемента уз помоћ кога се добија површински модел половине оплате трупа брода

АСМ ће сада доградити сплет асоцијација уз помоћ кога су описане семантичке одлике геометрије трохантерске регије (улазни сплет; слика 5-8) по узору на сплет асоцијација уз помоћ кога је описан поступак геометријског моделирања оплате трупа брода

(разлика између контекста Геометријско-Моделирање-Оплате-Трупа-Брода и *узорног сплета*; слика 5-15). У првом покушају се претражује семантичка мрежа АСМ-а у потрази за асоцијацијама типа *Објекат-Радња* које гради појам Полигонални-Модел-Трохантерске-Регије и у којима има улогу *објекта*, или асоцијацијама *атрибутског* типа које гради појам Трохантерска-Регија и у којима има улогу *појма*. Обзиром да нису пронађене такве асоцијације, прелази се на други покушај.

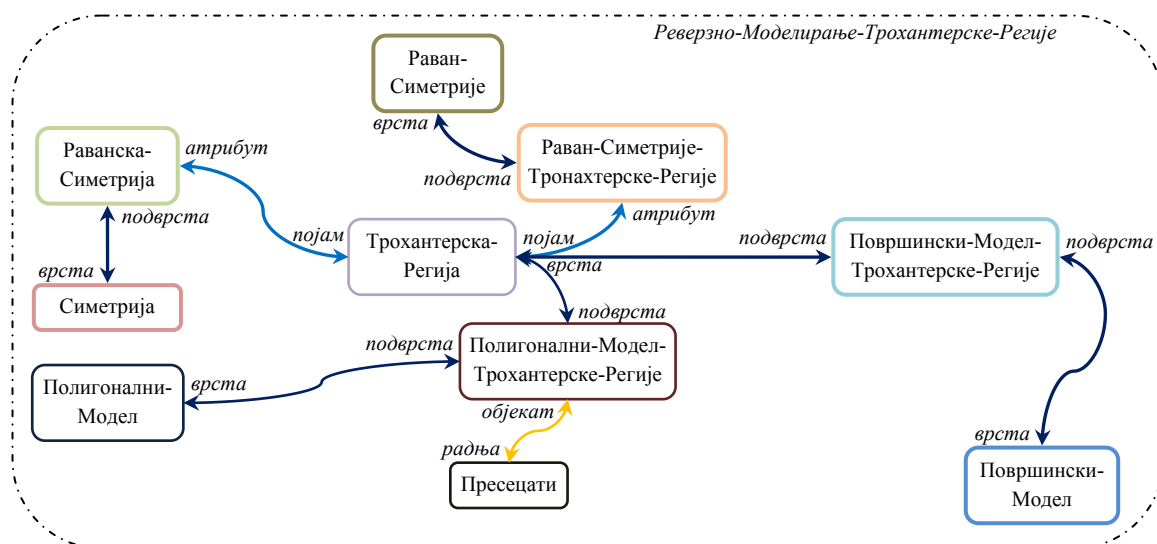
У другом покушају је пронађен појам Полигонални-Модел-Статуете који је сличан појму Полигонални-Модел-Трохантерске-Регије, а који гради асоцијацију типа *Објекат-Радња* у којој има улогу *објекта* (слика 5-18 (горе)). Приликом утврђивања сличности је прво на основу CASE алгоритма за случај где је једна асоцијација *класификациона (хијерархијска)* (а друга, наравно, није тог типа) (Стојковић, 2011), креирана од стране АСМ-а *атрибутска* асоцијација између појмова Полигонални-Модел-Трохантерске-Регије и Слободна-Форма (слика 5-18 (горе)). Након тога АСМ утврђује да појмови Полигонални-Модел-Трохантерске-Регије и Полигонални-Модел-Статуете имају асоцијације најмање истог типа ка везним појмовима (Полигонални-Модел и Слободна-Форма), што резултује креирањем асоцијације типа *сличности* између појмова Полигонални-Модел-Трохантерске-Регије и Полигонални-Модел-Статуете. Коначно, обзиром да појам Полигонални-Модел-Статуете гради асоцијацију типа *Објекат-Радња* у којој има улогу *објекта*, АСМ додаје асоцијацију типа *Објекат-Радња* између појмова Полигонални-Модел-Трохантерске-Регије и Пресецати (слика 5-18 (доле)).

Такође у другом покушају АСМ предлаже (преко виртуелних појмова) кориснику креирање: 1) појма који је атрибут геометријског модела трохантерске регије, а који је подврста равни симетрије, 2) појма који је атрибут геометријског модела трохантерске регије, а који је подврста симетрије и 3) појма који је подврста геометријског модела трохантерске регије, а који је подврста површинског модела (слика 5-18 (доле)).



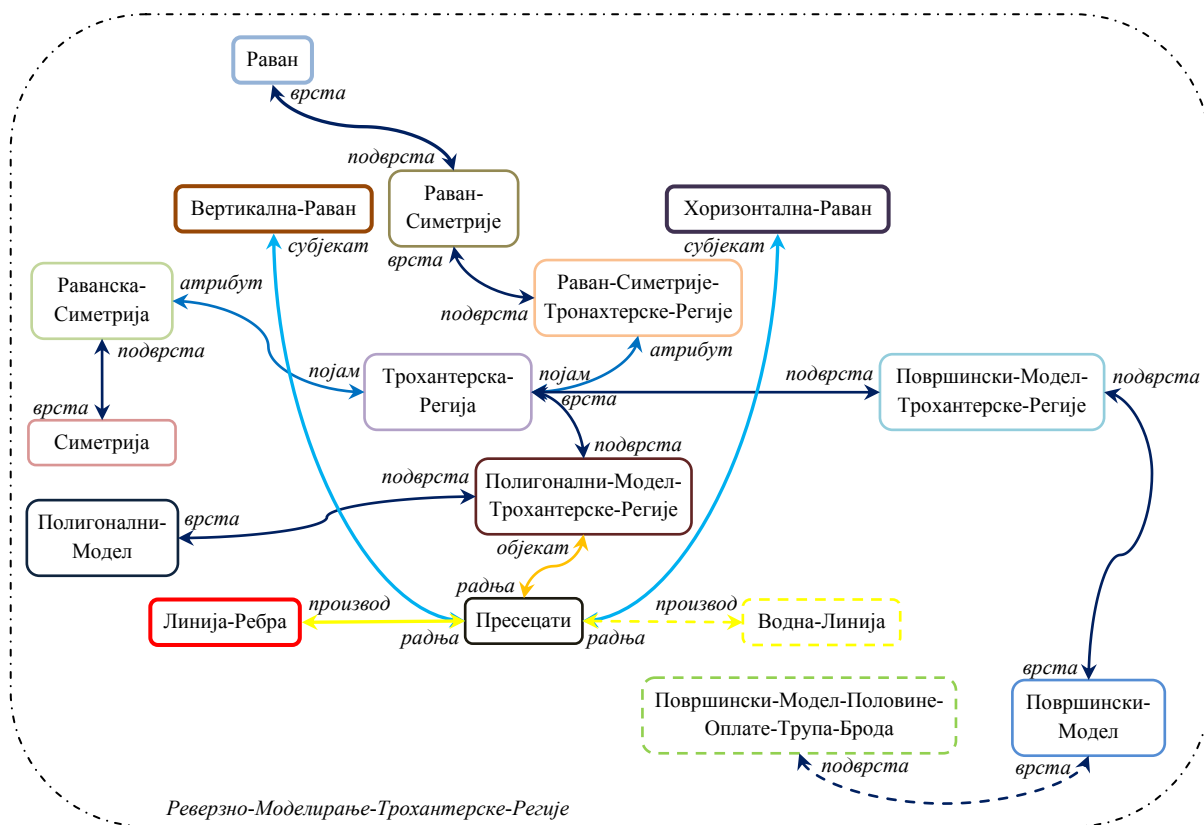
Слика 5-18 Прва итерација другог покушаја доградње сплета уз помоћ кога су описане семантичке одлике геометрије трохантерске регије

У наставку процеса доградње корисник именује виртуелне појмове (слика 5-19). На основу додатих асоцијација се може видети да је геометријски модел трохантерске регије равански симетричан, као и да се као подврста геометријског модела трохантерске регије појављује површински модел трохантерске регије.



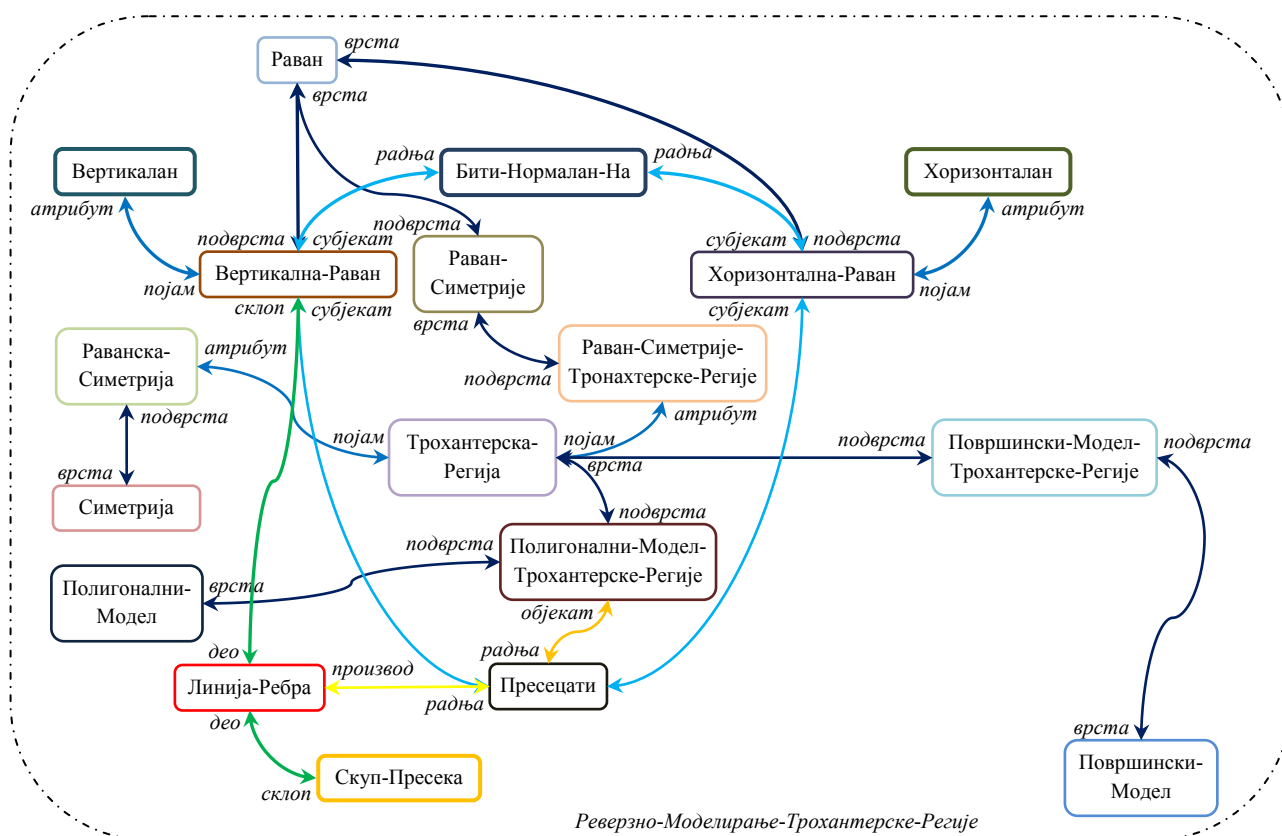
Слика 5-19 Именовање виртуелних појмова у оквиру прве итерације другог покушаја доградње

Након једне итерације другог покушаја се спроводи комплетан први покушај (погледати поглавље „4.2.1 Доградња тополошки аналогних сплетова“). Сада дограђен улазни сплет садржи и појмове који су идентични појмовима узорног сплета (Раван-Симетрије, Пресецати, Површински-Модел). У првој итерацији првог покушаја АСМ предлаже да се улазни сплет догради асоцијацијама које ови појмови граде у узорном сплету (слика 5-20). Асоцијацију класификационог (хијерархијског) типа између појмова Површински-Модел и Површински-Модел-Половине-Оплате-Трупа-Брода корисник одбацује, као и асоцијацију типа Радња-Производ између појмова Пресецати и Водна-Линија. Остале понуђене асоцијација корисник задржава. На основу додатих асоцијација се може видети да вертикалне и хоризонталне равни пресецају полигонални модел трохантерске регије и да се као производ пресецања добијају линије ребара.



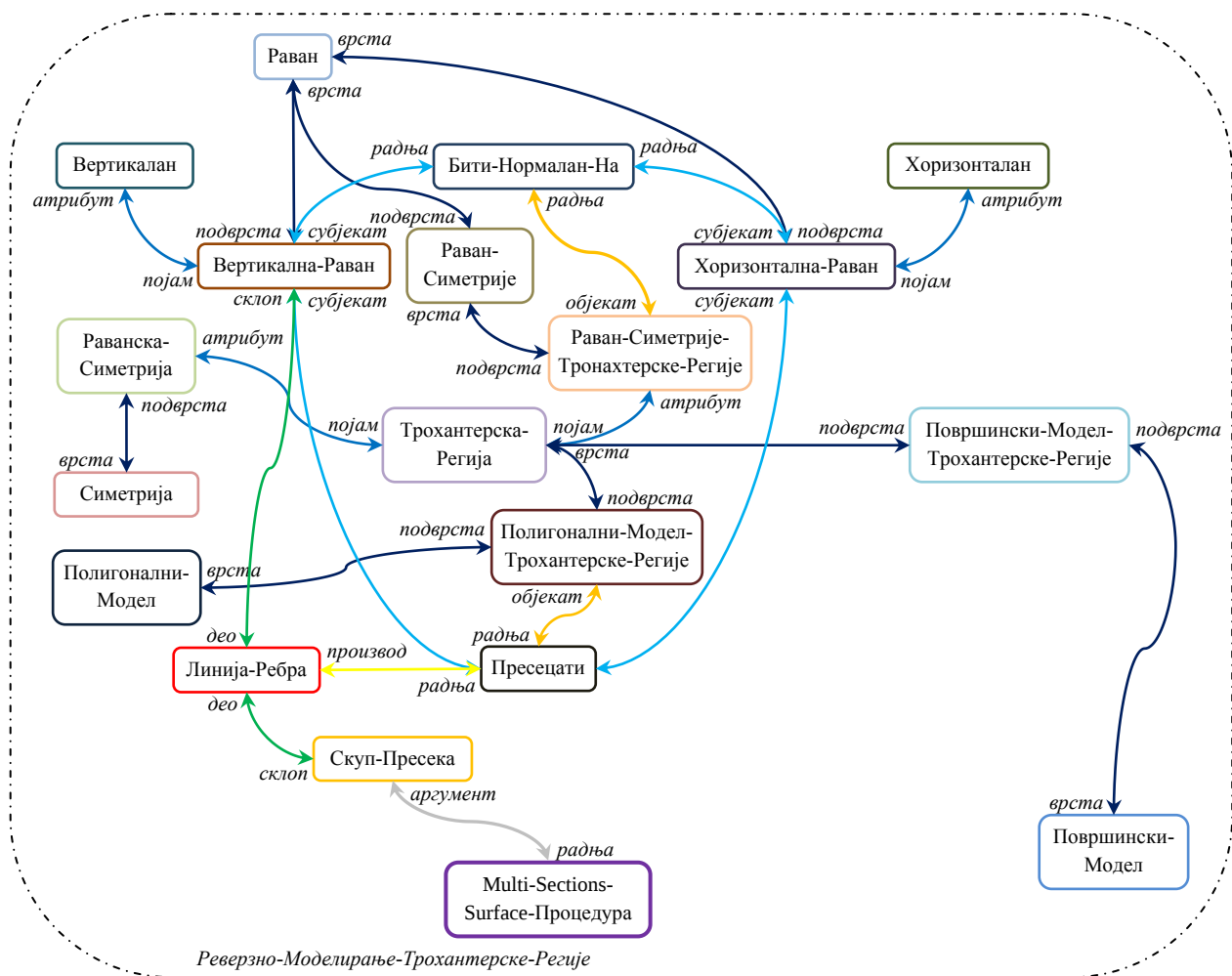
Слика 5-20 Прва итерација првог покушаја – корисник одбацује две предложене асоцијације, а остале задржава

У другој итерацији првог покушаја АСМ поново детектује семантички блиске тополошки кореспондентне појмове (Раван, Вертикална-Раван, Хоризонтална-Раван, Линеја-Ребра) и предлаже да се улазни сплет догради асоцијацијама које ови појмови граде у узорном сплету (слика 5-21). Корисник прихвата све предложене асоцијације. На основу додатих асоцијација се може видети да се пресецањем полигоналног модела трохантерске регије вертикалним равнима добијају линије ребара, које пак припадају скупу пресека.

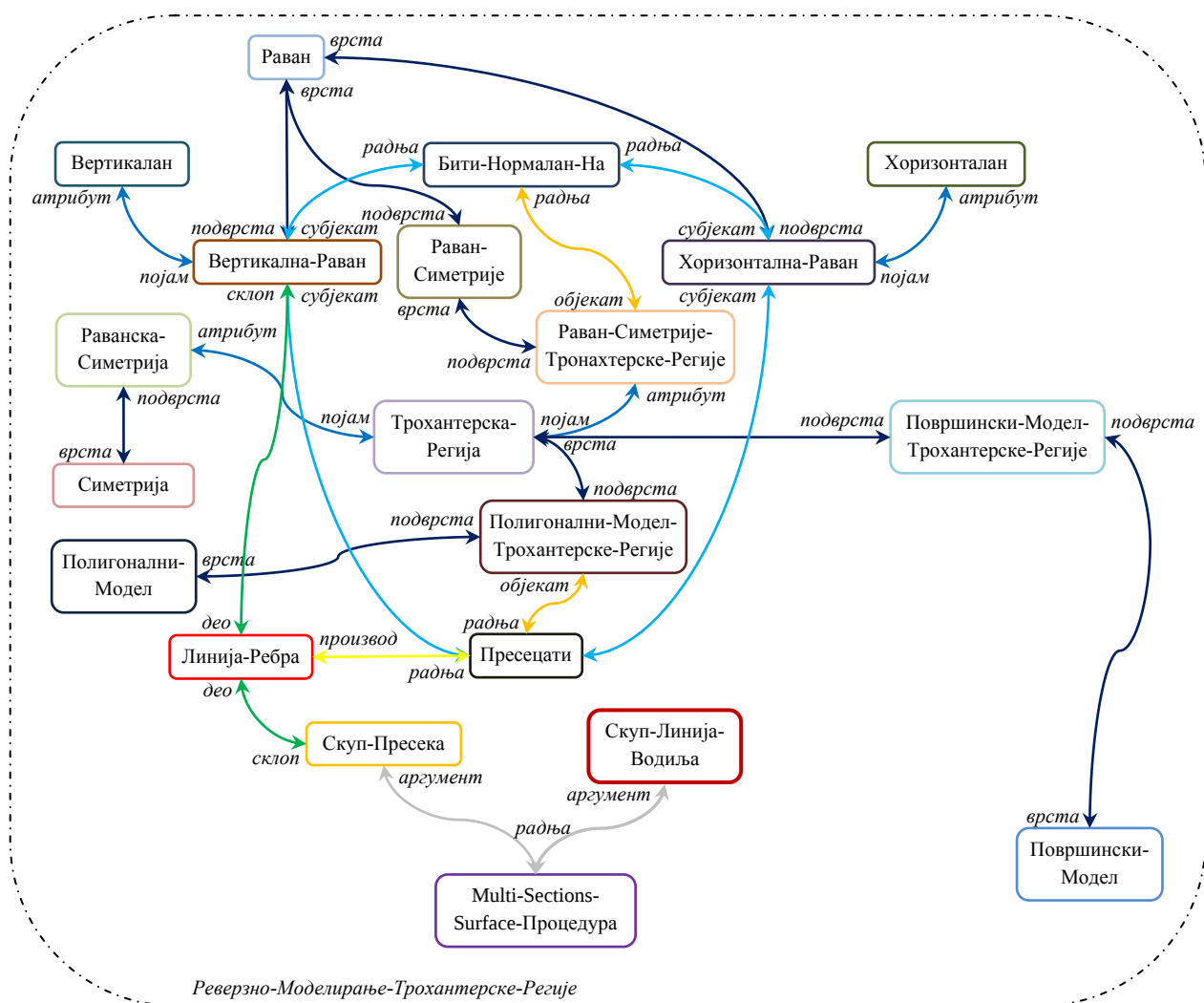


Слика 5-21 Друга итерација првог покушаја – корисник прихвата све понуђене асоцијације

У трећој (слика 5-22) и четвртој (слика 5-23) итерацији првог покушаја АСМ на основу детектованих семантички блиских тополошки кореспондентних појмова предлаже доградњу улазног сплета асоцијацијама на основу којих се може видети да је скуп пресека (*Sections*) аргумент *Multi Sections Surface* процедуре (параметар *Multi Sections Surface* геометријског техничког елемента) (слика 5-22), да су вертикална и хоризонтална раван нормалне на раван симетрије брода (слика 5-22), као и да је скуп линија водиља (*Guides*) аргумент *Multi Sections Surface* процедуре (слика 5-23).

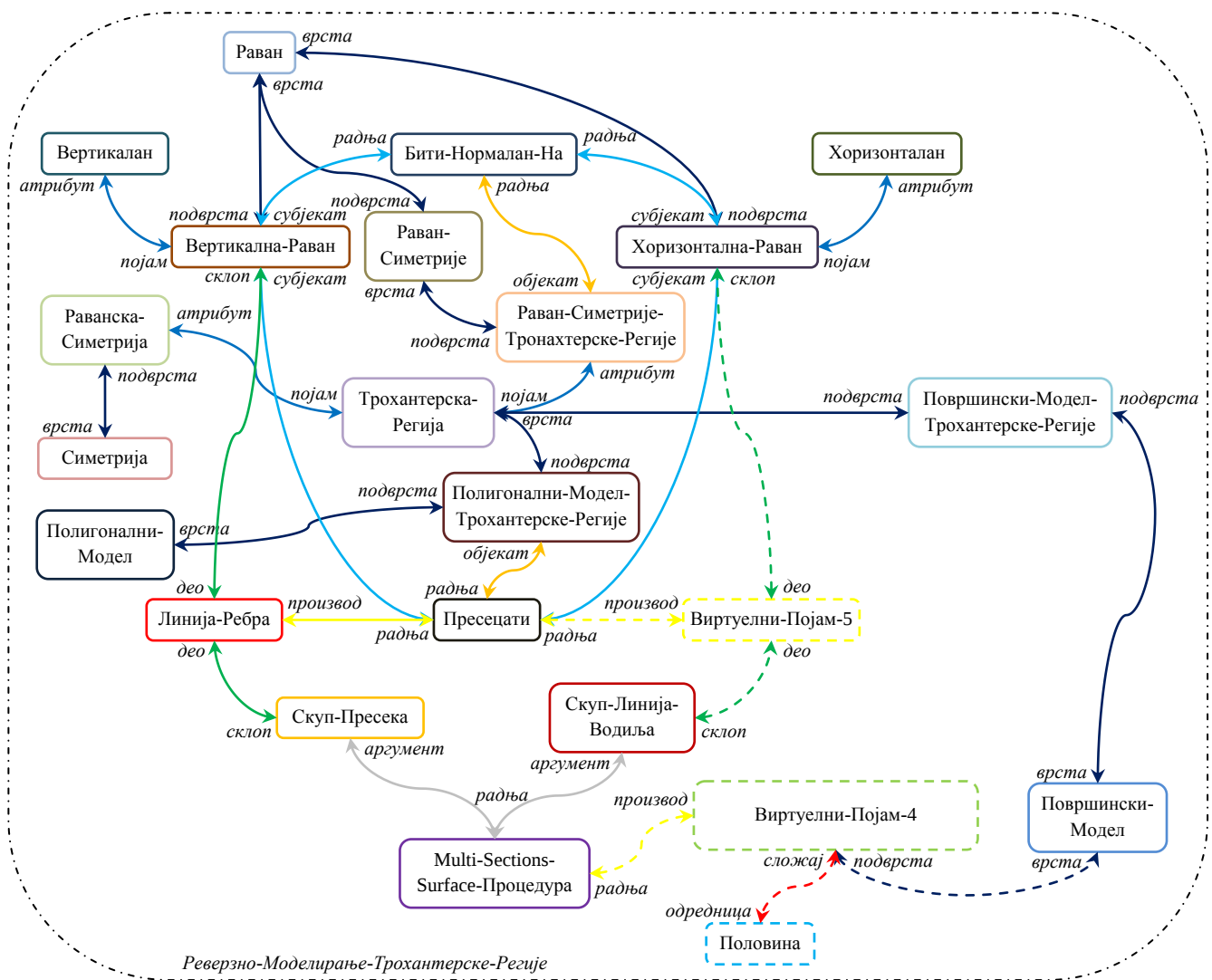


Слика 5-22 Трећа итерација првог покушаја



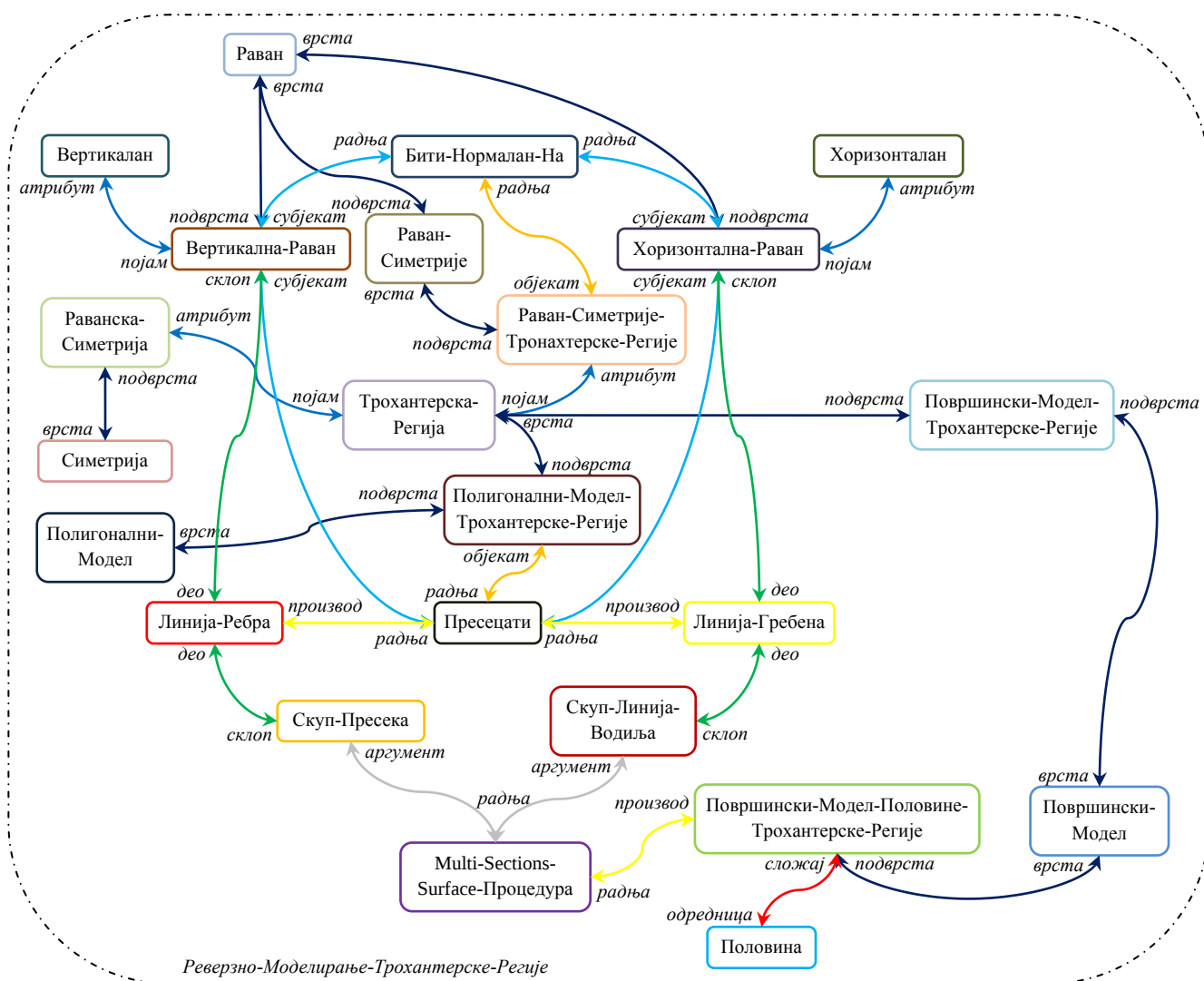
Слика 5-23 Четврта итерација првог покушаја

Пошто није више могуће надограђивати улазни сплет у првом покушају АСМ прелази на другу итерацију другог покушаја. У овој итерацији АСМ предлаже (преко виртуелног појма) кориснику креирање појма који је производ *Multi Sections Surface* процедуре, који је подврста површинског модела и чија је одредница „половина“, као и појма који је производ пресецања полигоналног модела трохантерске регије хоризонталним равнима и који припада скупу линија водиља (слика 5-24).



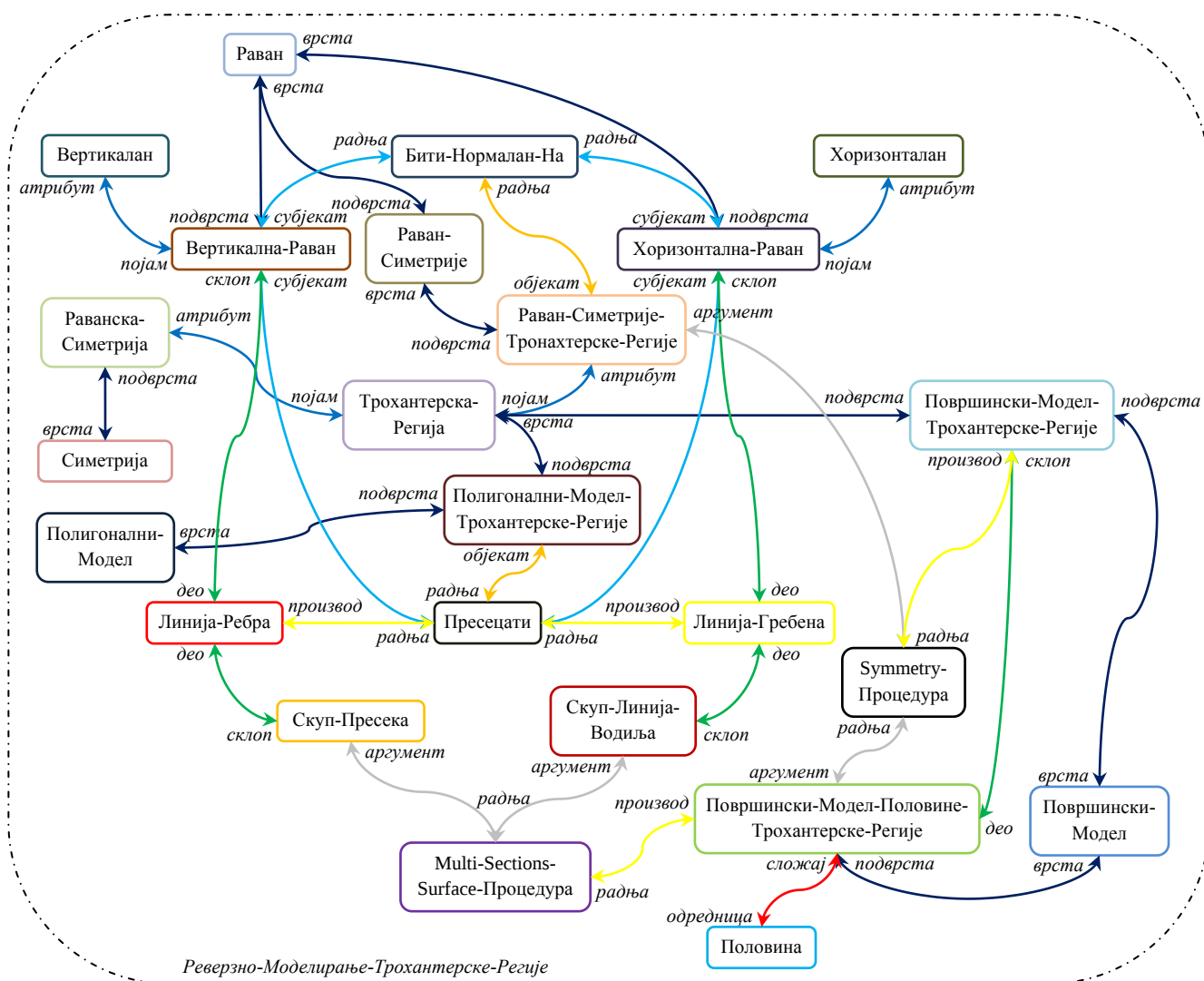
Слика 5-24 Друга итерација другог покушаја

У наставку процеса доградње корисник именује виртуелне појамове (слика 5-25). На основу додатих асоцијација се може видети да је површински модел половине трохантерске регије производ *Multi Sections Surface* процедуре, као и да се пресецањем полигоналног модела трохантерске регије хоризонталним равнима добијају линије гребена које припадају скупу линија водиља.



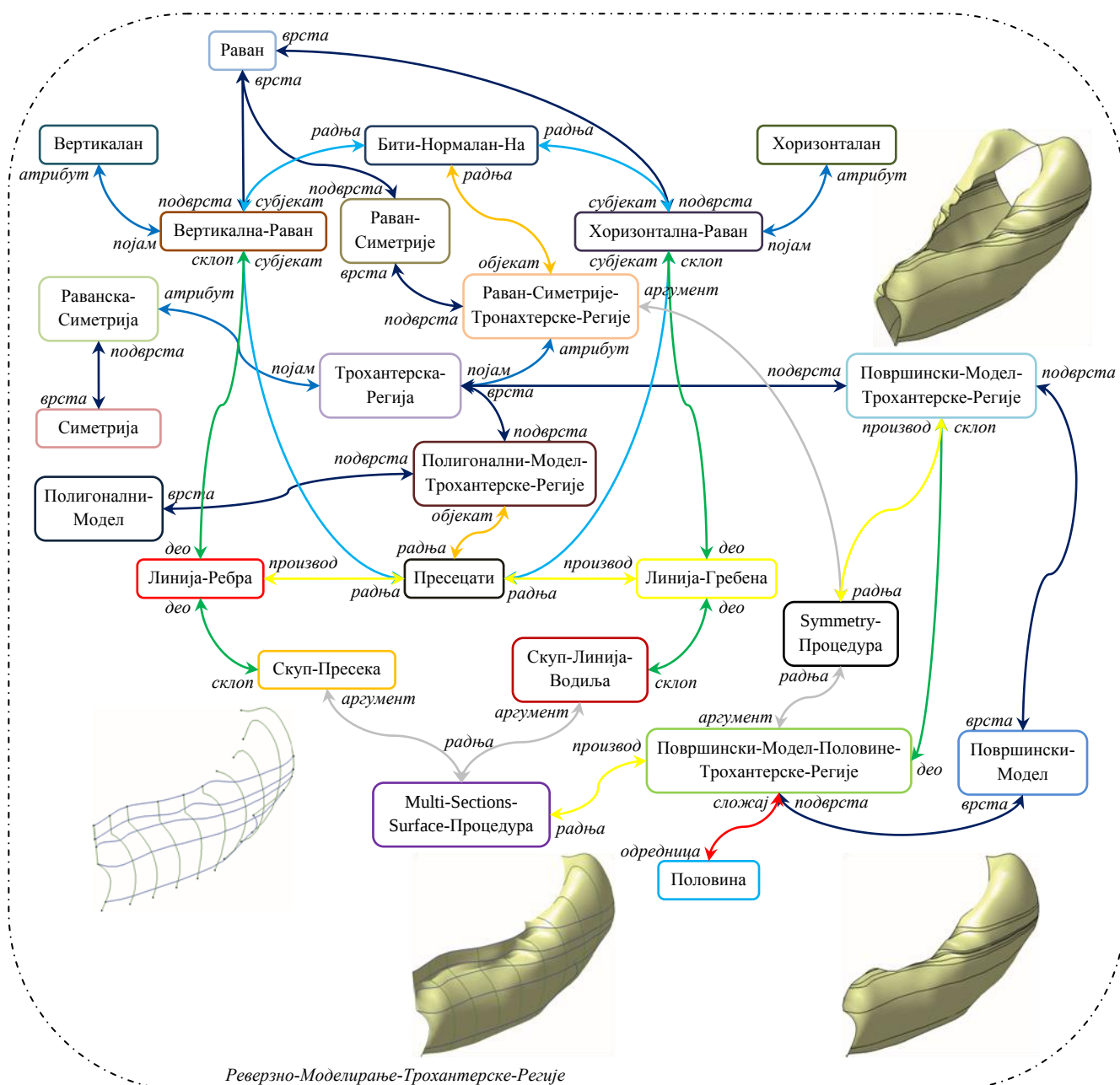
Слика 5-25 Именовање виртуелних појмова у оквиру друге итерације другог покушаја доградње

Обзиром да првим покушајем није могуће доградити улазни сплет, поново се прелази на други покушај доградње. У трећој итерацији АСМ предлаже (преко виртуелног појма) кориснику креирање појма који представља радњу, чији су аргументи раван симетрије трохантерске регије и површински модел половине трохантерске регије, а чији је производ површински модел трохантерске регије (слика 5-26). У овом покушају АСМ такође додаје и асоцијацију типа *припадности* између појмова Површински-Модел-Половине-Трохантерске-Регије и Површински-Модел-Трохантерске-Регије (слика 5-26).

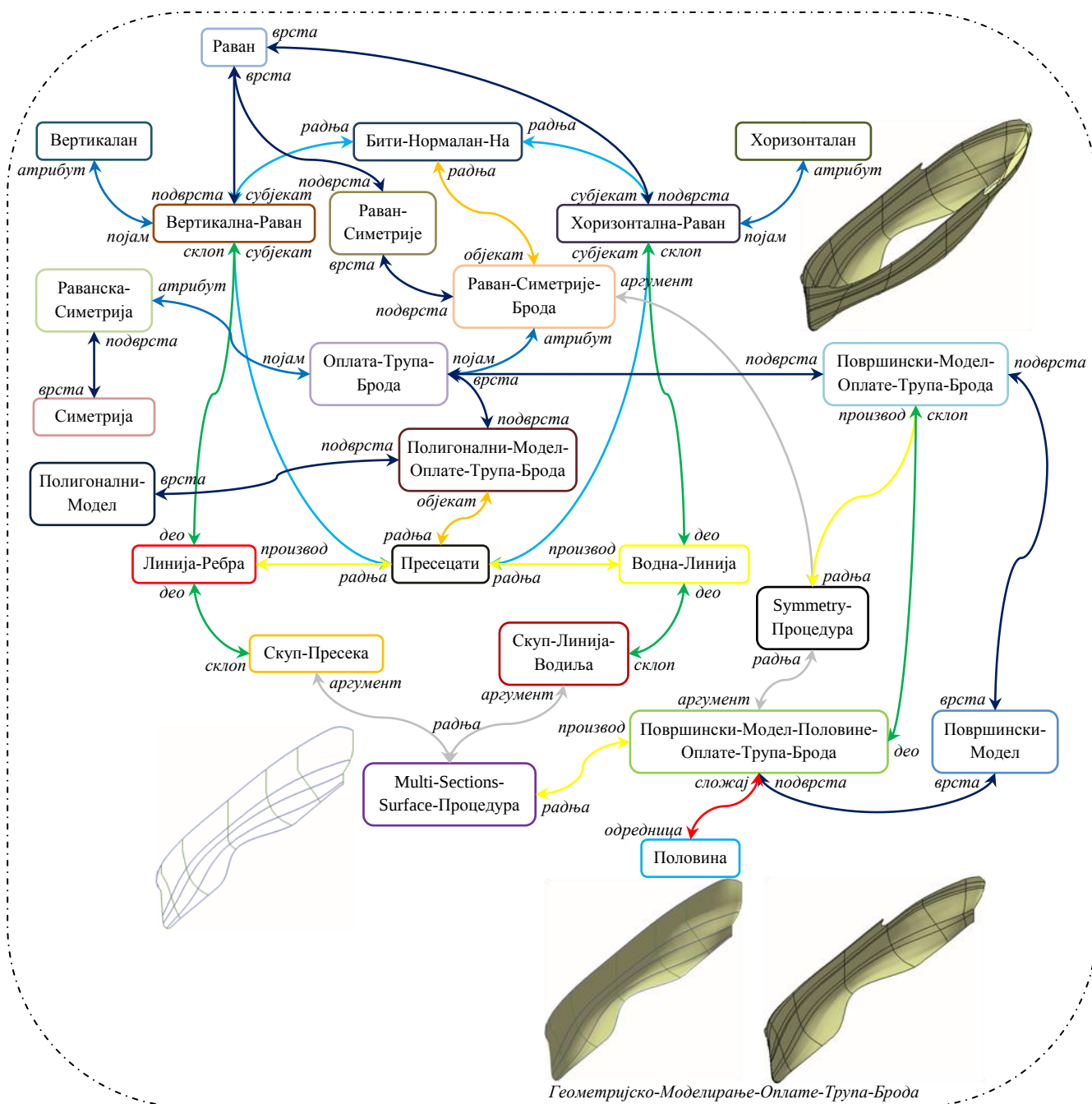


Слика 5-27 Именовање виртуелних појмова у оквиру треће итерације другог покушаја доградње – крај поступка доградње улазног сплета асоцијација

На сликама 5-28 и 5-29 су приказани тополошки аналогни сплетови – делови контекста Реверзно-Моделирање-Трохантерске-Регије и Геометријско-Моделирање-Оплате-Трупа-Брода.

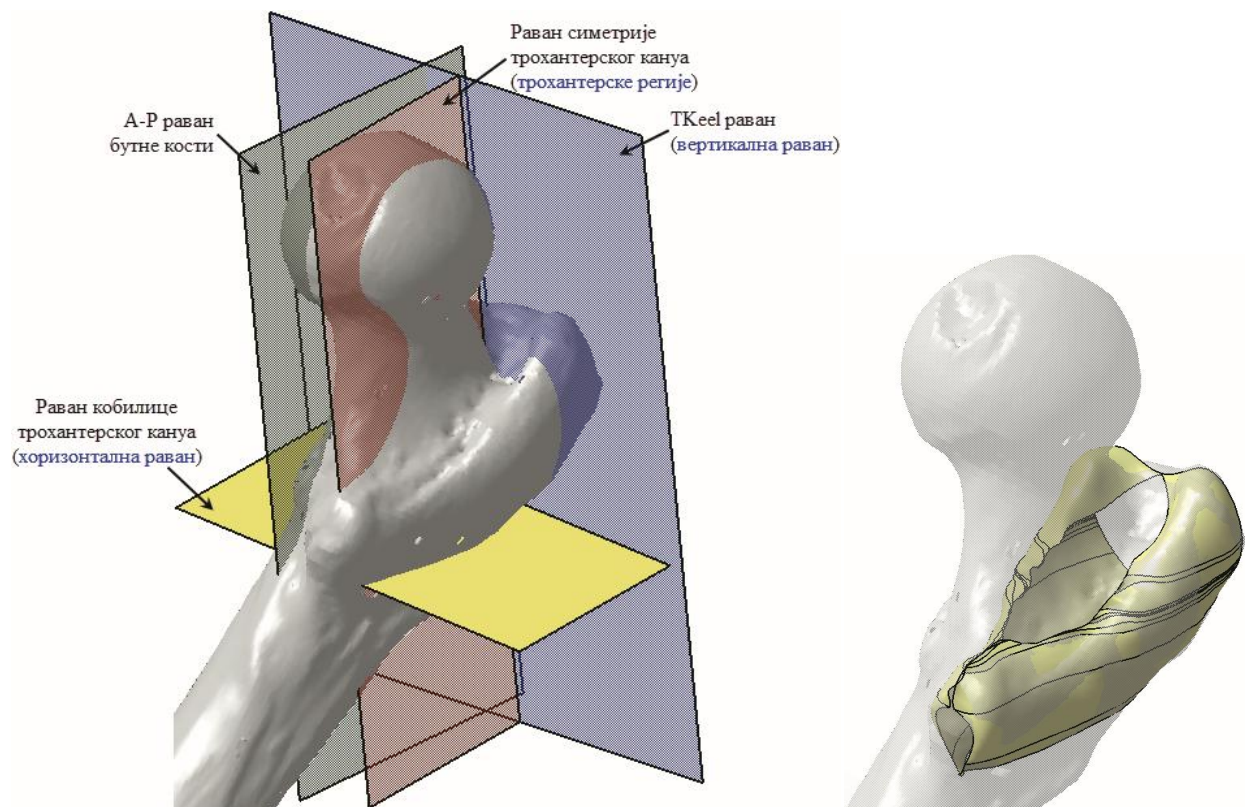


Слика 5-28 Сплет асоцијација уз помоћ кога је описан поступак реверзног моделирања трохантерске регије



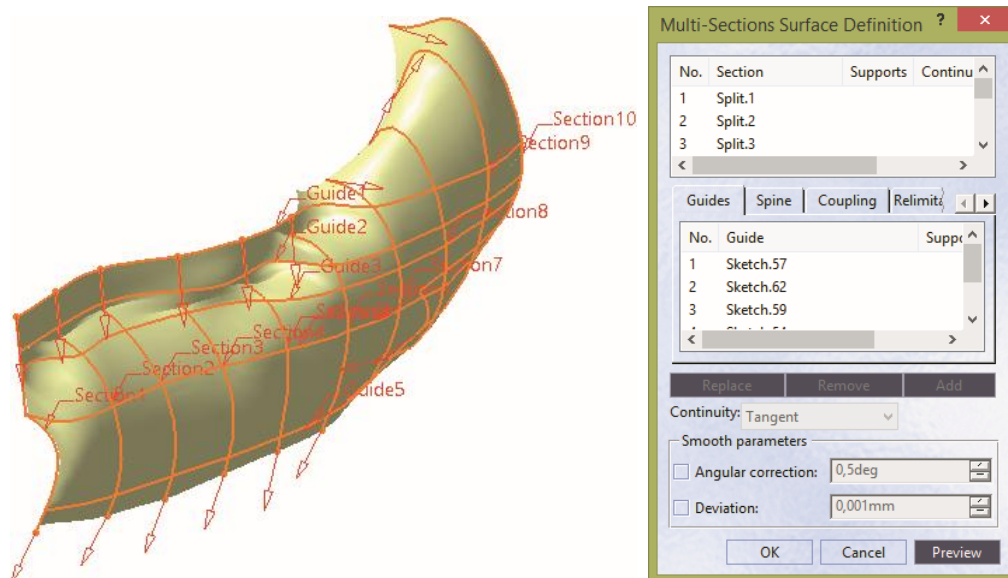
Слика 5-29 Сплет асоцијација уз помоћ кога је описан поступак геометријског моделирања оплате трупа брода

На слици 5-30 (лево) су приказане карактеристичне равни приликом реверзног моделирања трохантерске регије, а на слици 5-30 (десно) површински модел трохантерске регије у оквиру полигоналног модела горњег краја бутне кости.



Слика 5-30 Карактеристичне равни приликом реверзног моделирања трохантерске регије (лево). Површински модел трохантерске регије у оквиру полигоналног модела горњег окрајка бутне кости (десно).

На слици 5-31 су приказани параметри *Multi Sections Surface* геометријског техничког елемента уз помоћ кога се добија површински модел половине трохантерске регије.

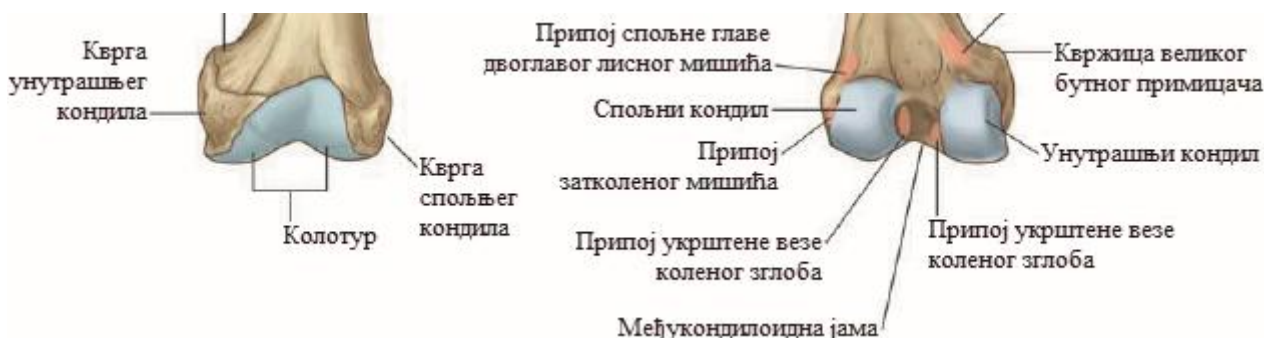


Слика 5-31 Параметри *Multi Sections Surface* геометријског техничког елемента уз помоћ кога се добија површински модел половине трохантерске регије

5.4 Доњи крајак бутне кости

Доњи крајак бутне кости, облика зарубљене четвороугаоне пирамиде, састоји се из два велика испупчења звана *спољни кондил* и *унутрашњи кондил*. Може се уочити сличност кондила бутне кости са зглобовима прва два прста шаке човека (мисли се на зглобове са костима доручја) (AnatomyExpert). Оба кондила су напред међусобно спојени *колотуром* бутне кости (или *глаголицом за чашицу*), а раздвојени позади и доле један од другог дубоком рапавом јамом, званом *међуконоидна јам* (Šljivić, 1973) (слика 5-32). Кондили се са предње стране сливају у тело бутне кости. Колотур бутне кости се зглобљава са чашицом. Исти је трансверзално удубљен, а вертикално испупчен. Остатак доње зглобне површине бутне кости, преко кога се иста зглобљава са голењачом, је са задње стране подељен међуконоидном јамом, а са предње стране спојен са колотуром бутне кости (Standring, 2008). Исти је испупчен у свим правцима.

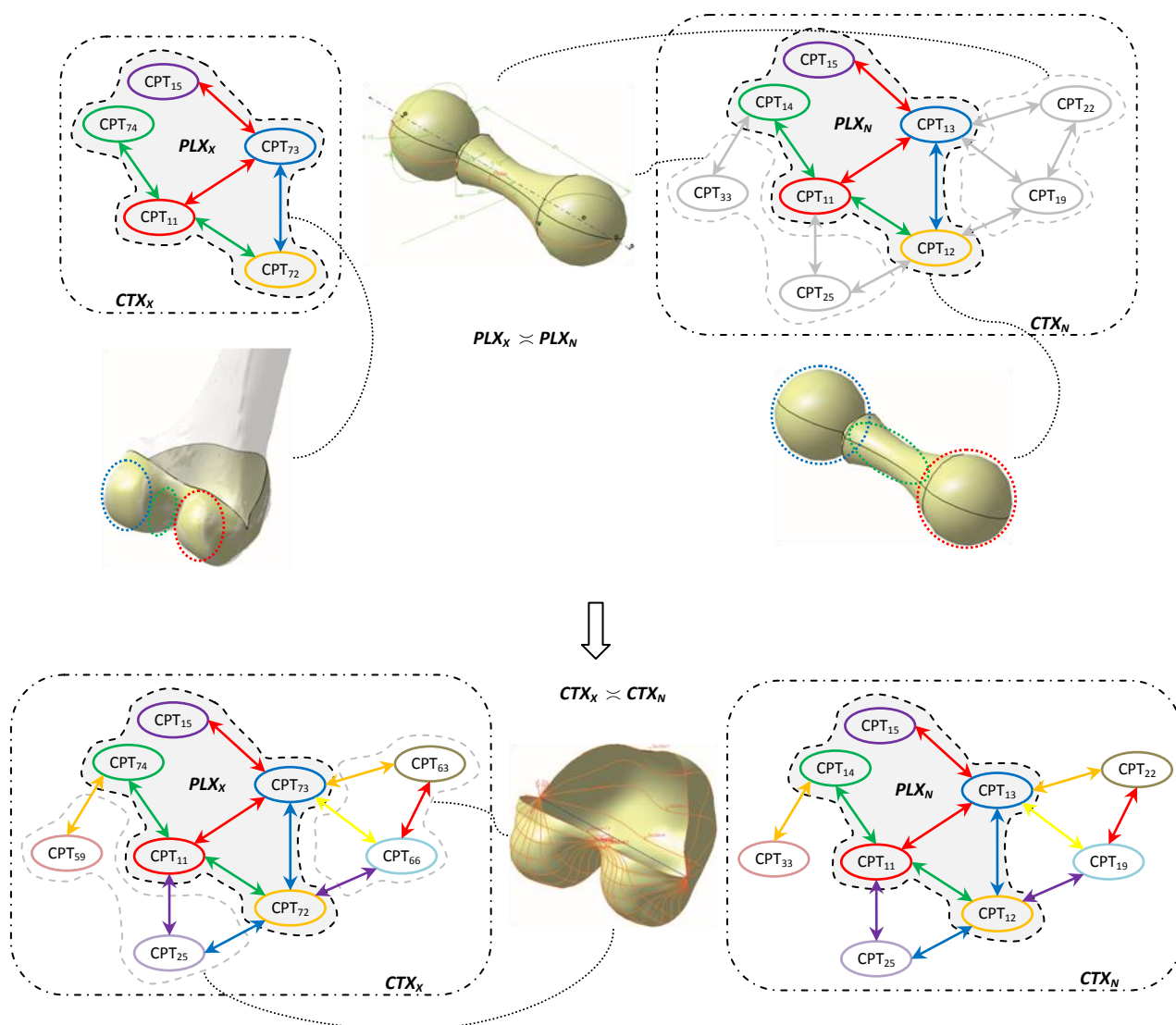
Реч кондил потиче од грчке речи *κόνδυλος* (*kondylos*), што значи зглоб (чвор) или округла ручица – користи се од стране анатома за заобљене зглобне површине. Реч патела (чашица; колотур бутне кости се назива и глаголицом за чашицу) потиче од латинске речи *patella*, која је деминутив речи *patina* што значи мала, широка, плитка посуда или тигањ (AnatomyExpert).



5-32 Доњи крајак бутне кости: предњи поглед (лево) и задњи поглед (десно)

Непознати објекат у овом случају представљаће доњи крајак бутне кости, односно његов геометријски модел (слика 5-33). Геометрија овог објекта је значењски описана уз помоћ сплета асоцијација (*улазни сплет*) (слика 5-33 (горе лево)). Познати објекат представљаће држач, односно његов геометријски модел. Геометрија држача је значењски описана уз помоћ сплета асоцијација (*узорни сплет*) (слика 5-33 (горе десно)), који је тополошки аналоган сплету асоцијација уз помоћ кога је значењски описана геометрија доњег крајка бутне кости. Контекст чији је подскуп узорни сплет, поред осталог, садржи и сплет асоцијација уз помоћ кога је описан поступак геометријског моделирања држача (слика 5-33 (горе десно)). Генерисање поступка реверзног моделирања доњег крајка бутне кости (слика 5-33 (доле лево)) се врши спровођењем поступка доградње контекста чији је подскуп улазни сплет по узору на преостали део контекста чији је подскуп узорни сплет. Обзиром да

је држач објекат правилне форме, у овом делу тест примера ће бити демонстрирана способност АСМ-а да изврши прилагођавање поступка геометријског моделирања држача приликом преношења истог у контекст реверзног моделирања доњег крајка бутне кости.

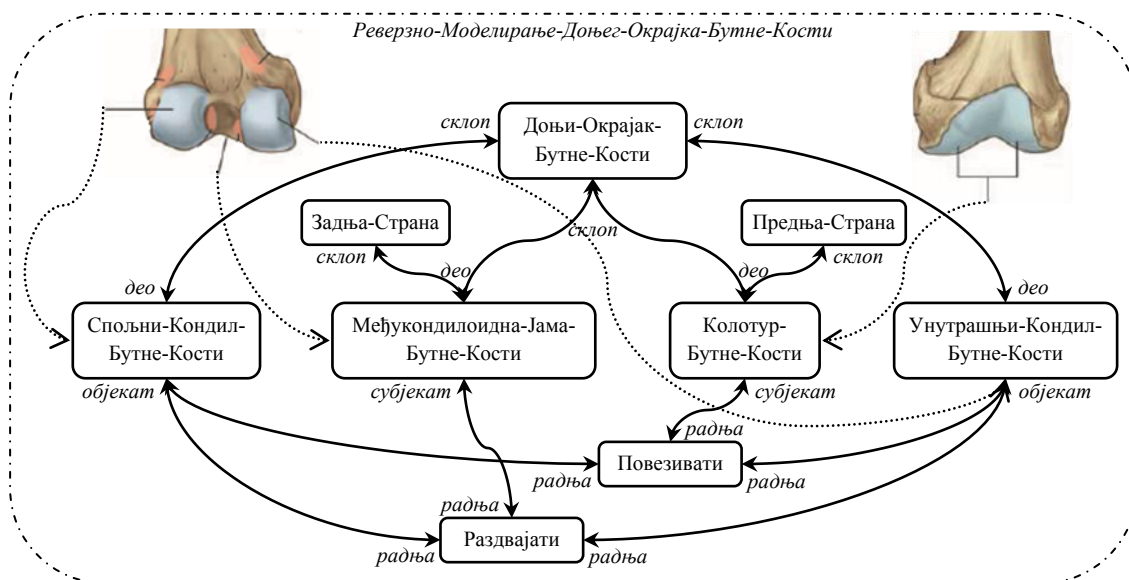


Слика 5-33 Семантичка интерпретација код дела тест примера који се односи на доњи крајак бутне кости

Описивање објекта семантичке интерпретације – (геометријског модела) доњег крајка бутне кости – врши корисник креирањем новог сплета асоцијација (у оквиру контекста Реверзно-Моделирање-Доњег-Крајка-Бутне-Кости) које на одговарајући начин повезују међусобно појмове који означавају делове доњег крајка бутне кости (слика 5-34), као и појмове који означавају делове доњег крајка бутне кости са појмовима који ће послужити да се семантички опише њихова геометрија (присутни облици), у складу са описима из литературе (слика 5-35). Објекат семантичке интерпретације у АСМ-у означава

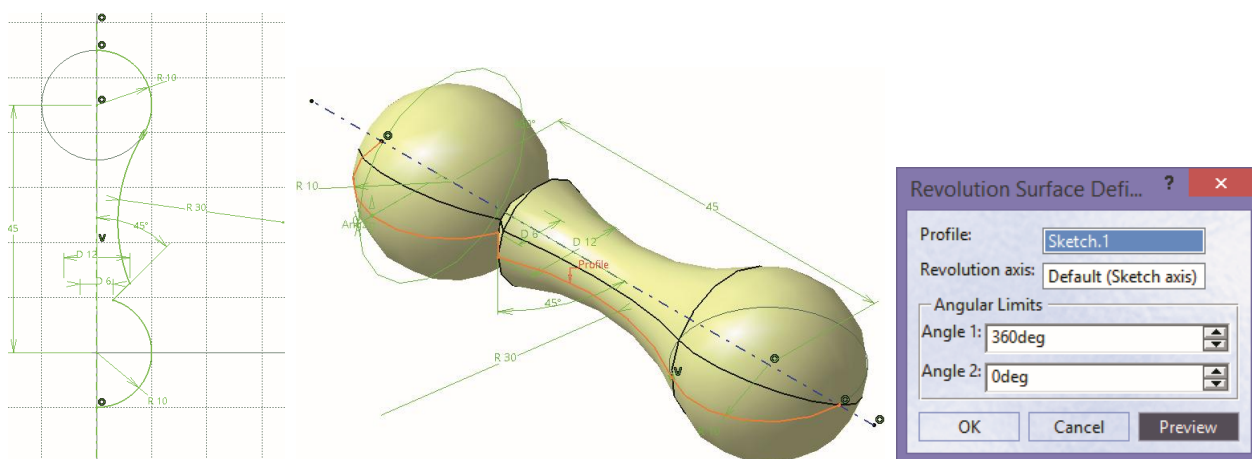
појам Доњи-Окрајак-Бутне-Кости²⁶. Неки од појмова који ће бити искоришћени за формирање горе поменутог сплета асоцијација су познати, односно постоје у семантичкој мрежи АСМ-а од раније, и припадају неким другим контекстима (попут појмова Полигонални-Модел, Испупчење, Повезивати, итд.), а неки су нови, односно настају у току описивања самог објекта семантичке интерпретације.

На слици 5-34 је приказан сплет асоцијација које повезују међусобно појмове који означавају делове доњегokraјка бутне кости. На слици 5-35 се, поред асоцијација из претходно поменутог сплета, налазе и асоцијације које повезују појмове који означавају делове доњегokraјка бутне кости са појмовима који ће послужити да се семантички опише њихова геометрија, у складу са описима из литературе. Додатно су присутне асоцијације уз помоћ којих се описује сам доњиokraјак бутне кости (његов геометријски модел). Може се видети да је доњиokraјак бутне кости слободна форма, да има сложену геометрију, као и да је кориснику на располагању полигонални модел доњегokraјка бутне кости.



Слика 5-34 Шематски приказ иницијалног описивања објекта семантичке интерпретације

²⁶ У овом случају се мисли на геометријски модел доњегokraјка бутне кости, али је због лакшег праћења дијаграма појму дат назив Доњи-Окрајак-Бутне-Кости.

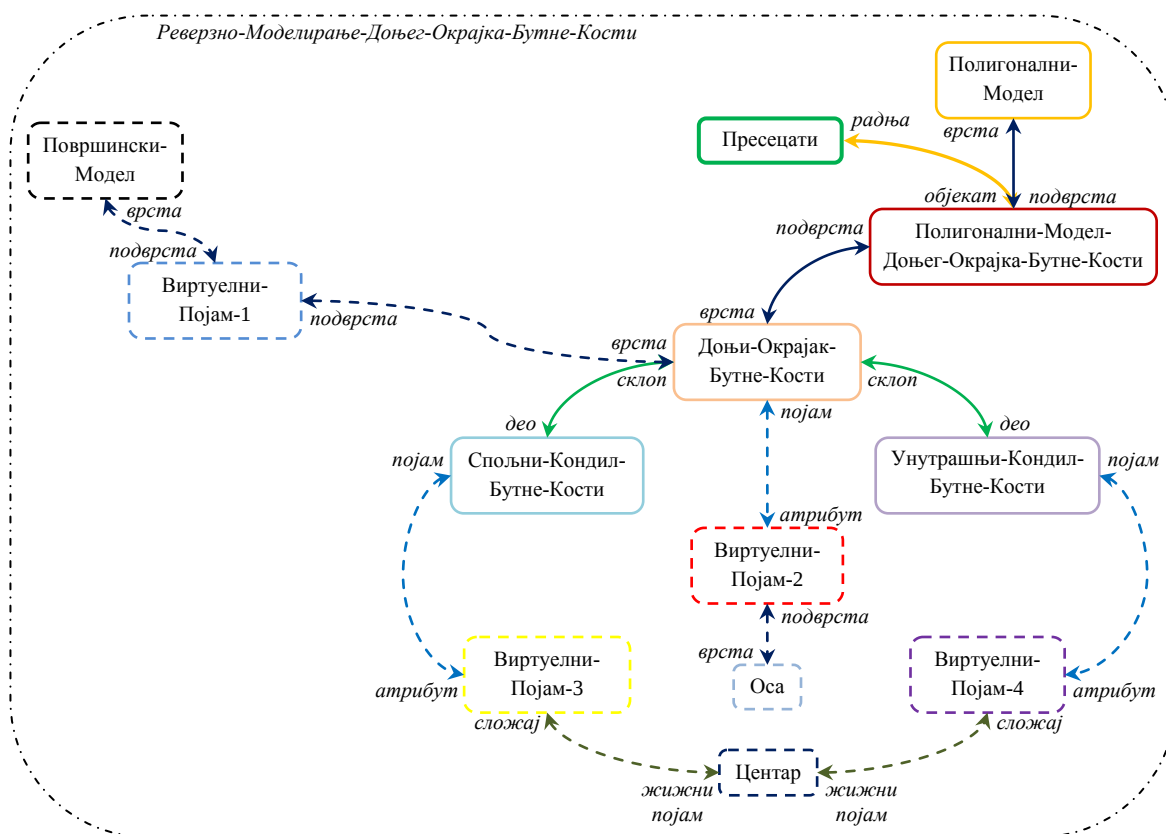


Слика 5-38 Параметри *Revolution Surface* геометријског техничког елемента уз помоћ кога се добија површински модел држача

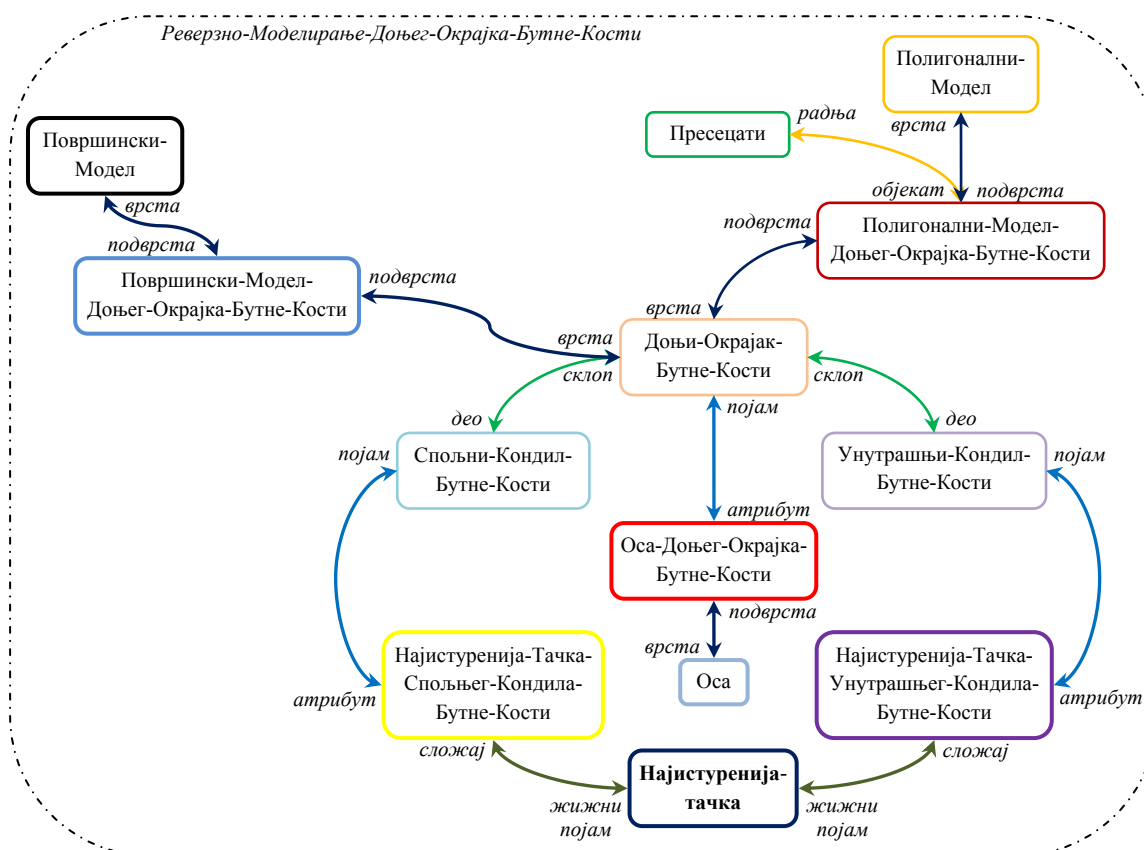
АСМ ће сада доградити сплет асоцијација уз помоћ кога су описане семантичке одлике геометрије доњег крајка бутне кости (*улазни сплет*; слика 5-35) по узору на сплет асоцијација уз помоћ кога је описан поступак геометријског моделирања држача (разлика између контекста Геометријско-Моделирање-Држача и *узорног сплета*; слика 5-37).

У првом покушају АСМ претражује семантичку мрежу у потрази за: 1) асоцијацијама класификационог (хијерархијског) типа које гради појам Доњи-Окрајак-Бутне-Кости и у којима има улогу *врсте*, 2) асоцијацијама атрибутског типа које гради појам Доњи-Окрајак-Бутне-Кости и у којима има улогу *појма*, 3) асоцијацијама типа Радња-Објекат које гради појам Полигонални-Модел-Доњег-Окрајка-Бутне-Кости и у којима има улогу *објекта* и 4) асоцијацијама атрибутског типа које граде појмови Спољни-Кондил-Бутне-Кости или Унутрашњи-Кондил-Бутне-Кости и у којима имају улогу *појма*. Пошто такве асоцијације нису пронађене, АСМ прелази на други покушај доградње.

У првој итерацији другог покушаја доградње АСМ додаје асоцијацију типа Објекат-Радња између појмова Полигонални-Модел-Доњег-Окрајка-Бутне-Кости и Пресецати (слика 5-39). У овом случају је пронађен појам који је сличан појму Полигонални-Модел-Доњег-Окрајка-Бутне-Кости, а који гради асоцијацију поменутог типа (погледати слику 5-18). У овој итерацији АСМ такође предлаже (преко виртуелних појмова) кориснику креирање: 1) појма који је подврста геометријског модела доњег крајка бутне кости, и подврста површинског модела, 2) појма који је атрибут геометријског модела доњег крајка бутне кости, а који је подврста осе, 3) појма који је атрибут спољњег кондила бутне кости, а чији је жижни појам „центар“ и 4) појма који је атрибут унутрашњег кондила бутне кости, а чији је жижни појам „центар“ (слика 5-39).

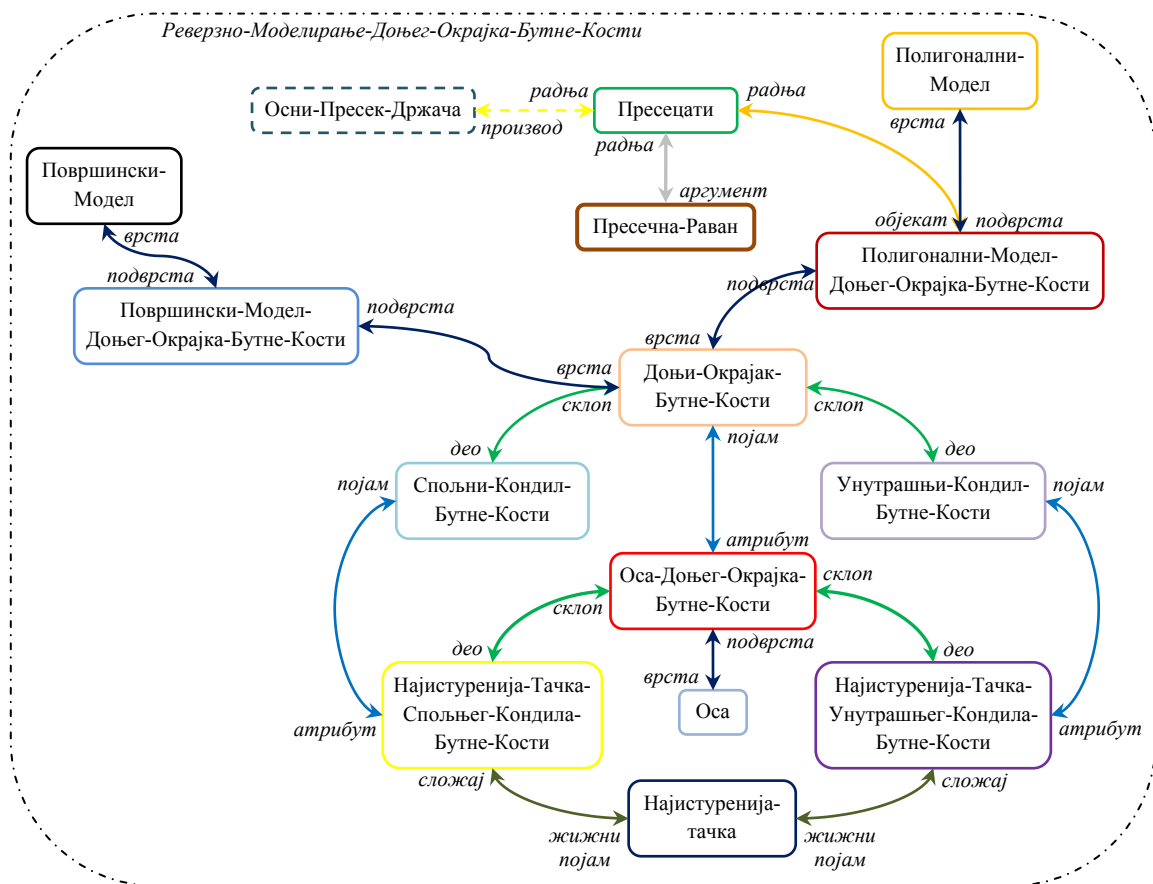


У наставку процеса доградње корисник именује виртуелне појмове (слика 5-40). На основу додатих асоцијација се може видети: 1) да је површински модел доњег крајка бутне кости подврста геометријског модела доњег крајка бутне кости, и подврста површинског модела, 2) да је оса доњег крајка бутне кости атрибут доњег крајка бутне кости и да је подврста осе, 3) да је најистуренија тачка спољњег кондила бутне кости атрибут спољњег кондила бутне кости и да је њен жижни појам „најистуренија тачка“, 4) да је најистуренија тачка унутрашњег кондила бутне кости атрибут унутрашњег кондила бутне кости и да је њен жижни појам „најистуренија тачка“. Корисник је у задња два случаја променио назив појма Центар у Најистуренија-Тачка. Приликом дефинисања референтних геометријских ентитета бутне кости се, између осталог, за дефинисање А-Р равни бутне кости користе и појмови Најистуренија-Тачка-Спољњег-Кондила-Бутне-Кости и Најистуренија-Тачка-Унутрашњег-Кондила-Бутне-Кости.



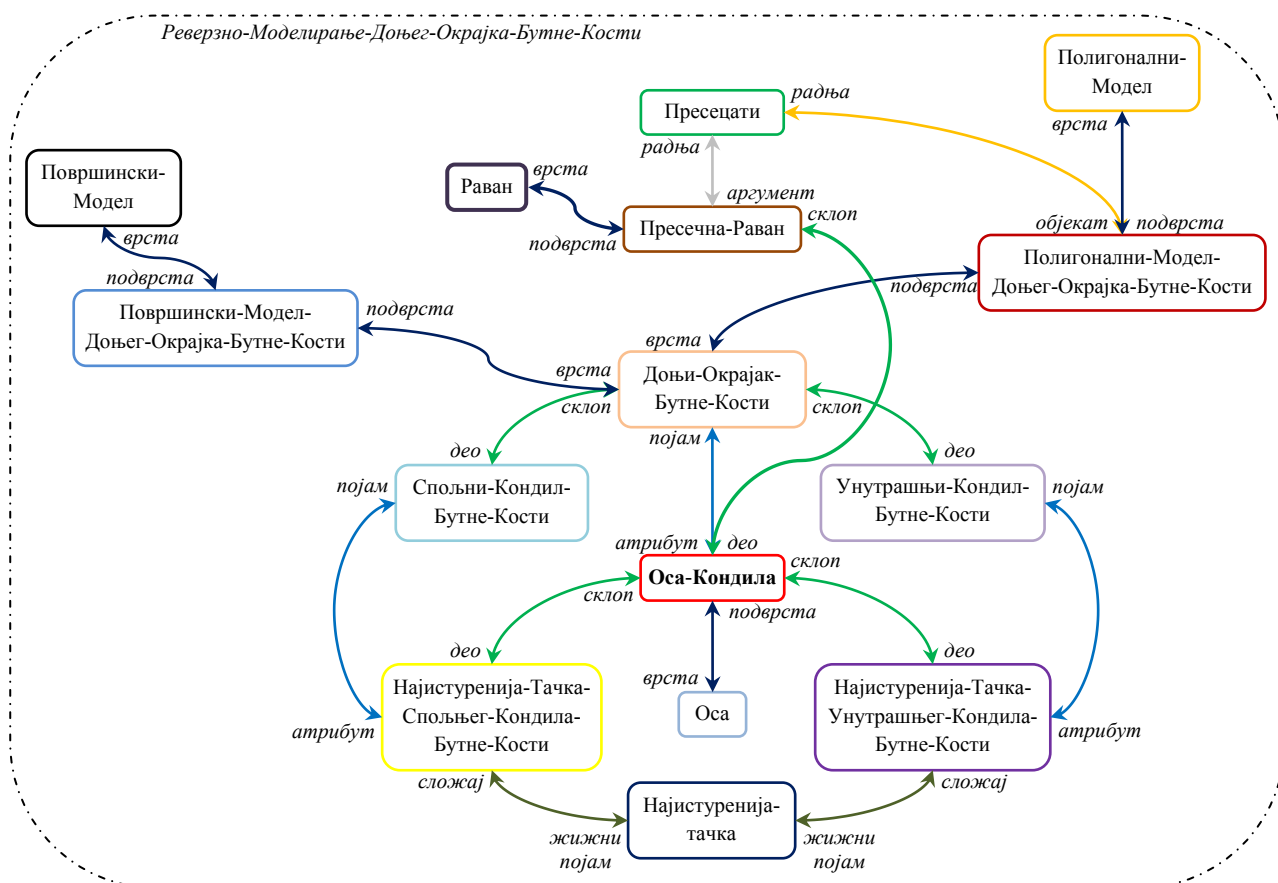
Слика 5-40 Именовање виртуелних појмова у првој итерацији другог покушаја доградње

У првој итерацији првог покушаја доградње АСМ проналази семантички близак појам Пресецати и предлаже кориснику да догради улазни сплет асоцијацијом типа Радња-Аргумент између појмова Пресецати и Пресечна-Раван и асоцијацијом типа Радња-Производ између појмова Пресецати и Осни-Пресек-Држача (слика 5-41). Корисник прихвата прву понуђену асоцијацију, а другу одбацује. У овој итерацији АСМ такође додаје асоцијације типа припадности између појма Оса-Доњег-Окрајка-Бутне-Кости и појмова Најистуренија-Тачка-Спољњег-Кондила-Бутне-Кости и Најистуренија-Тачка-Унутрашњег-Кондила-Бутне-Кости (слика 5-41). Корисник накнадно мења назив појма Оса-Доњег-Окрајка-Бутне-Кости у Оса-Кондила (слика 5-42).



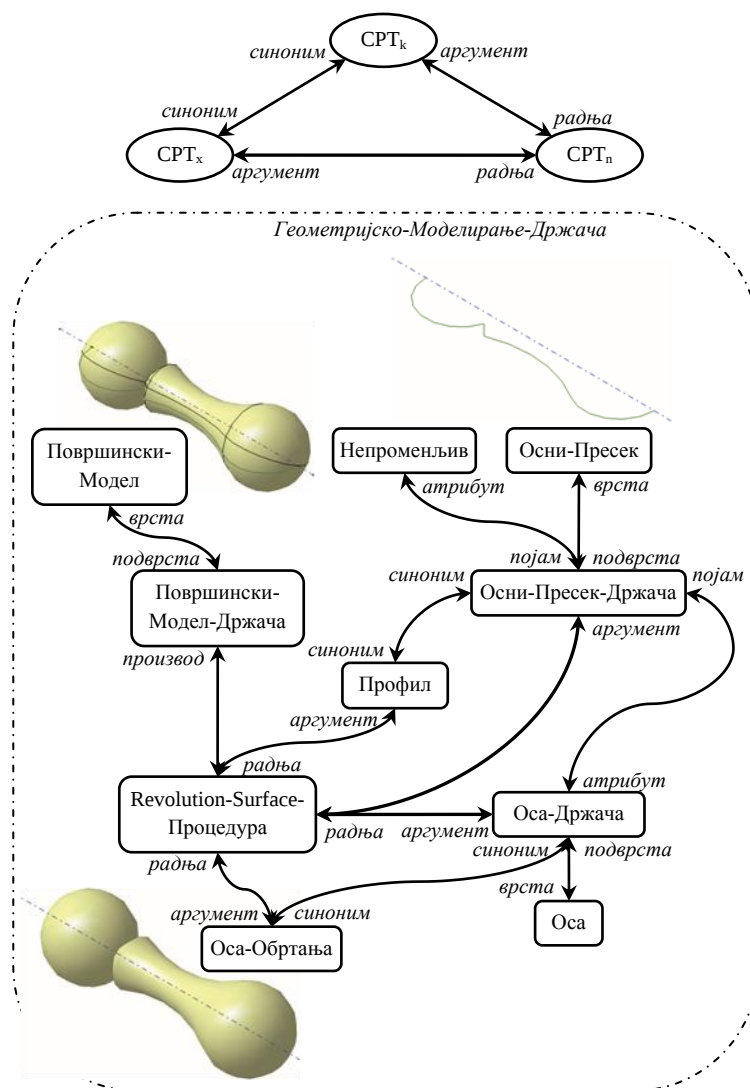
Слика 5-41 Прва итерација првог покушаја доградње

У другој итерацији првог покушаја доградње АСМ проналази семантички близак појам Пресечна-Раван и предлаже кориснику да догради улазни сплет асоцијацијом класификационог (хијерархијског) типа између појмова Пресечна-раван и Раван, као и асоцијацијом типа припадности између појмова Пресечна-Раван и Оса-Кондила (слика 5-42). Корисник прихвата предложене асоцијације.



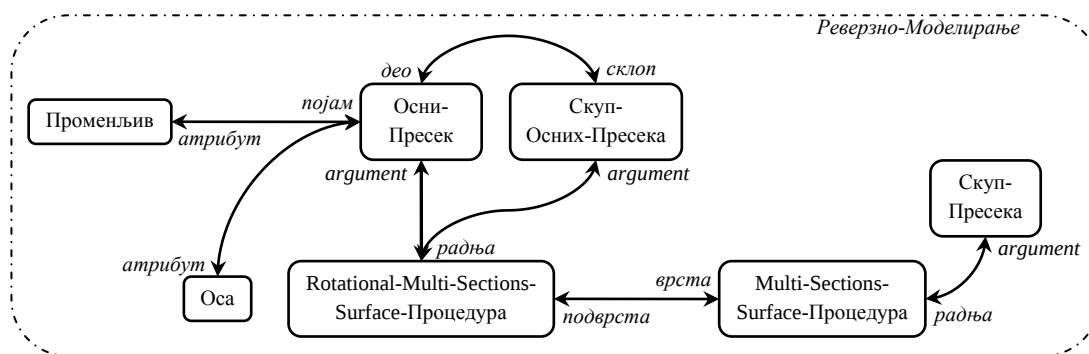
Слика 5-42 Друга итерација првог покушаја доградње

Пошто више није могуће дограђивати улазни сплет у првом покушају, прелази се на другу итерацију другог покушаја. У овој итерацији АСМ предлаже (преко виртуелног појма) кориснику креирање појма који је производ радње пресеци, који је подврста осмог пресека, и чији су атрибути „непромењив“ и оса кондила (слика 5-43).

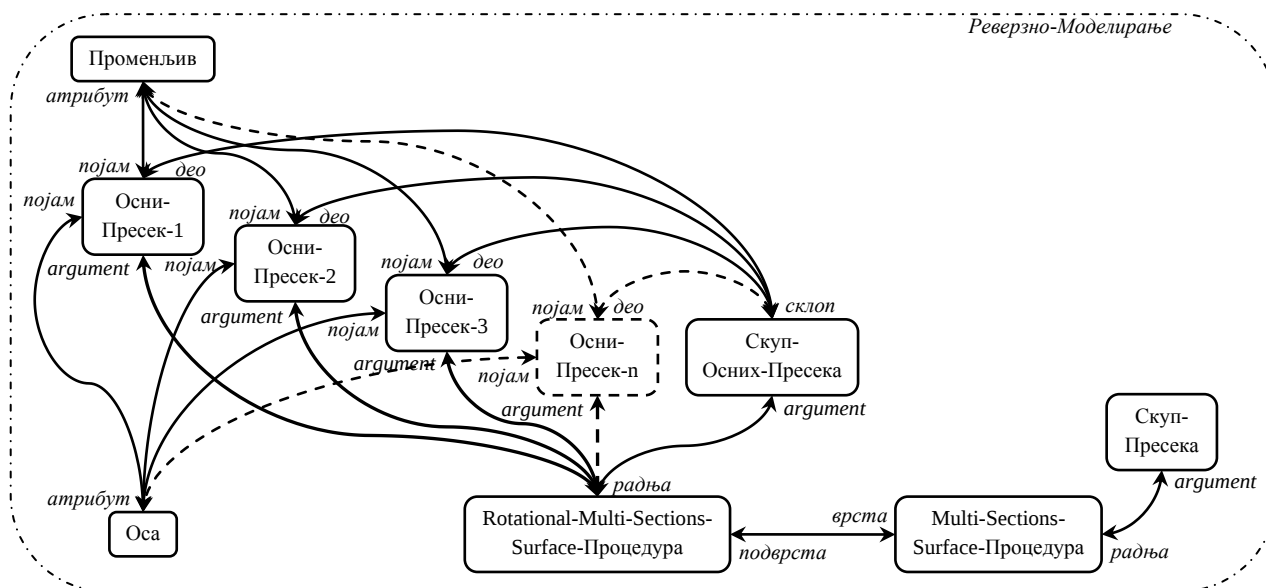


Слика 5-45 Креирање асоцијација типа Радња-Аргумент (доле) на основу CASE алгоритма за случај где је једна асоцијација синонимског типа (горе)

У оквиру ширег контекста Реверзно-Моделирање постоји сплет асоцијација који описује *Rotational Multi Sections Surface* процедуру. У коришћеном CAD софтверу не постоји *Rotational Multi Sections Surface* геометријски технички елемент. Сплет асоцијација који описује ову процедуру је креирао корисник сматрајући да је исту корисно засебно категоризовати и описати. У питању је врста *Multi Sections Surface* процедуре која као аргумент прима скуп променљивих осних пресека објекта, за чије креирање је неопходно прво креирати одговарајућу осу. Ову процедуру је у АСМ-у могуће описати на два начина (слике 5-46 и 5-47). Разлика између два описа је у начину представљања елемената скупа осних пресека. Претпоставља се да је у овом делу тест примера присутан први начин описивања.

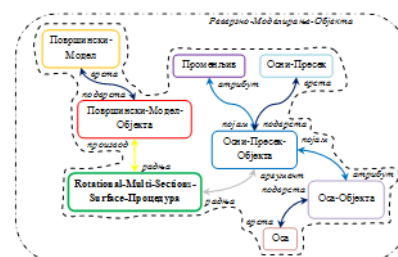
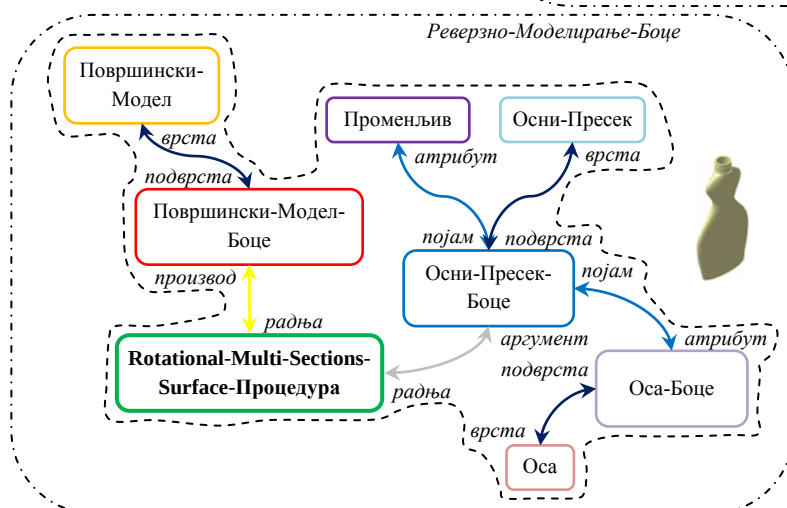
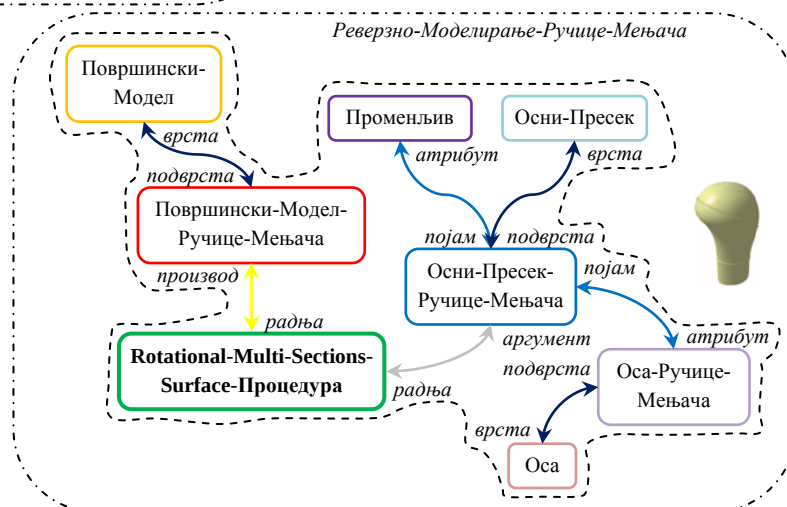
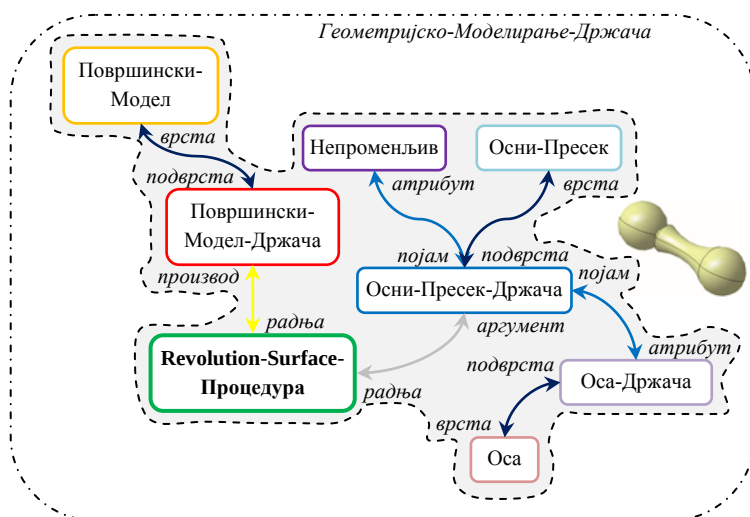


Слика 5-46 Прва варијанта описа *Rotational Multi Sections Surface* процедуре

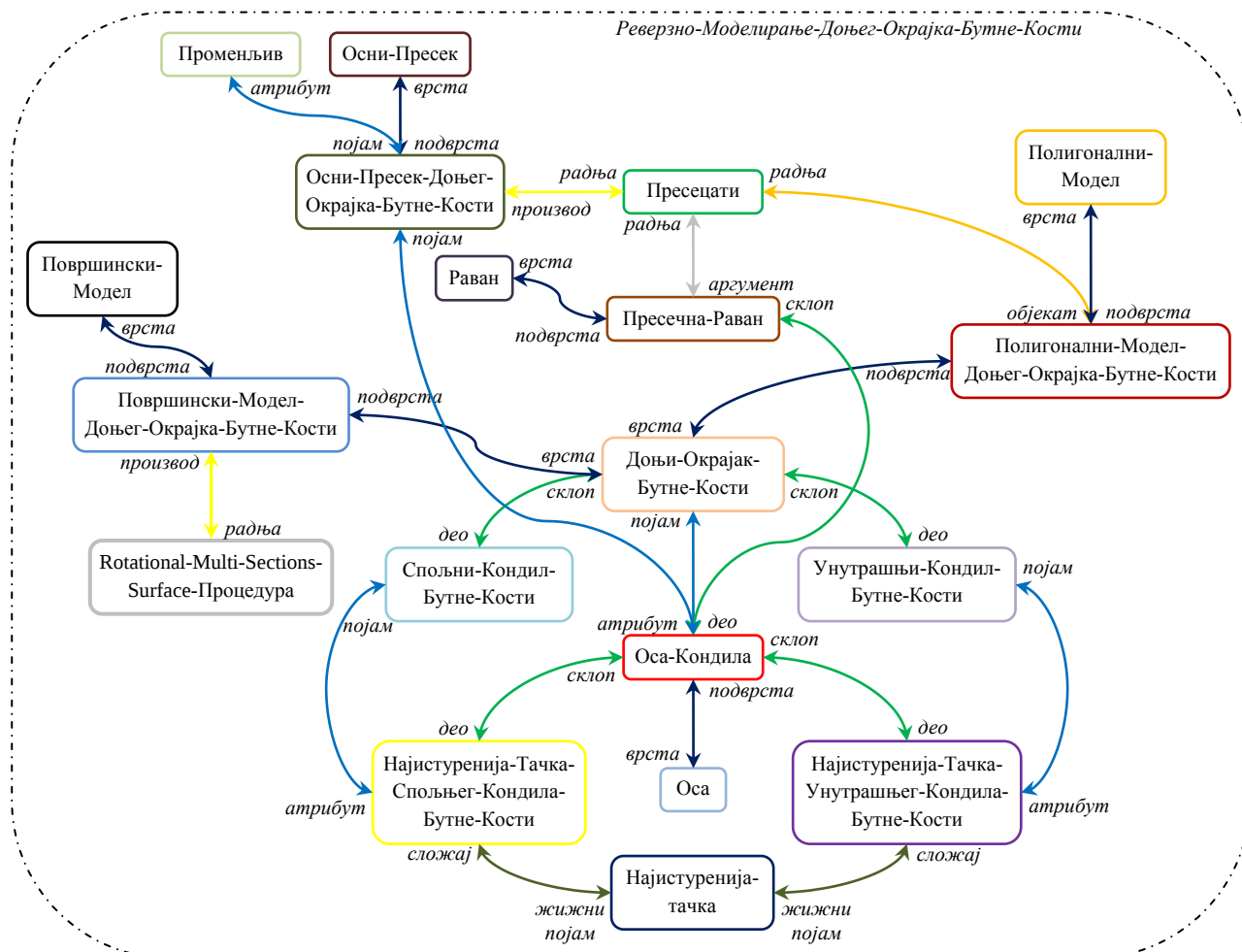


Слика 5-47 Друга варијанта описа *Rotational Multi Sections Surface* процедуре

У трећем покушају АСМ проналази више сплетова асоцијација који су тополошки кореспондентни сплету асоцијација којим је описан део *Revolution Surface* процедуре која се користи приликом геометријског моделирања држача (слика 5-48). Појам *Rotational-Multi-Sections-Surface-Процедура* је у већини ових сплетова тополошки кореспондентан појму *Revolution-Surface-Процедура*. Због тога АСМ нуди кориснику да улазни сплет асоцијација догради асоцијацијом типа Радња-Производ између појмова *Rotational-Multi-Sections-Surface-Процедура* и Површински-Модел-Доњег-Окрајка-Бутне-Кости (слика 5-49).

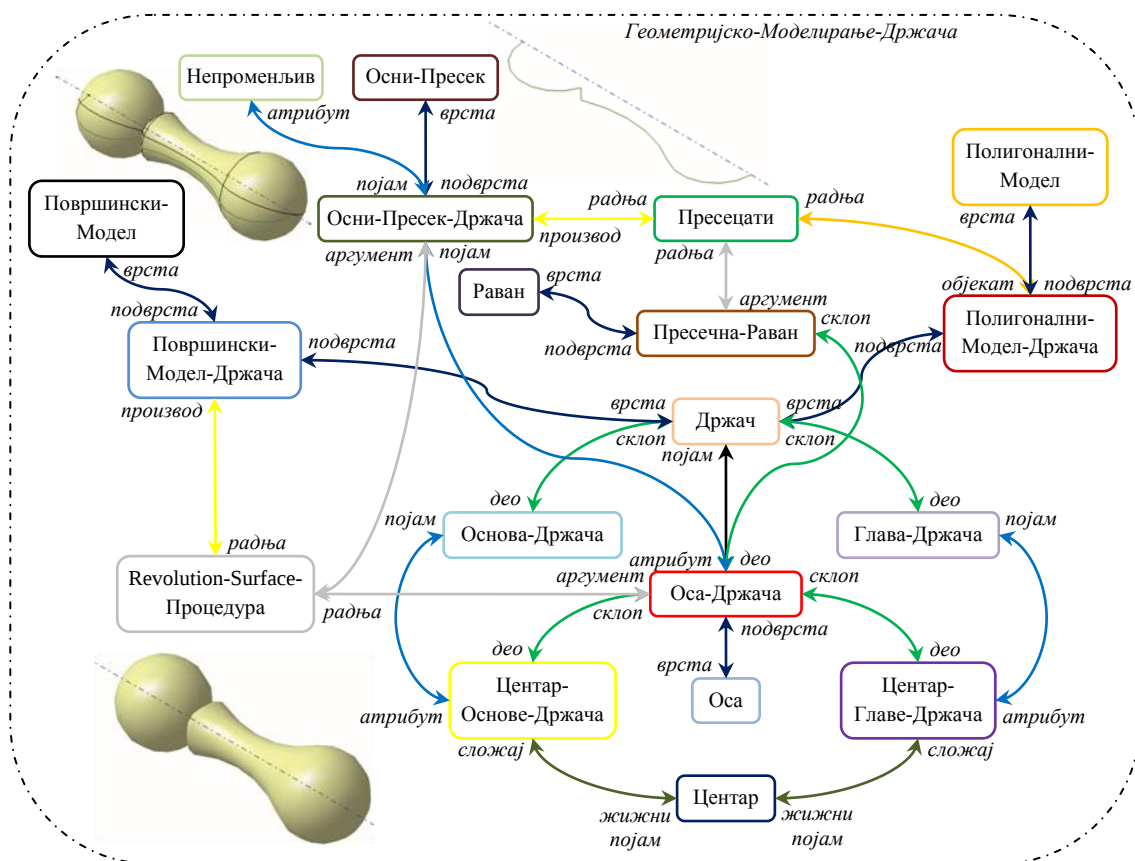


Слика 5-48 Издвајање тополошки кореспондентних појмова појму Revolution-Surface-Процедура који граде исти или сличан скуп тополошки кореспондентних асоцијација у пронађеним тополошки аналогним сплетовима

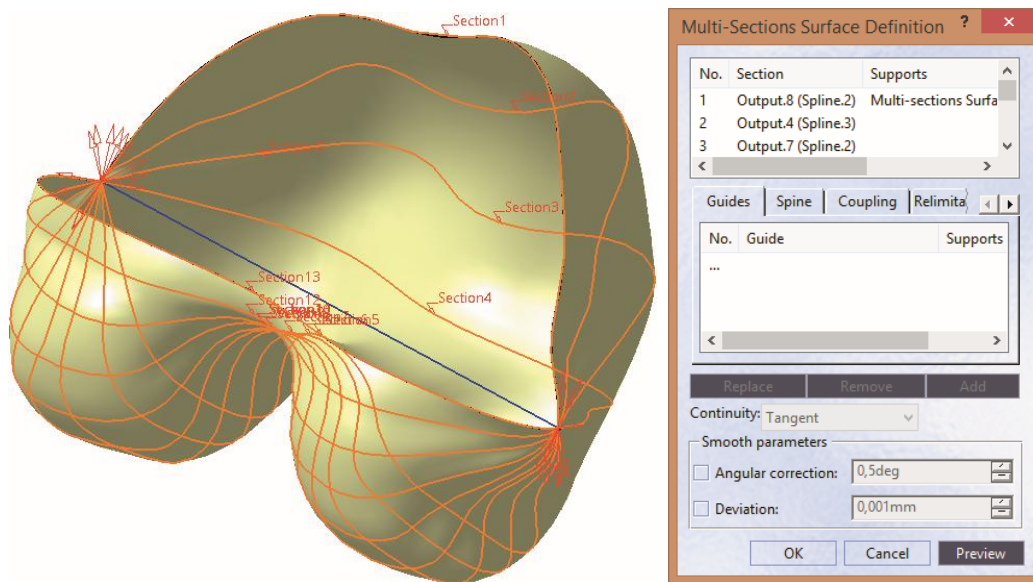


Слика 5-49 Прва итерација трећег покушаја доградње улазног сплета

Корисник прихвата предложену асоцијацију и одлучује да се поступак доградње улазног сплета спроведе из почетка (да се настави са поступком доградње од првог покушаја). У трећој итерацији првог покушаја АСМ предлаже кориснику да улазни сплет догради асоцијацијама типа Радња-Аргумент између појма Rotational-Multi-Sections-Surface-Процедура и појмова Осни-Пресек-Доњег-Окрајка-Бутне-Кости и Оса-Кондила. На основу до сада датих асоцијација се може видети да се површински модел доњег окрајка бутне кости добија уз помоћ *Rotational Multi Sections Surface* процедуре чији су аргументи осни пресек доњег окрајка бутне кости и оса кондила. Овде је оса кондила посредно аргумент горе поменуте процедуре (она је атрибут осног пресека доњег окрајка бутне кости, који је аргумент горе поменуте процедуре).



Слика 5-52 Сплет асоцијација уз помоћ кога је описан поступак реверзног моделирања држача

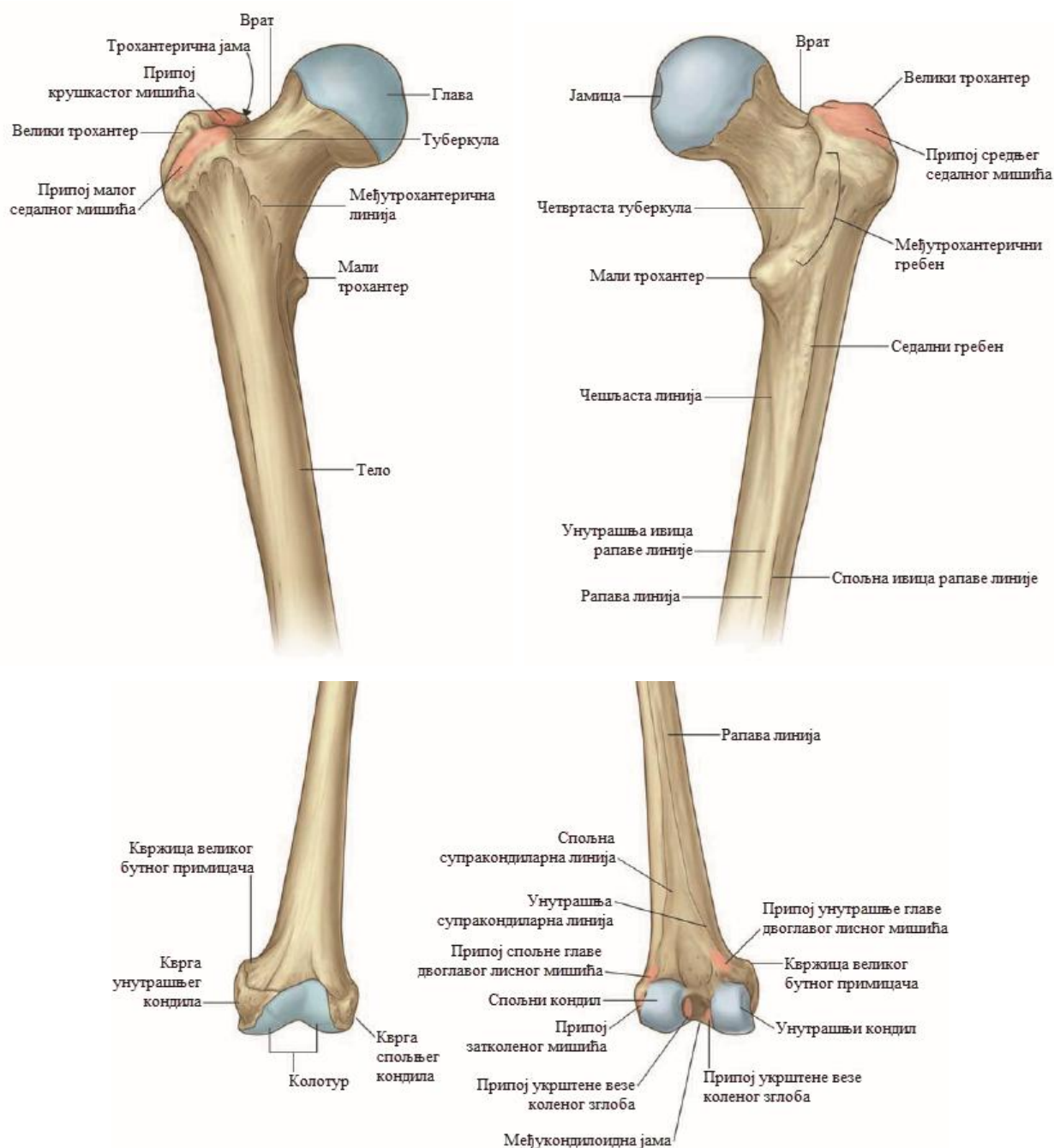


Слика 5-53 Параметри Multi Sections Surface геометријског техничког елемента (аргументи *Rotational Multi Sections Surface* процедуре) уз помоћ кога се добија површински модел доњег краја бутне кости

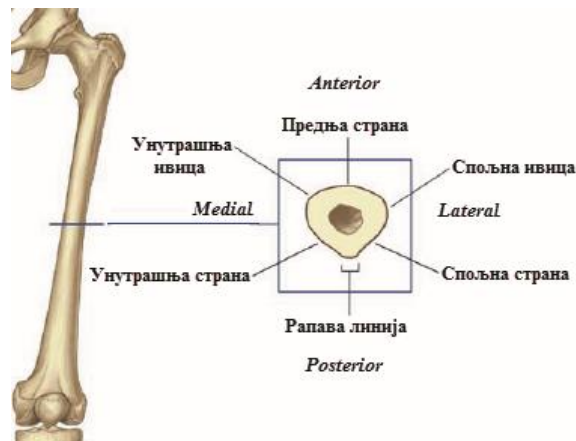
5.5 Тело бутне кости

Тело бутне кости је према Шљивићу (Šljivić, 1973) троугласто призматично, док је у референтној књизи из области анатомије (Standring, 2008) описано и као скоро цилиндрично

на већем делу своје дужине. Исто је конвексно пут напред (Šljivić, 1973). Тело бутне кости је најуже централно, шири се мало ка горњем крају, а знатно више ка доњем крају (Standring, 2008) (слика 5-54). Средња трећина тела бутне кости има три стране и три ивице (слика 5-55) и троугаони попречни пресек (Drake et al., 2014).

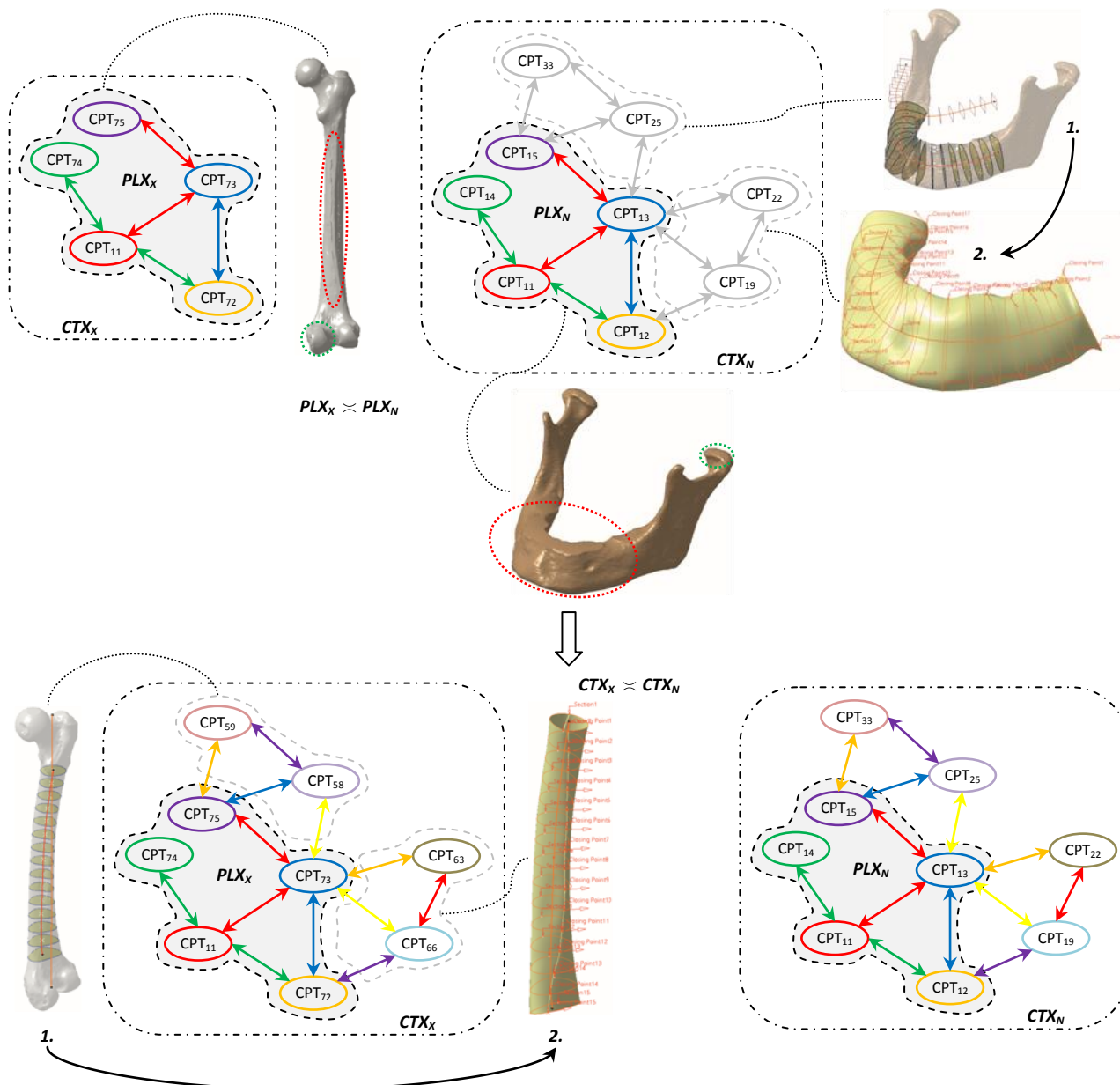


Слика 5-54 Горњи крајак и тело бутне кости: предњи поглед (горе лево) и задњи поглед (горе десно). Доњи крајак и тело бутне кости: предњи поглед (доле лево) и задњи поглед (доле десно) (преузето и прилагођено из (Drake et al., 2014))



Слика 5-55 Попречни пресек тела бутне кости

Непознати објекат у овом случају представљаће *бутна кост*, односно њен геометријски модел. Геометрија овог објекта је значењски описана уз помоћ сплета асоцијација (*улазни сплет*) (слика 5-56 (горе лево)). Познати објекат представљаће *доња вилица*, односно њен геометријски модел. Геометрија доње вилице је значењски описана уз помоћ сплета асоцијација (*узорни сплет*) (слика 5-56 (горе десно)) који је *тополошки аналоган* сплету асоцијација уз помоћ кога је значењски описана геометрија бутне кости. Контекст чији је подскуп узорни сплет поред осталог садржи и сплет асоцијација уз помоћ кога је описан поступак реверзног моделирања тела доње вилице (слика 5-56 (горе десно)). Овај поступак је карактеристичан по томе што има два дела, при чему један претходи другом (слика 5-56 (горе десно)). Први део представља поступак креирања криве линије простирања запремине тела доње вилице, док други део представља поступак креирања површинског модела тела доње вилице. Генерисање поступка реверзног моделирања тела бутне кости (слика 5-56 (доле лево)) се врши спровођењем поступка доградње контекста чији је подскуп улазни сплет по узору на преостали део контекста чији је подскуп узорни сплет.

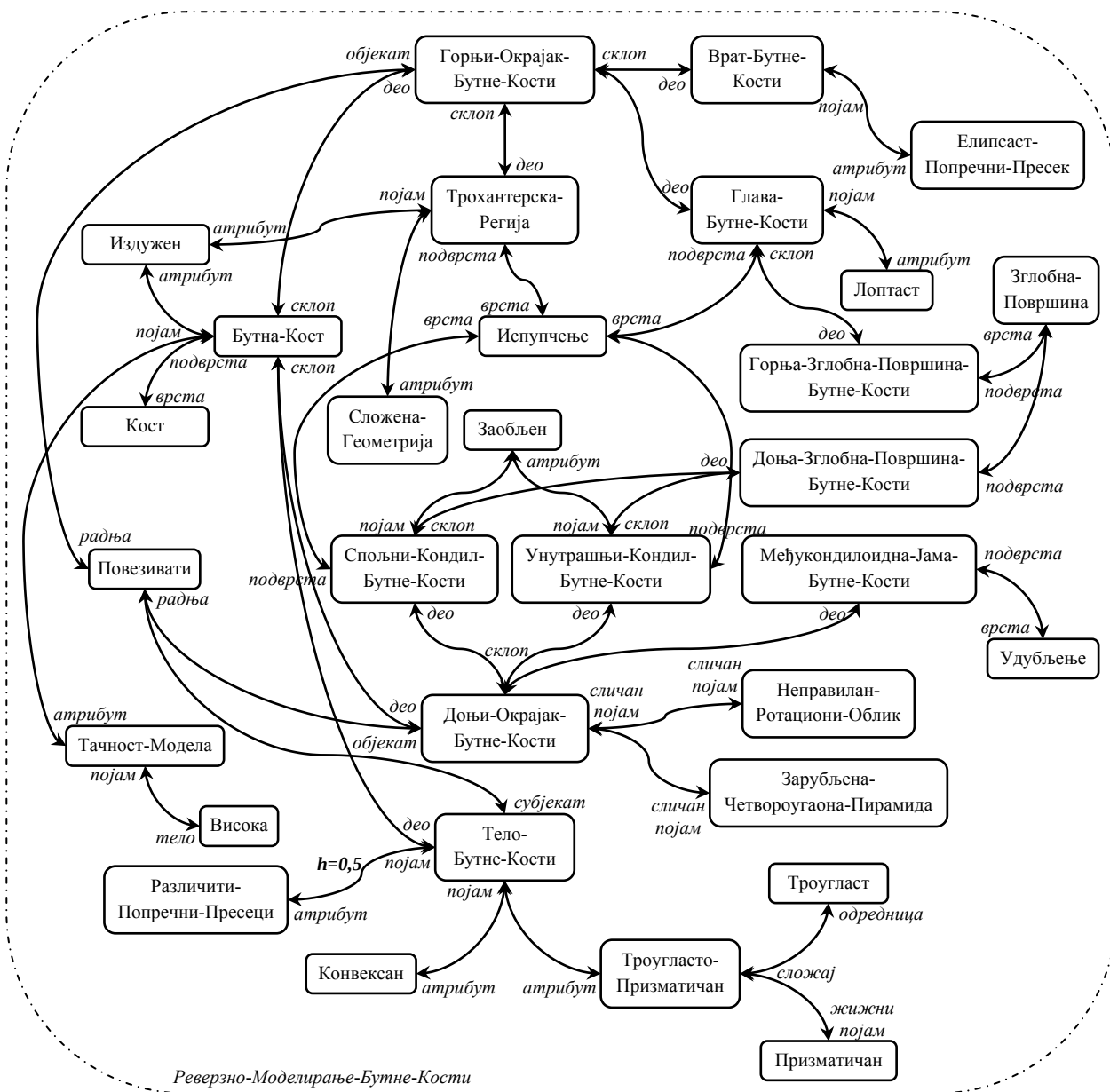


Слика 5-56 Семантичка интерпретација код дела тест примера који се односи на тело бутне кости

Описивање објекта семантичке интерпретације – (геометријског модела) бутне кости – врши корисник креирањем новог сплета асоцијација (у оквиру контекста Реверзно-Моделирање-Бутне-Кости) које на одговарајући начин повезују међусобно појмове који означавају делове бутне кости, као и појмове који означавају делове бутне кости са појмовима који ће послужити да се семантички опише њихова геометрија (присутни облици), у складу са описима из литературе (слика 5-57). Објекат семантичке интерпретације у АСМ-у означава појам Бутна-Кост²⁸. Неки од појмова који ће бити искоришћени за формирање горе поменутог сплета асоцијација су *познати*, односно постоје у семантичкој

²⁸ У овом случају се мисли на геометријски модел бутне кости, али је због лакшег праћења дијаграма појму дат назив Бутна-Кост.

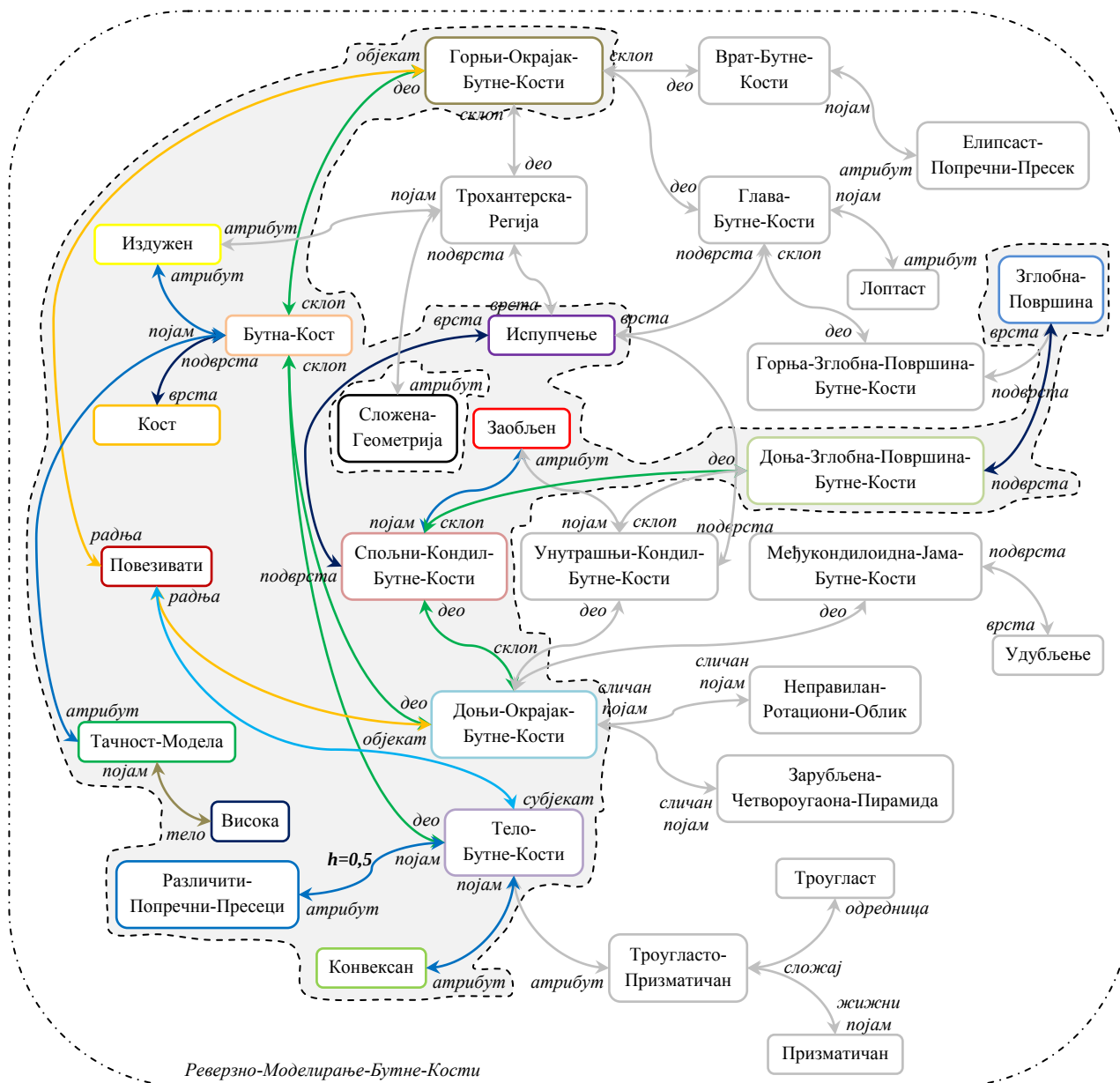
мрежи АСМ-а од раније, и припадају неким другим контекстима (попут појмова Кост, Испупчење, Различити-Попречни-Пресеци, итд.), а неки су *нови*, односно настају у току описивања самог објекта семантичке интерпретације.

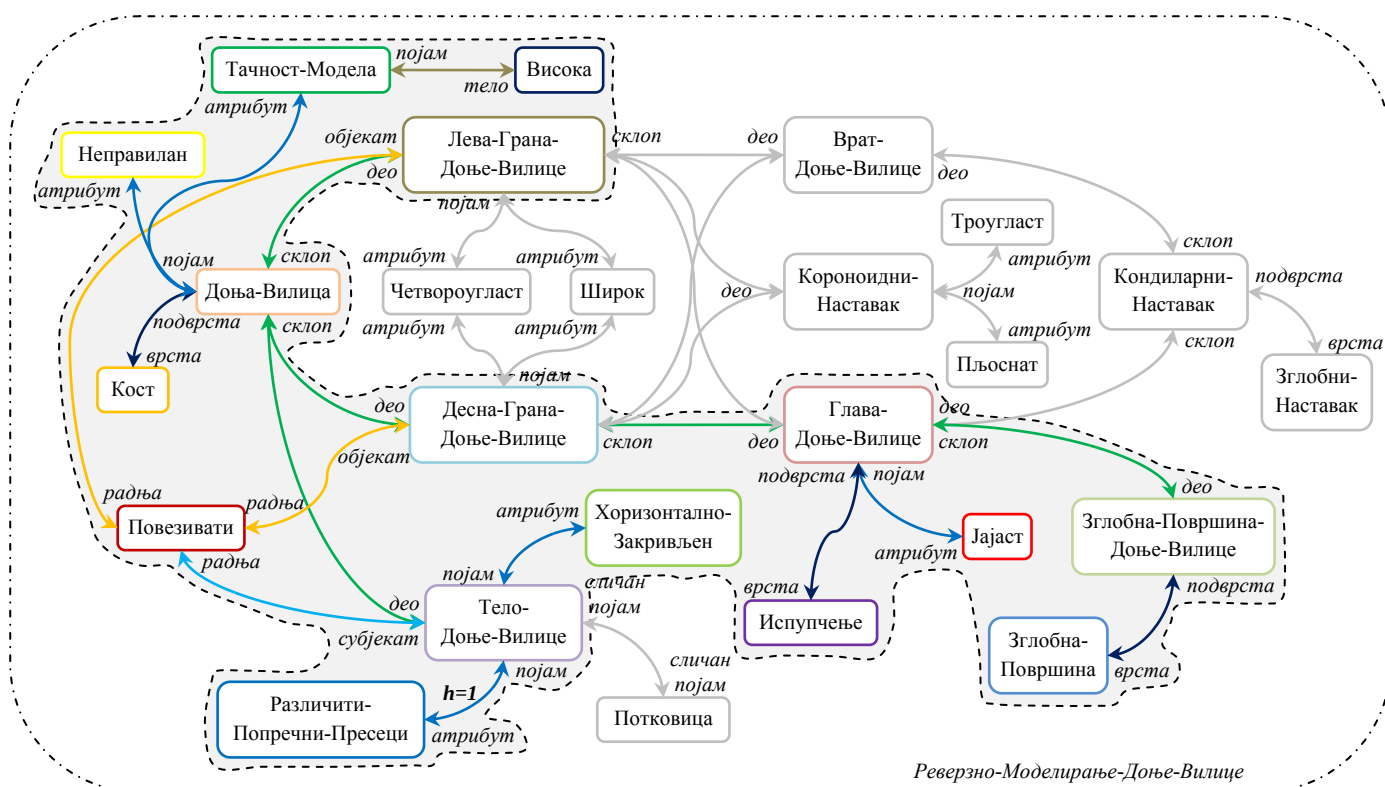


Слика 5-57 Стварање асоцијација које прати описивање семантичких одлика геометрије бутне кости

Сплет асоцијација приказан на слици 5-57 представља *улазни* сплет асоцијација. Овај сплет асоцијација броји 31 појам и 39 асоцијација. Пошто препозна један или више сплетова из семантичке мреже који су тополошки аналогни улазном сплету, АСМ приказује исте кориснику. Уз сваки приказан тополошки аналоган сплет су наведени подаци који говоре о његовој семантичкој блискости са улазним сплетом. Један од препознатих тополошки аналогних сплетова је и сплет асоцијација који је део контекста Реверзно-Моделирање-Доње-Вилице (слика 5-58). Уз помоћ овог сплета асоцијација су описане семантичке одлике

геометрије доње вилице. Семантичка блискост овог сплета асоцијација се може проценити на основу следећих података: број заједничких појмова: 7 (Кост, Испупчење, Зглобна-Површина, Повезивати, Тачност-Модела, Висока, Различити-Попречни-Пресеци), број семантички блиских појмова: 2 (Доња-Зглобна-Површина-Бутне-Кости – Зглобна-Површина-Доње-Вилице, Конвексан – Хоризонтално-Закривљен), назив врсте топологије: **склоп**, број асоцијација: 17, број појмова: 16.

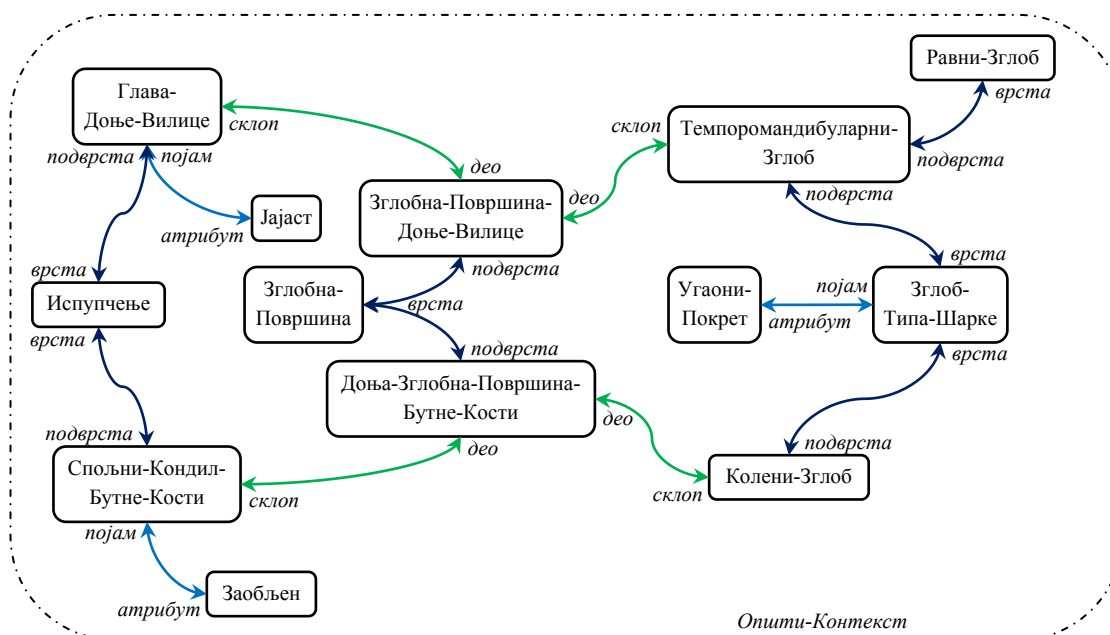




Слика 5-58 Сплет асоцијација уз помоћ кога су описане семантичке одлике геометрије доње вилице је тополошки аналоган сплету асоцијација уз помоћ кога су описане семантичке одлике геометрије бутне кости

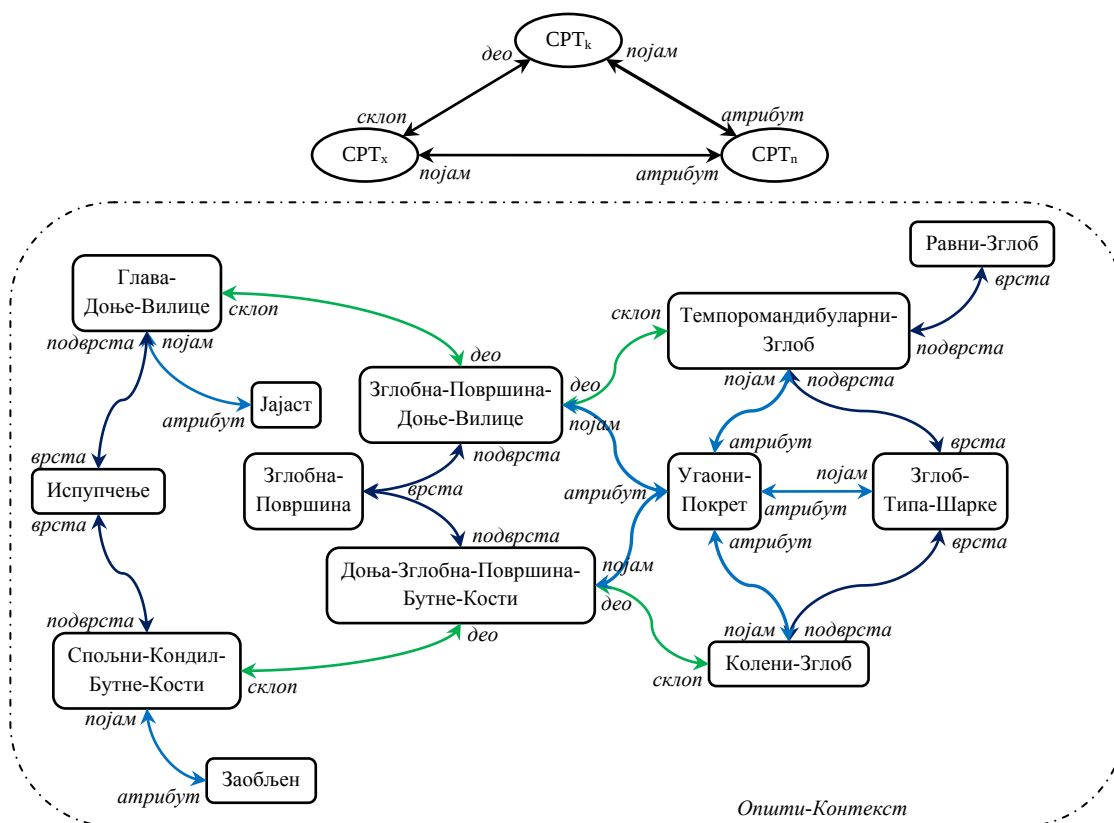
У случају сплета асоцијација који је део контекста Реверзно-Моделирање-Доње-Вилице, а који је препознат као тополошки аналоган улазном сплету, међу семантички блиским појмовима су и појмови Доња-Зглобна-Површина-Бутне-Кости и Зглобна-Површина-Доње-Вилице. Асоцијације уз помоћ којих су описане семантичке одлике геометрије спољњег кондила бутне кости и главе доње вилице су, са евентуално измењеним вредностима параметара асоцијације, биле додате општем контексту (слика 5-59). У општем контексту су присутне и асоцијације из области функционалне анатомије²⁹ које се односе на зглобове у којима учествују спољни кондил бутне кости и глава доње вилице (слика 5-59). На основу приказаних асоцијација се може видети да се на спољњем кондилу бутне кости налази доња зглобна површина бутне кости која учествује у коленом зглобу, који је зглоб типа шарке (има угаоне покрете). Такође се може видети да се на глави доње вилице налази зглобна површина доње вилице која учествује у темпоромандибуарном зглобу, а који је зглоб типа шарке (има угаоне покрете) и равни зглоб (Drake et al., 2014) (слика 5-59).

²⁹ Функционална анатомија разматра људску анатомију у релацији са функцијом и обрађује анатомију људског кретања и анатомију покрета.



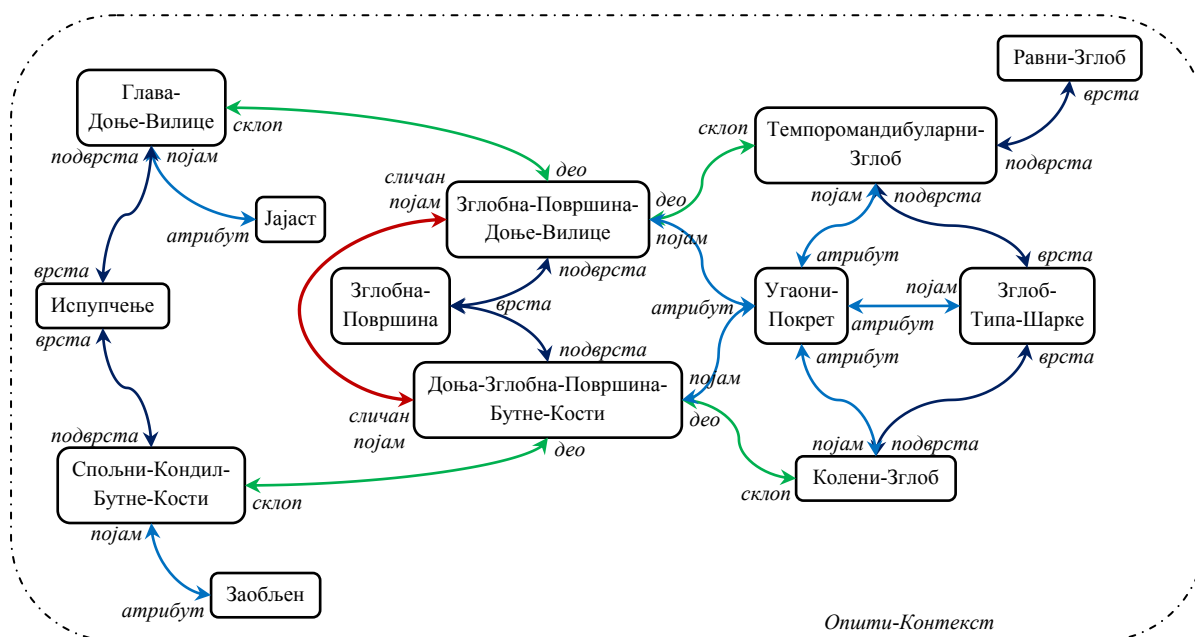
Слика 5-59 Скуп асоцијација уз помоћ којих су описане семантичке одлике геометрије спољњег кондила бутне кости и главе доње вилице

На основу CASE алгоритма за случај где је једна асоцијација *класификациона* (*хијерархијска*) (а друга, наравно, није тог типа) креирана је од стране АСМ-а *атрибутска* асоцијација између појмова Колени-Зглоб и Угаони-Покрет и појмова Темпоромандибуларни-Зглоб и Угаони-Покрет (слика 5-60 (доле)). Затим је, на основу CASE алгоритма за случај где је једна асоцијација типа *припадности* (а друга, наравно, није тог типа) (слика 5-60 (горе)), креирана од стране АСМ-а *атрибутска* асоцијација између појмова Доња-Зглобна-Површина-Бутне-Кости и Угаони-Покрет и појмова Зглобна-Површина-Доње-Вилице и Угаони-Покрет (слика 5-60 (доле)).



Слика 5-60 CASE алгоритам за случај где је једна асоцијација типа *принадности* (горе). Креирање *атрибутских* асоцијација од стране АСМ-а на основу анализе асоцијација из области функционалне анатомије (доле).

АСМ утврђује да појмови Доња-Зглобна-Површина-Бутне-Кости и Зглобна-Површина-Доње-Вилице имају асоцијације најмање истог типа ка везним појмовима (Зглобна-Површина и Угаони-Покрет) што резултује креирањем асоцијације типа *сличности* између појмова Доња-Зглобна-Површина-Бутне-Кости и Зглобна-Површина-Доње-Вилице (слика 5-61) (доња зглобна површина бутне кости и зглобна површина доње вилице обезбеђују угаоне покрете у зглобовима у којима учествују).



Слика 5-61 Појам Доња-Зглобна-Површина-Бутне-Кости је категоризован као *сличан* појму Зглобна-Површина-Доње-Вилице на основу анализе парова асоцијација ка везним појмовима

Доња вилица је непарна и једина кост лица која се покретним зглобом спаја са лобањом. Спада у групу неправилних костију³⁰. Главни саставни делови доње вилице су: 1) тело које гради средњи водоравни део кости у облику потковице, 2) гране доње вилице које сачињавају два усправна крака ове кости и 3) вилични угао који одговара споју гране са одговарајућим задњим крајем тела (Šljivić, 1973) (слика 5-62).

Тело доње вилице је потковичасто (Šljivić, 1973), хоризонтално закривљено (AnatomyExpert). Грана доње вилице је четвороугласта (Standring, 2008) и широка. Горња ивица гране носи два коштана наставка: предњи или *короноидни* наставка и задњи или *кондиларни* наставка. Короноидни наставка је плоснат и троугластог облика. Кондиларни наставка је зглобни наставка и састављен је из два дела: горњег или главе и доњег или врата (Šljivić, 1973). Глава кондиларног наставка је јајаста (AnatomyExpert) и зглобљава се са виличном јамом слепоочне кости.

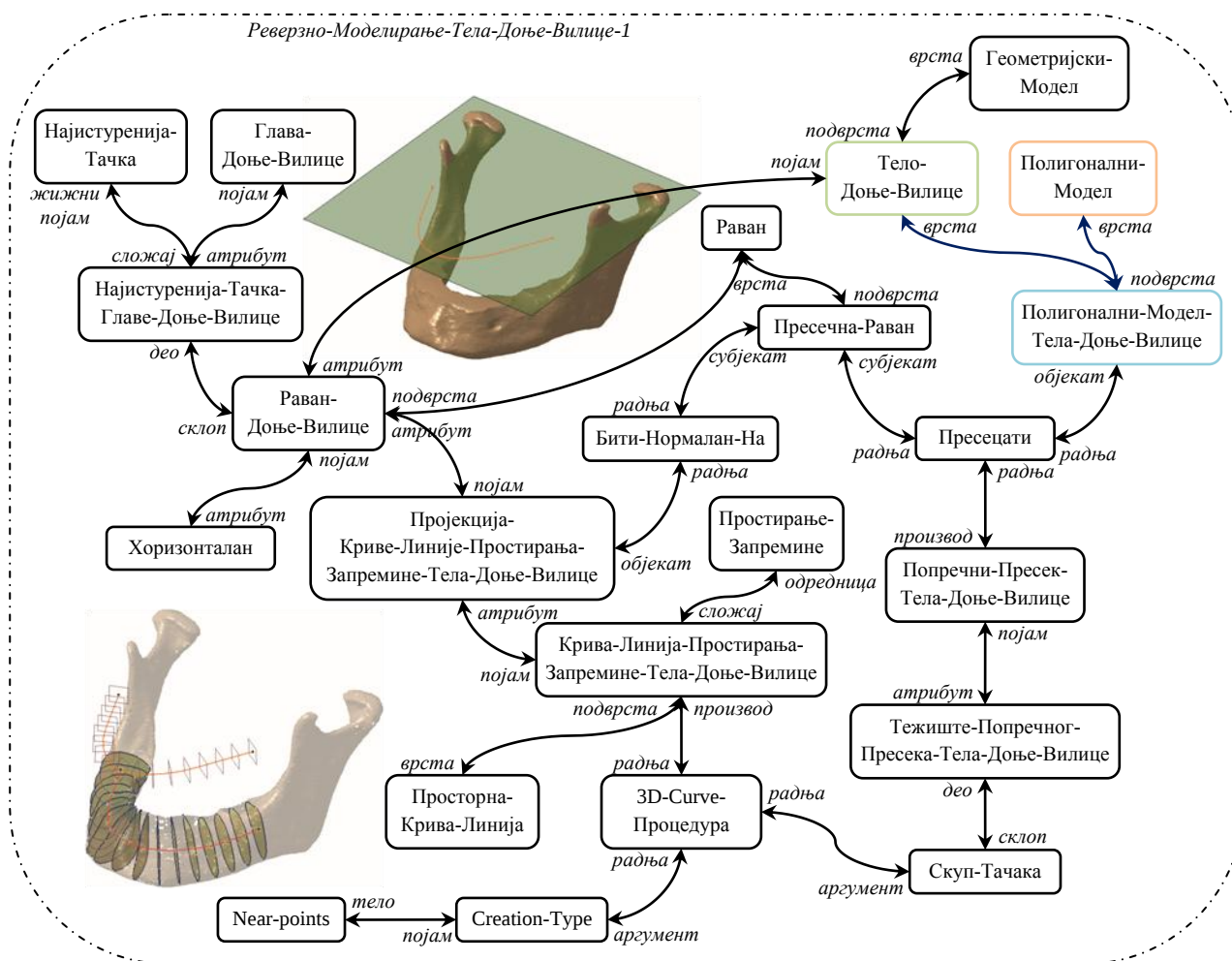
Реч мандибула (доња вилица) потиче од латинских речи *mandere*, што значи жвакати (гристи), и *-bula*, што значи помоћу (уз помоћ). Реч короноид потиче од грчке речи *κορόνη* (*korone*), што означава било шта што је закривљено попут кљуна вране. Реч *ramus* (грана доње вилице) потиче од латинске речи *ramus*, што значи грана и користи се за структуре које произилазе као грана из неке веће структуре (Cascarini, 2007).

³⁰ На основу облика све кости људског тела се могу поделити на: дуге, кратке, плоснате, неправилне и сезамоидне.

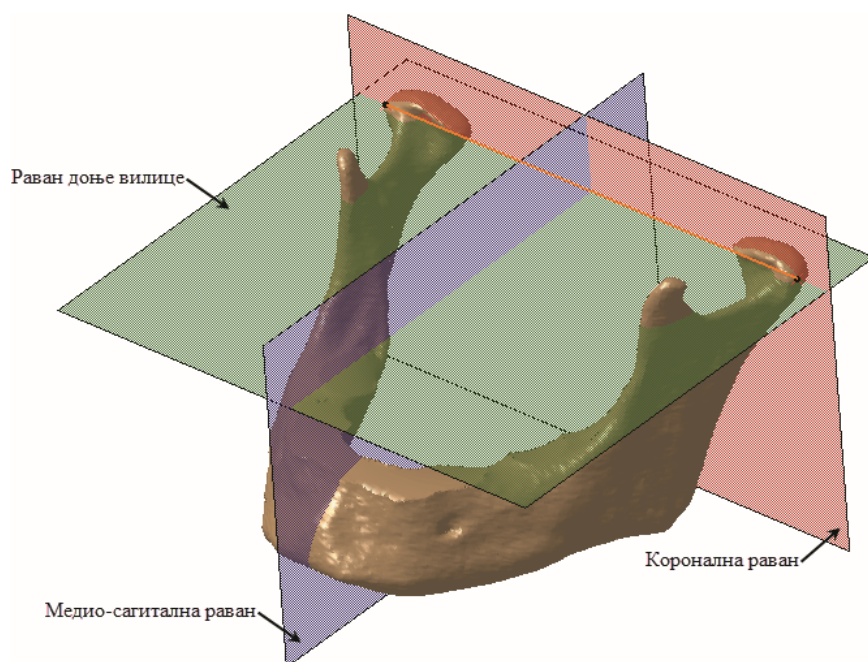
Сплет асоцијација Реверзно-Моделирање-Тела-Доње-Вилице-1 садржи опис поступка креирања криве линије простирања запремине тела доње вилице, док сплет асоцијација Реверзно-Моделирање-Тела-Доње-Вилице-2 садржи опис поступка креирања површинског модела тела доње вилице.

5.5.1 Генерисање првог дела поступка реверзног моделирања тела бутне кости

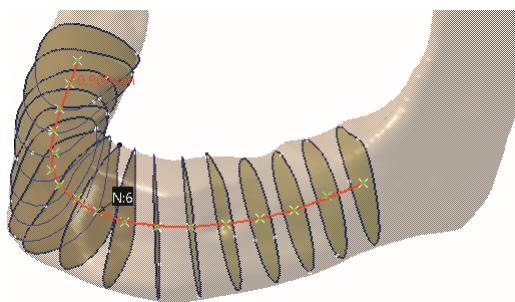
Приликом реверзног моделирања тела доње вилице се за параметар *Spine* („кичма“) *Multi Sections Surface* геометријског техничког елемента, уз помоћ кога се добија површински модел тела доње вилице, бира *крива линија простирања запремине тела доње вилице*. Ова крива линија се добија *методом тежишта* (Vitković et al., 2012). Полазни елемент јесте пројекција криве линије простирања запремине тела доње вилице на *раван доње вилице*. Раван доње вилице је једна од карактеристичних равни приликом реверзног моделирања доње вилице (слика 5-65). У питању је хоризонтална раван која је паралелна са телом доње вилице и која пролази кроз најистуреније тачке глава доње вилице (слика 5-65). Полигонални модел тела доње вилице се пресеца равнима нормалним на пројекцију криве линије простирања запремине тела доње вилице чиме се добијају попречни пресеци тела доње вилице. За сваки од попречних пресека се проналази тежиште и од скупа тежишта се креира 3D крива линија, при чему параметар *Creation Type* (тип креирања) *3D Curve* геометријског техничког елемента има вредност *Near Points* (близу тачака). Добијена просторна крива линија представља *криву линију простирања запремине тела доње вилице* (слике 5-64 и 5-66).



Слика 5-64 Први сплет асоцијација уз помоћ којих је описан поступак реверзног моделирања тела доње вилице



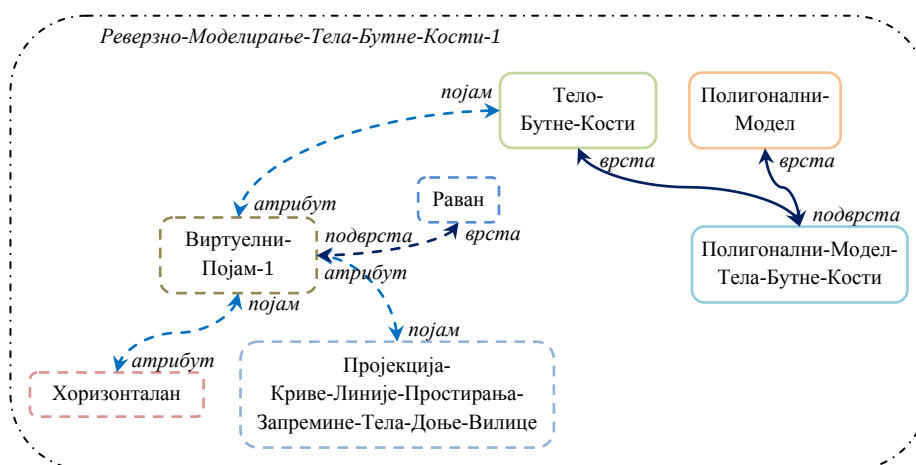
Слика 5-65 Карактеристичне равни и линије приликом реверзног моделирања доње вилице



Слика 5-66 Параметри 3D Curve геометријског техничког елемента уз помоћ кога се добија крива линија простирања запремине тела доње вилице

АСМ ће сада доградити сплет асоцијација уз помоћ кога су описане семантичке одлике геометрије тела бутне кости по узору на сплет асоцијација уз помоћ кога је описан први део поступка реверзног моделирања тела доње вилице (слика 5-64). У првом покушају се претражује семантичка мрежа АСМ-а у потрази за асоцијацијама *класификационог* (хијерархијског) типа које гради појам Тело-Бутне-Кости и у којима има улогу *врсте* или *подврсте*, или асоцијацијама *атрибутског* типа које гради исти појам и у којима има улогу *појма*. Обзиром да нису пронађене такве асоцијације прелази се на други покушај.

У другом покушају АСМ предлаже (преко виртуелног појма) кориснику креирање појма који је атрибут геометријског модела тела бутне кости, који је подврста равни, чији је атрибут „хоризонталан“, и који је атрибут појма Пројекција-Криве-Линије-Простирања-Запремине-Тела-Доње-Вилице (слика 5-67).

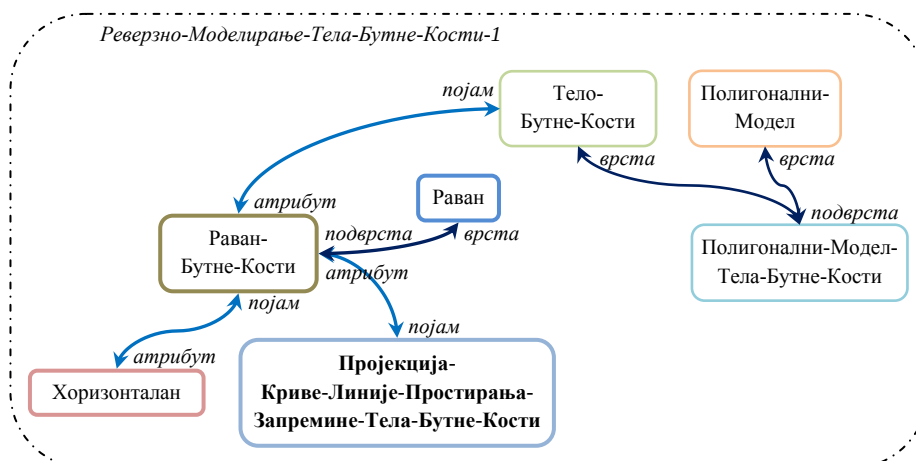


Слика 5-67 Прва итерација другог покушаја доградње првог сплета уз помоћ кога су описане семантичке одлике геометрије тела бутне кости

У наставку процеса доградње корисник именује виртуелни појам и мења назив једног од понуђених појмова (слика 5-68). На основу додатих асоцијација се може видети да геометријски модел тела бутне кости као атрибут има раван бутне кости³², која је

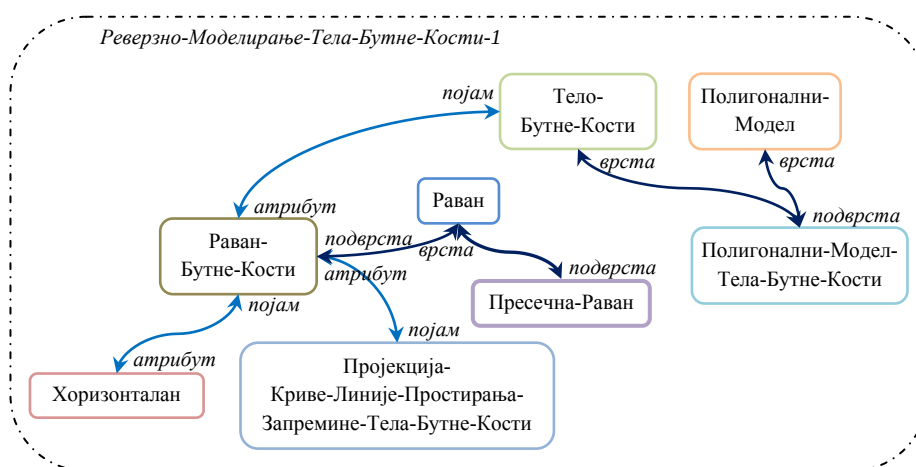
³² Корисник тренутно раван у којој се налази пројекција криве линије простирања тела бутне кости назива Раван-Бутне-Кости, а касније ће се показати да је у питању једна од карактеристичних равни приликом реверзног моделирања бутне кости.

горизонтална, и у којој се налази пројекција криве линије простирања запремине тела бутне кости.



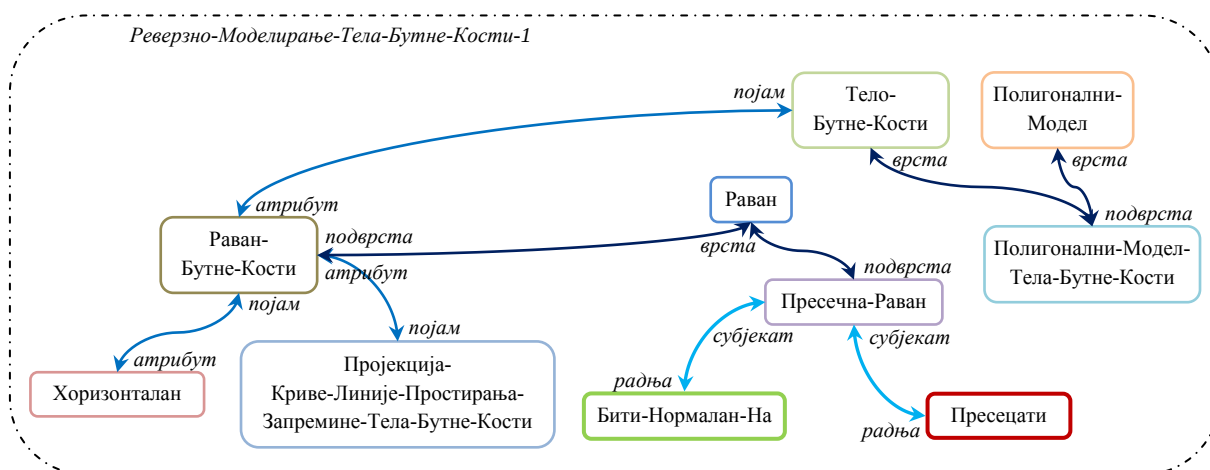
Слика 5-68 Именовање виртуелног појма и измена назива једног од понуђених појмова у оквиру прве итерације другог покушаја доградње

Након једне итерације другог покушаја се спроводи комплетан први покушај. Сада дограђен улазни сплет садржи и појам Раван који је идентичан једном од појмова узорног сплета. У првој итерацији првог покушаја АСМ предлаже да се улазни сплет догради асоцијацијама које овај појам гради у узорном сплету (слика 5-69).



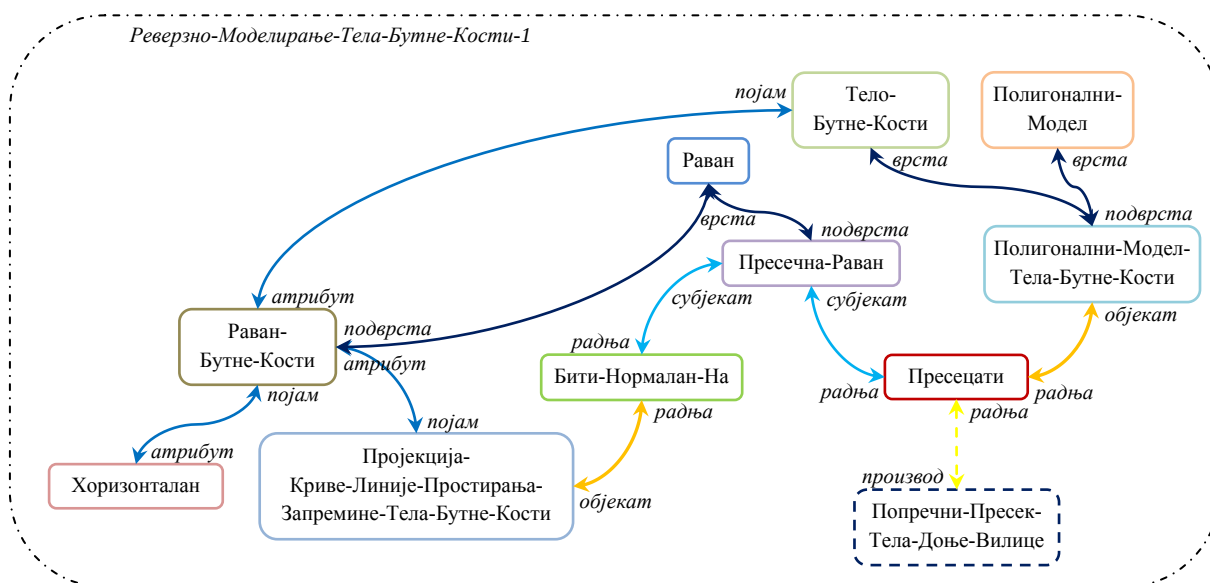
Слика 5-69 Прва итерација првог покушаја доградње првог сплета уз помоћ кога су описане семантичке одлике геометрије тела бутне кости

У другој итерацији првог покушаја АСМ поново детектује семантички близак тополошки кореспондентан појам (Пресечна-Раван) и предлаже да се улазни сплет догради асоцијацијама које овај појам гради у узорном сплету (слика 5-70).



Слика 5-70 Друга итерација првог покушаја

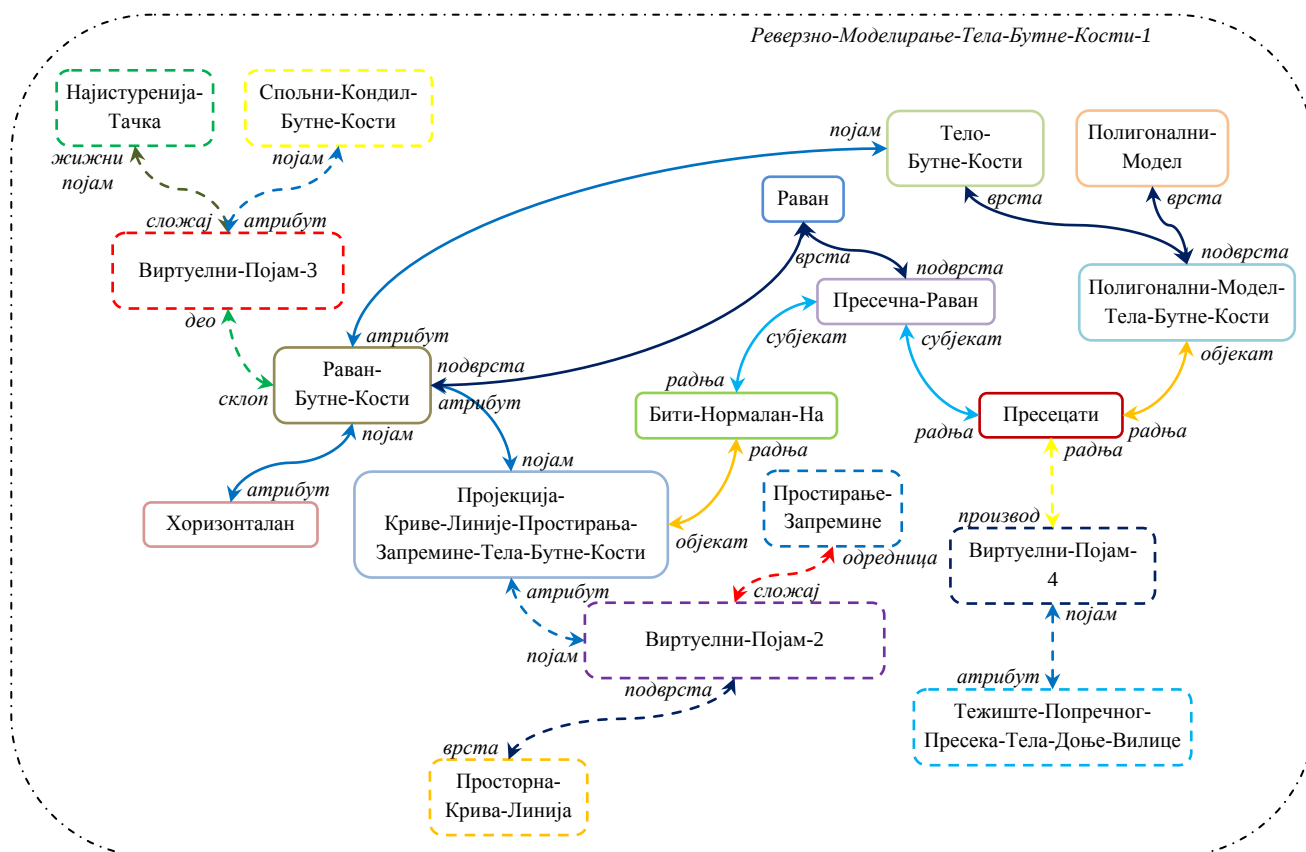
У трећој итерацији првог покушаја АСМ детектује семантички блиске тополошки кореспондентне појмове (Бити-Нормалан-На и Пресеци) и предлаже да се улазни сплет догради асоцијацијама које ови појмови граде у узорном сплету (слика 5-71). Корисник прихвата две предложене асоцијације, а једну одбија. На основу додатих асоцијација се може видети да се полигонални модел тела бутне кости пресеца пресечним равнима које су нормалне на пројекцију криве линије простирања запремине тела бутне кости.



Слика 5-71 Трећа итерација првог покушаја

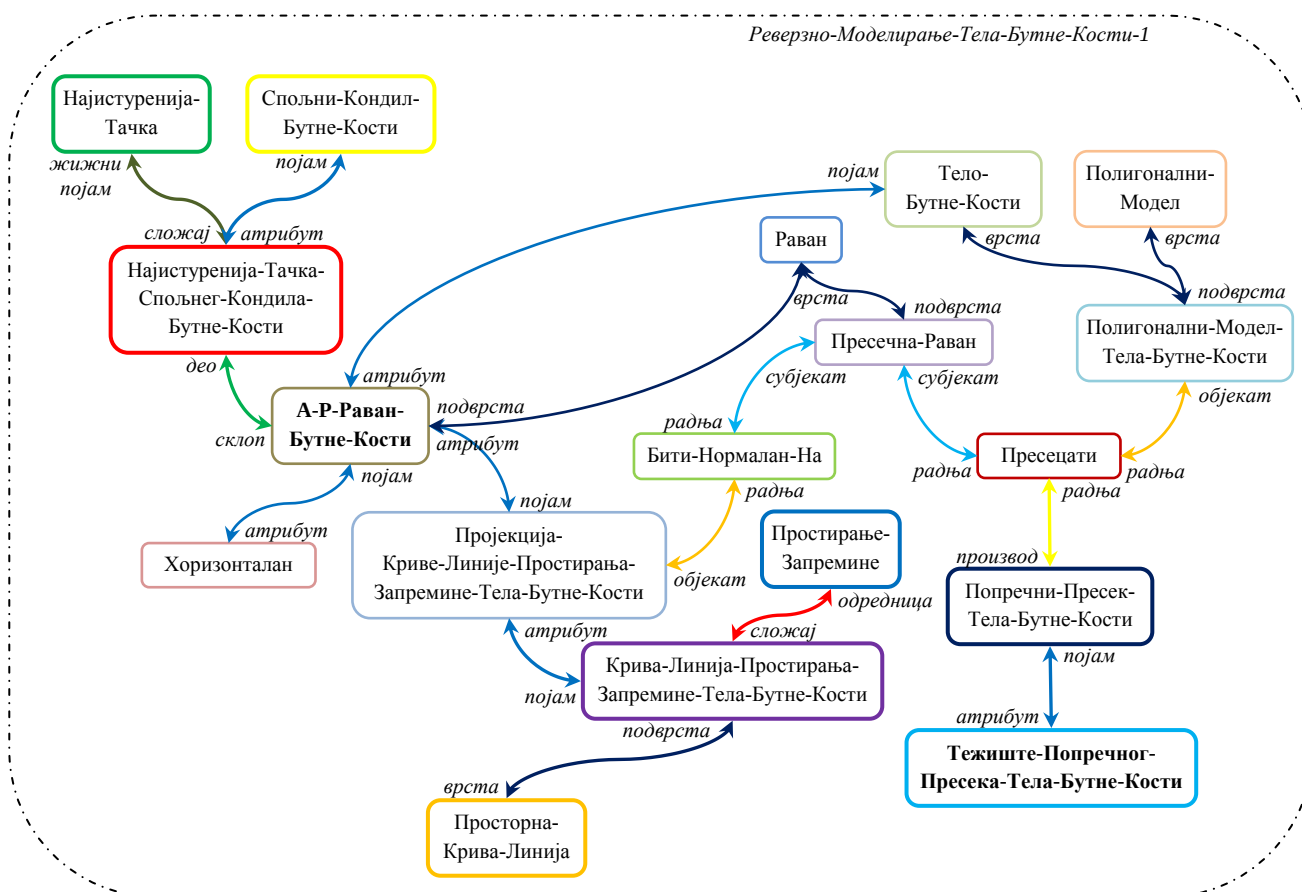
Пошто није више могуће надограђивати улазни сплет у првом покушају АСМ прелази на другу итерацију другог покушаја. Сада АСМ предлаже (преко виртуелних појмова) кориснику креирање: 1) појма чији је атрибут пројекција криве линије простирања запремине тела бутне кости, који је подврста просторне криве линије и чија је одредница појам Простирање-Запремине, 2) појма који припада равни бутне кости, чији је жижни појам Најистуренија-Тачка, и који је атрибут појма Спољни-Кондил-Бутне-Кости (на основу слике 5-58 се може видети да је појам Глава-Доње-Вилице тополошки кореспондентан појму

Спољни-Кондил-Бутне-Кости) и 3) појма који је производ радње „пресецасти“ и чији је атрибут тежиште попречног пресека тела доње вилице (слика 5-72).



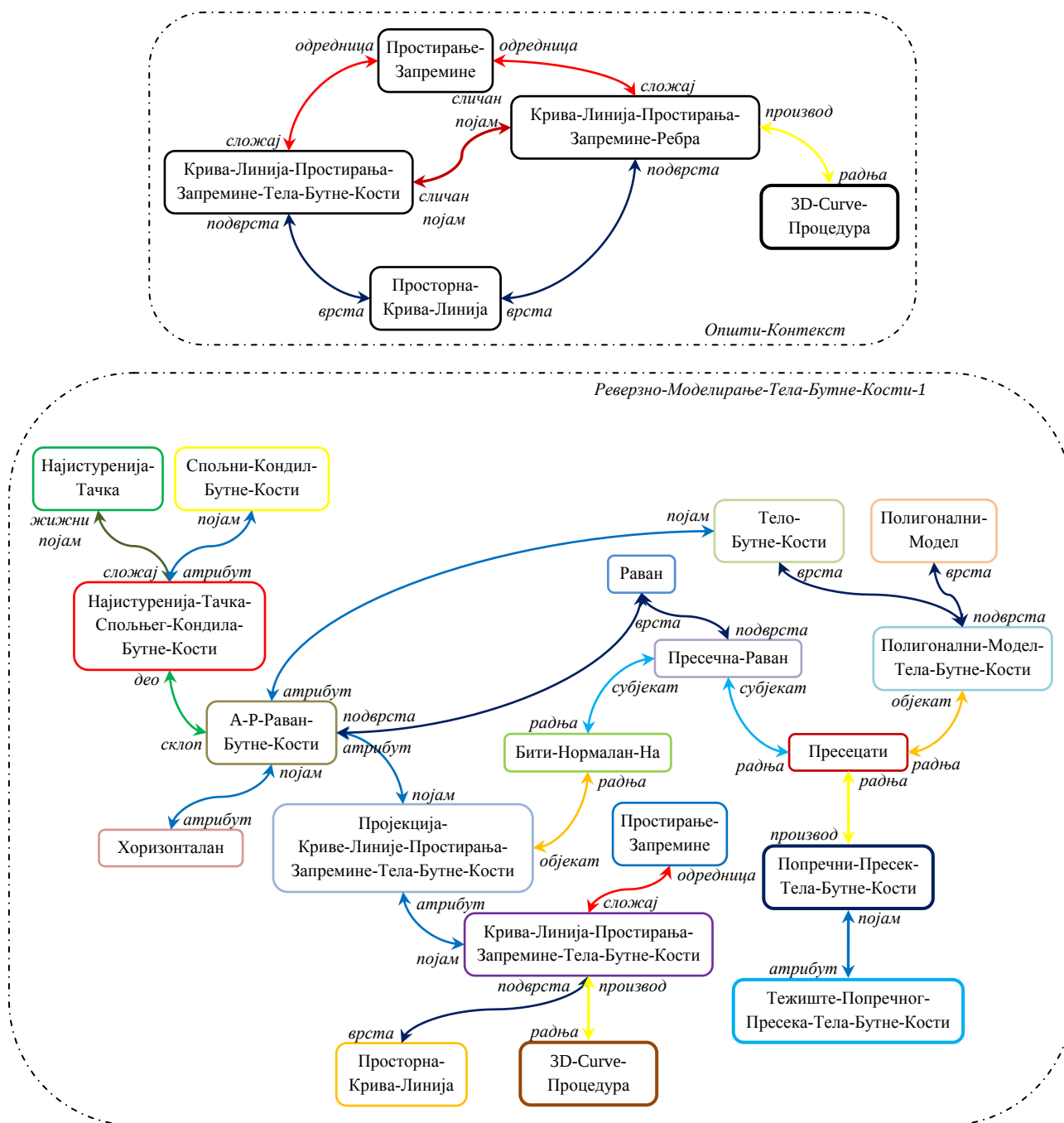
Слика 5-72 Друга итерацију другог покушаја

У наставку процеса доградње корисник именује виртуелне појмове (слика 5-73). Познато је да А-Р раван бутне кости пролази, између осталог, и кроз најистуреније тачке унутрашњег и спољњег кондила бутне кости (Stojkovic et al., 2009). Због тога корисник мења назив појма Раван-Бутне-Кости у А-Р-Раван-Бутне-Кости и након тога именује виртуелни појам 4. На основу додатих асоцијација се може видети да се пресецањем полигоналног модела тела бутне кости равнима нормалним на пројекцију криве линије простирања запремине тела бутне кости добијају попречни пресеци тела бутне кости.



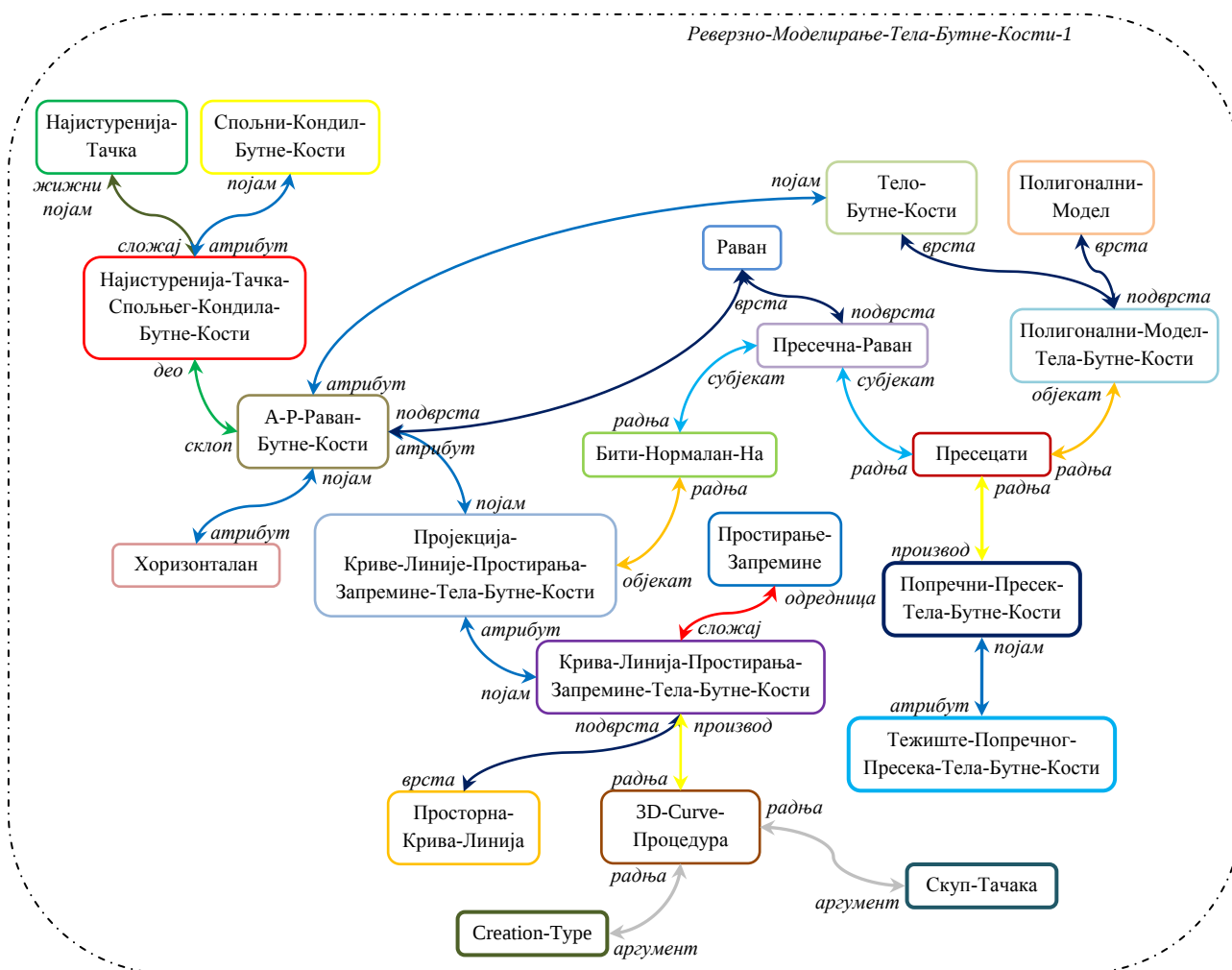
Слика 5-73 Друга итерација другог покушаја – Именовање виртуелних појмова и измена назива понуђених појмова

Пошто није могуће даље надограђивати улазни сплет у првом покушају, АСМ прелази на трећу итерацију другог покушаја. У овој итерацији АСМ проналази појам Крива-Линија-Простирања-Запремине-Ребра који је сличан појму Крива-Линија-Простирања-Запремине-Тела-Бутне-Кости, а који гради асоцијацију типа *Производ-Радња* која је тополошки кореспондентна асоцијацији између појмова Крива-Линија-Простирања-Запремине-Тела-Доње-Вилице и 3D-Curve-Процедура (слика 5-74 (горе)). АСМ предлаже да се сплет асоцијација догради том асоцијацијом (слика 5-74 (доле)).



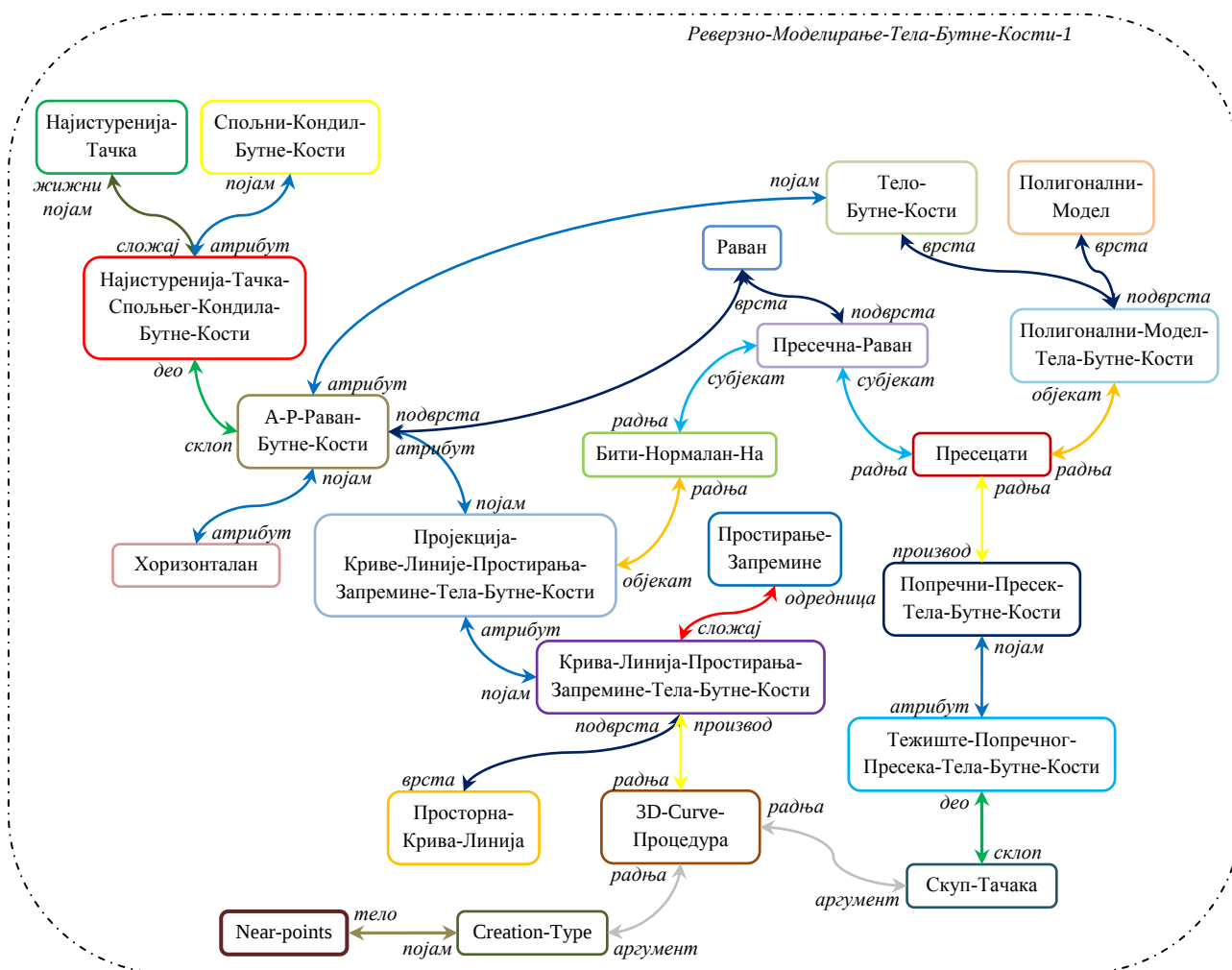
Слика 5-74 Трећа итерација другог покушаја

У четвртој итерацији првог покушаја АСМ детектује семантички близак тополошки кореспондентан појам (3D-Curve-Процедура) и предлаже да се улазни сплет догради асоцијацијама које овај појам гради у узорном сплету (слика 5-75).



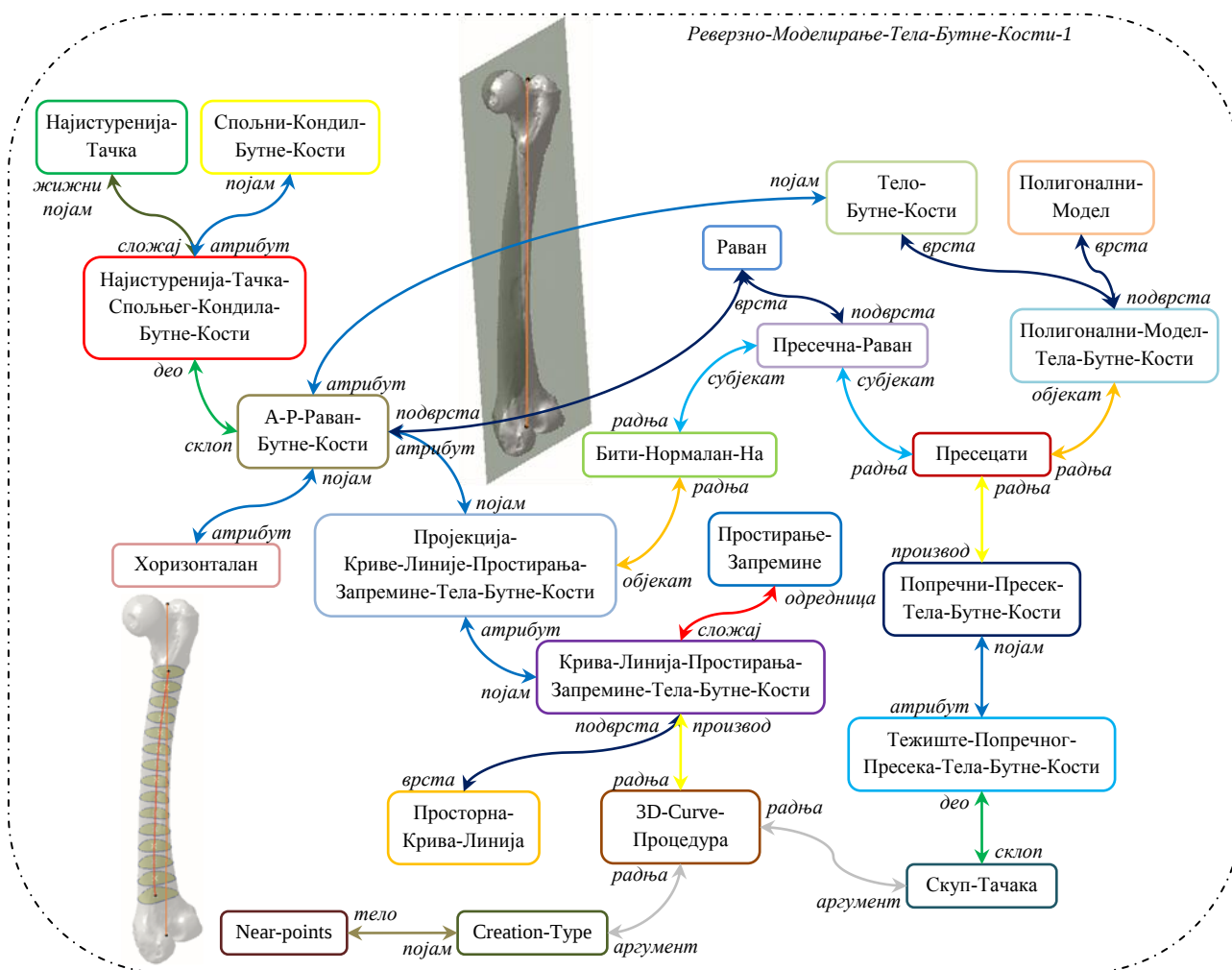
Слика 5-75 Четврта итерација првог покушаја

У петој итерацији првог покушаја АСМ детектује семантички блиске тополошки кореспондентне појмове (Скуп-Тачака и Creation-Type) и предлаже да се улазни сплет догради асоцијацијама које ови појмови граде у узорном сплету (слика 5-76). У случају асоцијације коју у узорном сплету гради појам Скуп-Тачака, се појам Тежиште-Попречног-Пресека-Тела-Доње-Вилице замењује својим тополошки кореспондентним појмом у узорном сплету (Тежиште-Попречног-Пресека-Тела-Бутне-Кости).

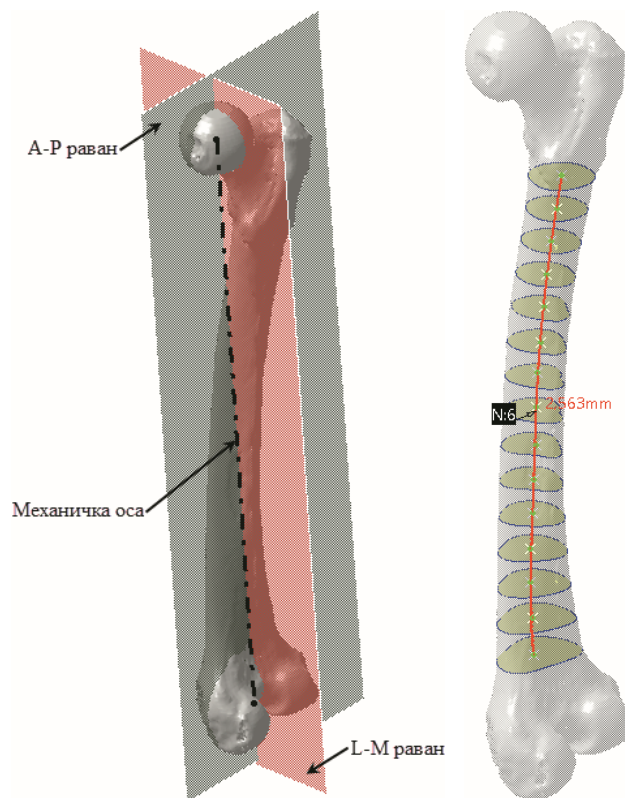


Слика 5-76 Пета итерација првог покушаја

На сликама 5-77 и 5-78 су приказани тополошки аналогни сплетови – делови контекста Реверзно-Моделирање-Бутне-Кости и Реверзно-Моделирање-Доње-Вилице.



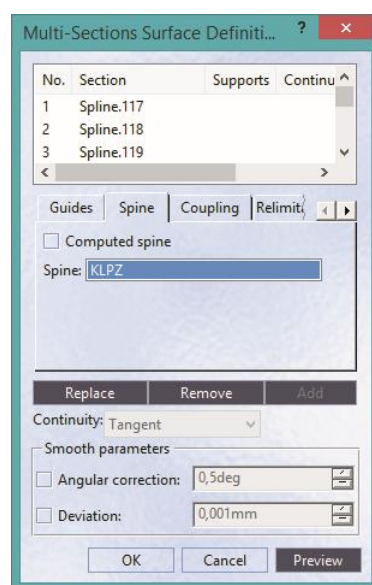
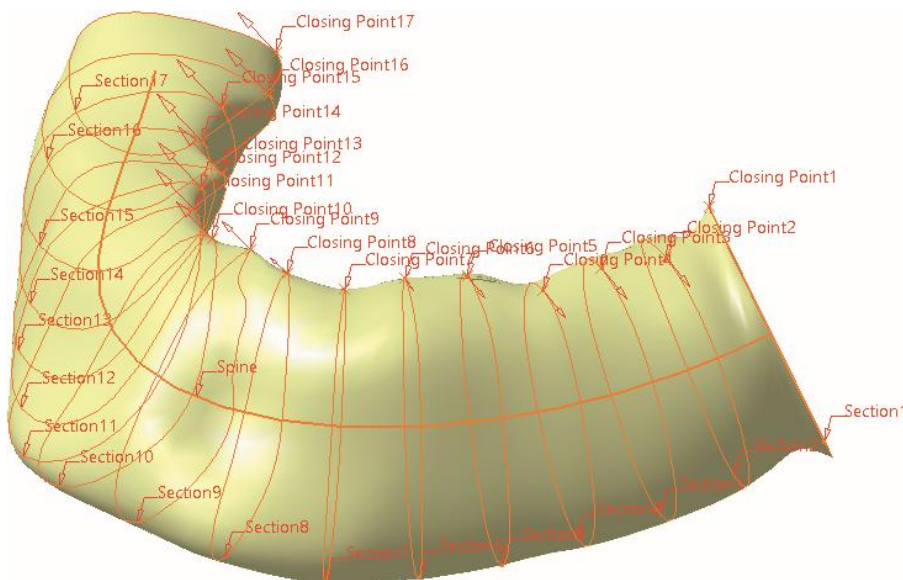
Слика 5-77 Сплет асоцијација уз помоћ кога је описан први део поступка реверзног моделирања тела бутне кости



Слика 5-79 Карактеристичне равни приликом реверзног моделирања бутне кости (лево). Параметри 3D Curve геометријског техничког елемента уз помоћ кога се добија крива линија простирања запремине тела бутне кости (десно).

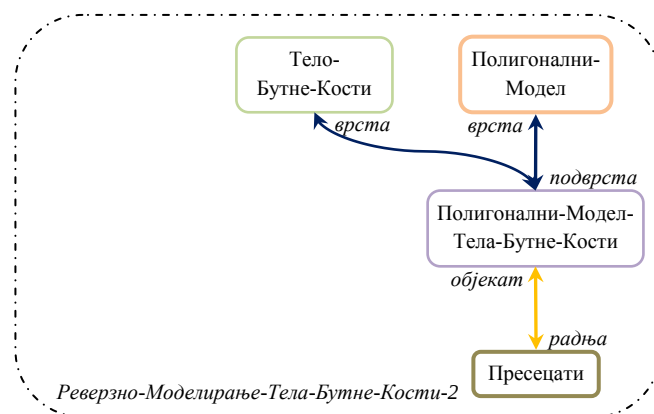
5.5.2 Генерисање другог дела поступка реверзног моделирања тела бутне кости

У даљем току поступка реверзног моделирања тела доње вилице се полигонални модел тела доње вилице пресеца равнима нормалним на криву линију простирања запремине тела доње вилице. На добијеним граничним кривим линијама попречног пресека тела доње вилице се креирају тачке, а затим се од тих тачака креирају *spline* криве линије. Коначно се површински модел тела доње вилице добија уз помоћ *Multi Sections Surface* геометријског техничког елемента, при чему се за параметар *Spine* бира крива линија простирања запремине тела доње вилице, док се креиране *spline* криве линије бирају као пресеци (*Sections*) (слике 5-80 и 5-81).



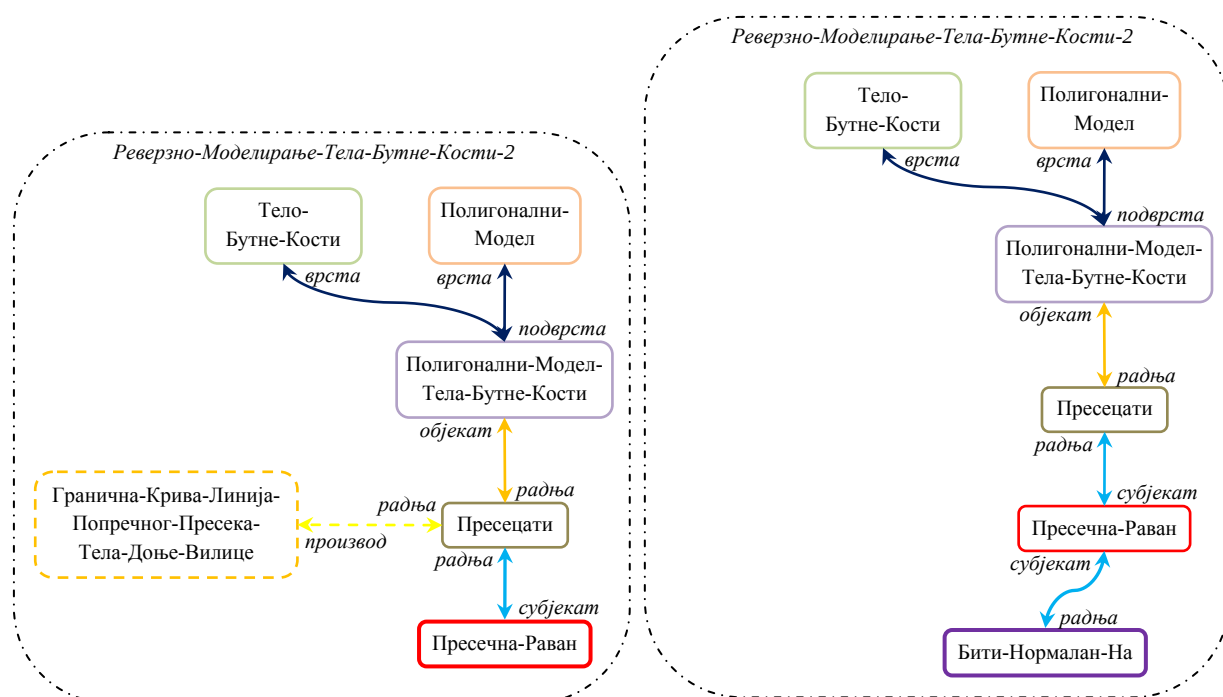
Слика 5-81 Параметри *Multi Sections Surface* геометријског техничког елемента уз помоћ кога се добија површински модел тела доње вилице

АСМ ће сада доградити сплет асоцијација уз помоћ кога су описане семантичке одлике геометрије тела бутне кости по узору на сплет асоцијација уз помоћ кога је описан други део поступка реверзног моделирања тела доње вилице (слика 5-80). У првој итерацији првог покушаја доградње се претражује семантичка мрежа АСМ-а у потрази за асоцијацијама типа *Радња-Објекат* које гради појам Полигонални-Модел-Тела-Бутне-Кости и у којима има улогу *објекта*. Ова асоцијација се може наћи у претходно дограђеном сплету асоцијација, па АСМ дограђује сплет асоцијација Реверзно-Моделирање-Тела-Бутне-Кости-2 асоцијацијом типа *Радња-Објекат* између појмова Полигонални-Модел-Тела-Бутне-Кости и Пресеци (слика 5-82).



Слика 5-82 Прва итерација првог покушаја доградње сплета уз помоћ кога су описане семантичке одлике геометрије тела бутне кости

У другој итерацији првог покушаја АСМ детектује семантички близак тополошки кореспондентан појам (Пресецати) и предлаже да се улазни сплет догради асоцијацијама које овај појам гради у узорном сплету. Корисник прихвата предложену асоцијацију типа *Радња-Субјект* између појмова Пресецати и Пресечна-Раван и одбацује предложену асоцијацију типа *Радња-Производ* између појмова Пресецати и Гранична-Крива-Линија-Попречног-Пресека-Тела-Доње-Вилице (слика 5-83 (лево)).

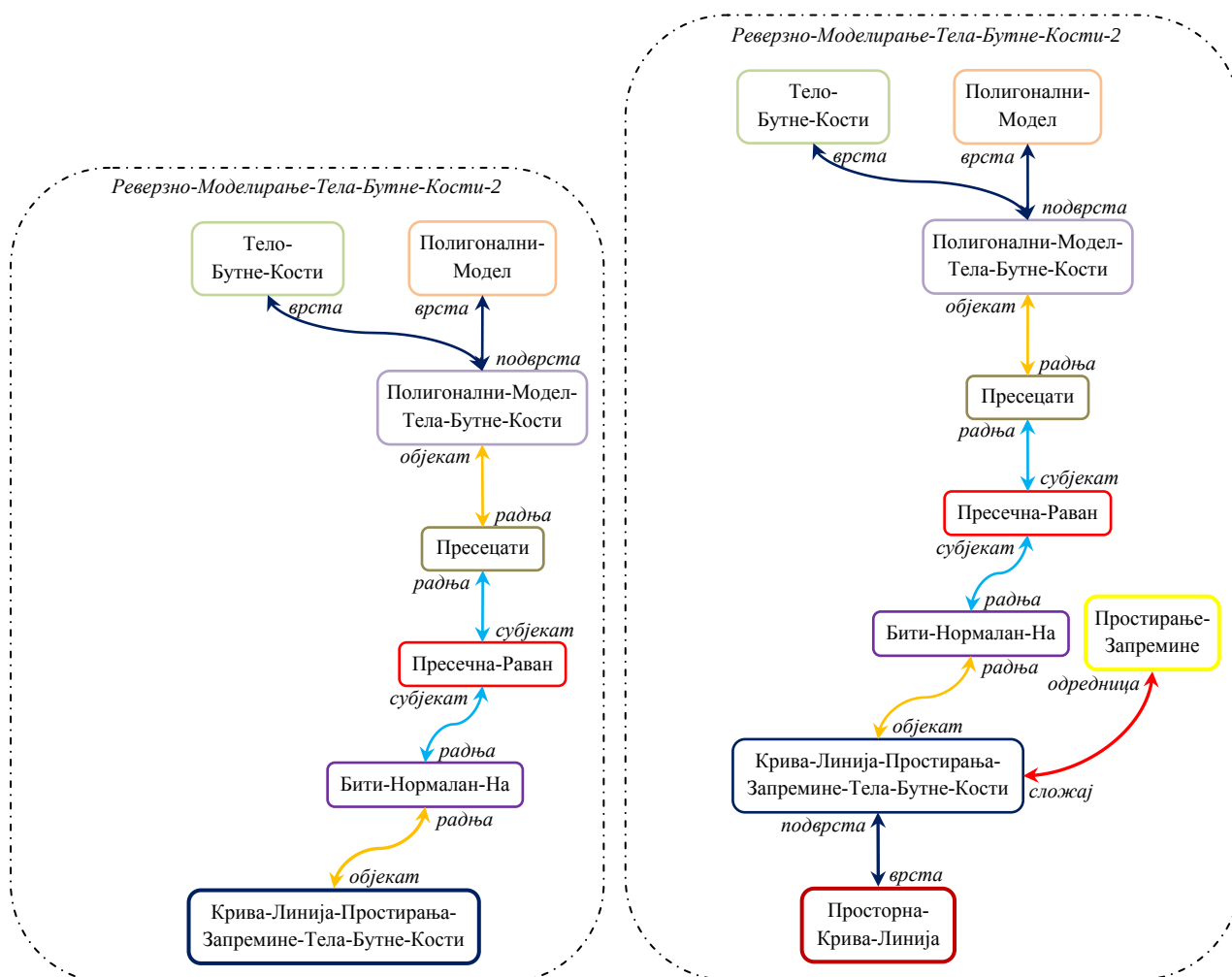


Слика 5-83 Друга (лево) и трећа (десно) итерација првог покушаја доградње

У трећој итерацији првог покушаја АСМ детектује семантички близак тополошки кореспондентан појам (Пресечна-Раван) и предлаже да се улазни сплет догради асоцијацијом коју овај појам гради у узорном сплету (слика 5-83 (десно)).

У четвртој итерацији првог покушаја АСМ детектује семантички близак тополошки кореспондентан појам (Бити-Нормалан-На) и предлаже кориснику да улазни сплет догради

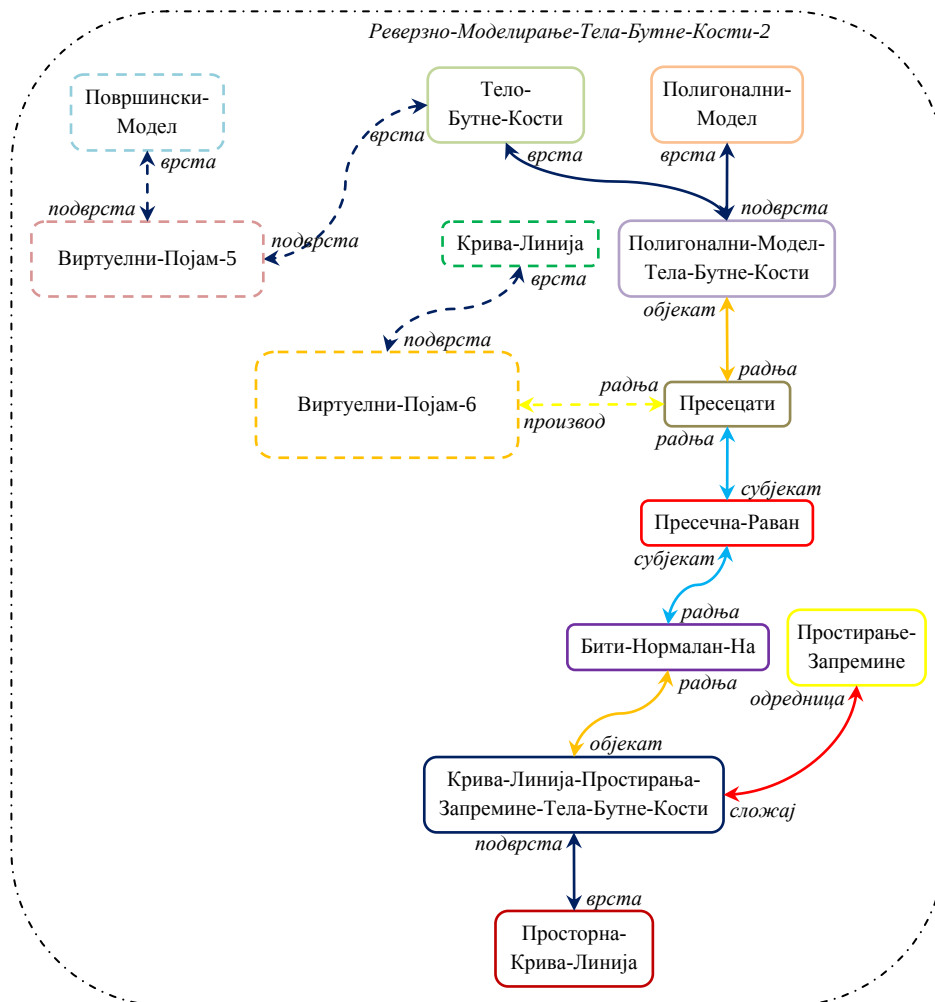
асоцијацијом коју овај појам гради у узорном сплету, с тим што се у тој асоцијацији појам Крива-Линија-Простирања-Запремине-Тела-Доње-Вилице мења својим тополошки кореспондентним појмом – Крива-Линија-Простирања-Запремине-Тела-Бутне-Кости (који је утврђен приликом доградње сплета Реверзно-Моделирање-Тела Бутне-Кости-1) (слика 5-84 (лево)).



Слика 5-84 Четврта (лево) и пета (десно) итерација првог покушаја доградње

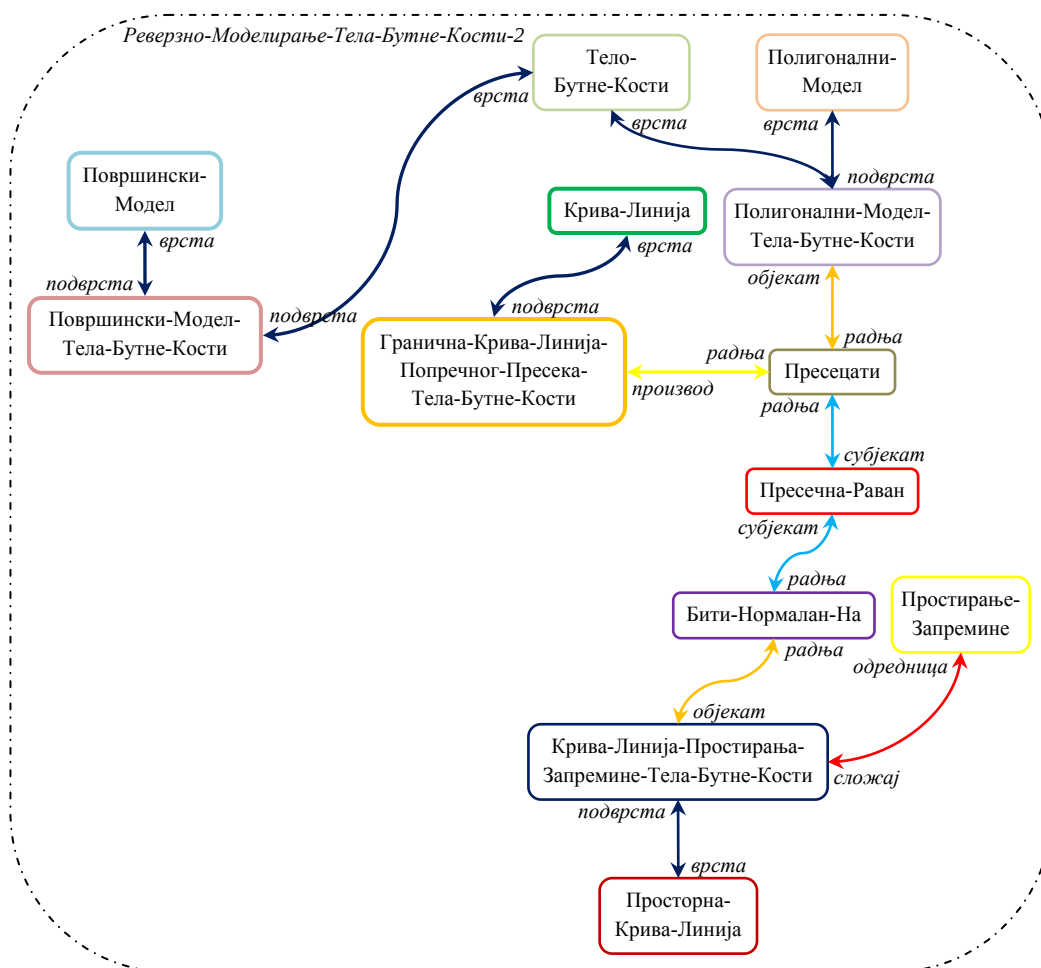
У петој итерацији првог покушаја се претражује семантичка мрежа АСМ-а у потрази за асоцијацијама *класификационог (хијерархијског)* типа које гради појам Крива-Линија-Простирања-Запремине-Тела-Бутне-Кости и у којима има улогу *подврсте*, односно асоцијацијама типа *Сложјај-Одредница* које гради исти појам и у којима има улогу *сложјаја*. Приликом доградње сплета асоцијација Реверзно-Моделирање-Тела-Бутне-Кости-1 су додате асоцијација *класификационог (хијерархијског)* типа између појмова Крива-Линија-Простирања-Запремине-Тела-Бутне-Кости и Просторна-Крива-Линија и асоцијација типа *Сложјај-Одредница* између појмова Крива-Линија-Простирања-Запремине-Тела-Бутне-Кости и Простирање-Запремине. Због тога АСМ дограђује сплет асоцијација Реверзно-Моделирање-Тела-Бутне-Кости-2 овим асоцијацијама (слика 5-84 (десно)).

Пошто није могуће даље надограђивати улазни сплет у првом покушају, АСМ прелази на прву итерацију другог покушаја. Сада АСМ предлаже (преко виртуелних појмова) кориснику креирање: 1) појма који је подврста геометријског модела тела бутне кости, и подврста површинског модела, и 2) појма који је производ радње „пресецасти“ и врста је криве линије (слика 5-85).



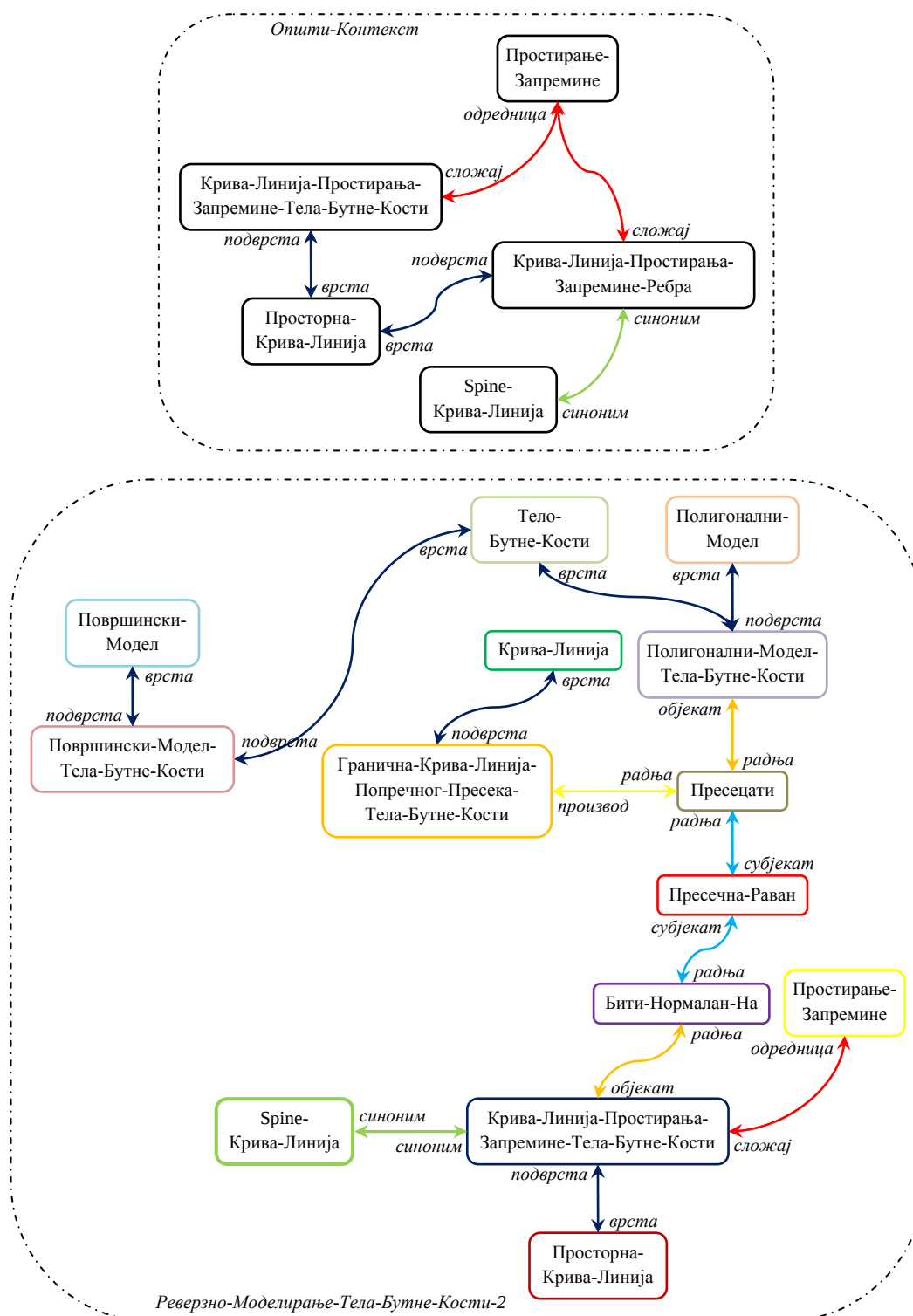
Слика 5-85 Прва итерација другог покушаја доградње

Корисник именује виртуелне појмове (слика 5-86). На основу креираних асоцијација се може видети да је додат површински модел тела бутне кости и да се пресецањем полигоналног модела тела бутне кости добија гранична крива линија попречног пресека тела бутне кости (слика 5-86).



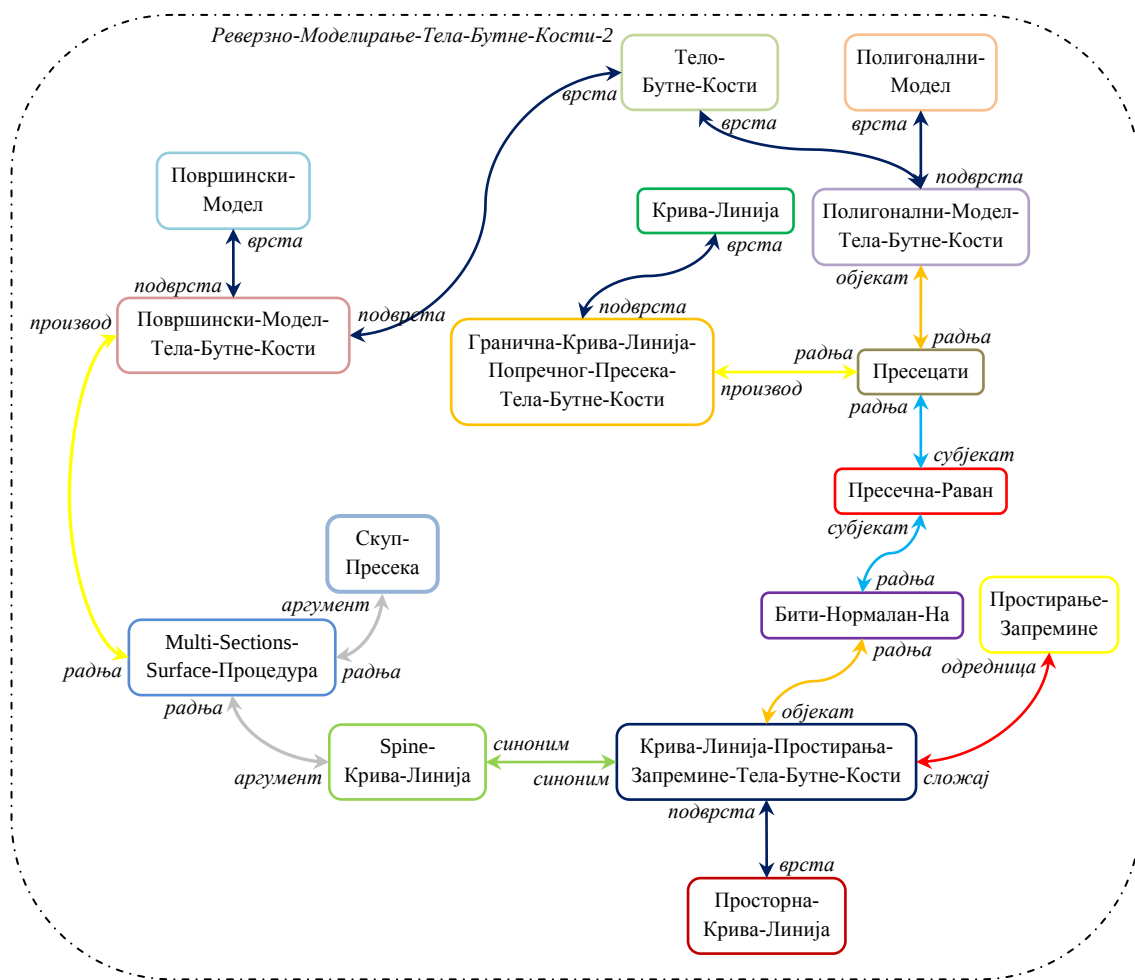
Слика 5-86 Именовање виртуелних појмова у првој итерацији другог покушаја доградње

У првом покушају АСМ не успева да пронађе у семантичкој мрежи одговарајуће асоцијације за доградњу улазног сплета, па се прелази на другу итерацију другог покушаја. Анализом асоцијација у општем контексту се може доћи до закључка да је појам Крива-Линија-Простирања-Запремине-Тела Бутне-Кости *сличан* појму Крива-Линија-Простирања-Запремине-Ребра (имају асоцијације најмање истог типа ка везним појмовима (Просторна-Крива-Линија и Простирање-Запремине)) (слика 5-87 (горе)). Појам Крива-Линија-Простирања-Запремине-Ребра гради асоцијацију *синонимског* типа која је тополошки кореспондентна асоцијацији између појмова Крива-Линија-Простирања-Запремине-Тела Доње-Вилице и Spine-Крива-Линија, па улазни сплет бива дограђен асоцијацијом *синонимског* типа између појмова Крива-Линија-Простирања-Запремине-Тела Бутне-Кости и Spine-Крива-Линија (слика 5-87 (доле)).

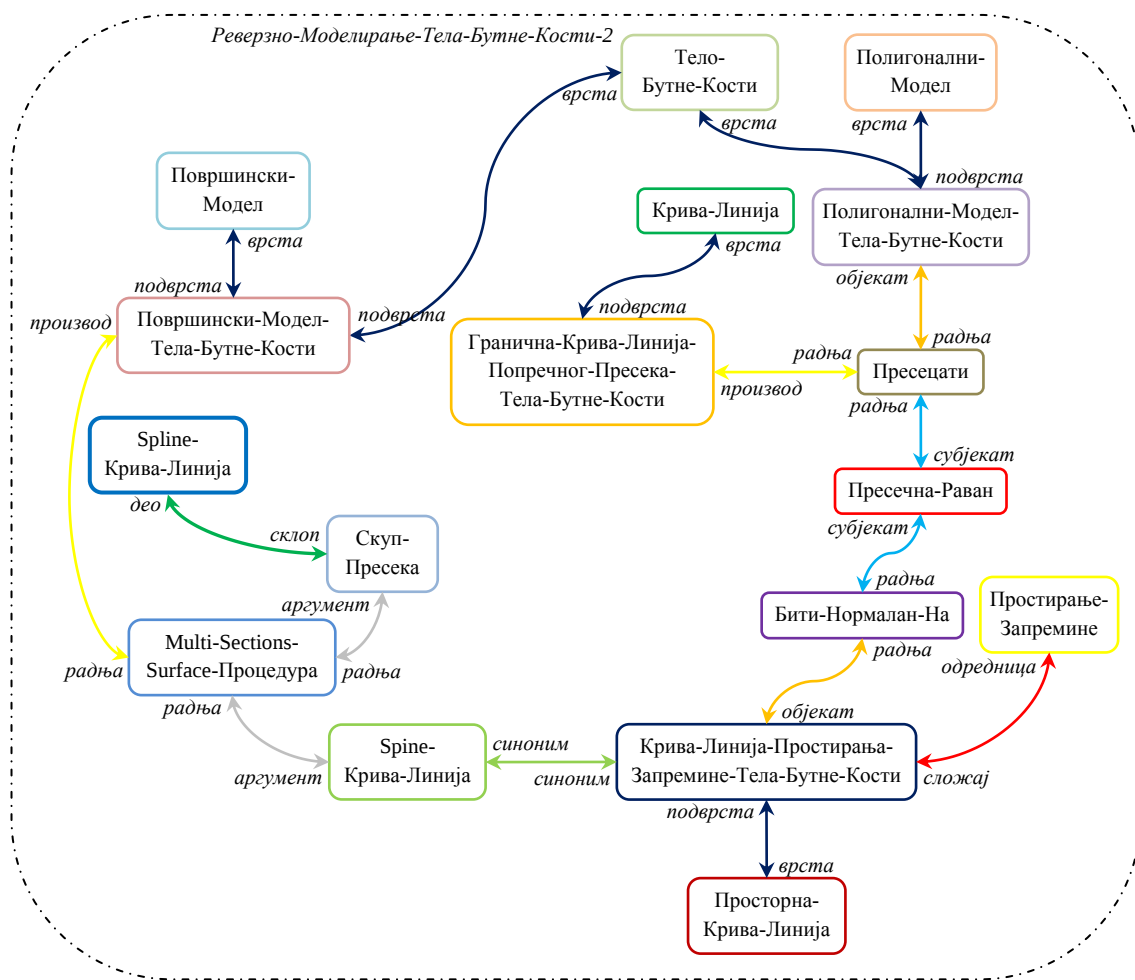


Слика 5-87 Друга итерација другог покушаја доградње: на основу утврђене сличности појмова у општем контексту (горе) се врши доградња улазног сплета (доле)

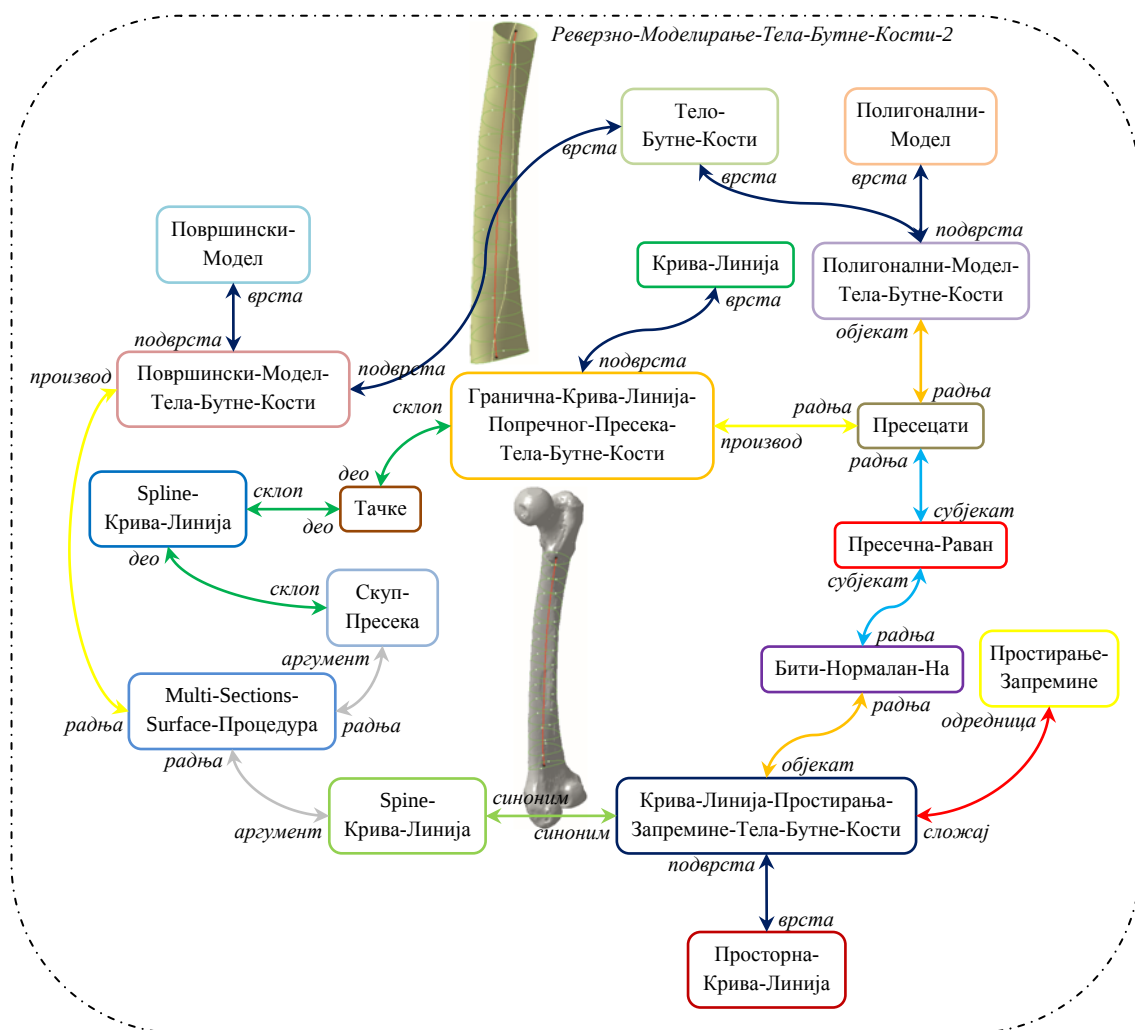
У шестој (слика 5-88), седмој (слика 5-89), осмој (слика 5-90), деветој (слика 5-91) и десетој (слика 5-92) итерацији првог покушаја АСМ коначно, на основу детектованих семантички блиских тополошки кореспондентних појмова улазног и узорног сплета асоцијација, завршава доградњу улазног сплета асоцијација.



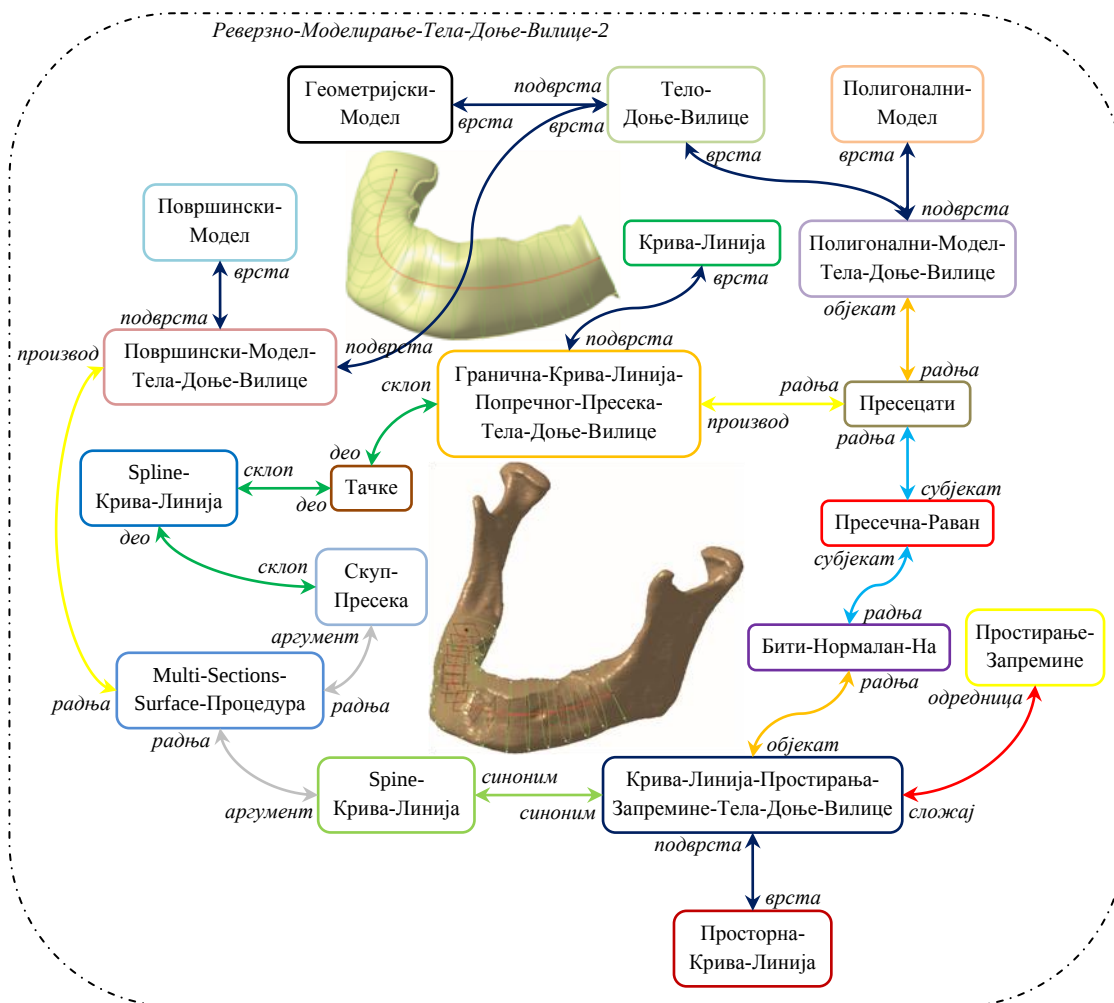
Слика 5-89 Седма итерација првог покушаја доградње



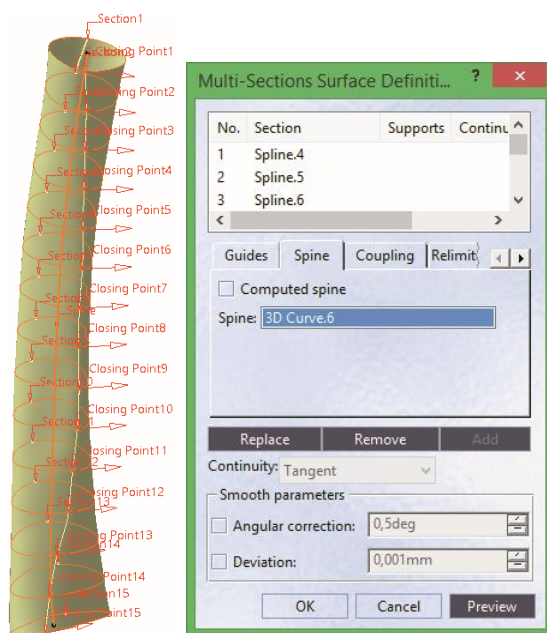
Слика 5-90 Осма итерација првог покушаја доградње



Слика 5-93 Сплет асоцијација уз помоћ кога је описан други део процедуре реверзног моделирања тела бутне кости



Слика 5-94 Сплет асоцијација уз помоћ кога је описан други део процедуре реверзног моделирања тела доње вилице



Слика 5-95 Параметри Multi-Sections-Surface геометријског техничког елемента уз помоћ кога се добија површински модел тела бутне кости

6. Завршно разматрање резултата и закључак

Основни резултат истраживања јесте нови приступ геометријском моделирању објеката са елементима слободне форме који подразумева коришћење КВЕ додатка САД систему, ради пружања подршке кориснику приликом геометријског моделирања, односно реверзног инжењеринга. Приступ подразумева коришћење оригиналне семантичке мреже – *Активног Семантичког Модела* (АСМ-а) – за описивање семантичких одлика геометрије објекта са елементима слободне форме који је потребно пројектовати или реверзно моделирати, а у циљу пружања подршке кориснику приликом ових активности. Сама семантичка мрежа садржи описе неких претходно разматраних објеката из различитих домена, заједно са придруженим процедурама за њихово пројектовање или реверзно моделирање. Једна од најбитнијих одлика АСМ-а је способност да *активно* користи значење које је уграђено у структуру семантичке мреже. Другим речима, АСМ користи и интерпретира значење о појмовима и њиховим значењским везама у циљу стварања *одговора*. У случају новог објекта са елементима слободне форме *одговор* који се жели добити јесте које геометријске техничке елементе треба користити за пројектовање или реверзно моделирање истог и како их треба компоновати. Основна идеја приступа јесте да се коришћењем значења уграђеног у структуру мреже утврди сличност сплета асоцијација којим је описан актуелни објекат са једним или више сплетова асоцијација којима су описани претходно разматрани објекти, и да се затим изврши преношење (трансфер) знања, односно поступка пројектовања или реверзног моделирања претходно разматраног објекта на актуелни објекат. Ваљаност приступа је потврђена на примеру реверзног моделирања костију човека.

Структура АСМ-а није прилагођена неком конкретном домену и може се користити за представљање знања из различитих области. Знање из неког конкретног домена се представља уз помоћ посебног контекста (или више посебних контекста). Семантичке релације између контекста омогућавају примену знања из једног контекста у другим контекстима. АСМ такође омогућава коришћење општег знања. Ова врста знање је представљена у општем контексту. Све асоцијације из посебних контекста се придодају (обично са различитим вредностима параметара асоцијације) општем контексту. На овај начин општи контекст представља слој који повезује све посебне контексте и окупља њихове асоцијације, што омогућава процену сличности између појмова из различитих домена. Корисник такође може директно додавати асоцијације општем контексту. Ситуације проблема (случајеви) у АСМ-у су представљене преко сплетова асоцијација (скупова асоцијација између појмова) и одговарају по типу структурираним случајевима код CBR система.

Други, са становишта научног доприноса, још значајнији резултат јесте надоградња АСМ-а која је обухватила развој нових и унапређење постојећих алгоритама семантичке интерпретације података.

Приликом проналажења сличних случајева, структурна сличност сплетова асоцијација и семантичка сличност (површинска (спољашња) сличност) њихових одговарајућих појмова се процењују истовремено (симултано), док се код многих CBR приступа ово ради секвенцијално. Овај процес је базиран на развијеном алгоритму за поклапање графова, који је прилагођен структури АСМ-а. Пронађени слични случајеви (сплетови асоцијација) су тополошки аналогни новом (улазном) сплету асоцијација, при чему се тежи да што већи број њихових тополошки кореспондентних појмова буду семантички блиски (исти појмови, или појмови који су слични, синоними или повезани преко низа који се састоји од максимално четири асоцијације). Ова семантичка блискост се утврђује анализирањем сличности асоцијација између појмова, које је знатно олакшано чињеницом да је знање у АСМ-у садржано у асоцијацијама између појмова. Корисник одлучује који ће од пронађених тополошки аналогних сплетова асоцијација бити коришћен као узорни за процедуру доградње. Ова одлука је потпомогнута информацијама у вези семантичке блискости сваког од пронађених тополошки аналогних сплетова са улазним сплетом. Приступ у коме се користе сличности, а не само једнакост, између асоцијација и појмова, омогућава АСМ-у да реагује на семантички релевантан начин у случајевима када не постоји унапред предвиђен улаз (унапред предвиђен објекат са елементима слободне форме).

У оквиру истраживања је развијен алгоритам за проналажење максималних заједничких подграфова у семантичкој мрежи која се састоји од много усмерених мултиграфова са јединственим ознакама чворова. Проналазе се максимални заједнички подграфови улазног графа и графа који представља остатак семантичке мреже (алгоритам такође може да истовремено проналази максимални заједнички подграф улазног графа и сваког од графова у остатку семантичке мреже). Алгоритам је прилагођен специфичној структури графова који представљају делове семантичке мреже (на пример, ивице графа су означене са више атрибута при чему се неки од њих односе на чворове графа који су повезани ивицом), као и изабраном систему за складиштење података. Алгоритам је такође прилагођен специфичним критеријумима за проналажење максималног заједничког подграфа (који су директно повезани са критеријумима за утврђивање тополошке аналогije између делова семантичке мреже). Имплементирани су механизми за сужавање простора претраживања, при чему постоје могућности за даља унапређења по овом питању.

Проблему адаптације решења је посвећена велика пажња код АСМ-а. Доградња новог сплета асоцијација, то јест адаптација решења сличног случаја, се врши полуаутоматски

(нове асоцијације се нуде кориснику, а он може да их прихвати или одбаци) на основу остатка контекста чији подскуп је препознат као тополошки аналоган сплет улазном сплету асоцијација, а кога је корисник изабрао као узорни за доградњу. Изабрани сплет асоцијација може бити семантички близак (закључивање на основу случајева) или семантички удаљен (закључивање по аналогiji). Основна идеја јесте доградити нови сплет асоцијација до контекста који ће бити тополошки аналоган контексту чији је подскуп изабрани тополошки аналоган сплет асоцијација. Тополошки параметри асоцијација за адаптирано решење и њихова структура су познати. Изазов је пронаћи одговарајуће појмове кандидате. У овој ситуацији АСМ претражује целу семантичку мрежу у потрази за одговарајућим асоцијацијама, ослањајући се на процену семантичке сличности појмова. Процедура доградње, дакле, може бити базирана на семантички блиским или семантички удаљеним тополошки аналогним сплетовима асоцијација, док се адаптација решења врши анализирањем остатка семантичке мреже, то јест свих претходних случајева из свих домена.

Развијена AcSeMod програмска апликација се може категоризовати као систем опште намене базиран на знању, са имплементираним механизмом закључивања на основу случајева / закључивања по аналогiji (CBR/ABR механизмом). Посебна пажња приликом развоја апликације је посвећена креирању корисничког интерфејса који је у максималној могућој мери једноставан, а истовремено је интуитиван, нуди прегледност и омогућава дефинисање великог броја параметара бирањем малог броја опција (један од примера су *фразе*). Ова апликација је нарочито погодна за давање одговора на непредвиђене улазе, због чега је и тестирана у домену слободних форми.

Као што је показано, АСМ нуди оригиналан приступ реализацији CBR-а/ABR-а у семантичкој мрежи. Језгро процеса јесте семантичка интерпретација података која се врши путем процедуре доградње сплетова асоцијација, а која је пак базирана на утврђивању сличности сплетова асоцијација. Утврђивање сличности сплетова асоцијација се врши препознавањем тополошке аналогije између истих.

Резултати тестирања показали су да употреба семантичких структура АСМ-а и придружених процедура когнитивне обраде података пружа могућност да се изврши семантичка категоризација и интерпретација геометријских и функционалних одлика објеката са елементима слободне форме. Такође, АСМ је показао да је у стању да аутономно ствара одговоре (конкретно поступак реверзног моделирања) у условима унапред недефинисаних улазних пакета података (каква је ситуација у којој се као улаз разматра објекат са елементима слободне форме).

Резултати примене семантичких модела у пројектовању и реверзном моделирању слободних форми демонстрирају изузетан потенцијал и још једном потврђују актуелност

истраживања у овој области. Примена АСМ-а за моделирање семантичких одлика геометрије слободних форми је показала да је могуће аутоматизовати семантичку интерпретацију јединствених, сложених и непредвидивих форми, на бази семантички блиских или удаљених аналогича. На тај начин се ствара могућност аутоматизације избора и компоновања геометријских техничких елемената ради ефикасног креирања/реконструкције геометријског модела објекта са елементима слободне форме, и коначно помаже дизајнеру да одлучи којим „путем да крене“ приликом пројектовања или реверзног моделирања истих. Изнад свега, могућност аутоматске семантичке интерпретације семантичких одлика геометрије објекта отвара нове правце за развој CAD али и свих других САх апликација.

Један од праваца интензивног ангажовања у развоју АСМ-а може бити усмерен на развој интуитивног интерфејса који ће омогућити повезивање других програмских апликација из разних области са АСМ-ом, обзиром да је интуитивност интерфејса код модела попут АСМ-а од пресудног значаја за њихов будући „живот“ и развој.

У погледу допуне функционалности АСМ-а, посебно се издваја потреба за развојем структурних елемената за уградњу и семантичку категоризацију догађаја, то јест контекста који се нижу један за другим у временском следу дискретних временских секвенци. Оваква врста структура би имала велики значај за примену АСМ-а код система за семантичку интерпретацију сложених контекста где временска димензија има незаобилазну семантичку вредност. Такође, у ову групу изазова спада даљи развој поступака за стварање хеуристика и бистрење или кристализацију знања, као и аутоматизација претварања искуства у вези са донетим закључцима (потеклим из аналогича) у логичке и математичке формализме.

7. Литература

- Aamodt, A., & Plaza, E. (1994). Case-Based Reasoning: Foundational Issues, Methodological Variations, and System Approaches. *AI Communications*, 7 (1), 39-59.
- Aho, A.V., Hopcroft, J.E., & Ullman, J.D. (1974). *The Design and Analysis of Computer Algorithms*. Boston, MA, United States: Addison Wesley.
- AnatomyExpert: <http://www.anatomyexpert.com/>
- Anderson, J.R. (1983). *The Architecture of Cognition*. Mahwah, NJ, United States: Lawrence Erlbaum Associates.
- Balas, E., & Yu, C.S. (1986). Finding a Maximum Clique in an Arbitrary Graph. *SIAM Journal on Computing*, 15 (4), 1054-1068.
- Barioni, M.C.N., Razente, H.L., Traina, A.J.M., & Traina Jr., C. (2008). Accelerating k-medoid-based algorithms through metric access methods. *Journal of Systems and Software*, 81 (3), 343-355.
- Bartlett, F.C. (1932). *Remembering: A Study in Experimental and Social Psychology*. Cambridge, United Kingdom: Cambridge University Press.
- Batet, M., Sanchez, D., & Valls, A. (2011). An ontology-based measure to compute semantic similarity in biomedicine. *Journal of Biomedical Informatics*, 44 (1), 118-125.
- Baxter, D., Gao, J., Case, K., Harding, J., Young, B., Cochrane, S., & Dani S. (2007). An engineering design knowledge reuse methodology using process modelling. *Research in Engineering Design*, 18 (1), 37-48.
- Begum, S., Ahmed, M.U., Funk, P., Xiong, N., & Scheele, B.V. (2009). A case-based decision support system for individual stress diagnosis using fuzzy similarity matching. *Computational Intelligence*, 25 (3), 180-195.
- Bergmann, R., Kolodner, J., & Plaza, E. (2006). Representation in case-based reasoning. *The Knowledge Engineering Review*, 20 (3), 209-213.
- Bermell-Garcia, P. (2007). *A metamodel to annotate knowledge based engineering codes as enterprise knowledge resources*. PhD Thesis, Cranfield University, School of Applied Sciences, Cranfield, United Kingdom.
- Bermell-Garcia, P., & Fan, I.S. (2008). Practitioner requirements for integrated Knowledge-Based Engineering in Product Lifecycle Management. *International Journal of Product Lifecycle Management*, 3 (1), 3-20.
- Bo, S., Li, D.X., Xuemin, P., & Huaizu, L. (2003). Scenario-based knowledge representation in case-based reasoning systems. *Expert Systems*, 20 (2), 92-99.

- Bodirsky, M., & Dalmau, V. (2006). Datalog and constraint satisfaction with infinite templates. *Proceedings of the 23rd Annual Symposium on Theoretical Aspects of Computer Science, STACS 2006*, Vol. 3884 (срр. 646-659). New York, NY, United States: Springer.
- Borner, K. (1994). Structural Similarity as Guidance in Case-Based Design. *Proceedings of the First European Workshop on Case-Based Reasoning, EWCBR-93*, Vol. 837 (срр. 197-208). Berlin, Germany: Springer.
- Brin, S., & Page, L. (1998). The anatomy of a large-scale hypertextual Web search engine. *Computer Networks and ISDN Systems*, 30 (1-7), 107-117.
- Bron, C., & Kerbosch, J. (1973). Algorithm 457 – Finding All Cliques of an Undirected Graph [H]. *Communications of the ACM*, 16 (9), 575-579.
- Bueno, R., Traina, A.J.M., & Traina Jr., C. (2007). Genetic algorithms for approximate similarity queries. *Data & Knowledge Engineering*, 62 (3), 459-482.
- Bunke, H., & Allermann, G. (1983). Inexact graph matching for structural pattern recognition. *Pattern Recognition Letters*, 1 (4), 245-253.
- Bunke, H., Jiang, X., & Kandel, A. (2000). On the Minimum Common Supergraph of Two Graphs. *Computing*, 65 (1), 13-25.
- Bunke, H., & Messmer, B.T. (1994). Similarity measures for structured representations. *Proceedings of the First European Workshop on Case-Based Reasoning, EWCBR-93*, Vol. 837 (срр. 106-118). Berlin, Germany: Springer.
- Carbonell, J.G. (1986). Derivational analogy: a theory of reconstructive problem solving and expertise acquisition. У R.S. Michalski, J.G. Carbonell, & T.M. Mitchell (Уредници), *Machine Learning: An Artificial Intelligence Approach*, Vol. 2 (срр. 371-392). Los Altos, CA, United States: Morgan Kaufmann.
- Cascarini, L. (2007). Mandibular etymologies. *British Dental Journal*, 203 (4), 209-210.
- Chakrabarti, A., Shea, K., Stone, R., Cagan, J., Campbell, M., Hernandez, N.V., & Wood, K.L. (2011). Computer-based design synthesis research: an overview. *Journal of Computing and Information Science in Engineering*, 11 (2), 021003-021010.
- Chandrasegaran, S.K., Ramani, K., Sriram, R.D., Horvath, I., Bernard, A., Harik, R.F., & Gao, W. (2013). The evolution, challenges, and future of knowledge representation in product design systems. *Computer-Aided Design*, 45 (2), 204-228.
- Chang, P.-C., Lin, J.-J., & Dzan, W.-Y. (2012). Forecasting of manufacturing cost in mobile phone products by case-based reasoning and artificial neural network models. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 23 (3), 517-531.
- Chapman, C.B., & Pinfold, M. (1999). Design engineering – a need to rethink the solution using knowledge based engineering. *Knowledge-Based Systems*, 12 (5-6), 257-267.

- Chapman, C.B., & Pinfold, M. (2001). The application of a knowledge based engineering approach to the rapid design and analysis of an automotive structure. *Advances in Engineering Software*, 32 (12), 903-912.
- Chenouard, R., Granvilliers, L., & Sebastian, P. (2009). Search heuristics for constraint-aided embodiment design. *Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing*, 23 (2), 175-195.
- Cheutet, V. (2007). 2D semantic sketcher for car aesthetic design. *Proceedings of the 5th International Conference: Integrated Design and Production Engineering, CPI2007*. Rabat, Morocco.
- Cheutet, V., Catalano, C.E., Giannini, F., Monti, M., Falcidieno, B., & Leon, J. C (2007). Semantic-based operators to support car sketching. *Journal of Engineering Design*, 18 (5), 395-411.
- Conte, D., Foggia, P., Sansone, C., & Vento, M. (2004). Thirty years of graph matching in pattern recognition. *International Journal of Pattern Recognition*, 18 (3), 265-298.
- Cooper, S., Fan, I.S., & Li, G. (2001). *Achieving Competitive Advantage through Knowledge-Based Engineering*. Cranfield, Bedfordshire, United Kingdom: Cranfield University.
- Cooper, D., & La Rocca, G. (2007). Knowledge-based Techniques for Developing Engineering Applications in the 21st Century. *Proceedings of the 7th AIAA ATIO Conference*. Belfast, Northern Ireland.
- Corallo, A., Laubacher, R., Margherita, A., & Turrise, G. (2009). Enhancing product development through knowledge-based engineering (KBE): A case study in the aerospace industry. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 20 (8), 1070-1083.
- Cordella, L.P., Foggia, P., Sansone, C., & Vento, M. (2004). A (Sub)Graph Isomorphism Algorithm for Matching Large Graphs. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 26 (10), 1367-1372.
- Cordi, V., Lombardi, P., Martelli, M., Mascardi, V. (2005). An Ontology-Based Similarity between Sets of Concepts. *Proceedings of the Workshop dagli Oggetti agli Agenti, WOA 2005* (crp. 16-21). Bologna, Italy: Pitagora Editrice.
- Curran, R., Verhagen, W.J.C., van Tooren, M.J.L., & van der Laan, T.H. (2010). A multidisciplinary implementation methodology for knowledge based engineering: KNOMAD. *Expert Systems with Applications*, 37 (11), 7336–7350.
- Davies, J., Goel, A.K., & Nersessian, N.J. (2009). A computational model of visual analogies in design. *Cognitive Systems Research*, 10 (3), 204-215.
- Davies, J., Goel, A.K., & Yaner, P.W. (2008). Proteus: Visuospatial analogy in problem solving. *Knowledge-Based Systems*, 21 (7), 636-654.

- Demirci, M.F., Shokoufandeh, A., Dickinson, D., Keselman, Y., & Bretzner, L. (2004). Many-to-Many Feature Matching Using Spherical Coding of Directed Graphs. *Lecture Notes in Computer Science*, 3021, 322-335.
- Dickinson, P.J., Bunke, H., Dadej, A., & Kraetzl, M. (2004). Matching graphs with unique node labels. *Pattern Analysis & Applications*, 7 (3), 243-254.
- Dill, S., Kumar, R., Mccurley, K.S., Rajagopalan, S., Sivakumar, D., & Tomkins, A. (2002). Self-Similarity In the Web. *ACM Transactions on Internet Technology*, 2 (3), 205-223.
- Drake, R.L., Vogl, A.W., & Mitchell, A.W.M. (2014). *Gray's Anatomy for Students, 3rd Edition*. Philadelphia, PA, United States: Churchill Livingstone (imprint of Elsevier).
- Duncker, K. (1926). A Qualitative (Experimental and Theoretical) Study of Productive Thinking (Solving of Comprehensible Problems). *Journal of Genetic Psychology*, 33 (4), 642-708.
- Elgh, F. (2008). Supporting management and maintenance of manufacturing knowledge in design automation systems. *Advanced Engineering Informatics*, 22 (4), 445-456.
- Elgh, F., & Cederfeldt, M. (2010). Documentation and Management of Product Knowledge in a System for Automated Variant Design: A Case Study. Y J. Pokojski, S. Fukuda, & J. Salwinski (Уредници), *New World Situation: New Directions in Concurrent Engineering* (стр. 237-245). London, United Kingdom: Springer-Verlag.
- Emberey, C.L., Milton, N.R., Berends, J.P.T.J., van Tooren, M.J.L., van der Elst, S.W.G., & Vermeulen, B. (2007). Application of Knowledge Engineering Methodologies to Support Engineering Design Application Development in Aerospace. *Proceedings of the 7th AIAA ATIO Conference*. Belfast, Northern Ireland.
- Erdos, P., & Renyi, A. (1959). On random graphs I. *Publicationes Mathematicae Debrecen*, 6, 290-297.
- Eshera, M.A., & Fu, K.S. (1984). A graph distance measure for image analysis. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, 14 (3), 398-408.
- Falkenhainer, B., Forbus, K.D., & Gentner, D. (1989). The Structure-Mapping Engine: Algorithm and Examples. *Artificial Intelligence*, 41 (1), 1-63.
- Fan, I.S., & Bermell-Garcia, P. (2008). International Standard Development for Knowledge Based Engineering Services for Product Lifecycle Management. *Concurrent Engineering: Research and Applications*, 16 (4), 271-277.
- Finnie, G., & Sun, Z. (2003). R5 model for case-based reasoning. *Knowledge-Based Systems*, 16 (1), 59-65.
- Forbus, K.D., Gentner, D., & Law, K. (1995). MAC/FAC: A Model of Similarity-based Retrieval. *Cognitive Science*, 19 (2), 141-205.

- Forgy, C.L. (1982). Rete: A Fast Algorithm for the Many Pattern/Many Object Pattern Match Problem. *Artificial Intelligence*, 19 (1), 17-37.
- Gentner, D. (1983). Structure-Mapping: A Theoretical Framework for Analogy. *Cognitive Science*, 7 (2), 155-170.
- Gentner, D. (1988). Analogical Inference and Analogical Access. У А. Prieditis (Уредник), *Analogica: Proceedings of the First Workshop on Analogical Reasoning* (стр. 63-88). London, United Kingdom: Pitman.
- Gentner, D. (1989). The mechanisms of analogical learning. У S. Vosniadou, & A. Ortony (Уредници), *Similarity and analogical reasoning* (стр. 199-241). New York, NY, United States: Cambridge University Press.
- Gero, J.S. (1994). Computational models of creative design processes. У T. Dartnall (Уредник), *Artificial Intelligence and Creativity* (стр. 269-281). Dordrecht, Netherlands: Kluwer Academic.
- Gick, M.L., & Holyoak, K.J. (1980). Analogical Problem Solving. *Cognitive Psychology*, 12 (3), 306-355.
- Goel, A.K. (1997). Design, analogy, and creativity. *IEEE Expert*, 12 (3), 62-70.
- Graham, P. (2004). *Hackers & Painters: Big Ideas from the Computer Age*. Sebastopol, CA, United States: O'Reilly Media.
- Grossberg, S. (1978). A Theory of Visual Coding - Memory, and Development. У E.L.J. Leeuwenberg, & H.F.J.M. Buffart (Уредници), *Formal Theories of Visual Perception* (стр. 7-26). New York, NY, United States: John Wiley & Sons.
- Gruber, T.R. (1993). A translation approach to portable ontology specifications. *Knowledge Acquisition*, 5 (2), 199-220.
- Hall, R.P. (1989). Computational approaches to analogical reasoning: a comparative analysis. *Artificial Intelligence*, 39 (1), 39-120.
- Holland, J.H., Holyoak, K.J., Nisbett, R.E., & Thagard, P.R. (1986). *Induction: Processes of Inference, Learning, and Discovery*. Cambridge, MA, United States: The MIT Press.
- Holyoak, K.J., & Koh, K. (1987). Surface and structural similarity in analogical transfer. *Memory & Cognition*, 15 (4), 332-340.
- Holyoak, K.J., & Thagard, P. (1989). A computational model of analogical problem solving. У S. Vosniadou, & A. Ortony (Уредници), *Similarity and analogical reasoning* (стр. 199-241). New York, NY, United States: Cambridge University Press.
- Holyoak, K.J., & Thagard, P. (1989). Analogical Mapping by Constraint Satisfaction. *Cognitive Science*, 13 (3), 295-355.

- Hopcroft, J.E., & Wong, J. (1974). Linear time algorithm for isomorphism of planar graphs. *Proceedings of the 6th Annual ACM Symposium on Theory of Computing* (стр. 172-184). Seattle, WA, United States.
- Hummel, J.E., & Holyoak, K.J. (1996). LISA: A Computational Model of Analogical Inference and Schema Induction. *Proceedings of the 18th Annual Conference of the Cognitive Science Society* (стр. 352-357). Mahwah, NJ, United States: Lawrence Erlbaum Associates.
- Hummel, J.E., & Holyoak, K.J. (1997). Distributed Representations of Structure: A Theory of Analogical Access and Mapping. *Psychological Review*, 104 (3), 427-466.
- Илић, А. (2011). *Сложеност алгоритама*. Ауторизовани материјал за вежбања из предмета „Дизајн и анализа алгоритама“. Универзитет у Нишу, Природно-математички факултет у Нишу, Ниш, Србија. http://www.pmf.ni.ac.rs/pmf/predmeti/7015/vezbe/slozenost_algoritama.pdf
- Irniger, C., & Bunke, H. (2001). Graph matching: filtering large databases of graphs using decision trees. *Proceedings of the 3rd IAPR TC-15 Workshop on Graph-based Representations in Pattern Recognition* (стр. 239-249). Ischia, Italy.
- Jiang, J.J., & Conrath, D.W. (1997). Semantic Similarity Based on Corpus Statistics and Lexical Taxonomy. *Proceedings of the International Conference Research on Computational Linguistics, ROCLING X* (стр. 19-33). Taipei, Taiwan: Academia Sinica.
- Keane, M.T., Ledgeway, T., & Duff, S. (1994). Constraints on Analogical Mapping: A Comparison of Three Models. *Cognitive Science*, 18 (3), 387-438.
- Kedar-Cabelli, S. (1988). Analogy – from a unified perspective. У D.H. Helman (Уредник), *Analogical Reasoning: Perspectives of Artificial Intelligence, Cognitive Science, and Philosophy*, Vol. 197 (стр. 65-103). Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic.
- Kokinov, B. (1988). Associative memory-based reasoning: How to represent and retrieve cases. У T. O'Shea, & V. Sgurev (Уредници), *Artificial Intelligence III: Methodology, Systems, Applications – Proceedings of the 3rd International Conference on Artificial Intelligence: Methodology, Systems, Applications, AIMSA '88* (стр. 51-58). Amsterdam, The Netherlands: Elsevier Science Publishers B.V.
- Kokinov, B. (1990). Associative memory-based reasoning: Some experimental results. *Proceedings of the 12th Annual Conference of the Cognitive Science Society*. Hillsdale, NJ, United States: Lawrence Erlbaum.
- Kokinov, B. (1994). A hybrid model of reasoning by analogy. У K.J. Holyoak, & J.A. Barnden (Уредници), *Advances in Connectionist and Neural Computation Theory, Vol. 2: Analogical Connections*. Norwood, NJ, United States: Ablex Publishing Corp.

- Kokinov, B. (1994). The DUAL Cognitive Architecture: A Hybrid Multi-Agent Approach. *Proceedings of the 11th European Conference on Artificial Intelligence, ECAI 94* (стр. 203-208). London, United Kingdom: John Wiley & Sons.
- Kokinov, B. (1998). Analogy is like cognition: dynamic, emergent, and context-sensitive. У K. Holyoak, D. Gentner, & B. Kokinov (Уредници), *Advances in Analogy Research: Integration of Theory and Data from the Cognitive, Computational, and Neural Sciences* (стр. 96-105). Sofia, Bulgaria, New Bulgarian University.
- Kokinov, B., Nikolov, V., & Petrov, A. (1996). Dynamics of Emergent Computation in DUAL. У A. Ramsay (Уредник), *Artificial Intelligence: Methodology, Systems, Applications – Proceedings of the 7th International Conference on Artificial Intelligence: Methodology, Systems, Applications, AIMSA '96* (стр. 303-311). Amsterdam, The Netherlands, IOS Press.
- Kokinov, B., & Yoveva, M. (1996). Context Effects on Problem Solving. *Proceedings of the 18th Annual Conference of the Cognitive Science Society*. Hillsdale, NJ, United States: Lawrence Erlbaum.
- Kolodner, J.L. (1993). *Case-Based Reasoning*. San Mateo, CA, United States: Morgan Kaufmann.
- Kolodner, J.L., Simpson Jr., R.L., & Sycara-Cyranski, K. (1985). A process model of cased-based reasoning in problem solving. *Proceedings of the 9th International Joint Conferences on Artificial Intelligence, IJCAI-85* (стр. 284-290). San Francisco, CA, United States: Morgan Kaufmann Publishers.
- Kraitichik, M. (1942). *Mathematical Recreations*. New York, NY, United States: W. W. Norton.
- Krotzsch, M., Simancik, F., & Horrocks, I. (2013). *A Description Logic Primer*. Ithaca, NY, United States: Cornell University Library. <http://arxiv.org/abs/1201.4089v3>
- Kuhn, O. (2010). *Methodology for Knowledge-Based Engineering Template Update*. PhD Thesis, L'Universite Claude Bernard Lyon 1, Ecole Doctorale Informatique et Mathematiques Lyon, Lyon, France.
- Kulon, J., Mynors, D.J., & Broomhead, P. (2006). A knowledge-based engineering design tool for metal forging. *Journal of Materials Processing Technology*, 177 (1-3), 331-335.
- Kunda, M., McGregor, K., & Goel, A. (2009). Addressing the Raven's Progressive Matrices Test of "General" Intelligence. *Proceedings of the AAAI Fall Symposium on Multi-representational Architectures for Human-level Intelligence*. Menlo Park, CA, United States.
- La Rocca, G. (2011). *Knowledge based Engineering techniques to support aircraft design and optimization*. PhD Thesis, Delft University of Technology, Faculty of Aerospace Engineering, Delft, The Netherlands.

- La Rocca, G. (2012). Knowledge based engineering: Between AI and CAD. Review of a language based technology to support engineering design. *Advanced Engineering Informatics*, 26 (2), 159-179.
- La Rocca, G., & van Tooren, M.J.L. (2007). Enabling distributed multi-disciplinary design of complex products: a knowledge based engineering approach. *Journal of Design Research*, 5 (3), 333-352.
- La Rocca, G., & van Tooren, M.J.L. (2010). Knowledge-based engineering to support aircraft multidisciplinary design and optimization. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part G: Journal of Aerospace Engineering*, 224 (9), 1041-1055.
- Larrosa, J., & Valiente, G. (2002). Constraint satisfaction algorithms for graph pattern matching. *Mathematical Structures in Computer Science*, 12 (4), 403-422.
- Lau, A., Tsui, E., & Lee, W.B. (2009). An ontology-based similarity measurement for problem-based case reasoning. *Expert Systems with Applications*, 36 (3), 6574-6579.
- Lazarescu, M., Bunke, H., & Venkatesh, S. (2000). Graph Matching: Fast Candidate Elimination Using Machine Learning Techniques. *Lecture Notes in Computer Science*, 1876, 236-245.
- Levi, G. (1973). A note on the derivation of maximal common subgraphs of two directed or undirected graphs. *Calcolo*, 9 (4), 341-352.
- Loftus, E.F. (1979). *Eyewitness Testimony*. Cambridge, MA, United States: Harvard University Press.
- Lopez De Mantaras, R., Mcsherry, D., Bridge, D., Leake, D., Smyth, B., Craw, S., Faltings, B., Lou Maher, M., Cox, M.T., Forbus, K., Keane, M., Aamodt, A., & Watson, I. (2006). Retrieval, reuse, revision and retention in case-based reasoning. *The Knowledge Engineering Review*, 20 (3), 215-240.
- Lovett, P.J., Ingram, A., & Bancroft, C.N. (2000). Knowledge-based engineering for SMEs – methodology. *Journal of Materials Processing Technology*, 107 (1-3), 384-389.
- Ma, Q.C., & Liu, X.W. (2007). Review of Knowledge Based Engineering with PLM. *Applied Mechanics and Materials*, 10-12, 127-131.
- Malek, M. (2001). Hybrid Approaches for Integrating Neural Networks and Case Based Reasoning: From Loosely Coupled to Tightly Coupled Models. Y S.K. Pal, T.S. Dillon, & D.S. Yeung (Уредници), *Soft Computing in Case Based Reasoning* (стр. 73-94). London, United Kingdom: Springer-Verlag.
- Martins, J.R.R.A., & Lambe, A.B. (2013). Multidisciplinary Design Optimization: A Survey of Architectures. *AIAA Journal*, 51 (9), 2049-2075.

- McGoey, P.J. (2011). A Hitch-hikers Guide to: Knowledge Based Engineering in Aerospace (& other Industries). *INCOSE NM Enchantment Chapter*. International Council on Systems Engineering.
- McGregor, J.J. (1982). Backtrack Search Algorithms and the Maximal Common Subgraph Problem. *Software: Practice and Experience*, 12 (1), 23-34.
- McKay, B.D. (1981). Practical graph isomorphism. *Congressus Numerantium*, 30, 45-87.
- Messmer, B.T., & Bunke, H. (1999). A decision tree approach to graph and subgraph isomorphism detection. *Pattern Recognition*, 32 (12), 1979-1998.
- Messmer, B.T., & Bunke, H. (2000). Efficient Subgraph Isomorphism Detection: A Decomposition Approach. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, 12 (2), 307-323.
- Miller, G.A., Fellbaum, C., Kegl, J., & Miller, K. (1988). *WORDNET: An Electronic Lexical Reference System Based on Theories of Lexical Memory*. Technical report. <http://www.dtic.mil/cgi-bin/GetTRDoc?AD=ADA193086>
- Milton, N.R. (2007). *Knowledge Acquisition in Practice: A Step-by-step Guide*. London, United Kingdom: Springer.
- Milton, N.R. (2008). *Knowledge Technologies*. Monza (Milan), Italy: Polimetrica.
- Minsky, M. (1975). A framework for representing knowledge. У Р.Н. Winston (Уредник), *The Psychology of Computer Vision* (стр. 211-277). New York, NY, United States: McGraw-Hill.
- Morris, A., Arendsen, P., La Rocca, G., Laban, M., Voss, R., & Honlinger, H. (2004). MOB – A European project on multidisciplinary design optimisation. *Proceedings of the 24th International Congress of the Aeronautical Sciences*. Yokohama, Japan.
- Negnevitsky, M. (2005). *Artificial Intelligence – A Guide to Intelligent Systems*. Harlow, United Kingdom: Addison-Wesley.
- Negny, S., Riesco, H., & Le Lann, J.M. (2010). Effective retrieval and new indexing method for case based reasoning: application in chemical process design. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 23 (6), 880-894.
- Neuhaus, M., & Bunke, H. (2007). Automatic learning of cost functions for graph edit distance. *Information Sciences*, 177 (1), 239-247.
- Neuhaus, M., Riesen, K., & Bunke, H. (2006). Fast Suboptimal Algorithms for the Computation of Graph Edit Distance. *Proceedings of the Joint IAPR International Workshops, SSPR 2006 and SPR 2006, Lecture Notes in Computer Science 4109* (стр. 163-172). Springer.
- Oldham, K., Kneebone, S., Callot, M., Murton, A., & Brimble, R. (1998). MOKA – A Methodology and tools Oriented to Knowledge-based engineering Applications. *Proceedings of the European Conference on Integration in Manufacturing (IiM)*. Goteborg, Sweden.

- Pal, S.K., & Shiu, S.C.K (2004). *Foundations of Soft Case-Based Reasoning*. Hoboken, NJ, United States: John Wiley & Sons, Inc.
- Passone, S., Chung, P.W.H., & Nassehi, V. (2006). Incorporating domain-specific knowledge into a genetic algorithm to implement case-based reasoning adaptation. *Knowledge-Based Systems*, 19 (3), 192-201.
- Pernot, J.-P., Falcidieno, B., Giannini, F., & Leon, J.-C. (2008). Incorporating free-form features in aesthetic and engineering product design: State-of-the-art report. *Computers in Industry*, 59 (6), 626-637.
- Pokojski, J., Szustakiewicz, K., & Gil, M. (2010). Engineering Knowledge Modeling in Design. У J. Pokojski, S. Fukuda, & J. Salwinski (Уредници), *New World Situation: New Directions in Concurrent Engineering* (стр. 287-297). London, United Kingdom: Springer-Verlag.
- Policastro, C.A., Carvalho, A.C.P.L.F., & Delbem, A.C.B. (2006). Automatic knowledge learning and case adaptation with a hybrid committee approach. *Journal of Applied Logic*, 4 (1), 26-38.
- Raven, J.C. (1936). *Mental tests used in genetic studies: The performances of related individuals in tests mainly educative and mainly reproductive*. Master's Thesis, University of London, London, United Kingdom.
- Raymond, J.W., & Willett, P. (2002). Maximum common subgraph isomorphism algorithms for the matching of chemical structures. *Journal of Computer-Aided Molecular Design*, 16 (7), 521-533.
- Resnik, P. (1995). Using Information Content to Evaluate Semantic Similarity in a Taxonomy. *Proceedings of the 14th International Joint Conference on Artificial Intelligence, IJCAI-95* (стр. 448-453). San Francisco, CA, USA: Morgan Kaufmann Publishers.
- Resnik, P. (1999). Semantic Similarity in a Taxonomy: An Information-Based Measure and its Application to Problems of Ambiguity in Natural Language. *Journal of Artificial Intelligence Research*, 11, 95-130.
- Riesen, K., Jiang, X., & Bunke, H. (2010). Exact and inexact graph matching: Methodology and applications. У C.C. Aggarwal, & H. Wang (Уредници), *Managing and Mining Graph Data* (стр. 217-247). New York, NY, United States: Springer.
- Roldan, E., Neaghy, S., Le Lann, J.M., & Cortes, G. (2010). Constraint Satisfaction Problem for Case-Based Reasoning Adaptation: Application in Process Design. *Proceedings of the 20th European Symposium on Computer Aided Process Engineering, ESCAPE20* (стр. 397-402). Amsterdam, The Netherlands: Elsevier B.V.
- Romero Bejarano, J.C., Coudert, T., Vareilles, E., Geneste, L., Aldanondo, M., & Abeille, J. (2014). Case-based reasoning and system design: An integrated approach based on ontology and preference modeling. *Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing*, 28 (1), 49-69.

- Ross, B.H. (1989). Distinguishing Types of Superficial Similarities: Different Effects on the Access and Use of Earlier Problems. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 15 (3), 456-468.
- Ruet, M., & Geneste, L. (2002). Search and Adaptation in a Fuzzy Object Oriented Case Base. У S. Craw, & A. Preece (Уредници), *Advances in Case-Based Reasoning* (стр. 350-364). Berlin, Germany: Springer Berlin Heidelberg.
- Russell, S., & Norvig, P. (2010). *Artificial Intelligence: A Modern Approach, Third Edition*. Upper Saddle River, NJ, United States: Pearson Education.
- Sainter, P., Oldham, K., Larkin, A., Murton, A., & Brimble, R. (2000). Product knowledge management within knowledge-based engineering systems. *Proceedings of the ASME 2000 Design Engineering Technical Conference*. Baltimore, MD, United States.
- Sanfeliu, A., & Fu, K.S. (1983). A distance measure between attributed relational graphs for pattern recognition. *IEEE Transactions on Systems Man and Cybernetics. Part B: Cybernetics*, 13 (3), 353-362.
- Schmutz, B., Reynolds, K.J., & Slavotinek, J.P. (2006). Development and validation of a generic 3D model of the distal femur. *Computer Methods in Biomechanics & Biomedical Engineering*, 9 (5), 305-312.
- Schneegans, A., & Ehlermann, F. (2007). Applying KBE Technologies to the Early Phases of Multidisciplinary Product Design. У F.L. Krause (Уредник), *The Future of Product Development* (стр. 587-595). Berlin, Germany: Springer-Verlag.
- Skarka, W. (2007). Application of MOKA methodology in generative model creation using CATIA. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 20 (5), 677-690.
- Smyth, B., & Keane, M.T. (1998). Adaptation-guided retrieval: questioning the similarity assumption in reasoning. *Artificial Intelligence*, 102 (2), 249-293.
- Snow, R., Kyllonen, P., & Marshalek, B. (1984). The topography of ability and learning correlations. У R.J. Sternberg (Уредник), *Advances in the Psychology of Human Intelligence*, Vol. 2. (стр. 47-103). Hillsdale, NJ, United States: Lawrence Erlbaum Associates.
- Sqalli, M.H., & Freuder, E.C. (1998). Integration of CSP and CBR to Compensate for Incompleteness and Incorrectness of Models. *Proceedings of the AAAI-98 Spring Symposium on Multimodal Reasoning*. Menlo Park, CA, United States: AAAI Press.
- Standring, S. (2008). *Gray's Anatomy, 40th Edition*. Philadelphia, PA, United States: Churchill Livingstone (imprint of Elsevier).
- Стојковић, М. (2002). *Виртуелни технолошки саветник*. Магистарски рад, Универзитет у Нишу, Машински факултет у Нишу, Ниш, Србија.

- Стојковић, М. (2011). *Анализа параметара технологичности на основу семантичких структура дигиталног модела производа*. Докторска дисертација, Универзитет у Нишу, Машински факултет у Нишу, Ниш, Србија.
- Stojkovic, M., Manic, M., & Trajanovic, M. (2003). Knowledge-Embedded Template Concept. *Proceedings of the 36th CIRP International Seminar on Manufacturing Systems* (стр. 285-293). Saarbrücken, Germany.
- Stojkovic, M., Manic, M., & Trajanovic, M. (2005). Knowledge-Embedded Template Concept. *CIRP Journal of Manufacturing Systems*, 34 (1), 71-80.
- Stojkovic, M., Milovanovic, J., Vitkovic, N., Trajanovic, M., Arsic, S., & Mitkovic, M. (2012). Analysis of femoral trochanters morphology based on geometrical model. *Journal of Scientific and Industrial Research*, 71 (3), 210-216.
- Stojkovic, M., Trajanovic, M., Vitkovic, N., Milovanovic, J., Arsic, S., & Mitkovic, M. (2009). Referential Geometrical Entities for Reverse Modeling of Geometry of Femur. *Proceedings of the Computational Vision and Medical Image Processing Conference, VipIMAGE 2009*. Porto, Portugal.
- Stokes, M. (2001). *Managing Engineering Knowledge – MOKA: Methodology for Knowledge Based Engineering Applications*. London, United Kingdom: Professional Engineering Publishing.
- Studer, R., Benjamins, V.R., & Fensel, D. (1998). Knowledge Engineering: Principles and methods. *Data & Knowledge Engineering*, 25 (1-2), 161-197.
- Šljivić, B. (1973). *Osteologija (posebni deo)*. Naučna knjiga: Beograd, Srbija. (udžbenik za studente Medicinskog fakulteta)
- Thagard, P., Holyoak, K.J., Nelson, G., & Gochfeld, D. (1990). Analog Retrieval by Constraint Satisfaction. *Artificial Intelligence*, 46 (3), 259-310.
- Tseng, M.M., & Jiao, J. (2001). Mass Customization. У G. Salvendy (Уредник), *Handbook of Industrial Engineering: Technology and Operations Management, Third Edition* (стр. 684-709). Hoboken, NJ, United States: John Wiley & Sons, Inc.
- Ullmann, J.R. (1976). An Algorithm for Subgraph Isomorphism. *Journal of the Association for Computing Machinery*, 23 (1), 31-42.
- van den Berg, E., Bronsvort, W.F., & Vergeest, J.S.M. (2002). Freeform feature modelling: concepts and prospects. *Computers in Industry*, 49 (2), 217-233.
- van der Laan, A.H. (2011). *Knowledge based engineering support for aircraft component design*. PhD Thesis, Delft University of Technology, Faculty of Aerospace Engineering, Delft, The Netherlands.

- van der Laan, A.H., Curran, R., van Tooren, M.J.L., & Ritchie, C. (2006). Integration of friction stir welding into a multidisciplinary aerospace design framework. *Aeronautical Journal*, 110 (1113), 759-766.
- van Dijk, R., D'Ippolito, R., Tosi, G., & La Rocca, G. (2011). Multidisciplinary design and optimization of a plastic injection mold using an integrated design and engineering environment. *Proceeding of the NAFEMS World Congress 2011*. Boston, MA, United States.
- Vareilles, E., Aldanondo, M., Codet de Boisse, A., Coudert, T., Gaborit, P., & Geneste, L. (2012). How to take into account general and contextual knowledge for interactive aiding design: Towards the coupling of CSP and CBR approaches. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 25 (1), 31-47.
- Vareilles, E., Aldanondo, M., & Gaborit, P. (2007). Evaluation and design: a knowledge-based approach. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 20 (7), 639-653.
- Verhagen, W.J.C., Bermell-Garcia, P., van Dijk, R.E.C., & Curran, R. (2012). A critical review of Knowledge-Based Engineering: An identification of research challenges. *Advanced Engineering Informatics*, 26 (1), 5-15.
- Veselinovic, M., Stevanovic, D., Trajanovic, M., Manic, M., Arsic, S., Trifunovic, M., & Mistic, D. (2011). Method for creating 3D surface model of the human tibia. *Proceedings of the 34th International Conference on Production Engineering, ICPE 2011*. Niš, Serbia.
- Veselinovic, M., Vitkovic, N., Stevanovic, D., Trajanovic, M., Arsic, S., Milovanovic, J., & Stojkovic, M. (2011). Study on Creating Human Tibia Geometrical Models. *Proceedings of the 3rd International Conference on E-Health and Bioengineering, EHB 2011* (стр. 195-198). Iasi, Romania.
- Vespignani, A. (2003). Evolution thinks modular. *Nature Genetics*, 35 (2), 118-119.
- Vitković, N., Milovanović, J., Trajanović, M., Korunović, N., Stojković, M., & Manić, M. (2012). Different Approaches for the Creation of Femur Anatomical Axis and Femur Shaft Geometrical Models. *Strojarstvo*, 54 (3), 247-255.
- Vitković, N., Trajanović, M., Milovanović, J., Korunović, N., Arsić, S., & Ilić D. (2011). The geometrical models of the human femur and its usage in application for preoperative planning in orthopedics. *Proceedings of the 1st International Conference on Information Society and Technology, ICIST 2014*. Kopaonik, Serbia.
- Wagner, R.A., & Fischer, M.J. (1974). The String-to-String Correction Problem with Block Moves. *Journal of the Association for Computing Machinery*, 21 (1), 168-173.
- Watson, I. (1999). Case-based reasoning is a methodology not a technology. *Knowledge-Based Systems*, 12 (5-6), 303-308.

- White, J., Dougherty, B., Schmidt, D.C., & Benavides, D. (2009). Automated reasoning for multi-step software product-line configuration problems. Proceedings of the Software Product Line Conference 2009, SPLC 2009 (crp. 11-20). San Francisco, CA, United States.
- Wognum, N., & Trappey, A. (2008). PLM challenges. *Advanced Engineering Informatics*, 22 (4), 419-420.

8. Прилози

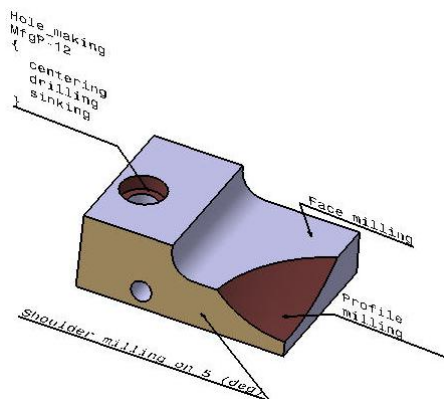
8.1 Активни семантички модел и когнитивно процесирање³³

8.1.1 Структура модела

Структура Активног семантичког модела се састоји од:

- концепата или појмова: cpt_{ij} ,
- асоцијација између појмова: $A(cpt_i \leftrightarrow cpt_j)_{ij}$,
- тела или записа појмова: $bdy(cpt_i)$ и
- контекста или сплетова асоцијација: ctx_{lkj} .

Структура података концепта се састоји од само једног атрибута – *назива*. Назив концепта обично треба да одговара апстрактном називу извесне одлике (*feature-a*) производа (слика 8-1). Називи концепата остварују везу између објектно-оријентисаних структура података, којима су одлике и технички елементи (*feature-и*) дигиталног модела производа представљени у савременим PLM системима, и семантичке мреже ACM-а која настоји да угради значење тих одлика. Концепти ACM-а су истовремено чворови семантичке мреже ACM-а и апстрактни називи одлика и техничких елемената модела производа записаних у објектно-оријентисаним структурама.



Слика 8-1 Производни технички елементи могу бити описани концептима семантичког модела

Релације семантичких мрежа се у овом моделу називају асоцијацијама. Свака асоцијација је описана са девет параметара:

$A(cpt_i \leftrightarrow cpt_j)_{ij}: \{cpt_i, r_i, t, h, s, c, d, r_j, cpt_j\}$

- **Називи појмова** (пар концепата) који су индиковани асоцијацијом – (cpt_i, cpt_j) .
- **Улога** сваког концепта у асоцијацији – (r_i, r_j) , где је r једна инстанца из псеудо-коначног скупа вредности $r \in R: \{R_1, R_2, R_3, ..., R_k\}$. Улоге појмова у асоцијацији су

³³ Овај прилог је пренет из докторске дисертације Милоша Стојковића (Стојковић, 2011).

спрегнуте вредности, односно у асоцијацији између два појма могу се јавити одређени парови улога (**атрибут** ↔ **појам** (тип асоцијације: *Атрибутски*), **врста** ↔ **подврста** (тип асоцијације: *Класификациони (Хијерархијски)*), **део** ↔ **склоп** (тип асоцијације: *Припадност*), итд.).

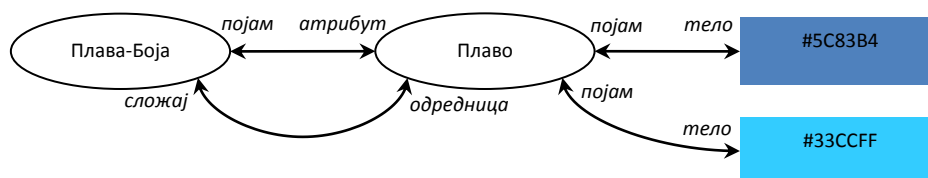
- **Тип асоцијације** (атрибутски, класификациони (хијерархијски), припадност, итд.) – (**t**), где је **t** инстанца из псеудо-коначног скупа вредности $t \in T: \{T_1, T_2, T_3, \dots, T_k\}$. Тип асоцијације декларише односе између два појма, тј. улогу сваког од појмова у асоцијацији. На тај начин вредности **r_i**, **t**, и **r_j** су спрегнуте и могу се сматрати уређеним тројкама.
- **Тачност или степен истинитости или аутентичности асоцијације** (0 за максималну произвољност, ..., 1 за максималну истинитост асоцијације) – (**h**), где **h**, у општем случају, може узети вредност из континуалног скупа вредности: $h \in [0,1]$. Тачност се односи на све параметре асоцијације, како на *улоге појмова*, тако и на *значај*, *карактер* и *смер* и важи за одређени контекст.
- **Значај, важност или битност** (0 – без значаја, ..., 1 – од приоритетног значаја) – (**s**), где **s**, у општем случају, може узети вредност из континуалног скупа вредности: $s \in [0,1]$. Значај се односи на све параметре асоцијације, како на *улоге појмова*, тако и на *тачност*, *карактер* и *смер* и важи за одређени контекст.
- **Карактер асоцијације** (позитиван – афирмативно асоцира – 1, или негативан – асоцира не-афирмативно – 0), – (**c**), где **c** може узимати вредност из дискретног скупа вредности: $c \in [0 (-), 1 (+)]$.
- **Смер асоцијације** (да ли оба појма асоцирају један на другог или је чешће да само један асоцира на другог или обрнуто), – (**d**), где **d** може имати вредност из дискретног скупа вредности: $d \in [-1(\leftarrow), 0(\leftrightarrow), 1(\rightarrow)]$.

Тип, укључујући и *улоге* сваког од појмова у асоцијацији, *карактер* и *смер* су тзв. **тополошки параметри асоцијација** јер одређују тзв. значењску топологију сплетова асоцијација – односно начин на који су поједини појмови у мрежи повезани. *Тачност* и *значај* су, пак, **тежинско-референтни параметри асоцијација** јер одређују истинитост свих параметара асоцијације, односно њихов значај за семантичко одређење и то у увек у односу на неки значењски контекст.

Још један веома битан (спољашњи) атрибут асоцијације је и ознака *контекста* коме асоцијација припада. Са становишта структуре података, *значењски сплет* или *контекст* АСМ-а представља скуп од, минимално, две асоцијације. Контексти АСМ-а служе да означе скупове семантички блиских асоцијација. Означавају се са **ctx_i**. Значењске одлике појединих

састојака АСМ-а зависе од контекста у коме се посматрају та два појма. У погледу структуре података, то конкретно значи да асоцијације између два иста појма (или контекста) могу имати више или мање различите вредности параметара у зависности од контекста. У АСМ-у је могуће разликовати тзв. *општи контекст* и *посебне контексте*. Општи контекст је дефинисан и уграђен у АСМ-ову структуру независно од корисника, док остали посебни контексти захтевају накнадно семантичко описивање од стране корисника.

Тела појмова су, заправо, њихова отелотворења (остварења) или реализације и примерци. У овим структурама се могу чувати како једноставни подаци (слика 8-2), какви су на пример: алфа-нумерички симболи, променљиве и њихове вредности, низови, скриптови, URL и др., тако и веома сложене структуре података попут табела, објектних структура, класа и објеката и читавих колекција извршних кодова. Такође, тела појмова могу садржавати само *показиваче* на све горе набројане структуре, чијим се активирањем, на пример, могу позивати објектно-оријентисани програми на извршење. Један појам може имати неограничен број тела. Такође, појам не мора да има нити једно тело.



Слика 8-2 Једноставан пример структуре значењске везе између појма и тела у АСМ-у

Сложени појам или *сложај* (*compound concept*) се у мрежи АСМ-а третира као једноставни појам – чвор семантичке мреже. Сложај се састоји од једног *жижног* појма (*focal concept*) и скупа додатних *одредница* – *semantic entries*, које могу бити други сложаји, једноставни појмови, придеви и прилози (*compound concepts, concepts, adjectives, adverbs*). Додатне одреднице сложаја служе да га прецизније значењски опишу и издвоје од сличних појмова. Истовремено, додатне одреднице сложеног појма су такође појмови АСМ-а.

8.1.2 Алгоритми когнитивне обраде података

Алгоритми тзв. *когнитивне обраде података* (КОП) представљају скуп поступака обраде података којим АСМ настоји да врши семантичку интерпретацију података. У суштини, алгоритми КОП-а омогућавају да АСМ самостално стиче ново знање и доноси смислене одлуке и одговоре. У групу алгоритама КОП спадају:

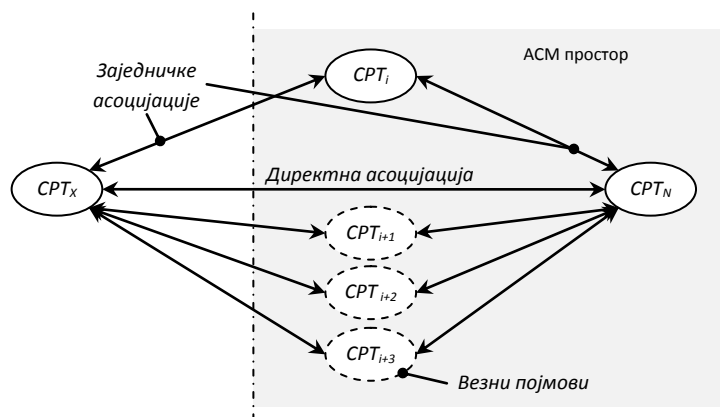
1. поступак утврђивања
 - 1.1. класе сличности асоцијација,
 - 1.2. степена семантичке сличности појмова и
 - 1.3. степена семантичке блискости појмова,

2. алгоритам утврђивања сличности асоцијација – УСА, у чијем језгру је поступак утврђивања параметара асоцијација – УПА,
3. алгоритам утврђивања сличности контекста – УСК (сплетова асоцијација),
4. алгоритам или поступак доградње контекста – ПДК (формирања „одговора“) и
5. алгоритам стварања хеуристика и бистрења знања.

8.1.2.1 Утврђивање степена семантичке сличности појмова и класе сличности асоцијација

Утврђивање степена семантичке сличности између „новог“ (CPT_X) и „познатих“ (CPT_N) појмова у АСМ-у је од суштинске важности за семантичку категоризацију „новог“, али и „познатих“ појмова. Вредности које се добију у процесу утврђивања степена семантичке сличности служе АСМ-у да додатно саветује корисника да ли да прихвати или одбије асоцијације које му предлаже АСМ или пак да накнадно додатно информисе корисника о степену семантичке сличности између појмова („образложи“ своју одлуку) у случају када АСМ самостално додаје асоцијације између истих.

Степен сличности појмова се најчешће утврђује за појмове који нису директно повезани асоцијацијама – CPT_X и CPT_N , већ постоји барем један слој АСМ-у познатих појмова између CPT_X и CPT_N , тзв. слој „везних“ или „заједничких“ појмова - CPT_i (слика 8-3), преко којих су CPT_X и CPT_N повезани. Парови асоцијација којима су CPT_X и CPT_N повезани са истим везним појмовима CPT_i називају се *заједничке асоцијације*.



Слика 8-3 Схема значењских веза и појмова са терминолошким објашњењима

Степен сличности појмова CPT_X и CPT_N се изражава посебно у односу на сваки од појмова чији се степен сличности утврђује. Појам у односу на кога се изражава степен сличности се назива *референтни појам*. Степен сличности појмова непосредно зависи од броја и врста заједничких асоцијација. Први чинилац који утиче на степен сличности је свакако укупан број *заједничких асоцијација* појмова CPT_X и CPT_N . Други чинилац изражава учешће *заједничких асоцијација* у укупном броју асоцијација референтног појма, а утврђује се као количник броја *заједничких* и броја укупних асоцијација које гради референтни појам.

Коначно, трећи чинилац изражава *квалитет* сличности заједничких асоцијација и дефинише се као *класа* или *врста сличности* заједничких асоцијација CPT_X и CPT_N .

Класа или *врста сличности* се односи на сличност атрибута пара заједничких асоцијација. Класа сличности се утврђује за сваки пар заједничких асоцијација појмова CPT_X и CPT_N . Утврђивање класе сличности пара асоцијација се изводи упоређивањем вредности параметара (или атрибута) заједничких асоцијација. Средња вредност класе сличности заједничких асоцијација CTX_X и CTX_N се срачунава према изразу за аритметичку средину.

У мрежи АСМ-а, сваки појам може бити повезан са било којим другим појмом преко низа асоцијација, односно низа везних појмова. Ову особеност, да су сви појмови АСМ-а потенцијално повезани међусобно преко више везних појмова, називамо *семантичком повезаношћу* или *блискошћу* преко једног или више *колена* (једног или више везних појмова у низу или ланцу). Поред степена сличности два појма, вредновање сличности могуће је извести и према тзв. *коленима*.

8.1.2.2 Утврђивање параметара асоцијација (УПА)

У овом случају се мисли на утврђивање параметара асоцијације (тип, значај, тачност, карактер и смер) која настаје као резултат процеса утврђивања значењске сличности два појма. Ради укључивања утицаја *значаја* и *тачности асоцијација*, као и *релевантности* асоцијације спрам *контекста*, АСМ, у свим случајевима, утврђује вредности параметара асоцијације између CPT_X и CPT_N засебно за *општи* контекст и засебно за сваки *посебни* контекст у коме се асоцијације АСМ-а налазе.

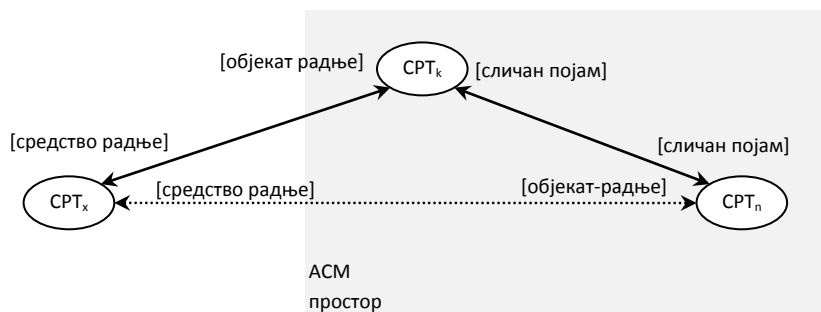
Када говоримо о општем контексту АСМ прво врши рафинацију асоцијација општег контекста тако што издваја подскуп *значајних* и *тачних* асоцијација општег контекста. Процена значаја и тачности се у овом случају врши за сваки пар асоцијација над скупом формираних парова асоцијација општег контекста. Овде се мисли на парове заједничких асоцијација које појмови CPT_X и CPT_N граде преко везних појмова. Након тога АСМ спроводи поступак утврђивања вредности за сваки параметар асоцијације према уграђеном алгоритму. Резултат је стварање асоцијације са новоутврђеним вредностима параметара између појмова CPT_X и CPT_N која припада општем контексту.

Када говоримо о посебним контекстима на почетку поступка се врши привремено додавање асоцијација које припадају општем и ниједном посебном контексту свим посебним контекстима. Рафинација асоцијација (према значају и тачности асоцијације) се врши над скупом формираних парова асоцијација код којих обе асоцијације припадају истом посебном контексту. Након тога АСМ спроводи поступак утврђивања вредности за сваки параметар асоцијације према уграђеном алгоритму. Резултат је стварање асоцијације са новоутврђеним вредностима параметара између појмова CPT_X и CPT_N за сваки (посебан) контекст посебно.

8.1.2.2.1 Поступак утврђивања типа асоцијације

Приликом утврђивања *типа* асоцијације постоје три карактеристична случаја који опредељују који ће тип асоцијације бити додељен новој асоцијацији:

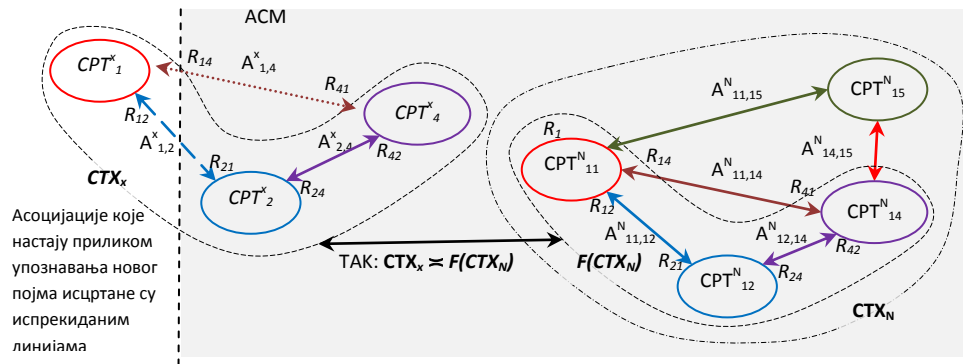
1. Случај када АСМ утврђује потпуно поклапање свих параметара свих парова асоцијација. У том случају, АСМ ствара асоцијацију *синонимског* типа између појмова.
2. Случај када АСМ утврђује да нови појам CPT_X и познати појам CPT_N имају асоцијације, најмање, истог типа – T ка везним појмовима CPT_i $i=(1,k)$. Другим речима, асоцијације могу бити истог, али и различитог карактера и смера, као и исте или различите тачности и значаја. У овом случају, у зависности од тога какав је однос вредности преосталих параметара парова асоцијација АСМ може створити асоцијације једног од следећих типова: *сличност са битном разликом*, *различитост са битном сличношћу*, *сличност* и *непотпуна супротност*.
3. Случај када АСМ утврђује да појмови CPT_X и CPT_N деле асоцијације 0. класе *сличности са појмовима* CPT_i . Дакле, у том случају, појмови CPT_X и CPT_N граде асоцијације које нису истог типа ка истим (везним) појмовима CPT_i , односно улоге појмова CPT_X и CPT_N у тим асоцијацијама су различите. АСМ у овом случају одлучује о типу асоцијације у зависности од *класе сплета асоцијација* у коме се нашао појам који се упознаје CPT_X . Генерално постоје две врсте поступка који у овом случају могу да се примене за одређивање типа асоцијације између појмова CPT_X и CPT_N :
 - а. Први поступак је намењен за унапред предвиђене врсте сплетова и заснован је на тзв. *CASE алгоритму* који у свом телу садржи експлицитно дефинисан узрочно-последични механизам (правило) за сваки предвиђени случај (CASE) (слика 8-4).



Слика 8-4 Схема одлучивања о типу асоцијације код случаја са једном асоцијацијом која је типа *сличности*

- б. Други поступак – „*плитак*“ поступак утврђивања *тополошке аналогije* контекста или *Shallow TAC algorithm* – је намењен за унапред непредвиђене

врсте сплетова. Овај поступак користи део *алгорита доградње тополошки аналогних контекста или сплетова*. Алгоритам је заснован на препознавању сличности топологије сплетова. Пошто АСМ препозна тополошку аналогију између једноставног сплета CTX_x (слика 8-5), у коме се јавља нови појам, и раније похрањених сплетова (нпр. CTX_N), АСМ спроводи поступак доградње према узору на сплетове који су тополошки аналогни сплету CTX_x .



Слика 8-5 Схема утврђивања типа асоцијације према алгоритму „доградње сплетова“

8.1.2.2.2 Поступак утврђивања значаја и тачности асоцијације

Алгоритам за утврђивање значаја и тачности асоцијације може да почне рафинацијом издвојених парова асоцијација према *значају* и *тачности*, односно изузимањем из даљег разматрања парова асоцијација који имају једну или обе асоцијације чије су вредности за *значај* или *тачност* једнаке 0. Уколико подскуп парова асоцијација за разматрање садржи такве парове асоцијација чије су вредности значаја или тачности веома различите АСМ може захтевати да корисник размотри такав пар (или парове) асоцијација и евентуално измени вредности или уклони неку од асоцијација из спорног пара. Коначно се вредности за значај и тачност асоцијације између појмова CPT_X и CPT_N одређују према одговарајућим изразима у којима фигуришу вредности значаја и тачности парова заједничких асоцијација.

8.1.2.2.3 Поступак утврђивања карактера асоцијације

Функција одређивања карактера асоцијације коју треба формирати између CPT_X и CPT_N – (F_c), се разликује у зависности од подслучајева:

1. Сви парови асоцијација између CPT_X и CPT_N имају исте вредности *карактера*. Тада, АСМ ствара асоцијацију између CPT_X и CPT_N позитивног карактера.
2. Сви парови асоцијација између CPT_X и CPT_N имају различите вредности *карактера*. Тада, АСМ ствара асоцијацију између CPT_X и CPT_N негативног карактера.
3. Један подскуп парова асоцијација између CPT_X и CPT_N одликују асоцијације које деле исти карактер према везним појмовима, док други подскуп одликују асоцијације

према везним појмовима које имају различите вредности карактера. У таквим условима на карактер асоцијације утиче:

- a. Однос учешћа броја парова асоцијација, које садрже асоцијације са истим карактером у укупном броју парова, и броја парова асоцијација, које садрже асоцијације са различитим карактером у укупном броју парова;
- b. Однос максималних вредности производа тачности и значаја оних парова асоцијација, које садрже асоцијације са истим карактером, и максималне вредности производа тачности и значаја оних парова асоцијација које садрже асоцијације са различитим карактером.

Алгоритам утврђивања карактера асоцијације између CPT_X и CPT_N започиње утврђивањем апсолутне вредности разлике броја парова асоцијација са истим и различитим карактером. Могућа су три исхода:

1. да не постоји нити један пар асоцијација чије асоцијације имају различите карактере или чије асоцијације имају исте карактере - у том случају ради се о 1. и 2. подслучају;
2. да постоји значајно мањи број парова једног скупа асоцијација наспрам другог – тада АСМ захтева да корисник провери да ли су карактери значајно мањег скупа парова асоцијација исправно одређени и/или описани. Ако корисник изврши измене, цео поступак се враћа на почетак и поново се проверава да ли и даље постоје карактерно-рецесивни³⁴ парови асоцијација (ако не постоје, онда поступак скреће ка 1. или 2. подслучају).

Ако, пак, корисник сматра да су карактери одређени исправно, АСМ покреће поступак утврђивања карактера асоцијације између CPT_X и CPT_N према *конфликтној резолуцији* заснованој на утицају *значаја* и *тачности* асоцијација које припадају датом контексту (као за 3. исход);

3. да је разлика између броја карактерно рецесивних и доминантних парова асоцијација мала или да је број парова асоцијација са истим и различитим карактером једнак. У тим условима АСМ покреће поступак утврђивања карактера асоцијације између CPT_X и CPT_N према *конфликтној резолуцији* заснованој на утицају *значаја* и *тачности* асоцијација које припадају датом контексту.

Конфликтна резолуција заснована на утицају *значаја* и *тачности* асоцијација које припадају датом контексту:

³⁴ Када постоји један пар или мањи подскуп парова асоцијација, чије асоцијације имају супротну комбинацију карактера од комбинације карактера асоцијација из већег подскупа, онда се пар или парови тих асоцијација називају рецесивне у погледу тог параметра - карактерно рецесивне, а тај подскуп рецесивним подскупом. Већи подскуп се назива доминантним у погледу тог параметра (карактерно доминантним).

- За варијанту да је доминантан подскуп парова асоцијација онај чије су асоцијације истог карактера и истовремено значајно већег производа значаја и тачности асоцијација АСМ додељује позитиван карактер асоцијацији;
- За варијанту да је доминантан подскуп парова асоцијација онај чије су асоцијације различитог карактера и истовремено значајно већег производа значаја и тачности асоцијација АСМ додељује негативан карактер асоцијацији;
- За варијанту да је рецесиван подскуп парова асоцијација онај чије су асоцијације различитог карактера (или да су подскупови једнаки) АСМ додељује негативан карактер асоцијацији;
- За варијанту да је рецесиван подскуп парова асоцијација онај чије су асоцијације истог карактера (или да су подскупови једнаки) АСМ додељује позитиван карактер асоцијацији.

8.1.2.2.4 Поступак утврђивања смера асоцијације

Функција одређивања смера асоцијације коју треба формирати између појмова CPT_X и CPT_N – (Fa) , се дефинише према матрици (табела 8-1).

Табела 8-1 Матрица утврђивања вредности смера асоцијације између CPT_X и CPT_N у случају постојања три пара асоцијација према везним појмовима CPT_i ($i=1,2,3$) без

утицаја значаја и тачности асоцијација

d_{X1}	d_{1N}	d_{X2}	d_{2N}	d_{X3}	d_{3N}	d_{XN}
→	→	←	→	→	←	→
→	←	←	→	→	←	↔
→	↔	...	...	...	...	...
←	→	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...

У општем случају, на смер асоцијације између CPT_X и CPT_N утичу сви остали параметри асоцијација. Ипак, највећи утицај имају *значај* и *тачност*, а затим и *тип* асоцијације. Утицај *значаја* и *тачности* асоцијације на утврђивање смера асоцијације се може укључити коришћењем одговарајућег израза у коме фигуришу вредности за тачност, значај и смер парова заједничких асоцијација. Смер асоцијације између појмова CPT_X и CPT_N – d_{XN} може узимати вредности на основу срачунатог резултата из претходно поменутог израза коришћењем „лаковерног“ или „сумњичавог“ алгоритма за одређивање смера асоцијације (ово је избор корисника).

8.1.2.3 Утврђивање сличности контекста (УСК)

Резултат процеса УСК је значењска категоризација „новог“ контекста (CTX_X) у односу на друге „познате“ контексте (CTX_N) која се остварује грађењем значењских веза (асоцијација) између новог и познатих контекста. Према томе, у погледу категоризације, може се рећи да се контексти, у АСМ-у, третирају попут појмова – као чворови мреже АСМ-а.

Семантичка сличност контекста се може утврђивати према:

1. **сличности асоцијација** којима су повезани у мрежу АСМ-а. Дакле, онда када се контексти третирају као чворови мреже АСМ-а, односно као чланови асоцијација АСМ-а. У овом случају, семантичка сличност између контекста се утврђује, као и у случају појмова, према *алгоритму утврђивања сличности асоцијација*, а категоризација према поступку УПА.
2. **семантичком садржају**, односно према својим члановима – асоцијацијама (контексти или значењски сплетови су скупови чији су чланови асоцијације). Параметри *тачности* и *значаја* ових асоцијација исказују вредност тачности и значаја припадности асоцијација датом контексту. Тополошки параметри асоцијација: *тип* (посредно и *улоге*), *карактер* и *смер*, одређују типичност и препознатљивост извесног контекста. Степен семантичке сличности садржаја два контекста (CTX_X и CTX_N) зависи од:
 - а. броја сличних или истих асоцијација које истовремено припадају тим контекстима CTX_X и CTX_N , и
 - б. степена поклапања комбинација вредности тополошких параметара асоцијација које припадају непознатом CTX_X и познатом контексту CTX_N , односно од *степенa сличности топологије контекста*.

8.1.2.4 Стварање хеуристика и бистрење знања

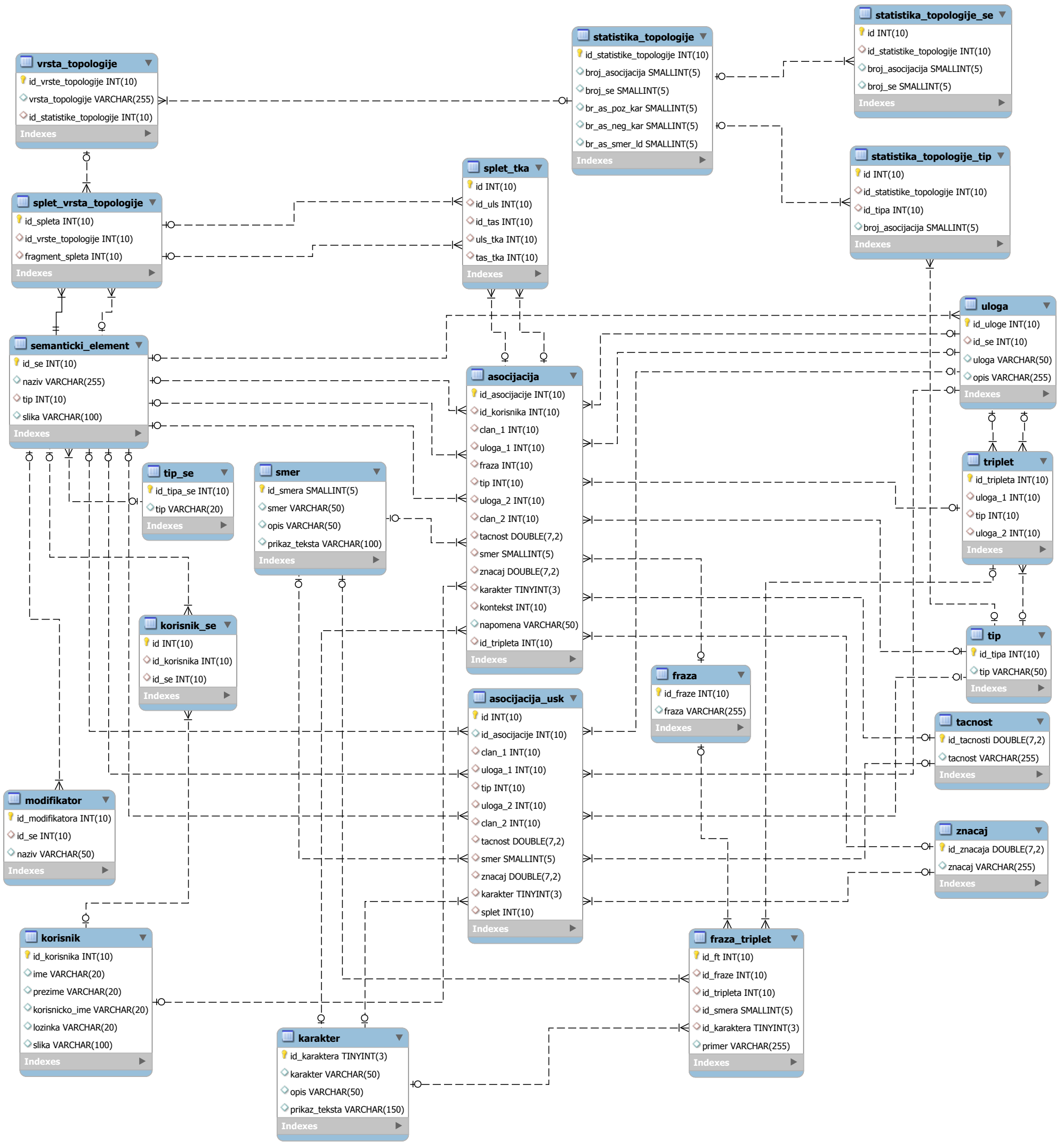
АСМ је пројектован тако да има могућност да врши стварање хеуристика. Ради се о правилима која треба примењивати у процесу КОП, тј. семантичке интерпретације података, како би се убрзао и поједноставио сам процес. Ова правила, у АСМ-у, пре свега служе за утврђивање сличности асоцијација и њихових параметара, као и за утврђивања тополошке сличности сплетова асоцијација.

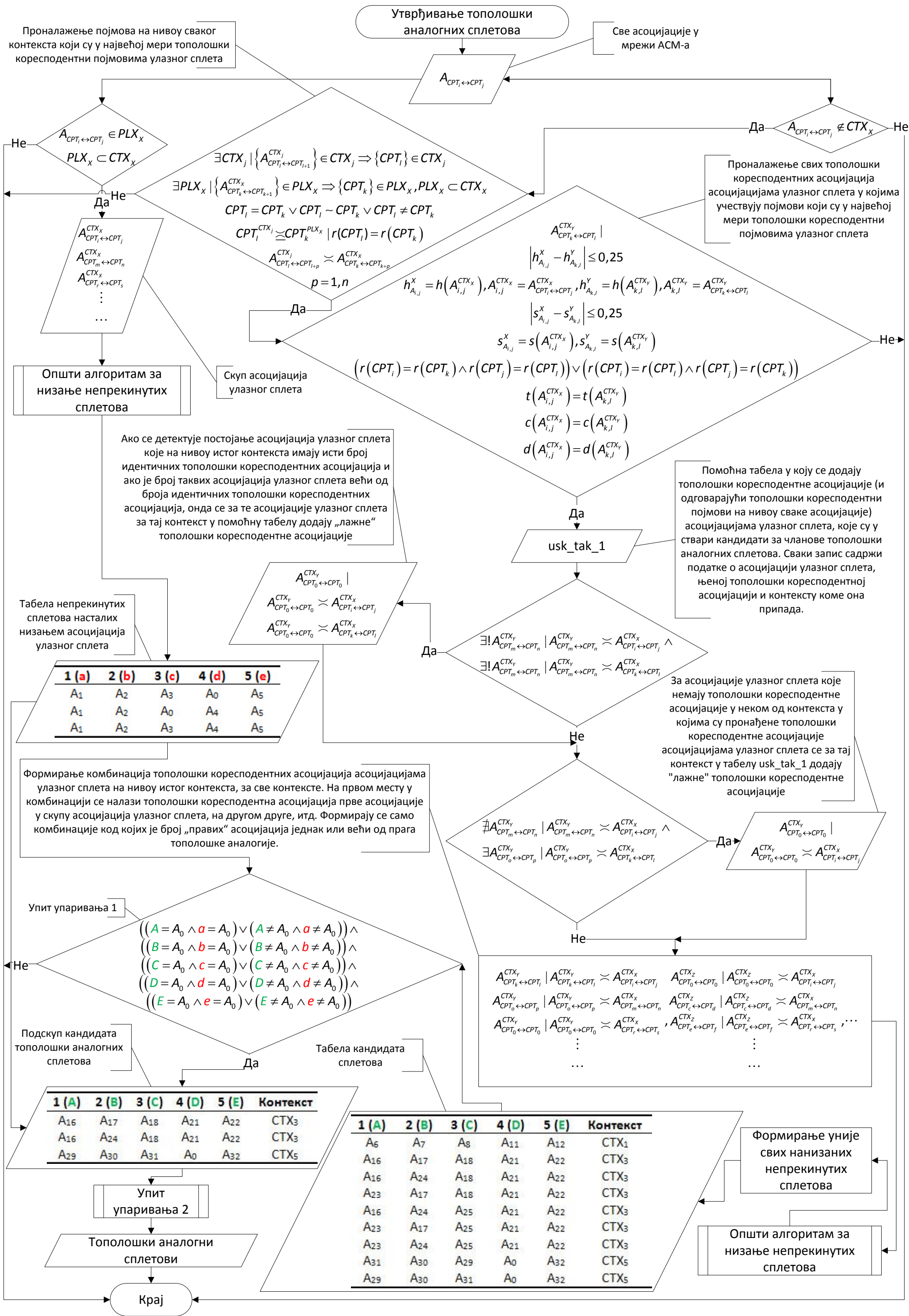
Принцип рада поступка *стварања хеуристика* (СХ) заснован је на бележењу и статистичкој анализи „искуства“ АСМ-а приликом спровођења поступака УСА, УПА и УСК и ПДК. *Бележење искуства* се одвија тако што систем за управљање АСМ-ом бележи све АСМ-ове аутономно донете одлуке у вези са стварањем асоцијација и доделом вредности њихових параметара, као и све кореспондентне реакције корисника у дневник искуства (*Log of Experience - LoE*).

Након великог броја статистички анализираних *искустава* у вези са одређеним случајевима категоризације (појмова/топологија сплетова) очекује се да вредност учешћа одређене одлуке у укупном скупу одлука стабилизује. То је знак АСМ-у да „преточи“ репрезентативну одлуку из *искуства* у експлицитно, формализовано или јако-дефинисано знање. То се остварује тако што АСМ ствара CASE алгоритам према узору на репрезентативну искуствену одлуку у вези са категоризацијом: а) појмова – УПА, УСА, ПДК и б) топологије сплета – УСК, ПДК. Овако створени CASE алгоритми, заправо, представљају *хеуристике* АСМ-а.

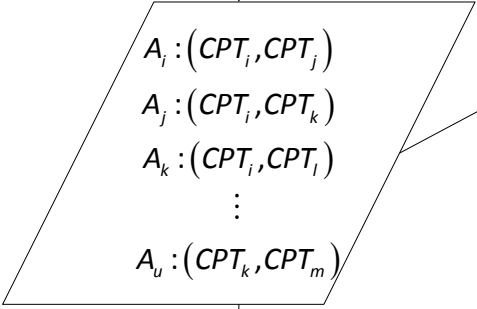
Основни циљ поступка бистрења знања је да допринесе увећању значењске одређености (издиференцираности) појмова и контекста који постоје у мрежи АСМ-а. Стратешки циљ, пак, је да то увећање значењске одређености „помогне“ поступцима УСА, УПА, УСК и ПДК да тачније и брже успевају да препознају значењске одлике нових и непознатих појмова и контекста у односу на постојеће. Поступак *бистрења знања* обухвата:

1. уклањање непотребних и сувишних асоцијација, као и оних које потенцијално отежавају процесе препознавања,
2. промену вредности параметара постојећих асоцијација које потенцијално отежавају процесе препознавања,
3. стварање нових асоцијација које треба да поједноставе, па самим тим и убрзају процесе препознавања.

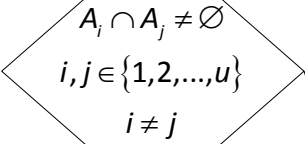




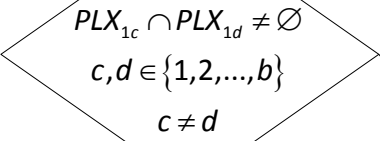
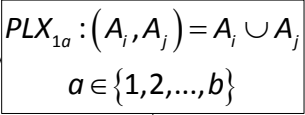
Општи алгоритам за низање непрекинутих сплетова



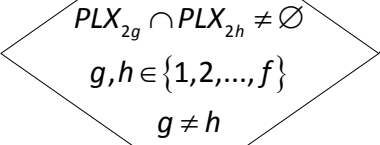
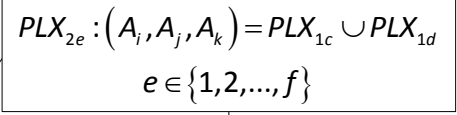
Скуп асоцијација за које треба проверити да ли се и како нижу



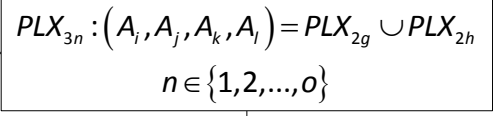
Да



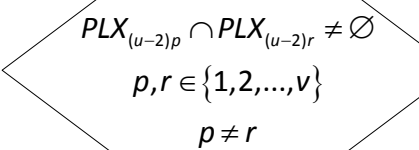
Да



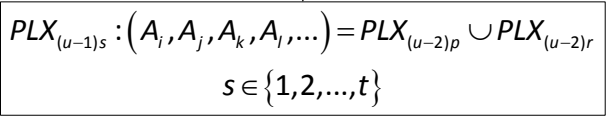
Да



...



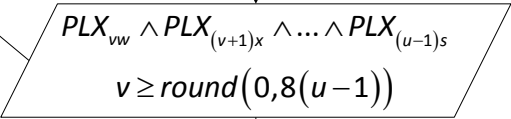
Да



Проверити да ли се сплет понавља. Ако ДА онда отићи на следећу комбинацију без стварања новог сплета. Ако НЕ онда створити нови сплет.

НЕ грана подразумева одлазак на следећу комбинацију

Табела сплетова чији је број асоцијација једнак или већи од прага тополошке аналогије



Крај

Упит упаривања 2

Улаз представљају табела непрекинутих сплетова насталих низањем улазног сплета, табела која садржи подскуп кандидата тополошки аналогних сплетова и помоћна табела usk_tak_1

1 (a)	2 (b)	3 (c)	4 (d)	5 (e)	
A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	

1 (A)	2 (B)	3 (C)	4 (D)	5 (E)	Контекст
A ₁₆	A ₁₇	A ₁₈	A ₂₁	A ₂₂	CTX ₃
A ₁₆	A ₂₄	A ₁₈	A ₂₁	A ₂₂	CTX ₃

PLX _x			АСМ-ова мрежа			
ТКА	ТКП ₁	ТКП ₂	ТКА	ТКП ₁	ТКП ₂	СТХ
A ₁	CPT ₁	CPT ₂	A ₁₆	CPT ₃₁	CPT ₃₂	CTX ₃
A ₁	CPT ₁	CPT ₂	A ₂₃	CPT ₃₇	CPT ₃₂	CTX ₃
A ₂	CPT ₁	CPT ₃	A ₁₇	CPT ₃₁	CPT ₃₃	CTX ₃
A ₂	CPT ₁	CPT ₃	A ₂₄	CPT ₃₇	CPT ₃₃	CTX ₃
A ₃	CPT ₁	CPT ₄	A ₁₈	CPT ₃₁	CPT ₃₄	CTX ₃
A ₃	CPT ₁	CPT ₄	A ₂₅	CPT ₃₇	CPT ₃₄	CTX ₃
A ₄	CPT ₂	CPT ₃	A ₂₁	CPT ₃₂	CPT ₃₃	CTX ₃
A ₅	CPT ₃	CPT ₅	A ₂₂	CPT ₃₃	CPT ₃₅	CTX ₃

Проналазе се тополошки коресподентни појмови (појмовима одговарајуће асоцијације улазног сплета) на нивоу асоцијације за сваку асоцијацију на нивоу истог кандидата тополошки аналогног сплета за сваког кандидата тополошки аналогног сплета

PLX _x			АСМ-ова мрежа			
ТКА	ТКП ₁	ТКП ₂	ТКА	ТКП ₁	ТКП ₂	СТХ
A ₁	CPT ₁	CPT ₂	A ₁₆	CPT ₃₁	CPT ₃₂	CTX ₃
A ₁	CPT ₁	CPT ₂	A ₂₃	CPT ₃₇	CPT ₃₂	CTX ₃
A ₂	CPT ₁	CPT ₃	A ₁₇	CPT ₃₁	CPT ₃₃	CTX ₃
A ₂	CPT ₁	CPT ₃	A ₂₄	CPT ₃₇	CPT ₃₃	CTX ₃
A ₃	CPT ₁	CPT ₄	A ₁₈	CPT ₃₁	CPT ₃₄	CTX ₃
A ₃	CPT ₁	CPT ₄	A ₂₅	CPT ₃₇	CPT ₃₄	CTX ₃
A ₄	CPT ₂	CPT ₃	A ₂₁	CPT ₃₂	CPT ₃₃	CTX ₃
A ₅	CPT ₃	CPT ₅	A ₂₂	CPT ₃₃	CPT ₃₅	CTX ₃

Бар један појам који је члан асоцијације улазног сплета на нивоу истог кандидата тополошки аналогног сплета има два или више различитих тополошки коресподентних појмова на нивоу асоцијације

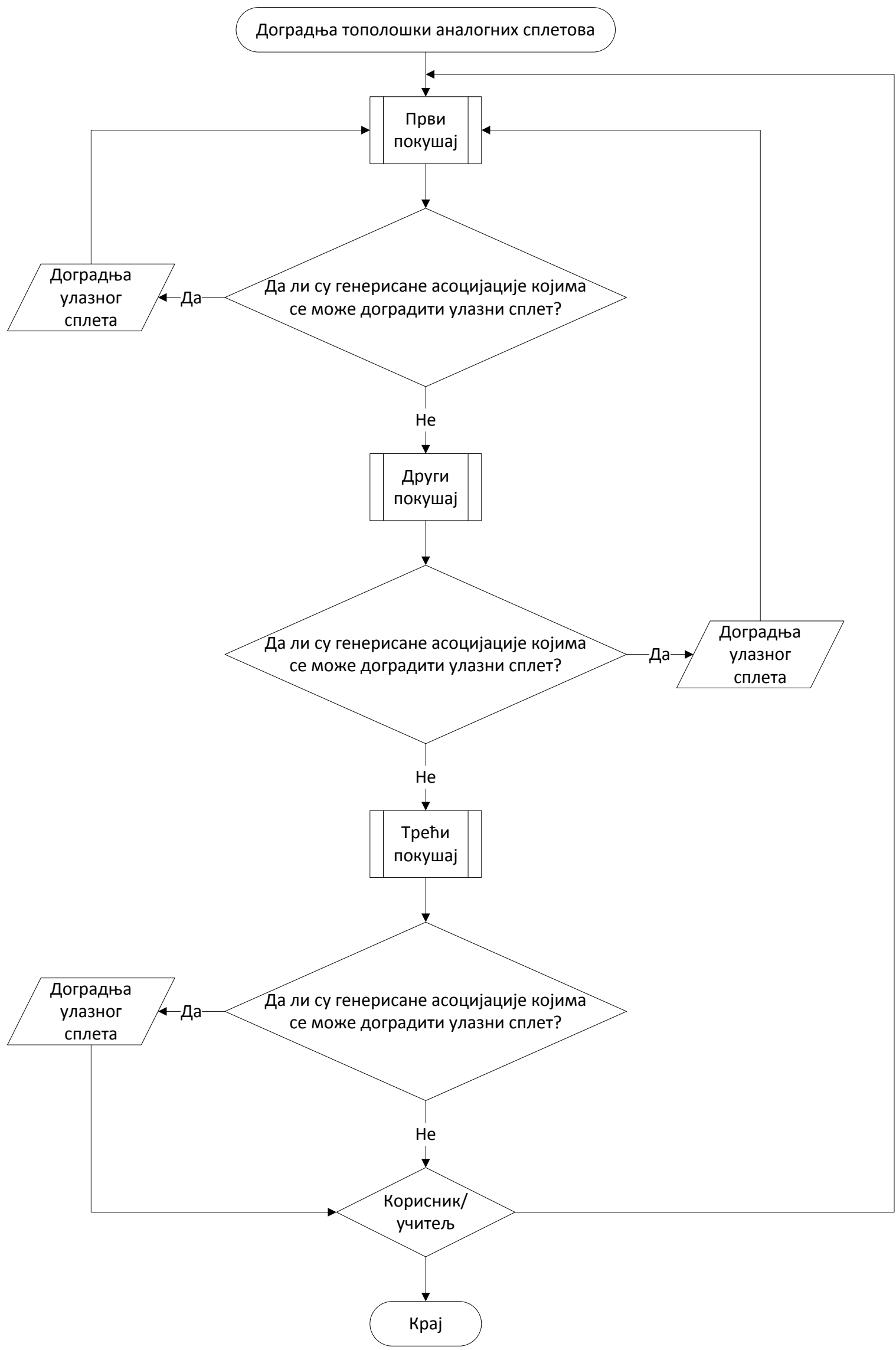
Да

Кандидат тополошки аналогног сплета се одбацује

Не

Кандидат тополошки аналогног сплета се прихвата

Крај



Семантички удаљени
тополошки коресподентни појмови

Први покушај

$$\exists CPT_i | \{CPT_i\} \in PLX_X \wedge \exists CPT_j | \{CPT_j\} \in PLX_N$$

$$CPT_i \asymp CPT_j$$

$$CPT_i \neq CPT_j, \nexists A_{CPT_i \leftrightarrow CPT_j}^{CTX_0} | t(A_{CPT_i \leftrightarrow CPT_j}^{CTX_0}) = \text{сличност} \vee t(A_{CPT_i \leftrightarrow CPT_j}^{CTX_0}) = \text{синонимски}$$

$$\exists A_{CPT_j \leftrightarrow CPT_{j+1}}^{CTX_N} | \{A_{CPT_j \leftrightarrow CPT_{j+1}}^{CTX_N}\} \in CTX_N \wedge \{A_{CPT_j \leftrightarrow CPT_{j+1}}^{CTX_N}\} \notin PLX_N, PLX_N \subseteq CTX_N$$

Не

Да

$$\exists A_{CPT_i \leftrightarrow CPT_k}^{CTX_M} | \{A_{CPT_i \leftrightarrow CPT_k}^{CTX_M}\} \in CTX_M \wedge A_{CPT_i \leftrightarrow CPT_k}^{CTX_M} \asymp A_{CPT_j \leftrightarrow CPT_{j+1}}^{CTX_N}, r(CPT_i) = r(CPT_j)$$

$$\{A_{CPT_i \leftrightarrow CPT_k}^{CTX_X}\} \in \text{dogradnja_spleta}$$

$$t(A_{i,k}^{CTX_X}) = t(A_{i,k}^{CTX_M})$$

$$c(A_{i,k}^{CTX_X}) = c(A_{i,k}^{CTX_M})$$

$$d(A_{i,k}^{CTX_X}) = d(A_{i,k}^{CTX_M})$$

$$h(A_{i,k}^{CTX_X}) = h(A_{i,k}^{CTX_M})$$

$$s(A_{i,k}^{CTX_X}) = s(A_{i,k}^{CTX_M})$$

$$A_{i,k}^{CTX_X} = A_{CPT_i \leftrightarrow CPT_k}^{CTX_X}, A_{i,k}^{CTX_M} = A_{CPT_i \leftrightarrow CPT_k}^{CTX_M}$$

Семантички блиски
тополошки коресподентни појмови

$$\exists CPT_i | \{CPT_i\} \in PLX_X \wedge \exists CPT_j | \{CPT_j\} \in PLX_N$$

$$CPT_i \asymp CPT_j$$

$$CPT_i \equiv CPT_j \vee CPT_i \overset{5. \sim}{\leftrightarrow} CPT_j \vee CPT_i \overset{4. \sim}{\leftrightarrow} CPT_j(CTX_0)$$

$$\exists A_{CPT_j \leftrightarrow CPT_{j+1}}^{CTX_N} | \{A_{CPT_j \leftrightarrow CPT_{j+1}}^{CTX_N}\} \in CTX_N \wedge \{A_{CPT_j \leftrightarrow CPT_{j+1}}^{CTX_N}\} \notin PLX_N, PLX_N \subseteq CTX_N$$

Не

Да

$$\{A_{CPT_i \leftrightarrow CPT_{j+1}}^{CTX_X}\} \in \text{dogradnja_spleta}$$

$$t(A_{i,j+1}^{CTX_X}) = t(A_{j,j+1}^{CTX_N})$$

$$c(A_{i,j+1}^{CTX_X}) = c(A_{j,j+1}^{CTX_N})$$

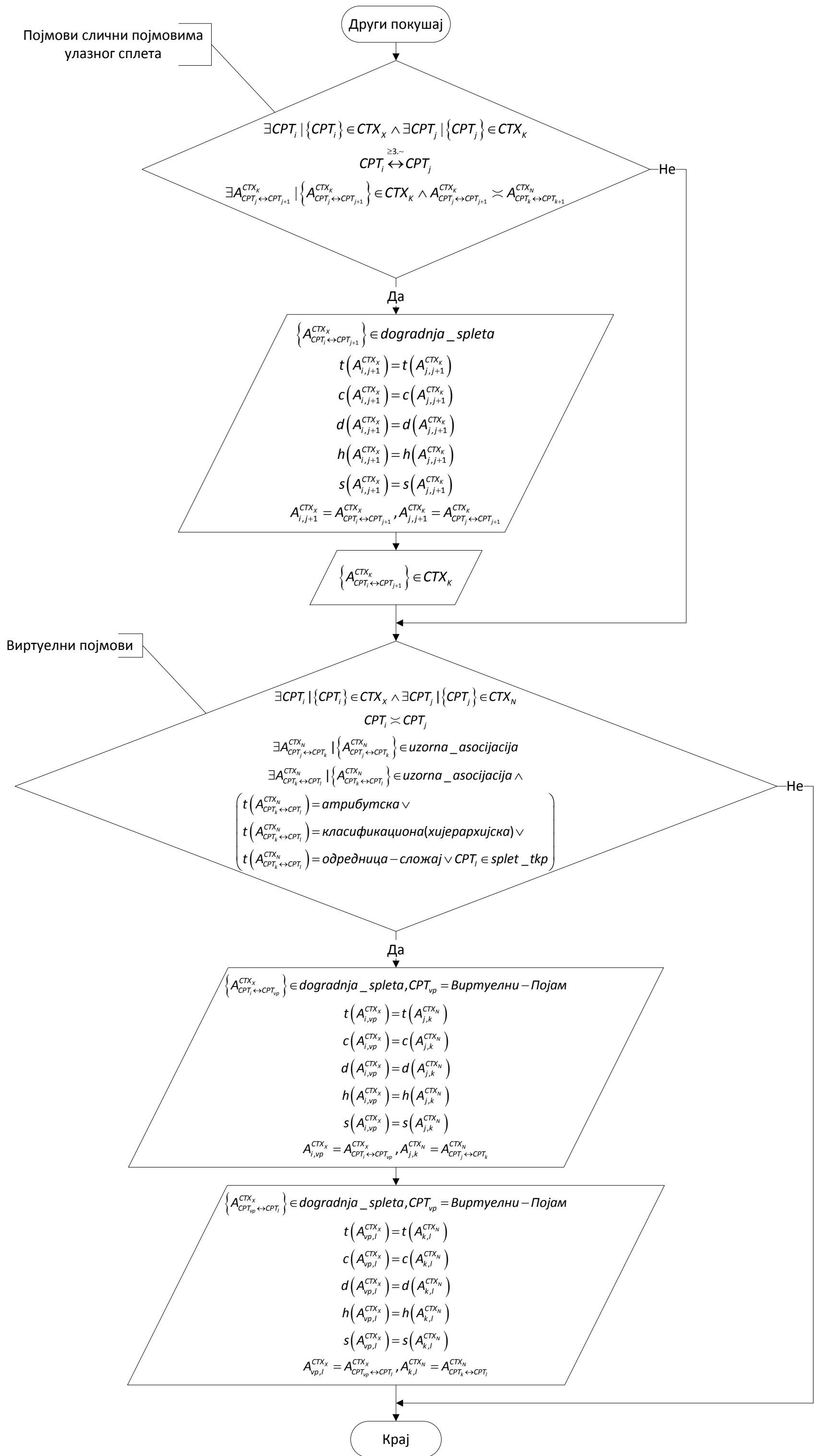
$$d(A_{i,j+1}^{CTX_X}) = d(A_{j,j+1}^{CTX_N})$$

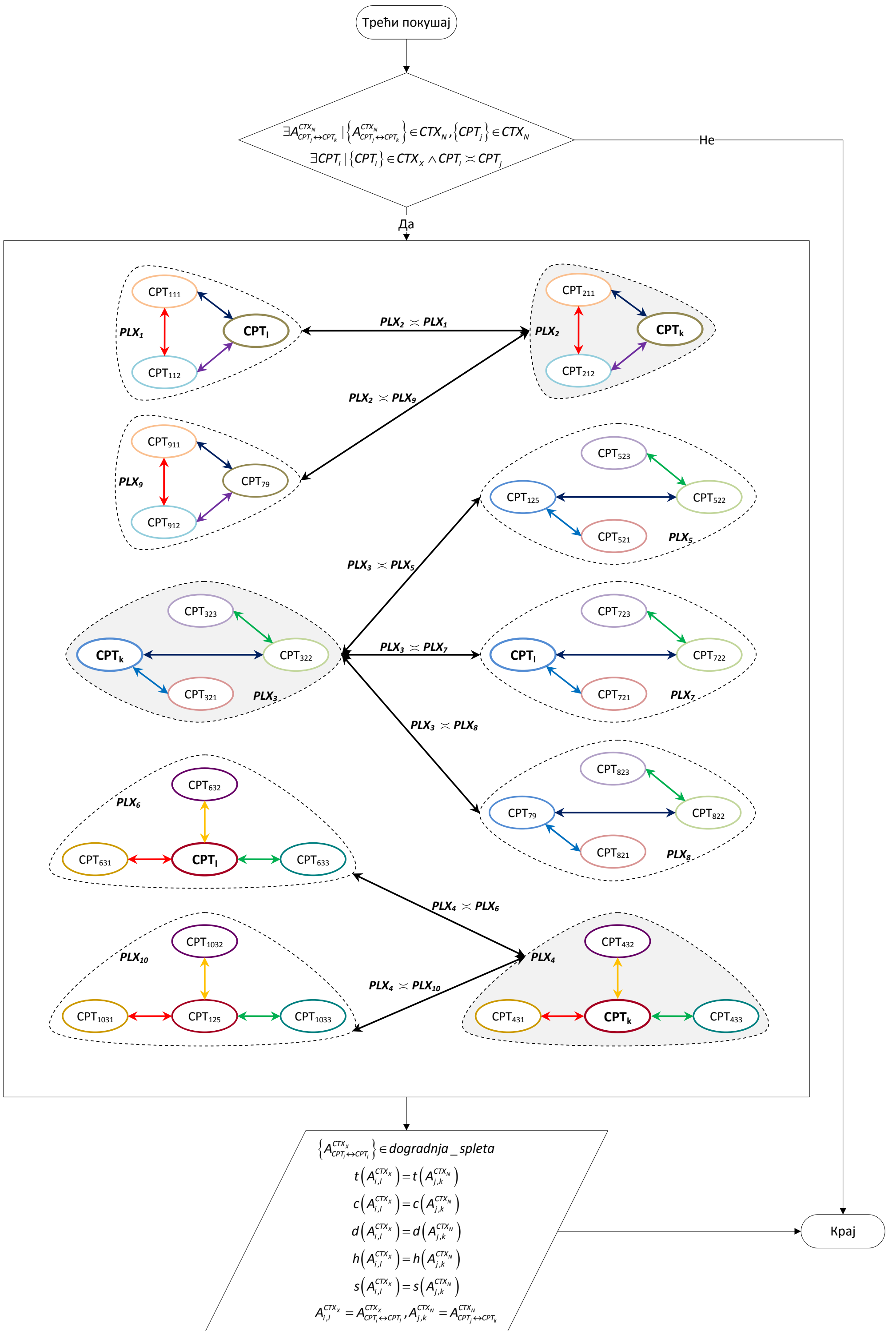
$$h(A_{i,j+1}^{CTX_X}) = h(A_{j,j+1}^{CTX_N})$$

$$s(A_{i,j+1}^{CTX_X}) = s(A_{j,j+1}^{CTX_N})$$

$$A_{i,j+1}^{CTX_X} = A_{CPT_i \leftrightarrow CPT_{j+1}}^{CTX_X}, A_{j,j+1}^{CTX_N} = A_{CPT_j \leftrightarrow CPT_{j+1}}^{CTX_N}$$

Крај





БИОГРАФИЈА АУТОРА

Милан Б. Трифуновић рођен је 1976. године у Нишу. Завршио је гимназију „Бора Станковић“ у Бору, природно-математички смер. Као редован студент Машинског факултета у Нишу на образовном профилу производног машинства дипломирао је 2003. године, са општим успехом 9,11.

Од 2003. године ради као сарадник у Лабораторији за интелигентне производне системе (ЛИПС) на Машинском факултету у Нишу, као стипендиста Министарства науке и технологије Републике Србије. Запошљен је на Машинском факултету у Нишу као стручни сарадник у Иновационом центру за развој и примену информационих технологија (ИЦИТ) 2006. године. Маја 2007. године изабран је у звање истраживач-приправник, а 2010. године у звање асистента на Катедри за производно-информационе технологије и менаџмент Машинског факултета у Нишу.

Од 2003. године учествује у извођењу наставе на основним и мастер академским студијама на предметима: Производне технологије, Програмирање НУМА, CAPP/CAM системи, Планирање технолошких процеса, Пројектовање технолошких система, Моделирање и оптимизација производних система, Инжењерска информатика, Основе информационо-комуникационих технологија, Информациони системи, Информационе технологије 1, Информационе технологије 2 и Интернет технологије.

Учесник је великог броја различитих пројеката, укључујући пројекте технолошког развоја и иновационе пројекте финансиране од стране Министарства за науку и технолошки развој Републике Србије, пројекте FP7 и H2020 програма, као и билатералне пројекте. Такође, учествује и у комерцијалним пројектима за реномирана домаћа и страна предузећа у областима развоја производа, анализе методом коначних елемената и реверзног инжењеринга.

Био је предавач на основним и напредним курсевима из области програмирања нумерички управљаних алатних машина, рачунаром потпомогнуте производње, геометријског моделирања и система за управљање релационим базама података. Од 2005. до 2008. године је био ангажован као секретар и предавач на програму PRISMA (програм преквалификације официра Војске Србије), на специјалностима „Информациони системи“ и „Рачунаром подржана реализација производа“, у оквиру Центра за обуку официра за цивилна занимања на Машинском факултету у Нишу.

Аутор је и коаутор 24 рада објављених у међународним часописима и презентованих на међународним конференцијама, три техничка решења и поглавља у монографији међународног значаја.

ИЗВЕШТАЈ О ОЦЕНИ ДОКТОРСKE ДИСЕРТАЦИЈЕ

ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ

Презиме, име једног родитеља и име	Трифуновић Борисава Милан
Датум и место рођења	10.11.1976. године; Ниш

Основне студије

Универзитет	Универзитет у Нишу
Факултет	Машински факултет у Нишу
Студијски програм	Машинско инжењерство
Звање	Дипломирани инжењер машинства
Година уписа	1995
Година завршетка	2003
Просечна оцена	9,11

Мастер студије

Универзитет	Универзитет у Нишу
Факултет	Машински факултет у Нишу
Студијски програм	Машинско инжењерство
Звање	Дипломирани инжењер машинства
Година уписа	1995
Година завршетка	2003
Просечна оцена	9,11
Образовни профил	Производно машинство
Наслов завршног рада	Линеарна статичка анализа капице заштите индустријске ципеле

Докторске студије

Универзитет	Универзитет у Нишу
Факултет	Машински факултет у Нишу
Студијски програм	Машинско инжењерство
Година уписа	2007; Решењем број 612-71-19/2008. од 10.09.2008. године, издатим од стране Машинског факултета у Нишу, уписан на докторске студије преласком са магистарских студија. Признати сви положени испити (шест испита) на магистарским студијама и дефинисана три додатна предмета у оквиру докторских студија.
Остварен број ЕСПБ бодова	300 (основне студије) + 120 (докторске студије) = 420
Просечна оцена	10

НАСЛОВ ТЕМЕ ДОКТОРСKE ДИСЕРТАЦИЈЕ

Наслов теме докторске дисертације	Геометријско моделирање објеката са елементима слободне форме подржано анализом њихових семантичких одлика
Име и презиме ментора, звање	др Мирослав Трајановић, редовни професор
Број и датум добијања сагласности за тему докторске дисертације	8/20-01-003/13-010; 22.03.2013. године

ПРЕГЛЕД ДОКТОРСKE ДИСЕРТАЦИЈЕ

Број страна	314
Број поглавља	6
Број слика (шема, графикона)	205

Број табела	35	
Број прилога	4	
ПРИКАЗ НАУЧНИХ И СТРУЧНИХ РАДОВА КАНДИДАТА који садрже резултате истраживања у оквиру докторске дисертације		
Р. бр.	Аутор-и, наслов, часопис, година, број волумена, странице	Категорија
1	Trifunovic, M., Stojkovic, M., Trajanovic, M., Manic, M., Mistic, D., Vitkovic, N., Analysis of semantic features in free-form objects reconstruction, Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing (AI EDAM), 2015, DOI: 10.1017/S0890060415000153, Published online: 30 April 2015 <i>У раду је представљен приступ који подразумева коришћење Активног Семантичког Модела (АСМ) за пружање подршке кориснику приликом пројектовања или реверзног моделирања објеката са елементима слободне форме. Пружање подршке у овом случају значи давање савета у вези са избором геометријских техничких елемената и начином њиховог компоновања. Рад доказује тезу да аутоматизација процеса пројектовања и реверзног моделирања објеката са елементима слободне форме (у смислу доношења одлука у вези са избором геометријских техничких елемената и начином њиховог компоновања) захтева и аутоматизацију семантичке интерпретације њихових одлика. Приступ је демонстриран на случају реверзног моделирања имплантата грудне кости.</i>	M23
2	Trifunovic, M., Stojkovic, M., Trajanovic, M., Manic, M., Semantic interpretation of geometric and technological features (Chapter 11), Methods and techniques for industrial development (Scientific Monograph; F. Cus, V. Gecevska, F. Chiampo (Eds.)), 2015, pp. 145-165, ISBN: 978-961-248-493-4 <i>У поглављу су представљени алгоритам утврђивања сличности асоцијација, у чијем језгру је поступак утврђивања параметара асоцијација, као и поступак доградње контекста семантичке мреже Активног Семантичког Модела (АСМ). За оба поступка су представљени случајеви примене. Поступак утврђивања параметара асоцијација је демонстриран на примеру препознавања непредвиђених изузетака који изазивају поремећај остварења радног тока израде калупа за вулканизацију пнеуматика. Поступак доградње контекста је демонстриран на примеру препознавања семантичке сличности геометријских техничких елемената у случају анализе непознате геометрије – латералног гребена на протекторском прстену алата за вулканизацију пнеуматика.</i>	M14
3	Stojkovic, M., Trifunovic, M., Mistic, D., Manic, M., Towards Analogy-Based Reasoning in Semantic Network, Computer Science and Information Systems (ComSIS), 2015, Vol. 12, No. 3, pp. 979-1008, DOI: 10.2298/CSIS141103036S <i>У раду је представљен приступ реализацији закључивања по аналогији у семантичкој мрежи. Коришћен је Активни Семантички Модел (АСМ). Језгро процеса представља поступак доградње тополошки аналогних сплетова који је базиран на утврђивању сличности између сплетова асоцијација. Утврђивање сличности сплетова асоцијација се врши препознавањем тополошке аналогије између сплетова асоцијација. АСМ даје одговор на непредвиђен улаз доградњом новог сплета асоцијација по узору на остатак контекста чији је подскуп препознати тополошки аналоган сплет асоцијација. У раду су дати и преглед најзначајнијих модела аналогија, као и детаљна анализа недостатака по питању закључивања који постоје код осталих актуелних семантичких модела. Приступ је демонстриран на случају решавања једне Raven-ове прогресивне матрице.</i>	M23
4	Trifunovic, M., Stojkovic, M., Mistic, D., Trajanovic, M., Manic, M., Recognizing Topological Analogy in Semantic Network, International Journal on Artificial Intelligence Tools (IJAIT), 2015, Vol. 24, No. 3, pp. 1550006-1 – 1550006-25, DOI: 10.1142/S0218213015500062 <i>У овом раду је предложен нови алгоритам за утврђивање максималних заједничких подграфа који је прилагођен семантичкој мрежи Активног Семантичког Модела (АСМ). Ова семантичка мрежа се може представити као скуп означених усмерених мултиграфа са јединственим ознакама чворова. Структура ових графова је специфична у смислу да су асоцијације, то јест ивице графа, означене скупом атрибута од којих се неки односе на чворове графа које повезује ивица. Предложени алгоритам омогућава истовремено препознавање максималног заједничког подграфа улазног графа и сваког од преосталих графова семантичке мреже АСМ-а.</i>	M23
5	Trifunovic, M., Stojkovic, M., Trajanovic, M., Mistic, D., Manic, M., Approach in realization of analogy-based reasoning in semantic network, Proceedings of the 4th International Conference on Information Society and Technology (ICIST 2014), 2014, pp. 192-197 <i>У раду је представљен приступ реализацији закључивања по аналогији у семантичкој мрежи. Коришћен је Активни Семантички Модел (АСМ). Језгро процеса представља поступак доградње тополошки аналогних сплетова који је базиран на утврђивању сличности између сплетова асоцијација. Утврђивање сличности сплетова асоцијација се врши препознавањем тополошке аналогије између сплетова асоцијација. АСМ даје одговор на непредвиђен улаз доградњом новог сплета асоцијација по узору на остатак контекста чији је подскуп препознати тополошки аналоган сплет асоцијација.</i>	M33
6	Trifunović, M., Stojković, M., Trajanović, M., Mišić, D., Manić, M., Interpreting the meaning of geometric features based on the similarities between associations of semantic network, FACTA UNIVERSITATIS Series: Mechanical Engineering, 2013, Vol. 11, No. 2, pp. 181-192 <i>У раду је представљен концепт анализе семантичке мреже који омогућава семантичку категоризацију података. Главни циљ анализе је утврђивање сличности асоцијација семантичке мреже на основу сличности вредности атрибута асоцијација. Концепт омогућава ефикасну семантичку категоризацију нових појмова, која не зависи од унапред планираних улаза и дефинисаних правила закључивања. Приступ омогућава и различите семантичке</i>	M24

	интерпретације истог појма у различитим семантичким контекстима. Као пример за демонстрацију процеса семантичке категоризације је искоришћен део радног тока израде калупа.	
7	Veselinovic, M., Stevanovic, D., Trajanovic, M., Manic, M., Arsic, S., Trifunovic, M., Mistic, D., Method for creating 3D surface model of the human tibia, Proceedings of the 34th International Conference on Production Engineering (ICPE 2011), 2011, pp. 355-358 Рад приказује примену техника геометријског моделирања у оквиру процеса креирања 3D површинског модела голењаче. За креирање валидног CAD модела голењаче кључна је прецизна дефиниција њене геометрије и топологије. Због тога је геометријски модел креиран на основу анатомских и морфолошких својстава голењаче. Предложен процес креирања геометријског модела голењаче садржи неколико корака: увођење и обрада облака тачака, креирање и обрада полигоналног модела, идентификација референтних геометријских ентитета, креирање и обрада кривих линија на полигоналном моделу и креирање и обрада површинског модела. Са морфометријског аспекта овај приступ омогућава креирање прецизнијих модела у поређењу са стандардним техникама моделирања.	M33
8	Stojkovic, M., Manic, M., Trifunovic, M., Vitkovic, N., Semantic interpretation of the product model features in product quality assessment, Proceedings of the 6th International Working Conference „Total Quality Management – Advanced And Intelligent Approaches“ (IWC TQM 2011), 2011, pp. 481-484 У раду је описан случај поступка процене квалитета у раним фазама пројектовања производа заснованог на анализи семантичких одлика геометријских и технолошких типских форми. Такође, у раду је показана додатна флексибилност закључивања АСМ-а кроз могућност да се креирају и користе хибридне процедуре (за процену квалитета) комбинујући коришћење аналогија и изоморфизма графова и подграфова семантичке мреже са једне и строго формализованог знања у виду процедуралног кода са друге стране.	M33
9	Stojković, M., Manić, M., Trifunović, M., Mišić, D., Semantic categorization of data by determining the similarities of associations of the semantic network, Proceedings of the 1st International Conference on Information Society Technology and Management (ICIST 2011), 2011, pp. 140-145 Рад приказује оригинални поступак семантичке интерпретације и категоризације података у семантичкој мрежи изграђене према принципима Активног Семантичког Модела (АСМ). Приказани поступак се одвија у два нивоа и ослања се на утврђивање сличности између асоцијација мреже. У првом нивоу, утврђивање сличности асоцијација се заснива на сличности вредности атрибута асоцијација. У другом нивоу, утврђивање сличности асоцијација се спроводи према сличности топологије графова и подграфова асоцијација. У изабраним примерима у раду, показан је висок степен ефикасности семантичке категоризације нових појмова која не зависи од унапред планираних улаза и унапред дефинисаних правила дедукције. Такође, показано је да приказани поступак допушта могућност различите семантичке интерпретације истог концепта у различитим семантичким контекстима.	M33
10	Manić, M., Stojković, M., Trifunović, M., Semantic features in computer aided manufacturing systems, Proceedings of the International Conference „Mechanical Engineering in XXI Century“ (MASING 2010), 2010, pp. 179-182 Рад приказује специфичан приступ семантичког моделирања, а потом и семантичке интерпретације геометријских типских форми дигиталног модела производа заснован на коришћењу Активног Семантичког Модела (АСМ). Пример који је приказан у раду показује како је семантичку интерпретацију геометријских одлика делова који се одликују тзв. слободном формом могуће искористити за ефикасну аутоматизацију избора и компоновања технолошког процеса. Тиме је показан велики потенцијал семантичких структура АСМ-а за унапређење CAD/CAPP/CAM система.	M33
11	Mišić, D., Stojković, M., Domazet, D., Trajanović, M., Manić, M., Trifunović, M., Exception detection in business process management systems, Journal of Scientific and Industrial Research (JSIR), Vol. 69, No. 3, pp. 188-193 Рад доноси студију о апликацији Активног Семантичког Модела (АСМ) у настојању да се аутоматизује детекција непредвиђених поремећаја што се сматра једним од најзначајнијих изазова система за управљање радним токовима, пословним и производним процесима. У раду је дат кратак опис структуре АСМ-а и начина његове уградње у оригиналну софтверску апликацију за управљање радним токовима MD. Студија тест примера приказана у раду демонстрира капацитет АСМ-а да се непредвиђени поремећаји семантички категоризују (препознају) као поремећаји радног тока одговарајуће класе и тиме створи предуслов за активирање потребне реакције у циљу повратка радног тока у регуларно стање.	M23
12	Stojković, M., Manić, M., Trifunović, M., Mišić, D., Semantic interpretation of geometrical features, Proceedings of the 5th International Working Conference „Total Quality Management – Advanced And Intelligent Approaches“ (IWC TQM 2009), 2009, pp. 91-96 Рад говори о могућностима интеграције семантичких модела у моделе производа, што са једне стране обезбеђује апстрактну формулацију реалних објеката и ситуација, а са друге, ствара могућности за рачунаром подржано интелигентно разумивање (вршење процене и доношење одлука, итд.). Представљени су структура Активног Семантичког Модела (АСМ), као и алгоритам препознавања сличности између непознатог и познатог скупа података. У раду је посебна пажња посвећена опису механизма семантичке интерпретације значењских одлика у процесу препознавања техничких елемената CAD модела производа. Активни семантички модел података о производу свој алгоритам препознавања заснива на упоређивању сличности значењских веза којима су непознати и познати појмови, који репрезентују техничке елементе CAD модела, повезани у семантичку мрежу. Као конкретан пример за демонстрацију механизма семантичке интерпретације у процесу препознавања, узет је детаљ са CAD модела калупа за вулканизацију аутомобилских пнеуматика.	M33
13	Stojković, M., Manić, M., Trifunović, M., Mišić, D., Prepoznavanje tehničkih elemenata CAD modela analizom njihovih značenjskih odlika, YU INFO 2009, Zbornik radova na CD-u, 2009 Рад даје кратак извод дела истраживања на пољу развоја Активног Семантичког Модела (АСМ). У раду је посебна пажња посвећена опису механизма семантичке интерпретације значењских одлика у процесу препознавања техничких елемената CAD модела производа. Способност препознавања сличности између непознатог и познатог	M63

	скупа података се налази у језгру свих процеса семантичке интерпретације информација. Активни семантички модел података о производу свој алгоритам препознавања заснива на упоређивању сличности значењских веза којима су непознати и познати појмови, који репрезентују техничке елементе CAD модела, повезани у семантичку мрежу. Као конкретан пример за демонстрацију механизма семантичке интерпретације у процесу препознавања, узет је детаљ са CAD модела калуна за вулканизацију аутомобилских пнеуматика.	
14	Trajanović, M., Vitković, N., Trifunović, M., Arsić, S., Novi pristup u generisanju interpolacionih površina fizičkih objekata, YU INFO 2009, Zbornik radova na CD-u, 2009 У раду је приказана нова метода за генерисање интерполационе површине одређеног дела физичког објекта. За приказ ове методе креирана је апликација у Visual Basic-у, која омогућава креирање интерполационе површине на основу улазних података. Улазни подаци се добијају са скенираних модела физичких објеката. Излаз из апликације је интерполациона површина дефинисана над улазним скупом тачака. Сам процес добијања интерполационе површине захтева употребу CAD програма CATIA, и MatLab-a. Употребна вредност апликације, па и саме методе се огледа у могућности визуелизације површине и њених карактеристика, а све у циљу што квалитетнијег генерисања валидне површине у тополошко-геометријском смислу.	M63

НАПОМЕНА: уколико је кандидат објавио више од 3 рада, додати нове редове у овај део документа

ИСПУЊЕНОСТ УСЛОВА ЗА ОДБРАНУ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

Кандидат испуњава услове за оцену и одбрану докторске дисертације који су предвиђени Законом о високом образовању, Статутом Универзитета и Статутом Факултета.

ДА НЕ

образложење

Кандидат је положио све испите предвиђене наставним планом и програмом, објавио довољан број научних радова и поднео радну верзију докторске дисертације одговарајуће садржине, обима и квалитета, у складу са одобреном темом докторске дисертације.

ВРЕДНОВАЊЕ ПОЈЕДИНИХ ДЕЛОВА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

Кратак опис појединих делова дисертације (до 500 речи)

Разматрани рад се састоји из шест поглавља: Увод, Преглед савремених истраживања у области, Задатак, Активни семантички модел и когнитивно процесирање, Тестирање: Експерименти и резултати и Завршно разматрање резултата и закључак.

У уводу је дата анализа рада пројектанта приликом пројектовања / реверзног моделирања објеката са елементима слободне форме и истакнуте су специфичности ових процеса и проблеми са којима се пројектант сусреће. Говори се о потребама и изазовима уградње знања у програмске апликације које се користе у савременим колаборативним окружењима за пројектовање производа.

У другом поглављу је дат преглед стања истраживања у разматраној области. С обзиром на мултидисциплинарност истраживања, преглед стања истраживања је обухватио више области: 1) Инжењерски системи базирани на знању, 2) Утврђивање сличности графова и 3) Алати за подршку одлучивању приликом пројектовања. У делу који се односи на инжењерске системе базирани на знању су, између осталог, наведени и примери реализације ових система у домену геометријског моделирања објеката са елементима слободне форме, као што је ваздухопловна индустрија. У делу који се односи на утврђивање сличности графова акценат је стављен на област прецизног поклапања графова, док је у делу који се односи на алате за подршку одлучивању приликом пројектовања посебна пажња посвећена области закључивања по аналогiji.

У трећем поглављу је дефинисана истраживачка хипотеза – аутоматизација процеса пројектовања / реверзног моделирања објеката са елементима слободне форме (у смислу доношења одлука у вези са избором геометријских техничких елемената и начином њиховог компоновања) захтева и аутоматизацију семантичке интерпретације њихових одлика. Такође је дефинисан и задатак истраживања у дисертацији – аутоматизација процеса пројектовања / реверзног моделирања објеката са елементима слободне форме уз помоћ КБЕ (*Knowledge Based Engineering*; Инжењерство базирано на знању) додатка CAD пакету, са објашњењем начина на који се то жели и остварити.

У првом делу четвртог поглавља је дат преглед процедуре реверзног моделирања геометрије хуманих костију. Након тога је дат детаљан приказ поступака утврђивања тополошки аналогних сплетова и контекста семантичке мреже АСМ-а, заједно са проценом сложености истог. У следећем делу поглавља је дат детаљан приказ поступка доградње контекста семантичке мреже АСМ-а. Овај поступак у суштини представља имплементиран механизам закључивања на основу случајева / закључивања по аналогiji у АСМ-у. Специфична структура АСМ-а је у стању да угради, а придружени алгоритми когнитивне обраде података (укључујући и развијене и унапређене поступке) да интерпретирају значење геометријских, функционалних и технолошких одлика објеката са елементима слободне форме. Управо ове функционалности АСМ-а омогућиле су аутоматизацију процеса реверзног моделирања објеката са елементима слободне форме. Четврто поглавље садржи и реалан случај примене на коме су демонстрирани претходно поменути поступци. На крају овог поглавља су дати техничке карактеристике и опис алата за тестирање приступа – AcSeMod програмске апликације.

У петом поглављу је извршено тестирање приступа на примеру реверзног моделирања геометрије костију човека, конкретно бутне кости. Пример се састоји из три дела, у оквиру којих су предложени поступци реверзног моделирања трохантерске регије, тела бутне кости и доњег краја бутне кости. У примеру је тестирана способност АСМ-а да спроведе семантичку интерпретацију геометријских одлика новог, односно непознатог објекта, у процесу реверзног моделирања. Након значењског описивања геометрије новог објекта се, уз помоћ поступка утврђивања тополошки аналогних сплетова и контекста, врши његова значењска категоризација, да би коначно алгоритми когнитивне обраде података АСМ-а препознали/генерисали применљиве и релевантне одговоре спрам захтева корисника, који је у овом примеру поступак реверзног моделирања објекта. Одговор бива генерисан спровођењем поступка доградње контекста.

ВРЕДНОВАЊЕ РЕЗУЛТАТА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

Ниво остваривања постављених циљева из пријаве докторске дисертације (до 200 речи)

Циљеви постављени у пријави докторске дисертације су у потпуности остварени, као и предложени оквирни садржај дисертације.

Развијен је поступак утврђивања тополошки аналогних сплетова и контекста семантичке мреже АСМ-а. Дат је детаљан приказ поступка са смерницама за имплементацију истог. Овај поступак омогућава проналажење делова семантичке мреже који имају исту врсту или класу топологије и идентичне структуре. Овде се под врстом или класом топологије подразумева комбинација одговарајућих вредности тополошких параметара (улоге појмова, тип, карактер и смер асоцијације) асоцијација сплета. Када се говори о закључивању на основу случајева, односно закључивању по аналогији на нивоу АСМ-а, овим поступком би се проналазили слични претходно анализирани случајеви. Поступак утврђивања тополошки аналогних сплетова и контекста семантичке мреже АСМ-а је представљен у раду у часопису категорије M23.

Унапређен је поступак такозване *доградње* контекста семантичке мреже АСМ-а. Овај поступак, заправо, омогућава аутономно доношење смислених судова, процена и закључака, па чак и креативних одговора АСМ-а. Може се рећи да је унапређен поступак доградње контекста настао као својеврсна модификација, односно проширење познатих приступа закључивања по аналогији. У раду је дат је детаљан приказ унапређеног поступка. Посебна пажња је посвећена имплементацији овог поступка. Поступак доградње контекста семантичке мреже АСМ-а са случајем примене је представљен у раду у часопису категорије M23.

Спровођењем више експеримената из домена реверзног моделирања геометрије хуманих костију доказано је да се надограђени АСМ може употребити за аутоматизацију процеса пројектовања / реверзног моделирања објеката са елементима слободне форме (у смислу доношења одлука у вези са избором геометријских техничких елемената и начином њиховог компоновања). Овај приступ аутоматизацији процеса пројектовања / реверзног моделирања објеката са елементима слободне форме (са случајем примене) је представљен у раду у часопису категорије M23.

Креирана је AcSeMod програмска апликација у чијој основи се налази АСМ. Ова апликација је коришћена за тестирање приступа. Измењена је структура асоцијација, у смислу додавања „фраза“, чиме је омогућена знатно једноставнија и природнија интеракција корисника са програмском апликацијом.

Вредновање значаја и научног доприноса резултата дисертације (до 200 речи)

Обрађивана тема докторске дисертације је веома значајна и актуелна, како у науци, тако и у пракси. Поднета докторска дисертација представља оригиналан и вредан научни и стручни допринос кандидата. Научни допринос разматраног рада и објављених радова се пре свега огледа у следећем:

- Представљен је нови приступ геометријском моделирању објеката са елементима слободне форме који подразумева коришћење КВЕ додатка CAD систему, ради пружања подршке кориснику приликом геометријског моделирања, односно реверзног инжењеринга. Под подршком се подразумева давање савета у вези са избором геометријских техничких елемената и начином њиховог компоновања. На овај начин је извршена аутоматизација процеса пројектовања / реверзног моделирања објеката са елементима слободне форме.
- Развијени поступак утврђивања тополошки аналогних сплетова и контекста семантичке мреже АСМ-а се у области теорије графова може категоризовати као утврђивање максималног заједничког подграфа улазног графа и сваког од преосталих графова семантичке мреже АСМ-а. Семантичка мрежа АСМ-а, која се састоји од асоцијација организованих у контексте, може се представити као скуп означених усмерених мултиграфова са јединственим ознакама чворова.
- Унапређени поступак доградње контекста семантичке мреже АСМ-а представља оригинални метод закључивања по аналогији у семантичкој мрежи. Овај поступак, заједно са претходним, је кључан за закључивање у условима неодређености, односно у ситуацијама када улаз није унапред познат. Овако реализован процес закључивања по аналогији омогућава аутономну, флексибилну и аналитичну

семантичку интерпретацију података уграђених у семантичку мрежу. Још једна предност овог поступка јесте полуаутоматска адаптација решења претходно разматраних сличних случајева.

Универзалност резултата спроведеног истраживања огледа се у чињеници да се АСМ као информатички концепт може сматрати опште применљивим. Нека од могућих места примене овог модела су: претраживање интернета са семантичком интерпретацијом садржаја, помагање при учењу, адаптивно управљање дистрибутивним мрежама, анализе тржишта, аутономно учење рачунара (*machine learning*). У свакој ситуацији где је потребна аутоматизација интелигентног закључивања, а где нема могућности или се не жели предвидети сваки могући улаз, примена АСМ-а је индикована. У случају овде разматраног рада, АСМ представља нов, јединствен и употребљив пример примене семантичких модела за аутоматизацију процеса пројектовања / реверзног моделирања објеката са елементима слободне форме.

Оцена самосталности научног рада кандидата (до 100 речи)

Кандидат је показао изузетно висок ниво самосталности, креативности и систематичности у истраживањима и испољио способност анализе научних знања из задате области уз оригиналност у осмишљавању и креирању одређених научних и стручних решења. Кандидат је приказао детаљну, свеобухватну и квалитетну анализу постојеће научне литературе из области теме докторске дисертације. Познавање литературе и стечена знања из више области је искористио да на креативан начин осмисли, формулише и примени научни приступ аутоматизацији процеса пројектовања / реверзног моделирања објеката са елементима слободне форме. Резултате спроведених истраживања је делом публиковао кроз квалитетне научне радове, објављене у значајним међународним часописима и на међународним конференцијама.

ЗАКЉУЧАК (до 100 речи)

На основу прегледа поднете радне верзије докторске дисертације и увидом у публиковане научне радове кандидата, чланови Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације закључују следеће:

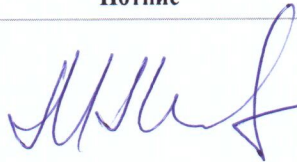
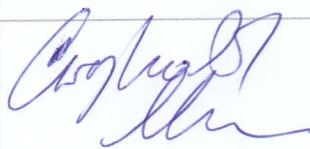
- Поднети рад у потпуности одговара теми докторске дисертације прихваћеној од стране Наставно-научног већа Машинског факултета у Нишу и Научно-стручног већа за техничко-технолошке науке Универзитета у Нишу.
- Докторска дисертација представља оригиналан и вредан научни и стручни допринос у области примена метода вештачке интелигенције у пројектовању и реверзном моделирању.
- Научни допринос и оригиналност дисертације показани су објављивањем већег броја радова у међународним часописима и на међународним конференцијама.
- Докторска дисертација је адекватно конципирана и технички изузетно квалитетно урађена.
- Резултати истраживања имају задовољавајућу тачност и висок степен општости, тако да се концепт Активног Семантичког Модела и когнитивне обраде података може успешно применити и у другим областима.
- Кандидат поседује висок ниво теоријских и практичних знања из више области потребних за решавање комплексних проблема аутоматизације процеса пројектовања, успешно примењује научне методе и поступке и добро је упознат са досадашњим научним достигнућима.
- Кандидат је показао висок ниво самосталности и систематичности у бављењу научно-истраживачким радом, као и креативан приступ формулацији и решавању разматраних проблема.

Имајући у виду напред наведено, Комисија са задовољством предлаже Наставно-научном већу Машинског факултета у Нишу да рад кандидата **Милана Б. Трифуновића**, дипломираног инжењера машинства, под називом:

**„ГЕОМЕТРИЈСКО МОДЕЛИРАЊЕ ОБЈЕКТА СА ЕЛЕМЕНТИМА СЛОБОДНЕ ФОРМЕ
ПОДРЖАНО АНАЛИЗОМ ЊИХОВИХ СЕМАНТИЧКИХ ОДЛИКА“**

прихвати као докторску дисертацију и да кандидата позове на усмену јавну одбрану.

КОМИСИЈА

Број одлуке ННВ о именовању Комисије		612-620-7/2015	
Датум именовања Комисије		08.10.2015. године	
Р. бр.	Име и презиме, звање		Потпис
1.	др Миодраг Манић, редовни професор		
	Производни системи и технологије	Универзитет у Нишу, Машински факултет у Нишу	
	(Научна област)	(Установа у којој је запослен)	
2.	др Мирослав Трајановић, редовни професор		
	Производни системи и технологије	Универзитет у Нишу, Машински факултет у Нишу	
	(Научна област)	(Установа у којој је запослен)	
3.	др Alexis Aubry, ванредни професор		
	Информациони системи предузећа, Семантичка интероперабилност система	Université de Lorraine, Нанси, Француска	
	(Научна област)	(Установа у којој је запослен)	
4.	др Љиљана Радовић, ванредни професор		
	Математика и информатика	Универзитет у Нишу, Машински факултет у Нишу	
	(Научна област)	(Установа у којој је запослен)	
5.	др Милош Стојковић, доцент		
	Производни системи и технологије	Универзитет у Нишу, Машински факултет у Нишу	
	(Научна област)	(Установа у којој је запослен)	

Датум и место:

У Нишу и Нансију

децембра 2015. године

ЗАПИСНИК

са усмене одбране докторске дисертације Милана Трифуновића, дипломираног инжењера машинства, одржане 26. фебруара 2016. године на Машинском факултету у Нишу.

Одбрана докторске дисертације почела је у 12⁰⁰ часова уводним излагањем Председника Комисије, који је саопштио основне биографске податке о кандидату, ток поступка израде докторске дисертације као и Извештај Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације.

Кандидат је приступио излагању докторске дисертације, износећи методологију рада и постигнуте резултате до којих је дошао.

После завршеног усменог излагања кандидата, чланови Комисије су поставили више питања на које је кандидат дао одговоре.

Одбрана је завршена у 14:00 часова.

На основу усмене одбране, одговора кандидата на постављена питања чланова Комисије и на основу Одлуке о усвајању Извештаја Наставно-научног већа Факултета и Научно-стручног већа за техничко-технолошке науке Универзитета у Нишу, чланови Комисије су једногласно донели

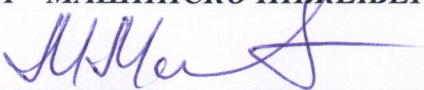
О Д Л У К У

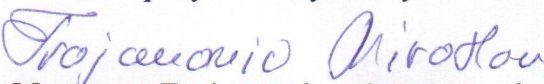
Милан Трифуновић, дипломирани инжењер машинства, одбранио је докторску дисертацију под називом:

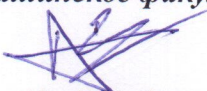
„ГЕОМЕТРИЈСКО МОДЕЛИРАЊЕ ОБЈЕКТА СА ЕЛЕМЕНТИМА СЛОБОДНЕ ФОРМЕ ПОДРЖАНО АНАЛИЗОМ ЊИХОВИХ СЕМАНТИЧКИХ ОДЛИКА“

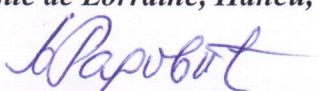
и стекао научни назив

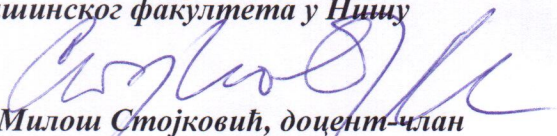
ДОКТОР НАУКА – МАШИНСКО ИНЖЕЊЕРСТВО


др Миодраг Манић, редовни професор–председник
Машинског факултета у Нишу


др Мирослав Трајановић, редовни професор-ментор
Машинског факултета у Нишу


др Alexis Aubry, ванредни професор-члан
Université de Lorraine, Нанси, Француска


др Љиљана Радовић, ванредни професор–члан
Машинског факултета у Нишу


др Милош Стојковић, доцент-члан
Машинског факултета у Нишу

Изјава 1.

ИЗЈАВА О АУТОРСТВУ

Изјављујем да је докторска дисертација, под насловом

ГЕОМЕТРИЈСКО МОДЕЛИРАЊЕ ОБЈЕКТА СА ЕЛЕМЕНТИМА СЛОБОДНЕ ФОРМЕ
ПОДРЖАНО АНАЛИЗОМ ЊИХОВИХ СЕМАНТИЧКИХ ОДЛИКА

која је одбрањена на Машинском факултету Универзитета у Нишу:

- резултат сопственог истраживачког рада;
- да ову дисертацију, ни у целини, нити у деловима, нисам пријављивао/ла на другим факултетима, нити универзитетима;
- да нисам повредио/ла ауторска права, нити злоупотребио/ла интелектуалну својину других лица.

Дозвољавам да се објаве моји лични подаци, који су у вези са ауторством и добијањем академског звања доктора наука, као што су име и презиме, година и место рођења и датум одбране рада, и то у каталогу Библиотеке, Дигиталном репозиторијуму Универзитета у Нишу, као и у публикацијама Универзитета у Нишу.

У Нишу, 01.03.2016. године

Аутор дисертације: Милан Трифуновић

Потпис аутора дисертације:

Милан Трифуновић

Изјава 2.

**ИЗЈАВА О ИСТОВЕТНОСТИ ШТАМПАНОГ И ЕЛЕКТРОНСКОГ ОБЛИКА ДОКТОРСKE
ДИСЕРТАЦИЈЕ**

Име и презиме аутора: Милан Трифуновић

Наслов дисертације: ГЕОМЕТРИЈСКО МОДЕЛИРАЊЕ ОБЈЕКТА СА ЕЛЕМЕНТИМА
СЛОБОДНЕ ФОРМЕ ПОДРЖАНО АНАЛИЗОМ ЊИХОВИХ СЕМАНТИЧКИХ ОДЛИКА

Ментор: др Мирослав Трајановић, редовни професор

Изјављујем да је штампани облик моје докторске дисертације истоветан електронском облику, који сам предао/ла за уношење у **Дигитални репозиторијум Универзитета у Нишу**.

У Нишу, 01.03.2016. године

Потпис аутора дисертације:

Милан Трифуновић

Изјава 3:

ИЗЈАВА О КОРИШЋЕЊУ

Овлашћујем Универзитетску библиотеку „Никола Тесла“ да, у Дигитални репозиторијум Универзитета у Нишу, унесе моју докторску дисертацију, под насловом:

**ГЕОМЕТРИЈСКО МОДЕЛИРАЊЕ ОБЈЕКТА СА ЕЛЕМЕНТИМА СЛОБОДНЕ ФОРМЕ
ПОДРЖАНО АНАЛИЗОМ ЊИХОВИХ СЕМАНТИЧКИХ ОДЛИКА**

Дисертацију са свим прилозима предао/ла сам у електронском облику, погодном за трајно архивирање.

Моју докторску дисертацију, унету у Дигитални репозиторијум Универзитета у Нишу, могу користити сви који поштују одредбе садржане у одабраном типу лиценце Креативне заједнице (Creative Commons), за коју сам се одлучио/ла.

1. Ауторство (CC BY)
2. Ауторство – некомерцијално (CC BY-NC)
3. Ауторство – некомерцијално – без прераде (CC BY-NC-ND)
4. Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима (CC BY-NC-SA)
5. Ауторство – без прераде (CC BY-ND)
6. Ауторство – делити под истим условима (CC BY-SA)

(Молимо да подвучете само једну од шест понуђених лиценци; опис лиценци дат је у наставку текста).

У Нишу, 01.03.2016. године

Аутор дисертације: Милан Трифуновић

Потпис аутора дисертације:

Милан Трифуновић