



УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ  
ПРИРОДНО-МАТЕМАТИЧКИ ФАКУЛТЕТ  
ДЕПАРТМАН ЗА ХЕМИЈУ, БИОХЕМИЈУ  
И ЗАШТИТУ ЖИВОТНЕ СРЕДИНЕ



**Тамара Н. Хрин**

**Ефикасност примене системичког приступа у  
средњошколској настави органске хемије**

- ДОКТОРСКА ДИСЕРТАЦИЈА -

Нови Сад, 2015.



## Предговор

Докторска дисертација под називом „Ефикасност примене системичког приступа у средњошколској настави органске хемије” урађена је на Катедри за Методику наставе хемије, на Департману за хемију, биохемију и заштиту животне средине, Природно-математичког факултета у Новом Саду, под менторством проф. др Мирјане Сегединац. Истраживање је спроведено у оквиру пројекта „Инфраструктура за електронски подржано учење у Србији”, Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије.

Циљ истраживања ове докторске дисертације јесте разматрање утицаја инструкционог метода заснованог на системичком приступу учењу и настави органске хемије, на ученичко смислено учење и системско мишљење. Као детерминанте ефикасности овог метода разматрају се ученичко постигнуће и уложени ментални напор. Поред тога, испитана је примена системичких задатака као алата за евалуацију ученичког смисленог разумевања. Дисертацију чини пет главних поглавља: (1) Увод, (2) Теоријска разматрања, (3) Методологија истраживања, (4) Резултати истраживања и дискусија, (5) Закључак.

Уводна разматрања дефинишу ученичке тешкоће током савладавања садржаја органске хемије, као и њихове изворе. При томе су истакнути правци актуелних студија које разматрају наведени проблем, уз образложење потреба за овим истраживањем.

У теоријском делу рада дефинишу се кључни појмови који се односе на принципе онтолошког приказивања знања, као и на обележја његове уже спецификације – системичког приступа учењу и настави хемије. Посебна пажња се посвећује концептима системског мишљења и смисленог учења и разумевања. Теоријски део се завршава теоријом когнитивног оптерећења, са нагласком на инструкциону ефикасност и са детаљним описом поступка за добијање информација о ефикасности примењених инструкционих метода.

Методологија рада почиње истицањем проблема, предмета и циља истраживања, из којих се дефинишу задаци истраживања. Након приказа узорка, метода и инструмента истраживања, дат је детаљан опис дизајна наставног материјала и самог наставног процеса.

Уз приказ резултата истраживања истакнути су одабрани статистички поступци, који су у складу дизајном истраживања. Дискусија је заснована на детаљном опису прикупљених и анализираних резултата, уз анализу корелације са резултатима досадашњих истраживања из релевантних области.

Последња целина обухвата закључна разматрања, која су приказана у редоследу постављених истраживачких задатака. У овој целини су такође назначене предности и евентуални недостаци спроведеног истраживања, уз смернице за даља истраживања.

## *Захвалница*

*Овом приликом се срдечно захваљујем особама чије су корисне смернице и подршка непроцењиви за израду ове докторске дисертације.*

Посебно се захваљујем мојој менторки, проф. др Мирјани Сегединац на предложеној теми коју сам од почетка са задовољством проучавала и обрађивала. Неизмерно хвала на корисним, професионалним саветима у току планирања и саме израде дисертације, на свесрдној подршци и оптимизму у току експерименталног истраживања, као и на детаљном читању урађене дисертације.

Захваљујем се председнику комисије проф. др Катарини Пенев Гаши, као и члановима комисије проф. др Јасни Адамов, проф. др Оливери Гајић и доц. др Снежани Бабић-Кекез, на подршци коју су ми пружали интересујући се за мој рад.

Велико хвала члановима Катедре за Методику наставе хемије и мојим дивним колегама, Душици Миленковић, Јелени Тутић, проф. др Тибору Халашу, Саше Хорвату и Станислави Олић, на пријатној радној атмосфери и подршци.

Такође се захваљујем ученицима и професорима Гимназије „Јован Јовановић Змај” из Новог Сада који су омогућили извођење експерименталног дела ове докторске дисертације. Посебно се захваљујем професорки Јелици Ђекић на указаном поверењу, одличној сарадњи, као и стручној и педагошкој подршци.

Речима не могу исказати захвалност коју дугујем мојој породици, родитељима Јелени и Николи, сестрама Лидији и Дајани, као и мом Сергеју. Највеће хвала мојој баки, која ми је пренела љубав према хемији и која ме пратила на одабраном путу.

# Садржај

<b>1. УВОД</b> .....	<b>1</b>
<b>2. ТЕОРИЈСКА РАЗМАТРАЊА</b> .....	<b>3</b>
2.1. Онтолошко приказивање знања у настави хемије .....	3
2.1.1. Увођење и дефинисање појма онтологија.....	3
2.1.2. Онтологије у домену репрезентације знања.....	5
2.1.2.1. Онтолошки модели и њихове компоненте.....	7
2.1.2.2. Конструкција онтологија.....	8
2.1.2.3. Технике визуализације онтологија.....	12
2.1.2.4. Концептне мапе.....	18
2.2. Системички приступ у настави хемије.....	23
2.2.1. Системско мишљење .....	23
2.2.1.1. Системско мишљење у домену органске хемије.....	25
2.2.2. Системички дијаграми.....	26
2.2.2.1. Конструкција системичких дијаграма.....	27
2.2.2.2. Примени системичких дијаграма у настави хемије.....	31
2.2.3. Системички задаци .....	33
2.2.3.1. Типови системичких задатака.....	35
2.2.3.2. Примена системичких задатака у настави хемије.....	40
2.3. Теорија когнитивног оптерећења .....	41
2.3.1. Људска когнитивна архитектура .....	42
2.3.1.1. Сензорна меморија.....	43
2.3.1.2. Радна меморија.....	44
2.3.1.3. Дугорочна меморија.....	45
2.3.1.4. Теорија когнитивних схема.....	47
2.3.1.4.1. Аутоматизација схема.....	49
2.3.2. Конструкт когнитивног оптерећења.....	49
2.3.2.1. Интристичко когнитивно оптерећење.....	50
2.3.2.2. Екстерно когнитивно оптерећење.....	52

2.3.2.3. Ефективно когнитивно оптерећење.....	54
2.3.2.4. Адитивност интринстичког, екстерног и ефективног когнитивног оптерећења.....	55
2.3.3. Мерење когнитивног оптерећења .....	56
2.3.4. Инструкциона ефикасност .....	57
<b>3. МЕТОДОЛОГИЈА ИСТРАЖИВАЊА.....</b>	<b>61</b>
3.1. Проблем и предмет истраживања .....	61
3.2. Циљ и задаци истраживања .....	62
3.3. Варијабле истраживања .....	64
3.4. Методе истраживања.....	64
3.4.1. Аналитички метод .....	64
3.4.2. Метод педагошког експеримента.....	65
3.4.3. Статистички метод .....	65
3.5. Узорак истраживања.....	66
3.5.1. Узорак испитаника .....	66
3.5.2. Узорак градива.....	69
3.6. Ток и дизајн истраживања .....	69
3.7. Инструменти истраживања.....	73
<b>4. РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА.....</b>	<b>77</b>
4.1. Анализа резултата теста претходног истраживања .....	77
4.1.1. Утицај инструкционог метода и пола на постигнуће ученика у фази претходног истраживања.....	78
4.1.1.1. Постигнуће ученика у ЛЗ у фази претходног истраживања.....	78
4.1.1.2. Постигнуће ученика у СЗ у фази претходног истраживања.....	81
4.1.2. Утицај инструкционог метода и пола на ментални напор ученика у фази претходног истраживања.....	84
4.1.2.1. Ментални напор ученика у ЛЗ у фази претходног истраживања.....	84
4.1.2.2. Ментални напор ученика у СЗ у фази претходног истраживања.....	87

4.1.3. Приказ инструкционе ефикасности за системички приступ и традиционалну наставу у фази претходног истраживања .....	91
4.1.4. Евалуација ученичког смисленог разумевања у фази претходног истраживања .....	92
4.1.5. Испитивање ученичких способности системског мишљења у фази претходног истраживања .....	99
4.2. Анализа резултата финалног теста знања .....	105
4.2.1. Утицај инструкционог метода и пола на постигнуће ученика у главној фази истраживања .....	105
4.2.1.1. Постигнуће ученика у ЛЗ у главној фази истраживања.....	107
4.2.1.2. Постигнуће ученика у СЗ у главној фази истраживања.....	112
4.2.2. Утицај инструкционог метода и пола на ментални напор ученика у главној фази истраживања .....	116
4.2.2.1. Ментални напор ученика у ЛЗ у главној фази истраживања.....	118
4.2.2.2. Ментални напор ученика у СЗ у главној фази истраживања.....	123
4.2.3. Приказ инструкционе ефикасности за системички приступ и традиционалну наставу у главној фази истраживања .....	128
4.2.4. Евалуација ученичког смисленог разумевања у главној фази истраживања .....	130
4.2.5. Испитивање ученичких способности системског мишљења у главној фази истраживања .....	138
<b>5. ЗАКЉУЧАК .....</b>	<b>143</b>
5.1. Значај истраживања.....	145
5.2. Ограничења истраживања.....	145
5.3. Импликације за даља истраживања.....	146
<b>6. ЛИТЕРАТУРА .....</b>	<b>147</b>
<b>7. ПРИЛОЗИ.....</b>	<b>159</b>
7.1. Наставни лист за понављање Угљоводоника и халогених деривата угљоводоника .....	159

7.2. Наставни лист за понављање Алкохола, фенола и етара .....	164
7.3. Наставни лист за понављање Карбонилних једињења .....	168
7.4. Наставни лист за понављање Карбоксилних киселина и деривата карбоксилних киселина.....	171
7.5. Тест 1: Угљоводоници и халогени деривати угљоводоника.....	175
7.6. Тест 2: Алкохоли, феноли и етри .....	180
7.7. Тест 3: Карбонилна једињења.....	186
7.8. Тест 4: Карбоксилне киселине и деривати карбоксилних киселина .....	191
7.9. Тест 5: Финални тест знања (Кисеоничка органска једињења).....	197
7.10. Приказ додатних табела .....	202
<b>8. БИОГРАФИЈА .....</b>	<b>205</b>



## 1. УВОД

Полазећи од друге половине XX века, литературни подаци из поља наставе хемије указују на то да многи ученици на средњошколском нивоу наводе хемију као апстрактан и тежак предмет за учење и разумевање (Barnea и Dori, 1999; Nieswandt, 2001; Sirhan, 2007). У истраживању које су у Србији спровели Брковић, Петровић-Бјекић и Златић (1998) установљено је да су ученици средњих школа, разматрајући 14 предмета, најмање мотивисани за учење хемије. Најнижа мотивисаност праћена је самопроценом ученика да су најмање ефикасни управо у настави хемије.

Хемијска дисциплина која је привукла велику пажњу истраживача при разматрању ученичких тешкоћа је органска хемија. Бројни радови указују на то да су многи концепти из поменутог домена окарактерисани као апстрактни и тешки за учење и разумевање, како од стране ученика средњошколског узраста, тако и од стране студената прве године студија (Ellis, 1994; Johnstone, 2006; Katz, 1996; Mahajan и Singh, 2005; O'Dwyer и Childs, 2011; Pungente и Badger, 2003; Pursell, 2009; Sirhan, 2007). То су концепти попут симболичке репрезентације органских једињења применом рационалних структурних формула (Johnstone, 2006; Katz, 1996; O'Dwyer и Childs, 2011), хемијске реакције и механизми хемијских реакција (Johnstone, 2006; O'Dwyer и Childs, 2011), разликовање функционалних група (Katz, 1996; O'Dwyer и Childs, 2011), као и извођење системских назива органских једињења помоћу IUPAC-ове номенклатуре (Katz, 1996).

Нека истраживања као посебан проблем издвајају чињеницу да испитаници женског пола остварују знатно нижа постигнућа у хемији него испитаници мушког пола (Bunce и Gabel, 2002), са нагласком да се та разлика повећава са узрастом ученика (Yeziarski и Birk, 2006). Битно је истаћи да испитаници женског пола поседују позитиван став према школи и учењу, али упркос томе њихове тешкоће у учењу хемије су израженије него код испитаника мушког пола (Barnea и Dori, 1999). Дискутујући овај проблем, неки аутори истичу грешке наставника који испитаницима мушког пола придају већу пажњу и чешће примећују њихово напредовање, пошто у почетку имају различита очекивања од испитаника мушког и женског пола (Kahle, Parker, Rennie и Riley, 1993). Као знатно важнији, истичу се емпиријски докази да ученици различитог пола поседују различите стилове учења, као и различите визуално-спацијалне способности које утичу на њихова постигнућа у природним наукама (цитирано у Bunce и Gabel, 2002).

Пре самог проналажења решења како и на који начин превазићи тешкоће у савладавању садржаја из домена органске хемије, неопходно је дефинисати изворе тих тешкоћа. Главни извори тешкоћа јесу непостојање разрађених алгоритама за решавање задатака из ове области (Ellis, 1994), као и непоседовање вештина за учење које су неопходне за успешно савладавање поменутих садржаја – способност мишљења о апстрактним концептима, просторно и аналитичко мишљење (Ellis, 1994; Katz, 1996; Mahajan и Singh, 2005). Због поменутих разлога, када се ученици сусретну са наведеним садржајима, већина њих се задовољава механичким запамћивањем концепата (Johnstone, 2006; Katz, 1996; Pungente и Badger, 2003; Pursell, 2009), у обиму који је потребан да би били позитивно оцењени од стране наставника (Pungente и Badger, 2003). Озбиљност наведеног проблема може се сагледати и у

чињеници да је данас познато више од 60 милиона органских једињења (Filimonov и др., 2014) и да се тај број стално повећава, а тиме се истовремено повећава и обим знања које ученици треба да усвоје из органске хемије. На основу тога, појављује се додатни проблем, а то је преобимност материјала за учење (Ellis, 1994; Katz, 1996; Pursell, 2009).

Разматрајући ученичке тешкоће у разумевању и савладавању садржаја из домена органске хемије, као и изворе тих тешкоћа, аутори наведених радова су поставили јасан циљ: Омогућити ученицима да превазиђу поменути тешкоће, као и да успешно решавају проблеме из поменутог домена, ослањајући се на смислено учење и разумевање, а не на механичко запамћивање. Вођени тим циљем, аутори су спровели истраживања у два главна правца: Први правац се односи на развој нових инструкционих метода, односно нове облике рада, са циљем посепшивања смисленог учења (Fahmy и Lagowski, 2002; Hrin, Milenković и Segedinac, 2015; Katz, 1996; Pursell, 2009; Taagerera и Noori, 2000; Tien, Roth и Kampmeier, 2002), док је други правац оријентисан ка развоју нових алата за евалуацију ученичког смисленог разумевања (Hrin и др., 2015; Lopez и др., 2011; Vachliotis, Salta, Vasilioи и Tzougraki, 2011; Vachliotis, Salta и Tzougraki, 2014).

Поменути радови наглашавају чињеницу да је у циљу остваривања и неговања ученичког смисленог учења и разумевања неопходно допунити, или заменити традиционалан приступ учењу и обучавању. Иако традиционална настава поседује дугу историју у наставном процесу, а речи представљају основни вид преноса информација од наставника ка ученицима (Maeyer, 2003), часови традиционалне наставе су у конфликту са поменутиим циљем, пошто су центрирани на наставника, док се ученици ослањају на меморизацију онога што је наставник саопштио (Cortright, Collins и DiCarlo, 2005; Tien и др., 2002). Као резултат механичког учења, ученици нису способни за инкорпорацију усвојених информација у постојеће структуре знања (когнитивне схеме), или за њихову примену током решавања нових проблема (Cortright и др., 2005).

Треба нагласити да поменути радови разматрају ученичко постигнуће као једину варијаблу која указује на ефикасност примењених инструкционих метода. Међутим, уважавајући карактеристике људске когнитивне архитектуре, као и поставке теорије когнитивног оптерећења, Paas и van Merriënboer (1993) истичу потребу примене комбинованог приступа процене инструкционе ефикасности, који уз постигнуће разматра и ментални напор ученика. У оквиру ове докторске дисертације биће испитан утицај обе наведене варијабле на ефикасност примене системичког приступа у средњошколској настави органске хемије. Веза између системичког приступа у настави и теорије когнитивног оптерећења није до сада испитана и назначена у литератури.

## 2. ТЕОРИЈСКА РАЗМАТРАЊА

### 2.1. Онтолошко приказивање знања у настави хемије

#### 2.1.1. Увођење и дефинисање појма онтологија

Појам „онтологија” се различито дефинише и употребљава у различитим контекстима и доменима. Сматра се да појам „онтологија“ потиче из филозофије (Corcho, Fernández-López и Gomez-Pérez, 2003; Snae и Brueckner, 2007), где је дефинисан 1613. године независно од стране два филозофа. Goslenius уводи појам онтологије у своју публикацију „*Lexicon philosophicum*”, а Lorhard у „*Theatrum philosophicum*” (цитирано у Smith и Welty, 2001).

Термин *онтологија* изведен је из грчких речи *ontos*, што значи биће, бити или бивствовати, и *logos* у значењу учење, реч, закон. Посматрајући онтологију као филозофску дисциплину старе Грчке, треба напоменути да ју је Aristotel назвао „првом филозофијом”. Aristotel дефинише онтологију као науку о бићу као бивствујућем, разматрајући и одређења која припадају бићу. То значи да онтологија систематски објашњава биће (Corcho и др., 2003), проучава природу бића и врсте ствари, разматрајући оно што јесте, оно што посотоји, док се у њеном средишту налазе питања као што су:

- „Шта значи бити или постојати?”
- „Шта постоји?”
- „Шта је биће?”
- „Која су то одређења (основна својства) уобичајена за биће?”
- „Који су то односи међу стварима које постоје?” (Guarino и Giaretta, 1995; Вељак, 2013):

У данашњој филозофији, онтологија представља легитимну филозофску дисциплину која се својим предметом проучавања супротставља епистемологији, односно теорији спознаје (Вељак, 2013). Као таква, онтологија разјашњава језичко-аналитичка питања о стварима, својствима, процедурама, делу и целини, зависности и независности, о релацијама и односима у свим подручјима стварности (Smith и Welty, 2001; Вељак, 2013). Уопштено говорећи, онтологија је грана филозофије која разматра саму природу и организацију стварности (Guarino и Giaretta, 1995).

Управо је та организација стварности, кроз саму организацију ентитета, њихових својстава и њихове зависности, довела до тога да се појам онтологије „позајмљује” из филозофског домена и примењује у новим пољима. Због тога је, разматрајући период од последњих двадесет година, неопходно разликовати *филозофску онтологију* од *информатичке онтологије* (Вељак, 2013). Информатичка онтологија је најпре своју примену нашла у области софтверског инжењеринга и у дисциплинама које се баве развојем вештачке интелигенције (Трипуновић, Анђелковић и Којо, 2010), која је фокусирана на системе (рачунарске програме, софтвере) који могу да симулирају знање

применом аутоматизованих механизма резоновања (Smith и Welty, 2001). Истраживачи из ове области препознали су потребу за развој и конструкцију онтологија које би омогућиле репрезентацију, дељење и поновну употребу знања (Smith и Welty, 2001; Трипуновић и др., 2010). Први од њих био је истраживач McCarthy који је 1980. године нагласио да информатичари који се баве развојем логички-заснованих интелигентних система морају прво сагледати све што постоји у разматраном домену, а то се може постићи конструкцијом онтологија (цитирано у Smith и Welty, 2001).

Једна од првих дефиниција онтологија која се појавила у пољу рачунарских наука, јесте дефиниција коју су предложили Neches и сарадници (цитирано у Corcho и др., 2003):

- „Онтологија дефинише базичне појмове и релације међу појмовима у циљу сачињавања вокабулара разматраног домена, као и правила за комбиновање тих појмова у циљу проширивања вокабулара.”

Ова описна дефиниција пружа врло погодну одредницу за конструкцију онтологија, пошто истиче значај базичних појмова и релација међу њима, идентификујући правила за њихово комбиновање (Corcho и др., 2003).

Неколико година касније Gruber (1993) дефинише онтологију као *експлицитну спецификацију концептуализације*<sup>1</sup>. Треба нагласити да је управо Gruber-ова дефиниција онтологије најцитиранија како у штампаној литератури, тако и на интернету (Corcho и др., 2003), при чему су многи аутори извели своје дефиниције онтологије, ослањајући се на Gruber-ову дефиницију. Тако на пример, Borst (1997) дефинише онтологију као *формалну спецификацију дељене концептуализације*, при чему ова дефиниција укључује битну карактеристику онтологије – могућност њене поновне употребе. Ипак, неки аутори критикују поједине делове Gruber-ове дефиниције. Guarino (1997) истиче погрешну употребу концептуализације у дефинисању онтологије, која не може бити експлицитна, нити формална. Он концептуализацију посматра као *сет неформалних* правила, која одржавају структуру сачињену од делова реалности, а која примењују конструктори онтологија да би истакли и организовали релевантне објекте и релације.

Дефиниција онтологије коју су поставили Jasper и Uschold (1999) омогућава примену онтологија у многим, различитим дисциплинама, а истовремено највише одговара предмету и проблему ове докторске дисертације. Према Jasper-у и Uschold-у (1999) онтологија може поседовати више облика, али неопходно и увек садржи вокабуларе појмова, уз спецификацију њиховог значења. То укључује индиције о томе како су концепти међусобно повезани, а све то заједно одређује структуру домена од интереса.

---

<sup>1</sup> Детаљније дефинисање појмова спецификација и концептуализација биће дато у поглављу 2.1.2.2.

### 2.1.2. Онтологије у домену репрезентације знања

Деведесетих година прошлог века онтологије постају чест предмет истраживања у неколико различитих домена вештачке интелигенције: у инжењерингу знања, процесирању природног језика и у репрезентацијама знања (Fensel, Horrocks, van Harmelen, McGuinness и Patel-Schneider, 2001). Иако се у новије време, примена онтологија шири и на поља компаративних информационих система, управљања знањем, интелигентне интеграције информација, екстракције и преузимања информација (Fensel и др., 2001; Guarino, 1998), примећено је повећано интересовање за онтологије као погодна средства, односно структуре за моделовање и репрезентацију знања (Brewster и O'Hara, 2004).

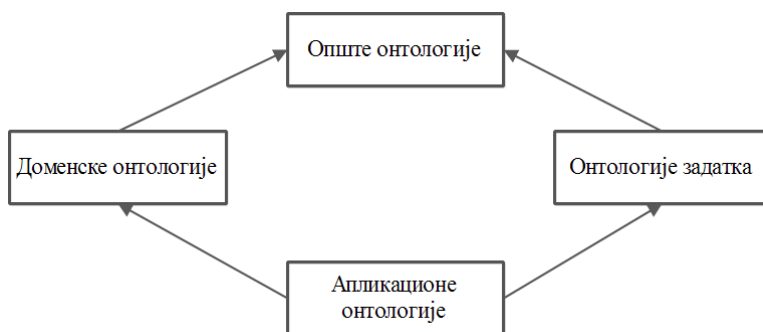
Разматрајући онтологије у домену репрезентације знања, Brewster и O'Hara (2004) наглашавају да онтологије рефлектују фундаментални, монолитички поглед на знање, при чему се знање посматра као целина на коју се нови делови могу континуирано надовезивати. Једна од кључних карактеристика онтологија као алата за организацију, систематизацију и контекстуализацију знања, јесте могућност дељења и поновне употребе у новим ситуацијама (Stevens, Goble и Bechhofer, 2000). Ипак, треба напоменути да се онтологија може поново употребити једино у ситуацијама сличних захтева, односно у ситуацијама које имају велике сличности са првобитном ситуацијом за коју је онтологија развијена (конструисана) (Stevens и др., 2000). Као пример, може се навести ситуација у којој је онтологија конструисана за потребе средњошколске наставе органске хемије, за наставну тему „Алкани” једне школске године, а због промене Наставног програма, иста онтологија се може применити у настави органске хемије и следеће школске године, али једино са одговарајућим корекцијама које прате промене Наставног програма. У таквим случајевима онтологија се не може применити у потпуно истом облику, па се подвргава извесним изменама. При томе неки делови онтологије остају исти, а неки се коригују.

У домену репрезентације знања, примењују се онтологије различитог степена сложености. При томе Stevens и сарадници (2000) истичу поделу онтологија на три класе: *генеричке онтологије*, *доменске онтологије* и *онтологије задатка*.

- *Генеричке онтологије* су опште онтологије и онтологије вишег реда. Ова врста онтологија се конструише са циљем обухватања знања из више домена, односно општег знања вишеструко коришћеног кроз различите домене (Stevens и др., 2000). При томе, опште онтологије садрже најопштије концепте - концепте вишег реда (генералне концепте), као што су на пример *време*, *простор*, *догађај*, *материја* (Guarino, 1997). Посматрајући на пример концепт „материја”, јасно је да он не припада искључиво једном домену, већ је део већег броја различитих домена (на пример, хемија, физика, медицина, филозофија). Због тога што садрже концепте вишег реда, који су подложни једноставним променама положаја у онтолошком моделу, ове онтологије су изузетно погодне у случајевима када се захтева поновна употреба онтологија (Stevens и др., 2000).

- Доменске онтологије садрже вокабуларе са концептима из одређеног домена, спецификоване релације међу њима, информације о активностима које се одвијају у разматраном домену, као и елементарна правила која владају у домену. Разлика између општих и доменских онтологија јесте у томе да концепти у доменским онтологијама представљају спецификацију концепата дефинисаних у општим онтологијама. Карактеристика доменских онтологија јесте та што се могу поново употребљавати само у домену за који су конструисане (на пример, хемија, медицина, право) (Guarino, 1997).
- Онтологије задатка описују вокабуларе везане за специфичан задатак или активности (на пример, анализа или дијагноза). Вокабулар тих онтологија садржи концепте који се употребљавају при решавању проблема везаних за неки специфичан задатак и то не нужно у подручју само једног домена. Као и доменске онтологије, онтологије задатка настају спецификацијом концепата представљених у општим онтологијама (Guarino, 1997).

Поред генеричких, доменских онтологија и онтологија задатка, Guarino (1997) разликује и *апликационе онтологије*, узимајући у разматрање и нивое општости развијених (конструисаних) онтологија. Guarino-в (1997) модел класификације онтологија приказан је на слици 1. Као што се може приметити са слике 1, апликационе онтологије описују, односно спецификују концепте из вокабулара доменских онтологија и онтологија задатка. То значи да истовремено зависе и од специфичног домена и од специфичног задатка, односно да задовољавају правила која се односе на концепте тог домена, док се одигравају одређене активности (Guarino, 1997).



Слика 1. Класификација онтологија по Guarino-у (1997)

Сви наведени типови онтологија садрже одређене основне компоненте, које омогућавају примену онтолошких модела у домену организације и репрезентације знања.

## 2.1.2.1. Онтолошки модели и њихове компоненте

Као главне компоненте онтолошког модела, Gómez-Pérez и Corcho (2002), као и Stevens и сарадници (2000), наводе *концепте, релације, инстанце и аксиоме*. У наставку рада наведене компоненте биће поближе описане.

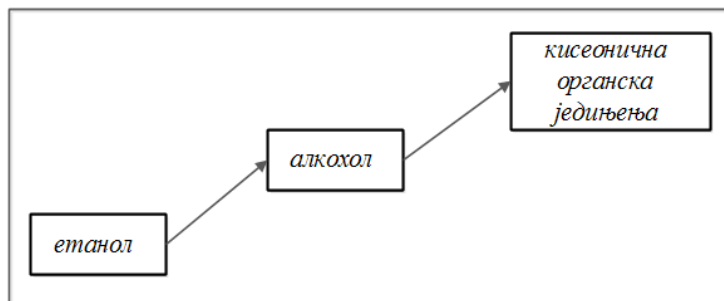
- *Концепти*, као основне компоненте онтолошких модела (Brewster и O'Hara, 2004), представљају сетове или класе ентитета који се налазе у оквиру разматраног домена, односно у свету око нас (Stevens и др., 2000). При томе концепти могу бити конкретни или апстрактни, једноставни или сложени, реални или фиктивни (Gómez-Pérez и Corcho, 2002). На пример, разматрајући домен органске хемије, као концепт се могу издвојити „Угљоводоници”. Концепти се даље деле на две класе (Stevens и др., 2000):

- *Примитивни концепти*, који поседују само неопходне карактеристике да би припадали одређеној класи. Као пример могу се навести „Алкени” који представљају незасићене угљоводонике са двоструким везама. Тиме се наглашава да алкени морају поседовати двоструке везе, међутим, постоје и други концепти (једињења) са двоструким везама, а да при томе нису угљоводоници, односно нису алкени (на пример, незасићене масне киселине).

- *Дефинисани концепти*, који се на основу детаљног, или јасног описа сматрају недвосмисленим члановима неке класе. На пример, 1-бутен јесте члан хомологог низа алкена.

- Релације су ентитети који наглашавају везу међу концептима. Такође разликујемо две класе релација (Stevens и др., 2000):

- *Таксономије*, помоћу којих се концепти организују у концептуална стабла која су често хијерархијски уређена. Ту се издвајају спецификационе релације које наглашавају врсту концепата (на пример, етанол је представник алкохола, а алкохоли су класа кисеоничних органских једињења) (слика 2).



Слика 2. Пример таксономије концепата у домену органске хемије

- *Асоцијативне релације*, које повезују концепте унутар стабла. Ту припадају релације које наглашавају локацију (положај) једног концепта у односу на друге. Тако, на пример, алкани не подлежу реакцији адиције, док алкени граде многе полимере. Поред тога, овој класи припадају и релације које описују функцију концепта (на пример, етанол има улогу растварача, док се гликол примењује као антифриз).

- Инстанце представљају ентитете који су подређени концептима вишег реда, односно то су ентитети најнижег реда у онтологијама (Corcho и Gómez-Pérez, 2000). Тако, на пример, етанол може бити инстанца концепта алкохол у онтологији која приказује „Кисеонична органска једињења”. На основу овога може се закључити да је тешко разграничити који ентитет представља концепт, а који инстанцу, међутим та класификација најчешће зависи од саме апликације онтологије (Stevens и др., 2000).
- Аксиоми се примењују у онтологијама да би се поставила одговарајућа ограничења класама концепата и инстанци, као и да би се проверила њихова тачност. Аксиоми се сагледавају у облику кратких реченица које су увек истините (Corcho и Gómez-Pérez, 2000). Тако, на пример, аксиом наглашава да монохидроксилни алкохол који поседује 2 C-атома представља етанол. Више аксиома заједно сачињавају теорију коју онтологија описује у датом домену од интереса.

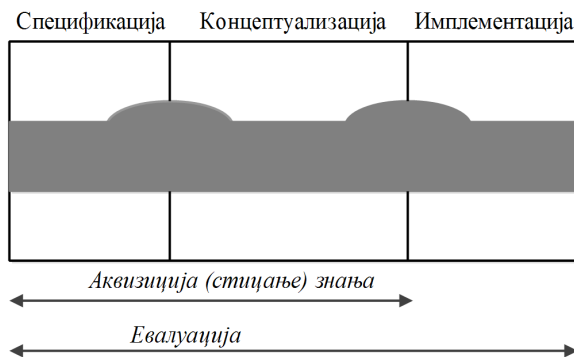
На основу дефинисаних кључних елемената онтологија, надаље се може сагледати принцип њихове конструкције.

#### 2.1.2.2. Конструкција онтологија

Конструкција онтологија представља тежак и временски захтеван процес (Farquhar, Fikes и Rice, 1997), током кога је потребно придржавати се одређених принципа, односно сагледати основна обележја онтологије: јасноћу концепата, кохерентност, конзистентност и могућност накнадног проширивања домена (Месарић, 2007). Иако је процес конструисања онтологија захтеван, конструисане онтологије пружају велике погодности у домену репрезентације знања: омогућавају поновну употребу доменског знања, олакшавају преношење знања и разумевања у датом домену, омогућавају издвајање кључних концепата, као и анализу доменских концепата (Месарић, 2007).

Поступак развоја и конструкције онтологија у домену хемије предложили су Fernández-Lopez, Gómez-Pérez, Pazos Sierra и Pazos Sierra (1999), конструишући онтологију за „Хемијске елементе”. Као основне етапе у току конструкције онтологија, ови аутори издвајају *спецификацију*, *концептуализацију* и *имплементацију* (слика 3).





**Слика 3.** *Етапе у процесу конструкције онтологије (прилагођено из Fernández-Lopez и др., 1999)*

- **Спецификација.** Као прва етапа у конструисању онтологије, спецификација има за циљ прикупљање података неопходних за идентификацију примарног циља онтологије, односно сврхе за коју се онтологија конструише (Fernández-Lopez и др., 1999). Поред тога, прикупљени подаци треба да истакну обим онтологије и ниво њене гранулације (Fernández-Lopez и др., 1999), односно да омогуће приказ вокабулара за разматрани домен знања уз назнаку свих укључених концепата (Farquhar и др., 1997). Такође, у току спецификације потребно је истаћи изворе знања. Пример спецификације у домену органске хемије дат је у табели 1.

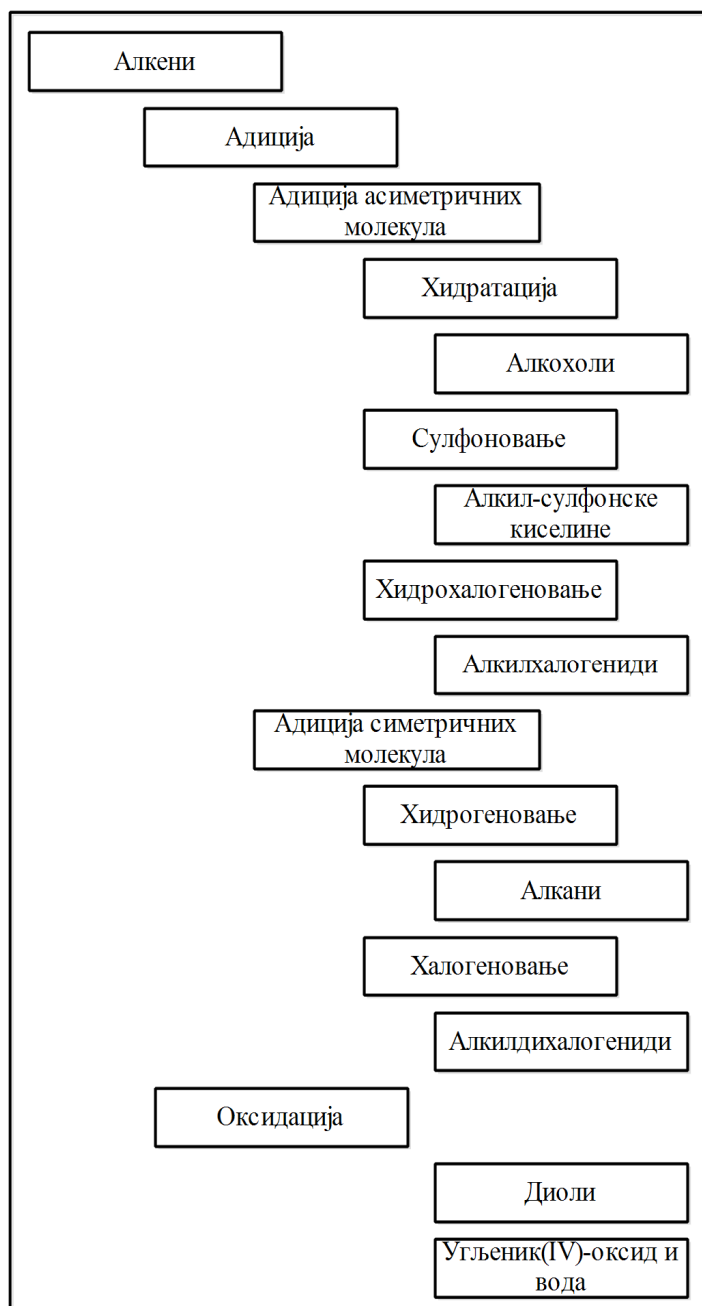
**Табела 1.** *Приказ спецификације онтологије у домену органске хемије*

<i>Домен</i>	Органска хемија
<i>Сврха / Циљ</i>	Онтологија приказује хемијска својства алкена за потребе средњошколске наставе органске хемије
<i>Обим</i>	Број концепата: 12
	Листа концепата: алкени, адиција, адиција симетричних молекула, адиција асиметричних молекула, оксидација, диоли, алкохоли, угљеник(IV)-оксид и вода, алкил-халогениди, алкил-дихалогениди, алкани, алкил-сулфонске киселине.
	Спецификација релација међу концептима: хидратација ( $H_2O/H_2SO_4$ ), хидрохалогеновање (HX), хидрогеновање ( $H_2/Pt$ ), халогеновање ( $X_2$ ), сулфонование ( $H_2SO_4$ ), сагоревање ( $O_2$ ), $KMnO_4/H_2O$ .
<i>Извори знања</i>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Стојиљковић, А. (1989). <i>Хемија за III разред гимназије природно-математичког смера, медицинске, ветеринарске и школе за негу лепоте</i>. Београд: Завод за уџбенике.</li> <li>2. Vollhardt, K. P. C., Schore, N. E. (2003). <i>Органска хемија: Структура и функција</i> (Превели Д. Милић, Д. Опсеница). Београд: Наука.</li> </ol>

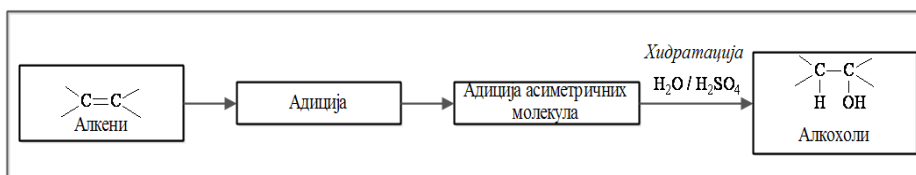
- *Концептуализација*. Када је већина знања сакупљена у току спецификације, сусрећемо се са гомилом неструктурираног знања које се мора на неки начин организовати. Основни циљ концептуализације јесте управо организација и структурирање сакупљеног знања (Fernández-Lopez и др., 1999). Концептуализацију карактеришу два повезана корака, при чему се први односи на изградњу концептуално-класификационог стабла, односно структурног стабла онтологије (слика 4), а други на успостављање (назначавање) релација у дијаграму (слика 5).

Изградњи концептуално-класификационог стабла се приступа када вокабулар онтологије садржи одговарајући број концепата, а започиње разврставањем концепата у одговарајуће класе и субкласе. Ова етапа се односи на одређивања хијерархија међу концептима, односно у овој етапи се формирају класе концепата према принципу надређености. Концептуално-класификационо стабло за домен органске хемије, односно за хемијска својства алкена, приказано је на слици 4. Са слике 4 се јасно уочава да су „Алкени” најопштији појам у овом стаблу, док су на пример „Алкохоли” или „Алкилхалогениди” подређени појмови у односу на „Алкене”.

Следећи корак концептуализације јесте успостављање релација међу класама, као и међу појединачним концептима у концептуално-класификационом стаблу. Ова етапа је посвећена додатном дефинисању, односно одређивању својстава класи концепата. Да би се на пример дефинисала (одредила) веза између алкена и алкохола, релације се додатно спецификују речима и формулама, који представљају реактанте и одговарајуће услове реакције, а назначавају се на стрелицама (слика 5).



Слика 4. Приказ концептуално-класификационог стабла за хемијска својства алкена



Слика 5. Успостављање (дефинисање) релација међу концептима назначеним у концептуално-класификационом стаблу

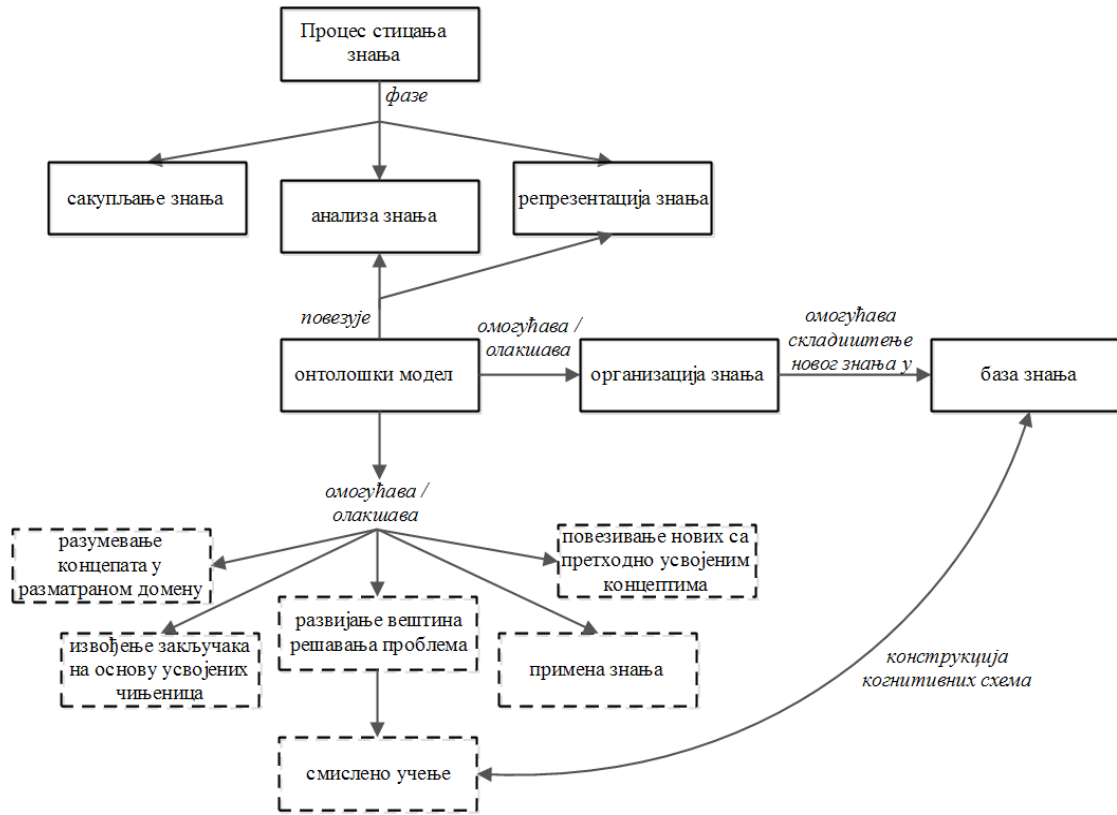
- **Имплементација.** Последња етапа у току конструкције онтологија јесте сама трансформација концептуалног модела у имплементациони модел (Fernández-Lopez и др., 1999). То значи да се у тој фази врши моделовање онтологије, као и одабир адекватних техника, односно алата за саму визуализацију и обликовање онтологије, чији је преглед дат у следећем поглављу.

### 2.1.2.3. Технике визуализације онтологија

Посматрајући прве две етапе у процесу конструисања онтологија (спецификацију и концептуализацију), на слици 3 се уочава да су обе праћене процесом аквизиције (стицања) знања. У свом раду, Chen и Chan (2000) истичу везу између аквизиције знања и онтолошког модела. За аквизицију знања неопходан је извор знања, а прате је процеси сакупљања, анализе и репрезентације знања (Chen и Chan, 2000). Да би анализа и репрезентација знања биле ефикасне, неопходна је добра организација знања која ће омогућити развој базе знања. Као технике, односно алати за организацију знања могу се применити *онтолошки модели*, помоћу којих се истовремено анализира знање и репрезентује на одговарајући начин (слика 6).

Piaget-ов (1977) модел еквилибрације когнитивних схема може послужити као објашњење како добра организација и репрезентација знања омогућавају формирање богате базе знања. Piaget-ов (1977) модел еквилибрације когнитивних схема описује процес у ком појединци прихватају нове информације из спољашње средине (сакупљање знања), на који начин прихватају те информације (анализа знања) и коначно како те информације интегришу у своје базе знања, преко когнитивних схема (организација знања). Piaget (1977) употребљава појам когнитивних схема које се развијају у току одређене активности на новим објектима (информацијама). Тачније, ти објекти (информације) могу бити интегрисани у постојеће схеме у току одређених активности које се на њима спроводе. Тај процес се може посматрати као резултат прилагођавања на комплексна, нова искуства, првобитном интерпретацијом и накнадном интеграцијом објеката са којима се сусрећемо. У бази знања, интегрисани објекти су међусобно повезани и организовани у софистициране хијерархијске структуре, које сада представљају когнитивне схеме<sup>2</sup> вишег реда (Kaluyga, 2009a).

<sup>2</sup> Детаљан опис когнитивних схема дат је у поглављу 2.3.1.4.



Слика 6. Утицај онтолошког модела на процесе анализе, организације и репрезентације знања (прилагођено из Hrin, Segedinac и Milenković, 2013)

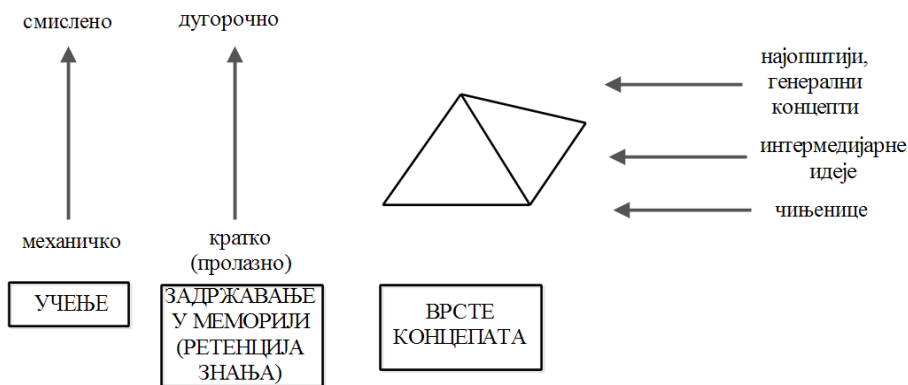
Надаље разматрајући проблем ефикасне организације и репрезентације знања, Brinkmann (2003) истиче да, да би било корисно, знање мора да буде организовано тако да олакшава разумевање концепата из разматраног домена, као и да развија вештине решавања проблема. Поред тога, Novak (2010) наглашава да сам процес учења зависи од концептуалног богатства материјала за учење, као и од његове организације. То се тумачи тиме да материјал за учење треба организовати на начин да он буде јасан и разумљив, да омогући правилно учење нових чињеница, као и да обезбеди њихово међусобно повезивање. Крајњи циљ јесте интеграција новог знања у структуру (систем) претходно усвојеног знања, а то је основна карактеристика смисленог учења које су у својим радовима описали Ausubel (1977) и Novak (2010).

Уколико је циљ онтолошке организације и репрезентације знање које ће на смислен начин бити ускладиштено у базу знања, поставља се питање које су то карактеристике смисленог учења? Ausubel је у својим публикацијама „Психологија смисленог вербалног учења” („The Psychology of Meaningful Verbal Learning”), „Образовна психологија: Когнитивистички поглед” („Educational Psychology: A Cognitive View”) и „Аквизиција и ретенција знања” („The Acquisition and Retention of Knowledge”; Ausubel, 2000) истакао јасну разлику између механичког и смисленог учења (цитирано у Novak, 2002). Ausubel (2000) је посматрао смислено учење као процес усвајања нових информација које су повезане са одговарајућом когнитивном структуром ученика (надовезују се на оно што ученик већ зна). При томе, ученици активно учествују у том процесу, тражећи експлицитне концептуалне везе међу новим концептима (тек треба да буду усвојени) и претходно усвојеним концептима (Lagowski, 2009). Иако је то главно обележје смисленог учења, треба истаћи да нове информације формирају везу комплексније природе са елементима ученикове когнитивне структуре. Прецизније, овај процес је резултат модификације како нових информација, тако и релевантних делова когнитивне структуре на које се нове информације могу надовезати (Ausubel, 2000). Процес асимилације нових концепата води до смисленог учења реструктурирањем постојеће концептуалне мреже (Lagowski, 2009). На пример, када ученици усвајају нове информације о реакцијама између натријума и неметала, они ће повезати ово знање са претходно усвојеним знањем о хемијским реакцијама између метала и неметала (Novak и Gowin, 1984).

Novak (2002) истиче да су млађа деца склона смисленом учењу, јер је код њих формирање нових концепата аутономан (самоуправни) процес, у ком им одрасли могу помоћи фокусирањем њихове пажње на кључне атрибуте (обележја) концепата. Међутим, старији ученици се врло често ослањају на меморизацију и једноставно присећање информација, при чему код већине таквих ученика преовладава механичко учење. Механичко учење карактерише знање које је арбитарно и несуштински инкорпорирано у когнитивну структуру ученика (Ausubel, 2000; Novak и Gowin, 1984; Novak, 2002). Такво знање убрзо постаје неупотребљиво, јер се не може дуже време задржати у дугорочној меморији, нити „повући” из дугорочне меморије, а у случају да се ипак присете механички запамћених информација, ученици их не могу применити у новим ситуацијама, на пример током решавања нових проблема (Novak, 2002). Према Novak-у и Gowin-у (1984), механичко учење се дешава када ученици једноставно меморишу дефиницију да соли настају у реакцији

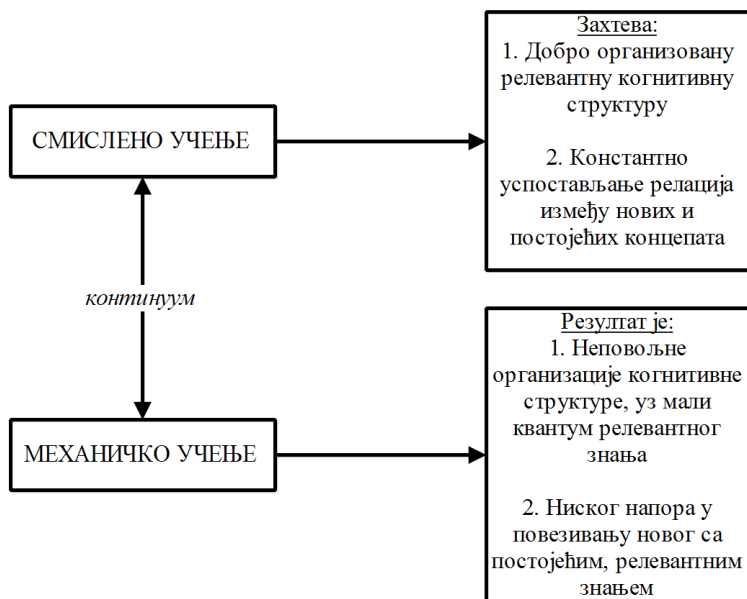
између киселина и база, а да при томе не размишљају о томе шта су киселине, а шта су базе, нити шта су соли.

Lagowski (2009) приказује Ausubel-ову конструктивистичку теорију учења помоћу схеме у којој се истиче веза између врсте учења (смислено / механичко), ретенције знања и врсте концепата који се усвајају (слика 7). Према Lagowski-ом (2009), чињенице представљају најбројније концепте, уче се механички и најкраће се задржавају у дугорочној меморији ученика. Са друге стране, најопштији концепти се савладавају на смислен начин и тиме се лако задржавају у дугорочној меморији; то су најтрајнији концепти доступни у дугорочној меморији.



**Слика 7.** Дијаграмски приказ везе између типова учења, врста концепата и времена њиховог задржавања у дугорочној меморији (прилагођено из Lagowski, 2009)

Као што је претходно поменуто, у току смисленог учења нови концепти се интегришу у постојеће когнитивне структуре. Према Novak-у (2002), та интеграција може бити више или мање успешна, у зависности од напора који улажемо у току саме интеграције, али и од квалитета и квантума постојеће, релевантне когнитивне структуре. Пошто ученици, као појединци, не улажу једнаки напор да би интегрисали нове концепте у своје когнитивне структуре, треба истаћи постојање континуума *смислено – механичко* учење, који се може представити схемом (слика 8). На жалост, учење у школи је често ближе механичком крају овог континуума (Novak, 2002).

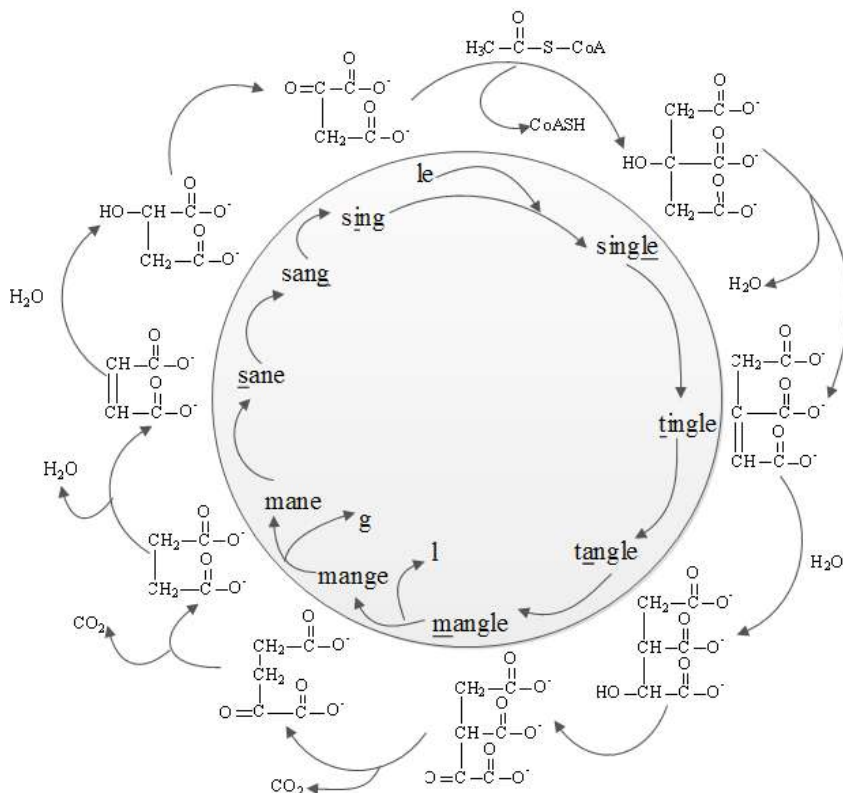


**Слика 8.** Континуум смисленог и механичког учења (прилагођено из Novak, 2002)

Разматрајући проблем смисленог и механичког учења, Shuell (1990) се осврће на примену различитих инструкционих метода заснованих на онтолошкој организацији и репрезентацији знања, у току различитих фаза учења. При томе овај аутор наглашава да би наставник требао да примени различите инструкције за увођење нове, непознате наставне теме и у току наставне ситуације када ученици поседују одговарајуће предзнање о тој теми. Shuell (1990) истиче да је прва фаза учења често заснована на меморизацији релативно великог броја концептуално изолованих чињеница, или делова информација, при чему у тој фази ученици још увек не поседују изграђене схеме за „дубљу” интерпретацију и интеграцију чињеница (информација) са којима су суочени. То значи да су сакупљене чињенице углавном уско везане за контекст у ком се појављују, па су у тој фази учења корисне мнемотехнике (Shuell, 1990).

Williams (1992) је примењивао мнемотехнике током уводног часа обраде Кребсовог циклуса да би се избегао проблем који је претходно примећен код ученика – изостављање неких од кључних структура током приказа Кребсовог циклуса. Конструирајући мнемотехнику за ову биохемијску тему, Williams (1992) је уместо комплексних, хемијских структура применио познате, једноставне енглеске речи путем процеса додавања слова на реч, одузимања слова и трансформацијом самих речи. Тако је, на пример, уместо хемијских структура које поседују 4 C-атома, Williams (1992) применио реч од четири слова. Тиме је ацетиловање оксалоацетата (4 C-атома) до цитрата (6 C-атома) помоћу ацетил-коензима А (2 C-атома) приказано на следећи начин: *sing + le* → *single* (слика 9).





Слика 9. Примена мнемотехнике у учењу Кребсовог циклуса (прилагођено из Williams, 1992)

Међутим, како процес учења напредује, ученици почињу да уочавају сличности међу концептуално изолованим деловима информација, као и релације међу њима. Концепти се групишу и организују, да би се омогућила њихова интеграција у структуре вишег реда, односно у комплексније когнитивне схеме које су концептуално богатије. У тој етапи, мнемотехнике не могу бити ефикасне нити корисне, па се уместо мнемотехника може применити неколико других онтолошких алата за организацију и репрезентацију знања, као што су на пример хијерархије (Shuell, 1990). У хијерархијама, концепти се приказују у категоријама, полазећи од супериорнијих концепата ка инфериорнијим, користећи просторни распоред са лева на десно.

Поред хијерархија, могу се применити и мапе ума које истичу релације међу концептима гранањем, полазећи од централне теме (централног концепта) ка периферним концептима (Zipp, Maher и D'Antoni, 2009). Foley и O'Donnell (2002) су конструисали мапе ума за потребе средњошколске наставе хемије, у току обраде концепта мола. При томе су информације дате у проблемском задатку приказане као централне у мапама ума, док су периферни концепти представљали сама решења проблема. Ова два аутора су изабрала управо овај алат за организацију и репрезентацију знања ради редукције броја информација које се задржавају искључиво у краткорочној меморији ученика.

Са друге стране, Shuell (1990) истиче ефикасну примену концептних мапа, које могу да задовоље потребу укључивања апстрактнијих концепата. Применом концептних мапа превазилази се проблем ученика да посматрају и примењују концепте искључиво у једном контексту. Поред тога, примена концептних мапа омогућава проширивање базе знања, јер се стечено знање може применити у новим ситуацијама, односно за решавање нових проблема који захтевају разумевање и тумачење проблемске ситуације (на пример, за решавање есејских задатака) (Shuell, 1990). Детаљнији опис концептних мапа као алата за онтолошку организацију и репрезентацију знања биће дат у наставку рада.

#### *2.1.2.4. Концептне мапе*

Конструкција и примена концептних мапа разматра се почевши од 1972. године, када је Novak спровео истраживања на Корнел Универзитету у Америци, са циљем праћења промена у знању ученика у домену природних наука (Novak и Sañas, 2006). За време тог истраживања интервјуисан је велики број ученика, међутим истраживачима је било изузетно тешко да препознају специфичне промене у ученичком разумевању научних концепата проучавајући одговоре сакупљене током интервјуа. Као резултат неопходности проналажења бољег, односно ефикаснијег начина праћења и представљања ученичког концептуалног разумевања, јавила се идеја репрезентације знања у домену природних наука применом концептних мапа (Novak и Sañas, 2006). Пошто је идеја заснована на Ausubel-овим психолошким теоријама учења (Ausubel, 2000), сама примена концептних мапа у наставном процесу требала је да омогући наставницима да помогну ученицима у току смисленог учења.

Novak и Gowin (1984) истичу да је образовна реформа 60-тих и 70-тих година прошлог века представљала покушај да се превазиђе механичко учење по школама, форсирајући инструкционе методе засноване на открићу. Међутим ти програми нису у потпуности успели да обезбеде „смисленост” учења. Тражећи разлог томе, ова два аутора наглашавају да у оквиру различитих инструкционих димензија учење може варирати од потпуно механичког до високо смисленог. Тако на пример, у димензији инструкције која се односи на самостално учење открићем, учење путем покушаја и погрешака често води механичком учењу, док са друге стране, научна истраживања представљају смислено учење (слика 10). Затим, димензија учења открићем уз помоћ наставника може бити праћена механичком применом формула у току решавања проблема, али и применом мултимедије која може резултовати смисленим учењем уколико је мултимедијални материјал одговарајуће дизајниран. Са друге стране, у димензији учења заснованог на перцепцији и прихватању чињеница, таблица множења јесте механички вид учења, док примена концептних мапа води смисленом учењу (слика 10). Поред тога, Novak и Sañas (2006) истичу постојање инструкционих метода које се налазе на самој граници механичко-смислено учење, као што су класична предавања, презентације, лабораторијски рад и једноставни пројекти и истраживања (слика 10).



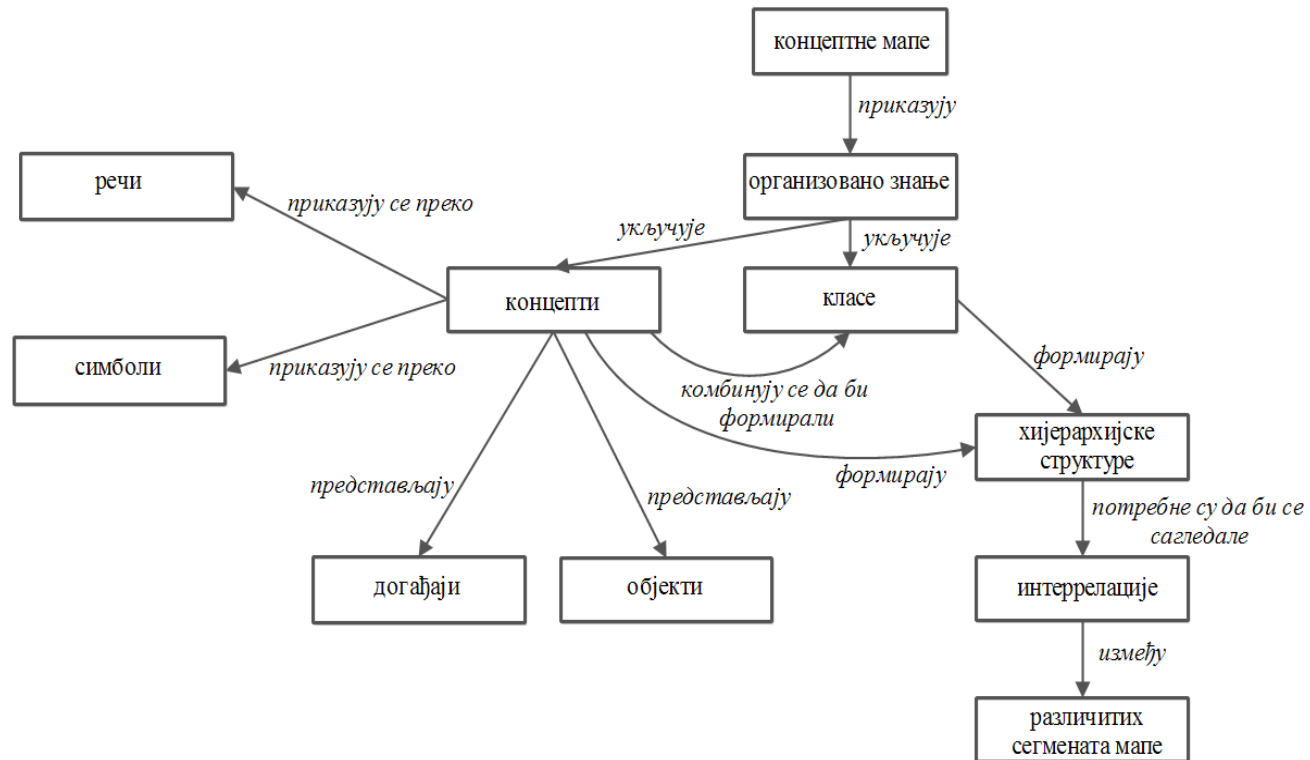
**Слика 10.** Приказ расподеле различитих инструкција у континууму смислено-механичко учење (прилагођено из Novak и Сањас, 2006)

#### Дефинисање појма концептних мапа

Концептне мапе се дефинишу као графички алати који служе за организацију и репрезентацију знања (Novak и Сањас, 2006). Ти алати обухватају концепте који су најчешће „затворени” у круговима или квадратима, док се релације међу њима наглашавају линијама (стрелицама) које спајају два концепта (Novak и Сањас, 2006). Са друге стране, Keller, Gerjets, Scheiter и Garsoffky (2006) дефинишу концептне мапе као дводимензионалне дијаграме који приказују релације међу концептима у оквиру одабраног домена, представљајући одабране концепте као „чворове” дијаграма. Ти чворови су повезани линијама на којима се налазе речи, или кратке фразе које спецификују везу међу њима. Управо из тих дефиниција надаље се могу размотрити основни елементи концептних мапа, као и принцип њихове конструкције.

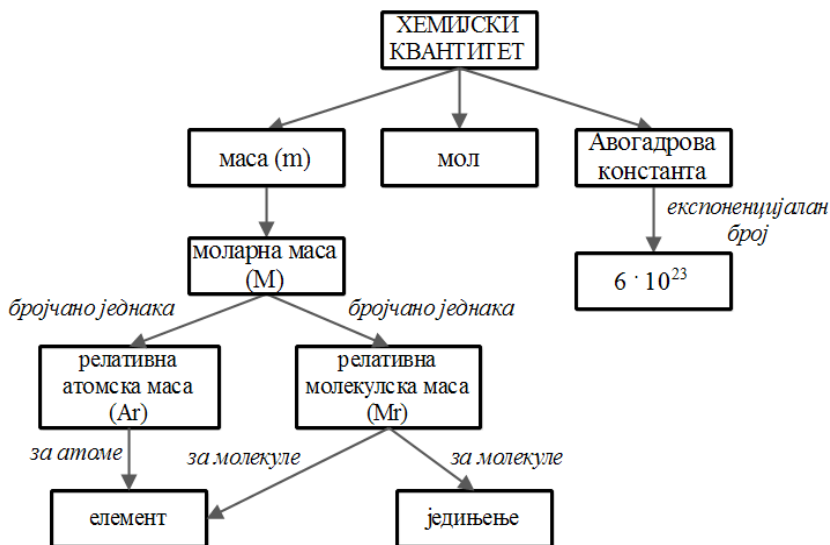
#### Конструкција и примена концептних мапа

Разматрајући основне јединице (елементе) концептних мапа, Novak (2002) је развио схему (слика 11) која јасно тумачи принцип њихове изградње. Концептне мапе приказују организовано знање кроз релевантне концепте и класе, или пропозиције. Концепти се најчешће приказују помоћу речи, мада се понекад у ту сврху примњују и симболи (Novak и Сањас, 2006). Класе (пропозиције) јесу комбинације два или више семантички повезана концепта, са циљем осликавања одговарајуће правилности међу њима (Novak, Gowin и Johansen, 1983). Тиме се преко пропозиција (класа) формирају кратке смислене „изјаве” (реченице) о неком догађају или објекту (Novak и Сањас, 2006). Концепти и класе формирају хијерархијске структуре, преко којих се сагледавају релације међу различитим сегментима мапе (слика 11).



Слика 11. Примена концептних мапа за организацију знања (прилагођено из Novak, 2002)

Novak и сарадници (1983) наглашавају да је управо *хијерархијска структура* кључна карактеристика концептних мапа. У конструисању концептних мапа, ученици постављају најопштије, генералне концепте на сам врх мапе, при чему се специфичнији концепти постављају ка дну, формирајући одговарајућу хијерархијску структуру (Novak и др., 1983). При томе ученици треба да осмисле најбољи начин хијерархијског приказивања концепата, међутим, хијерархијска организација концепата није ни мало једноставна и зависи искључиво од појединачне јединице знања коју разматрамо. Тако се, на пример, исти концепти могу појавити на различитим „нивоима” у мапама, уколико су мапе изграђене за различите јединице знања, односно различите наставне јединице (Novak и др., 1983). Поред тога, такође је могуће конструисати неколико различитих концептних мапа манипулишући истом групом концепата (Fahmy и Lagowski, 2002). Овај проблем је размотрен у раду Hrin, Milenković, Babić-Kekez и Segedinac (2014), у току конструисања концептне мапе у оквиру наставне јединице „Количина супстанце, мол и моларна маса”, за потребе основношколске наставе хемије. У поменутом раду, у хијерархијском распоређивању концепата, „хемијски квантитет” је одабран као кључни појам и тиме је постављен на највише место у мапи, изнад осталих појмова, као што су на пример „моларна маса” или „једињење” (слика 12). Међутим, нека друга особа (ученик, или наставник) могла би конструисати другачију концептну мрежу за исту наставну јединицу, одабиром неког другог кључног појма. Дакле, могуће је изградити неколико концептних мапа са истом групом појмова, па се тиме поставља битно питање: *Да ли су концептне мапе прикладне као алати за оцењивање ученичког знања?* (Hrin и др., 2014).



Слика 12. Приказ концептне мапе за наставну јединицу „Количина супстанце, мол и моларна маса” (прилагођено из Hrin и др., 2014)

Концептне мапе конструисане од стране ученика јесу идиосинкратичке репрезентације доменско-специфичног знања и као такве могу пружити битне информације наставнику о томе колико ученик зна (Fahmy и Lagowski, 2003). На основу конструисане концептне мапе, наставник сагледава иницијалне концепте које ученик бира и поставља у мапи, затим како су ти концепти контекстуално повезани, као и сам начин на који је ученик реорганизовао своју когнитивну структуру након наставне активности (Fahmy и Lagowski, 2003). Поред тога, Novak и сарадници (1983) истичу да ефикасно конструисане концептне мапе пружају информације о креативности ученика, као и о богатом предзнању. Ипак, нека истраживања наводе и озбиљне недостатке примене концептних мапа као алата за евалуацију ученичког знања.

Резултати до којих су дошли Johnston и Otis (2006) показали су да не постоји значајна веза између квалитета конструисане концептне мапе и стварног квалитета и квантума ученичког знања. Упоређујући ученичке скорове остварене током класичне евалуације (тестови знања са питањима вишеструког избора и питањима отвореног типа) и током конструисања концептних мапа, ова два аутора су приметила да су ученици чије су мапе окарактерисане као „лоше” (сиромашне) једнако припадали првом и четвртом квинтилу дистрибуције резултата класичног тестирања. Разлог томе је утврђен током интервјуа. Неки ученици који су конструисали сиромашне мапе истакли су да нису добро схватили наставно градиво, па су тиме и њихове мапе оскудне, слабо повезане и незадовољавајуће. Управо ти ученици су били смештени у најнижем квинтилу дистрибуције резултата класичног тестирања. Са друге стране, друга група ученика је објаснила да њима нису биле потребне комплексне мапе (мапе богате концептима) да би издвојили, односно дошли до кључних (најбитнијих) концепата. Ти ученици су истовремено смештени у највиши квинтил током класичне евалуације. Ови резултати воде до закључка да су концептне мапе јако личне представе, идиосинкратички конструисане за властити беневит и као такве, тешко се могу оценити од стране аутсајдера – било које особе која покушава оценити оно што је преко мапе приказано на папиру (Johnston и Otis, 2006).

Са друге стране, неки аутори наглашавају да не изненађује слаба корелација између конвенционалних типова евалуације и евалуације применом концептних мапа (Novak и др., 1983), пошто концептне мапе мере друге аспекте ученичког знања (друге вештине) у односу на традиционалну евалуацију помоћу које се не може мерити ученичко смислено учење, односно разумевање (Vachliotis и др., 2011).

Да би се превазишли поменути недостаци концептних мапа, а са циљем даљег неговања смисленог учења и разумевања у домену хемије, у новије време је развијен нови тип онтолошке организације и репрезентације знања – системички приступ учењу и обучавању хемије, уз примену системичких дијаграма и системичких задатака.

## 2.2. Системички приступ у настави хемије

Потребу за увођењем системичког приступа у наставу хемије, Fahmy и Lagowski (1999, 2002, 2003) су сагледали у глобализацији широког спектра људских активности, као што су економија, медији, култура, архитектура, политика и банкарство. Пошто се феномен глобализације нагло шири (Fahmy и Lagowski, 2002), а поменуте активности се већ посматрају са глобалне перспективе, а не са регионалне или локалне, Fahmy и Lagowski (2003) су закључили да се и образовање у науци мора посматрати на исти начин.

Образовање у науци, као процес у коме се прогрес у науци мора пренети на одговарајуће јединке друштва, мора постати довољно флексибилно да би се прилагодило „глобалној будућности”. Таква будућност мора поштовати виталну улогу коју поседују научници (хемичари) у развоју људског друштва. Поред тога, хемичари који се баве образовањем морају бити флексибилни да би се прилагодили брзоразвијајућим променама у науци и друштву (Fahmy и Lagowski, 2003). На основу тога, Fahmy (2014) закључује да је неопходно начинити револуцију у образовним системима и припремити нову генерацију ученика која ће бити способна да сагледа целину без изостављања појединих делова. Да би се глобално сагледале кључне релације у науци (да би се повезале чињенице и концепти у глобални конструкт), као и значај науке за остале људске активности, Fahmy и Lagowski (2002, 2003) предлажу увођење *системичког приступа*, чије су основе у наставном процесу хемије постављене 1998. године. Поред хемије, системички приступ се такође појављује у наставном процесу осталих природних наука (биологија и физика) и математике (Lagowski, 2005, 2009), али такође и у инжињерским и медицинским дисциплинама, као и у наукама о језику (Lagowski, 2009).

Пошто се системички приступ ипак највише развија у домену хемије, Fahmy и Lagowski (1999) постављају неколико циљева увођења системичког приступа у наставни процес хемије:

- (1) Пораст ефикасности учења и обучавања хемије
- (2) Превођење хемије из категорије одбојног, у категорију атрактивног предмета за ученике
- (3) Развој виших когнитивних способности, као што су анализа и синтеза
- (4) Развој креативности код ученика и могућност примене системичког приступа у решавању проблема који захтевају креативно решавање
- (5) Развој способности посматрања релација међу ентитетима, а не само ентитета понаособ, односно развој *системског мишљења* код ученика

### 2.2.1. Системско мишљење

Централни конструкт у системичком приступу јесте сам појам „*систем*”. Систем се уопштено односи на комплексну целину међусобно повезаних делова или компоненти (Vachliotis и др., 2014). Односно, систем представља групу делова или компоненти које заједно делују као функционална јединица (Salisbury, 1996). Пошто делови функционишу заједно кроз јединицу, систем добија властите карактеристике које нису једноставан збир карактеристика

делова целине. Већина приступа који су засновани на појму система, разматрају проблем *системског мишљења*.

Концепт системског мишљења развија се у току последњих 50 година, а потребу за његовим увођењем тумачи Salisbury (1996), разматрајући проблем разумевања новог садржаја. Традиционалан приступ разумевања новог садржаја подразумева његово парчање на више делова, да би се након проучавања карактеристика тих делова генерисало разумевање целине. Према Salisbury-ју (1996) овакав приступ редукује комплексност процеса мишљења и не дозвољава сагледавање карактеристика система које су резултат интеррелација међу деловима. Поред тога, сваки део може бити правилно схваћен једино сагледавањем његових функција у односу на остале делове целине (система). Управо се због тога долази до закључка да је овакав, стриктно аналитички приступ, потребно заменити синтетичким приступом на ком се заснива системско мишљење.

Системско мишљење се помиње у многим областима. Управо због тога добија различита значења – од дисциплине до вештине (Burandt, 2011). Тако на пример, Senge (1997) наводи системско мишљење као кључну, пету дисциплину организације процеса учења, која спаја остале четири дисциплине (ментални модели, тимски рад, стварање заједничке визије, лично усавршавање). Тиме је системско мишљење повезано са холистичким приступом и дефинише се као дисциплина сагледавања целине (Salisbury, 1996; Senge, 1997). Надаље, Senge (1997) истиче да је карактеристика системског мишљења *"сагледавање кругова, а не правих линија"*, односно сагледавање интеррелација међу ентитетима, уместо ентитета понаособ.

Са друге стране, Burandt (2011) разматра овај концепт као вештину мишљења која омогућава појединцима да боље разумеју међузависност и процесе у разматраним системима. Према Burandt-у (2011) системско мишљење обухвата три димензије: препознавање (идентификовање), описивање и моделовање комплексних делова целине (система); идентификовање интеррелација међу тим деловима; и динамичко мишљење, односно сагледавање динамичке, променљиве природе система (Salisbury, 1996). Многи аутори се слажу са чињеницом да системско мишљење као високо комплексна когнитивна способност, обухвата процес анализирања система до његових фундаменталних компоненти, али и повезивање (синтетизовање) тих компоненти у смислену целину (Hung, 2008; Tzougraki, Salta и Vachliotis, 2014). То се може постићи уочавањем сличности и разлика међу компонентама система, сагледавајући систем из више различитих перспектива и препознавањем релација међу компонентама система. Поред тога, Salisbury (1996) истиче да је битна одлика системског мишљења сагледавање чињенице да променом једног елемента (ентитета) у систему, у одређеном степену утичемо и на остале елементе разматраног система.

Проучавајући проблем системског мишљења у различитим пољима, Yurtseven (2000) налази на чињеницу повећаног интересовања за овај облик мишљења у научним дисциплинама и доменима који разматрају изузетно комплексне системе. Један од таквих система јесте домен органске хемије.



### 2.2.1.1. Системско мишљење у домену органске хемије

Познато је да атоми угљеника поседују способност међусобног повезивања и формирања дугих ланаца, при чему се формирају молекули многобројних органских једињења – од једноставних угљоводоника до комплексних биомолекула (Vachliotis и др., 2014). Свако од ових једињења треба посматрати као концепт који поседује властита одређења: молекулску структуру, хемијску формулу, назив, по којима се тај концепт разликује од других. Поред тога, потребно је сагледати сетове релација које тај концепт успоставља са другим концептима. У домену органске хемије те релације проистичу из сличности и разлика у молекулској структури, као и у физичким и хемијским својствима. Такав сет концепата (једињења) са успостављеним (дефинисаним) релацијама чине одговарајући концептуални субсистем. У домену органске хемије можемо издвојити неколико таквих субсистема, који се организују у зависности од одабраног критеријума организације. Неки од тих субсистема јесу класификационе схеме органских једињења, IUPAC-ова номенклатура за извођење системских назива органских једињења, структурна изомеризација, симболичка репрезентација органских једињења применом хемијских формула, типови хемијских реакција (адисија, елиминација, субституција, полимеризација, сагоревање). Сви ти концептуални субсистеми поседују своја властита одређења, као и појединачни концепти, и као такви могу успостављати релације са другим субсистемима. Тако се, на пример, повезивањем горе наведених субсистема гради целовит систем који се назива „Органска хемија” (Vachliotis и др., 2014).

На основу изложеног, може се закључити да је дубоко концептуално разумевање у домену органске хемије остварено тек када су ученици способни да успоставе релације међу сетом одређених концепата. Та мрежа релација омогућава извођење радњи као што су поређење концепата (сагледавање сличности и разлика међу њима), превођење једног концепта у други, спровођење анализе, као и креирање креативног решења проблема. Сви наведени процеси воде до конструкције и организације смислене целине која представља субсистем целокупног система органске хемије. Што је више таквих субсистема организовано, дубље је разумевање релевантних концепата из домена органске хемије (Vachliotis и др., 2014).

Vachliotis и сарадници (2014) истичу да уколико ученици достигну ниво „системских мислилаца”, може се спречити проблем механичког приступа учењу органске хемије, пошто су системско мишљење и смислено разумевање уско повезани појмови, и као такви деле исте циљеве.

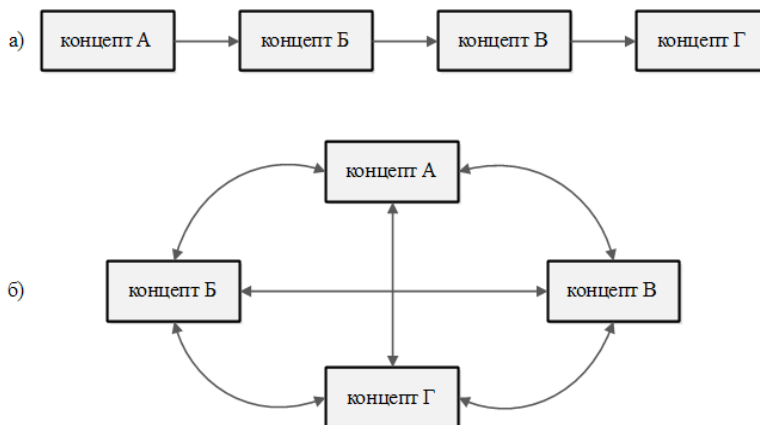
Ослањајући се на ову чињеницу, различити приступи у наставном процесу предлажу алате и методе које би олакшале стицање пожељних вештина мишљења, као што је системско мишљење (Burandt, 2011), за које Fahmy (2014) истиче да је најбитнија карактеристика образовног система глобалне ере. Те методе, односно алати требало би да омогуће структурирање и моделовање концепата и релација на ефикасан начин. Осврћући се управо на карактеристике таквих алата, Richmond (1993) истиче да су за време писања његовог рада алати били доста примитивни, међутим, овај аутор предвиђа њихово напредовање и развијање у току наредних десет година. Управо са тим циљем Fahmy и Lagowski (1999) уводе системички приступ у наставу хемије преко примене *системичких дијаграма*, или *системика*, за које сматрају да

могу једнако успешно утицати и на процес учења и на процес обучавања (Fahmy и Lagowski, 2002, 2003; Lagowski, 2009).

### 2.2.2. Системички дијаграми

Ослањајући се на конструктивистичку теорију учења чије је темеље поставио Ausubel (цитирано у Lagowski, 2009), Fahmy и Lagowski (2002) су дизајнирали, имплементирали и евалуирали системички приступ учењу и настави хемије („*Systemic approach to teaching and learning chemistry*”, SATLC). Постављајући основе системичког приступа, као инструкционог метода који поспешује смислено учење, Fahmy и Lagowski (2003) су представили *системичке дијаграме* или *системике*, дефинишући их као уређење концепата кроз интерактивни систем у коме су све везе међу концептима јасно истакнуте.

Током конструисања системичких дијаграма, Fahmy и Lagowski (2003) су сагледали основне карактеристике концептних мапа. Системички дијаграми и концептне мапе, као онтолошки модели репрезентације знања, поседују неке заједничке карактеристике: поспешују смислено учење и поседују једнаке структурне елементе – концепте затворене у круговима или квадратима и линије (стрелице) помоћу којих се истичу везе међу концептима (Hrin и др., 2015). Међутим, треба истаћи и кључне разлике између системичких дијаграма и концептних мапа. Док се концептне мапе заснивају на статичком хијерархијском уређењу концепата, системички дијаграми представљају више или мање динамичке, затворене системе (Fahmy и Lagowski, 2003). Тиме примена системичких дијаграма у наставном процесу захтева трансформацију наставног материјала који се приказује линеарно (слика 13 а), у одговарајуће системе затворених кластера концепата (слика 13 б) (Fahmy и Lagowski, 2003; Fahmy, 2014).



**Слика 13.** Линеарно уређење (а) и системички приказ концепата (б) (прилагођено из Fahmy и Lagowski, 2003)

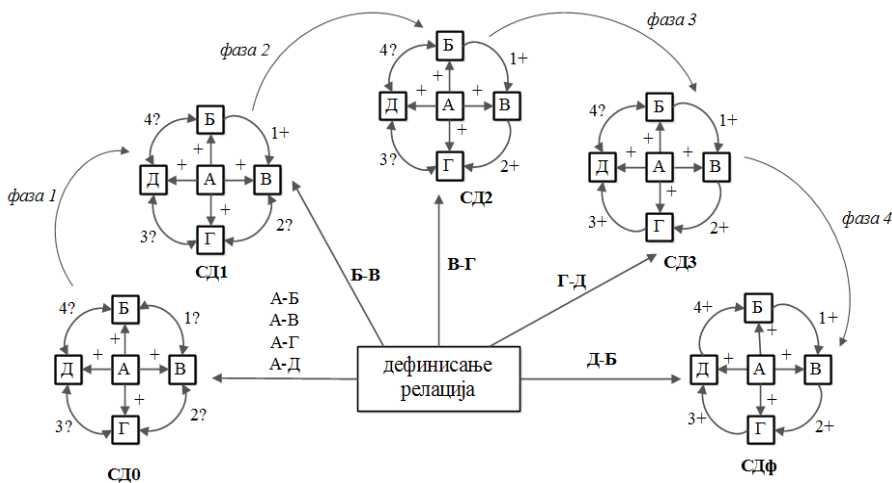
Потребу за превођењем наставних материјала са линеарних у системичке приказе, Fahmy (2014) тумачи тиме да примена системичких дијаграма омогућава следеће:

- (1) Развијање глобалног погледа на колекцију концепата – развијање системског мишљења
- (2) Развијање виших когнитивних процеса (анализа, синтеза, евалуација)
- (3) Развијање високо уређених когнитивних структура
- (4) Развијање метакогниције код ученика

При томе, трансформација линеарних у системичке приказе захтева реформу дизајна курикулума, начина приказа наставних садржаја, начина евалуације, као и инструкционог метода који се заснива на конструкцији и примени системичких дијаграма (Fahmy, 2014).

### 2.2.2.1. Конструкција системичких дијаграма

Са циљем тумачења стратегије развоја системичког дијаграма, као кључног наставног алата у системичком приступу, Fahmy и Lagowski (2002) приказују схему (слика 14) са које се јасно уочавају фазе конструкције системичког дијаграма као дводимензионалне репрезентације концепата који треба да буду усвојени од стране ученика (Fahmy и Lagowski, 2011).



**Слика 14.** *Схема постепеног развоја системичког дијаграма (прилагођено из Fahmy и Lagowski, 2002)*

На почетку процеса конструкције системичког дијаграма неопходно је идентификовати природу концепата који ће бити укључени у системичком дијаграму, односно природу релација које се успостављају међу њима. Тако су, на пример, у нашем случају (слика 14) релације А-Б, А-В, А-Г и А-Д познате ученицима од раније (претходно знање ученика), па су тиме обележене знаком

+ Поред тога, Fahmy и Lagowski (2011) предлажу да се познате релације прикажу стрелицама које јасно истичу смер релација ( $\rightarrow$ ,  $\leftarrow$ ).

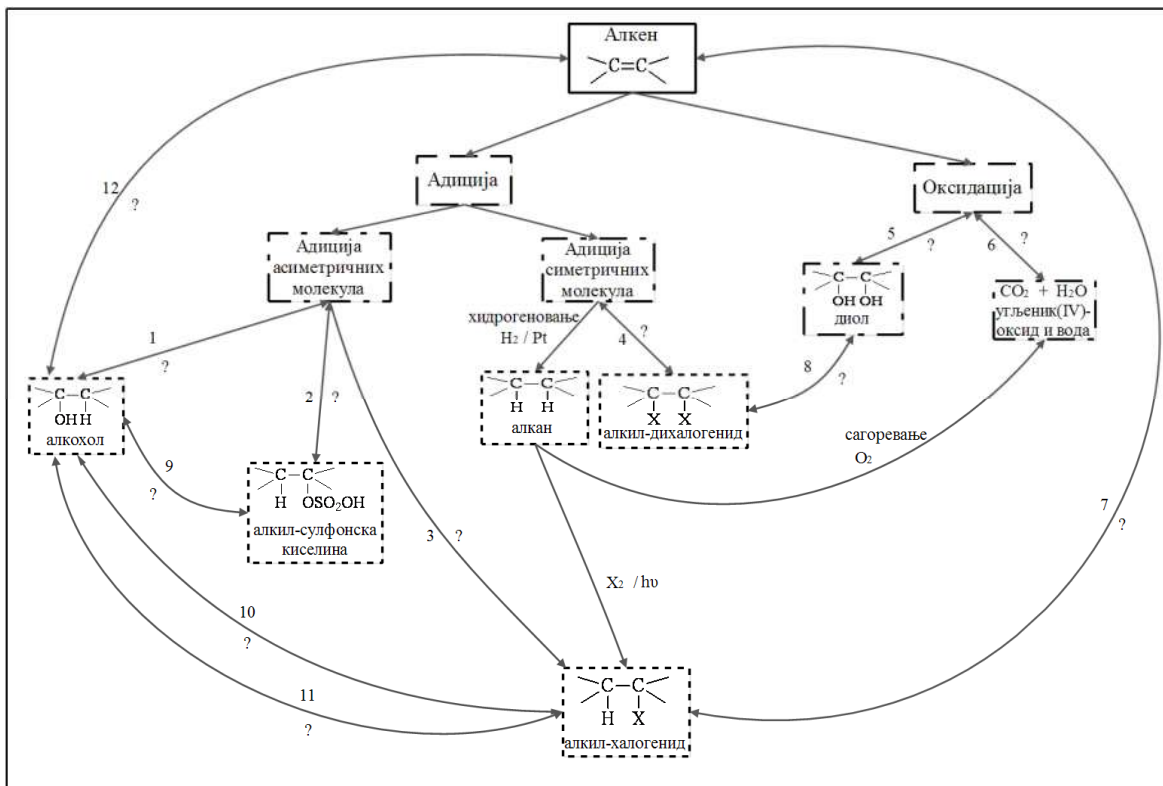
Са друге стране, релације Б-В, В-Г, Г-Д и Д-Б су непознате ученицима и репрезентују ново знање које ће ученици усвојити у току наставног процеса применом системичких дијаграма. Непознате релације се обележавају знаком питања (?) и приказују се стрелицама које воде у оба смера ( $\leftrightarrow$ ) (Fahmy и Lagowski, 2011).

Системички приступ укључује конструкцију серије „затворених концептних мапа” које ће бити део финалног системичког дијаграма у разматраном домену знања (Lagowski, 2009). Системички дијаграм који пружа једнаку полазну тачку свим ученицима и који истиче познате и непознате релације на самом почетку наставног процеса, назива се почетни или иницијални системички дијаграм, СД0 (слика 14). Иницијални системички дијаграм се постепено развија кроз неколико фаза, разјашњавајући релације међу непознатим концептима. На пример, у првом кораку (фаза 1, слика 14) дефинише се веза између концепата Б и В да би се формирао системик СД1, у другом кораку веза између концепата В и Г да би се формирао системик СД2, и тако даље. При томе се такође мења и смер стрелица које повезују концепте Б и В, односно В и Г. Када све релације међу концептима постану познате ученицима формиран је крајњи, односно финални системички дијаграм (СДф), који обухвата и репрезентује целокупни садржај нове наставне јединице (Fahmy и Lagowski, 2011). Овај принцип изградње финалног системичког дијаграма јасно истиче конструктивистичку природу системичког приступа (Fahmy и Lagowski, 2002), пошто ученик (уз помоћ наставника) развија финални системички дијаграм на темељу онога што већ зна (Lagowski, 2009).

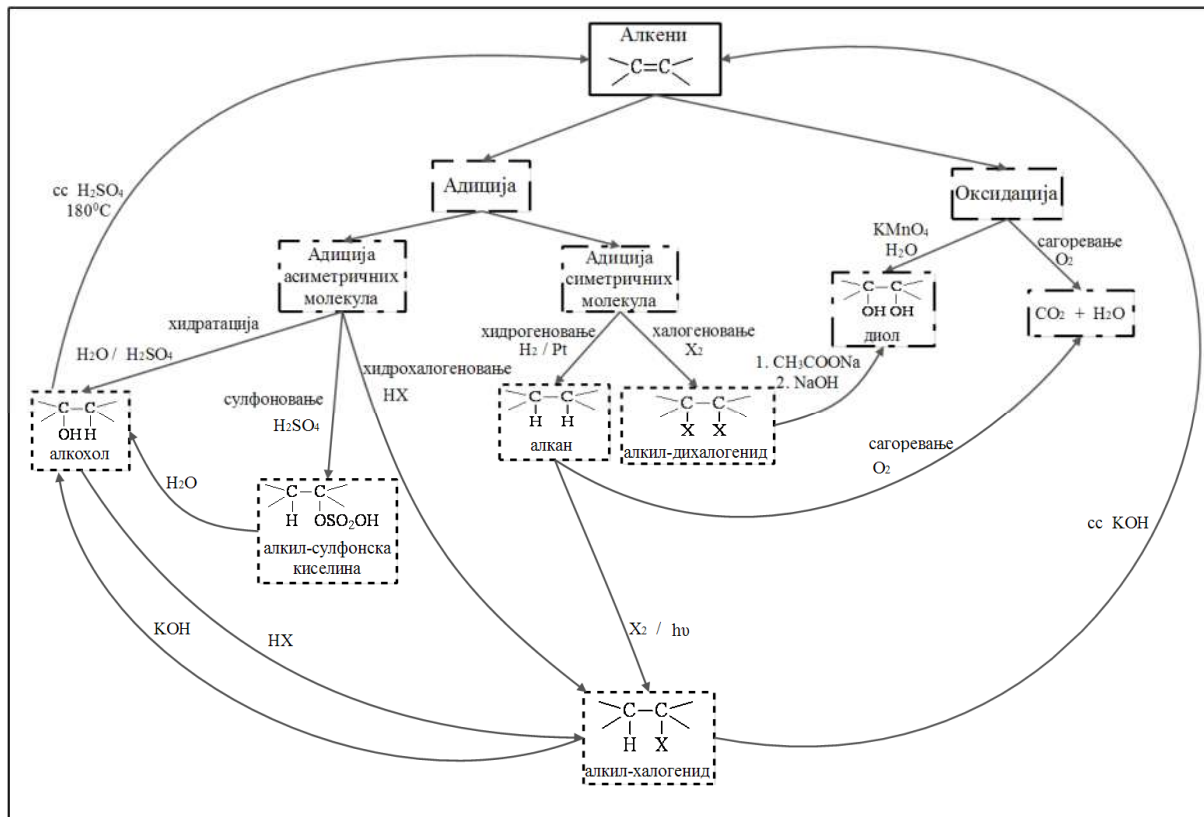
Пошто системички дијаграми који се конструишу у реалним наставним ситуацијама поседују више од пет концепата, конструкција финалног системичког дијаграма је комплекснија него што је то приказано на слици 14. Уколико је, на пример, одабрана наставна јединица „Хемијско понашање алкена” у оквиру средњошколске наставе хемије, системички дијаграми ће обухватати концепте попут одабране класе органских једињења (алкени), типове хемијских реакција (адисија, оксидација), као и саме производе тих реакција (на пример, алкан, алкохол, алкил-халогенид).

Са циљем карактеризације релација међу поменутиим концептима, конструише се иницијални системички дијаграм (СД0, слика 15), у ком су ученицима дефинисане само оне релације које су им од раније познате. У нашем случају (слика 15) дефинисане су следеће релације: алкен – алкан, алкан – алкил-халогенид и алкан – угљеник(IV)-оксид и вода.

У даљем току наставног процеса ученицима се постепено дефинишу непознате релације, као што су релације обележене бројевима од 1 до 12 (слика 15). То су релације које се односе на карактеристичне реакције алкена (на пример, алкен – алкохол, или алкен – алкил-халогенид), као и релације међу самим производима поменутих реакција (на пример, алкохол – алкил-халогенид). Да би се дефинисале непознате релације, конструише се и приказује сет пролазних системика, који су део крајњег, финалног системика. Тиме се обрада наставне јединице завршава са финалним системичким дијаграмом СДф (слика 16), у ком су истакнуте све постојеће, релевантне релације међу сетом разматраних концепата.



Слика 15. Полазни системички дијаграм СДО за наставну јединицу „Хемијска својства алкена” (прилагођено из Hrin и др., 2013)



Слика 16. Финални системички дијаграм СДф за наставну јединицу „Хемијска својства алкена” (прилагођено из Hrin и др., 2013)

### 2.2.2.2. Примена системичких дијаграма у настави хемије

Разматрајући радове који су посвећени примени системичких дијаграма у наставном процесу хемије, треба напоменути да се већина тих радова бави проблемом конструкције системичких дијаграма у разним хемијским областима, док је мали број радова посвећен емпиријским истраживањима на ту тему. Тако су, на пример, у органској хемији системички дијаграми приказани за хемијска својства бензена (Fahmy и Lagowski, 2011), хемијска својства алкена (Hrin и др., 2013), као и за синтезу органских једињења помоћу Грињаревог реагенса (Naqvi, Shafi, Kanwal и Summer, 2014). У физичкој хемије, помоћу системичког приступа обрађена је хемијска кинетика (Nazir, Naqvi и Khattak, 2013), а у биохемији важни метаболички путеви (Golemi, Kęřira и Laęej, 2013).

Емпиријска истраживања су такође обухватила различите хемијске области, као и различите образовне нивое. Посматрајући основношколски ниво, издваја се истраживање које су у Србији спровели Hrin и сарадници (2014). Узорак испитаника чинили су ученици седмог разреда, док је одабрана наставна јединица био концепт мола. У току експеримента, ученици експерименталне групе су обучавани системичким приступом, док су ученици контролне групе подвргнути традиционалној настави. Резултати истраживања су истакли чињеницу да су системички дијаграми погоднији од традиционалне наставе уколико је циљ превазилажење тешкоћа у току савладавања апстрактних хемијских садржаја, где свакако припада и концепт мола. Овај закључак је изведен разматрањем ученичких постигнућа у току решавања конвенционалних, линеарних задатака на финалном тесту знања. Међутим, треба истаћи да су се системички дијаграми показали погоднији од традиционалне наставе код ученика који су на основу резултата иницијалног теста окарактерисани као „одлични” и као „задовољавајући”, али не и код ученика окарактерисаних као „добри” (Hrin и др., 2014).

Разматрајући примену системичких дијаграма код ученика основношколског узраста, Al-bashaireh (2011) је спровео истраживање у настави природних наука, код ученика петог разреда основне школе (узраст 11-12 година), у Јордану. Поред инструкционог метода (традиционална настава и системички приступ), Al-bashaireh (2011) укључује још једну независну варијаблу у своје истраживање – пол ученика. Анализирајући резултате финалног теста знања који је обухватао задатке вишеструког избора, овај аутор истиче да ученици експерименталне групе (системички приступ) остварују боља постигнућа од ученика контролне групе (традиционална настава). Тумачећи боље постигнуће ученика експерименталне групе, Al-bashaireh (2011) је истакао сам дизајн инструкционог метода помоћу кога су учили ученици експерименталне групе: јасно истакнути концепти у датом домену и наглашене релације међу њима. Надаље, разматрајући пол ученика као независну варијаблу, установљено је да девојчице остварују боља постигнућа од дечака, а као разлог томе Al-bashaireh (2011) наводи већу ангажованост и посвећеност девојчица у односу на дечаке.

Посматрајући средњошколску наставу, издвајају се истраживања која су у Египту, у домену органске хемије спровели Fahmy и Lagowski (1999, 2002, 2003). Ова два аутора су испитивала утицај системичког приступа (системичких дијаграма) на постигнуће ученика у оквиру наставне теме

„Карбоксилне киселине и деривати карбоксилних киселина”. Са тим циљем, примењен је дизајн истраживања са две паралелне групе - једна експериментална и једна контролна група. Истраживање је започето из такозване нулте тачке, где су сви ученици решавали иницијални тест, који је обухватао претходно савладане садржаје органске хемије (угљоводоници, алкил-халогениди, алкохоли, алдехиди и кетони), док је на крају истраживања спроведен финални тест знања. Резултати *t*-теста су показали да у оквиру контролне групе (традиционална настава) није било статистички значајне разлике у постигнућу ученика пре и после експеримента, док су ученици експерименталне групе забележили висок пораст постигнућа након примене системичког приступа у настави (Fahmy и Lagowski, 1999). Успешност на финалном тесту знања била је дефинисана као постигнуће ученика преко 50 %, при чему је установљено да је 80 % ученика експерименталне групе оставрило очекивану успешност, док је свега 10 % ученика контролне групе достигло постигнуће преко 50 % (Fahmy и Lagowski, 2003).

Детаљније анализирајући резултате спроведеног истраживања, Fahmy и Lagowski (2003) су надаље разматрали ученичка постигнућа по категоријама задатака. Тестови знања су обухватили две категорије задатака: линеарне (задаци вишеструког избора, задаци допуњавања и задаци кратких одговора) и системичке задатке<sup>3</sup>. Аутори су установили да ученици обучавани системичким приступом успешније решавају обе категорије задатака од ученика који су обучавани применом традиционалне наставе, при чему је та разлика истакнутија код системичких задатака.

На крају свог истраживања, Fahmy и Lagowski (1999) су анализирали резултате ученичке анкете, у којој је истакнуто да ученици експерименталне групе преферирају системички приступ у односу на традиционалну наставу, пошто јасно наглашене релације разјашњавају природу хемијских концепата, а такође им помажу у разумевању нових концепата, па је тиме скраћено време потребно за њихово савладавање.

Треба напоменути да је системички приступ најчешће примењиван у високошколској настави хемије. Тако су на пример, Fahmy и Lagowski (2002) испитивали утицај примене системичких дијаграма на постигнуће студената II године студија, на Факултету природних наука у Египту, у току изучавања алифатичних органских једињења. Постигнуће студената експерименталне групе, било је поређено са постигнућем студената контролне групе, које су обучавани применом традиционалног, линеарног приступа. У ту сврху, аутори су применили два инструмента: иницијални и финални тест знања, који су обухватили два типа задатака: линеарне и системичке задатке. Разматрајући укупно постигнуће студената, као и постигнуће посебно у линеарним и посебно у системичким задацима, у контролној групи није забележен напредак након експеримента. Са друге стране, студенти експерименталне групе су након експерименталне наставе утростручили просечно постигнуће, при чему је напредак примењен како у линеарним, тако и у системичким задацима (Fahmy и Lagowski, 2002). Надаље испитујући ефикасност примене системичког приступа у високошколској настави, Fahmy и Lagowski (2002) су дошли до истих резултата у току курса изучавања хетероцикличних органских једињења.

<sup>3</sup> Детаљан опис системичких задатака дат је у поглављу 2.2.3.



Ослањајући се на поменуто истраживање Fahmy-ја и Lagowski-ог (2002), Golemi, Medja и Lasej (2014) су посматрали утицај системичког приступа (системичких дијаграма) на постигнуће студената са Факултета природних наука (Департман за биохемију) у Албанији. У поменутом истраживању системички дијаграми су примењени у експерименталној групи студената у току изучавања метаболизма угљених хидрата, док су студентима контролне групе исти садржаји представљени линеарно. Иницијални и финални тестови знања су се састојали из две врсте задатака – системичких и линеарних, са циљем упоређивања постигнућа студената пре и после експеримента. Код студената контролне групе није примењено напредовање нити у једној категорији задатака, док су студенти експерименталне групе, након примене системичких дијаграма, забележили изузетно висока постигнућа у свакој разматраној категорији: укупно постигнуће, постигнуће у линеарним и постигнуће у системичким задацима.

Такође је интересантно напоменути истраживање из поља аналитичке хемије, које је спроведено у току лабораторијских вежби на тему анализе катјона (Fahmy и др., 2002). Након експерименталног истраживања, аутори су спровели тестирање у циљу поређења постигнућа студената експерименталне (системички приступ) и контролне групе (традиционална настава) у линеарним задацима, али такође и у циљу поређења практичних способности. Статистичка анализа резултата је потврдила да су студенти експерименталне групе остварили боља постигнућа у односу на контролну групу у свим нивоима когнитивних способности: знање, схватање, примена, анализа, синтеза и евалуација. Поред тога, тестом практичних способности установљено је да су студенти експерименталне групе успешнији од студената контролне групе у следећим радњама: планирање и организација експеримента, руковање лабораторијским прибором, прикупљање резултата, анализа резултата и извођење закључака.

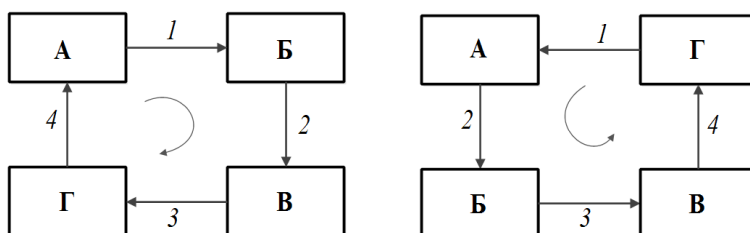
### **2.2.3. Системички задаци**

Системичке задатке (СЗ) у наставни процес хемије, Fahmy и Lagowski уводе неколико година касније у односу на системичке дијаграме, представљајући их 2004. године на међународној конференцији хемијског образовања у Истанбулу (Fahmy и Lagowski, 2004). Системички задаци су представљени као нови субсистеми системичких дијаграма, односно као нове схеме за евалуацију знања које комбинују карактеристике и идеје системичког и конструктивистичког приступа (Vachliotis и др., 2014).

Основна разлика између системичких задатака и њихових претходника – системичких дијаграма, јесте у броју концепата који су укључени у њихове структуре, као и у намени за коју се конструишу (Hrin и др., 2015). Системички дијаграми су конструисани са циљем приказивања свих релевантних концепата за одређену наставну јединицу или тему и тиме садрже релативно велики број концепата. Пошто је велика већина тих концепата ученицима непозната – ученици се са њима сусрећу по први пут на часу, системички дијаграми се карактеришу као инструментални алати који служе за обраду новог наставног садржаја. Са друге стране, системички задаци сардже мањи број концепата у поређењу са системичким дијаграмима, пошто су дизајнирани са циљем

евалуације ученичког смисленог разумевања (Fahmy и Lagowski, 2012), након што се ученици упознају са одређеним наставним садржајем.

Системички задаци могу да поседују различите геометријске облике, као што су тригонални, квадрилатерални, пентагонални, хексагонални, и друго., у зависности од броја концепата који су обухваћени у задатку (Fahmy и Lagowski, 2012). Поред облика, Fahmy и Lagowski (2012) истичу још једну карактеристику ових задатака: пожељно је да стрелице које повезују концепте буде у смеру казаљке на сату, или у супротном смеру од смера казаљке на сату. Пример општег облика системичког задатка са четири концепта приказан је на слици 17.



**Слика 17.** Општи приказ системичког задатка са четири концепта, са релацијама у смеру казаљке на сату (леви СЗ) и у супротном смеру од смера казаљке на сату (десни СЗ)

У току припреме (конструкције) системичких задатака, формирају се комплексне мреже релација међу концептима, које воде до формирања концептуалних субсистема, који затим образују смислену целину (Vachliotis и др., 2014). Да би решили системичке задатке, ученици треба да буду способни да мисле на системички начин, да имају развијене комплексне вештине мишљења, да сагледају вишеструке приступе проблему, да креирају релације са циљем организације ентитета у концептуалан систем (анализа система до његових фундаменталних компоненти и синтеза тих компоненти у међусобно повезане субсистеме који формирају кохеренту целину – смислени концептуални систем) (Vachliotis и др., 2014).

Према мишљењу Vachliotis-а и сарадника (2014), управо се по наведеним карактеристикама евалуација заснована на системичким задацима разликује од конвенционалне евалуације. Ученичко мишљење о системима, односно њиховим компонентама и интеракцијама, омогућава ученицима да организују знање о систему и тиме се спешује разумевање. Како се разумевање продубљује, ученици превазилазе нејасноће о томе како један ентитет утиче на други, и експлицитно спознају интеракције у систему. Овакав вид евалуације омогућава ученицима да експлицитно прикажу своје изграђене моделе, и тиме наставницима пружа увид у концептуално разумевање ученика.

Образлажући потребу увођења и примене системичких задатака као алата за евалуацију ученичког знања, Fahmy и Lagowski (2012) истичу следеће бенефите:

- (1) Процењује се квалитет когнитивних структура ученика

- (2) Процењују се когнитивни процеси вишег реда, као што су анализа, синтеза и евалуација
- (3) Омогућава се развијање, али и мерење вештина системског мишљења
- (4) Процењује се креативност ученика у решавању проблема
- (5) Процењују се ученичке способности повезивања концепата у смислене концептуалне структуре
- (6) Омогућава се ученицима да открију нове везе међу концептима
- (7) Пружа се ученицима повратна информација о томе колико су добро савладали и разумели дати садржај
- (8) Овај облик евалуације обухвата широк спектар концепата из разматраног домена
- (9) Они представљају релијабилне и валидне алате за евалуацију знања

Fahmy (2014) истиче да је системичка евалуација кључна компонента у системичком курикулуму и да се примењује са циљем праћења ученичког напредовања у току наставног процеса, али и са циљем процене ученичког смисленог разумевања хемијских садржаја, као и мерења промена у когнитивној структури ученика након одређене наставне активности.

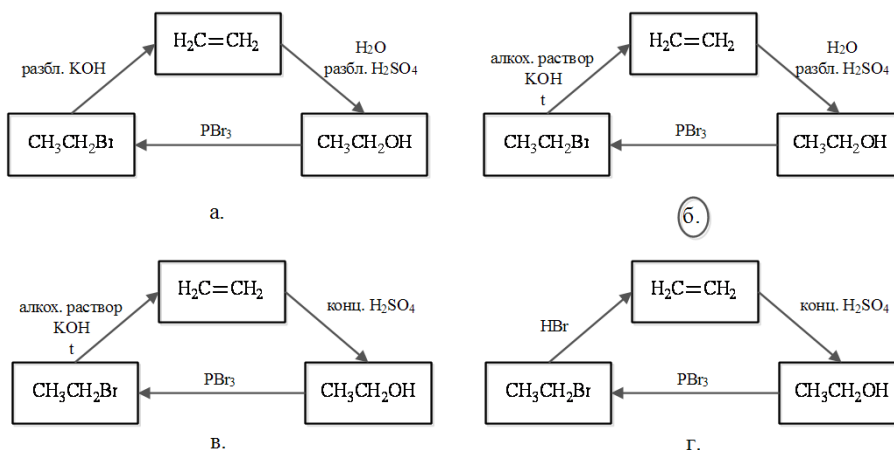
#### 2.2.3.1. Типови системичких задатака

Fahmy и Lagowski (2012) предлажу неколико типова системичких задатака, при чему ће у наставку рада бити приказане карактеристике сваког типа, као и одговарајући примери задатака.

*Системички задаци вишеструког избора.* У системичким задацима вишеструког избора ученицима се презентује проблем и приказује се сет система који представљају потенцијално решење проблема (Fahmy, 2010). При томе се од ученика захтева одабир тачног одговора – системичког дијаграма са правилно приказаним релацијама међу концептима, у сету неколико приказаних решења (Fahmy и Lagowski, 2007/2008). Према Fahmy-ју и Lagowski-ом (2007/2008), пожељно је да дијаграми приказују 3 до 5 физичких или хемијских релација (да дијаграми буду тригонални, квадрилатерални, или пентагонални). При томе релације међу концептима треба да буду прецизне, јасне и недвосмислене (Fahmy, 2010).

Као предност примене системичких задатака вишеструког избора, Fahmy (2010) наводи могућност процене ученичке способности корелирања међу датим концептима, при чему се ученички одговори лако вреднују. Недостатак ових алата евалуације јесте немогућност сагледавања ученичких вештина писања (Fahmy, 2010).

Системички задатак вишеструког избора може бити постављен на следећи начин: „*Који од следећих системичких дијаграма тачно приказује релације засноване на хемијским реакцијама између етена, етанола и брометана?*” (Fahmy и Lagowski, 2007/2008).

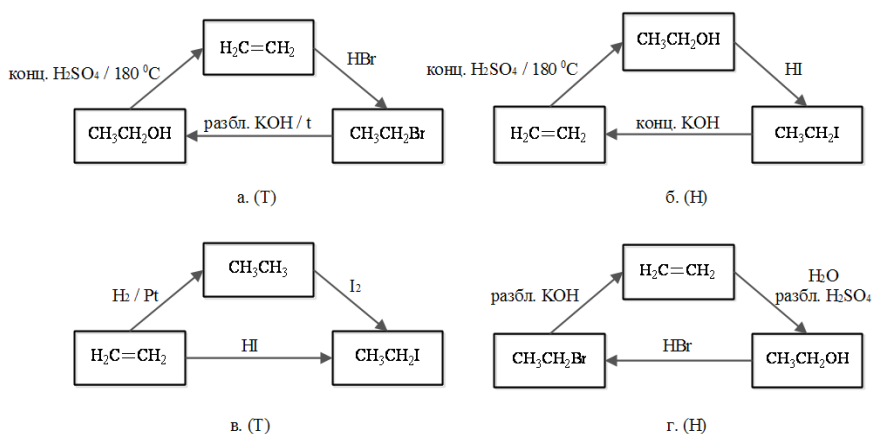


**Слика 18.** Пример системичког задатка вишеструког избора (прилагођено из Fahmy и Lagowski, 2007/2008)

Системички задаци типа тачно/нетачно. Овај тип системичких задатака захтева од ученика да процене да ли је сваки од понуђених система тачно или нетачно приказан (Fahmy, 2010). Да би се ефикасно саставили овакви задаци, Fahmy (2010) предлаже да системици који правилно приказују релације међу концептима буду једнаке величине (садрже једнак број концепата) као и системици код којих релације нису исправно назначене (системици дистрактори).

Као предности примене системичких задатака типа тачно/нетачно истиче се могућност решавања великог броја таквих задатака на часу, сагледавајући релације међу већим бројем концепата. Поред тога, наставник лако процењује тачност ученичког одговора (Fahmy, 2010; Fahmy и Lagowski, 2012). Као главни недостатак ових задатака, Fahmy (2010) истиче да овај тип евалуације не пружа наставнику никакве информације о ученичким вештинама писања.

Као пример системичког задатка типа тачно/нетачно, може се приказати следећи задатак: „Који од следећих система приказују правилне релације међу сетом датих концепата? У заграду испод сваког дијаграма уписати слово **T** уколико је он тачан, односно слово **H** уколико је нетачан”. Решење наведеног примера системичког задатка дато је на слици 19.



Слика 19. Пример системичког задатка типа тачно/нетачно

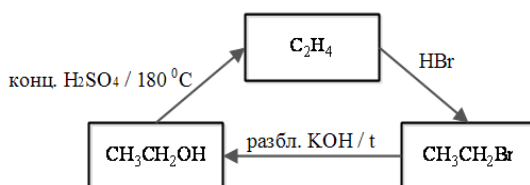
*Системички задаци повезивања.* Овај тип системичких задатака мери ученичку способност проналажења веза међу сетом приказаних ентитета (Fahmy, 2010; Fahmy и Lagowski, 2014). При томе се са леве стране (колона А) представљају концепти, док се на десној страни (колона Б) истичу могуће релације. Након што повежу ентитете из колона А и Б, од ученика се очекује да попуне празна поља у систему приказаном у колони В, односно да уреде концепте и дефинишу релације (уписујући одговарајуће речи, симболе, формуле на стрелице). Приказан системик може да буде тригоналан, квадрилатералан, или пентагоналан (Fahmy и Lagowski, 2014).

Као предност примене системичких задатака повезивања, Fahmy (2010) истиче избегавање могућности погађања тачног одговора, као и високу релијабилност инструмента који садржи системичке задатке повезивања. Поред тога, могуће је укључити већи број оваквих задатака, пошто је време читања текста задатка и сагледавања пружених информација релативно кратко, као и време потребно за приказивање решења.

Системички задатак повезивања, Fahmy и Lagowski (2014) дефинишу на следећи начин: „Повезати алифатична једињења из колоне А са одговарајућим реакционим условима из колоне Б да би се формирао системик у колони В” (слика 20).

A	B	Б
$C_2H_4$		разбл. $H_2SO_4$
$CH_3CH_3$		конц. $H_2SO_4 / 180^\circ C$
$CH_3CH_2OH$		$PBr_3$
$CH_3CH_2Br$		алкох. раствор $KOH / t$
		разбл. $KOH / t$
		$HBr$
		$H_2 / \text{катализатор}$
		$Br_2 / h\nu$

Решење:

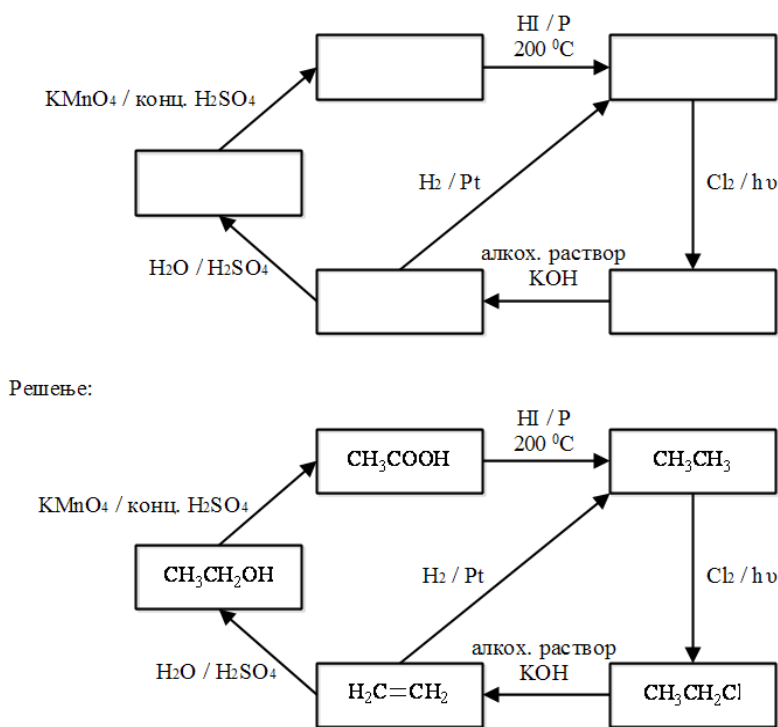


Слика 20. Пример системичког задатка повезивања (прилагођено из Fahmy и Lagowski, 2014)

*Системички задаци сређивања.* Овај тип системичких задатака захтева од ученика да поставе дати текст, бројеве или формуле у одговарајућа поља у приказаном дијаграму (Fahmy и Lagowski, 2012). За разлику од системичких задатака вишеструког избора, или системичких задатака типа тачно/нетачно, а попут системичких задатака повезивања, код ове врсте задатака смањује се могућност погађања тачног одговора уколико системик поседује већи број поља, односно уколико је представљен у пентагоналној или хексагоналној форми (Fahmy, 2010).

Овај тип системичког задатка може бити формулисан на следећи начин: „Поређати следеће формуле органских једињења у одговарајућа места (поља) у приказаном дијаграму” (слика 21).

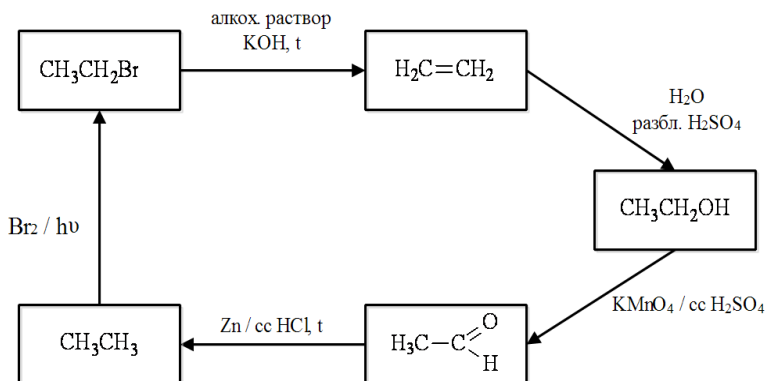
[ $\text{H}_2\text{C}=\text{CH}_2$ ;  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ ;  $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{Cl}$ ;  $\text{CH}_3\text{CH}_3$ ;  $\text{CH}_3\text{COOH}$ ]



Слика 21. Пример системичког задатка сређивања (прилагођено из Fahmy и Lagowski, 2012)

*Системички задаци синтезе.* Овај тип системичких задатака прати следећу форму: концепти који треба да буду укључени у дијаграму истакнути су у самом тексту задатка, а од ученика се очекује да конструишу системички дијаграм постављајући концепте у одговарајућа поља, дефинисањем релације међу њима. Према Fahmy-ју (2010) ови задаци процењују ученичке способности повезивања концепата, као и ученичке вештине мишљења вишег реда (на пример системско мишљење). Као предност примене ове врсте задатака, Fahmy (2010) наглашава да ови алати евалуације редукују могућност погађања тачног одговора, при чему је инструмент заснован на овим задацима високо релијабилан.

Системички задатак синтезе из домена органске хемије, може бити формулисан на следећи начин (Fahmy и Lagowski, 2014): „*Нацртајте пентагонални системички дијаграм који приказује системичке, хемијске релације међу следећим једињењима:  $\text{C}_2\text{H}_5\text{Br}$ ,  $\text{C}_2\text{H}_4$ ,  $\text{C}_2\text{H}_6$ ,  $\text{CH}_3\text{CHO}$ ,  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$* ” (слика 22).



**Слика 22.** Пример системичког задатка синтезе (прилагођено из *Fahmy и Lagowski, 2014*)

### 2.2.3.2. Примена системичких задатака у настави хемије

Системички задаци као нови алати за евалуацију ученичког знања у домену хемије, укључени су у неколико емпиријских истраживања. Једно од њих су у Албанији (Факултет Природних наука, Департман за биохемију) спровели Golemi и сарадници (2014). У истраживање су укључени студенти основних студија на курсу биохемије, у току савладавања теме „Метаболизам угљених хидрата“. Системички задаци су примењени као део теста знања, поред класичних, линеарних задатака, са циљем праћења напретка ученика експерименталне (обучавани применом системичких дијаграма) и контролне групе (примена традиционалне наставе), пре и после експеримента. У приказаним резултатима је истакнуто да су студенти контролне групе остварили приближно једнако (ниско) постигнуће у системичким задацима пре (24 %) и после експеримента (око 27 %). Са друге стране, у експерименталној групи студената дошло је до великог пораста у постигнућу након експеримента (пре експеримента: 19 %, након експеримента: 72 %). На основу приказаних резултата закључује се да системички задаци могу да буду окарактерисани као ефикасни алати за процену ученичког напредовања у наставном процесу у ком се примењују различите наставне методе, указујући на групу студената која је развила комплексне когнитивне вештине и стратегије мишљења.

Прецизнији показатељи валидности и релијабилности системичких задатака као алата евалуације ученичког смисленог разумевања, истакнути су у студији коју су у Атини спровели Vachliotis и сарадници (2011), код ученика средњошколског узраста. У поменутом истраживању обухваћене су две наставне теме из домена органске хемије: „Алкохоли“ и „Карбоксилне киселине“, при чему су ученици обучавани искључиво традиционалним приступом. На часовима понављања градива, ученици су решавали класичне задатке, као и задатке који су по облику били слични системичким задацима, са том разликом што су дијаграмски прикази били линеарни, а не затворени.



Као инструмент истраживања, конструисан је тест знања који је поред класичних, линеарних задатака садржао и системичке задатке. Пре него што су приступили решавању теста, ученицима су пружене одговарајуће инструкције о начину решавања системичких задатака, као и информације о основним карактеристикама таквих задатака. У закључним разматрањима, Vachliotis и сарадници (2011) наводе да системички задаци поседују прихватљиве психометријске карактеристике и представљају одговарајуће алате евалуације ученичког смисленог разумевања у оквиру средњошколске органске хемије. Међутим, током конструисања ових алата неопходно је обратити пажњу на поједине карактеристике задатака, као што је њихова комплексност и природа релација међу концептима.

Настављајући своје истраживање, Vachliotis и сарадници (2014) испитују ефикасност ових задатака у процени системског мишљења. Инструмент истраживања је садржао тест А и тест Б, при чему су оба теста садржавала две врсте задатака: конвенционалне или линеарне задатке и системичке задатке. Тест А је обухватао базичне теме органске хемије (класификација органских једињења, ИУПАС-ова номенклатура алифатичних једињења, изомеризација), док је тест Б обухватио добијање и хемијско понашање алифатичних угљоводоника. Иако су по мишљењу аутора (Vachliotis и др., 2014), системички задаци из теста Б били засновани на комплекснијој симболичкој репрезентацији органских једињења, нису утврђене значајније разлике у ефикасности ове две подгрупе системичких задатака за процену ученичких вештина системског мишљења. Управо је та чињеница омогућила ауторима да сагледају даље правце свог истраживања: испитивање ефикасности системичких задатака који су засновани искључиво на лингвистичкој форми и не захтевају симболичку репрезентацију (Vachliotis и др., 2014). Поред тога, аутори истичу да је у току будућих истраживања неопходно испитати у којој мери системички задаци утичу на когнитивне системе ученика, односно потребно је испитати њихове *когнитивне захтеве* (Vachliotis и др., 2014).

### 2.3. Теорија когнитивног оптерећења

Теорија когнитивног оптерећења (ТКО) уводи се 1980-тих година (Sweller, 2011; van Merriënboer и Sweller, 2005), као психолошка теорија која разматра бихејвиоралне феномене или конструкте који настају као резултат примене (деловања) одређеног инструкционог метода (Moreno и Park, 2010). Уопштено гледајући, психолошке теорије разматрају могуће релације између одређених психолошких конструката, при чему се под психолошким конструктом подразумева процес или вештина која се развија у људском мозгу. У оквиру ТКО главни конструкти јесу когнитивно оптерећење (по ком је теорија добила назив) и сам процес учења, односно знање. При томе се ова теорија развија са циљем тумачења утицаја инструкционих метода управо на та два конструкта (Moreno и Park, 2010).

На почетку треба нагласити да ТКО разликује два типа знања: примарно и секундарно знање. Примарно знање је доступно свима, а стиче се несвесно, без израженог напора и без екстерне мотивације. Јасан пример примарног знања јесте знање матерњег језика, при чему људи стичу ту вештину једноставним

слушањем других док причају (Sweller, 2010a). За разлику од примарног знања, секундарно знање се стиче свесно и уз одређени напор. Под секундарним знањем подразумева се знање стечено у образовним институцијама (Sweller, 2010a) и као такво предмет је инструкције (Sweller, 2011). ТКО разматра секундарно знање, које је резултат учења комплексних когнитивних садржаја у којима су ученици преоптерећени бројем елемената пружених информација као и њиховим интеракцијама, када ти елементи треба да буду процесирани истовремено. Инструкциона контрола овог високог оптерећења, са циљем остваривања смисленог учења у комплексним когнитивним доменима, постала је основни проблем ТКО (Paas, Renkl и Sweller, 2004).

Поред карактеристика задатака, односно информација са којима су ученици суочени, у оквиру ТКО уважавају се и карактеристике ученика, при чему се учење одиграва ефикасно једино у условима у којима се сагледавају и уважавају карактеристике људске когнитивне архитектуре (Paas и др., 2004).

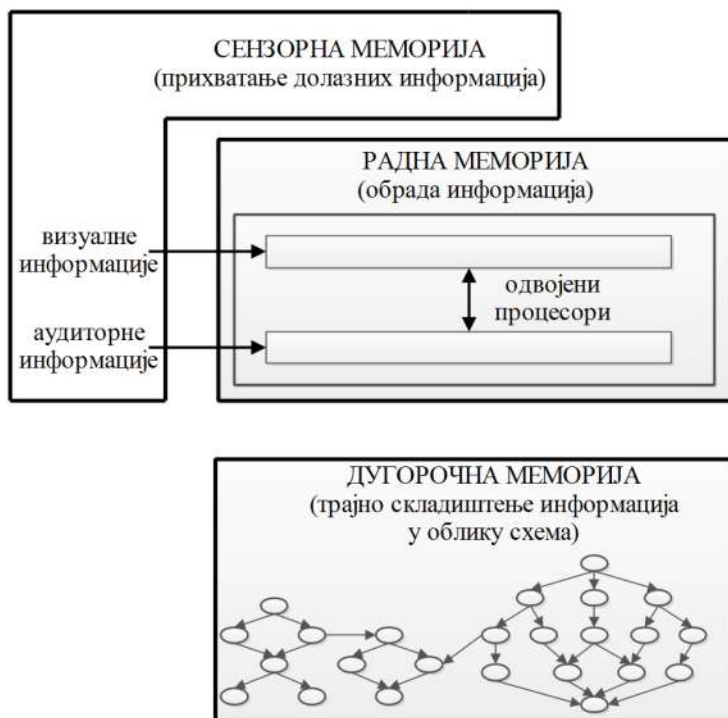
### 2.3.1. Људска когнитивна архитектура

Људска когниција се развила са циљем асимилације, процесирања и примене информација. Као природни систем процесирања информација, људска когниција није јединствена, већ карактеристике таквих система варирају у зависности од њихових функција. Иако се међусобно разликују Sweller (2008) наводи неколико кључних карактеристика људских когнитивних система:

- (1) Складиштење великог броја информација, на основу чега ови системи функционишу у различитим условима;
- (2) Трансфер информација са једног ентитета на други;
- (3) Промена структуре претходно ускладиштених информација током асимилације нових информација;
- (4) Повезивање усвојених информација са спољашњим светом.

Конструкт људске когнитивне архитектуре чине три основна типа меморије: *сензорна*, *радна* и *дугорочна* меморија (Cooper, 1998; Sweller, 2008) (слика 23). Битна одлика људске когнитивне архитектуре јесте сам начин организације поменутих компоненти, при чему свака од њих има своја властита обележја и ограничења (Sweller, Ayres и Kalyuga, 2011).

По мишљењу Sweller-а (2003), у људској когницији доминантну улогу поседује радна меморија. Иако је радна меморија ограниченог капацитета у току обраде нових елемената пружених информација, са друге стране може процесирати велики квантум комплексних, претходно усвојених информација. Та изузетно велика количина претходно усвојених информација организована у облику схема складишти се у дугорочној меморији, која је уско повезана са радном меморијом. Та два система заједно (радна и дугорочна меморија), у комбинацији са сензорном меморијом, омогућавају људима да врше разне когнитивне активности, од најједноставнијих (рутинских), до високо интелектуалних активности (Sweller, 2003).



Слика 23. Приказ људске когнитивне архитектуре (прилагођено из Cooper, 1998)

### 2.3.1.1. Сензорна меморија

Прва фаза у процесу памћења одиграва се у чулима, где се физичка енергија из спољашње средине преводи у електричну активност (Lieberman, 2012). То значи да процес памћења започиње у чулима, где се налазе рецептори помоћу којих се прихватају спољашњи надражаји или стимулуси, који се затим крећу линеарно од једног неурона до другог (поседују улогу проводника), све док не стигну до кортекса (Lieberman, 2012). При томе се сваки стимулус, или надражај, који је регистрован чулом укуса, вида, додира, мириса или слуха, прихвата сензорном меморијом (Cooper, 1998; Hudmon, 2006). Сензорна меморија поседује подсистеме за одређене врсте стимулуса: иконичку меморију за визуалне стимулусе, ехоичку меморију за аудиторне стимулусе и хаптичку меморију за стимулусе додира (Hudmon, 2006).

Иако сензорна меморија може прихватити велики број информација из спољашње средине (поседује практично неограничен капацитет), задржавање тих информација у сензорној меморији је изузетно кратко. Оно износи око пола секунде за визуалну информацију и око три секунде за аудиторну (звучну) информацију (Cooper, 1998). За то кратко време ми морамо препознати, класификовати и дати одређени смисао (значај) тој информацији (Cooper, 1998), па се управо због тога већина информација прихваћених сензорном

меморијом губи пре него што стигну до радне и дугорочне меморије (Hudmon, 2006).

Поред прихватања информација из спољашње средина, битна улога сензорне меморије јесте улога филтера. У сензорној меморији долази до селекције информација, односно она омогућава одбацивање велике количине ирелевантних стимулуса. Тиме се спречава да радна меморија буде оптерећена небитним детаљима (на пример памћењем боје сваког аутомобила који прође поред нас) и омогућава да наша пажња буде фокусирана ка одређеном, релевантном стимулусу, који се у облику регистроване информације шаље ка радној меморији (Hudmon, 2006).

### 2.3.1.2. Радна меморија

Радна меморија је позната и под називом краткорочна меморија и представља систем, односно део људске когнитивне структуре, који је спона између сензорне и дугорочне меморије (Hudmon, 2006). У овом систему одигравају се све свесне когнитивне активности (Cooper, 1998; Kirschner, 2002; Paas, Renkl и Sweller, 2003a), при чему радна меморија поседује две битне улоге (Baddeley, 1992, 2000; Cooper, 1998):

- Омогућава тренутно складиштење информација;
- Омогућава руковање тим информацијама (активно процесирање), при чему њихова даља обрада доводи до комплексних когнитивних процеса, као што су учење, мишљење (логичко и креативно), разумевање, резонување и решавање проблема.

Битна карактеристика радне меморије јесте њен ограничен капацитет, који са собом носи ризик да појединац буде когнитивно преоптерећен када решава високо комплексан проблем (Kirschner, 2002). Капацитет радне меморије први пут је процењиван на Принстон Универзитету у Америци, од стране психолога George Miller-а. Његов рад је заснован на серији тестова присећања и понављања, преко којих је испитиван број елемената пружених информација, које појединци меморишу након једног приказа (Hudmon, 2006). Овим тестовима је утврђено да тај број износи између 5 и 9 елемената (слова или бројева), при чему је Miller-ов рад познат под називом „Магични број седам, плус или минус два” (Miller, 1956). Међутим, у каснијим истраживањима је показано да када ти елементи треба да буду организовани или упоређени (а не само меморисани), само два до три таква интерреагујућа елемента могу да буду обрађена у датом тренутку (Kirschner, 2002; Sweller, van Merriënboer и Paas, 1998).

У одређеним условима, капацитет радне меморије се може повећати, односно проширити (Cooper, 1998; Sweller и др., 1998). Тако на пример, Cooper (1998) сматра да се капацитет радне меморије може значајно проширити када се сет информација приказује помоћу различитих чула. Ученик ће лакше запамтити сет информација када су неке од њих представљене визуално, а неке аудиторно, него када су све представљене само помоћу једног чула. Као други начин повећања капацитета радне меморије, Cooper (1998) наводи парчање пружене информације на неколико мањих група елемената, при чему свака

група представља део информације. Као пример може се навести памћење телефонског броја који поседује десет цифара 0 6 4 2 4 8 5 1 3 6. Меморисање 10 елемената пружене информације оптерећује радну меморију, међутим појединач може да растерети радну меморију ако телефонски број памти у облику неколико мањих група цифара, на пример као 064-248-5136. Овим поступком радна меморија је оптерећена са 3, а не са 10 елемената.

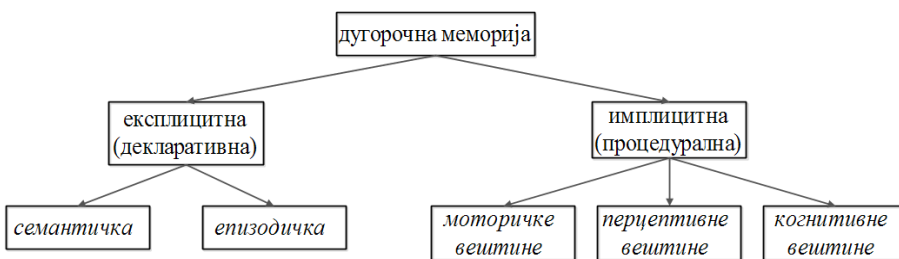
Надаље треба напоменути да је радна меморија попут сензорне, ограничена и временом задржавања информација, које траје око 20 секунди. При томе се аудиторне и визуалне информације задржавају у различитим деловима система радне меморије. Један од најприхваћенијих модела радне меморије јесте *Baddeley-ев* (2000) вишеккомпонентни модел кога чине централни извршни систем, два њему потчињена система (фонолошка петља и визуално-спацијална матрица) и епизодичко складиште (бафер). Централни извршни систем је задужен за контролу и регулацију целокупног система радне меморије, односно омогућава повлачење информација из складишта, обраду информација и по потреби њихову модификацију. Фонолошка петља, као прва потчињена компонента извршног система, омогућава привремено чување вербалних и звучних информација. Са друге стране, матрица представља привремено складиште за визуално-спацијалне информације, које се фракционишу у одвојене визуалне, спацијалне и кинестетичке компоненте. Епизодички бафер као четврта компонента система радне меморије, има улогу интеграције информација доступних из различитих извора. Те информације су интегрисане у одређеном простору и потенцијално су проширене током времена, при чему епизодички бафер повезује потчињене системе радне меморије (фонолошку петљу и визуално-спацијалну матрицу) са дугорочном меморијом (*Baddeley*, 2000).

### *2.3.1.3. Дугорочна меморија*

За разлику од сензорне и радне меморије, дугорочна меморија поседује могућност задржавања информација током дугог временског периода (*Hudmon*, 2006). Поред тога, дугорочна меморија попут сензорне, има практично неограничен капацитет. На основу тога, *Соорег* (1998) дефинише дугорочну меморију као огромну базу знања и вештина које су трајно задржане у нашој свести (абетада, правила за играње шаха, пливање, вештине писања и читања, и друго).

Сва та знања и вештине су ускладиштене у дугорочној меморији и „чекају“ на одређене активности које се могу спровести над њима. На пример, када причамо, физички и социјални аспекти наше активности засновани су на масовном знању које је задржано у дугорочној меморији (*Sweller* и др., 2011). То значи да до таквих активности долази након што радна меморија потражује одређена знања из дугорочне меморије (*Соорег*, 1998). При томе, наша способност да без напора обављамо већину тих активности јесте индикатор великог квантума знања ускладиштеног у дугорочној меморији (*Sweller* и др., 2011). Према *Hudmon-у* (2006), дугорочна меморија складишти два типа знања: декларативно и процедурално знање, па се тиме дугорочна меморија дели на два подсистема – на експлицитну меморију која складишти декларативно знање и имплицитну меморију која складишти процедурално знање (слика 24).

Надаље, експлицитна (декларативна) меморија разликује семантичку и епизодичку меморију, при чему је битна разлика међу њима зависност од времена. Знање ускладиштено у семантичкој меморији је независно од времена и региструје наша знања као структурни запис концепата. Односно, семантичка меморија обухвата организовано знање о концептима: њихов опис, значење, релације. Са друге стране, епизодичка меморија захтева запамћивање где и када је дошло до аквизиције информација (везана је и за временске и за просторне координате), да би рефлектовала специфична лица, места, мирисе, звуке (присећање догађаја из прошлости; бележење личних искустава). Истичући основну разлику између експлицитне (декларативне) и имплицитне (процедуралне) меморије, Hudmon (2006) наводи да се знање из процедуралне меморије не повлачи свесно, и као такво није подложно заборављању. Она обухвата вештине које су савладане уз покушаје и погрешке, као што су вожња бицикла (моторичке вештине), читање (перцептивне вештине), решавање проблема (когнитивне вештине) (слика 24).



Слика 24. Структура дугорочне меморије

Процедурална знања су често високо аутоматизована и нису потребни комплексни когнитивни процеси да би се таква знања повукла из дугорочне меморије (Cooper, 1998). Као пример такве активности може се навести вожња бицикла. Са друге стране, постоје активности чије спровођење јесте пуно захтевније и комплексније од претходно поменутих. То су на пример комплексне математичке операције. Иако наша успешност у обављању обе активности зависи од квантума знања задржаног у дугорочној меморији, различита је категорија знања потребног за њихово обављање. Вожња бицикла захтева билошки примарно знање које се лако стиче (људски развој је праћен аквизицијом таквог знања), док комплексне математичке операције захтевају секундарно знање које се пуно теже стиче (Sweller и др., 2011).

Иако је већина знања задржаног у дугорочној меморији категоризована као примарно знање, база секундарног знања јесте такође неизмерно велика (Sweller и др., 2011). De Groot-ов (1978) рад посвећен игрању шаха постао је доказ великог квантума секундарног знања ускладиштеног у дугорочној меморији. Тај рад је по први пут истакао чињеницу да се многи когнитивни процеси вишег реда „повлаче” из дугорочне меморије (Sweller и др., 2011). Посматрајући игру шаха између експерата (шаховски мајстори или велемајстори) и почетника, De Groot (1978) је установио да експерти константно побеђују почетнике. Ту се поставило питање која знања и вештине

поседују експерти, и које активности спроводе, да би имали такву доминантност над почетницима? Постављене су многе хипотезе које су требале да дају одговор на постављено питање. Једна од њих јесте та да експерти поседују боље вештине решавања проблема (когнитивне вештине) у току тражења најбољег потеза фигуре (Sweller и др., 2011). То значи да експерти разматрају дужу серију осмишљених, секвенционалних потеза и тиме су способни да одаберу боље потезе од почетника. Односно, у току осмишљавања следећег потеза, експерти увек имају већи број алтернативних решења. Ниво експертизе се стиче када је особа способна да препозна на хиљаде конфигурација на шаховској табли, као и да изведе потезе који су се претходно показали успешним. Такве вештине се развијају и стичу кроз године континуалног вежбања. На пример, за играње шаха, висок ниво експертизе се стиче у периоду од 10 година (Sweller и др., 2011).

Из наведеног закључујемо да улога дугорочне меморије није само једноставно присећање чињеница, објеката и догађаја из наше прошлости (искуства). Дугорочна меморија, као централни део људске когниције, омогућава спровођење когнитивних процеса вишег реда, као што су мишљење и решавање проблема. У наведеним когнитивним процесима, експерти су у потпуности зависни од садржаја дугорочне меморије, односно они су високо компетентни за одређену област због информација задржаних у дугорочној меморији. Према Sweller-у и сарадницима (2011), да би се сагледао значај информација задржаних у дугорочној меморији, неопходно је сагледати форму у којој су те информације ускладиштене. Управо је због тога представљена теорија когнитивних схема.

#### *2.3.1.4. Теорија когнитивних схема*

Једна од најпознатијих теорија когнитивних схема јесте Bartlett-ова теорија (1995), која се развила из експеримента који је јасно указао на природу и функцију схема. За експеримент, Bartlett је припремио пасус о култури једног страног народа, и захтевао од једне особе да прочита тај пасус и испише све што је запамтила о прочитаном. Тај запис је затим прослеђен другој особи, која је запамћено пренела на нови лист и проследила трећој особи. Процес се понављао све до десете особе. Након експеримента, Bartlett је анализирао промене које се појављују од прве до десете особе и дошао је до два запажања. Описи необичних догађаја (догађаја који су страни особама) праћени су тенденцијом нестајања (заборављања). Са друге стране, истакнути су они догађаји који су особама познати од раније, односно поседују велике сличности са њиховом културом. На основу тога Bartlett закључује да оно што је запамћено јесте схематска репрезентација догађаја (цитирано у Sweller и др., 2011).

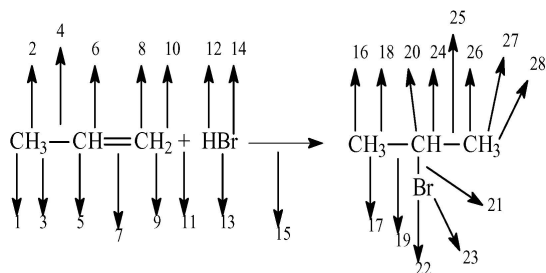
На основу резултата свог истраживања, Bartlett (1995) дефинише схеме као организоване моделе (целине) који модификују импресију продуковану долазним сензорним импулсом на такав начин да крајњи доживљај прелази у свест повезан са сличним доживљајима. При томе сви долазни импулси одређене врсте заједно граде организовану целину, која је на релативно ниском когнитивном нивоу. Међутим, уколико се више таквих целина повеже преко заједничког интереса (наука, филозофија, спорт, историја), гради се

организована целина (схема) вишег реда. На основу тога, Bartlett (1995) истиче да се схеме односе на активну организацију искуства, при чему је у било којој ситуацији понашања одређени одговор (реаговање) могућ једино зато што је повезан са неким другим, сличним одговорима који су серијски организовани. Схеме не реагују као појединачни ентитети (изоловани делови), ређајући се једна за другом, већ делују као јединство.

Когнитивне схеме се задржавају у дугорочној меморији и разликују се међусобно по комплексности и степену аутоматизације (van Merriënboer и Sweller, 2005). Искуство и ниво експертизе за одређену област, људи стичу комбиновањем, односно уградњом једноставнијих схема (схеме нижег реда) у комплексније (схеме вишег реда). Такве схеме организују и складиште велики квантум знања, али такође редукују преоптерећење радне меморије (ослобађају простор у радној меморији), зато што се и високо комплексне схеме могу посматрати као један елемент (van Merriënboer и Sweller, 2005). Тако на пример, велики број људи поседује схему за решавање математичког проблема  $a/b=c$ , решавајући проблем множењем обе стране једначине са величином  $b$  (именилац). Свако ко поседује изграђену ову схему, третираће овај и све сличне проблеме као један елемент, без обзира на разлике у примерима. То значи да се на одређеном нивоу експертизе, сви индивидуални елементи (бројеви и математички симболи) који изграђују овај и сличне проблеме, третирају као један елемент у радној меморији. При томе изграђена схема представља „темплат” који нам омогућава да решимо проблем без великог напора (Sweller и др., 2011).

Са друге стране, када рукујемо новим информацијама за које не поседујемо изграђене схеме, јавља се проблем претходно поменутог ограниченог капацитета радне меморије. То значи да уколико на основу претходно усвојеног знања не можемо организовати нове елементе пружене информације, они се насумично размештају, па тиме расте број индивидуалних елемената које треба обрадити, као и број могућих комбинација тих елемената (van Merriënboer и Sweller, 2005). Проблем линеарног пораста броја елемената у радној меморији се може избећи уколико се ти елементи могу надоградити на схеме које су организоване и ускладиштене у дугорочној меморији.

Као пример из домена органске хемије, може се навести реакција адиција бромоводоника на пропен (слика 25). Уколико ученици не поседују изграђене схеме, морају да обраде 28 индивидуална елемента у радној меморији:



Слика 25. Адиција бромоводоника на пропен



Тај процес карактерише механичка меморизација ентитета, а према Miller-у (1956) меморизација 28 индивидуалних елемената превазилази капацитет радне меморије и доводи до њеног преоптерећења. Међутим, уколико ученик поседује изграђене одговарајуће схеме, он посматра пропен као први елемент, бромоводоник као други и 2-бромпропан као трећи елемент. За конструкцију тих схема, ученик мора знати правила за писање рационалних структурних формула угљоводоника, мора поседовати претходно усвојено знање о халогеним елементима и њиховим једињењима са водоником, као и Марковниковљево правило да би приказао производ адисије. Односно, да би конструисао такве схеме, ученик мора поседовати одговарајуће когнитивне способности и претходно знање.

#### 2.3.1.4.1. Аутоматизација схема

Попут конструкције схема и њихова аутоматизација такође ослобађа простор (капацитет) радне меморије, који постаје доступан за друге активности. Ипак, разлика је у томе да се нове, конструисане схеме морају процесирати свесно, понекад уз значајну количину напора (Sweller и др., 2011). Са друге стране, аутоматизована схема директно утиче на понашање појединца и примењује се без свесног процесирања, односно не захтева претходну обраду у радној меморији (van Merriënboer и Sweller, 2005).

Аутоматизација схема је резултат континуалног вежбања и понављања, при чему се аутоматизована схема развија за оне активности које су сталне (непроменљиве) у разматраној ситуацији (на пример, руковање машинама, примена рачунарских софтвера, одигравање стандардних позиција у шаху) (van Merriënboer и Sweller, 2005). При томе се познате активности одигравају без напора, а непознате активности могу бити савладане уз велику ефикасност зато што је простор радне меморије слободан за њихову обраду. Без аутоматизације, савладавање нових активности и решавање нових проблема може бити онемогућено (уколико радна меморија не поседује довољно простора за њихову обраду), или успорено (Sweller и др., 1998).

Из перспективе инструкционог дизајна, уз конструкцију схема, неопходно је обезбедити и њихову аутоматизацију (Paas и др., 2004). Инструкциони дизајн који занемарује ограничен капацитет радне меморије, као и процес конструкције и аутоматизације схема, не може се сматрати ефикасним (Sweller и др., 1998).

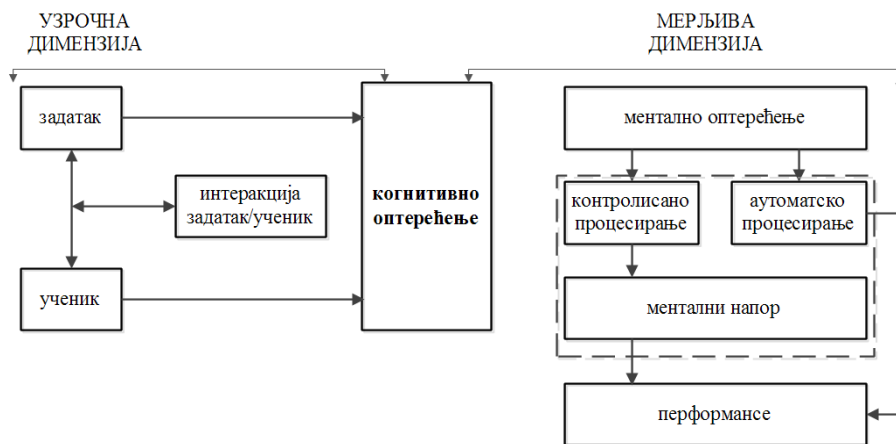
#### 2.3.2. Конструкт когнитивног оптерећења

Когнитивно оптерећење се описује као мултидимензионални конструкт и представља оптерећење које је наметнуто когнитивном систему појединца током учења новог наставног садржаја или током решавања одређеног проблема, односно задатка (Paas и van Merriënboer, 1994a; Sweller и др., 1998). Теоријски гледано, овај конструкт поседује две димензије: узрочну и мерљиву (слика 26). Узрочној димензији припадају они фактори који утичу на когнитивно оптерећење (карактеристике задатка, когнитивне карактеристике ученика, као и интеракција задатак/ученик), док мерљиву димензију чине три

концепта: ментално оптерећење, ментални напор и перформансе (Paas и van Merriënboer, 1994a).

Ментално оптерећење, као први мерљиви концепт когнитивног оптерећења, односи се на захтеве који потичу од саме структуре задатка (Paas и van Merriënboer, 1994a; Sweller и др., 1998). Према Sweller-у и сарадницима (1998) ти захтеви се могу односити или на интристичке аспекте задатка (на пример, укључивање нових елемената, интерактивност елемената, редослед пружених информација), или на екстерне аспекте који се односе на инструкциони дизајн. Са друге стране, ментални напор се односи на величину капацитета радне меморија која је посвећена прилагођавању захтевима задатка, и као такав, ментални напор зависи од карактеристика задатка, особина ученика (когнитивне способности, когнитивни стилови, претходно знање) и од карактеристика инструкционог метода (Paas и van Merriënboer, 1993, 1994a). Тако, мерењем менталног напора можемо открити битне информације о стварном когнитивном оптерећењу појединца (Sweller и др., 1998). Поред менталног оптерећења и менталног напора, у оквиру ТКО истраживачи мере перформансе, које представљају успешност појединца током решавања одређеног задатка, односно постигнуће мерено бројем тачних одговора, бројем погрешака, или временом које је потребно за решавање одређеног задатка.

Након што је испитан сам конструкт когнитивног оптерећења и дефинисане његове узрочне и мерљиве димензије, уследила је његова подела на екстерно, интристичко и ефективно когнитивно оптерећење.



Слика 26. Схематски приказ конструкта когнитивног оптерећења (прилагођено из Paas и van Merriënboer, 1994a)

### 2.3.2.1. Интристичко когнитивно оптерећење

Према теорији когнитивног оптерећења, интристичко когнитивно оптерећење је наметнуто ученику кроз саму структуру, односно природу информација које треба да усвоји са циљем остваривања очекиваних исхода наставног процеса (Sweller и др., 2011). То значи да ова врста когнитивног оптерећења зависи од комплексности материјала за учење који треба усвојити

(de Jong, 2010), а не зависи од начина на који је тај материјал презентован ученицима, нити од активности које ученици спроводе да би учење било ефикасно (Sweller, 2010б).

Многи истраживачи из поља ТКО наводе да је ниво интристичког когнитивног оптерећења детерминисан бројем елемената који морају бити симултано процесирани у радној меморији, као и нивоом интерактивности тих елемената (de Jong, 2010; Paas, Tuovinen, Tabbers и Van Gerven, 2003б; Sweller, 1994, 2010б; van Merriënboer и Sweller, 2005). Познато је да се материјали за учење међусобно јако разликују управо по тим карактеристикама. При томе се наставни материјали са малим бројем елемената и са њиховом ниском интерактивношћу сматрају лаким за учење, док се тешким за учење сматрају они материјали који садрже велики број елемената који међусобно високо интеркорелирају (de Jong, 2010).

То је разумљиво, пошто материјали са ниском интерактивношћу елемената садрже једноставне елементе који могу да буду научени понаособ, са минималним освртањем на остале елементе (изоловано од других) и тиме проузрокују ниско оптерећење радне меморије (de Jong, 2010; Kalyuga, Ayres, Chandler и Sweller, 2003; Sweller, 2010б). На пример, према Sweller-у (2010б) учење хемисјких симбола карактерише ниска интерактивност елемената. Симбол било ког хемијског елемента (на пример бакра) може бити научен без успостављања корелација са симболима других хемијских елемената (на пример гвожђа).

Међутим, неки материјали за учење намећу високо интристичко когнитивно оптерећење, зато што елементи који треба да буду усвојени интерреагују и не могу бити процесирани изоловано уколико је циљ учење са разумевањем (Kalyuga и др., 2003; Sweller, 2010б). При томе, уколико више елемената интерреагују, веће је оптерећење радне меморије. Да би разумели такве структурно комплексне инструкционе материјале, ученици морају да процесирају многе елементе у радној меморији, где је разумевање дефинисано као способност ученика да процесира све релевантне интерреагујуће елементе (Kalyuga и др., 2003). Материјали са високим нивоом интерактивности елемената су тешки за разумевање, а једини начин поспешивања разумевања јесте путем конструкције и аутоматизације когнитивних схема (van Merriënboer и Sweller, 2005).

Поред основне карактеристике интристичког когнитивног оптерећења која се огледа у његовој зависности од броја доменских елемената и њихове интерактивности, de Jong (2010) као другу карактеристику ове врсте когнитивног оптерећења наводи чињеницу да оно не може бити промењено у оквиру примене различитих инструкција. Ayres (2006) и Sweller (1994) такође истичу да је интристичко когнитивно оптерећење константно и стриктно одређено природом материјала за учење, и као такво не може бити под утицајем екстерних фактора.

### 2.3.2.2. Екстерно когнитивно оптерећење

Оптерећење радне меморије није наметнуто искључиво путем интристичке комплексности материјала за учење. Поред интристичког когнитивног оптерећења, издваја се и друга врста оптерећења која се јавља као резултат неповољног инструкционог метода, односно као резултат начина на који је наставни садржај презентован ученику (Sweller, 2010б; Sweller и др., 2011). Пошто је у таквом случају оптерећење непотребно и удаљено од самих циљева наставе, и као такво може бити уклоњено редизајнирањем наставног материјала, ова врста когнитивног оптерећења је добила назив екстерно или спољашње когнитивно оптерећење (Moreno и Park, 2010).

Раас и сарадници (2003а) истичу да многе инструкционе методе намећу високо екстерно когнитивно оптерећење управо зато што су развијене без уважавања карактеристика људске когнитивне архитектуре. Такве инструкционе методе захтевају од ученика да спроводе активности које нису релевантне за конструкцију и аутоматизацију схема. Управо су због тога, још током почетне фазе развоја ТКО, истраживачи почели да испитују ефекте помоћу којих је могуће манипулисати екстерним когнитивним оптерећењем (Moreno и Park, 2010). Sweller и сарадници (1998) издвајају следеће ефекте:

- ефекат ослобађања од циља,
- ефекат рада кроз примере,
- ефекат рада са задацима комплетирања,
- ефекат варијабилности.
- ефекат дељења пажње,
- ефекат модалитета, и
- ефекат сувишности

*Ефекат ослобађања од циља.* У оквиру ТКО ефекат ослобађања од циља уведен је када су сагледани недостаци примене такозваних „means-ends” анализа (стратегија) решавања проблема. Примећено је да када ученици решавају проблеме за које немају развијене схеме, обично примењују „means-ends” стратегије, које захтевају од ученика разматрање почетног стања, крајњег стања проблема, као и разлика између та два стања (Sweller и др., 1998). Овакав пут решавања проблема је непожељан, пошто сваки од тих корака укључује неколико елемената. При томе се захтева обрада великог броја елемената и намеће се високо оптерећење радне меморије и онемогућава се конструкција схема (de Jong, 2010; Sweller, 2010б). Са друге стране, ефекат ослобађања од циља омогућава ученику да сагледа само тренутно стање приказаног проблема и да се при томе фокусира на проналажење његовог решења (Sweller, 2010б). Односно, од ученика се не захтева да сагледају разлику између почетног и крајњег стања проблема (крајње стање није назначено) и тиме ученици претражују алтернативне стратегије решавања, усмеравајући пажњу ка оним аспектима проблема који су есенцијални за аквизицију схема. У таквим условима ослобађа се велика количина капацитета радне меморије (Sweller, 1994; Sweller и др., 1998).

*Ефекат рада кроз примере.* Претходно поменути ефекат ослобађања од циља није једини начин редуковања екстерног когнитивног оптерећења, који усмерава пажњу ка оним аспектима проблема који треба да омогуће стицање и аутоматизацију схема. Ту се такође истиче и ефекат рада кроз примере који омогућава ученицима да пронађу и примене генерализована решења (Sweller и др., 1998). При томе, овај ефекат настаје када ученици стичу већи квантум знања путем учења кроз примере, него путем решавања конвенционалних проблема. Рад кроз примере елиминише трагање за могућим стањима и корацима приказаног проблема, па се тиме редукује екстерно когнитивно оптерећење. Односно, капацитет радне меморије се не троши за разматрање великог броја могућих корака, него за мањи број тачно дефинисаних корака (Sweller, 20106).

*Ефекат рада са задацима комплетирања.* Овај ефекат је уско повезан са ефектом рада кроз примере. Разлика је у томе да се уместо потпуно решених примера, приказују парцијално решени примери, а од ученика се очекује да их комплетирају. Односно, задаци комплетирања представљају проблеме за које су дата почетна и крајња стања, док су међукораци решавања делимично приказани, а ученици дефинишу кораке који недостају (Sweller и др., 1998). За разлику од конвенционалних проблема, задаци комплетирања су мање когнитивно захтевни, редукују екстерно когнитивно оптерећење и омогућавају процес конструкције когнитивних схема. Такође је установљено да ови задаци позитивно утичу на мотивацију ученика и фокусирају њихову пажњу на релевантним корацима решавања проблема. Задаци комплетирања су се показали ефикасним у доменима попут софтверског дизајна, планирања процеса производње, програмирања и архитектуре (Sweller и др., 1998).

*Ефекат варијабилности.* Овај ефекат је установљен у току испитивања процеса учења применом серије разрађених примера који су међусобно структурно слични и оних примера који се међусобно у одређеној мери разликују. Резултати истраживања су истакли чињеницу да ученици остварују већа постигнућа у другом случају, међутим са повећањем варијабилности дошло је и до пораста когнитивног оптерећења ученика. То је и разумљиво, пошто у условима ниске варијабилности ученици искључиво уче како да реше одређени проблем, док у условима високе варијабилности, ученици морају да препознају категорије проблема за које се примењује сличан поступак решавања (Sweller, 20106).

*Ефекат дељења пажње.* Овај ефекат често прати инструкциони дизајн и појављује се у ситуацијама када ученичка пажња мора да буде дељена између вишеструких извора информација, које морају да буду интегрисане са циљем разумевања градива. Та интеграција намеће одређено оптерећење радне меморије, које је непотребно високо када су два извора информације просторно или временски раздвојена (Schnotz и Kürschner, 2007). То значи да се ефекат дељења пажње односи на одвојени приказ доменских елемената који иначе захтевају симултану обраду. У том случају, ученици морају да задрже један доменски елемент у радној меморији, док трагају за другим елементом (de Jong, 2010). Као пример може се навести решавање проблема који је приказан путем текстуалног исказа и путем дијаграма. Са циљем разумевања информација из два извора, ученици их морају ментално интегрисати. При томе морају да

прочитају исказ, да га задрже у радној меморији и да га повежу са дијаграмским приказом. Овај процес јесте когнитивно захтеван и намеће високо екстерно когнитивно оптерећење (Sweller и др., 1998).

*Ефекат модалитета.* Овај ефекат потиче од ефекта дељења пажње, односно дешава се у условима дељења пажње, када се уместо текстуалних извори информације, који интерреагују са другим изворима визуално приказаних информација (на пример дијаграмски прикази), примењују аудиторни извори (Sweller и др., 1998). Визуално приказан дијаграм и аудиторно представљен исказ могу редуковати екстерно когнитивно оптерећење радне меморије, при чему се побољшава процес учења. Овај ефекат се објашњава базичним карактеристикама људског когнитивног система, пошто је познато да се капацитет радне меморије може проширити применом оба процесора: аудиторног и визуалног (Sweller, 2010б).

*Ефекат сувишности.* Ефекат сувишности се повезује са ситуацијама када се ученицима презентују непотребне, додатне информације или се укључује непотребни извори информације. Односно, овај ефекат се заснива на вишеструкој обради исте информације која је ученицима приказана више пута. Kirschner (2002) наводи ситуацију када наставник примењује Power point презентацију, при чему ученицима чита наглас све информације приказане на слајду. Са друге стране, Sweller (2010б) наводи ситуацију када се ученицима уз дијаграм приказује текст који само описује садржај дијаграмског приказа. У таквим ситуацији ученици више пута обрађују исту информацију у радној меморији и долази до непотребног повећања екстерног когнитивног оптерећења. Учење се може олакшати елиминацијом непотребних вербално или текстуално презентованих информација. У супротном, текстуални и вербално или дијаграмски презентовани елементи интерреагују, пошто ученици траже сличности међу њима. Управо то поређење захтева повезивање вишеструких, интерреагујућих елемената и намеће високо оптерећење радне меморије.

### *2.3.2.3. Ефективно когнитивно оптерећење*

Ефективно когнитивно оптерећење, као трећа врста когнитивног оптерећења, уводи се у литературу 1998. године од стране Sweller-а и сарадника. Потребу за увођењем ефективног когнитивног оптерећења, ови аутори сагледавају у ситуацији која је праћена неискоришћеним капацитетом радне меморије услед ниског интристичког когнитивног оптерећења (ниска интристичка комплексност материјала за учење) и ниског екстерног оптерећења (резултат ефикасне инструкционе процедуре). Овај капацитет радне меморије може бити искоришћен навођењем ученика да спроводе свесна когнитивна процесирања која резултују конструкцијом когнитивних схема (Sweller и др., 1998). На основу тога, ефективно когнитивно оптерећење се дефинише као оптерећење које је наметнуто когнитивном систему ученика у ситуацијама које поспешују процес учења, односно у ситуацијама које доводе до конструкције и/или аутоматизације схема (Wouters, Paas и van Merriënboer, 2008).

За разлику од интристичког, а попут екстерног когнитивног оптерећења, ефективно когнитивно оптерећење не зависи од интристичке природе материјала за учење, већ од инструкционог дизајна. Начин на које су информације презентоване ученику и активности које ученик спроводи у процесу учења, јесу фактори који утичу на ефективно когнитивно оптерећење. Међутим, док екстерно когнитивно оптерећење омета процес учења и рефлектује напор који је резултат неповољно дизајниране инструкције, ефективно когнитивно оптерећење поспешује процес учења пошто се капацитет радне меморије троши на конструкцију и аутоматизацију когнитивних схема (Paas и др., 2003а). Тиме, ефикасно дизајнирана инструкција снижава екстерно, а повећава ефективно когнитивно оптерећење (Sweller и др., 1998).

#### *2.3.2.4. Адитивност интристичког, екстерног и ефективног когнитивног оптерећења*

Интристичко, екстерно и ефективно когнитивно оптерећење не посматрају се изоловано, већ као адитивне компоненте. При томе збирно оптерећење тих компоненти не сме да превазиђе расположиви капацитет радне меморије. Када је збир три типа когнитивног оптерећења у оквиру капацитета радне меморије, учење се одвија ефикасно и тиме није потребно вршити измене у материјалу за учење, или у примењеним инструкционим методама. Међутим, висок ниво оптерећења једне компоненте утиче на нивое оптерећења остале две компоненте (Paas и др., 2003а; Wouters и др., 2008).

На пример, ниво ефективног когнитивног оптерећења условљен је нивоом интристичког и екстерног когнитивног оптерећења. Уколико је услед комплексности материјала за учење интристичко когнитивно оптерећење високо, неопходно је снижити екстерно когнитивно оптерећење. У супротном, висок ниво та два оптерећења правизилази расположиви капацитет радне меморије, при чему се спречава процес учења, односно појава ефективног когнитивног оптерећења (Wouters и др., 2008). Међутим, редукција екстерног когнитивног оптерећења ослобађа капацитет за ефективно когнитивно оптерећење које постаје високо, зато што ученик троши већину капацитета радне меморије да би усвојио есенцијални наставни материјал, уз конструкцију когнитивних схема (Sweller, 2010б). Са друге стране, уколико екстерно когнитивно оптерећење расте, редукује се ефективно когнитивно оптерећење и ономогућава се процес учења зато што ученик троши већину капацитета радне меморије да би се суочио са екстерним елементима који су наметнути путем неефикасног инструкционог дизајна (Sweller, 2010б). Управо је због тога неопходно одржавати когнитивно оптерећење на оптималном нивоу, уз примену одговарајућих техника мерења когнитивног оптерећења.

### 2.3.3. Мерење когнитивног оптерећења

Питање како мерити стварно когнитивно оптерећење ствара потешкоће многим истраживачима из поља ТКО (Раас и др., 2003б), при чему истраживачи врше поделу техника мерења на основу неколико критеријума. На основу опште поделе, разликујемо аналитичке и емпиријске методе, док свака од њих обухвата неколико различитих техника. Аналитичке методе су засноване на мерењу когнитивног оптерећења помоћу математичких модела (Раас и др., 2003б). Међутим, већи број истраживача се опредељује за примену емпиријских метода (Раас и др., 2003б), које се могу надаље поделити на основу две димензије: на основу објективности и на основу каузалних односа (Brünken, Plass и Leutner, 2003). На основу прве димензије разликујемо објективне и субјективне технике, при чему примењена техника разматра или физиолошке процесе (објектна процена), или самоперципирано когнитивно оптерећење (субјективна процена). Друга димензија класификује технике на директне и индиректне, разматрајући тип релација међу посматраним феноменима.

*Објективне технике.* На самом почетку развоја ТКО сматрало се да је најсигурнији објективни показатељ нивоа когнитивног оптерећења сам исход процеса учења. ТКО предвиђа разлике у постигнућу на основу различите количине когнитивног оптерећења које је проузроковано у току специфичне наставне ситуације (Brünken и др., 2010). Поред показатеља исхода учења, који је у индиректној вези са когнитивним оптерећењем, истичу се и објективне технике засноване на директним физиолошким мерењима. Ту се издваја техника функционалне магнетне резонанце (fMRI), која се заснива на мерењу мождане активности. Ова техника пружа информације о самој локацији примењене активности и омогућава мерење различитих типова когнитивног оптерећења (Brünken и др., 2010). Поред ове технике, користе се и многи други физиолошки параметри као индикатори когнитивног оптерећења. Ту се издваја техника заснована на галванској реакцији коже (Brünken и др., 2010), где се прати електрични одговор коже (промена у електричном потенцијалу коже), изазван повећаном активацијом нервног система услед узбуђења (Ohme, Reukowska, Wiener и Choromanska, 2009). Поред тога, Whalen (2007) наводе објективна мерења заснована на праћењу зеница ока, мерењу откуцаја срца, праћењу брзине дисања и бележењу промена температуре спољашњег слушног канала. Међутим, поменуте технике често захтевају високо софистицирану опрему, па се примењују у специјализованим лабораторијама. Као такве, нису најпогодније за класичне наставне ситуације (Brünken и др., 2010). Уопштено гледајући, физиолошке технике мерења когнитивног оптерећења поседују озбиљне недостатке, где се посебно истиче њихова интрузивна природа (ометају праћење других варијабли, на пример процену ученичког постигнућа), пошто изазивају додатни стрес код ученика (Whalen, 2007).

*Субјективне технике.* Ове технике су засноване на претпоставци да су људи способни да преиспитају своје когнитивне процесе, односно да направе релијабилну и валидну процену количине менталног напора који доживљавају у одређеној ситуацији (Brünken и др., 2010). Gopher и Braune наводе да су људи способни за извођење таквог процеса и да при томе не поседују потешкоће да ниво уложеног менталног напора искажу помоћу бројчаних вредности (цитирано у Sweller и др., 1998). Управо због тога субјективне технике мерења



менталног напора укључују рејтинг скале, у којима се испитаници одлучују за један од понуђених исказа, односно бројева. Рејтинг скале које се користе за ову намену јесу модификоване верзије деветостепене скале коју су 1972. године применили Bratfisch, Borg и Dornic за процену тежине (комплексности) задатака (цитирано у Paas, van Merriënboer и Adam, 1994). Поред деветостепене, најчешће примењивана је седмостепена скала Ликертовог типа (Brünken и др., 2010; Kalyuga, 2009б). Многи истраживачи су се определили за ову технику мерења менталног напора након што су Paas и сарадници (1994) испитали параметријске карактеристике деветостепене Ликертове скале. Разматрајући резултате две емпиријске студије засноване на упоређивању различитих компјутерски-заснованих инструкција, ова група аутора је испитала изузетно битне карактеристике овог инструмента: релијабилност и осетљивост. Дискутујући резултате свог истраживања, Paas и сарадници (1994) наводе да се Ликертова скала показала као високо релијабилна и осетљива на релативно мале промене у когнитивном оптерећењу ученика, у току обе студије. Надаље се истиче њена неинтрузивна природа (не омета ученичке перформансе) и једноставна примена у наставним ситуацијама (Paas и др., 1994). Поред тога, Kalyuga (2009б) наводи да поменута субјективна мерења високо корелирају са објективним мерењима.

#### 2.3.4. Инструкциона ефикасност

Разумевање наставног градива, као циљ наставног процеса, зависи од два фактора: од интринстичке комплексности материјала за учење и од начина на који је тај материјал презентован ученицима. То значи да неки материјал за учење може бити интринстички високо комплексан, а да при томе један инструкциони метод води ка усвајању и разумевању тог садржаја на ефикаснији начин од другог инструкционог метода (Marcus, Cooper и Sweller, 1996). Односно, правим одабиром инструкционог метода наставници могу олакшати ученицима усвајање и разумевање наставног градива.

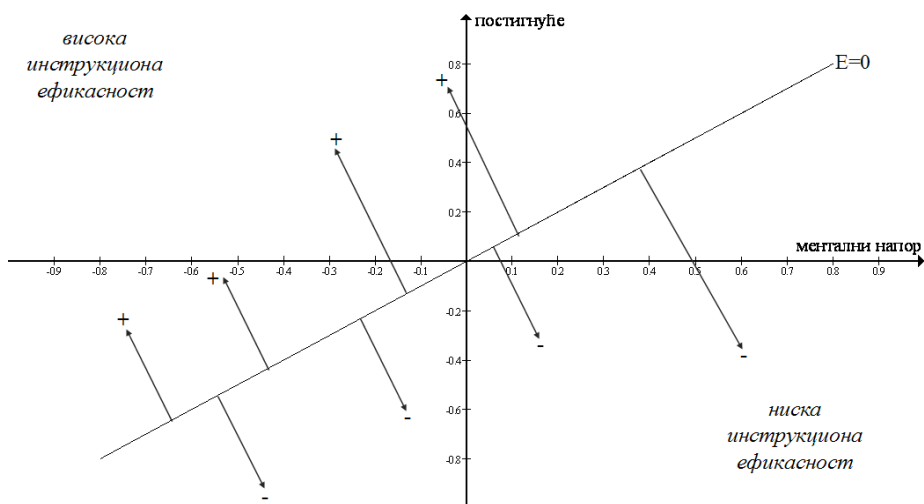
Упоређујући различите инструкционе методе, већина истраживача се ослања на једну зависну варијаблу – ученичко постигнуће (на пример у хемији: Fahmy и Lagowski, 2003; Johnstone и Otis, 2006; Yalçınalp, Geban и Özkan, 1995), при чему се ефикаснијим сматра онај инструкциони метод који омогућава веће ученичко постигнуће. Међутим, валиднију процену ефикасности разматраних инструкционих метода могуће је спровести комбинованим приступом који укључује упоредно мерење менталног напора и постигнућа ученика (Paas и др., 2003б; Tuovinen и Paas, 2004). Потребу за увођењем комбинованог приступа Brünken, Seufert и Paas (2010) тумаче следећим примером: Две групе ученика уче исто наставно градиво помоћу различитих инструкционих метода. Решавајући финални тест знања, прва група ученика улаже нижи ментални напор од друге групе, међутим друга група остварује веће постигнуће од прве групе. *Који инструкциони метод треба фаворизовати?* Да би решили овај проблем, Paas и van Merriënboer (1993) заснивају математички модел израчунавања *инструкционе ефикасности*, упоређивањем релативне ефикасности три различита облика наставе: конвенционалан приступ решавању проблема, учење кроз разрађене примере и кроз задатке комплетирања.

Оригинални метод процене инструкционе ефикасности (Paas и van Merriënboer, 1993), комбинује вредност ученичког постигнућа и менталног напора који се улаже током решавања задатака на финалном тесту знања. Да би биле упоредиве, забележене вредности менталног напора и постигнућа се стандардизују, при чему се добијају z-вредности за постигнуће (P) и z-вредности за ментални напор (R). Добијене стандардизоване вредности се затим примењују у формули за израчунавање релативне инструкционе ефикасности (E), при чему се добија бројчана вредност која може да буде позитивна или негативна (Tuovinen и Paas, 2004):

$$E = \frac{P - R}{\sqrt{2}}$$

Разматрајући комплексне релације између поменуте две варијабле, инструкциони метод се може сматрати ефикасним уколико је постигнуће ученика више од очекиваног на основу уложеног менталног напора, или уколико је ниво уложеног менталног напора нижи од очекиваног на основу забележеног постигнућа (Paas и др., 2003б; Tuovinen и Paas, 2004). По том принципу, високо постигнуће у комбинацији са ниским менталним напором резултује високом инструкционом ефикасношћу (добијена бројчана вредност за E је већа од нуле), док са друге стране, ниско постигнуће праћено високим менталним напором указује на ниску инструкциону ефикасност (добијена бројчана вредност за E је мања од нуле) (Salden, Paas, Broers и van Merriënboer, 2004).

Поред математичког израчунавања, инструкциона ефикасност се приказује и графички, применом Декартовог координатног система (слика 27). При томе се вредности постигнућа постављају на вертикалну у-осу, а вредности менталног напора на хоризонталну x-осу. Применом графичке методе, вредност инструкционе ефикасности за разматрану групу података посматра се као тачка која се налази на нормалном растојању од линије нулте ефикасности, за коју је  $E=0$ , односно  $P=R$  (Tuovinen и Paas, 2004). У условима високе ефикасности, тачка E је смештена изнад линије нулте ефикасности, и праћена је високим постигнућем и ниским менталним напором. Са друге стране, у условима ниске ефикасности тачка E је смештена испод линије нулте ефикасности, а праћена је ниским вредностима постигнућа и високим вредностима менталног напора (слика 27).



**Слика 27.** Графички приказ инструкционе ефикасности; + висока инструкциона ефикасност, - ниска инструкциона ефикасност (прилагођено из Salden и др., 2004)

Многи истраживачи су препознали значај Paas-овог и van Merriënboer-овог (1993) модела израчунавања инструкционе ефикасности и применили га у својим истраживањима (на пример: Milenković, Segedinac и Hrin, 2014; Tuovinen и Sweller, 1999; Van Gerven, Paas, van Merriënboer и Schmidt, 2002; van Merriënboer, Schuurman, de Croock и Paas, 2002). Управо због широке употребе овог модела, у каснијим истраживањима долази до модификације оригиналне верзије, па се поред димензионалног модела, уводе модели са три или четири зависне варијабле. Као додатне зависне варијабле истраживачи уводе ментални напор ученика у току саме инструкције (Tuovinen и Paas, 2004), време потребно за обучавање (Salden и др., 2004), време потребно за израду задатка (Nadolski, Kirschner и van Merriënboer, 2005), као и ученичку мотивацију (Nadolski и др., 2005).



### 3. МЕТОДОЛОГИЈА ИСТРАЖИВАЊА

#### 3.1. Проблем и предмет истраживања

Литературни подаци указују на то да су многи концепти из домена органске хемије окарактерисани од стране ученика средњошколског узраста као тешки и апстрактни за учење и разумевање (Grove и Bretz, 2012; Johnstone, 2006). Поред преобимности материјала за учење (Ellis, 1994; Katz, 1996; Pursell, 2009), који је резултат великог броја познатих органских једињења (преко 60 милиона), као значајне изворе ученичких тешкоћа свакако треба истаћи неразвијене способности просторног и аналитичког мишљења, као и мишљења о апстрактним концептима (Ellis, 1994; Katz, 1996; Mahajan и Singh, 2005). Такође, многи ученици не сагледавају постојеће, битне релације међу концептима из разматраног домена, при чему прибегавају њиховом механичком запамћивању (Johnstone, 2006; Katz, 1996; Pungente и Badger, 2003; Pursell, 2009).

Да би се превазишле поменуте тешкоће у учењу и настави органске хемије, истраживачи прибегавају примени нових инструкционих метода (Fahmy и Lagowski, 2002; Hrin и др., 2015; Katz, 1996; Pursell, 2009; Таагерера и Noori, 2000; Tien и др., 2002), као и дизајнирању нових алата за евалуацију ученичког знања (Hrin и др., 2015; Lopez и др., 2011; Vachliotis и др., 2011, 2014), стављајући акценат на ученичко смислено учење и разумевање.

Предлажући нове инструкционе методе, истраживачи истичу потребу сагледавања разлика по полу (Morgil, Yavuz, Oskay и Arda, 2005), да би се развиле и примениле инструкционе методе које обезбеђују подједнаке услове напредовања како за испитанике мушког пола, тако и за испитанике женског пола. Ослањајући се на радове Paas-а и van Merriënboer-а (1993, 1994а, 1994б), поменуто напредовање могуће је проценити комбинованим поступком, помоћу кога се упоређује релативна ефикасност различитих инструкционих услова, разматрајући постигнуће и уложени ментални напор ученика.

На основу разматраног проблема, дефинисан је предмет ове докторске дисертације, чије је истраживање фокусирано на развој и имплементацију инструкционог метода заснованог на примени системичких задатака (СЗ), са циљем превазилажења тешкоћа у току савладавања концепата из домена органске хемије, код испитаника мушког и женског пола. При томе треба напоменути да у литератури не постоје радови у којима се процењује ефикасност инструкционог метода заснованог на примени СЗ у настави хемије. Односно, ово истраживање по први пут истиче везу између системичког приступа у настави хемије и теорије когнитивног оптерећења.

### 3.2. Циљ и задаци истраживања

Основни циљ истраживања ове докторске дисертације јесте испитивање утицаја примене СЗ у учењу и настави органске хемије, на ученичка постигнућа и нивое уложеног менталног напора, у току решавања задатака представљених као линеарни (класични) задаци (ЛЗ) и системички задаци (СЗ), на тестовима знања у фази претходног и главног емпиријског истраживања. При томе су ЛЗ и СЗ на финалном тесту подељени у две субкатеорије: изоморфни задаци, са којима су се ученици сусретали током решавања пролазних тестова, и аналогни задаци, који су конструисани за потребе финалног тестирања и са којима ученици нису били суочени током пролазних тестирања. Упоредним посматрањем ученичког постигнућа и менталног напора, ефикасност инструкционог метода заснованог на примени СЗ поређена је са ефикасношћу традиционалног вида наставе код испитаника мушког и женског пола.

Као додатни циљ ове докторске дисертације истакнуто је испитивање примене СЗ као алата за евалуацију ученичког смисленог разумевања, као и за процену ученичких способности системског мишљења.

Циљ докторске дисертације је операционализован кроз следеће истраживачке задатке:

Фаза претходног истраживања:

- (1) Утврдити да ли постоји статистички значајна разлика у постигнућу ученика у ЛЗ између експерименталне и контролне групе.
- (1.а) *Утврдити да ли постоји статистички значајна разлика у постигнућу у ЛЗ између испитаника мушког и женског пола, како у експерименталној тако и у контролној групи.*
- (2) Утврдити да ли постоји статистички значајна разлика у постигнућу у СЗ између експерименталне и контролне групе.
- (2.а) *Утврдити да ли постоји статистички значајна разлика у постигнућу у СЗ између испитаника мушког и женског пола, како у експерименталној тако и у контролној групи.*
- (3) Утврдити да ли постоји статистички значајна разлика у уложеном менталном напору у ЛЗ између експерименталне и контролне групе.
- (3.а) *Утврдити да ли постоји статистички значајна разлика у уложеном менталном напору у ЛЗ између испитаника мушког и женског пола, како у експерименталној тако и у контролној групи.*
- (4) Утврдити да ли постоји статистички значајна разлика у уложеном менталном напору у СЗ између експерименталне и контролне групе.
- (4.а) *Утврдити да ли постоји статистички значајна разлика у уложеном менталном напору у СЗ између испитаника мушког и женског пола, како у експерименталној тако и у контролној групи.*
- (5) Утврдити да ли постоји разлика у релативној ефикасности између инструкционог метода заснованог на примени СЗ и традиционалне наставе, разматрајући посебно оба пола у обе групе.

- (6) Утврдити који тип задатака (ЛЗ или СЗ) јесте ефикасан алат за евалуацију ученичког смисленог разумевања.
- (7) Испитати разлику у способностима системског мишљења између ученика експерименталне и контролне групе, применом СЗ.

Главна фаза истраживања:

- (1) Утврдити да ли постоји статистички значајна разлика у постигнућу у изоморфним и аналогним ЛЗ између експерименталне и контролне групе.
  - (1.a) *Утврдити да ли постоји статистички значајна разлика у постигнућу у изоморфним и аналогним ЛЗ између испитаника мушког и женског пола, како у експерименталној тако и у контролној групи.*
- (2) Утврдити да ли постоји статистички значајна разлика у постигнућу у изоморфним и аналогним СЗ између експерименталне и контролне групе.
  - (2.a) *Утврдити да ли постоји статистички значајна разлика у постигнућу у изоморфним и аналогним СЗ између испитаника мушког и женског пола, како у експерименталној тако и у контролној групи.*
- (3) Утврдити да ли постоји статистички значајна разлика у уложеном менталном напору у изоморфним и аналогним ЛЗ између експерименталне и контролне групе.
  - (3.a) *Утврдити да ли постоји статистички значајна разлика у уложеном менталном напору у изоморфним и аналогним ЛЗ између испитаника мушког и женског пола, како у експерименталној тако и у контролној групи.*
- (4) Утврдити да ли постоји статистички значајна разлика у уложеном менталном напору у изоморфним и аналогним СЗ између експерименталне и контролне групе.
  - (4.a) *Утврдити да ли постоји статистички значајна разлика у уложеном менталном напору у изоморфним и аналогним СЗ између испитаника мушког и женског пола, како у експерименталној тако и у контролној групи.*
- (5) Утврдити да ли постоји разлика у релативној ефикасности између инструкционог метода заснованог на примени СЗ и традиционалне наставе, разматрајући посебно оба пола у обе групе.
- (6) Утврдити који тип задатака (ЛЗ или СЗ) јесте ефикасан алат за евалуацију ученичког смисленог разумевања.
- (7) Испитати разлику у способностима системског мишљења између ученика експерименталне и контролне групе, применом изоморфних и аналогних СЗ.

### 3.3. Варијабле истраживања

Варијабле дефинисане у овом истраживању класификоване су према функцији, при чему им је додељен статус независних (узрочних) варијабли и зависних (последичних) варијабли, које су резултат деловања независних варијабли. У експеримент су тиме укључене четири основне варијабле, од којих су две зависне и две независне.

Инструкциони метод као независна варијабла укључује метод заснован на примени СЗ у настави органске хемије и традиционални приступ, а поред ове независне варијабле дискутује се и пол ученика. Статус зависних варијабли додељен је ученичком постигнућу и менталном напору, који су прикупљени како у фази претходног истраживања, тако и у току финалног тестирања.

### 3.4. Методе истраживања

У истраживању су примењене следеће методе: аналитички метод, метод педагошког експеримента и статистичка метод.

#### 3.4.1. Аналитички метод

Истраживање је започето *генетичком анализом*, у току које је анализиран настанак и развој предмета истраживања, односно проучавана су досадашња сазнања о ученичким тешкоћама у току савладавања садржаја из домена органске хемије. Након тога су анализирани нове инструкционе методе које се примењују у циљу превазилажења тих тешкоћа, као и нови алати евалуације ученичког смисленог разумевања, да би се на крају ове фазе одабрали СЗ као инструкциони и евалуациони алати који потенцијално воде ка смисленом повезивању и организовању ученичког знања у одабраном хемијском домену.

Након тога уследила је анализа структуре предмета истраживања (*структурална анализа*), током које су анализирани сви чиниоци предмета истраживања (анализа варијабли), као што су одабране инструкционе методе, пол ученика, постигнуће и ментални напор.

*Функционалном анализом* су установљене везе, односно међузависност чиниоца предмета истраживања, као што су везе између инструкционог метода и постигнућа ученика, инструкционог метода и менталног напора, постигнућа и пола ученика, менталног напора и пола ученика.

Након функционалне анализе уследила је *компаративна анализа* помоћу које су утврђене разлике међу варијаблама (на пример разлике између инструкционих метода).



### 3.4.2. *Метод педагошког експеримента*

Модел експеримента који је примењен у истраживању јесте експеримент са паралелним групама – са једном експерименталном (Е) и једном контролном групом (К). У експерименталној групи ученика укључен је експериментални фактор – инструкциони метод заснован на примени СЗ у наставном процесу органске хемије, док су у контролној групи ученици обучавани применом традиционалне наставе. Циљ примене експерименталног метода са паралелним групама био је да се установи да ли постоји значајна разлика у ефикасности између поменуте две инструкције, која би се испољила кроз ученичко постигнуће и уложени ментални напор.

### 3.4.3. *Статистички метод*

Статистичка обрада података извршена је применом софтверских пакета IBM SPSS Statistics 19, Statgraphics Centurion XVI.I и G\*Power 3.0.10. Поред ових софтверских пакета, за анализу резултата примењен је и Microsoft Office Excel.

У првој фази статистичке обраде података примењен је непараметријски Mann-Whitney-ев тест за уједначавање група ученика (формирање Е и К групе) на основу оцена из хемије остварених на крају претходних школских година.

Даљом статистичком обрадом података обухваћени су резултати теста претходног истраживања, као и резултати финалног теста знања. У тој фази су прво процењене метријске карактеристике инструмената за праћење ученичког постигнућа и менталног напора. Затим су испитани основни дескриптивни параметри, као што су аритметичка средина (М), стандардна девијација (СД), минимални скор (Мин) и максимални скор (Макс).

Са циљем испитивања разлика у постигнућу и уложеном менталном напору између ученика експерименталне и контролне групе, резултати теста претходног истраживања су анализирани двосмерном ANOVA анализом, док су резултати финалног теста обрађени двосмерном MANOVA анализом. Разлике у постигнућу и уложеном менталном напору између пола у оквиру сваке групе ученика, анализирани су применом *t*-теста, или Mann-Whitney-евог теста, у зависности да ли подаци задовољавају критеријум нормалне расподеле.

Поред тога, израчуната је релативна ефикасност оба инструкциона метода за оба пола, применом математичког модела који су предложили Paas и van Merriënboer (1993). За графичко приказивање инструкционе ефикасности примењен је програм Graph.

На крају је примењена експлораторна факторска анализа са циљем упоређивања ефикасности примене СЗ и ЛЗ као алата за евалуацију ученичког смисленог разумевања, као и Mann-Whitney-ев тест за испитивање ученичких способности системског мишљења у оквиру обе групе ученика.

### 3.5. Узорак истраживања

#### 3.5.1. Узорак испитаника

Истраживање је спроведено у току школске 2012/2013. године у Гимназији „Јован Јовановић Змај” у Новом Саду. Одабрана школа се налази у урбаној средини, а похађа је око 1000 ученика различитог социо-економског статуса, који су расподељени у четири разреда, тако да сваки разред чини око 250 ученика. Гимназија нуди пет смерова, а узорак овог истраживања чинили су ученици трећег разреда природно-математичког смера. Број ученика који су учествовали у истраживању ограничен је на релативно мали број (65 ученика у фази претходног истраживања и 119 ученика у главној фази истраживања), да би се формирао хомоген узорак испитаника, а тиме избегао утицај паразитарних фактора на резултате истраживања, као што је укључивање већег броја наставника са различитим приступом наставном процесу, као и различитим наставним искуством. Özmen, Demircioğlu и Coll (2009) такође наглашавају да укључивање већег броја наставника у истраживање, чији је циљ испитивање ефикасности инструкционог метода, негативно утиче на саме исходе истраживања. Поред тога, за потребе овог истраживања, од изузетне је важности да број испитаника мушког и женског пола у експерименталној и контролној групи буде приближно једнак.

*Популација у фази претходног истраживања.* У овој фази укључена су два од четири расположива одељења трећег разреда природно-математичког смера Гимназије „Јован Јовановић Змај”, из Новог Сада. У тој фази учествовало је 65 испитаника, 41 ученик (63%) и 24 ученице (37%), узраста 17-18 година. За уједначавање група разматрана је једна зависна варијабла: просечна закључна оцена из хемије на крају првог и другог разреда, а поред тога разматран је и број испитаника мушког и женског пола у групама, као и дистрибуција оцена по полу у обе групе. Уједначавање група на основу закључних оцена уместо иницијалног теста одабрано је да би се избегао утицај Хоторновог ефекта<sup>4</sup> (Bracht и Glass, 1968; Jones, 1992) на касније резултате истраживања.

Пошто оцене по групама не поседују нормалну расподелу, која је утврђена Shapiro-Wilk-овим тестом (експериментална група:  $W=0.840$ ,  $p=0.000$ ,  $p<0.05$ ; контролна група:  $W=0.816$ ,  $p=0.000$ ,  $p<0.05$ ), за уједначавање група је уместо  $t$ -теста примењен непараметријски Mann-Whitney-ев тест. Резултати тог теста су потврдили да не постоји статистички значајна разлика између две групе ученика, пошто је за  $U=499.00$   $p$ -вредност већа од 0.05 ( $p=0.695$ ). На основу тога су пре спровођења експеримента формиране две еквивалентне групе ученика: експериментална, коју је чинило 34 ученика и контролна, коју је

<sup>4</sup> Хоторнов ефекат истиче да на понашање појединца у датом тренутку може утицати сазнање о експерименту. У овом случају се то објашњава тиме да ученик, знајући да његови резултати на иницијалном тесту утичу на то да ли ће бити део групе која ће учити применом новог инструкционог метода, или путем традиционалне наставе, не уложи довољно напора да уради задатке на тесту не желећи да буде део нове наставне ситуације. То би се свакако испољило на резултате финалног теста, где би исти ученик уложио пуно више напора да успешно реши задатке. У таквом случају, резултати финалног теста (као резултати деловања нове инструкције на знање ученика) не би се могли у потпуности сматрати валидним.

чинио 31 ученик. Дескриптивни статистички параметри за варијаблу просечна закључна оцена из хемије на крају првог и другог разреда за узорак у фази претходног истраживања приказани су у табели 2.

**Табела 2.** Дескриптивни статистички параметри за варијаблу: просечна закључна оцена из хемије на крају I и II разреда за узорак у фази претходног истраживања

Група	Експериментална	Контролна
<b>Број испитаника</b>	34	31
<b>М</b>	4.43	4.34
<b>СД</b>	0.58	0.70
<b>Мин</b>	3.00	3.00
<b>Макс</b>	5.00	5.00

Пошто је за даљи ток истраживања и дискусију резултата значајна варијабла пол ученика, у табели 3 су приказане дистрибуције оцена по полу у обе групе.

**Табела 3.** Дистрибуција оцена по полу у експерименталној и контролној групи ученика у фази претходног истраживања

Просечна оцена	Група			
	Експериментална (N=34)		Контролна (N=31)	
	Мушки пол (%)	Женски пол (%)	Мушки пол (%)	Женски пол (%)
<b>5</b>	8 (40%)	6 (43%)	10 (48%)	4 (40%)
<b>4.5</b>	4 (20%)	2 (14%)	2 (9%)	1 (10%)
<b>4</b>	6 (30%)	4 (29%)	4 (19%)	2 (20%)
<b>3.5</b>	1 (5%)	1 (7%)	4 (19%)	2 (20%)
<b>3</b>	1 (5%)	1 (7%)	1 (5%)	1 (10%)
укупно	20 (100%)	14 (100%)	21 (100%)	10 (100%)

*Популација у главној фази истраживања.* У главној фази истраживања укључена су четири одељења трећег разреда природно-математичког смера Гимназије „Јован Јовановић Змај”, из Новог Сада. У тој фази учествовало је 119 испитаника, 61 ученик (51%) и 58 ученица (49%), узраста 17-18 година. За уједначавање група разматрана је једна зависна варијабла: просечна закључна оцена из хемије на крају првог и другог разреда, а поред тога разматран је и број испитаника мушког и женског пола у групама, као и дистрибуција оцена по полу у обе групе.

Пошто оцене по групама не поседују нормалну расподелу, која је утврђена Shapiro-Wilk-овим тестом (експериментална група:  $W=0.830$ ,  $p=0.000$ ,  $p<0.05$ ;

контролна група:  $W=0.797$ ,  $p=0.000$ ,  $p<0.05$ ), за уједначавање група је примењен непараметријски Mann-Whitney-ев тест. Резултати тог теста су потврдили да не постоји статистички значајна разлика између две групе ученика, пошто је за  $U=1675.00$ ,  $p$ -вредност већа од 0.05 ( $p=0.653$ ). На основу тога су пре спровођења експеримента формиране две еквивалентне групе ученика: експериментална, коју је чинило 65 ученика и контролна, коју је чинило 54 ученика. Дескриптивни статистички параметри за варијаблу: просечна оцена из хемије на крају првог и другог разреда за узорак у главној фази истраживања приказани су у табели 4, док је дистрибуција оцена по полу у обе групе ученика приказана у табели 5.

**Табела 4.** Дескриптивни статистички параметри за варијаблу: просечна оцена из хемије на крају I и II разреда за узорак у главној фази истраживања

Група	Експериментална	Контролна
<b>Број испитаника</b>	65	54
<b>M</b>	4.38	4.42
<b>СД</b>	0.63	0.70
<b>Мин</b>	3.00	2.50
<b>Макс</b>	5.00	5.00

**Табела 5.** Дистрибуција оцена по полу у експерименталној и контролној групи у главној фази истраживања

Просечна оцена	Група			
	Експериментална (N=34)		Контролна (N=31)	
	Мушки пол (%)	Женски пол (%)	Мушки пол (%)	Женски пол (%)
<b>5</b>	18 (44%)	10 (42%)	10 (45%)	13 (41%)
<b>4,5</b>	6 (15%)	3 (12,5%)	6 (27%)	9 (28%)
<b>4</b>	10 (24%)	6 (25%)	3 (14%)	4 (13%)
<b>3,5</b>	5 (12%)	3 (12,5%)	2 (9%)	2 (6%)
<b>3</b>	2 (5%)	2 (8%)	1 (5%)	2 (6%)
<b>2,5</b>	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	2 (6%)
<b>укупно</b>	41 (100%)	24 (100%)	21 (100%)	32 (100%)

### 3.5.2. Узорак градива

Узорак градива у овом истраживању чине садржаји органске хемије из две наставне целине:

- (1) „Угљоводоници и халогени деривати угљоводоника”
- (2) „Кисеонична органска једињења”

У складу са Наставним планом и програмом хемије за трећи разред гимназије општег типа и природно-математичког смера, прва наставна целина се обрађује током првог полугодишта, док се „Кисеонична органска једињења” обрађују у другом полугодишту (<http://www.zuov.gov.rs>).

У оквиру „Угљоводоника и халогених деривата угљоводоника” обрађено је пет наставних тема, док су у оквиру „Кисеоничких органских једињења” обрађене четири наставне теме (табела 6). При томе су за потребе истраживања ове докторске дисертације, у оквиру сваке наставне теме, обрађени поступци добијања и хемијска својства одабраних класа органских једињења.

**Табела 6.** Приказ наставних целина и тема које су обухваћене у истраживању

Наставна целина	Наставна тема
<i>Угљоводоници и халогени деривати угљоводоника</i>	Алкани и циклоалкани
	Алкени и диени
	Алкини
	Ароматични угљоводоници
	Халогени деривати угљоводоника
<i>Кисеоничких органских једињења</i>	Алкохоли и феноли
	Етри
	Алдехиди и кетони
	Карбоксилне киселине и деривати карбоксилних киселина

### 3.6. Ток и дизајн истраживања

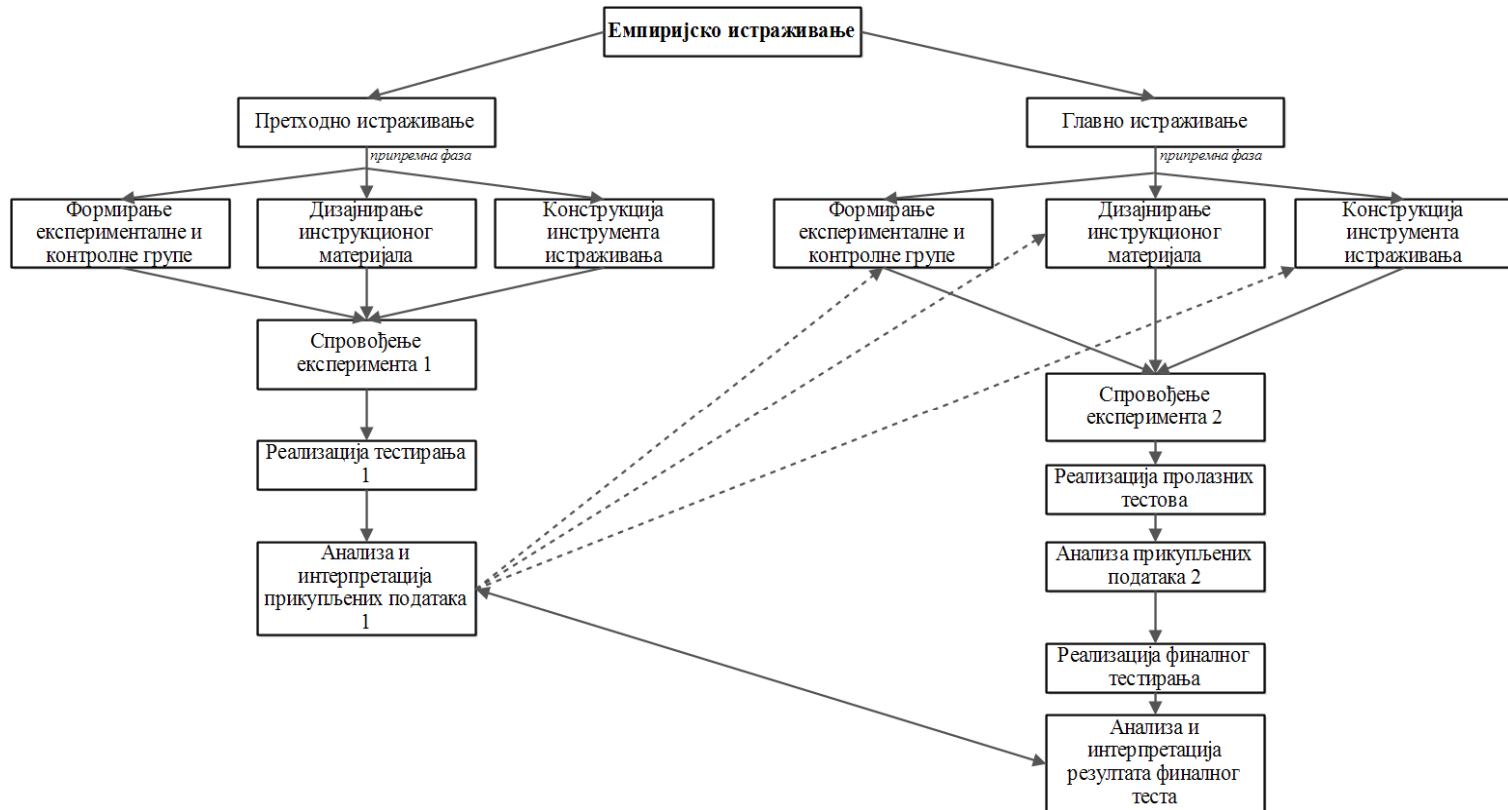
Ово истраживање је спроведено кроз две етапе, као *претходно* и *главно емпиријско истраживање*.

Спровођење претходног истраживања било је важно из више разлога. На основу резултата прикупљених у овој фази сагледана је валидност дефинисаног предмета и циља ове докторске дисертације, а то је од изузетног значаја пошто у литератури не постоје емпиријски радови у којима је испитана ефикасност примене СЗ као инструкционог метода, која би била праћена кроз ученичко постигнуће и уложени ментални напор. Односно, системички вид репрезентације знања није до сада доведен у везу са теоријом когнитивног оптерећења, па тиме није забележен утицај СЗ на ментални напор ученика. Због

свега наведеног, пре спровођења главног истраживања, било је неопходно спровести претходно истраживање на мањем узорку испитаника и мањем узорку наставног градива.

У оквиру претходног истраживања, урађена је припремна фаза, која се састојала из формирања експерименталне и контролне групе, дизајнирања инструкционог материјала и конструисања инструмента истраживања. Претходно истраживање је спроведено у првом полугодишту школске 2012/2013. године, укључујући два од четири расположива одељења трећег разреда гиманзије и обухватајући узорак градива из наставне целине „Угљоводоници и халогени деривати угљоводоника”. Након спроведеног експерименталног истраживања, у ком су ученици контролне групе подвргнути традиционалној настави, а ученици експерименталне групе инструкционом методу заснованом на примени СЗ, уследило је тестирање ученика обе групе (примерак теста знања из фазе претходног истраживања дат је у Прилогу 7.5). Ефекат примене новог инструкционог метода вреднован је у фази тестирања, а прикупљени подаци су анализирани и интерпретирани у наредној фази. Главни циљ претходног емпиријског истраживања била је иницијална провера ефикасности новог инструкционог метода, као и одабраног узорака испитаника.

Главно емпиријско истраживање је изведено у другом полугодишту исте 2012/2013. школске године и такође је започето припремном фазом, која се састојала из формирања експерименталне и контролне групе, дизајнирања инструкционог материјала и конструкције инструмента истраживања. Да би припремна фаза главног истраживања била што ефикаснија, размотрени су резултати претходног истраживања. Експеримент је спроведен на већем броју ученика (четири одељења) и обимнијем наставном градиву (наставна целина „Кисеонична органска једињења”). Тиме су након сваке наставне теме спроведена пролазна тестирања („Алкохоли, Феноли и Етри” – Прилог 7.6, „Карбонилна једињења” – Прилог 7.7 и „Карбоксилне киселине и деривати карбоксилних киселина” – Прилог 7.8), са циљем праћења ученичког напредовања. На крају истраживања сви ученици експерименталне и контролне групе подвргнути су финалном тестирању (финални тест знања је дат у Прилогу 7.9), након чега је уследила анализа и интерпретација прикупљених података. Графички приказ дизајна истраживања дат је на слици 28.



Слика 28. Графички приказ дизајна истраживања

У наставку рада биће поближе описан дизајн инструкционог материјала, као и саме карактеристике примењеног инструкционог метода у оквиру експерименталне групе ученика, са напоменом да наведене карактеристике одговарају обема етапама истраживања: претходном и главном истраживању. Поред тога, треба напоменути да је инструкциони метод помоћу кога су обучавани ученици експерименталне групе примењен на часовима понављања градива, док су у фази обраде новог градива ученици обе групе третирани једнако – применом традиционалне наставе. Надаље, док су ученици контролне групе наставили са применом традиционалне наставе и на часовима понављања градива (решавајући традиционалне ЛЗ: задатке вишеструког избора, есејске задатке, задатке допуњавања, задатке сређивања и упоређивања), ученици експерименталне групе су подвргнути системичком приступу и решавању СЗ.

*Карактеристике инструкционог метода примењеног у експерименталној групи ученика.* Ученици експерименталне групе били су подвргнути новом инструкционом методу - решавајући СЗ, при чему су за потребе експерименталне групе ученика припремљени наставни листићи са непопуњеним или парцијално попуњеним СЗ. Системички задаци су конструисани пратећи смернице из радова Fahmy-ја и Lagowski-ог (2004, 2007/08, 2010, 2012), с тим што су направљене разлике у захтевима задатака у односу на оригиналну верзију. У оригиналној верзији, концепти који припадају одговарајућем СЗ дати су у тексту задатка, а од ученика се тражи да конструишу системик, постављајући дате концепте у одговарајућа поља, откривајући релације међу њима. СЗ који су конструисани за потребе овог истраживања прате такав дизајн да су конструисани непопуњени или делимично попуњени СЗ са наглашеним релацијама између полазног и непознатих концепата, а од ученика се тражи да попуне празна поља, цртајући рационалне структурне формуле и уписујући IUPAC-ове називе одговарајућих органских једињења. Сличну измену у односу на оригиналну верзију су претходно начинили Vachliotis и сарадници (2011), наглашавајући да су тиме СЗ сличнији конвенционалним ЛЗ (на пример задацима допуњавања), па су тиме ближи и ученицима. За ово истраживање је то од изузетне важности пошто су у тесту знања укључена оба типа задатака – ЛЗ и СЗ. Након конструисања, СЗ су били примењени на часовима понављања градива. У претходном истраживању ученици експерименталне групе су понављали градиво помоћу СЗ у току два школска часа (90 мин), док су у току главног истраживања СЗ примењени на шест часова понављања градива: „Алкохоли, феноли и етри” (2 часа, 90 мин), „Карбонилна једињења” (2 часа, 90 мин), „Карбоксилне киселине и деривати карбоксилних киселина” (2 часа, 90 мин). Наставни листићи припремљени за потребе експерименталне наставе дати су у прилогу (Прилог 7.1. Понављање угљоводоника и халогених деривата угљоводоника; Прилог 7.2. Понављање алкохола, фенола и етара; Прилог 7.3. Понављање карбонилних једињења; Прилог 7.4. Понављање карбоксилних киселина и деривата карбоксилних киселина).

*Активности наставника и ученика у оквиру експерименталне наставе.* Као што је претходно поменуто, на почетку часа понављања градива, свим ученицима експерименталне групе подељени су наставни листићи са непопуњеним СЗ. Пре почетка решавања сваког појединачног задатка, од ученика се очекивало да пажљиво прочитају текст задатка, са циљем сагледавања релација међу обухваћеним концептима. Ученици су активно учествовали на часовима, постепено попуњавајући празна поља. Након што су



ученици попунили прво празно поље уписујући рационалну структурну формулу и IUPAC-ов назив за тражено једињење, наставник је прозвао једног ученика да протумачи свој одговор. Наставник је при томе користио Power Point презентацију, да би сви ученици јасно видели тачан одговор на крају, који је презентован на табли преко видео пројектора. Поред тога, ученици обе групе су охрабривани да постављају додатна питања током понављања градива, при чему је примећено да су ученици експерименталне групе били више мотивисани за постављање додатних питања. На почетку рада са СЗ, ученици су показивали тешкоће у сагледавању вишеструких релације међу концептима (поготово ако концепти нису били укључени на часовима обраде новог градива, или нису представљени у уџбенику), па су чешће захтевали додатна објашњења. Поред саме природе релација, ученици су постављали питања везана за IUPAC-ове називе комплекснијих органских једињења (на пример за угљоводонике са рачвастим низом), као и за могућу примену представљених једињења.

Сагледавајући могућност појаве наставникове пристрасности ка експерименталној групи ученика (енгл. „*experimenter's bias effect*”) (наведено у раду Özmen и др., 2009), аутор овог рада је присуствовао свим фазама истраживања. Тиме је обезбеђена валидност примењеног инструкционог метода, као и самих прикупљених података истраживања.

### 3.7. Инструменти истраживања

У овом истраживању као инструменти примењени су: *тестови знања* – тест знања у претходном истраживању, пролазни тестови знања и финални тест знања (као Тест А и Тест Б), као и *Ликертова скала за мерење уложеног менталног напора*, која је дата у оквиру свих тестова. Пошто су пролазни тестови примењени искључиво са циљем праћења ученичког напредовања у току истраживања, у овој дисертације биће приказани резултати теста претходног истраживања (а) и финалног теста знања (б).

(а) Тест знања у оквиру претходног истраживања био је спроведен у обе групе ученика након понављања градива из наставне целине „Угљоводоници и халогени деривати угљоводоника”, на једном школском часу у децембру 2012. године. Тест је садржао 12 задатака, који су били подељени у две главне категорије: СЗ и ЛЗ. СЗ су приказани бројевима З<sub>8</sub>, З<sub>10</sub> и З<sub>12</sub>, док су ЛЗ подељени у више субкатегирија: задаци вишестуког избора (З<sub>1</sub>, З<sub>3</sub>, З<sub>4</sub>, З<sub>9</sub>), задаци допуњавања (З<sub>2</sub>, З<sub>6</sub>, З<sub>11</sub>) и есејски задаци (З<sub>5</sub>, З<sub>7</sub>). Примерак теста знања дат је у Прилогу 7.5.

(б) Финални тест знања је био спроведен у обе групе ученика након понављања наставне целине „Кисеонична органска једињења”, које је изведено у више фаза (повнављање по наставним темама: „Алкохоли, Феноли и Етри”, „Карбонилна једињења” и „Карбоксилне киселине и деривати карбоксилних киселина”) и након израде пролазних тестова у оквиру наведених наставних тема. Финални тест знања је ученицима задат као Тест А и Тест Б. Тест А је садржао низ изоморфних задатака, које су ученици претходно решавали на пролазним тестовима, док је Тест Б садржао аналогне задатке који су по својој форми слични задацима из пролазних тестова, међутим нису идентични (урађене су извесне измене у захтевима задатака). Оба дела теста садржала су

ЛЗ и СЗ. Финални тест знања је дат у Прилогу 7.9, док је структура теста приказана у табели 7.

Табела 7. Структура финалног теста знања

Тип задатка		Финални тест знања	
		Тест А	Тест Б
Линеарни	Вишеструки избор	З <sub>1</sub>	З <sub>4I</sub>
	Допуњавање	З <sub>4</sub>	З <sub>4II</sub>
	Сређивање и упоређивање	З <sub>3</sub>	З <sub>1</sub>
	Есејски	З <sub>2</sub>	З <sub>4III</sub>
Системички		З <sub>5</sub>	З <sub>2</sub> , З <sub>3</sub>

Начин бодовања задатака. Сви тачно урађени задаци, како у тесту претходног истраживања, тако и у финалном тесту знања, бодовани су са 1 бодом, са могућношћу бодовања парцијално тачних одговора. Бодовање СЗ спроведено је у више корака. Са 0.5 бода вреднована је свака тачно приказана рационална структурна формула, као и сваки тачан IUPAC-ов назив једињења. Уколико, на пример, СЗ поседује 4 поља, од тога 3 непопуњена и 1 парцијално попуњено поље (дат је назив органског једињења, а потребно је уписати формулу), у овој фази могуће је максимално остварити 3.5 бода. У следећој фази, остварени бодови су сведени у ранг од 0 до 1. Тако су 3.5 бода сведена на 1 бод, 3 бода на 0.86, и тако даље. Тиме је максимално могуће постигнуће на тесту претходног истраживања 12 бодова, а на финалном тесту 11 бодова.

Гаранти квалитета теста знања. Као гаранте квалитета теста знања размотрени су валидност и релијабилност. Валидност теста знања је процењена и као пре-тест и као пост-тест гарант. Валидност као пре-тест гарант процењена је у складу са радом Segedinac, Segedinac, Konjović и Savić (2011), на основу евалуације експертског тима који су чинили пет експерта из поља хемијског образовања: два универзитетска професора, два истраживача и професор хемије из средње школе, а поред тога у експертски тим је укључен и један универзитетски професор педагогије. Установљено је да су оба теста валидна, пошто су састављена у складу са Наставним програмом хемије за трећи разред гиманзије (<http://www.zuov.gov.rs>), као и са препорученим уџбеником (Стојиљковић, 1989). Поред тога, размотрени су и следећи параметри: смисленост захтева задатака, разноликост типова задатака, примењена терминологија и дужина реченица у задацима.

Валидност тестова знања као пост-тест гарант процењена је у складу са радовима Egoğlu и Keleşioğlu (2001) и Lopez и сарадници (2011). Као показатељ валидности теста знања, наведени аутори разматрају Pearson-ов коефицијент корелације између ученичког постигнућа у ЛЗ (Egoğlu и Keleşioğlu, 2001: задаци кратких одговора; Lopez и др., 2011: проблемски задаци) и у концептним мапама. Након примене наведеног приступа на резултате теста претходног истраживања (на ЛЗ и СЗ) добијен је Pearson-ов коефицијент корелације  $r=0.703$  ( $p=0.000$ ,  $p<0.05$ ), док је за финални тест знања  $r=0.775$

( $p=0.000$ ,  $p<0.05$ ) у оквиру изоморфних задатака (Тест А) и  $r=0.590$  ( $p=0.000$ ,  $p<0.05$ ) у оквиру аналогних задатака (Тест Б). Тумачећи вредности коефицијента корелације по Dunn-у (2001), утврђена је статистички сигнификантна висока позитивна корелација између постигнућа у ЛЗ и СЗ на тесту у фази претходног истраживања, као и у оквиру изоморфних задатака финалног теста знања, док је код аналогних задатака утврђена умерена позитивна корелација. На основу добијених резултата потврђена је валидност оба теста знања.

Релијабилност тестова знања процењена је у облику Cronbach-овог  $\alpha$  коефицијента. Према Frisbie-ју (1988), овај облик процене релијабилности је изузетно погодан у случајевима када тест знања садржи више типова задатака. Добијене вредности од  $\alpha=0.651$  (тест претходног истраживања),  $\alpha=0.770$  (финални Тест А) и  $\alpha=0.774$  (финални Тест Б) према Frisbie-ју (1988) указује на прихватљиву релијабилност тестова знања, пошто задовољавају следеће критеријуме: (а) тестови знања састављени од стране наставника треба да имају  $\alpha \geq 0.50$ , (б) прихватљива вредност Cronbach-овог  $\alpha$  коефицијента за резултате теста групе испитаника је  $\alpha \geq 0.65$ .

*Ликертова скала за процену уложеног менталног напора.* Након сваког појединачног задатка у тесту знања, приказана је седмостепена Ликертова скала за мерење ученичког менталног напора. Седмостепена скала, у распону од 1 (изузетно лако) до 7 (изузетно тешко), припремљена је у складу са радом Kalyuga, Chandler и Sweller (2000). Од ученика се захтевало да након решавања задатка процене колико им је лако или тешко било да ураде тај задатак, обележавајући једно од седам приказаних поља. Тиме је процењен ментални напор за сваког ученика, за сваки задатак теста знања. Приказ Ликертове скале која је коришћена у оквиру овог истраживања дат је на слици 29.

Изузетно лако	Веома лако	Лако	Ни тешко ни лако	Тешко	Веома тешко	Изузетно тешко

**Слика 29.** Седмостепена Ликертова скала за самопроцену уложеног менталног напора

За процену квалитета овог инструмента, Раас и сарадници (1994) предлажу израчунавање Cronbach-овог  $\alpha$  коефицијента, као мере његове релијабилности. Када упоредимо  $\alpha$  коефицијенте израчунате за резултате овог истраживања (претходно истраживање:  $\alpha=0.810$ , главно истраживање: Тест А  $\alpha=0.788$ ; Тест Б  $\alpha=0.871$ ), са  $\alpha$  коефицијентима поменути студије (Раас и др., 1994; експеримент 1:  $\alpha=0.90$ , експеримент 2:  $\alpha=0.82$ ), можемо закључити да овај инструмент поседује изузетно високу релијабилност.



## 4. РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА И ДИСКУСИЈА

### 4.1. Анализа резултата теста претходног истраживања

На почетку поглавља анализе резултата фазе претходног истраживања неопходно је истаћи да су прикупљени и анализирани подаци ове фазе истраживања важни да би се проверила валидност дефинисаног циља ове докторске дисертације, пошто како је претходно наглашено, у литератури не постоје емпиријски радови у којима је испитана примена СЗ као инструкционог метода, односно није праћен њихов утицај на ученичко постигнуће и уложени ментални напор. Управо због тога, пре представљања и интерпретације резултата главног истраживања, биће размотрени резултати претходног истраживања. При томе је сигнификантна варијација у резултатима 62 ученика (3 ученика су била одсутна за време тестирања) проверена применом двосмерне анализе варијансе (двосмерне АНОВА анализе). У поменутој анализи, ученичко постигнуће, као и уложени ментални напор, дефинисани су као зависне варијабле, док су пол ученика и инструкционе методе (експериментална група: системички приступ, односно примена СЗ у учењу и обучавању; контролна група: традиционална настава), дефинисани као независне варијабле. Поред двосмерне АНОВА анализе примењен је и *t*-тест, са циљем испитивања статистичке значајности разлике у постигнућу и менталном напору између испитаника мушког и женског пола у оквиру обе групе ученика. Двосмерна АНОВА анализа и *t*-тест су примењени након што је установљено да су статистички поступци у складу са дизајном истраживања и да задовољавају критеријум нормалне расподеле прикупљених података, која је проверена применом Shapiro-Wilk-овог теста и Levene-овог теста хомогености варијансе. Поред тога, као показатељи нормалне расподеле података, разматрани су стандардизовани коефицијенти асиметрије и спљоштености. За испитивање величине статистичке значајности разлике између поменутих варијабли израчуната је величина ефекта. Надаље, упоредним разматрањем постигнућа и менталног напора ученика израчуната је и графички приказана релативна ефикасност примењених инструкционих метода.

За евалуацију ученичког смисленог разумевања примењена је експлораторна факторска анализа (ЕФА) методом екстракције (анализа принципијелних компоненти) и varimax ротационим приступом. Bartlett-ов тест сферичности ( $\chi^2=129.39$ ,  $df=66$ ,  $p=0.000$ ) и Kaiser-Meyer-Olkin-ове мере адекватности узорковања (КМО=0.652) потврдили су адекватност примене експлораторне факторске анализе на прикупљеним подацима.

Да би се статистички установила значајност разлике у способностима системског мишљења између ученика експерименталне и контролне групе (разматрајући оба пола ученика), примењен је непараметријски Mann-Whitney-ев тест упоређивања суме рангова разматраних група.

#### 4.1.1. Утицај инструкционог метода и пола на постигнуће ученика у фази претходног истраживања

##### 4.1.1.1. Постигнуће ученика у ЛЗ у фази претходног истраживања

Први истраживачки задатак ове докторске дисертације односи се на испитивање утицаја СЗ као инструкционог метода на способност ученика експерименталне групе за решавање класичних ЛЗ. У ту сврху, постигнуће ученика експерименталне групе поређено је са постигнућем ученика контролне групе, посматрајући основне статистичке параметре, као и резултате двофакторске АНОВА анализе.

Посматрајући основне статистичке параметре, чије су вредности приказане у табели 8, прво се примећује да су ученици експерименталне групе (оба пола) остварили већа просечна постигнућа од ученика контролне групе. Највећа просечна постигнућа у ЛЗ остварују испитаници женског пола из експерименталне групе (77.01 %), док су најнижа просечна постигнућа забележена код испитаника мушког пола из контролне групе (59.44 %). Поред тога, посматрајући минималне вредности просечног постигнућа, уочава се да су сви ученици експерименталне групе постигли успешност већу од 50 %, за разлику од ученика контролне групе чије су минималне вредности постигнућа знатно испод 50 % (мушки пол: 27.78 %, женски пол: 37.04 %). Посматрајући максималне вредности постигнућа, уочава се да су једино испитаници женског пола у експерименталној групи достигли успешност од 100 %, док су максималне вредности постигнућа у контролној групи нешто изнад 80 %. Да би се статистички установила значајност разлике у постигнућу ученика у ЛЗ између експерименталне и контролне групе, као и између испитаника мушког и женског пола, примењена је двосмерна АНОВА анализа, чији су резултати представљени у табели 9.

**Табела 8.** *Дескриптивни статистички параметри за постигнуће ученика експерименталне и контролне групе у ЛЗ у фази претходног истраживања*

Група	Пол	Број	М (%)	СД	Мин (%)	Макс (%)
Е	Мушки	19	74.76	10.07	53.70	94.44
	Женски	12	77.01	13.57	59.26	100.00
К	Мушки	21	59.44	14.99	27.78	85.19
	Женски	10	62.04	15.02	37.04	81.48

**Табела 9.** Резултати двосмерне АНОВА анализе за постигнуће ученика у ЛЗ у фази претходног истраживања

Извор варијације	Сума квадрата	df	Средина квадрата	F	p
Инструкциони метод (А)	3235.28	1	3235.28	18.085	0.000*
Пол (Б)	82.99	1	82.99	0.464	0.499
А*Б	0.44	1	0.44	0.002	0.961

\*p&lt;0.05

Посматрајући инструкциони метод као независну варијаблу, резултати двосмерне АНОВЕ (табела 9) истичу статистички значајну разлику у постигнућу ученика у ЛЗ ( $F=18.085$ ,  $p=0.000$ ,  $p<0.05$ ) на нивоу поузданости од 95 %, у корист експерименталне групе ученика, који су остварили виша постигнућа у овој категорији задатака у односу на ученике контролне групе ( $M(E)=75.63$  %;  $M(K)=60.27$  %). Да би се установила јачина статистички значајне разлике, израчунат је додатни показатељ: величина ефекта, односно Cohen-ов  $f$  коефицијент, чија вредност од 0.67 указује на то да је статистичка разлика у постигнућу у ЛЗ између ученика експерименталне и контролне групе велика (Cohen-ов  $f$  коефицијент је тумачен у складу са радом Faul, Erdfelder, Lang и Buchner, 2007). На основу ових резултата истиче се чињеница да примена СЗ у средњошколској настави органске хемије позитивно утиче на развој способности ученика за решавање конвенционалних ЛЗ.

Ови резултати су у складу са резултатима истраживања Fahmy-ја и Lagowski-ог (1999, 2002, 2003) који су такође применили системички приступ (системичке дијаграме, а не СЗ) у средњошколској настави органске хемије (наставна тема „Карбоксилне киселине и деривати карбоксилних киселина”). Ова два аутора су установила да ученици обучавани системичким приступом успешније решавају ЛЗ од ученика који су обучавани применом традиционалне наставе. До истих резултата су дошли аутори који су системички приступ применили у високошколској настави хемије (Fahmy и Lagowski, 2002; Golemi и др., 2014), као и у основношколској настави хемије (Al-bashaireh, 2011; Hrin и др., 2014).

Иако поменуте студије (Al-bashaireh, 2011; Fahmy и Lagowski, 1999, 2002, 2003; Golemi и др., 2014; Hrin и др., 2014) нису директно укључиле СЗ у наставни процес хемије (примењени су системички дијаграми), потребно је нагласити чињеницу да су системички дијаграми, као претходници СЗ, такође позитивно утицали на способност ученика и студената експерименталне групе да решавају ЛЗ успешније од ученика и студената контролне групе који су обучавани традиционалним приступом.

Надаље, посматрајући резултате двосмерне АНОВЕ за пол ученика као независну варијаблу (табела 9:  $F=0.464$ ,  $p=0.499$ ,  $p>0.05$ ), може се приметити да р-вредост није статистички значајна на нивоу поузданости од 95 %. Ти резултати наводе на закључак да не постоји значајна разлика у постигнућу у ЛЗ између испитаника мушког и женског пола, ако не узимамо у обзир њихову дистрибуцију по групама ( $M(\text{мушки пол})=66.71$  %;  $M(\text{женски пол})=70.20$  %). Ови резултати нису у складу са резултатима претходно поменутог

истраживања Al-bashaireh-a (2011), у ком су девојчице оствариле боља постигнућа од дечака решавајући задатке вишеструког избора на финалном тесту знања. Као главни разлог веће успешности девојчица, Al-bashaireh (2011) је истакао чињеницу да су девојчице биле више заинтересоване за наставу у односу на дечаке.

Последњи параметар приказан у табели 9 јесте интеракција између инструкционог метода и пола ученика. Интеракција између поменуте две варијабле није статистички значајна ( $F=0.002$ ,  $p=0.961$ ,  $p>0.05$ ) и указује на чињеницу да не постоји значајна разлика у постигнућу међу половима у ЛЗ у оквиру разматраних група. Да би се утврдило да ли тај закључак задовољава обе групе ученика, примењен је додатни  $t$ -тест (табела 10).

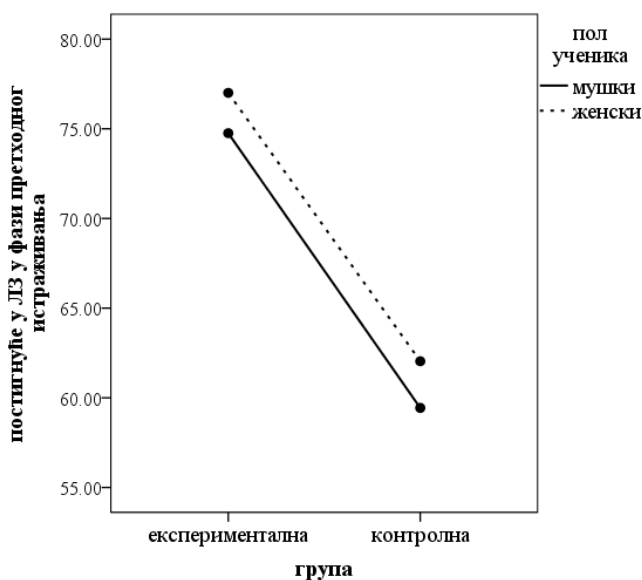
**Табела 10.** Резултати  $t$ -теста за постигнуће испитаника мушког и женског пола у ЛЗ у оквиру експерименталне и контролне групе у фази претходног истраживања

Група	Пол ученика	М (%)	df	Интервал поверења		$t$	p
				Нижи	Виши		
Е	Мушки	74.76	29	-10.94	6.44	-0.529	0.601
	Женски	77.01					
К	Мушки	59.44	29	-24.69	16.38	-0.414	0.682
	Женски	62.04					

Резултати  $t$ -теста су потврдили да не постоји статистички значајна разлика у постигнућу у ЛЗ између испитаника мушког и женског пола, нити у експерименталној, нити у контролној групи ученика на нивоу пузданости од 95 %, пошто интервали поверења садрже вредност 0.00,  $p$ -вредности су веће од 0.05, а добијене  $t$ -вредности су веће од критичне  $t_c$ -вредности, ако посматрамо  $t$ -вредности у минус скали ( $t_c=-2.045$ , за  $df=29$  и  $\alpha=0.05$ ). Наведени резултати су у складу са резултатима Al-bashaireh (2011), који их тумачи тиме да су у оквиру како експерименталне тако и контролне групе, дечаци и девојчице обучавани у једнаким наставним условима, па се због тога није појавила значајна разлика у њиховом постигнућу.

Наведени резултати се могу приказати и визуално, помоћу графика са слике 30, на коме се јасно види да су ученици оба пола експерименталне групе остварили боља постигнућа у ЛЗ од ученика контролне групе. Међутим, појединачним посматрањем експерименталне и контролне групе, не уочава се значајна разлика у постигнућу према полу ученика.





Слика 30. График двосмерне АНОВЕ за постигнуће ученика експерименталне и контролне групе у ЛЗ у фази претходног истраживања

#### 4.1.1.2. Постигнуће ученика у СЗ у фази претходног истраживања

Други истраживачки задатак ове докторске дисертације односи се на испитивање значајности разлике у постигнућу у СЗ између ученика експерименталне и контролне групе, разматрајући оба пола испитаника. У том циљу, разматрани су основни статистички параметри за постигнуће ученика у СЗ, резултати двосмерне АНОВА анализе и додатног  $t$ -теста.

Посматрајући дескриптивне статистичке параметре за постигнуће ученика експерименталне и контролне групе у СЗ (табела 11), уочава се да се постигнућа ученика у експерименталној групи налазе у распону од 22.22 до 100 %, док су у контролној групи у распону од 5.56 до 100 %. Минималне вредности постигнућа истичу да ученици експерименталне групе не бележе постигнућа нижа од 20 % у СЗ, за разлику од ученика контролне групе чије су минималне вредности постигнућа 5.56 %. Максималне вредности постигнућа указују на чињеницу да су потпуно тачна решења СЗ нађена код испитаника женског пола у експерименталној групи и код испитаника мушког пола у контролној групи. Средње вредности постигнућа у СЗ истичу иста запажања као код постигнућа ученика у ЛЗ. Поново највиша просечна постигнућа остварују испитаници женског пола из експерименталне групе (80.79 %), док најнижа просечна постигнућа остварују испитаници мушког пола из контролне групе (55.29 %). Да би се установило да ли су примећене разлике у постигнућу ученика у СЗ статистички значајне, примењена је двосмерна АНОВА анализа, чији су резултати приказани у табели 12.

**Табела 11.** *Дескриптивни статистички параметри за постигнуће ученика експерименталне и контролне групе у СЗ у фази претходног истраживања*

Група	Пол	Број	М (%)	СД	Мин (%)	Макс (%)
Е	Мушки	19	66.08	18.37	22.22	94.44
	Женски	12	80.79	15.69	44.44	100.00
К	Мушки	21	55.29	27.50	5.56	100.00
	Женски	10	59.44	22.80	19.44	83.33

Посматрајући инструкциони метод као независну варијаблу (табела 12), примећује се да је р-вредност статистички значајна на нивоу поузданости од 95 % ( $F=7.389$ ,  $p=0.009$ ,  $p<0.05$ ), при чему ученици експерименталне групе остварују боља постигнућа у СЗ, него ученици контролне групе ( $M(E)=71.77\%$ ;  $M(K)=56.63\%$ ). Да би се установила јачина статистички значајне разлике, израчунат је Cohen-ов  $f$  коефицијент, чија вредност од 0.34 указује на то да је разлика у постигнућу у СЗ између ученика експерименталне и контролне групе средње јачине (Cohen-ов  $f$  коефицијент је тумачен у складу са радом Faul и др., 2007). Ови резултати потврђују већу ефикасност примене СЗ као инструкционог метода, у односу на традиционалну наставу, посматрајући ученичко постигнуће у СЗ као зависну варијаблу.

Приказани резултати су у сагласности са резултатима студије Fahmy-ја и Lagowski-ог (2003), која је такође спроведена у средњошколској настави органске хемије, у Египту (Каиро и Гиза). Ова два аутора су такође истакла да су средње вредности постигнућа у СЗ ученика експерименталне групе, који су обучавани системичким приступом, веће од постигнућа ученика контролне групе, који су обучавани применом традиционалне наставе. Слични резултати су истакнути и у студији Fahmy-ја и Lagowski-ог (2002), која је спроведена на студентима (високошколски ниво) у току изучавања алифатичних органских једињења, као и у студији Golemi-јеве и сарадника (2014) у пољу биохемије на високошколском нивоу у Албанији. Као главни разлог напредовања студената експерименталне групе, која је уочена кроз решавање СЗ, ови аутори истичу развијене вештине и способности ових студената да правилно сагледају природу проблема и да затим примене критичко и системско мишљење у току креирања самог решења представљеног проблема.

**Табела 12.** *Резултати двосмерне АНОВА анализе за постигнуће ученика у СЗ у фази претходног истраживања*

Извор варијације	Сума квадрата	df	Средина квадрата	F	p
Инструкциони метод (А)	3641.11	1	3641.11	7.389	0.009*
Пол (Б)	1254.11	1	1254.11	2.545	0.116
А*Б	392.61	1	392.61	0.797	0.376

\* $p<0.05$

Надаље, разматрајући пол ученика као независну варијаблу, на основу резултата двосмерне АНОВЕ (табела 12), закључено је да не постоји статистички значајна разлика у постигнућу у СЗ између испитаника мушког и женског пола, ако не узимамо у обзир њихову расподелу по групама ( $M(\text{мушки пол})=60.42\%$ ,  $M(\text{женски пол})=71.08\%$ ,  $F=2.545$ ,  $p=0.116$ ,  $p>0.05$ ).

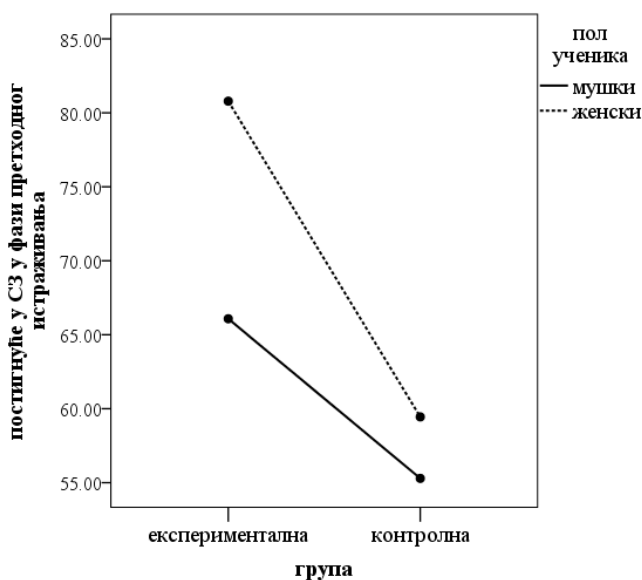
Последњи параметар који треба прокоментарисати из табеле 12, јесте интеракциони ефекат између две независне варијабле. Примећује се да интеракција између инструкционог метода и пола ученика није статистички значајна ( $F=0.797$ ,  $p=0.376$ ,  $p>0.05$ ), а то се тумачи тиме да не постоји значајна разлика у постигнућу међу половима у оквиру разматраних група. Да би се установило да ли то задовољава обе групе ученика, урађен је додатни  $t$ -тест (табела 13), на основу кога је установљено да дати закључак задовољава само контролну групу ученика. У оквиру контролне групе није пронађена значајна разлика у постигнућу у СЗ између испитаника мушког и женског пола, пошто интервал поверења поседује вредност 0.00,  $p$ -вредност је већа од 0.05, а добијена  $t$ -вредност је већа од граничне  $t_c$ -вредности, ако посматрамо  $t$ -вредности у минус скали ( $t_c=-2.045$ , за  $df=29$  и  $\alpha=0.05$ ). Са друге стране, у оквиру експерименталне групе је пронађена значајна разлика у постигнућу међу половима, у корист женског пола, пошто интервал поверења не поседује вредност 0.00,  $p$ -вредност је мања од 0.05, а добијена  $t$ -вредност је мања од граничне  $t_c$ -вредности, ако посматрамо  $t$ -вредности у минус скали ( $t_c=-2.045$ , за  $df=29$  и  $\alpha=0.05$ ). Величина ефекта (Cohen-ов  $d=0.86$ ) показује да се поменуте разлике међу половима у оквиру експерименталне групе могу схватити као велике.

**Табела 13.** Резултати  $t$ -теста за постигнуће испитаника мушког и женског пола у оквиру експерименталне и контролне групе у фази претходног истраживања

Група	Пол ученика	М (%)	df	Интервал поверења		$t$	p
				Нижи	Виши		
Е	Мушки	66.08	29	-27.83	-1.58	-2.292	0.029*
	Женски	80.79					
К	Мушки	55.29	29	-24.69	16.38	-0.414	0.682
	Женски	59.44					

\* $p<0.05$

Наведени резултати се могу приказати и визуално, помоћу графика са слике 31, на коме се јасно види да су ученици експерименталне групе (оба пола) остварили боља постигнућа у СЗ од ученика контролне групе. Међутим, појединачним посматрањем експерименталне и контролне групе, у оквиру контролне групе не уочава се значајна разлика у постигнућу према полу ученика, док су у оквиру експерименталне групе испитаници женског пола остварили боља постигнућа у СЗ од испитаника мушког пола.



Слика 31. График двосмерне АНОВЕ за постигнуће ученика експерименталне и контролне групе у С3 у фази претходног истраживања

#### 4.1.2. Утицај инструкционог метода и пола на ментални напор ученика у фази претходног истраживања

##### 4.1.2.1. Ментални напор ученика у ЛЗ у фази претходног истраживања

Трећи истраживачки задатак ове докторске дисертације у фази претходног истраживања односи се на испитивање утицаја С3 као инструкционих алата на ментални напор ученика обе групе и оба пола у току решавања ЛЗ. Сходно томе, размотрени су дескриптивни параметри за ментални напор ученика експерименталне и контролне групе у ЛЗ, резултати двосмерне АНОВА анализе, као и резултати додатног *t*-теста.

Посматрајући дескриптивне параметре из табеле 14, примећује се да се средње вредности уложеног менталног напора током решавања ЛЗ, у оквиру експерименталне групе ученика, крећу у распону од 2.11 до 4.67, а у контролној групи од 2.78 до 5.67. Најниже просечне вредности уложеног менталног напора бележе испитаници женског пола из експерименталне групе (3.57, на Ликертовој скали „ни тешко ни лако”), при чему су ови резултати праћени највишим постигнућем ове групе испитаника у ЛЗ. Са друге стране, највише вредности менталног напора забележене су код испитаника мушког пола из контролне групе (4.30, на Ликертовој скали „ни тешко ни лако”), при чему су ти резултати такође праћени најнижим постигнућем ове групе испитаника у ЛЗ. Да би се испитала статистичка значајност разлике у уложеном менталном напору између ученика експерименталне и контролне

групе, као и између полова, размотрени су резултати двосмерне АНОВЕ (табела 15).

**Табела 14.** *Дескриптивни статистички параметри за ментални напор ученика експерименталне и контролне групе у ЛЗ у фази претходног истраживања*

Група	Пол	Број	М	СД	Мин	Макс
Е	Мушки	19	3.75	0.52	2.56	4.67
	Женски	12	3.57	0.69	2.11	4.56
К	Мушки	21	4.30	0.70	2.78	5.67
	Женски	10	4.02	0.50	3.11	4.67

Разматрајући резултате првог главног ефекта двосмерне анализе варијансе (табела 15), у ком се као независна варијабла посматра инструкциони метод, примећује се да је ефекат примењеног инструкционог метода на ментални напор ученика статистички значајан ( $F(1, 61)=9.166$ ,  $p=0.004$ ,  $p<0.05$ ). Иако ниво уложеног менталног напора код обе групе ученика одговара тврдњи „*ни тешко ни лако*” на седмостепеној Ликертовој скали ( $M(E)=3.68$ ;  $M(K)=4.21$ ), резултати АНОВА анализе су потврдили да је разлика у уложеном менталном напору између ученика експерименталне и контролне групе статистички значајна. При томе треба напоменути да су вредности менталног напора код ученика експерименталне групе испод вредности 4, док су код контролне групе изнад вредности 4, а то је узроковало појаву статистички значајне разлике у менталном напору у току решавања ЛЗ између две групе ученика. Поред тога, израчунат Соен-ов  $f$  коефицијент ( $f=0.40$ ) указује на велику разлику између две разматране групе. Овим се закључује да ученици експерименталне групе улажу мањи ментални напор у решавању ЛЗ од ученика контролне групе.

**Табела 15.** *Резултати двосмерне АНОВА анализе за ментални напор ученика у ЛЗ у фази претходног истраживања*

Извор варијације	Сума квадрата	df	Средина квадрата	F	p
Инструкциони метод (А)	3.494	1	3.494	9.166	0.004*
Пол (Б)	0.745	1	0.745	1.955	0.167
А*Б	0.035	1	0.035	0.091	0.764

\* $p<0.05$

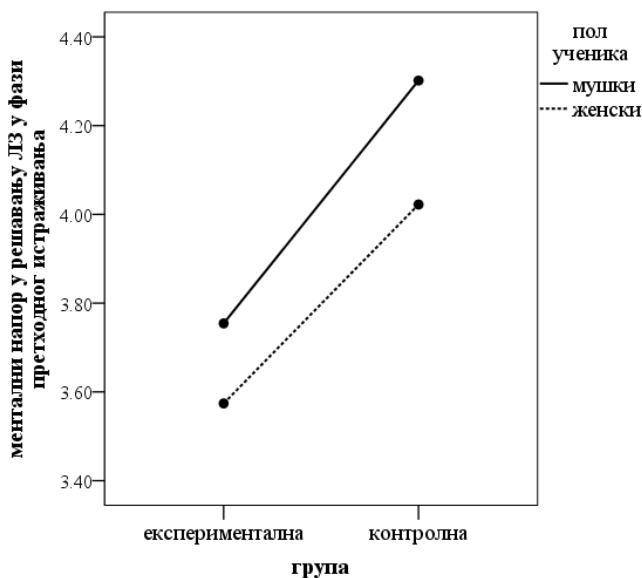
Други главни ефекат двосмерне анализе варијансе рефлектује разлику међу половима у нивоима уложеног менталног напора у току решавања ЛЗ, у случају када се не узима у обзир дистрибуција мушких и женских испитаника по групама. Резултати из табеле 15 истичу да не постоји статистички значајна разлика у менталном напору мушких и женских испитаника током решавања ЛЗ ( $M(\text{мушки пол})=4.04$ ,  $M(\text{женски пол})=3.78$ ,  $F(1, 61)=1.955$ ,  $p=0.167$ ,  $p>0.05$ ), при чему оба пола испитаника улажу ментални напор који одговара тврдњи „*ни тешко ни лако*” на седмостепеној Ликертовој скали.

Да би се установило да ли непостојање разлике у уложеном менталном напору између мушких и женских испитаника током решавања ЛЗ задовољава обе групе ученика, проверена је значајност интеракционог ефекта између две независне варијабле: инструкциони метод\*пол (табела 15). Интеракциони ефекат није био статистички значајан ( $F(1, 61)=1.955$ ,  $p=0.167$ ,  $p>0.05$ ), а тумачи се тиме да ефекат једне независне варијабле (инструкциони метод) на зависну варијаблу (ментални напор у ЛЗ) није био „погођен” ефектом друге независне варијабле (пол ученика) на зависну варијаблу (Pallant, 2010). За потребе овог истраживања, тумачење се може преформулисати на следећи начин: примена СЗ као инструкционог метода је била погодна за оба пола у оквиру експерименталне групе, док је традиционални приступ био пуно мање погодан за оба пола у контролној групи, сагледавајући нивое уложеног менталног напора током решавања ЛЗ на тесту знања.

**Табела 16.** Резултати *t*-теста за ментални напор према полу испитаника у ЛЗ у оквиру експерименталне и контролне групе у фази претходног истраживања

Група	Пол ученика	М (%)	df	Интервал поверења		<i>t</i>	p
				Нижи	Виши		
Е	Мушки	3.75	29	-0.26	0.63	0.828	0.414
	Женски	3.57					
К	Мушки	4.30	29	-0.12	0.87	1.557	0.130
	Женски	4.02					

Да би се надаље установило да ли наведено тумачење одговара обема групама ученика, примењен је *t*-тест (табела 16). Резултати *t*-теста су потврдили да не постоји значајна разлика међу половима у нивоима уложеног менталног напора током решавања ЛЗ, нити у експерименталној, нити у контролној групи (Е:  $M(\text{мушки пол})=3.75$ ,  $M(\text{женски пол})=3.57$ ; К:  $M(\text{мушки пол})=4.30$ ,  $M(\text{женски пол})=4.02$ ), пошто интервали поверења поседују вредност 0.00, *p*-вредности су веће од 0.05, док су добијене *t*-тести мање од критичне  $t_c$ -вредности, посматрајући их у плус скали ( $t_c=2.045$ , за  $df=29$  и  $\alpha=0.05$ ). Наведени резултати су такође приказани и графички, на слици 32.



Слика 32. График двосмерне АНОВЕ за ментални напор ученика експерименталне и контролне групе у ЛЗ у фази претходног истраживања

#### 4.1.2.2. Ментални напор ученика у СЗ у фази претходног истраживања

Четврти истраживачки задатак ове докторске дисертације за фазу претходног истраживања јесте сагледавање утицаја системичког и традиционалног приступа на нивое уложеног менталног напора ученика обе групе и оба пола током решавања СЗ. У том циљу, дискутовани су основни статистички параметри, резултати двосмерне АНОВА анализе, као и резултати  $t$ -теста.

Посматрајући основне статистичке параметре из табеле 17, примећује се да се средње вредности уложеног менталног напора током решавања СЗ, у оквиру експерименталне групе ученика, крећу у распону од 3.33 до 7.00, а у контролној групи од 4.33 до 7.00. Најниже вредности уложеног менталног напора бележе испитаници женског пола из експерименталне групе (4.42, на Ликертовој скали „ни тешко ни лако”), при чему су ти резултати праћени највишим постигнућем ове подгрупе испитаника у СЗ. Са друге стране, највише вредности менталног напора забележене су код испитаника мушког пола из контролне групе (5.48, на Ликертовој скали „тешко”), при чему је претходно установљено да управо та подгрупа испитаника остварује најниже постигнуће у СЗ. Да би се испитала статистичка значајност разлике у уложеном менталном напору између ученика експерименталне и контролне групе, као и између испитаника различитог пола, размотрени су резултати двосмерне АНОВЕ (табела 18).

**Табела 17.** Дескриптивни статистички параметри за ментални напор ученика експерименталне и контролне групе у СЗ у фази претходног истраживања

Група	Пол	Број	М	СД	Мин	Макс
Е	Мушки	19	5.23	0.97	4.00	7.00
	Женски	12	4.42	0.60	3.33	5.00
К	Мушки	21	5.48	0.86	4.33	7.00
	Женски	10	5.17	0.71	4.33	6.67

Резултати двосмерне анализе варијансе показали су да је главни ефекат за инструкциони метод као независну варијаблу статистички значајан ( $F(1, 61)=5.038$ ,  $p=0.029$ ,  $p<0.05$ ), на шта указује чињеница да су ученици експерименталне групе улагали мањи ментални напор током решавања СЗ од ученика контролне групе. Иако средње вредности менталног напора за обе разматране групе ученика одговарају тврдњи „*тешко*” на седмостепеној Ликертовој скали, вредност за експерименталну групу је испод 5 ( $M(E)=4.91$ ), док је за контролну групу изнад 5 ( $M(K)=5.38$ ). Да би се установила јачина статистички значајне разлике, израчунат је додатни показатељ: величина ефекта, односно Cohen-ов  $f$  коефицијент, чија вредност од 0.40 указује на то да је статистичка разлика у менталном напору ученика експерименталне и контролне групе велика.

Други главни ефекат, за пол ученика као независну варијаблу, такође је статистички значајан ( $F(1, 61)=6.354$ ,  $p=0.014$ ,  $p<0.05$ ). Разматрајући вредност Cohen-овог  $f$  коефицијента, који износи 0.33, величина ефекта пола ученика на ментални напор карактерише се као средња, при чему, решавајући СЗ, испитаници мушког пола улажу већи ментални напор од испитаника женског пола ( $M(\text{мушки пол})=5.36$ ;  $M(\text{женски пол})=4.76$ ). Chang и Yang (2010) примењују термин „*когнитивно преоптерећени*”, дискутујући резултате студије о уложеном менталном напору ученика средњошколског узраста, током решавања online задатака из географије. Примењујући наведено на резултате овог истраживања, могло би се рећи да су испитаници мушког пола били когнитивно преоптерећени током решавања СЗ. Прецизније, ослањајући се на радове Maуег-а и Moreno-а (2003) и Wernart-а (2013), закључујемо да су сложени когнитивни процеси, који су неопходни за решавање ове врсте задатака, премашили капацитет радне меморије (расположиви когнитивни капацитет) и довели до тога да испитаници мушког пола улажу велики ментални напор да би их решили.



**Табела 18.** Резултати двосмерне АНОВА анализе за ментални напор ученика у СЗ у фази претходног истраживања

Извор варијације	Сума квадрата	df	Средина квадрата	F	p
Инструкциони метод (А)	3.513	1	3.513	5.038	0.029*
Пол (Б)	6.354	1	6.354	6.354	0.014*
А*Б	0.888	1	0.888	1.274	0.264

\* $p < 0.05$

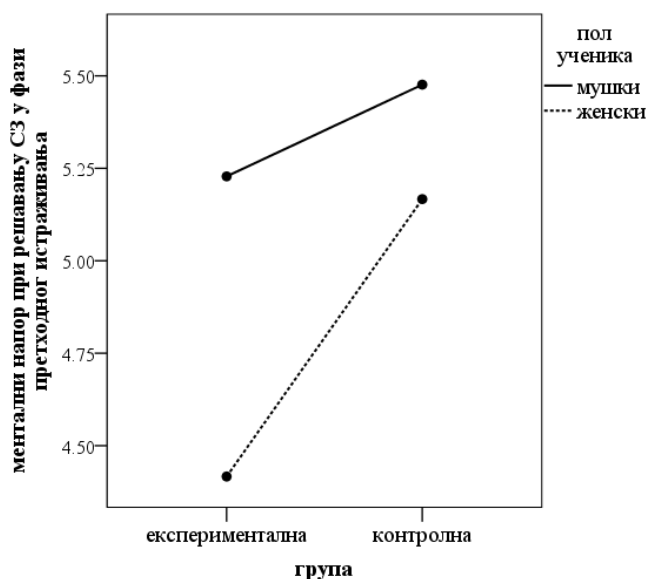
Да би се установило да ли наведена разлика у менталном напору међу половима задовољава обе групе ученика, размотрен је интеракциони ефекат: инструкциони метод\*пол. Посматрајући податке из табеле 18, закључује се да не постоји статистички значајна интеракција између две разматране варијабле ( $F(1, 61)=1.274$ ,  $p=0.264$ ,  $p>0.05$ ) и може се тумачити тиме да је системички приступ погодан за оба пола испитаника експерименталне групе, док је са друге стране, традиционални приступ пуно мање погодан за оба пола контролне групе. Ипак, посматрајући график са слике 33, можемо уочити да је системички приступ примењен у експерименталној групи ученика био погоднији за испитанике женског него мушког пола. Да би се та разлика потврдила статистички, примењен је  $t$ -тест. Резултати  $t$ -теста (табела 19) су потврдили чињеницу да су у оквиру експерименталне групе испитаници женског пола мање когнитивно оптерећени у току решавања системичких задатака него испитаници мушког пола ( $M(\text{мушки пол})=5.23$  – „*тешко*“;  $M(\text{женски пол})=4.42$  – „*ни тешко ни лако*“), пошто интервал поверења не садржи вредност 0.00,  $p$ -вредност је мања од 0.05, док је добијена  $t$ -вредност већа од критичне  $t_c$ -вредности, посматрајући их у плус скали ( $t_c=2.045$ , за  $df=29$  и  $\alpha=0.05$ ). Величина ефекта (Cohen-ов  $d=1.00$ ) показује да се поменуте полне разлике могу схватити као велике.

Са друге стране, у оквиру контролне групе ученика није пронађена статистички значајна разлика у уложеном менталном напору међу половима ( $M(\text{мушки пол})=5.48$  – „*тешко*“;  $M(\text{женски пол})=5.17$  – „*тешко*“), пошто интервал поверења садржи вредност 0.00,  $p$ -вредност је већа од 0.05, док је добијена  $t$ -вредност мања од критичне  $t_c$ -вредности, посматрајући их у плус скали ( $t_c=2.045$ , за  $df=29$  и  $\alpha=0.05$ ). Тиме се може приметити да је разлика у менталном напору међу половима, приказана као други главни ефекат двосмерне АНОВЕ, резултат разлике у полу у оквиру експерименталне групе.

**Табела 19.** Резултати *t*-теста за ментални напор према полу у СЗ у оквиру експерименталне и контролне групе у фази претходног истраживања

Група	Пол ученика	М	df	Интервал поверења		<i>t</i>	p
				Нижи	Виши		
Е	Мушки	5.23	29	0.17	1.45	2.577	0.010*
	Женски	4.42					
К	Мушки	5.48	29	-0.06	1.17	1.843	0.076
	Женски	5.17					

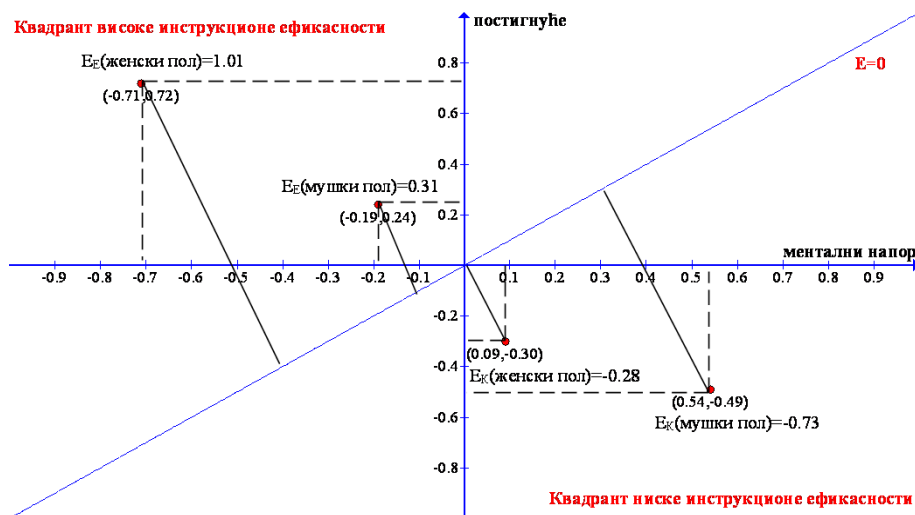
\* $p < 0.05$



**Слика 33.** График двосмерне АНОВЕ за ментални напор ученика експерименталне и контролне групе у СЗ у фази претходног истраживања

#### 4.1.3. Приказ инструкционе ефикасности за системички приступ и традиционалну наставу у фази претходног истраживања

Са циљем обезбеђивања бољег показатеља квалитета исхода процеса учења и обучавања применом различитих инструкционих метода погодно је комбиновати мерења ученичког постигнућа и менталног напора (Van Gog и Paas, 2008). Развијајући математички модел који комбинује поменуте две варијабле, Paas и van Merriënboer (1993) су га назвали метод израчунавања инструкционе ефикасности. Овај приступ захтева стандардизацију вредности постигнућа и менталног напора, свођењем на  $z$ -вредности за постигнуће ( $P$ ) и  $z$ -вредности за ментални напор ( $R$ ). У оквиру овог истраживања  $z$ -вредности су добијене применом софтверског пакета IBM SPSS Statistics 19, при чему су добијене вредности уношене у формулу за израчунавање инструкционе ефикасности:  $E=(P-R)/\sqrt{2}$  (Tuovinen и Paas, 2004). При томе су скорови за постигнуће ( $P$ ) разматрани као збир скорова за постигнуће у ЛЗ и СЗ, док су вредности за ментални напор ( $R$ ) разматране као збир вредности менталног напора у току решавања ЛЗ и СЗ. Тиме су добијене следеће вредности за инструкциону ефикасност: испитаници мушког пола у експерименталној групи  $E_E(\text{мушки пол})=0.31$ ; испитаници женског пола у експерименталној групи  $E_E(\text{женски пол})=1.01$ ; испитаници мушког пола у контролној групи  $E_K(\text{мушки пол})=-0.73$ ; испитаници женског пола у контролној групи  $E_K(\text{женски пол})=-0.28$ .



Слика 34. Приказ релативне инструкционе ефикасности за системички приступ ( $E_E(\text{мушки пол})$ ;  $E_E(\text{женски пол})$ ) и традиционалну наставу ( $E_K(\text{мушки пол})$ ;  $E_K(\text{женски пол})$ ) за фазу претходног истраживања

График са слике 34 приказује врло значајне релације између ученичког постигнућа, менталног напора и инструкционе ефикасности (Tuovinen и Raas, 2004). Вредност релативне инструкционе ефикасности за сваку разматрану групу (на пример, испитаници женског пола у експерименталној групи,  $E_E$  (женски пол)) представљена је тачком која се налази на одређеном растојању од линије нулте ефикасности ( $E=0$ ) и лоцирана је или у горњем левом квадранту, или у доњем десном квадранту. У овој студији, у фази претходног истраживања, висока инструкциона ефикасност је забележена у експерименталној групи ученика оба пола, при чему су високе вредности постигнућа праћене ниским вредностима уложеног менталног напора, па су добијене вредности инструкционе ефикасности у плус скали (према Tuovinen и Raas, 2004), односно тачке инструкционе ефикасности су смештене у горњем левом квадранту (слика 34). Са друге стране, ниска инструкциона ефикасност је забележена у контролној групи ученика, такође код оба пола, при чему су релативно ниске вредности постигнућа праћене високим вредностима уложеног менталног напора, а добијене вредности инструкционе ефикасности су у минус скали, односно тачке инструкционе ефикасности су смештене у доњем десном квадранту на графику са слике 34.

Иако је примена СЗ као инструкционог метода била погодна за оба пола ученика из експерименталне групе, приказ инструкционе ефикасности је још једном потврдио да је овај приступ ипак био погоднији за испитанике женског него за испитанике мушког пола.

#### ***4.1.4. Евалуација ученичког смисленог разумевања у фази претходног истраживања***

Основни циљ ове фазе истраживања био је развој и процена ефикасности СЗ као алата за евалуацију ученичког смисленог разумевања. У току развоја, односно конструкције инструмента, као и у току саме интерпретације добијених резултата, размотрен је „*Pellegrin-ов троугао евалуације знања*” (Pellegrino, Chudowsky и Glaser, 2001). Овај модел је разматран у многим радовима у пољу природних наука (на пример, Allchin, 2011; Liu, Lee, Hofstetter и Linn, 2008; Vendlinски и Stevens, 2002), као модел евалуације који ставља акценат на комплексно мишљење и удаљава се од традиционалне евалуације знања применом алата који од ученика најчешће захтевају присећање научних концепата (Liu и др., 2008). Као кључне компоненте свог модела евалуације, Pellegrino и сарадници (2001) наводе:

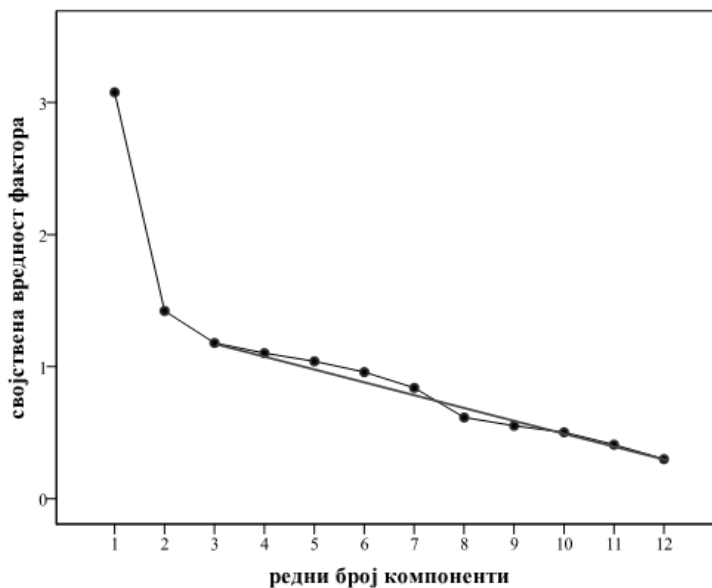
- (1) разматрање когнитивних модела ученика (когнитивне стратегије и когнитивни стилови);
- (2) одабир типа процењивања знања који ће обезбедити адекватне доказе о ученичким стекнутим компетенцијама (адекватан дизајн алата);
- (3) адекватна интерпретација прикупљених података (резултата) да би се исти могли сматрати смисленим.

Ови аутори истичу чињеницу да евалуација у пољу природних наука не може бити ефикасна без разматрања поменутих три елемента. Тако је разматрање когнитивних модела битно пошто они рефлектују начине на који ученици усвајају концепте из разматраног домена (у овом истраживању

смислено и механичко учење), као и развијене способности (компетенције) ученика које су од значаја у разматраном домену (Pellegrino и др., 2001). Поред тога, инструмент евалуације треба да буде дизајниран са циљем мерења помнутих способности ученика, а сама интерпретација резултата мора бити у складу и са дизајном инструмента и са ученичким когнитивним моделима.

Сагледавајући елементе Pellegrino-вог троугла евалуације ученичког знања (2001), конструисан је тест знања који садржи два различита типа задатака: ЛЗ и СЗ. Овај тест конструисан је да би се испитало који задаци представљају ефикасне алате за евалуацију ученичког смисленог разумевања, односно за евалуацију виших когнитивних процеса. Ефикасност задатака теста процењена је експлораторном факторском анализом (ЕФА).

Првобитно примењена принципијелна компонентна анализа резултовала је екстраховањем пет фактора са својственим вредностима већим од 1 (Kaiser-ов критеријум одређивања броја фактора: Costello и Osborne, 2005), чиме је објашњено 65 % варијансе. Међутим, scree-plot анализом, односно применом Cattell-овог дијаграма својствених вредности фактора, екстрахована су два значајна фактора (слика 35: две тачке изнад подвучене праве), што објашњава 38 % варијансе.



Слика 35. Cattell-ов дијаграм својствених вредности фактора (scree plot анализа) за резултате у фази претходног истраживања

Факторска оптерећења су приказала релативну јасну факторску структуру, која је подржала димензионалан модел. Током интерпретације фактора, као минимална прихватљива вредност факторског оптерећења разматрана је вредност од 0.32 (Tabachnick и Fidell, 1996). Као што се види из табеле 20, магнитуде обележених фактора су задовољавајуће, пошто се крећу у распону од 0.34 до 0.69. За даљу интерпретацију резултата факторске анализе, први фактор је окарактерисан као „*смислен*”, а други као „*механички*”, у складу са радовима Vachliotis и сарадници (2011) и Tzougraki и сарадници (2014), који су такође спровели истраживање са циљем развоја и процене СЗ као алата за евалуацију ученичког смисленог разумевања у средњошколској настави органске хемије. Током одређивања која група задатака је погоднија да буде окарактерисана као смислена, а која као механичка, ова група аутора је разматрала саму структуру задатака, као и сложеност њихових захтева.

**Табела 20.** Карактеризација фактора и факторска оптерећења за задатке теста знања у фази претходног истраживања

Редни број задатка	„Смислени” фактор	„Механички” фактор
З <sub>1</sub>	0.17	<b>0.45</b>
З <sub>2</sub>	0.10	<b>0.34</b>
З <sub>3</sub>	0.23	<b>0.57</b>
З <sub>4</sub>	0.06	<b>0.63</b>
З <sub>5</sub>	<b>0.62</b>	0.20
З <sub>6</sub>	<b>0.46</b>	-0.41
З <sub>7</sub>	<b>0.53</b>	-0.20
<b>З<sub>8</sub></b>	<b>0.64</b>	<b>0.37</b>
З <sub>9</sub>	0.12	-0.45
<b>З<sub>10</sub></b>	<b>0.58</b>	<b>0.41</b>
З <sub>11</sub>	<b>0.67</b>	0.05
<b>З<sub>12</sub></b>	<b>0.69</b>	0.22

**Системички задаци.** Након примене експлораторне факторске анализе сви системички задаци (З<sub>8</sub>, З<sub>10</sub>, З<sub>12</sub>) су окарактерисани као „смислени” (табела 20), при чему је на основу вредности оптерећења надаље одређена јачина њихове повезаности са смисленим фактором. Tabachnick и Fidell (1996) наводе следећу градацију повезаности:

- (1) факторска оптерећења  $\geq 0.71$  указују на одличну повезаност варијабле са фактором,
- (2) факторска оптерећења од 0.63 – 0.70 указују на јако добру повезаност варијабле са фактором,
- (3) факторска оптерећења од 0.55 – 0.62 указују на добру повезаност варијабле са фактором,
- (4) факторска оптерећења од 0.45 – 0.54 указују на задовољавајућу повезаност варијабле са фактором,
- (5) факторска оптерећења од 0.32 – 0.44 указују на ниску повезаност варијабле са фактором.

На основу смерница из рада Tabachnick-а и Fidell-а (1996),  $Z_8$  и  $Z_{12}$  су јако добро повезани са „смисленим” фактором, док је  $Z_{10}$  добро повезан са „смисленим” фактором. Даља дискусија резултата ће прво бити усмерена на системички задатак  $Z_8$ , који поред чињенице да је јако добро повезан са „смисленим” фактором, такође показује и ниску повезаност са „механичким” фактором (табела 20). Vachliotis и сарадници (2011) наглашавају да је теоријски прихватљиво да неки задаци буду повезани са оба фактора. Та појава није изненађујућа када се осврнемо на Ausubel-ову тврдњу да разлика између смисленог и механичког није апсолутна – то су две врсте учења које се налазе на супротном полу континуума (Ausubel, 1977). Тај континуум примећен је код  $Z_8$  (Прилог 7.5) који има два основна захтева. Полазећи од 2-метилпропена, алкена чија структура није приказана у уџбенику, ученици су требали да доврше хемијску једначину адиције  $\text{HBr}$  уписивањем формуле непознатог једињења А у празно поље. Разматрајући Henningsen-ову и Stein-ову (1997) класификацију когнитивних захтева, као и Zoller-ову и Tsaparlis-ову (1997) класификацију когнитивних способности, први део овог захтева (писање рационалне структурне формуле 2-метилпропена) био је повезан са смисленим фактором пошто се односио на примену стеченог знања (писање рационалних структурних формула алкена) у непознатој, новој ситуацији (проблему). Поред тога ученици су морали да обрате пажњу на само значење концепата (на пример, број C-атома у молекулу, њихова валенца, положај двоструке везе и положај метил групе). Након писања формуле 2-метилпропена, ученици су требали да доврше хемијску једначину адиције бромоводоника на то једињење, поштујући Марковниковљево правило. Овај део првог захтева може бити делимичко повезан са „механичким” фактором, пошто је адиција хлороводоника на пропен приказана у уџбенику, тако да су ученици могли применити познату процедуру, а да при томе не обраћају пажњу на право значење концепата (механичка примена познате процедуре). Други захтев задатка  $Z_8$  састојао се из две повезане реакције: (а) реакција између једињења А (2-бром-2-метилпропан) и разблаженог раствора калијум-хидроксида и (б) дехидратација једињења Б (2-метил-2-пропанол, терцијарни алкохол) загревањем у присуству концентроване сумпорне киселине. Обе наведене реакције су приказане у уџбенику, али су се ти прикази односили на друга једињења. Прва реакција (реакција под а) је приказана на хлоретану са разблаженим раствором натријум-хидроксида, а друга (реакција под б) на етанолу (примарном алкохолу). На основу изнетог, може се закључити да је други део задатка  $Z_8$  повезан са „смисленим” фактором, јер су ученици морали да реконструишу своје базе знања са циљем повезивања већег броја познатих процедура, а поред тога, такође су морали критички да процене проблем и да креирају решење проблема, сагледавајући значење и карактеристике концепата (на пример, структуру реактанта и производа и реакционе услове).

Слични закључци се могу извести и за задатак  $Z_{10}$  (Прилог 7.5), који је био добро повезан са „смисленим” фактором и ниско повезан са „механичким” фактором. Први захтев овог задатка односио се на одређивање структуре и ИУРАС-овог назива за непознато једињење X, које реагује са два молекула водоника у присуству платине као катализатора, дајући етан. Иако ова реакција није била приказана у уџбенику, наставник је скренуо пажњу ученицима на ту реакцију у току понављања градива (Прилог 7.1, системички задатак број 5). Међутим, наставник при томе као полазно једињење није применио етин, него пропин. Да би испунили овај захтев задатка  $Z_{10}$ , ученици су морали применити

(ангажовати) комплексне стратегије мишљења и резоновања: предвиђање „идентитета” непознатог једињења X упоређивањем поменуте реакције са реакцијом адиције хлора на етин, или са реакцијом адиције водоника на етен. При томе ученик мора да зна и реакцију потпуне адиције водоника на пропин. Према томе овај захтев задатка  $Z_{10}$  је повезан са „смисленим” фактором. Међутим, други захтев овог задатка може бити повезан са „механичким” фактором, пошто је адиција водоника на непознато једињење Y (етен) била приказана у уџбенику, а такође је била укључена у току понављања градива из одабране наставне теме (Прилог 7.1, системички задатак број 1). Да би испунили овај захтев задатка, ученици су могли да се ослоне на механичку меморизацију концепата, без ангажовања виших (комплекснијих) стратегија мишљења и резоновања. Са истим фактором се може повезати први део трећег захтева задатка  $Z_{10}$ : адиција хлора на непознато једињење Y (етен) да би се добило једињење Z (1,2-дихлоретан). Хемијска једначина ове реакције приказана је у уџбенику у потпуно истом облику. Међутим, други део трећег захтева, реакција једињења Z са два молекула натријум-хидроксида из концентрованог раствора, морао би бити повезан са „смисленим” фактором. У овом делу задатка ученици су могли применити познате процедуре: једначина реакције 2,3-дибромбутана са два молекула калијум-хидроксида из концентрованог раствора била је приказана у уџбенику, док је у току понављања иста реакција била приказана на примеру 1,2-дихлорпропана. Међутим, ученици су морали обратити пажњу на следеће: уместо калијум-хидроксида, у задатку је био укључен натријум-хидроксид, а број C-атома у молекулима поменутих једињења је различит.

За разлику од задатака  $Z_8$  и  $Z_{10}$ , задатак  $Z_{12}$  је био повезан са „смисленим” фактором, али није био повезан са „механичким” фактором. На први поглед то може бити збуњујуће, пошто попут задатка  $Z_{10}$ , и задатак  $Z_{12}$  такође поседује два захтева, односно две реакције које су приказане у уџбенику: реакција између брома и метана у присуству светлости и контролисана оксидација метана на  $1500\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Због тога би тај задатак могао бити повезан са „механичким” фактором. Трећи захтев, кога чине два дела, може бити повезан са „смисленим” фактором, пошто већ поменута реакција адиције два молекула водоника на молекул етина није приказана у уџбенику, док је реакција два молекула непознатог једињења 3 (бромметан) са два атома натријума у циљу добијања једињења 2 (етан) - *Wurtz-ова реакција* - приказана у уџбенику, али полазећи од другог једињења (1-хлорбутана). Поред тога, *Wurtz-ова реакција* је приказана у уџбенику једино у оквиру хемијских својстава алкил-халогенида, али није приказана као метод добијања алкана. На основу тога се закључује да су ученици морали сагледати реакцију између алкил-халогенида и натријума као метод добијања алкана, или другим речима, морали су сагледати јасне везе између алкана и алкил-халогенида. Али, и даље остаје питање зашто је задатак  $Z_{12}$  повезан само са „смисленим” фактором? Могуће је да је за ангажовање комплексних когнитивних процеса, поред чињенице да захтев задатка није приказан у уџбенику у потпуно истом облику (што доводи до једноставног присећања концепата), јако битно сагледати природу релација међу концептима. На основу тога се може закључити да иако је контролисана оксидација метана била приказана у уџбенику, у системичком задатку  $Z_{12}$  ова реакција је била повезана са адицијом водоника на етин у циљу добијања етана. Тако да је цео процес започео са метаном чији молекул садржи један C-атом, а завршава се са етаном чији молекул садржи два C-атома. Или, сагледавајући



дијаграм у другом смеру, полазећи од метана, након извођења две повезане реакције: (а) реакција између брома и метана у циљу добијања бромметана, и (б) реакција између два молекула бромметана и два атома натријума, поново се добија етан. У овом системичком задатку, за разлику од претходна два, ученици су се суочили са органским једињењима који поседују различити број С-атома, а не само са различитим класама угљоводоника.

Може се уопштено закључити да системички задаци могу бити ефикасни алати за евалуацију ученичког смисленог разумевања ако су конструисани на одговарајући начин. Ученици ће ангажовати више стратегије мишљења и резонувања у току решавања системичких задатака, када системички задаци укључују концепте који нису приказани у уџбенику или од стране наставника у потпуно истом облику. У том случају избегава се механичка репродукција концепата. Друга важна компонента системичких задатака је комплексност релација у њима. Комплексност дијаграма као битна одлика ове врсте задатака је претходно поменуто у радовима Tzougraki-јеve и сарадника (2014) и Vachliotis-а и сарадника (2011). Поред комплексности задатка, ова група аутора је навела и другу кључну карактеристику оваквих дијаграмских задатака. Они треба да буду „мање директни”. То значи да ове задатке карактеришу виши когнитивни захтеви и да би их успешно решили, ученици треба да ангажују когнитивне способности вишег реда (Vachliotis и др., 2014):

- (1) **Анализа:** Сагледавање природе фундаменталних компоненти концептуалног модела од интереса, који чине концепти и релације међу њима;
- (2) **Синтеза:** Сагледавање субсистема – одређени број концепата је међусобно повезан наглашеним релацијама и гради субсистем који је део целине, односно концептуалног система;
- (3) **Евалуација:** Сагледавање начина на који су сви субсистеми међусобно повезани у целину.

Сматра се да је системички задатак  $Z_{12}$  задовољио све наведене захтеве и тиме је окарактерисан као изузетно ефикасан алат за евалуацију ученичког смисленог разумевања у пољу средњошколске наставе органске хемије.

**Линеарни задаци.** Посматрајући факторска оптерећења за линеарне задатке (табела 20) дошли смо до закључка да су четири од њих повезани са „смисленим” фактором, четири са „механичким” фактором, док задатак  $Z_9$  није повезан нити са једним фактором.

$Z_1$ ,  $Z_3$  и  $Z_4$  који су редом задовољавајуће, добро и веома добро повезани са „механичким” фактором, у тесту знања су приказани као задаци вишеструког избора са три понуђена решења. Резултати факторске анализе су указали на недостатке примене овог типа задатака као алата за евалуацију ученичког знања, што је претходно било установљено и у студији коју су спровели Tzougraki и сарадници (2014). Denyer и Hancock (2002) називају овај облик евалуације „механичка евалуација” пошто доводи до једноставне репродукције хемијских чињеница. Као разлог томе, ова два аутора истичу везу између евалуације знања ученика и њихових стилова (стратегија) учења. Ту везу тумаче тиме да примена механичке евалуације знања подстиче ученике на површински приступ учењу, односно на примену непожељних облика учења, као што је на пример механичко запамћивање (Denyer и Hancock, 2002; Scalise

и Gifford, 2006). Тиме ови алати за евалуацију истовремено одвраћају ученике од примене когнитивних процеса вишег реда: анализирати, евалуирати и креирати (Krathwohl, 2002). Поред тога, као озбиљан недостатак овог облика евалуације, наводи се могућност погађања тачног одговора (Denyer и Hancock, 2002). Надаље, потребно је нагласити да је поред задатака  $Z_1$ ,  $Z_3$  и  $Z_4$  и задатак  $Z_9$  био приказан као задатак вишеструког избора у тесту знања (Прилог 7.5). Као што је претходно поменуто, овај задатак није повезан нити са „смисленим”, нити са „механичким” фактором. Основна разлика између ова четири задатка јесте у томе што задаци  $Z_1$ ,  $Z_3$  и  $Z_4$  поседују три понуђена решења, док  $Z_9$  поседује четири понуђена решења. Да би се објаснио овај резултат, сагледана је тврдња Roediger-а и Marsh-а (2005), који наводе да уколико задаци вишеструког избора поседују више алтернативних решења ученицима је теже да се одреде за тачан одговор и чешће греше у избору одговора. Можда је управо због разлике у броју алтернативних решења, задатак  $Z_9$  није сврстан под исти фактор као остали задаци вишеструког избора.

Задатак  $Z_2$  који припада групи задатака допуњавања, показао је ниску повезаност са „механичким” фактором (табела 20). Као главни разлог повезаности овог задатка са механичким фактором може се истаћи чињеница да овај тип задатака углавном од ученика захтева присећање основних концепата (мери перформансе нижег реда), пошто ученици треба да напишу једну реч или две, или кратку фразу (Osterlind, 2002; Sparzo, 1990). Поред тога, задатак  $Z_2$  је пружио ученицима пуно информација (реактанте, реакционе услове и један од производа) и тиме они нису морали да ангажују когнитивне процесе вишег реда да би написали структуру другог производа. Међутим,  $Z_6$  и  $Z_{11}$ , који су такође приказани као задаци допуњавања, били су повезани са „смисленим” фактором ( $Z_6$ : задовољавајуће повезан;  $Z_{11}$ : јако добро повезан). Основна разлика између задатака  $Z_6$ ,  $Z_{11}$  („смислени”) и  $Z_2$  („механички”) јесте у броју захтева. Као што је претходно поменуто,  $Z_2$  је имао један захтев, док су  $Z_6$  и  $Z_{11}$  имали редом два, односно три захтева. Sparzo (1990) наглашава да се задаци допуњавања углавном конструишу тако да имају један, или евентуално два празна поља за допуњавање, пошто се ученици много теже сналазе уколико задатак има више од два празна поља. Многи ученици нису у могућности да сагледају целину у таквом задатку и не успевају да га реше ангажовањем искључиво нижих когнитивних процеса. Као један од закључака свог истраживања, Tzougraki и сарадници (2014) истичу чињеницу да линеарне задатке који прате модел секвенционалних захтева карактерише релативно повећање „смисленог” карактера. Уз то, три повезана захтева (концепта) могу наградити системички задатак (Fahmy и Lagowski, 2012), па самим тим не изненађује чињеница да је задатак  $Z_{11}$  јако добро повезан са „смисленим” фактором.

На крају, задаци  $Z_5$  и  $Z_7$  који представљају есејске задатке, такође су били повезани са „смисленим” фактором ( $Z_5$ : добро повезан;  $Z_7$ : задовољавајуће повезан). Према Мауег-у (2002), да би решили есејске задатке, ученици морају да идентификују природу проблема и да темељно анализирају проблем, при чему ови задаци не могу бити решени применом механичког учења. Решавање есејског задатка захтева дубоко разумевање разматраног домена (Sparzo, 1990), при чему елементи знања о том домену морају бити на одговарајући начин повезани у дугорочној меморији да би се такво знање могло применити у току решавања новог проблема (Reid и Yang, 2002).

#### 4.1.5. Испитивање ученичких способности системског мишљења у фази претходног истраживања

Након што су применом факторске анализе СЗ процењени као ефикасни алати за евалуацију ученичког смисленог разумевања, следећи задатак овог истраживања био је да се испитају ученичке вештине системског мишљења применом поменутих алата. Анализа је спроведена следећи смернице из радова Vachliotis-а и сарадника (2014) и Tzougraki-јеве и сарадника (2014), са циљем успостављања јасних релација између две разматране примене СЗ: као инструкционог метода и као алата за евалуацију ученичког смисленог разумевања. Као инструкциони метод високе ефикасности, СЗ треба да испуне два основна захтева (Hung, 2008):

- (1) да редукују ниво когнитивног оптерећења које је наметнуто комплексношћу задатка и/или разматраног домена, и
- (2) да помогну ученицима да развију способност сагледавања релација међу фундаменталним компонентама система – да развију интегративно разумевање разматраног система на концептуалан и системски начин.

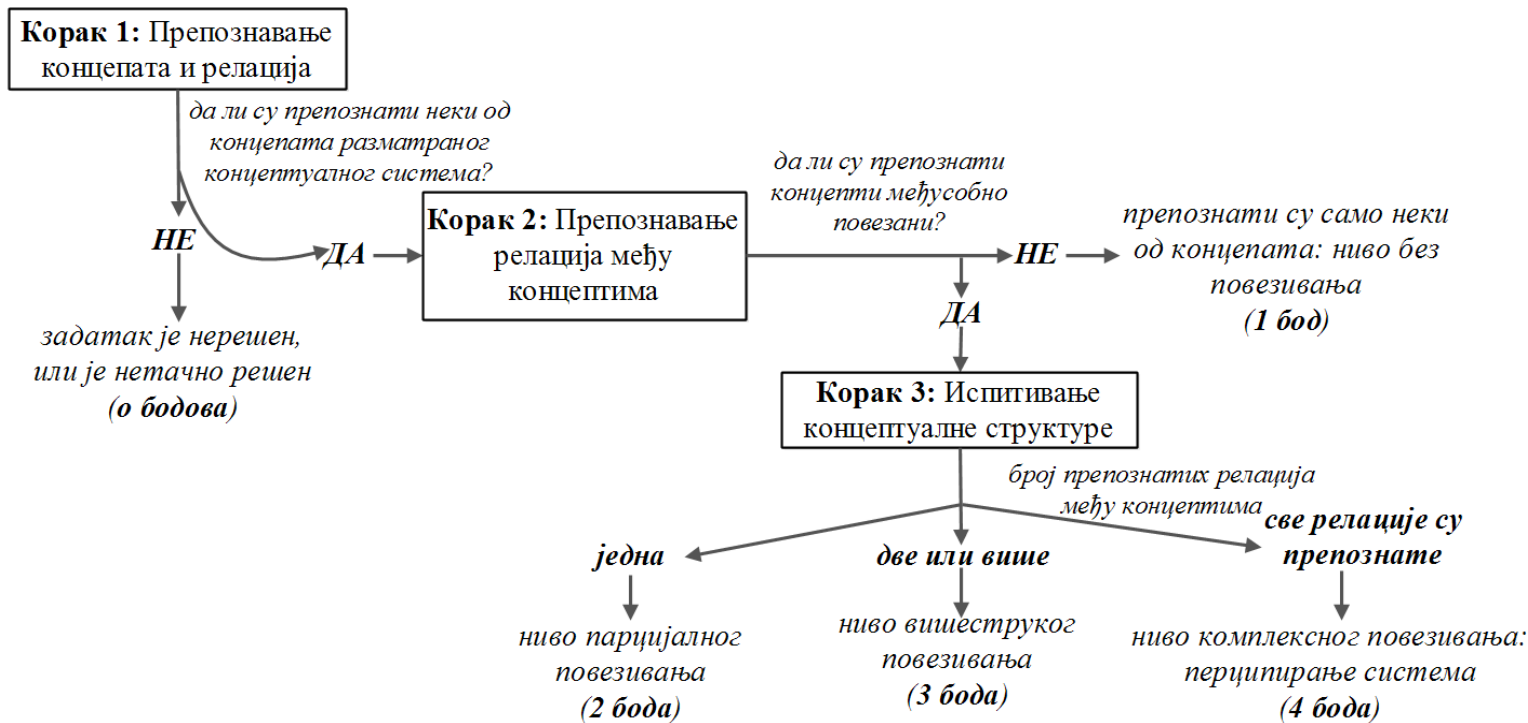
Пошто је претходно утврђено да СЗ задовољавају први захтев (редукују когнитивно оптерећење), потребно је да се испита њихова улога код развоја ученичких способности системског мишљења.

Сам конструкт системског мишљења може се размотрити као процедура која прати три главна корака (Tzougraki и др., 2014):

- (1) Идентификовање (препознавање) појединачних концепата и/или релација у оквиру разматраног концептуалног система;
- (2) Уочавање релација између два или више концепата, формирањем одговарајућих субсистема;
- (3) Уочавање свих релација међу концептима (и међу субсистемима), уз сагледавање система као смислене целине.

Да би се нивои системског мишљења довели у везу са ученичким постигнућем у СЗ који су одабрани као алати за ту намену, праћена је схема вредновања ученичких одговора која је приказана на слици 36, а коју су развили Vachliotis и сарадници (2014). Направљене измене у односу на оригиналну схему сагледавају се у корацима 2 и 3. У оригиналној верзији, други идентификациони корак састојао се из два нивоа: ниво без повезивања, окарактерисан тиме да су ученици препознали неке појединачне концепте или релације, и други ниво, или ниво парцијалног повезивања, који је захтевао од ученика препознавање и неких концепата и неких релација. Пошто се захтеви наших задатака разликују од СЗ које су конструисали Vachliotis и сарадници (2014) по томе што се од ученика тражило да препознају концепте, док су релације биле назначене, други корак је садржао само један ниво – ниво без повезивања, и бодован је 1 бодом. Надаље, у оригиналној схеми (Vachliotis и др., 2014), трећи идентификациони корак обележен је нивоом потпуног повезивања, који се односио на препознавање једне релације међу концептима (грађење концептуалног субсистема). У нашем раду овај ниво је назван нивоом

парцијалног повезивања, и бодован је са 2 бода. Следећи ниво, који се састоји од препознавања већег броја релација међу концептима, у оригиналној верзији је назван нивоом комплексног повезивања, док је у нашем раду окарактерисан као ниво вишеструког повезивања и бодован је са 3 бода. На крају, ниво у коме су ученици успевали да препознају све релације међу концептима јесте системски ниво, који смо ми назвали нивоом комплексног повезивања и који је бодован са 4 бода.

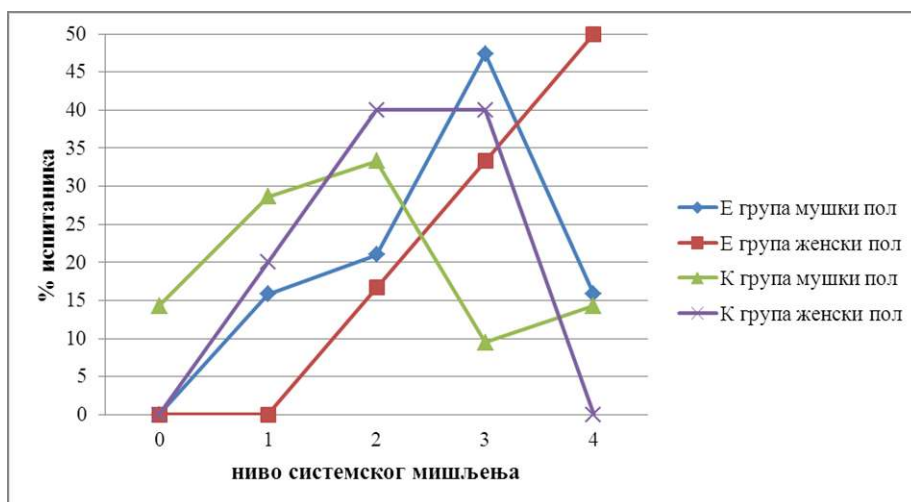


Слика 36. Схема вредновања ученичког постигнућа у С3 према нивоима системског мишљења (прилагођено из Vachliotis и др., 2014)

На основу приказане схеме (слика 36) извршено је бодовање С3 за све ученике експерименталне и контролне групе који су радили тест знања у фази претходног истраживања, разматрајући посебно испитанике мушког и женског пола у обе групе. Након извршеног бодовања, у складу са радом Vachliotis-а и сарадника (2014), прво је размотрена процентуална дистрибуција ученика у обе групе и за оба пола по нивоима системског мишљења (слика 37). При томе је запажено да је велика већина ученика достигла први ниво – ниво препознавања концепата (извођење назива органских једињења и писање рационалних структурних формула). Међутим, ипак треба напоменути да овај ниво нису достигли сви ученици контролне групе, односно 14.3 % ученика мушког пола није успело да савлада препознавање фундаменталних концепата у разматраном концептуалном систему. Ови резултати су у складу са радом Vachliotis-а и сарадника (2014), који су такође нагласили да се само мањи број ученика задржао на нивоу идентификовања појединачних концепата или појединачних релација.

Посматрајући испитанике мушког пола из експерименталне групе, учача се да је највећи проценат ових испитаника (47.4 %) везан за трећи ниво системског мишљења, односно за вишеструко повезивање концепата, док је знатно мање ученика (15.8 %) достигло очекиван четврти ниво – ниво комплексног (потпуног) повезивања. Vachliotis и сарадници (2014) такође истичу да је већина њихових ученика достигла трећи ниво, при чему су били у стању да препознају две или више релација међу разматраним концептима. Ови аутори такође наглашавају да је задовољавајући број ученика који су достигли очекиван четврти ниво, који им је омогућио да препознају све релевантне концепте и све могуће релације, који заједно чине смислену концептуалну целину. Овај закључак следи и из овог истраживања где је чак 50.0 % испитаника женског пола у оквиру експерименталне групе достигло највиши ниво (успешно сагледавање свих релација међу концептима). Уз то, треба напоменути да се ниједна ученица из експерименталне групе није задржала нити на нултом, нити на првом нивоу, што значи да је најнижи достигнут ниво у оквиру ове подгрупе ниво парцијалног повезивања на ком се задржало свега 16.7 % ученица.

Посматрајући контролну групу ученика, највећи проценат испитаника мушког пола (33.3 %) је позициониран код нивоа парцијалног повезивања, препознавајући само једну релацију међу концептима. Hung (2008) назива овај ниво нивоом линеарног повезивања. Знатно мањи број ученика окарактерисан је нивоом вишеструког повезивања (9.5 %) и нивоом комплексног повезивања (14.3 %). Надаље, највећи проценат ученица из контролне групе је такође позициониран код нивоа парцијалног повезивања (40.0 %), али и вишеструког повезивања (40.0 %), док ниједна ученица из те групе није достигла ниво комплексног повезивања, који захтева препознавање свих релација међу концептима приказаног концептуалног система. Као општи закључак за ученике контролне групе, може се изнети чињеница да је ову групу највише окарактерисао ниво линеарног повезивања, а најмање ниво комплексног повезивања.



**Слика 37.** Приказ дистрибуције ученика експерименталне и контролне групе по нивоима системског мишљења у фази претходног истраживања

Да би се статистички установило да ли постоји значајна разлика у способностима системског мишљења између ученика експерименталне и контролне групе (разматрајући оба пола ученика), примењен је непараметријски Mann-Whitney-ев тест упоређивања суме рангова разматраних група (табела 21). Посматрајући први ниво – ниво препознавања концепата, потврђена је претходно поменута чињеница да су ученици обе разматране групе и оба пола успешно достигли тај ниво, пошто није пронађена статистички значајна разлика нити између једне разматране подгрупе ученика. То значи да примена оба инструкциона метода (системички приступ и традиционална настава) једнако успешно омогућавају ученицима да развију способност препознавања концепата у разматраном домену, правилно цртајући рационалне структурне формуле органских једињења („Угљоводоници и халогени деривати угљоводоника”) и именујући их применом IUPAC-ове номенклатуре. До истог закључка смо дошли посматрајући други ниво – ниво парцијалног (линеарног) повезивања концепата, при чему је поново закључено да оба примењена инструкциона метода омогућавају ученицима да сагледају и дефинишу релације између два концепта из разматраног домена.

**Табела 21.** Резултати Mann-Whitney-вог теста за одређивање разлика у нивоима системског мишљења међу ученицима Е и К групе у фази претходног истраживања

Ниво	Е(М)/ Е(Ж)	Е(М)/ К(М)	Е(Ж)/ К(Ж)	К(М)/ К(Ж)
Препознавање концепата	U=114.00 p=1.000	U=171.00 p=0.091	U=60.00 p=1.000	U=90.00 p=0.216
Парцијално повезивање	U=96.00 p=0.154	U=145.50 p=0.065	U=48.00 p=0.112	U=81.00 p=0.221
Вишеструко повезивање	U=81.50 p=0.082	U=121.00 p=0.013*	U=29.00 p=0.011*	U=88.00 p=0.361
Комплексно повезивање	U=75.00 p=0.044*	U=196.5 p=0.896	U=30.00 p=0.010*	U=90.00 p=0.216

\*p<0.05

Статистички значајне разлике се појављују почевши од нивоа вишеструког повезивања. Посматрајући посебно експерименталну и посебно контролну групу, установљено је да су испитаници мушког и испитаници женског пола у оквиру обе групе једнако успешно достигли ниво вишеструког повезивања, односно није установљена статистички значајна разлика у способностима вишеструког повезивања концепата између испитаника мушког и женског пола, нити у оквиру експерименталне (U=81.50, p=0.082, p>0.05), нити у оквиру контролне групе (U=88.00, p=0.361, p>0.05). Међутим, установљено је да примена системског приступа у настави органске хемије доводи до развоја вештина вишеструког повезивања много ефикасније у односу на традиционалну наставу, пошто се већина ученика контролне групе задржала на нивоу линеарног повезивања (76.2 % испитаника мушког пола и 60.0 % испитаника женског пола) и нису успели да достигну ниво вишеструког повезивања. Та чињеница је потврђена и статистички, утврђивањем значајности разлика између испитаника мушког пола експерименталне и контролне групе (U=121.00, p=0.013, p<0.05), а такође и између испитаника женског пола експерименталне и контролне група (U=29.00, p=0.011, p<0.05).

Посматрајући највиши ниво - ниво комплексног повезивања, дошли смо до интересантних запажања. Иако су у оквиру експерименталне групе, оба пола ученика једнако успешно достигла ниво вишеструког повезивања, ниво комплексног повезивања је више карактерисао ученице него ученике (U=75.00, p=0.044, p<0.05). Док је свега 15.8 % ученика у оквиру експерименталне групе успело у потпуности сагледати релације и идентификовати све концепте система, са друге стране, чак 50 % ученица је било успешно на том нивоу системског мишљења. Ово запажање је поново у сагласности са претходно изнетом чињеницом да је примена системског приступа у настави органске хемије погоднија за ученице него за ученике (веће постигнуће код решавања СЗ је праћено нижим нивоима уложеног менталног напора). Овај закључак је додатно ојачан чињеницом да није установљена значајна разлика у способностима системског мишљења на нивоу комплексног повезивања између испитаника мушког пола експерименталне и контролне групе (U=196.5, p=0.896, p>0.05), док су испитаници женског пола у оквиру експерименталне



групе поново биле успешније у односу на испитанике женског пола контролне групе ( $U=30.00$ ,  $p=0.010$ ,  $p<0.05$ ).

## 4.2. Анализа резултата финалног теста знања

### 4.2.1. Утицај инструкционог метода и пола на постигнуће ученика у главној фази истраживања

Овај део истраживања у оквиру главне фазе спроведен је у циљу испитивања утицаја системичког и традиционалног приступа на постигнуће ученика оба пола у току решавања четири подгрупе задатака: изоморфни ЛЗ, аналогни ЛЗ, изоморфни СЗ и аналогни СЗ. Укључивање две додатне подгрупе задатака (изоморфни и аналогни задаци) извршено је са циљем праћења значајних разлика у постигнућу ученика обучаваних различитим инструкционим методама, у задацима са којима су се ученици претходно сусретали током пролазних тестова (изоморфни задаци), као и у задацима са којима ученици нису били претходно суочени (аналогни задаци). У наставку рада биће дат приказ статистичких поступака који су примењени у овом делу рада.

Анализа резултата постигнућа ученика у ЛЗ. Са циљем испитивања ефекта две независне варијабле (инструкциони метод и пол ученика) на две зависне варијабле (постигнуће ученика у изоморфним ЛЗ и постигнуће ученика у аналогним ЛЗ), примењена је двосмерна мултиваријантна анализа варијансе (двосмерна МАНОВА анализа). Двосмерна МАНОВА анализа је примењена на прикупљеним подацима тек након испитивања нормалности расподеле. За испитивање униваријантне нормалности у оквиру обе зависне варијабле, а за сваку независну варијаблу, примењен је Shapiro-Wilk-ов тест. Резултати тог теста су истакли нормалну расподелу у седам од осам разматраних подгрупа, са р-вредностима већим од 0.05 (Прилог 7.10., табела 38). С обзиром на то да само једна подгрупа података не задовољава критеријум нормалне расподеле, по Stevens-у (2009) могуће је применити двосмерну МАНОВА анализу. Поред резултата Shapiro-Wilk-овог теста, разматрани су и стандардизовани коефицијенти асиметрије и спљоштености, који су потврдили нормалну расподелу резултата у оквиру свих разматраних подгрупа, пошто се добијене вредности налазе у распону од -2 до +2 (Прилог 7.10., табела 38).

Надаље, за испитивање мултиваријантне нормалности расподеле података, разматране су вредности Mahalanobis-ове удаљености појединачних вредности од просечних, које су добијене применом  $\chi^2$  дистрибуције (у складу са радом Helton, 2012). У оквиру обе разматране зависне варијабле, утврђена је нормална мултиваријантна расподела, пошто добијене вредности за Mahalanobis-ову удаљеност не прекорачују критичну вредност од 5.99 за  $df=2$ ,  $\alpha<0.05$ .

У циљу провере да ли је одабрани статистички поступак одговарајући за анализу прикупљених података, такође је испитана мултиколинеарност између зависних варијабли, израчунавањем Pearson-овог коефицијента корелације (у складу са радом Helton, 2012). Пошто је добијена  $r$  вредност, која износи 0.66, мања од 0.68, можемо закључити да је и овај критеријум испуњен, пошто

корелација између зависних варијабли није висока, већ одговара средњој јачини корелације (Taylor, 1990) и тиме се не редукује јачина примењеног статистичког поступка.

Последњи разматрани параметри јесу Levene-ов и Воx-ов М тест у оквиру двосмерне МАНОВА анализе. Воx-ов М тест је потврдио хомогеност матрица коваријансе ( $M=4.44$ ,  $F(9, 61775.40)=0.47$ ,  $p=0.895$ ;  $p>0.05$ ), док је Levene-овим тестом потврђена еквивалентност грешке варијансе у оквиру обе зависне варијабле (изоморфни ЛЗ:  $F(9, 61775.40)=0.24$ ,  $p=0.871$ ;  $p>0.05$ , аналогни ЛЗ:  $F=0.70$ ,  $p=0.556$ ;  $p>0.0$ ).

Анализа резултата за постигнуће ученика у СЗ. Да би се испитао ефекат инструкционог метода и пола ученика на постигнуће у изоморфним и аналогним СЗ, примењена је двосмерна мултиваријантна анализа варијансе (двосмерна МАНОВА анализа). Двосмерна МАНОВА анализа је примењена на прикупљеним подацима тек након испитивања нормалности расподеле, разматрањем неколико параметара. За испитивање униваријантне нормалности у оквиру сваке подгрупе података, примењен је Shapiro-Wilk-ов тест. Резултати тог теста су истакли нормалну расподелу у једној подгрупи података (Прилог 7.10., табела 39). Са циљем даљег тумачења униваријантне нормалности, размотрени су стандардизовани коефицијенти асиметрије и спљоштености, на основу којих је установљено велико одступање од нормалне расподеле једино код испитаника мушког пола из контролне групе, у оквиру постигнућа у аналогним СЗ (Прилог 7.10., табела 39). Изражена позитивна асиметрија указује на то да су вредности постигнућа померене у лево у односу на средње вредности, односно да је изражено присуство ниских скорова. Поред тога, високе позитивне вредности стандардизованог коефицијента спљоштености указују на лептикуртичну (издужену) расподелу.

Надаље, за испитивање мултиваријантне нормалности расподеле података, разматране су вредности Mahalanobis-ове удаљености појединачних вредности од просечних, које су добијене применом  $\chi^2$  дистрибуције (према Helton, 2012). У оквиру обе разматране зависне варијабле, утврђена је нормална мултиваријантна расподела, пошто добијене вредности за Mahalanobis-ову удаљеност не прекорачују критичну вредност од 5.99 за  $df=2$ ,  $\alpha<0.05$ . Према Keselman-у и сарадницима (1998), много је битније испитати мултиваријантну нормалност података, као један од три кључна параметра која одређују да ли је двосмерна МАНОВА анализа погодан статистички поступак за анализу прикупљених података.

Други параметар јесте независност обсервација (Keselman и др., 1998), који се испитује разматрањем мултиколинеарности између зависних варијабли. Pearson-ов коефицијент корелације који износи 0.67 ( $p=0.000$ ), истиче да је корелација средње јачине (Taylor, 1990). Тиме је испуњен услов независности обсервација, пошто веза између две зависне варијабле није изражено јака.

Последњи разматрани параметри јесу Levene-ов и Воx-ов М тест у оквиру двосмерне МАНОВА анализе. Воx-ов М тест је потврдио хомогеност матрица коваријансе ( $M=5.69$ ,  $F(9, 61775.40)=0.60$ ,  $p=0.795$ ;  $p>0.05$ ), док је Levene-овим тестом потврђена еквивалентност грешке варијансе у оквиру обе зависне варијабле (изоморфни СЗ:  $F(3, 81)=1.12$ ,  $p=0.345$ ;  $p>0.05$ , аналогни СЗ:  $F(3, 81)=1.361$ ,  $p=0.261$ ;  $p>0.05$ ).

## 4.2.1.1. Постигнуће ученика у ЛЗ у главној фази истраживања

Да би се испитао утицај две независне варијабле (инструкциони метод и пол ученика) на постигнуће ученика у ЛЗ, прво су размотрени резултати Wilk-овог теста у оквиру двосмерне МАНОВА анализе. Резултати Wilk-овог теста су потврдили да су главни ефекти за инструкциони метод ( $\Lambda=0.63$ ,  $F(2, 80)=23.86$ ,  $p<0.05$ ), пол ученика ( $\Lambda=0.92$ ,  $F(2, 80)=3.31$ ,  $p<0.05$ ) и интеракциони ефекат између инструкционог метода и пола ( $\Lambda=0.93$ ,  $F(2, 80)=3.10$ ,  $p\leq 0.05$ ) статистички значајни на нивоу поузданости од 95 % (табела 22). Вредности парцијалног  $\eta^2$  истичу да је јачина ефекта у оквиру инструкционог метода средње јачине, док су остала два ефекта, разматрајући пол ученика и интеракциони ефекат између инструкционог метода и пола, слабе јачине (тумачење вредности парцијалног  $\eta^2$  вршено је према Tolmie, Muijs и McAteer, 2011). У првом случају се то тумачи тиме да је 37 % варијансе постигнућа ученика у ЛЗ повезано са примењеним инструкционим методом, док је са свега 8 %, односно 7 %, повезано са полом ученика, односно са интеракцијом између две наведене независне варијабле.

**Табела 22.** Резултати Wilk-овог теста за постигнуће ученика у ЛЗ у главној фази истраживања

Извор	Wilk-ова $\Lambda$	$F(2, 80)$	p	Парцијални $\eta^2$
Инструкциони метод (А)	0.63	23.86	0.000*	0.37
Пол (Б)	0.92	3.31	0.041*	0.08
А*Б	0.93	3.10	0.050*	0.07

\* $p\leq 0.05$

Пошто је МАНОВА анализа, преко Wilk-овог  $\Lambda$  теста, исказала статистички значајан ефекат за обе независне варијабле (инструкциони метод и пол ученика), као и за њихову интеракцију, даље су разматрани резултати појединачних двосмерних АНОВА анализа (надоградња на двосмерну МАНОВА анализу), посматрајући индивидуално обе зависне варијабле: постигнуће ученика у изоморфним и аналогним ЛЗ (табела 23).

**Табела 23.** Резултати двосмерне МАНОВА анализа за постигнуће ученика у изоморфним и аналогним ЛЗ у главној фази истраживања

Извор	Зависна варијабла	Сума квадрата	Средина квадрата	F	p	Парцијални $\eta^2$
Инструкциони метод (А)	Постигнуће у ЛИЗ	20147.90	20147.90	35.74	0.000*	0.31
	Постигнуће у ЛАЗ	23060.91	23060.91	37.80	0.000*	0.32
Пол (Б)	Постигнуће у ЛИЗ	507.25	507.25	0.90	0.346	0.01
	Постигнуће у ЛАЗ	3971.45	3971.45	6.51	0.013*	0.07
А*Б	Постигнуће у ЛИЗ	359.02	359.02	0.64	0.427	0.01
	Постигнуће у ЛАЗ	3640.80	3640.80	5.97	0.017*	0.07

\* $p < 0.05$ ; ЛИЗ: линеарни изоморфни задаци, ЛАЗ: линеарни аналогни задаци

Посматрајући инструкциони метод као независну варијаблу (табела 23), резултати двосмерних АНОВА су показали да постоји статистички значајна разлика у постигнућу ученика експерименталне и контролне групе, како у изоморфним ЛЗ ( $F=35.74$ ,  $p=0.000$ ;  $p < 0.05$ ), тако и у аналогним ЛЗ ( $F=37.80$ ,  $p=0.000$ ;  $p < 0.05$ ). Вредности парцијалних  $\eta^2$  истичу да је величина ефекта у оба случаја средње јачине (према Tolmie и др., 2011). Посматрајући средње вредности постигнућа, установљено је да ученици експерименталне групе остварују боља постигнућа од ученика контролне групе. При томе је већа успешност ученика експерименталне групе уочена како у решавању изоморфних ЛЗ ( $M(E)=71.96$  %,  $СД=22.86$ ;  $M(K)=41.55$  %,  $СД=24.53$ ), тако и током решавања аналогних ЛЗ ( $M(E)=57.35$  %,  $СД=26.49$ ;  $M(K)=26.00$  %,  $СД=26.02$ ). На основу добијених резултата може се закључити да су ученици обучавани системичким приступом боље савладали концепте из домена органске хемије од ученика који су примењивали традиционални приступ у настави хемије. Ови подаци су у сагласности са резултатима претходно поменутих студија које су спроведене у настави хемије: Al-bashaireh (2011), Fahmy и Lagowski (1999, 2002, 2003), Fahmy и сарадници (2002), Golemi и сарадници (2014), Hrip и сарадници (2014).

Надаље, посматрајући пол ученика као независну варијаблу (табела 23), резултати двосмерне АНОВА анализе нису истакли статистички значајну разлику између испитаника мушког и женског пола у току решавања изоморфних ЛЗ ( $M(\text{мушки пол})=55.48$  %,  $СД=28.28$ ,  $M(\text{женски пол})=59.54$  %,  $СД=28.02$ ,  $F=0.90$ ,  $p=0.346$ ;  $p > 0.05$ ), док је са друге стране, пронађена значајна разлика између испитаника мушког и женског пола у току решавања аналогних ЛЗ ( $F=6.51$ ,  $p=0.013$ ;  $p < 0.05$ ). Посматрајући средње вредности постигнућа у аналогним ЛЗ, установљено је да ученице остварују боља постигнућа током решавања ове врсте задатака у односу на ученике ( $M(\text{мушки пол})=36.36$  %,  $СД=27.34$ ;  $M(\text{женски пол})=49.48$  %,  $СД=32.92$ ). Да би се установило у којој групи ученика (експерименталној или контролној) испитаници женског пола

остварују боља постигнућа од испитаника мушког пола размотрени су интеракциони ефекти између независних варијабли.

Резултати двосмерне АНОВА анализе су истакли чињеницу да интеракција између две разматране независне варијабле код изоморфних ЛЗ није значајна ( $F=0.64$ ,  $p=0.427$ ;  $p>0.05$ ), што значи да ефекат једне независне варијабле (инструкционог метода) на зависну варијаблу (постигнуће у изоморфним ЛЗ) није „погођен” ефектом друге независне варијабле (пол ученика) (Pallant, 2010). То се тумачи тиме да су СЗ као инструкциони метод једнако утицали на способност решавања изоморфних ЛЗ код ученика и ученица у оквиру експерименталне групе ( $M(\text{мушки пол})=68.05\%$ ,  $СД=24.94$ ;  $M(\text{женски пол})=77.10\%$ ,  $СД=19.24$ ), док је са друге стране, традиционална настава била много мање ефикасна у тој намени код оба пола контролне групе ( $M(\text{мушки пол})=41.19\%$ ,  $СД=25.27$ ;  $M(\text{женски пол})=41.97\%$ ,  $СД=24.34$ ). Овај исказ је потврђен статистички, разматрањем резултата  $t$ -теста (табела 24), јер у оквиру обе групе ученика интервали поверења имају вредност 0.00,  $p$ -вредности су мање од 0.05, док су добијене  $t$ -вредности веће од критичне вредности ( $t_c=-2.021$ ,  $df=42$ ,  $\alpha=0.05$ ).

Са друге стране, установљена је статистички значајна интеракција између инструкционог метода и пола ученика код аналогних ЛЗ задатака ( $F=5.97$ ,  $p=0.017$ ;  $p<0.05$ ), при чему вредност парцијалног  $\eta^2$  наглашава да је статистички значајна интеракција слабе јачине (према Tolmie и др., 2011). Наведена интеракција се може тумачити тиме да разматране инструкционе методе нису једнако погодне за оба пола у оквиру група. Да би се установило да ли тај закључак задовољава обе групе ученика, урађен је додатни  $t$ -тест (табела 24) у оквиру експерименталне групе, у којој је применом Shapiro-Wilk-овог теста установљена нормална расподела резултата код оба пола ученика, као и применом непараметријског Mann-Whitney-ев теста у оквиру контролне групе, у којој нормална расподела није установљена код испитаника мушког пола. Резултати  $t$ -теста су указали на чињеницу да претходно наведен закључак задовољава експериментална група ученика, у оквиру које су испитаници женског пола били успешнији од испитаника мушког пола током решавања аналогних ЛЗ ( $M(\text{мушки пол})=45.71\%$ ,  $СД=23.80$ ;  $M(\text{женски пол})=72.65\%$ ,  $СД=22.05$ ), при чему је израчуната вредност Cohen-овог  $d$  коефицијента ( $d=1.17$ ) указала на чињеницу да је поменута разлика у постигнућу ученика и ученица изразито велика (према Faul и др., 2007). Та чињеница је потврђена параметрима  $t$ -теста, пошто интервал поверења не садржи вредност 0.00,  $p$ -вредност је мања од 0.05 ( $p=0.000$ ), док је добијена  $t$ -вредност већа од критичне вредности ( $t_c=-2.021$ ,  $df=42$ ,  $\alpha=0.05$ ). Са друге стране, резултати Mann-Whitney-евог теста у оквиру контролне групе ученика указују на чињеницу да не постоји статистички значајна разлика у постигнућу ученика и ученица у аналогним ЛЗ (ученици:  $СК^5=20.45$ ; ученице:  $СК=21.63$ ,  $U=197.00$ ,  $p=0.750$ ,  $p>0.05$ ).

---

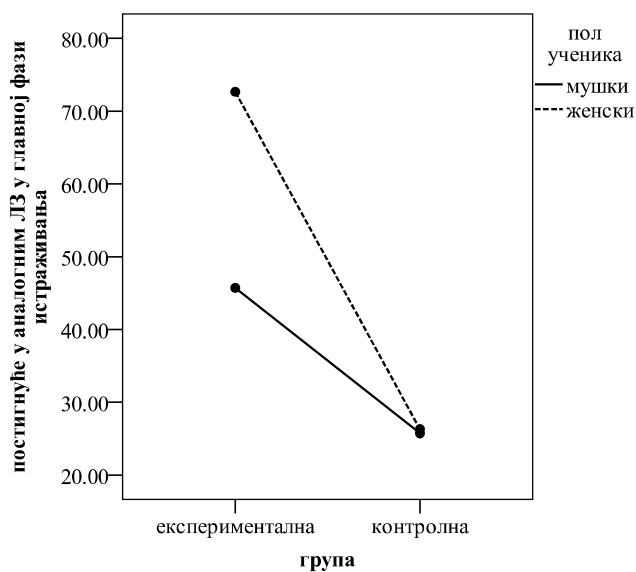
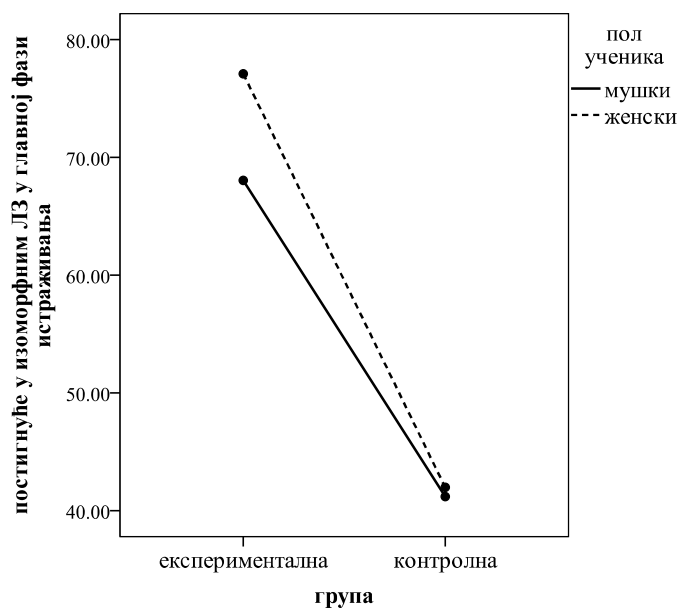
<sup>5</sup> СК – сума квадрата

**Табела 24.** Резултати *t*-теста за постигнуће испитаника мушког и женског пола у оквиру *E* и *K* групе у изоморфним и аналогним ЛЗ у главној фази истраживања

Зависна варијабла	Група	Пол	М (%)	Интервал поверења		<i>t</i>	р
				Нижи	Виши		
Постигнуће у ЛИЗ	Е	М	68.05	-22.98	4.87	-1.312	0.197
		Ж	77.10				
	К	М	41.19	-16.52	14.96	-0.100	0.921
		Ж	41.97				
Постигнуће у ЛАЗ	Е	М	45.71	-41.10	-12.77	-3.837	0.000*
		Ж	72.65				

\* $p < 0.05$ ; ЛИЗ: линеарни изоморфни задаци, ЛАЗ: линеарни аналогни задаци; Е: експериментална група; К: контролна група; М: мушки пол; Ж: женски пол

Наведени резултати су такође приказани и графички (слика 38), при чему се јасно уочава да ученици оба пола у експерименталној групи остварују боља постигнућа од ученика оба пола контролне групе, како у изоморфним, тако и у аналогним ЛЗ. Разматрајући разлике по полу ученика, у изоморфним ЛЗ нису забележене разлике у постигнућу између испитаника мушког и женског пола нити у једној од две разматране групе ученика. Са друге стране, посматрајући ученичко постигнуће у аналогним задацима, у оквиру експерименталне групе испитаници женског пола остварују боља постигнућа од испитаника мушког пола, док у оквиру контролне групе није установљена разлика у постигнућу, посматрајући пол као независну варијаблу.



Слика 38. Графици двосмерне МАНОВА анализе за постигнуће ученика експерименталне и контролне групе у изоморфним (горњи график) и аналогним ЛЗ (доњи график) у главној фази истраживања

## 4.2.1.2. Постигнуће ученика у СЗ у главној фази истраживања

Први размотрени резултати у оквиру двосмерне МАНОВА анализе за постигнуће ученика у СЗ, јесу параметри Wilk-овог теста. Овај тест је истакао да су главни ефекти за инструкциони метод ( $\Lambda=0.63$ ,  $F(2, 80)=22.96$ ,  $p=0.000$ ;  $p<0.05$ ) и пол ученика ( $\Lambda=0.93$ ,  $F(2, 80)=3.18$ ,  $p=0.047$ ;  $p<0.05$ ) статистички значајни на нивоу поузданости од 95 %. Вредности парцијалног  $\eta^2$  истичу да је јачина ефекта у оквиру инструкционог метода средње јачине, док је за пол ученика слабе јачине (према Tolmie и др., 2011). У првом случају се то тумачи тиме да је 37 % варијансе постигнућа ученика у СЗ повезано са примењеним инструкционим методом, док је са свега 7 % повезано са полом ученика. Са друге стране, интеракциони ефекат између инструкционог метода и пола ( $\Lambda=0.97$ ,  $F(2, 80)=1.05$ ,  $p=0.355$ ;  $p>0.05$ ) није статистички значајан (табела 25).

**Табела 25.** Резултати Wilk-овог теста за постигнуће ученика у СЗ у главној фази истраживања

Извор	Wilk-ова $\Lambda$	$F(2, 80)$	$p$	Парцијални $\eta^2$
Инструкциони метод (А)	0.63	22.96	0.000*	0.37
Пол (Б)	0.93	3.18	0.047*	0.07
А*Б	0.97	1.05	0.355	0.03

\* $p<0.05$

Пошто је Wilk-овим тестом установљено да постоји статистички значајна разлика у постигнућу ученика у СЗ, како по групама (експериментална/ контролна), тако и по полу (мушки/женски), надаље су разматрани резултати појединачних двосмерних АНОВА анализа (надоградња двосмерне МАНОВА анализе), посматрајући посебно две зависне варијабле: постигнуће ученика у изоморфним и аналогним СЗ.

Посматрајући инструкциони метод као независну варијаблу (табела 26), резултати двосмерних АНОВА у оквиру МАНОВЕ су показали да постоји статистички значајна разлика у постигнућу ученика експерименталне и контролне групе, како у изоморфним ( $F=44.82$ ,  $p=0.000$ ;  $p<0.05$ ), тако и у аналогним СЗ ( $F=23.44$ ,  $p=0.000$ ;  $p<0.05$ ). Вредности парцијалних  $\eta^2$  истичу да је величина ефекта у првом случају средње јака (према Tolmie и др., 2011), односно да се 36 % варијансе постигнућа ученика у изоморфним задацима може довести у везу са примењеним инструкционим методом. Са друге стране, ефекат инструкционог метода на постигнуће ученика у аналогним СЗ је умерено слаб, при чему се 22 % варијансе зависне варијабле доводи у везу са независном варијаблом. Да би се установило који инструкциони метод поспешује способност ученика за решавање изоморфних и аналогних СЗ, размотрене су средње вредности постигнућа. При томе је установљено да ученици експерименталне групе остварују боља постигнућа од ученика контролне групе решавајући изоморфне задатке ( $M(E)=63.64$  %,  $СД=29.88$ ;  $M(K)=21.95$  %,  $СД=30.89$ ), али и аналогне СЗ ( $M(E)=42.23$  %,  $СД=30.14$ ;  $M(K)=16.78$  %,  $СД=27.50$ ). На основу добијених резултата, закључује се да су



СЗ као инструкциони метод много погоднији од традиционалне наставе, уколико посматрамо ученичку способност решавања СЗ из домена хемије. Ови резултати су у сагласности са резултатима претходно поменутих студија: Fahmy и Lagowski (2002, 2003), Golemi и сарадници (2014), у којима је такође истакнута разлика у постигнућу у СЗ између ученика експерименталне и контролне групе, у корист ученика који су обучавани применом системског приступа. Fahmy и Lagowski (2003) објашњавају ове резултате тиме да су ученици експерименталне групе побољшали своје способности посматрања хемијских садржаја из глобалне перспективе (посматрајући их као организовану целину), истовремено препознајући значај појединачних делова за размарани систем.

**Табела 26.** Резултати двосмерне МАНОВА анализе за постигнуће ученика у СЗ у главној фази истраживања

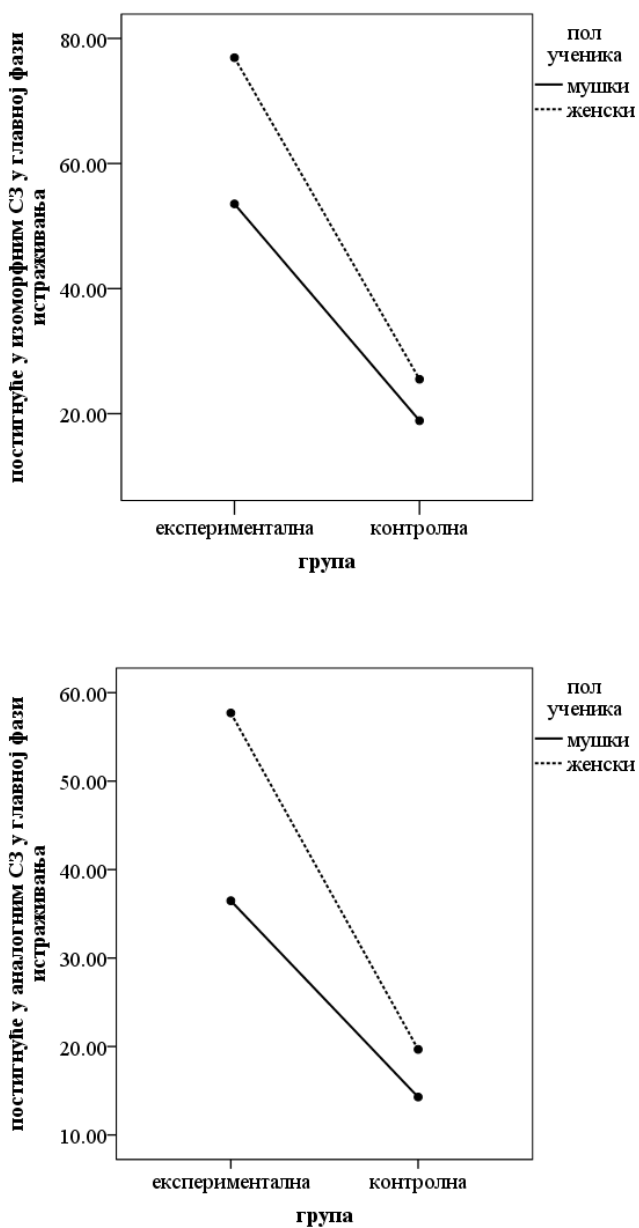
Извор	Зависна варијабла	Сума квадрата	Средина квадрата	F	p	Парцијални $\eta^2$
Инструкциони метод (А)	Постигнуће у СИЗ	38846.91	38846.91	44.82	0.000*	0.36
	Постигнуће у САЗ	19016.68	19016.68	23.44	0.000*	0.22
Пол (Б)	Постигнуће у СИЗ	4722.03	4722.03	5.45	0.022*	0.06
	Постигнуће у САЗ	3715.30	3715.30	4.58	0.035*	0.05
А*Б	Постигнуће у СИЗ	1472.78	1472.78	1.70	0.169	0.02
	Постигнуће у САЗ	1315.94	1315.94	1.62	0.206	0.02

\* $p < 0.05$ ; СИЗ: системички изоморфни задаци, САЗ: системички аналогни задаци

Надаље, посматрајући пол ученика као независну варијаблу (табела 26), резултати двосмерне АНОВА анализе истакли су статистички значајну разлику између испитаника мушког и женског пола у току решавања обе подгрупе задатака: изоморфни СЗ ( $M(\text{мушки пол})=37.32\%$ ,  $СД=33.80$ ,  $M(\text{женски пол})=51.21\%$ ,  $СД=39.19$ ,  $F=5.45$ ,  $p=0.022$ ;  $p < 0.05$ ) и аналогни СЗ ( $M(\text{мушки пол})=25.20\%$ ,  $СД=27.82$ ,  $M(\text{женски пол})=35.84\%$ ,  $СД=34.91$ ,  $F=4.58$ ,  $p=0.035$ ;  $p < 0.05$ ). Вредности парцијалних  $\eta^2$  (табела 26) истичу да је ефекат пола ученика на постигнуће у изоморфним и аналогним СЗ слабе јачине. Посматрајући средње вредности постигнућа у изоморфним и аналогним СЗ, установљено је да испитаници женског пола остварују боља постигнућа током решавања обе подгрупе задатака у односу на испитанике мушког пола, уколико не разматрамо њихову дистрибуцију по групама. Да би се установило у којој групи ученика (експерименталној или контролној) испитаници женског пола остварују боља постигнућа од испитаника мушког пола, надаље су размотрени интеракциони ефекти између независних варијабли.

Резултати појединачних двосмерних АНОВА анализа (табела 26) истакли су чињеницу да интеракција између две разматране независне варијабле код изоморфних и аналогних СЗ није значајна (изоморфни задаци:  $F=1.70$ ,  $p=0.169$ ;  $p>0.05$ , аналогни задаци:  $F=1.62$ ,  $p=0.206$ ;  $p>0.05$ ). То значи да су СЗ били ефикасан инструкциони метод и за ученике и за ученице у оквиру експерименталне групе, док је традиционална настава била много мање ефикасна код обе пола контролне групе, уколико као показатељ ефикасности посматрамо постигнуће ученика у СЗ. Да би се установило да ли је примена наведених инструкционих метода ипак била повољнија за одређени пол ученика у оквиру група, размотрени су резултати непараметријског Mann-Whitney-евог теста. Резултати овог теста су истакли чињеницу да у оквиру експерименталне групе, ученице остварују боља постигнућа од ученика, како у изоморфним, тако и у аналогним СЗ (изоморфни задаци: СК(мушки пол)=17.98, СК(женски пол)=28.45,  $U=124.50$ ,  $p=0.007$ ,  $p<0.05$ ; аналогни задаци: СК(мушки пол)=19.16, СК(женски пол)=26.89,  $U=154.00$ ,  $p=0.047$ ,  $p<0.05$ ). Са друге стране, у оквиру контролне групе нису утврђене статистички значајне разлике у постигнућу међу половима, нити у изоморфним, нити у аналогним СЗ (изоморфни задаци: СК(мушки пол)=20.36, СК(женски пол)=21.74,  $U=195.00$ ,  $p=0.699$ ,  $p>0.05$ ; аналогни задаци: СК(мушки пол)=19.84, СК(женски пол)=22.34,  $U=183.50$ ,  $p=0.468$ ,  $p>0.05$ ). На основу тога можемо закључити да је статистичка значајност другог главног ефекта двосмерне МАНОВА анализе (посматрајући пол као независну варијаблу) била резултат разлике у постигнућу ученика и ученица у оквиру експерименталне групе. Са друге стране, интеракциони ефекат између независних варијабли није статистички значајан због приближно једнаког постигнућа ученика и ученица у оквиру контролне групе.

Закључци изведени на основу двосмерне МАНОВА анализе и Mann-Whitney-евог теста су такође потврђени и графички. Са слике 39 се јасно уочава разлика у постигнућу у обе подгрупе задатака између ученика експерименталне и контролне групе (у корист Е групе), као и између испитаника мушког и испитаника женског пола у експерименталној групи (у корист испитаника женског пола). Са друге стране, у оквиру контролне групе, испитаници оба пола остварују приближно једнака постигнућа у системичким изоморфним и аналогним задацима.



Слика 39. Графици двосмерне МАНОВА анализе за постигнуће ученика експерименталне и контролне групе у изоморфним (горњи дијаграм) и аналогним S3 (доњи дијаграм) у главној фази истраживања

#### 4.2.2. Утицај инструкционог метода и пола на ментални напор ученика у главној фази истраживања

Циљ ове фазе истраживања јесте испитивање утицаја СЗ као инструкционог метода на ментални напор ученика оба пола у току решавања четири подгрупе задатака: изоморфни ЛЗ, аналогни ЛЗ, изоморфни СЗ, аналогни СЗ. При томе је ментални напор ученика експерименталне групе, који су обучавани системичким приступом, поређен са менталним напором ученика контролне групе, који су обучавани применом традиционалне наставе. У наставку рада биће дат приказ статистичких поступака који су примењени у овом делу рада.

Анализа резултата за ментални напор ученика у ЛЗ. Са циљем испитивања ефекта две независне варијабле (инструкциони метод и пол ученика) на две зависне варијабле (ментални напор у изоморфним и ментални напор у аналогним ЛЗ), примењена је двосмерна мултиваријантна анализа варијансе (двосмерна МАНОВА анализа), којој је претходила провера нормалности расподеле прикупљених података. За испитивање униваријантне нормалности података за обе зависне варијабле у оквиру формираних подгрупа, примењен је Shapiro-Wilk-ов тест. Разматрајући уложени ментални напор ученика у изоморфним и аналогним ЛЗ, нормална расподела је установљена у седам од осам разматраних подгрупа (Прилог 7.10., табела 40), па се на основу тога, по Stevens-у (2009), може применити двосмерна МАНОВА анализа на прикупљеним подацима. Поред резултата Shapiro-Wilk-овог теста, разматрани су и стандардизовани коефицијенти асиметрије и спљоштености, који су потврдили нормалну расподелу резултата у свим разматраним подгрупама, пошто се вредности стандардизованих коефицијентата налазе у распону од -2 до +2 (Прилог 7.10, табела 40).

Надаље, за испитивање мултиваријантне нормалности расподеле података, разматране су вредности Mahalanobis-ове удаљености појединачних вредности од просечних, које су добијене применом  $\chi^2$  дистрибуције (према Helton, 2012). У оквиру обе разматране зависне варијабле утврђена је нормална мултиваријантна расподела, пошто вредности Mahalanobis-ове удаљености не прекорачују критичну вредност од 5.99 за  $df=2$ ,  $\alpha<0.05$ .

У циљу даље провере да ли је одабрани статистички поступак одговарајући за анализу прикупљених података, такође је испитана мултиколинеарност између зависних варијабли, израчунавањем Pearson-овог коефицијента корелације. Пошто је добијена  $r$  вредност која износи 0.65 мања од 0.68, можемо рећи да је овај критеријум испуњен, пошто корелација између зависних варијабли није висока, него одговара средњој јачини корелације (према Taylor, 1990), па се тиме не редукује јачина одабраног статистичког поступка.

На крају су разматрани резултати Levene-овог и Vox-овог  $M$  теста у оквиру двосмерне МАНОВА анализе. Vox-ов  $M$  тест је потврдио хомогеност матрица коваријансе ( $M=16.16$ ,  $F(9, 61775.40)=1.71$ ,  $p=0.080$ ;  $p>0.05$ ), док је Levene-овим тестом потврђена еквивалентност грешке варијансе у оквиру обе зависне варијабле (изоморфни ЛЗ:  $F(3, 81)=2.77$ ,  $p=0.057$ ,  $p>0.05$ ; аналогни ЛЗ:  $F(3, 81)=1.37$ ,  $p=0.259$ ;  $p>0.05$ ).

Анализа резултата за ментални напор ученика у СЗ. Да би се испитао ефекат две независне варијабле (инструкциони метод и пол ученика) на две зависне варијабле (ментални напор ученика у изоморфним и ментални напор ученика у аналогним СЗ), примењена је двосмерна мултиваријантна анализа варијансе (двосмерна МАНОВА анализа), којој је претходила провера нормалности расподеле прикупљених података. За испитивање униваријантне нормалности података за обе зависне варијабле у оквиру формираних подгрупа, примењен је Shapiro-Wilk-ов тест. Резултати примењеног теста на ментални напор ученика у изоморфним и аналогним СЗ истакли су да је нормална расподела присутна код обе подгрупе ученика у оквиру експерименталне групе, док са друге стране, прикупљени подаци у оквиру обе подгрупе ученика у контролној групи одступају од нормалне расподеле (Прилог 7.10., табела 41). Са циљем даљег разматрања униваријантне нормалности, размотрени су стандардизовани коефицијенти асиметрије и спљоштености, на основу којих се опажа одступање од нормалне расподеле једино код испитаника мушког пола из контролне групе, у оквиру обе зависне варијабле (Прилог 7.10., табела 41). Изражена негативна асиметрија указује на то да су вредности менталног напора померене у десно у односу на средње вредности, односно да је изражено присуство високих вредности уложеног менталног напора. Поред тога, високе позитивне вредности стандардизованог коефицијента спљоштености указују на лептикуртичну (издужену) расподелу, са максимумом изнад нормалне криве.

Међутим, за примену двосмерне МАНОВА анализе, много је важније размотрити мултиваријантну нормалност расподеле од униваријантне. Према Keselman-у и сарадницима (1998), пре примене двосмерне МАНОВА анализе у пољу педагошких истраживања, неопходно је размотрити три кључна параметра: (а) мултиваријантну нормалност, (б) хомогеност коваријансе матрица и (в) независност обсервација. На основу тога, са циљем испитивања да ли је одабран статистички поступак одговарајући за наше податке, испитана је мултиваријантна нормалност расподеле, разматрајући вредности Mahalanobis-ове удаљености појединачних вредности од просечних, у оквиру  $\chi^2$  дистрибуције. У оквиру обе разматране зависне варијабле утврђена је нормална мултиваријантна расподела, пошто вредности Mahalanobis-ове удаљености не прекорачују критичку вредност од 5.99 ( $df=2$ ,  $\alpha<0.05$ ), нити код једног прикупљеног податка код аналогних СЗ, док је у оквиру изоморфних података пронађен само један аутлајер који прекорачује критичку вредност од 5.99, пошто износи 8.04.

У циљу даље провере, испитана је независност обсервација у облику мултиколинеарности између зависних варијабли, израчунавањем Pearson-овог коефицијента корелације. Пошто је добијена  $r$  вредност која износи 0.67 мања од 0.68, можемо рећи да је овај критеријум испуњен, пошто корелација између зависних варијабли није висока, него одговара средњој јачини корелације (према Taylor, 1990), па се тиме не редукује јачина одабраног статистичког поступка.

Последњи размотрени параметри јесу резултати Levene-овог и Box-овог  $M$  теста у оквиру двосмерне МАНОВА анализе. Box-ов  $M$  тест је потврдио хомогеност коваријансе матрица ( $M=20.80$ ,  $F(9, 61775.40)=2.21$ ,  $p=0.059$ ;  $p>0.05$ ), док је Levene-овим тестом потврђена еквивалентност грешке варијансе

у оквиру обе зависне варијабле (изоморфни СЗ:  $F(3, 81)=0.15$ ,  $p=0.930$ ,  $p>0.05$ ; аналогни СЗ:  $F(3, 81)=0.13$ ,  $p=0.940$ ;  $p>0.05$ ).

#### 4.2.2.1. Ментални напор ученика у ЛЗ у главној фази истраживања

Да би се установило да ли су главни и интеракциони ефекти независних варијабли за ментални напор ученика у ЛЗ статистички значајни, разматрани су резултати Wilk-овог теста у оквиру двосмерне МАНОВА анализе (табела 27). Наведени тест је истакао статистички значајан главни ефекат за инструкциони метод ( $\Lambda=0.58$ ,  $F(2, 80)=29.21$ ,  $p=0.000$ ;  $p<0.05$ ), при чему вредност парцијалног  $\eta^2$  истиче да је јачина ефекта у оквиру инструкционог метода средње јачине (према Tolmie и др., 2011). То се тумачи тиме да је 42 % варијансе уложеног менталног напора ученика у ЛЗ повезано са примењеним инструкционим методом. Са друге стране, главни ефекат за пол ученика ( $\Lambda=0.98$ ,  $F(2, 80)=0.90$ ,  $p=0.410$ ;  $p>0.05$ ) и интеракциони ефекат између инструкционог метода и пола ( $\Lambda=0.98$ ,  $F(2, 80)=0.63$ ,  $p=0.533$ ;  $p>0.05$ ) нису статистички значајни на нивоу поузданости од 95 % (табела 27).

**Табела 27.** Резултати Wilk-овог теста за ментални напор ученика у ЛЗ у главној фази истраживања

Извор	Wilk-ова $\Lambda$	$F(2, 80)$	$p$	Парцијални $\eta^2$
Инструкциони метод (А)	0.58	29.21	0.000*	0.42
Пол (Б)	0.98	0.90	0.410	0.02
А*Б	0.98	0.63	0.533	0.02

\* $p<0.05$

Пошто је двосмерна МАНОВА анализа, преко Wilk-овог  $\Lambda$  теста, исказала статистички значајан ефекат за инструкциони метод као независну варијаблу, надаље су разматрани резултати двосмерних АНОВА анализа, као надоградња на двосмерну МАНОВА анализу. При томе су се посебно разматрале обе зависне варијабле: ментални напор ученика у изоморфним ЛЗ и ментални напор ученика у аналогним ЛЗ (табела 28).

**Табела 28.** Резултати двосмерне МАНОВА анализе за ментални напор ученика у ЛЗ у главној фази истраживања

Извор	Зависна варијабла	Сума квадрата	Средина квадрата	F	p	Парцијални $\eta^2$
Инструкциони метод (А)	Ментални напор у ЛИЗ	52.35	52.35	55.12	0.000*	0.41
	Ментални напор у ЛАЗ	33.83	33.83	29.39	0.000*	0.27
Пол (Б)	Ментални напор у ЛИЗ	1.73	1.73	1.82	0.181	0.02
	Ментални напор у ЛАЗ	0.48	0.48	0.42	0.521	0.01
А*Б	Ментални напор у ЛИЗ	0.00	0.00	0.00	0.996	0.00
	Ментални напор у ЛАЗ	1.11	1.11	0.96	0.329	0.01

\* $p < 0.05$ ; ЛИЗ: линеарни изоморфни задаци, ЛАЗ: линеарни аналогни задаци

Посматрајући инструкциони метод као независну варијаблу (табела 28), резултати двосмерних АНОВА су показали да постоји статистички значајна разлика у менталном напору ученика експерименталне и контролне групе, како у изоморфним ЛЗ ( $F=52.35$ ,  $p=0.000$ ;  $p < 0.05$ ), тако и у аналогним ЛЗ ( $F=33.83$ ,  $p=0.000$ ;  $p < 0.05$ ). Вредност парцијалног  $\eta^2$  истиче да је величина ефекта инструкционог метода на ментални напор ученика у току решавања изоморфних ЛЗ средње јака, при чему се 41 % варијансе менталног напора ученика у изоморфним задацима може довести у везу са примењеним инструкционим методом. Са друге стране, ефекат инструкционог метода на ментални напор ученика у аналогним ЛЗ јесте умерене јачине, при чему се 26 % варијансе менталног напора у аналогним задацима, може довести у везу са примењеним инструкционим методом. Посматрајући средње вредности менталног напора ученика, установљено је да ученици експерименталне групе улажу мањи ментални напор од ученика контролне групе у току решавања изоморфних ЛЗ ( $M(E)=3.64$ ,  $СД=0.74$ ;  $M(K)=5.21$ ,  $СД=1.17$ ), али и аналогних ЛЗ ( $M(E)=4.29$ ,  $СД=0.92$ ;  $M(K)=5.54$ ,  $СД=1.27$ ). Решавајући изоморфне ЛЗ, ученици експерименталне групе процењују ове задатке као „ни тешке ни лаке”, док ученици контролне групе исте задатке процењују као „тешке” за решавање. За решавање аналогних ЛЗ, ученици експерименталне групе улажу нивое менталног напора који на седмостепеној Ликертовој скали одговарају тврдњи „ни тешко ни лако”, а ученици контролне групе улажу ментални напор који одговара тврдњи „веома тешко”. Поред тога, може се уочити да ученици експерименталне групе са једнаком лакоћом решавају обе подгрупе ЛЗ, док је ученицима контролне групе теже решавање аналогних задатака, са којима се нису сусрели током решавања пролазних тестова. Раас и van Merriënboer (1994а) истичу да је високо оптерећење примећено код ученика обучаваних традиционалним приступом наметнуто самим карактеристикама тог метода. Да би решили ЛЗ, ученици као почетници (први пут се сусрећу са одређеним

наставним градивом) обично користе „means-ends” анализе. Недостаци овог метода јесу ти да се троши велика количина капацитета радне меморије. Ученицима се приказује почетно стање (на пример: заокружити слово испред ИУРАС-овог назива следећег органског једињења) и крајње стање (решење проблема), при чему ученици прибегавају погађању тачног одговора, а тај процес није користан за смислено учење, већ штети учењу. Са друге стране, ученици изложени новом инструкционом методу (системичком приступу) нису „оштећени” на такав начин, зато што ти ученици као почетници уче решавајући СЗ. На финалном тесту ови ученици као експерти не поседују тешкоће током решавања конвенционалних проблема, бележећи ниже нивое менталног напора и више постигнуће од ученика контролне групе.

Посматрајући пол ученика као независну варијаблу (табела 28), резултати двосмерне АНОВА анализе нису истакли статистички значајну разлику између испитаника мушког и женског пола у уложеном менталном напору, нити у току решавања изоморфних ЛЗ (М(мушки пол)=4.50, СД=1.21, М(женски пол)=4.26, СД=1.30,  $F=1.82$ ,  $p=0.181$ ;  $p>0.05$ ), нити у току решавања аналогних ЛЗ (М(мушки пол)=4.95, СД=1.16, М(женски пол)=4.83, СД=1.33,  $F=0.42$ ,  $p=0.521$ ;  $p>0.05$ ). Посматрајући ментални напор у изоморфним ЛЗ, вредности уложеног менталног напора код оба пола ученика одговарају тврдњи „ни тешко ни лако” на седмостепеној Ликертовој скали, док код аналогних задатака одговарају тврдњи „тешко”, што је резултат разлике у менталном напору у току решавања две подгрупе ЛЗ која је уочена код контролне групе ученика. Да би се установило да ли ученици и ученице улажу исти ментални напор у току решавања изоморфних и аналогних ЛЗ у обе групе ученика, надаље су размотрени интеракциони ефекти између независних варијабли.

Резултати двосмерне АНОВА анализе су указали на чињеницу да интеракција између две разматране независне варијабле није статистички значајна, нити код изоморфних ЛЗ ( $F=0.00$ ,  $p=0.996$ ;  $p>0.05$ ), нити код аналогних ЛЗ ( $F=0.96$ ,  $p=0.329$ ;  $p>0.05$ ). То се тумачи тиме да ефекат једне независне варијабле (инструкционог метода) на зависну варијаблу није под утицајем друге независне варијабле (пола ученика) (Pallant, 2010). За потребе овог истраживања ово се објашњава тиме да су СЗ као инструкциони метод једнако утицали на нивое уложеног менталног напора у решавању изоморфних и аналогних ЛЗ код ученика и код ученица у оквиру експерименталне групе (изоморфни задаци: М(мушки пол)=3.76, СД=0.69, М(женски пол)=3.47, СД=0.80; аналогни задаци: М(мушки пол)=4.46, СД=0.89, М(женски пол)=4.08, СД=0.93), док је са друге стране, традиционална настава била много мање ефикасна у тој намени код обе пола ученика контролне групе (изоморфни задаци: М(мушки пол)=5.34, СД=1.13, М(женски пол)=5.05, СД=1.22; аналогни задаци: М(мушки пол)=5.50, СД=1.20, М(женски пол)=5.58, СД=1.12). Овај исказ је потврђен статистички, разматрањем резултата *t*-теста (табела 29) за групе података у којима је утврђена нормална расподела, као и резултата непараметријског Mann-Whitney-јевог теста за ментални напор ученика експерименталне групе у току решавања изоморфних ЛЗ, у оквиру које није установљена нормална расподела резултата код ученика мушког пола.

Посматрајући ментални напор ученика експерименталне групе у изоморфним ЛЗ, резултати Mann-Whitney-вог теста су показали да не постоји статистички значајна разлика између ученика мушког и женског пола (СК(мушки пол)=25.06, СК(женски пол)=19.13,  $U=173.50$ ,  $p=0.125$ ;  $p>0.05$ ),



иако разматрајући вредности забележеног менталног напора, ученици процењују решавање наведене класе задатака као „ни тешко ни лако”, док ученице исти процес процењују са тврдњом „лако”. Посматрајући исте варијабле код ученика контролне групе, резултати  $t$ -теста (табела 29) такође истичу да не постоји статистички значајна разлика у менталном напору испитаника мушког и испитаника женског пола у току решавања изоморфних ЛЗ, пошто у оквиру ове групе ученика интервал поверења поседује вредност 0.00,  $p$ -вредност је већа од 0.05, док је добијена  $t$ -вредности мања од критичне вредности ( $t_c=2.02$ ,  $df=39$ ,  $\alpha=0.05$ ). Ови резултати су у складу са исказом ученика мушког и женског пола у оквиру контролне групе, који су процес решавања изоморфних ЛЗ проценили као „тежак”.

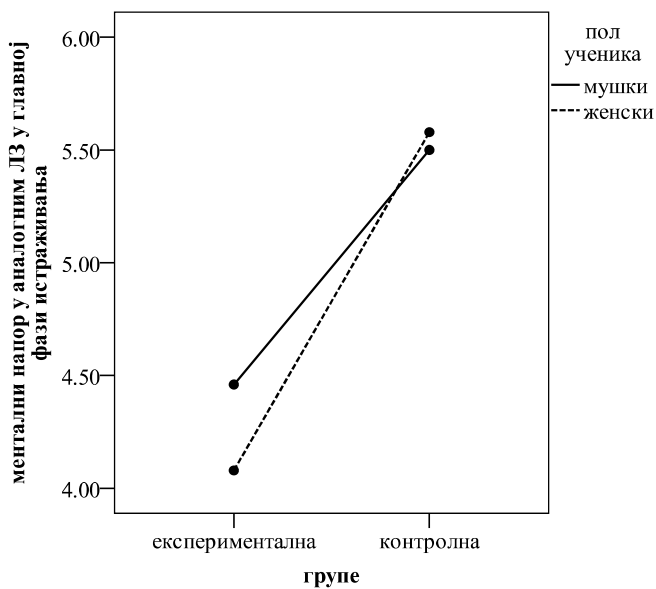
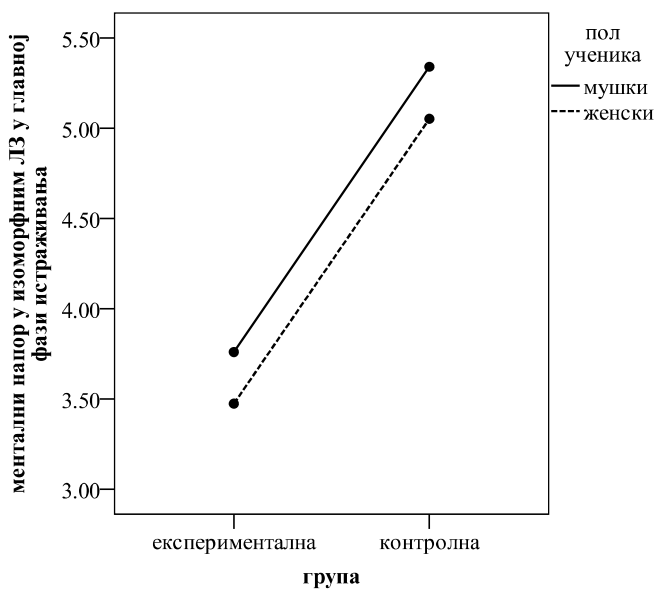
Последњи истраживачки задатак у оквиру испитивања менталног напора ученика у току решавања ЛЗ, јесте испитивање разлика по полу у менталном напору у аналогним ЛЗ, у оквиру обе групе ученика. Резултати  $t$ -теста (табела 29) су истакли да не постоји значајна разлика између испитаника мушког и женског пола, нити у експерименталној ( $t=1.38$ ,  $t_c=2.02$ ,  $p=0.175$ ,  $p>0.05$ ), нити у контролној групи ученика ( $t=-0.21$ ,  $t_c=-2.02$ ,  $p=0.838$ ,  $p>0.05$ ). У оквиру експерименталне групе оба пола испитаника улажу ментални напор који одговара тврдњи „ни тешко ни лако”, док у оквиру контролне групе одговара тврдњи „тешко”.

**Табела 29.** Резултати  $t$ -теста за ментални напор испитаника мушког и женског пола у оквиру Е и К групе у изоморфним и аналогним ЛЗ у главној фази истраживања

Зависна варијабла	Група	Пол	М	Интервал поверења		$t$	$p$
				Нижи	Виши		
Ментални напор у ЛИЗ	К	М	5.34	-0.46	1.03	0.78	0.439
		Ж	5.05				
Ментални напор у ЛАЗ	Е	М	4.46	-0.17	0.94	1.38	0.175
		Ж	4.08				
	К	М	5.50	-0.86	0.70	-0.21	0.838
		Ж	5.58				

\* $p<0.05$ ; ЛИЗ: линеарни изоморфни задаци, ЛАЗ: линеарни аналогни задаци, Е: експериментална група, К: контролна група, М: мушки пол, Ж: женски пол

Разматрани резултати су такође приказани и графички (слика 40), при чему се јасно уочава да ученици експерименталне групе улажу мањи ментални напор током решавања обе подгрупе задатака: изоморфне ЛЗ и аналогне ЛЗ, у односу на ученике контролне групе. Са друге стране, разматрајући посебно испитанике мушког и женског пола у оквиру обе групе, није забележена значајна разлика у менталном напору нити у току решавања изоморфних, нити аналогних ЛЗ.



Слика 40. Графици двосмерне МАНОВА анализе за ментални напор ученика експерименталне и контролне групе у изоморфним (горњи график) и аналогним ЛЗ (доњи график) у главној фази истраживања

## 4.2.2.2. Ментални напор ученика у СЗ у главној фази истраживања

Да би се установило да ли су главни и интеракциони ефекти независних варијабли за ментални напор ученика у СЗ статистички значајни, размотрени су резултати Wilk-овог теста у оквиру двосмерне МАНОВА анализе (табела 30). Резултати тог теста су нагласили да су главни ефекти за инструкциони метод и пол ученика статистички значајни (инструкциони метод:  $\Lambda=0.56$ ,  $F(2, 80)=31.28$ ,  $p=0.000$ ,  $p<0.05$ ; пол:  $\Lambda=0.89$ ,  $F(2, 80)=5.07$ ,  $p=0.008$ ,  $p<0.05$ ), док интеракциони ефекат између две независне варијабле није статистички значајан ( $\Lambda=0.93$ ,  $F(2, 80)=2.82$ ,  $p=0.066$ ,  $p>0.05$ ). Вредности парцијалног  $\eta^2$  наглашавају да је утицај инструкционог метода на ментални напор ученика у СЗ средње јак, док је утицај пола слабе јачине (према Tolmie и др., 2011). То значи да се 44 % варијансе менталног напора ученика у СЗ може довести у везу са примењеним инструкционим методом, док се свега 11 % исте зависне варијабле може довести у везу са полом ученика.

**Табела 30.** Резултати Wilk-овог теста за ментални напор ученика у СЗ у главној фази истраживања

Извор	Wilk-ова $\Lambda$	$F(2, 80)$	$p$	Парцијални $\eta^2$
Инструкциони метод (А)	0.56	31.28	0.000*	0.44
Пол (Б)	0.89	5.07	0.008*	0.11
А*Б	0.93	2.82	0.066	0.07

\* $p<0.05$

Пошто је двосмерна МАНОВА анализа, преко Wilk-овог  $\Lambda$  теста (табела 30), исказала статистички значајан ефекат за инструкциони метод и пол ученика као независне варијабле, надаље су разматрани резултати појединачних двосмерних АНОВА анализа, као надоградња на двосмерну МАНОВА анализу. При томе су се посебно разматрале обе зависне варијабле: ментални напор ученика у изоморфним СЗ и ментални напор ученика у аналогним СЗ (табела 31).

**Табела 31.** Резултати двосмерне МАНОВА анализе за ментални напор ученика у СЗ у главној фази истраживања

Извор	Зависна варијабла	Сума квадрата	Средина квадрата	F	p	Парцијални $\eta^2$
Инструкциони метод (А)	Ментални напор у СИЗ	72.45	72.45	52.13	0.000*	0.39
	Ментални напор у САЗ	47.86	47.86	50.06	0.000*	0.38
Пол (Б)	Ментални напор у СИЗ	12.37	12.37	8.90	0.004*	0.10
	Ментални напор у САЗ	7.24	7.24	7.57	0.007*	0.09
А*Б	Ментални напор у СИЗ	7.93	7.93	5.71	0.019*	0.07
	Ментални напор у САЗ	1.95	1.95	2.04	0.157	0.03

\* $p < 0.05$ ; СИЗ: системички изоморфни задаци, САЗ: системички аналогни задаци

Посматрајући инструкциони метод као независну варијаблу, резултати двосмерних АНОВА анализа (табела 31) истакли су статистички значајну разлику у менталном напору између ученика експерименталне и контролне групе, како у изоморфним СЗ ( $F=52.13$ ,  $p=0.000$ ,  $p < 0.05$ ), тако и у аналогним СЗ ( $F=47.86$ ,  $p=0.000$ ,  $p < 0.05$ ). Вредности парцијалног  $\eta^2$  истичу да је ефекат инструкционог метода на обе зависне варијабле средње јачине, при чему се 39 % варијансе менталног напора ученика у изоморфним СЗ, или 38 % варијансе у аналогним СЗ, може довести у везу са примењеним инструкционим методом.

Разматрајући средње вредности менталног напора, установљено је да ученици експерименталне групе улажу мање вредности менталног напора од ученика контролне групе у обе подгрупе задатака (изоморфни СЗ:  $M(E)=4.52$ ,  $SD=1.34$ ;  $M(K)=6.29$ ,  $SD=1.19$ ; аналогни СЗ:  $M(E)=5.34$ ,  $SD=1.06$ ;  $M(K)=6.41$ ,  $SD=0.98$ ). При томе, ученици експерименталне групе улажу ментални напор који одговара вредности „тешко” на седмостепеној Ликертовој скали, док код ученика контролне групе одговара вредности „веома тешко”. Тумачећи ове резултате, поново се можемо ослонити на тврдњу Van Gog-a и Raas-a (2008) који истичу да у току решавања проблема ученици обучавани ефикаснијим инструкционим методом улажу мањи ментални напор у односу на ученике који су обучавани мање ефикасним инструкционим методом.

Надаље, разматрајући пол ученика као независну варијаблу (табела 31), резултати појединачних двосмерних АНОВА анализа истакли су значајну разлику у менталном напору између испитаника мушког и женског пола, како у изоморфним СЗ ( $F=8.90$ ,  $p=0.004$ ,  $p < 0.05$ ), тако и у аналогним СЗ ( $F=7.57$ ,  $p=0.007$ ,  $p < 0.05$ ). Вредности парцијалних  $\eta^2$  истичу да је ефекат пола ученика на обе зависне варијабле слабе јачине, јер се свега 10 % варијабле менталног напора у изоморфним СЗ, или 9 % варијабле менталног напора у аналогним СЗ, може довести у везу са полом ученика. Посматрајући средње вредности менталног напора ученика и ученица у изоморфним и аналогним СЗ, закључује

се да ученице улажу мањи ментални напор током решавања обе подгрупе задатака у односу на ученике (изоморфни СЗ: М(мушки пол)=5.70, СД=1.33; М(женски пол)=4.97, СД=1.70; аналогни СЗ: М(мушки пол)=5.90, СД=1.13; М(женски пол)=5.35, СД=1.34). Док ученице улажу ментални напор који одговара тврдњи „*тешко*” на седмостепеној Ликертовој скали, ученици улажу ментални напор чије средње вредности одговарају тврдњи „*веома тешко*”. Ови резултати се тумаче тиме да су ученици у току решавања обе подгрупе СЗ више когнитивно оптерећени од ученица, односно когнитивни процеси које је неопходно применити за решавање овог типа задатака код ученика превазилазе расположиви когнитивни капацитет (Mayer и Moreno, 2003) и због тога они улажу висок ментални напор да би их решили (Wernaart, 2013).

Последњи ефекат који се разматра у оквиру двосмерне МАНОВА анализе, јесте интеракциони ефекат између две независне варијабле. Посматрајући ментални напор ученика у изоморфним СЗ као зависну варијаблу, из табеле 31 се уочава да је интеракциони ефекат статистички значајан на нивоу поузданости од 95 % ( $F=5.71$ ,  $p=0.019$ ,  $p<0.05$ ). Вредност парцијалног  $\eta^2$  истиче да је утицај интеракционог ефекта између инструкционог метода и пола ученика за ментални напор ученика у изоморфним СЗ слабе јачине, при чему се 7 % варијансе менталног напора у изоморфним СЗ може довести у везу са интеракционим ефектом између инструкционог метода и пола ученика. Статистички значајан интеракциони ефекат између две независне варијабле указује на то да инструкциони метод није једнако ефикасан за оба пола ученика, сагледавајући нивое уложеног менталног напора у току решавања ове подгрупе задатака.

Да би се установило да ли тај закључак задовољава експерименталну, контролну групу ученика, или обе групе, размотрени су резултати параметријског  $t$ -теста код експерименталне групе (табела 32), односно непараметријског Mann-Whitney-евог теста код контролне групе ученика. Резултати  $t$ -теста су указали на чињеницу да постоји статистички значајна разлика у нивоима уложеног менталног напора између испитаника мушког и испитаника женског пола у оквиру експерименталне групе, пошто интервал поверења не садржи вредност 0.00,  $p$ -вредност је мања од 0.05 ( $p=0.000$ ), док је добијена  $t$ -вредност ( $t=3.92$ ) већа од критичне  $t_c$ -вредности ( $t_c=2.02$ ,  $df=42$ ,  $\alpha<0.05$ ). Посматрајући средње вредности менталног напора, може се закључити да ученице улажу мањи ментални напора од ученика (М(мушки пол)=5.12, СД=1.09; М(женски пол)=3.74, СД=1.24), при чему је величина те разлике, представљена преко Cohen-овог  $d$  коефицијента ( $d=1.18$ ), изразито велика (према Faul и др., 2007). Док ученице улажу нивое менталног напора који одговарају тврдњи „*ни тешко ни лако*” (седмостепена Ликертова скала), код ученика оне одговарају тврдњи „*тешко*”. Са друге стране, резултати Mann-Whitney-евог теста код контролне групе ученика, нису истакли значајну разлику између испитаника мушког и испитаника женског пола у нивоима уложеног менталног напора у току решавања изоморфних СЗ (СК(мушки пол)=22.27, СК(женски пол)=19.53,  $U=181.00$ ,  $p=0.385$ ,  $p>0.05$ ).

Надаље, посматрајући ментални напор ученика у аналогним СЗ, резултати двосмерне АНОВА анализе у оквиру двосмерне МАНОВА анализе, нису истакли статистички значајан интеракциони ефекат између две независне варијабле (табела 35:  $F=2.04$ ,  $p=0.157$ ,  $p>0.05$ ). То се може тумачити тиме што је системички приступ у учењу органске хемије био погодан за оба пола

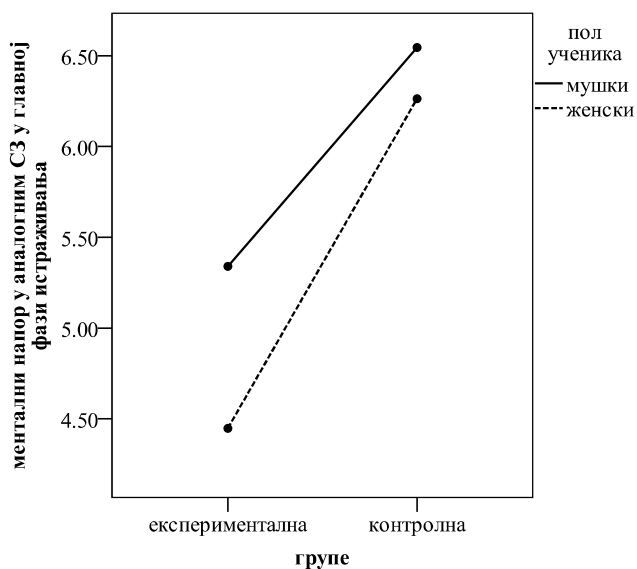
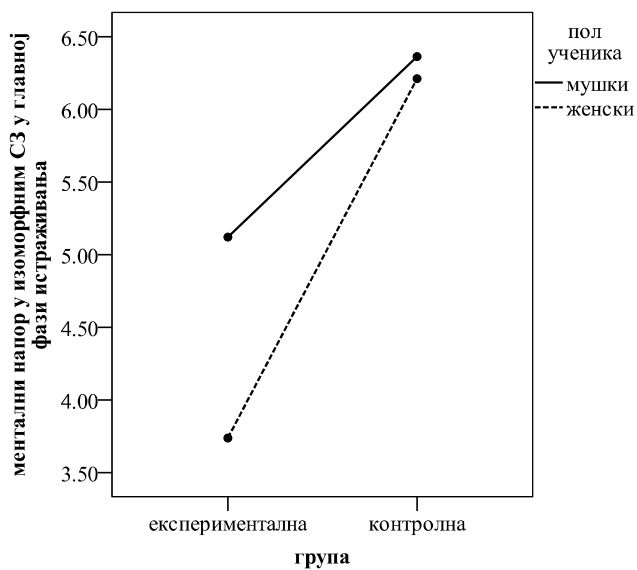
експерименталне групе, док је традиционална настава била знатно мање ефикасна за оба пола контролне групе. Са циљем потврђивања овог исказа, примењен је додатни  $t$ -тест у оквиру експерименталне групе (табела 32), као и Mann-Whitney-ев тест код контролне групе ученика. Резултати  $t$ -теста су истакли да у оквиру експерименталне групе ученика ипак постоји статистички значајна разлика у уложеном менталном напору током решавања аналогних СЗ између испитаника мушког и испитаника женског пола, пошто интервал поверења не поседује вредност 0.00,  $p$ -вредност је мања од 0.05 ( $p=0.004$ ), док је добијена  $t$ -вредност ( $t=3.01$ ) већа од критичне  $t_c$ -вредности ( $t_c=2.02$ ,  $df=42$ ,  $\alpha<0.05$ ). Анализирајући средње вредности постигнућа, установљено је да ученице улажу мање менталног напора током решавања аналогних СЗ у односу на ученике ( $M(\text{мушки пол})=5.34$ ,  $СД=0.95$ ;  $M(\text{женски пол})=4.45$ ,  $СД=1.00$ ), при чему је та разлика, изражена преко Cohen-овог  $d$  коефицијента ( $d=0.91$ ), изразито велика (према Faul и др., 2007). Док испитаници женског пола улажу ментални напор који одговара тврдњи „ни тешко ни лако” (седмостепена Ликертова скала), испитаници мушког пола решавање истог типа задатака обележавају као „тешко”. Са друге стране, резултати Mann-Whitney-евог теста, код контролне групе ученика, истичу да оба пола испитаника улажу подједнаке нивое менталног напора током решавања аналогних СЗ ( $СК(\text{мушки пол})=23.07$ ,  $СК(\text{женски пол})=18.61$ ,  $U=163.50$ ,  $p=0.159$ ,  $p>0.05$ ), који на седмостепеној Ликертовој скали одговарају вредности „изузетно тешко” код ученика, односно „веома тешко” код ученица ( $M(\text{мушки пол})=6.54$ ,  $СД=0.97$ ;  $M(\text{женски пол})=6.26$ ,  $СД=0.99$ ).

**Табела 32.** Резултати  $t$ -теста за ментални напор испитаника мушког и женског пола у оквиру Е групе у изоморфним и аналогним СЗ у главној фази истраживања

Зависна варијабла	Група	Пол	М	Интервал поверења		$t$	$p$
				Нижи	Виши		
Ментални напор у СИЗ	Е	М	5.12	0.67	2.09	3.92	0.000*
		Ж	3.74				
Ментални напор у САЗ	Е	М	5.34	0.29	1.49	3.01	0.004*
		Ж	4.45				

\* $p<0.05$ ; СИЗ: системички изоморфни задаци, САЗ: системички аналогни задаци, Е: експериментална група, М: мушки пол, Ж: женски пол

Наведени резултати двосмерне МАНОВА анализе,  $t$ -теста и Mann-Whitney-евог теста, потврђени су и графички, на слици 41. Са слике се јасно уочава да ученици оба пола експерименталне групе улажу значајно ниже нивое менталног напора у односу на ученике оба пола из контролне групе, како у току решавања изоморфних, тако и аналогних СЗ. Међутим, док у оквиру експерименталне групе ученице улажу нижи ментални напор за решавање поменутих подгрупа задатака од ученика из исте групе, у оквиру контролне групе није забележена значајна разлика у нивоима менталног напора, посматрајући пол као независну варијаблу (слика 41).



Слика 41. Графици двосмерне МАНОВА анализе за ментални напор ученика експерименталне и контролне групе у изоморфним (горњи дијаграм) и аналогним СЗ (доњи дијаграм) у главнoј фази истраживања

#### 4.2.3. Приказ инструкционе ефикасности за системички приступ и традиционалну наставу у главној фази истраживања

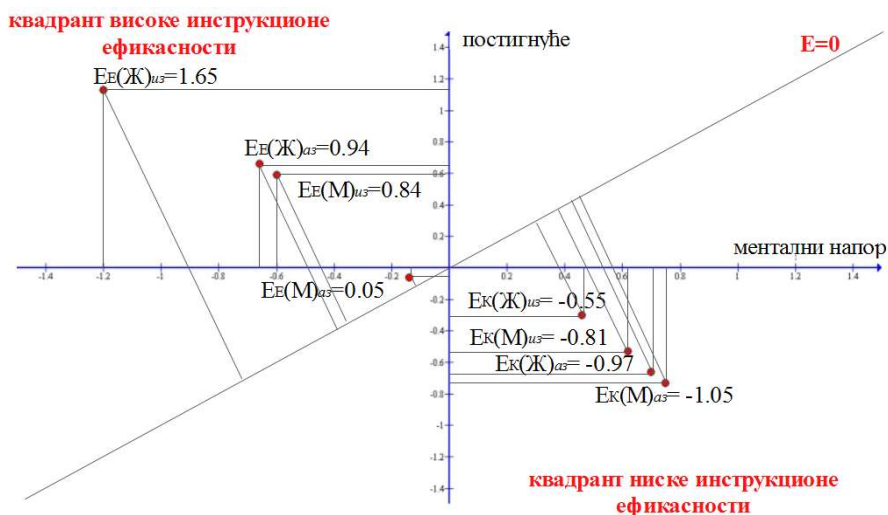
У циљу приказивања и поређења релативне инструкционе ефикасности разматраних инструкционих метода (системичког приступа и традиционалне наставе), примењен је математички модел који су развили Raas и van Merriënboer (1993), комбинујући две варијабле: постигнуће ученика и уложени ментални напор. Да би се поменуте две варијабле могле комбиновати, извршена је стандардизација свих појединачних вредности постигнућа и менталног напора, свођењем на одговарајуће  $z$  вредности. Стандардизоване вредности постигнућа ( $P$ ) и менталног напора ( $R$ ) за ученике оба пола експерименталне и контролне групе приказане су у табели 33, из које се може приметити да су посебно разматрани изоморфни и аналогни задаци. При томе је, на пример, постигнуће ученика у изоморфним задацима представљало средњу вредност збира постигнућа у изоморфним ЛЗ и изоморфним СЗ, док је постигнуће у аналогним задацима представљало средњу вредност збира постигнућа у аналогним ЛЗ и аналогним СЗ. Исти поступак је примењен за израчунавање менталног напора ученика у изоморфним и аналогним задацима.

**Табела 33.** Стандардизоване вредности постигнућа ( $P$ ) и менталног напора ( $R$ ) у изоморфним и аналогним задацима за ученике експерименталне и контролне групе

Група	Пол	Тип задатка	P	R	E
Е	М	Изоморфни	0.59	-0.60	0.84
Е	Ж	Изоморфни	1.13	-1.20	1.65
Е	М	Аналогни	-0.06	-0.14	0.05
Е	Ж	Аналогни	0.66	-0.66	0.94
К	М	Изоморфни	-0.53	0.62	-0.81
К	Ж	Изоморфни	-0.30	0.46	-0.55
К	М	Аналогни	-0.73	0.75	-1.05
К	Ж	Аналогни	-0.66	0.70	-0.97

Након стандардизације, добијене  $z$  вредности из табеле 33 уврштене су у формулу за израчунавање релативне инструкционе ефикасности:  $E=(P- R)/\sqrt{2}$  (Tuovinen и Raas, 2004). За израчунавање вредности релативне инструкционе ефикасности ( $E$ ) примењен је Microsoft Office Excel, при чему су добијене вредности приказане у последњој колони у табели 33. На основу добијених вредности за инструкциону ефикасност, примећујемо да је она највећа код ученица експерименталне групе (изоморфни задаци), док је најнижа код ученика контролне групе (аналогни задаци). За детаљније тумачење ефикасности примењених инструкционих метода, нацртан је график инструкционе ефикасности (слика 42), који приказује врло значајне релације између ученичког постигнућа, менталног напора и инструкционе ефикасности (Tuovinen и Raas, 2004).





**Слика 42.** Приказ релативне инструкционе ефикасности за системички приступ ( $E_E(M)$ ;  $E_E(J)$ ) и традиционалну наставу ( $E_K(M)$ ;  $E_K(J)$ ) за главну фазу истраживања

На приказаном графику (слика 42), вредност релативне инструкционе ефикасности за сваку разматрану подгрупу и тип задатка (на пример ученице у експерименталној групи, изоморфни задаци:  $E_E(J)_{ис}$ ) представљена је тачком која се налази на одређеном растојању од нулте ефикасности ( $E=0$ ,  $P=R$ ), односно лоцирана је изнад или испод линије нулте ефикасности (најчешће у горњем левом, или у доњем десном квадранту). На основу тога, инструкциона ефикасност се може тумачити као висока, или као ниска. У овој студији, у главној фази истраживања, висока инструкциона ефикасност је забележена у експерименталној групи ученика, код оба пола за изоморфне задатке, као и код ученица за аналогне задатке, при чему су високе вредности постигнућа праћене ниским вредностима уложеног менталног напора, па су добијене вредности инструкционе ефикасности у плус скали (према Tuovinen и Paas, 2004), док су тачке инструкционе ефикасности смештене у горњем левом квадранту – квадранту високе инструкционе ефикасности (слика 42). Изузетак су испитаници мушког пола експерименталне групе за аналогне задатке, пошто се код њих тачка која представља инструкциону ефикасност налази изван квадранта високе ефикасности, иако је бројчана вредност ефикасности у плус скали. Разлог томе је то што су ниске вредности менталног напора биле праћене доста ниским вредностима постигнућа ученика Е групе у аналогним задацима. Тиме је јасно потврђено претходно запажање да је системички приступ ефикаснији инструкциони метод за ученице него за ученике у домену средњошколске наставе органске хемије. Да би се објаснили ови резултати разматрене су разлике у стилovima учења међу ученицима различитог пола. Philbin, Meier, Huffman и Boverie (1995) истичу да за ученице традиционални приступ није најпогоднији за учење пошто у таквим наставним ситуацијама њихове карактеристике дивергентних ученика и „мислилаца” не могу доћи до изражаја. Међутим, решавајући СЗ на часовима понављања градива, ученице

могу испољити своје дивергентне способности и вештине: флексибилност (разматрање вишеструког приступа проблему), креативност и оригиналност у анализи и решавању презентованог проблема, повезивање концепата из различитих делова наставног градива, а све то уз сарадњу са другим ученицима у разреду (наведене карактеристике дивергентних ученика приказане у Bhatti и Bart, 2013). Са друге стране, ученици мушког пола више одговарају асимилаторском типу (Philbin и др., 1995) – рационални су у учењу и мишљењу, а у наставном процесу преферирају теорије и вербална објашњења (Bhatti и Bart, 2013). На основу тога ученицима мушког пола више одговарају одређени аспекти традиционалне наставе: (а) центрирана је на наставника, док се наставник доминантно служи уџбеником, (б) наставни материјали су хијерархијски уређени и нису повезани са претходним знањем и искуством ученика. Пошто је дизајн системичког приступа у супротности за наведеним карактеристикама асимилаторског типа ученика, овај инструкциони метод је процењен као ефикаснији за ученике женског пола, а то је додатно потврђено графиком инструкционе ефикасности (слика 42). Међутим, ипак се мора нагласити да је системички приступ ефикаснији од традиционалне наставе, јер је у традиционалној настави утврђена ниска инструкциона ефикасност за оба пола испитаника. При томе су ниске вредности постигнућа праћене високим вредностима уложеног менталног напора, а добијене вредности инструкционе ефикасности су у минус скали (према Tuovinen и Paas, 2004), са тачкама инструкционе ефикасности за изоморфне и за аналогне задатке у доњем десном квадранту на графику са слике 42.

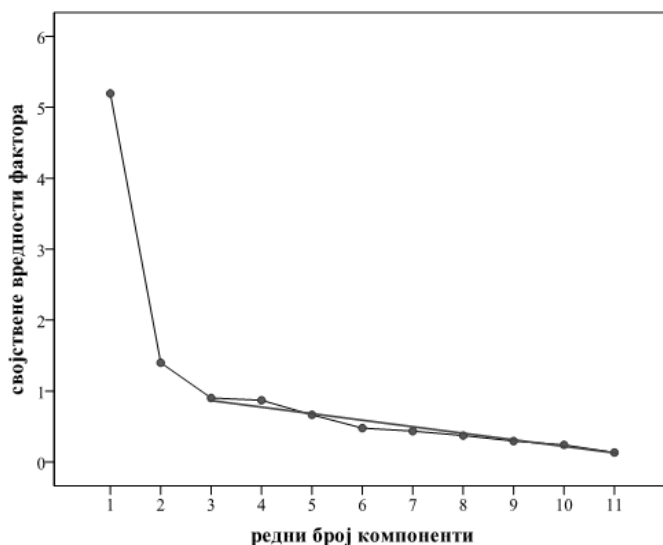
#### **4.2.4. Евалуација ученичког смисленог разумевања у главној фази истраживања**

За евалуацију ученичког смисленог разумевања примењена је експлораторна факторска анализа (ЕФА), методом екстракције (анализа принципијелних компоненти) и varimax ротационим приступом. Bartlett-ов тест сферичности ( $\chi^2=464.65$ ,  $df=55$ ,  $p=0.000$ ) и Kaiser-Meyer-Olkin-ове мере адекватности узорковања ( $KMO=0.853$ ) истакли су адекватност примене експлораторне факторске анализе.

На основу резултата факторске анализе, која је била примењена на задацима теста знања из фазе претходног истраживања, конструисан је инструмент за евалуацију ученичког смисленог разумевања у главној фази истраживања, сагледавајући претходно поменуте елементе Pellegrino-вог (2001) троугла евалуације ученичког знања. Задаци финалног теста знања су класификовани у две главне категорије: линеарни задаци ( $Z_1, Z_2, Z_3, Z_4, Z_6, Z_9, Z_{10}, Z_{11}$ ) и системички задаци ( $Z_5, Z_7, Z_8$ ), при чему су линеарни задаци конструисани као задаци вишеструког избора, есејски задаци, задаци допуњавања, задаци повезивања и задаци сређивања и упоређивања. Дистрибуција задатака по типовима представљена је у табели 34.

Експлораторна факторска анализа је погодна за одређивање који задаци, односно који тип задатака представља ефикасан алат за евалуацију ученичког смисленог разумевања, пошто се тим поступком одређује број фактора који су неопходни да би се објаснила веза између сета задатака, вредновањем те релације преко факторских оптерећења (Epochs, Smith и Huinker, 2000). Тиме је

факторска анализа на задацима финалног теста знања започела одређивањем броја фактора. Са тим циљем примењена је принципијелна компонентна анализа, као и графичка scree-plot анализа. Обе примењене анализе истакле су постојање два фактора, при чему је принципијелна компонентна анализа резултовала постојањем два фактора са својственим вредностима већим од 1 (Kaiser-ов критеријум одређивања броја фактора, према Costello и Osborne, 2005), што је објаснило 60 % варијансе. Поред тога, scree-plot анализа (слика 43), односно примена Cattell-овог дијаграма својствених вредности фактора, такође је нагласила постојање два фактора, пошто се две тачке налазе изнад подвучене праве. Први од два фактора обележен је као „*смислен*”, а други као „*механички*”, у складу са радовима Tzougraki и сарадника (2014) и Vachliotis-a и сарадника (2011, 2014). Да би одредили која група задатака више одговара „*смисленом*”, а која „*механичком*” фактору, ови аутори су разматрали структуру задатака и комплексност њихових захтева.



**Слика 43.** Cattell-ов дијаграм својствених вредности фактора (scree plot анализа) за главну фазу истраживања

Након одређивања броја фактора и њихове карактеризације, разматране су вредности факторских оптерећења. Факторска оптерећења, која су приказана у табели 34 за све задатке, приказала су јасну факторску структуру, чиме је двофакторски модел („*смислено*” - „*механичко*”) додатно подржан. За даљу интерпретацију фактора, прихваћен је модел који су предложили Tabachnick и Fidell (1996), по коме је минимална прихватљива вредност факторског оптерећења 0.32. На основу тога су у табели 34 подељане све магнитуде фактора које задовољавају тај критеријум. Као што се из табеле 34 примећује, факторска оптерећења се крећу у распону од 0.35 до 0.87.

**Табела 34.** Карактеризација фактора и факторска оптерећења за задатке теста знања у главној фази истраживања

Редни број задатка	Тип задатка	„Смислени” фактор	„Механички” фактор
Z <sub>1</sub>	ЛЗ: вишеструки избор	0.02	<b>0.53</b>
Z <sub>2</sub>	ЛЗ: есејски	<b>0.78</b>	-0.02
Z <sub>3</sub>	ЛЗ: повезивање	<b>0.45</b>	<b>0.52</b>
Z <sub>4</sub>	ЛЗ: допуњавање	<b>0.76</b>	<b>0.35</b>
Z <sub>5</sub>	СЗ	<b>0.87</b>	0.24
Z <sub>6</sub>	ЛЗ: сређивање/упоређивање	<b>0.54</b>	<b>0.56</b>
Z <sub>7</sub>	СЗ	<b>0.75</b>	0.30
Z <sub>8</sub>	СЗ	<b>0.79</b>	0.21
Z <sub>9</sub>	ЛЗ: вишеструки избор	0.01	<b>0.81</b>
Z <sub>10</sub>	ЛЗ: допуњавање	0.30	<b>0.69</b>
Z <sub>11</sub>	ЛЗ: есејски	<b>0.76</b>	0.01

У наставку рада, посебно ће се дискутовати три групе задатака, у зависности од тога да ли су везани за „смислени” фактор, за оба фактора, или за „механички” фактор.

Задаци везани за „смислени” фактор. Резултати експлораторне факторске анализе истакли су чињеницу да је пет од једанаест задатака искључиво везано за „смислени” фактор (табела 34); од тога су три СЗ и два ЛЗ – есејска задатка. На основу тога можемо приметити да су сви СЗ финалног теста знања везани за „смислени” фактор, док се та веза, разматрајући Tabachnick и Fidell-ов (1996) модел тумачења факторских оптерећења, карактерише као одлична. Поред разматрања факторских оптерећења, пожељно је спецификовати корелацију међу задацима који припадају датом фактору (Epochs и др., 2000), па је сходно томе, додатно размотрен корелациони матрикс, односно појединачне вредности коефицијената корелације  $r$  између СЗ (Прилог 7.10, табела 42). Корелациони матрикс је истакао јаку корелацију између сва три СЗ (тумачење јачине корелације вршено је према Taylor, 1990). Ова чињеница није изненађујућа, пошто су СЗ, за потребе финалног теста знања, конструсани након разматрања резултата факторске анализе за задатке теста знања претходног истраживања. При томе су као кључни елементи за конструкцију системичких задатака разматрани:

(а) *Комплексност концепата и релација*, који се односе на укључивање већег броја концепата (конструкција СЗ са већим бројем празних поља) (Tzougraki и др., 2014; Vachliotis и др., 2011), затим на успостављање вишеструких релација међу концептима, као и укључивање концепата различитих карактеристика (на пример, органских једињења са различитим бројем С-атома), или концепата и релација који нису директно приказани у уџбенику који ученици користе (Vachliotis и др., 2011), или од стране наставника на часовима;

(б) *Системички задаци треба да буду „мање директни”* и њихово решавање захтева примену виших когнитивних процеса, односно сами задаци поседују више когнитивне захтеве (Vachliotis и др., 2014). Виши когнитивни захтеви се могу дефинисати преко примене познатих процедура или алгоритама, као и комплексним мишљењем и резонувањем, односно концептуалним повезивањем (Henningsen и Stein, 1997).

Разматрајући наведене захтеве, надаље ће бити дискутован сваки СЗ понаособ. Први размотрен СЗ јесте З<sub>5</sub> (Прилог 7.9, Тест А, задатак 5). Иако су обухваћени концепти у овом СЗ били познати ученицима (приказани су у уџбенику), на комплексност овог задатка утицало је укључивање великог броја концепата (седам концепата), као и успостављање вишеструких релација међу њима. Тако је, на пример, етанска киселина била повезана са додатна три концепта: са калцијум-етаноатом, преко реакције са калцијум-хидроксидом, затим са етаноил-хлоридом, преко реакције са фосфор(III)-хлоридом, и са пропаном (ацетоном), који у реакцији са концентрованом азотном киселином, поред метанске, даје и етанску киселину. Троструко повезивање је такође било присутно и код пропанона. Поред вишеструких релација, на комплексност овог СЗ утицало је и укључивање концепата, односно органских једињења са различитим бројем С-атома. У овом СЗ била су укључена органска једињења са једним С-атомом (метанска киселина и метанол), затим са два С-атома (етанска киселина, калцијум-етаноат и етаноил-хлорид), као и са три С-атома (пропанон и метил-етаноат), при чему можемо запазити да укључени концепти не поседују велики број С-атома, односно да су то нижи чланови хомологих низова одређених класа органских једињења. Међутим, обухваћени концепти припадају различитим класама органских једињења, па су тако укључени алкохоли, кетони, карбоксилне киселине, као и деривати карбоксилних киселина (естри и хлориди), што је додатно утицало на комплексност задатка. Повећана комплексност се тумачи тиме, да су ученици у току решавања овог задатка морали реконструисати постојеће базе знања, у циљу успостављања нових, вишеструких релација међу већим бројем њихових делова (према Henningsen и Stein, 1997). Такође разматрајући други захтев, односно когнитивне процесе, за решавање овог СЗ ученици су морали ангажовати више когнитивне способности, које Henningsen и Stein (1997), као и Zoller и Tsapralis (1997), дефинишу као примена стеченог знања (познатих концепата) у непознатој, новој ситуацији (проблеми). На пример, иако су ученици били упознати са структуром калцијум-етаноата, нису се сусрели са једначином реакције између етанске киселине и калцијум-хидроксида. Поред тога, једначина реакције разлагања пропанона у присуству вреле азотне киселине на метанску и етанску киселину није директно приказана у уџбенику (једначина реакције је приказана на општој формули кетона). Уколико се на крају осврнемо на чињеницу да је управо овај СЗ био најбоље повезан са смисленим фактором (са факторским оптерећењем 0.87), закључујемо да су комплексност задатка преко наведених карактеристика и захтева примене виших когнитивних процеса за решавање, изузетно битне и пожељне карактеристике ових алата за евалуацију ученичког смисленог разумевања.

За разлику од системичког задатка З<sub>5</sub>, који садржи релативно велики број концепата, системички задатак З<sub>7</sub> (Прилог 7.9, Тест Б, задатак 2), садржи четири концепта. Али, на комплексност системичког задатка З<sub>7</sub> не утиче број концепата, већ успостављање вишеструких релација међу њима. Па је тиме, 2-метил-2-бутанол био повезан са три додатна концепта: са 2-хлор-2-метилбутаном, преко реакције са Лукасовим реагентом, затим са натријум-2-метил-2-бутанолатом, преко реакције са металним натријумом, као и са 2(1,1-диметилпропокси)-2-метилбутаном, у реакцији са још једним молекулом 2-метил-2-бутанола, при одговарајућим реакционим условима. Поред укључивања вишеструких релација међу концептима, битна одлика овог СЗ јесте одабир концепата (органских једињења) са којима се ученици нису

директно сусретали на часовима, а такође нису приказани у уџбенику (на пример етар 2(1,1-диметилпропокси)-2-метилбутан). Тиме је задовољен захтев иновативности концепата. Такође, одабрани концепти су релативно сложени: садрже велики број С-атома (етар садржи 10 С-атома), као и рачвасте структуре (2-метил-2-бутанол). Уз то, концепти не поседују исти број С-атома, па се појављују концепти са 5 С-атома (2-метил-2-бутанол, 2-хлор-2-метилбутан, натријум-2-метил-2-бутанолат), као и концепт са 10 С-атома (2(1,1-диметилпропокси)-2-метилбутан). На основу изнетог, може се закључити да су ученици током решавања овог СЗ морали применити више когнитивне процесе. Тако на пример, да би нацртали структуру комплексног етра, ученици су морали применити стечено знање (познате процедуре) о томе како се формира етарска веза и како она изгледа, при чему су стечено знање применили за решавање непознатог проблема. Према томе не изненађује чињеница да је и овај СЗ био одлично повезан са „смисленим” фактором, са факторски оптерећењем 0.75.

Последњи системички задатак, З<sub>8</sub> (Прилог 7.9, Тест Б, задатак 3), је по броју концепата (5 концепта) средње комплексности, поредећи га са претходна два задатка. Надаље посматрајући његову комплексност, треба истаћи чињеницу да овај СЗ, за разлику од задатака З<sub>5</sub> и З<sub>7</sub>, не поседује вишеструке релације, пошто је сваки концепт повезан само са додатна два концепта. Међутим, иако су релације искључиво двоструке, на њихову комплексност утиче карактеристика која није поменута код претходна два задатка. Док задаци З<sub>5</sub> и З<sub>7</sub> поштују правило о релацијама које се крећу у смеру казаљке на сату (З<sub>5</sub> и горњи део дијаграма З<sub>7</sub>), или у супротном смеру од казаљке на сату (доњи део дијаграма З<sub>7</sub>) (Fahmy и Lagowski, 2012), задатак З<sub>8</sub> не прати то правило. Да би правилно решили овај СЗ, ученици су морали пажљиво пратити смер релација и константно се враћати на сам текст задатка, што је захтевало додатну пажњу и додатно време решавања. Поред комплексности смера релација, битна одлика овог СЗ је и иновативност концепата, при чему укључени концепти нису ученицима познати од раније (на пример, изопропил-метил-кетон или 3-метил-1-бутин), а уколико су им познате саме структуре тих концепата (на пример, 3-метил-1-бутен је приказан у уџбенику), нису на њима приказане једначине одабраних реакција. Уз то, обухваћени концепти припадају различитим класама органских једињења (алкени, алкини, алкохоли и кетони), при чему је за решавање овог СЗ била неопходна реконструкција постојеће базе знања у циљу концептуалног повезивања (према Henningsen и Stein, 1997). Такође, једна од кључних карактеристика овог СЗ јесте и укључивање појаве структурне изомерије положаја двоструке везе код алкена (2-метил-2-бутен и 3-метил-1-бутен), што такође није било заступљено код претходна два СЗ и свакако је резултовало тиме да овај задатак буде одлично повезан са „смисленим” фактором, са факторским оптерећењем 0.79.

На основу изнетих чињеница можемо закључити да су сви СЗ испунили захтев неопходности примене когнитивних вештина вишег реда, све до нивоа реконструкције базе знања и концептуалног повезивања. То може значити да се задаци међусобно највише разликују по параметрима комплексности. Табела 35 приказује које захтеве комплексности испуњава сваки појединачни СЗ, при чему уочавамо да сваки задатак испуњава већи број захтева, па стога не изненађује чињеница да су сви задаци одлично повезани са „смисленим” фактором. Међутим, ипак треба напоменути да је системички задатак З<sub>5</sub> био најбоље повезан са „смисленим” фактором, док су остала два задатка имала врло слична

факторска оптерећења. Стога се поставља питање који су то параметри овог задатка који су га окарактерисали алатом који је најефикаснији за евалуацију ученичког смисленог разумевања? Сагледавајући параметре из табеле 40, најлогичнији одговор се налази у самој комбинацији параметара комплексности који чине овај задатак. Укључивање већег броја концепата, који припадају различитим класама органских једињења, а истовремено поседују различит број С-атома, омогућава наставницима да конструишу СЗ у којима је могуће успоставити вишеструке релације међу концептима. Да би ученици сагледали вишеструке релације међу великим бројем једињења који припадају различитим класама и имају различити број С-атома, морају применити комплексно мишљење и резонување да би реконструисали постојеће базе знања. Такво решавање задатака јесте резултат ученичког смисленог разумевања.

**Табела 35.** Приказ захтева комплексности системичких задатака (дистрибуција захтева по задацима)

Комплексност системичког задатка		З <sub>5</sub>	З <sub>7</sub>	З <sub>8</sub>
Концепти	Већи број концепата	+	-	-
	Концепти са већим бројем С-атома	-	+	+
	Концепти са различитим бројем С-атома	+	+	-
	Нови концепти (нису приказани у уџбенику)	-	+	+
	Концепти припадају различитим класама органских једињења	+	-	+
	Концепти представљају изомере	-	-	+
Релације	Вишеструке релације	+	+	-
	Комплексан смер релација (не прате смер казаљке на сату, или обрнути смер казаљке на сату)	-	-	+

Напомена: + задовољава захтев; - не задовољава захтев

Поред системичких задатака, ЛЗ есејског типа такође поседују факторска оптерећења (табела 34) која су их уврстила у задатке који ефикасно процењују ученичко смислено разумевање. Оба есејска задатка (З<sub>2</sub>: Прилог 7.9, Тест А, задатак 2; З<sub>11</sub>: Прилог 7.9, Тест Б, задатак 4.ИИ) била су одлично повезана са „смисленим” фактором (према Tabachnick и Fidell, 1996), док је корелациони матрикс (Прилог 7.10, табела 42) истакао корелацију средње јачине између ова два есејска задатка (према Taylor, 1990). Ослањајући се на Мауег-ов рад (2002), не изненађује чињеница да су есејски задаци били повезани са „смисленим” фактором, пошто њихово решавање захтева препознавање саме природе проблема, као и темељно анализирање проблема. Поред тога, захтева се дубоко разумевање разматраног домена (Spargo, 1990), а то значи да елементи знања (чињенице и принципи) о том домену морају бити на одговарајући начин организовани, односно повезани у дугорочној меморији, да би се такво организовано знање могло применити у току решавања новог проблема приказаног у есејској форми (Nehm и Schonfeld, 2008; Reid и Yang, 2002).

Поред јасне организације знања, Шашић (2007) истиче и ученичку развијену способност концептуализације, при чему те две карактеристике највише повезују линеарне есејске и системичке задатке, доводећи до тога да ова два облика евалуације знања буду окарактерисана као „смислена”.

Задаци везани за оба фактора („смислено-механичко”). Три ЛЗ финалног теста знања била су повезана са оба разматрана фактора. Тумачећи резултате факторске анализе спроведене на тесту знања из фазе претходног истраживања, истакнута је чињеница да неки задаци могу бити повезани са оба фактора (Vachliotis и др., 2011), уз објашњење да разлика између смисленог и механичког учења није апсолутна, него су то две врсте учења које се налазе на супротном полу континуума (Ausubel, 1977). Тако су, на пример, задатак повезивања (З<sub>3</sub>, Прилог 7.9, Тест А, задатак 3) и задатак сређивања и упоређивања (З<sub>6</sub>, Прилог 7.9, Тест Б, задатак 1) били једнако повезани са оба фактора, карактеришући ту везу задовољавајућом јачином (према Tabachnick и Fidell, 1996). Са друге стране, задатак допуњавања (З<sub>4</sub>, Тест А, задатак 4) је био одлично повезан са „смисленим” фактором и ниско повезан са „механичким” фактором. Посматрајући корелациони матрикс (Прилог 7.10, табела 42), установљена је корелација средње јачине између ова три задатка.

Као што је претходно поменуто, задатак повезивања З<sub>3</sub> и задатак сређивања и упоређивања З<sub>6</sub>, једнако су повезани са оба разматрана фактора. У литератури се та два типа задатака често карактеришу као алати погодни за мерење (испитивање) когнитивних процеса нижег реда – на пример присећања (Шашић, 2007). Критикујући овај облик евалуације ученичког знања, Osterlind (2002) истиче да ови задаци мере чињенично знање (знање нижег реда) и да се тиме не може проценити дубље резумевање разматраног домена. Међутим, са друге стране, овај аутор наглашава да тај став није сасвим оправдан, пошто је у неким ситуацијама неопходно применити „софистициране” облике мишљења да би се, на пример, решио задатак повезивања (Osterlind, 2002). То значи да ученици у таквим ситуацијама примењују вештине комплексног мишљења да би проценили која је карактеристика одговарајућа за дати концепт из приказаног сета. То се свакако односи и на задатке сређивања и упоређивања. На пример, да би ученици решили задатак З<sub>6</sub> („поређати дате супстанце по порасту киселости”), нису се могли ослонити само на присећање чињеница, већ су прво морали размислити о киселим својствима класа једињења којима припадају дате супстанце, затим о томе како се та својства мењају у класи, да би на крају поредили киселост приказаних супстанци. На основу тога је јасно зашто су ова два задатка била повезана и за „смислени” фактор.

Задаци везани за „механички” фактор. Преостала три ЛЗ из финалног теста знања била су везана за „механички” фактор. Од тога два припадају категорији задатака вишеструког избора (З<sub>1</sub>, Прилог 7.9, Тест А, задатак 1 и З<sub>9</sub>, Прилог 7.9, Тест Б, задатак 4.1), а трећи је задатак допуњавања (З<sub>10</sub>, Прилог 7.9, Тест Б, задатак 4.11). Корелациони матрикс (Прилог 7.10, табела 42) је истакао чињеницу да не постоји значајна корелација између З<sub>1</sub> и З<sub>10</sub>, док је корелација између задатка З<sub>1</sub> и З<sub>9</sub> ниска. Са друге стране, корелација између задатака З<sub>9</sub> и З<sub>10</sub> јесте умерене јачине (према Taylor, 1990).

Посматрајући задатке вишеструког избора, задатак З<sub>1</sub> је добро повезан са „механичким” фактором, док је З<sub>9</sub> одлично повезан са истим фактором (према Tabachnick и Fidell, 1996). Ако нагласимо да оба задатка вишеструког избора имају три алтернативна решења (три понуђена одговора), поставља се питање



зашто је задатак  $Z_1$  ипак слабије везан за „механички” фактор од задатка  $Z_9$ ? Овај резултат се може објаснити ослањајући се на обележја задатака вишеструког избора која се често помињу у литератури – ови задаци од ученика често захтевају препознавање и једноставну репродукцију хемијских чињеница (Danili и Reid, 2005; Denyer и Hancock, 2002; Vachliotis и др., 2011), бирањем једног од неколико понуђених одговора. Упоређујући задатке вишеструког избора из финалног теста знања, примећујемо да задатак  $Z_1$  захтева препознавање и репродукцију једначина хемијских реакција, док се задатак  $Z_9$  односи на препознавање хемијских формула. Јасна је чињеница да се ученици лакше присећају и репродукују хемијске формуле, него једначине хемијских реакција, па стога не изненађује чињеница да је задатак  $Z_9$  боље повезан са „механичким” фактором од задатка  $Z_1$ . Поред тога, озбиљан недостатак овог облика евалуације је могућност погађања тачног одговора (Denyer и Hancock, 2002), што је свакако допринело да ови задаци буду повезани са „механичким” фактором.

Поред задатака вишеструког избора, задатак допуњавања  $Z_{10}$  је такође био повезан са „механичким” фактором. Међутим, морамо сагледати чињеницу да је финални тест знања поседовао два задатка допуњавања, при чему је задатак  $Z_4$  ниско повезан са „механичким” фактором и одлично са „смисленим” фактором, док је  $Z_{10}$  повезан једино са „механичким” фактором, уз факторско оптерећење које га јако добро повезује за тај фактор (према Tabachnick и Fidell, 1996). Тиме се поставља питање по чему се та два задатка разликују, при чему задатак  $Z_4$ , за разлику од задатка  $Z_{10}$ , може бити окарактерисан као прихватљив алат за евалуацију ученичког смисленог разумевања? Као главни разлог за то, може се навести разлика у броју захтева у та два задатка допуњавања. Док задатак  $Z_{10}$  поседује само један захтев (дописивање једне речи на празну линију), задатак  $Z_4$  поседује пет захтева (три стрелице и два празна поља за допуњавање). Sparzo (1990) истиче чињеницу да се овај тип задатака углавном конструише на такав начин да поседује један или евентуално два захтева, пошто се ученици много теже сналазе уколико задаци поседују више захтева (не могу да сагледају целину). С тим су у сагласности и резултати радова Tzougraki-јеве и сарадника (2014) и Vachliotis-а и сарадника (2011) који су нагласили да ЛЗ који прате модел секвенционалних захтева карактерише релативно повећање „смисленог” карактера. Поред тога, три повезана захтева (концепта) могу наградити СЗ (Fahmy и Lagowski, 2012), па тиме не изненађује чињеница да је  $Z_{10}$  био веома добро повезан са „смисленим” фактором.

#### **4.2.5. Испитивање ученичких способности системског мишљења применом СЗ у главној фази истраживања**

Као алати евалуације ученичког системског мишљења у главној фази овог истраживања примењени су изоморфни и аналогни СЗ, при чему је ниво системског мишљења процењен на основу постигнућа ученика у СЗ. При томе је праћена схема вредновања ученичких одговора (слика 36), на основу које се издвајају четири различита нивоа системског мишљења:

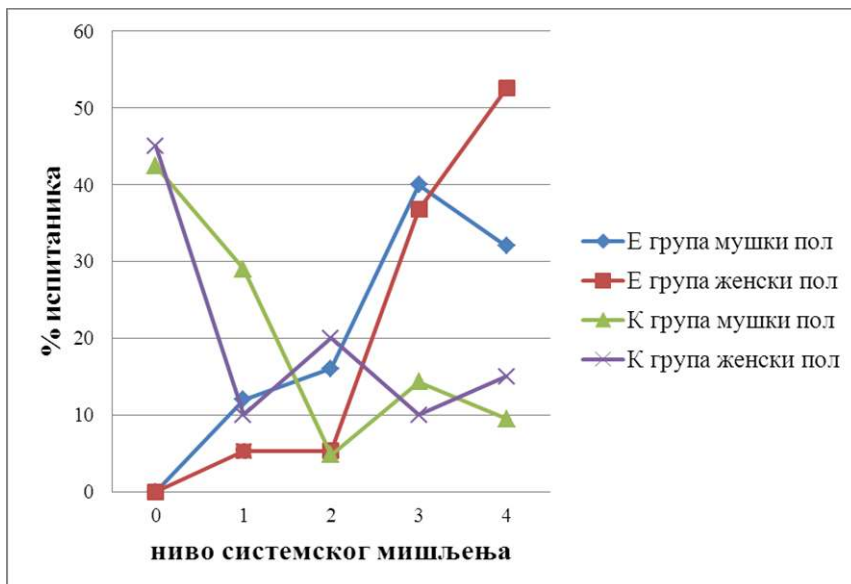
- (1) *Ниво без повезивања* – препознавање појединачних концепата (1 бод)
- (2) *Ниво парцијалног повезивања* – препознавање једне релације међу концептима (2 бода)

- (3) *Ниво вишеструког повезивања* – препознавање две или више релације међу концептима (3 бода)
- (4) *Ниво комплексног повезивања* – препознавање свих постојећих релација међу сетом концепата (4 бода)

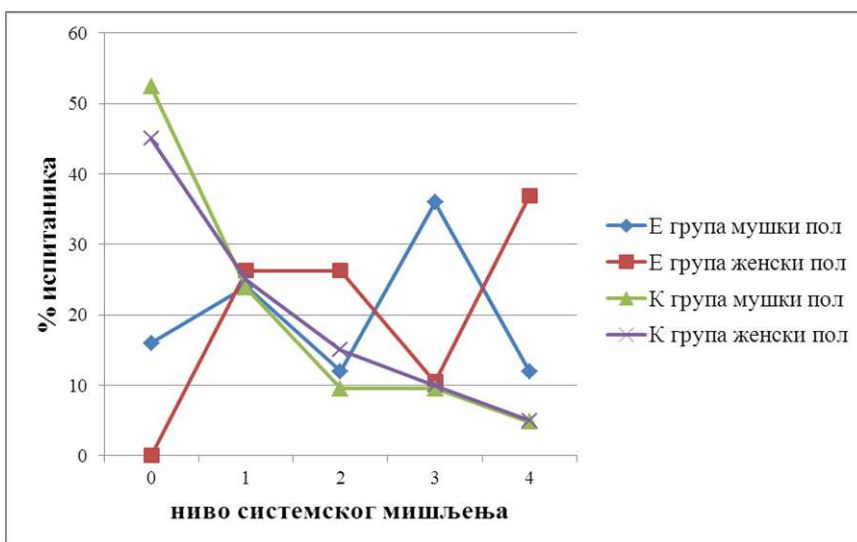
Након бодовања изоморфних и аналогних СЗ по наведеној схеми (слика 36), размотрена је процентуална дистрибуција ученика обе групе и оба пола по нивоима системског мишљења у изоморфним СЗ (слика 44) и аналогним СЗ (слика 45). Прво треба напоменути да је велика већина ученика оба пола експерименталне групе достигла први ниво – ниво препознавања концепата (извођење назива органских једињења и писање рационалних структурних формула). Односно, ниво препознавања концепата достижу сви ученици оба пола експерименталне групе, ако разматрамо њихово постигнуће у изоморфним СЗ. Решавајући аналогне СЗ, све ученице експерименталне групе достижу први ниво системског мишљења, док свега 16 % ученика исте групе не достижу тај ниво. Са друге стране, посматрајући ученике контролне групе 42.4 % ученика и 45 % ученица не достижу ниво препознавања концепата решавајући изоморфне СЗ. Приближно исти проценат испитанике контролне групе (46 % ученика и 52.4 % ученица) не достиже први ниво нити у току решавања аналогних СЗ. На основу овога можемо закључити да је око половине ученика контролне групе успело да савлада препознавање фундаменталних концепата у разматраном концептуалном систему – у домену органске хемије.

Надаље анализирајући резултате експерименталне групе, установљено је да се највећи проценат испитаника мушког пола ове групе задржао на трећем нивоу системског мишљења који карактерише вишеструко повезивање концепата. Овај закључак је потврђен разматрањем њиховог постигнуће како у изоморфним СЗ (40 %) (слика 44), тако и у аналогним СЗ (36 %) (слика 45). Знатно мањи проценат ових ученика достиже очекиван четврти ниво – ниво комплексног повезивања, а то се поготово примећује код аналогних СЗ (свега 12 %). Ови резултати су у складу са резултатима студије Vachliotis-а и сарадника (2014) који такође истичу да је већина њихових ученика достигла трећи ниво, препознајући две или више релација међу разматраним концептима. Ови аутори такође истичу задовољавајући број ученика који су достигли очекиван четврти ниво, препознајући све релевантне концепте и све могуће релације, који заједно чине смислену концептуалну целину. Резултати истраживања ове докторске дисертације потврђују тај закључак. Наиме, чак 52.6 % ученица експерименталне групе достигле су највиши ниво системског мишљења решавајући изоморфне СЗ, односно 36.9 % ученица исте групе достигле су ниво комплексног повезивања решавајући аналогне СЗ. У контролној групи примећено је процентуално опадање броја ученика по нивоима системског мишљења код оба пола, са порастом комплексности нивоа. Односно, велик проценат испитаника оба пола контролне групе позициониран је код нултог нивоа (нису успели да препознају концепте и релације), како у изоморфним (слика 44), тако и у аналогним СЗ (слика 45). Затим следе нивои препознавања појединачних концепата и линеарног повезивања (препознавање једне релације), док је најмањи проценат испитаника ове групе достигао нивое вишеструког и комплексног повезивања. На пример, посматрајући ученичко

постигнуће у аналогним СЗ, ниво комплексног повезивања достиже свега 4.8 % испитаника мушког и 5 % испитаника женског пола контролне групе.



Слика 44. Приказ дистрибуције ученика експерименталне и контролне групе по нивоима системског мишљења у изоморфним СЗ у фази главног истраживања



Слика 45. Приказ дистрибуције ученика експерименталне и контролне групе по нивоима системског мишљења у аналогним СЗ у фази главног истраживања

Да би се статистички установило да ли постоји значајна разлика у способностима системског мишљења између ученика експерименталне и контролне групе (разматрајући оба пола ученика), примењен је непараметријски Mann-Whitney-ев тест упоређивања суме рангова разматраних група (изоморфни СЗ: табела 36, аналогни СЗ: табела 37). Посматрајући прва три нивоа системског мишљења (препознавање концепата, парцијално повезивање и вишеструко повезивање), установљена је значајна разлика у нивоима системског мишљења између ученика експерименталне и контролне групе, код испитаника оба пола. Тај закључак је потврђен анализирањем ученичког постигнућа у обе подгрупе задатака: у изоморфним и аналогним СЗ. При томе није установљена значајна разлика између испитаника мушког и женског пола у оквиру исте групе, нити у једном од поменутих три нивоа системског мишљења. То значи да системички приступ омогућава ученицима оба пола да једнако успешно развију способности препознавања концепата, линеарног и вишеструког повезивања концепата, док са друге стране традиционални приступ није омогућио ученицима контролне групе да развију поменуте вештине системског мишљења.

Међутим, посматрајући последњи ниво системског мишљења – ниво комплексног повезивања, који је процењиван аналогним СЗ, закључено је да у оквиру експерименталне групе овај ниво више карактерише ученице (табела 37:  $U=178.50$ ,  $p=0.044$ ,  $p<0.05$ ). Док је 36.9 % ученица експерименталне групе у потпуности сагледало релације међу концептима система, свега 12 % испитаника мушког пола је било успешно на том нивоу системског мишљења. Ово запажање је поново у сагласности са претходно изнетом чињеницом да је примена системичког приступа у настави органске хемије погоднија за ученице него за ученике. Овај закључак је додатно подржан чињеницом да није установљена значајна разлика у способностима системског мишљења на нивоу комплексног повезивања између испитаника мушког пола експерименталне и контролне групе ( $U=243.50$ ,  $p=0.391$ ,  $p>0.05$ ), док су ученице у оквиру експерименталне групе поново биле успешније у односу на ученице контролне групе ( $U=129.50$ ,  $p=0.015$ ,  $p<0.05$ ) (табела 37).

**Табела 36.** Резултати Mann-Whitney-овог теста за одређивање разлика у нивоима системског мишљења међу ученицима Е и К групе изоморфним СЗ у фази главног истраживања

Ниво	Е(М)/ Е(Ж)	К(М)/ К(Ж)	Е(Ж)/ К(Ж)	Е(М)/ К(М)
Препознавање концепата	$U=237.50$ $p=1.000$	$U=205.50$ $p=0.891$	$U=104.50$ $p=0.001^*$	$U=150.00$ $p=0.000^*$
Парцијално повезивање	$U=221.50$ $p=0.447$	$U=175.00$ $p=0.281$	$U=95.50$ $p=0.001^*$	$U=106.50$ $p=0.000^*$
Вишеструко повезивање	$U=196.00$ $p=0.159$	$U=207.50$ $p=0.930$	$U=67.50$ $p=0.000^*$	$U=136.00$ $p=0.001^*$
Комплексно повезивање	$U=188.50$ $p=0.175$	$U=198.50$ $p=0.597$	$U=118.50$ $p=0.014^*$	$U=203.50$ $p=0.039^*$

**Табела 37.** Резултати Mann-Whitney-вог теста за одређивање разлика у нивоима системског мишљења међу ученицима Е и К групе у аналогним СЗ у фази главног истраживања

Ниво	Е(М)/ Е(Ж)	К(М)/ К(Ж)	Е(Ж)/ К(Ж)	Е(М)/ К(М)
<i>Препознавање концепата</i>	U=199.50 p=0.071	U=194.50 p=0.641	U=104.50 p=0.001*	U=167.00 p=0.010*
<i>Парцијално повезивање</i>	U=205.00 p=0.348	U=197.00 p=0.659	U=107.00 p=0.007*	U=167.50 p=0.015*
<i>Вишетруко повезивање</i>	U=236.00 p=0.967	U=208.50 p=0.949	U=128.50 p=0.031*	U=174.00 p=0.016*
<i>Комплексно повезивање</i>	U=178.50 p=0.044*	U=209.50 p=0.972	U=129.50 p=0.015*	U=243.50 p=0.391



## 5. ЗАКЉУЧАК

Представљено истраживање спроведено је са циљем испитивања ефикасности СЗ као нових инструкционих и евалуационих алата, који воде ка смисленом разумевању хемијских концепата и системском мишљењу. Истраживање је обухватило садржаје средњошколске органске хемије, док су узорак испитаника чинили ученици III разреда гимназије „Јован Јовановић Змај” из Новог Сада. Дизајн истраживања је представљен кроз две фазе - претходну и главну фазу, при чему је претходна фаза имала за циљ проверу валидности дефинисаног предмета и циља истраживања, као и одабраног узорка испитаника и узорка градива. У оквиру навођења закључака овог истраживања, пратиће се редослед дефинисаних истраживачких задатака, уз истицање релација између постигнућа ученика и уложеног менталног напора.

*Постигнуће и ментални напор у току решавања линеарних задатака.* Резултати овог истраживања истакли су чињеницу да ученици експерименталне групе решавају ЛЗ успешније од ученика контролне групе, при чему је та чињеница кључна за истицање првог закључка овог истраживања. Иако су ученици експерименталне групе у наставном процесу решавали искључиво СЗ, то није резултовало њиховом смањеном способношћу за решавање конвенционалних ЛЗ. Насупрот томе, ученици експерименталне групе остварили су боља постигнућа током решавања, како изоморфних, тако и аналогних ЛЗ од ученика контролне групе, који су решавали ЛЗ током понављања градива органске хемије. То се објашњава тиме да инструкција примењена у експерименталној групи доводи ученике до стања у коме форма у којој је задатак приказан није кључна. Ученици су савладали одабрани наставни материјал на високом нивоу, што је потврђено резултатима о уложеном менталном напору. Поново, ученици експерименталне групе бележе ниже нивое уложеног менталног напора, односно решавају изоморфне и аналогне ЛЗ са већом лакоћом и нижим оптерећењем од ученика контролне групе.

*Постигнуће и ментални напор у току решавања системичких задатака.* У овом делу истраживања прикупљени су слични резултати као и у претходном делу (постигнуће и ментални напор у ЛЗ), међутим закључци изведени на основу ових резултата су другачије природе. На први поглед не изненађује чињеница да су ученици контролне групе забележили нижа постигнућа и веће вредности менталног напора у СЗ од ученика експерименталне групе, пошто се ова група ученика није сусретала са СЗ у току понављања градива. Иако то може бити значајан фактор, прави разлог је дубље природе. Ученици обучавани неефикасним инструкционим методом нису изградили комплексне когнитивне схеме које су неопходне за решавање СЗ. Постојеће софистициране схеме, у којима су инкорпорирани и међусобно повезани вишеструки елементи, поред тога што утичу на постигнуће ученика, такође значајно утичу и на ментални напор. Након аквизиције и аутоматизације схеме у току инструкције, схема се надаље третира као један елемент, при чему је тај процес омогућио ученицима експерименталне групе да улажу ниже нивое менталног напора током решавања познатих (изоморфних) СЗ, али и нових (аналогних) СЗ. Са друге стране, ученици контролне групе који нису конструисали схеме у току инструкције, решавали су како изоморфне, тако и аналогне СЗ са знатно вишим

напором зато што су процесирали сваки елемент проблема понаособ што је довело до преоптерећења радне меморије.

*Утицај инструкционог метода на постигнуће и ментални напор ученика различитог пола – тумачење инструкционе ефикасности.* Посматрајући пол ученика као независну веријаблу, прво треба истаћи да у оквиру контролне групе нису нађене разлике нити у једној испитиваној ситуацији међу испитаницима различитог пола. Односно испитаници мушког и женског пола остварују приближно иста постигнућа решавајући изоморфне и аналогне ЛЗ, при чему је то постигнуће праћено улагањем приближно једнаких нивоа менталног напора. Поред тога треба истаћи да ниједан пол испитаника контролне групе није развио вештине које су потребне за решавање СЗ, при чему је ниско постигнуће у СЗ праћено високим вредностима менталног напора, а то се најбоље примећује са графика инструкционе ефикасности (слика 42), при чему је традиционални приступ окарактерисан као инструкциони метод ниске ефикасности за испитанике оба пола.

Посматрајући разлике међу испитаницима различитог пола у оквиру експерименталне групе, статистички значајне разлике се појављују код СЗ. Испитаници женског пола успешније решавају обе подгрупе СЗ уз улагање нижих нивоа менталног напора у односу на испитанике мушког пола, при чему је та разлика израженија код аналогних СЗ. Ови резултати су објашњени разликама у стиливима ученика различитог пола, при чему системички приступ више одговара дивергентном типу ученика (карактеристичан за женски пол), док је мање погодан за асимилаторски тип ученика (карактеристичан за мушки пол). Треба напоменути да је веза међу инструкционим методом заснованим на примени СЗ и стиливима учења постављена искључиво на основу посматрања понашања ученика на часовима експерименталне наставе, као и на основу самог решавања СЗ. Међутим, као главни правац за даља истраживања остаје емпиријска провера разлика у стиливима учења између испитаника различитог пола, применом инструмента као што је Kolb-ов упитник стилова учења (Kolb, 1981; Kolb и Kolb, 2005).

*СЗ као алати евалуације ученичког смисленог разумевања.* Након испитивања примене СЗ као инструкционих алата, уследило је испитивање њихове ефикасности као алата евалуације ученичког смисленог разумевања. За ту намену, поред СЗ испитани су и конвенционални ЛЗ. Прво треба истаћи да су се поједини типови ЛЗ показали као ефикасни алати евалуације ученичког смисленог разумевања. У ту категорију су сврстани есејски задаци, као и задаци допуњавања са више од два захтева. Поред ових типова ЛЗ, СЗ такође могу да буду окарактерисани као ефикасни алати евалуације ученичког смисленог разумевања уколико су дизајнирани на одговарајући начин. То подразумева укључивање већег броја концепата, при чему ти концепти припадају различитим класама органских једињења, а истовремено поседују различити број С-атома. При томе је омогућено успостављање вишеструких релација међу концептима, а израда таквих СЗ заснива се на смисленом учењу хемијских концепата, као и на примени системског мишљења.

*СЗ као алати евалуације ученичког системског мишљења.* На крају овог истраживања, СЗ су се такође показали ефикасним током процене ученичких способности системског мишљења. Применом ових алата евалуације, установљено је да се ученици оба пола обучавају традиционалним приступом у највећој мери задржавају на нивоу препознавања појединачних хемијских



концепата (закључено на основу финалног тест знања), као и на нивоу линеарног повезивања концепата (закључено на основу теста знања из претходног истраживања). Са друге стране, испитанике мушког пола експерименталне групе карактерише ниво вишеструког повезивања концепата (препознавање две или више релација међу концептима), док су једино испитаници женског пола у оквиру експерименталне групе достигли највиши очекиван ниво – ниво комплексног повезивања концепата (препознавање свих релевантних релација међу концептима).

У наставку рада биће истакнут значај овог истраживања, евентуални недостаци спроведеног истраживања, као и импликације за даља истраживања.

### 5.1. Значај истраживања

Ово истраживање је значајно у домену хемијског образовања зато што добијени резултати истичу релацију између системичког приступа учењу и настави хемије и теорије когнитивног оптерећења. У литератури не постоје радови који описују системичко-когнитивне релације између ученичког постигнућа, уложеног менталног напора и инструкционе ефикасности, разматрајући системичке дијаграме и/или системичке задатке као инструкционе алате.

Поред тога треба истаћи да иако примена описаног инструкционог метода може бити побољшана применом наставних средстава као што су рачунари и видео пројектори, овај метод се може ефикасно применити и у условима где постоји ограничен приступ наставној технологији.

Упоредо са инструкционом ефикасношћу, испитана је друга примена системичких задатака као алата за евалуацију ученичког смисленог разумевања и системског мишљења. Иако су системички задаци претходно били окарактерисани као валидни и релијабилни алати за процену ученичког знања (Vachliotis и др., 2011, 2014; Tzougraki и др., 2014), у овом раду је испитан одређени тип системичких задатака – системички задаци синтезе.

### 5.2. Ограничења истраживања

Прво, треба напоменути да сам инструкциони метод има ограничења. На пример, потребно је доста времена за припремање наставника да би били способни за примену системичких дијаграма и/или системичких задатака на часовима. У оквиру методологије, треба истаћи релативно мали узорак испитаника. Међутим, такав узорак је омогућио примену одређених статистичких поступака и спречио је утицај већег броја наставника на резултате истраживања.

Посматрајући други део истраживања (испитивање примене системичких задатака као алата за евалуацију ученичког знања), треба напоменути да инструмент истраживања не садржи све типове конвенционалних задатака (на пример, задатке типа тачно/нетачно, рачунске задатке, задатке вишеструког избора двослојног типа), чије би укључивање можда изменило слику о конвенционалним задацима као генерално „механичким”.

### **5.3. Импликације за даља истраживања**

Даља истраживања би требало спровести у другим хемијским доменима, као што су општа, неорганска, физичка хемија, или биохемија, као и у оквиру других образовних нивоа, као што су основна школа и универзитетски ниво. Један од главних праваца за даља истраживања биће да се испита утицај системичког приступа на ретенцију знања и да се настави са успостављањем ближих релација између примене системичког приступа у настави хемије и ТКО. На пример, пожељно би било испитати утицај системичког приступа на ментални напор ученика у току самог процеса учења, па да се тиме одреди тродимензионална ефикасност овог инструкционог метода. Поред примене системичких задатака као инструкционих алата и алата за евалуацију ученичког смисленог разумевања и системског мишљења, требало би испитати и трећу примену системичких задатака као дијагностичких средстава.

## 6. ЛИТЕРАТУРА

1. Al-bashaireh, Z. (2011). Systemic approach effect on achievement of Tafila school students in science. *International Journal of Humanities and Social Science*, 1(3), 47-52.
2. Allchin, D. (2011). Evaluating knowledge of the nature of (whole) science. *Science Education*, 95, 518-542.
3. Ausubel, D. P. (1977). The facilitation of meaningful verbal learning in the classroom. *Educational Psychologist*, 12(2), 162-178.
4. Ausubel, D. P. (2000). *The acquisition and retention of knowledge: A cognitive view*. Dordrecht: Springer Science+Business Media.
5. Ayres, P. (2006). Using subjective measures to detect variations of intrinsic cognitive load within problems. *Learning and Instruction*, 16, 389-400.
6. Baddeley, A. (1992). Working memory. *Science*, 255, 556-559.
7. Baddeley, A. (2000). The episodic buffer: A new component of working memory? *Trends in Cognitive Sciences*, 4(11), 417-423.
8. Barnea, N., Dori, Y. J. (1999). High-school students' performance and gender differences in a computerized molecular modeling learning environment. *Journal of Science Education and Technology*, 8(4), 257-271.
9. Bartlett, F. C. (1995). *Remembering: A study in experimental and social psychology*. Cambridge: Cambridge University Press.
10. Bhatti, R., Bart, W. M. (2013). On the effect of learning style on scholastic achievement. *Current Issues in Education*, 16(2), 1-7.
11. Borst, W. N. (1997). *Construction of engineering ontologies for knowledge sharing and reuse* (Докторска дисертација). Enschede, Netherlands: Centre for Telematics and Information Technology.
12. Bracht, G. H., Glass, G. V. (1968). The external validity of experiments. *American Educational Research Journal*, 5(4), 437-474.
13. Brewster, C., O'Hara, K. (2004). Knowledge representation with ontologies: the present and future. *IEEE Intelligent Systems*, 19(1), 72-73.
14. Brinkmann, A. (2003). Graphical knowledge display – Mind mapping and concept mapping as efficient tools in mathematics education. *Mathematics Education Review*, 16, 35-48.
15. Брковић, А., Петровић-Бјекић, Д., Златић, Л. (1998). Мотивација ученика за наставне предмете. *Психологија*, 1-2, 115-136.
16. Brünken, R., Plass, J. L., Leutner, D. (2003). Direct measurement of cognitive load in multimedia learning. *Educational Psychologist*, 38(1), 53-61.
17. Brünken, R., Seufert, T., Paas, F. (2010). Measuring cognitive load. У J. L. Plass, R. Moreno, R. Brünken (Едитори), *Cognitive load theory* (стр. 181-202). Cambridge: Cambridge University Press.
18. Bunce, D. M., Gabel, D. (2002). Differential effects on achievement of males and females of teaching the particulate nature of Chemistry. *Journal of Research in Science Teaching*, 39(10), 911-927.

19. Burandt, S. (2011). Effects on an educational scenario exercise on participants' competencies of systemic thinking. *Journal of Social Sciences*, 7(1), 51-62.
20. Chang, C. C., Yang, F. Y. (2010). Exploring the cognitive loads of high-school students as they learn concepts on web-based environments. *Computers & Education*, 55, 673-680.
21. Chen, L. L., Chan, C. W. (2000). *Ontology construction from knowledge acquisition*. Рад презентован на Pacific knowledge acquisition workshop, 11-13. децембар 2000., Sydney, Australia.
22. Cooper, G. (1998). Research into cognitive load theory and instructional design at UNSW. Преузето са: <http://webmedia.unmc.edu/leis/birk/CooperCogLoad.pdf>  
Пристапљено: 28.01.2015.
23. Corcho, O., Gómez-Pérez, A. (2000). A roadmap to ontology specification languages. У R. Dieng, O. Corby (Едитори), *Knowledge Engineering and Knowledge Management* (стр. 80-96). 12<sup>th</sup> International Conference EKAW 2000, Juan-Les-Pins, France, 2-6. октобар 2000. Berlin: Springer.
24. Corcho, O. Fernández-López, M., Gómez-Pérez, A. (2003). Methodologies, tools and languages for building ontologies. Where is their meeting point? *Data & Knowledge Engineering*, 46, 41-64.
25. Cortright, R. N., Collins, H. L., DiCarlo, S. E. (2005). Peer instruction enhanced meaningful learning: Ability to solve novel problems. *Advances in Physiology Education*, 29, 107-111.
26. Costello, A. B., Osborne, J. W. (2005). Best practices in exploratory factor analysis: Four recommendations for getting the most from your analysis. *Practical Assessment, Research & Evaluation*, 10(7), 1-9.
27. De Groot, A. (1978). *Thought and choice in chess*. Amsterdam: Amsterdam Academic Archive.
28. De Jong, T. (2010). Cognitive load theory, educational research, and instructional design: Some food for thought. *Instructional Science*, 38, 105-134.
29. Danili, E., Reid, N. (2005). Assessment formats: do they make a difference? *Chemistry Education Research and Practice*, 6(4), 204-212.
30. Denyer, G., Hancock, D. (2002). Graded multiple choice questions: Rewarding understanding and preventing plagiarism. *Journal of Chemical Education*, 79(8), 961-964.
31. Dunn, D. S. (2001). *Statistics and data analysis for the behavioral sciences*. New York: McGraw-Hill.
32. Ellis, J. W. (1994). How are we going to teach organic if the task force has its way? *Journal of Chemical Education*, 71(5), 399-403.
33. Enochs, L. G., Smith, P. L., Huinker, D. (2000). Establishing factorial validity of the mathematics teaching efficiency beliefs instrument. *School Science and Mathematics*, 100(4), 194-202.
34. Eroğlu, M. G., Kelecioğlu, H. (2011). An analysis of the validity and reliability of concept map and structural communication grid scores. *Hacettepe Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 40, 210-220.
35. Fahmy, A. F. M., Lagowski, J. J. (1999). The use of a systemic approach in teaching and learning chemistry for the 21<sup>st</sup> century. *Pure and Applied Chemistry*, 71(5), 859-863.

36. Fahmy, A. F. M., Lagowski, J. J. (2002). Systemic approach to teaching and learning Organic Chemistry: SATLC in Egypt. *Chemical Education International*, 3(1).
37. Fahmy, A. F. M., Lagowski, J. J. (2003). Systemic reform in Chemical Education: An international perspective. *Journal of Chemical Educational*, 80(9), 1078-1083.
38. Fahmy, A. F. M., Lagowski, J. J. (2004). *Using SATL techniques to assess student's achievement in Chemistry*, 18<sup>th</sup> International Conference on Chemical Education, 3-8. август 2004., Istanbul.
39. Fahmy, A. F. M., Lagowski, J. J. (2007/08). Systemic multiple choice questions. *Chemical Education International*, 8(1).
40. Fahmy, A. F. M. (2010). *Systemic Assessment*, Zagazig University Workshop. Преузето са: <http://www.satlcentral.com/PowerPoint-Presentation.htm>, Приступљено: 10.09.2013.
41. Fahmy, A. F. M., Lagowski, J. J. (2011). The systemic approach to teaching and learning [SATL]: Operational steps for building teaching units. *African Journal of Chemical Education*, 1(2), 62-80.
42. Fahmy, A. F. M., Lagowski, J. J. (2012). Systemic assessment as a new tool for assessing students learning in chemistry using SATL methods: Systemic true false [STFQs] and systemic sequencing [SSQs] question types. *African Journal of Chemical Education*, 2(2), 66-78.
43. Fahmy, A. F. M. (2014). Systemic chemical education reform [SCER] in the global era. *African Journal of Chemical Education*, 4(1), 19-42.
44. Fahmy, A. F. M., Lagowski, J. J. (2014). Systemic assessment as a new tool for assessing students learning in chemistry using SATL methods: Systemic matching [SMQs], systemic synthesis [SSynQs], systemic analysis [SAnQs], systemic synthetic-analytic [SSyn-AnQs], as systemic questions types. *African Journal of Chemical Education*, 4(4), 35-55.
45. Farquhar, A., Fikes, R., Rice, J. (1997). The ontolingua server: A tool for collaborative ontology construction. *International Journal of Human-computer Studies*, 46(6), 707-727.
46. Faul, F., Erdfelder, E., Lang, A. G., Buchner, A. (2007). G\*Power 3: A flexible statistical power analysis program for the social, behavioural, and biomedical sciences. *Behavior Research Methods*, 39(2), 175-191.
47. Fensel, D., Horrocks, I., van Harmelen, F., McGuinness, D., Patel-Schneider, P. F. (2001). OIL: An ontology infrastructure to enable the semantic web. *IEEE Intelligent Systems*, 16(2), 38-45.
48. Fernández López, M., Gómez-Pérez, A., Pazos Sierra, J., Pazos Sierra, A. (1999). Building chemical ontology using methontology and the ontology design environment. *IEEE Intelligent Systems and their Applications*, 4(1), 37-46.
49. Filimonov, D. A., Lagunin, A. A., Gloriozova, T. A., Rudik, A. V., Druzhilovskii, D. S., Pogodin, P. V., Poroikov, V. V. (2014). Prediction of the biological activity spectra of organic compounds using the pass online web resource. *Chemistry of Heterocyclic Chemistry*, 50(3), 444-457.

50. Foley, K., O'Donnell, A. (2002). Cooperative learning and visual organisers: Effects of solving mole problems in high school chemistry. *Asia Pacific Journal of Education*, 22(1), 38-50.
51. Frisbie, D. A. (1988). NCME instructional module on reliability of scores from teacher-made tests. *Educational Measurement: Issues and Practice*, 7(1), 25-35.
52. Golemi, S., Këçira, R., Lacej, D. (2013). Interactive ties of methabolic pathways in a systemic module. *Journal of Educational and Social Research*, 3(7), 106-111.
53. Golemi, S., Medja, N., Lacej, D. (2014). Systemic objective tests in medical biochemistry part I – methabolism of carbohydrates. *African Journal of Chemical Education*, 4(1), 43-55.
54. Gómez-Pérez, A., Corcho, O. (2002). Ontology languages for the semantic web. *IEEE Intelligent Systems*, 17(1), 54-60.
55. Grove, N. P., Bretz, S. L. (2012). A continuum of learning: From rote memorization to meaningful learning in organic chemistry. *Chemistry Education Research and Practice*, 13, 201-208.
56. Gruber, T. R. (1993). A translation approach to portable ontology specifications. *Knowledge Acquisition*, 5(2), 199-220.
57. Guarino, N., Giaretta, P. (1995). Ontologies and knowledge bases: Towards a terminological classification. У N. Mars (Едитор). *Towards very large knowledge bases: Knowledge building and knowledge sharing* (стр. 25-32). IOS Press: Amsterdam.
58. Guarino, N. (1997). Understanding, building and using ontologies. *International Journal of Human-Computer Studies*, 46(2), 293-310.
59. Guarino, N. (1998). Formal ontology and information systems. У N. Guarino (Едитор). *Formal ontology and information systems* (стр. 3-15). Proceedings of FOIS'98, Trento, Italy, 6-8. јун 1998. Amsterdam: IOS Press.
60. Helton, (2012). *Teachers and hand-held graphing technology: An examination of concerns* (Докторска дисертација). Virginia: Liberty University.
61. Henningsen, M., Stein, M. K. (1997). Mathematical tasks and students cognition: Classroom-based factors that support and inhibit high-level mathematical thinking and reasoning. *Journal of Research in Mathematics Education*, 28(5), 524-549.
62. Hrin, T., Segedinac, M., Milenković, D. (2013). Development of ontological knowledge representation: Learning hydrocarbons with double bonds at the secondary level. *African Journal of Chemical Education*, 3(2), 76-90.
63. Hrin, T., Milenković, D., Babić-Kekez, S., Segedinac, M. (2014). Application of systemic approach in initial teaching of chemistry: Learning the Mole concept. *Croatian Journal of Education*, 16 spec. ed.(3), 175-209.
64. Hrin, T., Milenković, D., Segedinac, M. (2015). The effect of systemic synthesis questions [SSynQs] on students' performance and meaningful learning in secondary organic chemistry teaching. *International Journal of Science and Mathematics Education*, doi: 10.1007/s10763-015-9620-y.
65. Hudmon, A. (2006). *Learning and memory*. New York: Chelsea House Publishers.

66. Hung, W. (2008). Enhancing systems-thinking skills with modeling. *British Journal of Educational Technology*, 39(6), 1099-1120.
67. Jasper, R., Uschold, M. (1999). *A framework for understanding and classifying ontology applications*. Proceedings of the IJCAI-99 Workshop on Ontology and Problem-solving methods, 2. аугуст 1999, Stockholm, Sweden.
68. Johnstone, A. H. (2006). Chemical education research in Glasgow in perspective. *Chemistry Education Research and Practice*, 7(2), 49-63.
69. Johnstone, A. H., Otis, K. H. (2006). Concept mapping in problem based learning: A cautionary tale. *Chemistry Education Research and Practice*, 7(2), 84-95.
70. Jones, S. R. G. (1992). Was there a Hawthorne effect? *American Journal of Sociology*, 98(3), 451-568.
71. Kahle, J. B., Parker, L. H., Rennie, L. J., Riley, D. (1993). Gender differences in science education: Building a model. *Educational Psychologist*, 28(4), 379-404.
72. Kalyuga, S., Ayres, P., Chandler, P., Sweller, J. (2003). The expertise reversal effect. *Educational Psychologist*, 38(1), 23-31.
73. Kalyuga, S., Chandler, P., Sweller, J. (2000). Incorporating learner experience into the design of multimedia instruction. *Journal of Educational Psychology*, 92, 126-136.
74. Kalyuga, S. (2009a). Knowledge elaboration: A cognitive load perspective. *Learning and Instruction*, 19, 402-410.
75. Kalyuga, S. (2009b). *Managing cognitive load in adaptive multimedia learning*. New York: Information Science Reference.
76. Katz, M. (1996). Teaching organic chemistry via student-directed learning: A technique that promotes independence and responsibility in the student. *Journal of Chemical Education*, 73(5), 440-445.
77. Keller, T., Gerjets, P., Scheiter, K., Garsoffky, B. (2006). Information visualizations for knowledge acquisition: The impact of dimensionality and color coding. *Computers in Human Behavior*, 22, 43-65.
78. Keselman, H. J., Huberty, C. J., Lix, L. M., Olejnik, S., Cribbie, R. A., Donahue, B., ... Levin, J. R. (1998). Statistical practices of educational researchers: An analyses of their ANOVA, MANOVA, and ANCOVA analyses. *Review of Educational Research*, 68(3), 350-368.
79. Kirschner, P. A. (2002). Cognitive load theory: Implications of cognitive load theory on the design of learning. *Learning and Instruction*, 12, 1-10.
80. Kolb, D. A. (1981). Learning styles and disciplinary differences. У: A. W. Chickering и др. (Едитори), *The modern American collage* (стр. 232-255). San Francisco, CA: Jossey-Bass.
81. Kolb, A. J., Kolb, D. A. (2005). *The Kolb learning style inventory – Version 3.1. 2005 technical specifications*. Boston: Hay Group Transforming Learning.
82. Krathwohl, D. R. (2002). A revision of Bloom's taxonomy: An overview. *Theory into Practice*, 41(4), 212-218.
83. Lagowski, J. J. (2005). Systemic approach to teaching and learning. *Journal of Chemical Education*, 82(2), 211.

84. Lagowski, J. J. (2009). SATL, learning theory, and the psysiology of learning. У М. Gupta-Bhowon, S. Jhaumeer-Laulloo, H. L. Kam Wah, P. Ramasami (Едитори), *Chemistry education in the ICT age* (стр. 65-83). Berlin: Springer Science+Business Media B.V.
85. Lieberman, D. A. (2012). *Human learning and memory*. Cambridge: Cambridge University Press.
86. Liu, O. L., Lee, H. S., Hofstetter, C., Linn, M. C. (2008). Assessing knowledge integration in science: Construct, measures, and evidence. *Educational Assessment, 13*(1), 33-55.
87. Lopez, E., Kim, J., Nandagopal, K., Cardin, N., Shavelson, R. J., Penn, J. H. (2011). Validating the use of concept-mapping as a diagnostic assessment tool in Organic Chemistry: Implications for teaching. *Chemistry Education Research and Practice, 12*, 131-141.
88. Mahajan, D. S., Singh, G. S. (2005). University students' performance in Organic Chemistry at undergraduate level: Perception of instructors from universities in the SADC region. *Chemistry, 14*(1), 25-36.
89. Marcus, N., Cooper, M., Sweller, J. (1996). Understanding instructions. *Journal of Educational Psychology, 88*(1), 49-63.
90. Mayer, R. E. (2002). Rote versus meaningful learning. *Theory into Practice, 41*(4), 226-232.
91. Mayer, R. E. (2003). The promise of multimedia learning: Using the same instructional design methods across different media. *Learning and Instruction, 13*, 125-139.
92. Mayer, R. E., Moreno, R. (2003). Nine ways to reduce cognitive load in multimedia learning. *Educational Psychologist, 38*(1), 43-52.
93. Месарић, Ј. (2007). Интеграција знања у образовању. *Информатологија, 40*(3), 216-222.
94. Milenković, D. D., Segedinac, D. M., Hrin, N. T. (2014). Increasing high school students' chemistry performance and reducing cognitive load through an instructional strategy based on the interaction of multiple levels of knowledge representation. *Journal of Chemical Education, 91*, 1409-1416.
95. Miller, G. A. (1956). The magical number seven, plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information. *Psychological Review, 63*(2), 81-97.
96. Moreno, R., Park, B. (2010). Cognitive load theory: Historical development and relation to other theories. У Plass, J. L., Moreno, R., Brünken, R. (Едитори), *Cognitive load theory* (стр. 1-28). Cambridge: Cambridge University Press.
97. Morgil, I., Yavuz, S., Oskay, Ö. Ö., Arda, S. (2005). Traditional and computer-assisted learning in teaching acids and bases. *Chemistry Education Research and Practice, 6*(1), 52-63.
98. Nadolski, R. J., Kirschner, P. A., van Merriënboer, J. J. G. (2005). Optimizing the number of steps in learning tasks for complex skills. *British Journal of Educational Psychology, 75*, 223-237.
99. Naqvi, I. I., Shati, A., Kanwal, G., Summer, S. (2014). SATL based lesson for teaching Grignard reagents in synthetic organic chemistry. *African Journal of Chemical Education, 4*(4), 56-64.



100. Nazir, M., Naqvi, I. I., Khattak, R. (2013). SATL model lesson in chemical kinetics. *African Journal of Chemical Education*, 3(1), 79-88.
101. Nehm, R. H., Schonfeld, I. S. (2008). Measuring knowledge of natural selection: A comparison of the CINS, an open-response instrument, and an oral interview. *Journal of Research in Science Teaching*, 45(10), 1131-1160.
102. Nieswandt, M. (2001). Problems and possibilities for learning in an introductory Chemistry course from a conceptual change perspective. *Science Education*, 85(2), 158-179.
103. Novak, J. D., Gowin, B., Johansen, G. T. (1983). The use of concept mapping and knowledge vee mapping with junior high school science students. *Science Education*, 67(5), 625-645.
104. Novak, J. D., Gowin, D. B. (1984). *Learning how to learn*. New York: Cambridge University Press.
105. Novak, J. D. (2002). Meaningful learning: The essential factor for conceptual change in limited or inappropriate propositional hierarchies leading to empowerment of learners. *Science Education*, 86(4), 548-571.
106. Novak, J. D., Cañas, A. J. (2006). *The theory underlying concept maps and how to construct them*. Technical report, Florida institute for Human and Machine Cognition.  
Преузето са:  
<http://cmap.ihmc.us/Publications/ResearchPapers/TheoryUnderlyingConceptMaps.pdf> Приступљено: 27.12.2014.
107. Novak, J. D. (2010). *Learning, creating, and using knowledge: Concept maps as facilitative tools in schools and corporations*. New York: Routledge.
108. O'Dwyer, A., Childs, P. (2011). *Second level Irish pupils' and teachers' view of difficulties in Organic Chemistry*, IOSTE mini-symposium.  
Преузето са:  
[http://www.esera.org/media/ebook/strand10/ebook-esera2011\\_ODWYER-10.pdf](http://www.esera.org/media/ebook/strand10/ebook-esera2011_ODWYER-10.pdf)  
Приступљено: 10.11.2013.
109. Ohme, R., Reykowska, D., Wiener, D., Choromanska, A. (2009). Analysis of neurophysiological reactions to advertising stimuli by means of EEG and galvanic skin response measures. *Journal of Neuroscience, Psychology, and Economics*, 2(1), 21-31.
110. Osterlind, S. J. (2002). *Constructing test items: Multiple-choice, constructed-response, performance, and other formats*. New York: Kluwer Academic Publishers.
111. Özmen, H., Demircioğlu, G., Coll, R. K. (2009). A comparative study of the effect of a concept mapping enhanced laboratory experience on Turkish high school students' understanding of acid-base Chemistry. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 7, 1-24.
112. Paas, F., Renkl, A., Sweller, J. (2003a). Cognitive load theory and instructional design: Recent developments. *Educational Psychologist*, 38(1), 1-4.
113. Paas, F., Renkl, A., Sweller, J. (2004). Cognitive load theory: Instructional implications of the interaction between information structures and cognitive architecture. *Instructional Science*, 32, 1-8.

114. Paas, F., Tuovinen, J. E., Tabbers, H., Van Gerven, P. W. M. (20036). Cognitive load measurement as a means to advance cognitive load theory. *Educational Psychologist*, 38(1), 63-71.
115. Paas, F. G. W. C., van Merriënboer, J. J. G. (1993). The efficiency of instructional conditions: An approach to combine mental effort and performance measures. *The Journal of Human Factors and Ergonomics Society*, 35(4), 737-743.
116. Paas, F. G. W. C., van Merriënboer, J. J. G. (1994a). Instructional control of cognitive load in the training of complex cognitive tasks. *Educational Psychology Review*, 6(4), 351-371.
117. Paas, F. G. W. C., van Merriënboer, J. J. G. (19946). Variability of worked examples and transfer of geometrical problem-solving skills: A cognitive-load approach. *Journal of Educational Psychology*, 86(1), 122-133.
118. Paas, F. G. W. C., van Merriënboer, J. J. G., Adam, J. J. (1994). Measurement of cognitive load in instructional research. *Perceptual and Motor Skills*, 79, 419-430.
119. Pallant, J. (2010). *SPSS survival manual: A step by step guide to data analysis using SPSS* (4. издање). Maidenhead: Mc Graw Hill/Open University Press.
120. Pellegrino, J., Chudowsky, N., Glaser, R. (2001). *Knowing what students know: The science and design of educational assessment*. Washington: National Academy Press.
121. Philbin, M., Meier, E., Huffman, S., Boverie, P. (1995). A survey of gender and learning style. *Sex Roles*, 32(7/8), 485-494.
122. Piaget, J. (1977). Problems of equilibrium. У М. H. Appel, L. S. Goldberg (Едитори), *Topics in cognitive development* (стр. 3-14). New York: Plenum.
123. Pungente, M. D., Badger, R. A. (2003). Teaching introductory Organic Chemistry: "Blooming" beyond a simple taxonomy. *Journal of Chemical Education*, 80(7), 779-784.
124. Pursell, D. P. (2009). Adapting to student learning styles: Engaging students with cell phone technology in Organic Chemistry instruction. *Journal of Chemical Education*, 86(10), 1219-1222.
125. Reid, N., Yang, M. J. (2002). Open-ended problem solving in school chemistry: A preliminary investigation. *International Journal of Science Education*, 24(12), 1313-1332.
126. Richmond, B. (1993). Systems thinking: Critical thinking skills for the 1990s and beyond. *System Dynamics Review*, 9(2), 113-133.
127. Roediger, H. L., Marsh, E. J. (2005). The positive and negative consequences of multiple-choice testing. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 31(5), 1155-1159.
128. Salden, R. J. C. M., Paas, F., Broers, N. J., van Merriënboer, J. J. G. (2004). Mental effort and performance as determinants for the dynamic selection of learning tasks in air traffic control training. *Instructional Science*, 32, 153-172.
129. Salisbury, D. F. (1996). *Five technologies for educational change: Systems thinking, systems design, quality science, change management, industrial technology*. Englewood Cliffs, New Jersey: Educational Technology Publications.

130. Scalise, K., Gifford, B. (2006). Computer-based assessment in e-learning: A framework for constructing „Intermediate constraint” questions and tasks for technology platforms. *The Journal of Technology, Learning and Assessment*, 4(6), 4-44.
131. Schnotz, W., Kürschner, C. (2007). A reconsideration of cognitive load theory. *Educational Psychology Review*, 19, 469-508.
132. Segedinac, M., Segedinac, M., Konjović, Z., Savić, G. (2011). A formal approach to organization of educational objectives. *Psihologija*, 44(4), 307-323.
133. Senge, P. M. (1997). The fifth discipline. *Measuring Business Excellence*, 1(3), 46-51.
134. Shuell, T. J. (1990). Phases of meaningful learning. *Review of Educational Research*, 60(4), 531-547.
135. Sirhan, G. (2007). Learning difficulties in Chemistry: An overview. *Journal of Turkish Science Education*, 4(2), 2-20.
136. Smith, B., Welty, C. (2001). *Ontology: Towards a new synthesis*. У В. Smith, С. Welty (Едитори), Proceedings of the International Conference on Formal Ontology in Information System, 17-19. октобар (стр. 3-9). New York: ACM Press.
137. Snae, C., Brueckner, M. (2007). Ontology-driven e-learning system based on roles and activities for thai learning environment. *Interdisciplinary Journal of Knowledge and Learning Objects*, 3, 1-17.
138. Sparzo, F. J. (1990). *Preparing better teacher-made tests: A practical guide*. Indiana: Phi Delta Kappa Educational Foundation.
139. Stevens, R., Goble, C. A., Bechhofer, S. (2000). Ontology-based knowledge representation for bioinformatics. *Briefings in Bioinformatics*, 1(4), 398-414.
140. Stevens, J. P. (2009). *Applied multivariate statistics for the social sciences*. New York: Routledge.
141. Стојиљковић, А. (1989). *Хемија за III разред гимназије природно-математичког смера, медицинске, ветеринарске и школе за негу лепоте*. Београд: Завод за уџбенике.
142. Sweller, J. (1994). Cognitive load theory, learning difficulty, and instructional design. *Learning and instruction*, 4, 295-312.
143. Sweller, J., Ayres, P., Kalyuga, S. (2011). *Cognitive load theory*. New York: Springer.
144. Sweller, J., van Merriënboer, J. J. G., Paas, F. G. W. C. (1998). Cognitive architecture and instructional design. *Educational Psychology Review*, 10(3), 251-296.
145. Sweller, J. (2003). Evolution of human cognitive architecture. У В. H. Ross (Едитор), *The psychology of human learning and motivation* (стр. 216-261). Amsterdam: Academic Press.
146. Sweller, J. (2008). Human cognitive architecture. У J. M. Spector, M. D. Merrill, J. van Merriënboer, M. P. Driscoll (Едитори), *Handbook of research on educational communications and technology* (стр. 369-381). New York: Routledge.

147. Sweller, J. (2010a). Cognitive load theory: recent theoretical advances. У J. L. Plass, R. Moreno, R. Brünken (Едитори), *Cognitive load theory* (стр. 29-47). Cambridge: Cambridge University Press.
148. Sweller, J. (2010b). Element interactivity and intrinsic, extraneous, and germane cognitive load. *Educational Psychology Review*, 22, 123-138.
149. Sweller, J. (2011). Cognitive load theory. У J. P. Mestre, B. H. Ross (Едитори), *The psychology of learning and motivation: Cognition in education* (стр. 38-74). San Diego: Elsevier.
150. Шашић, М. (2007). Натјечање из повести као припрема за Националне испите и Државну матуру из повјести. *Повјест у настави*, 10(2), 175-186.
151. Taagepera, M., Noori, S. (2000). Mapping students' thinking patterns in learning Organic Chemistry by the use of knowledge space theory. *Journal of Chemical Education*, 77(9), 1224-1229.
152. Tabachnick, B. G., Fidell, L. S. (1996). *Using multivariate statistics*, Boston: Pearson Education.
153. Taylor, R. (1990). Interpretation of the correlation coefficient: A basic review. *Journal of Diagnostic Medical Sonography*, 6(1), 35-39.
154. Tien, L. T., Roth, V., Kampmeier, J. A. (2002). Implementation of a peer-lead team learning instructional approach in an undergraduate Organic Chemistry course. *Journal of Research in Science Teaching*, 39(7), 606-632.
155. Tolmie, A., Muijs, D., McAteer, E. (2011). *Quantitative methods in educational and social research using SPSS*. London: Open University Press.
156. Трипуновић, М., Анђелковић, З., Којо, А. (2010). Спецификација базе података материјала приступне телекомуникационе мреже – онтолошки приступ. *Инфотех-Јахорина*, 9(1), 176-179.
157. Tuovinen, J. E., Paas, F. (2004). Exploring multidimensional approaches to the efficiency of instructional conditions. *Instructional Science*, 32, 133-152.
158. Tuovinen, J. E., Sweller, J. (1999). A comparison of cognitive load associated with discovery learning and worked examples. *Journal of Educational Psychology*, 91(2), 334-341.
159. Tzougraki, C., Salta, K., Vachliotis, T. (2014). Development and evaluation of a systemic assessment framework in organic chemistry. *African Journal of Chemical Education*, 4(2), 101-121.
160. Vachliotis, T., Salta, K., Vasiliou, P., Tzougraki, C. (2011). Exploring novel tools for assessing high school students' meaningful understanding of organic reactions. *Journal of Chemical Education*, 88(3), 337-345.
161. Vachliotis, T., Salta, K., Tzougraki, C. (2014). Meaningful understanding and systems thinking in organic chemistry: Validating measurement and exploring relationships. *Research in Science Education*, 44, 239-266.
162. Van Gerven, P. W. M., Paas, F. G. W. C., van Merriënboer, J. J. G., Schmidt, H. G. (2002). Cognitive load theory and aging: Effect of worked examples on training efficiency. *Learning and Instruction*, 12, 87-105.
163. Van Gog, T., Paas, F. (2008). Instructional efficiency: Revisiting the original construct in educational research. *Educational Psychologist*, 43(1), 16-26.

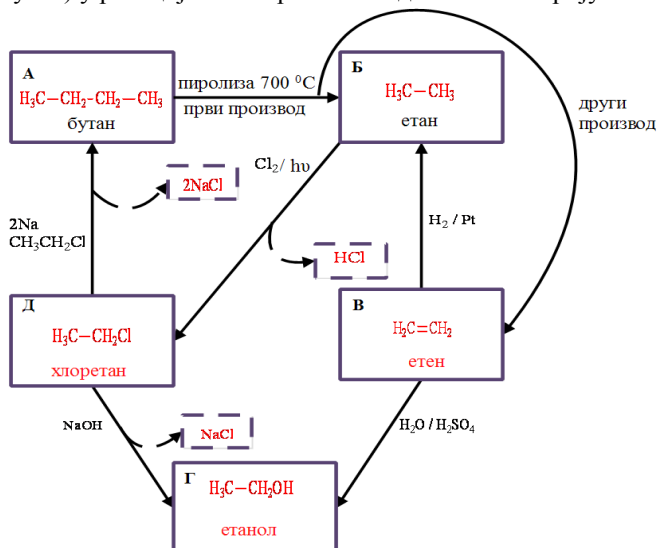
164. Van Merriënboer, J. J. G., Schuurman, J. G., de Croock, M. B. M., Paas, F. G. W. C. (2002). Redirecting learners' attention during training: Effects on cognitive load, transfer test performance and training efficiency. *Learning and Instruction*, 12, 11-37.
165. Van Merriënboer, J. J. G., Sweller, J. (2005). Cognitive load theory and complex learning: Recent developments and future directions. *Educational Psychology Review*, 17(2), 147-178.
166. Вељак, Ј. (2013). Онтологија и метафизика. *Логос*, 1(2), 9-19.
167. Vendlinski, T., Stevens, R. (2002). Assessing student problem-solving skills with complex computer-based tasks. *The Journal of Technology, Learning and Assessment*, 1(3), 1-20.
168. Vollhardt, K. P. C., Schore, N. E. (2003). *Органска хемија: Структура и функција* (Превели Д. Милић, Д. Опсеница). Београд: Наука.
169. Williams, J. P. (1992). A mnemonic for the Krebs cycle: Using letter addition, letter deletions, and anagrams to trace the acylation, decarboxylations, and other changes. *Journal of Chemical Education*, 69(12), 985-984.
170. Wernaart, G. (2013). *Cognitive load measurement: Different instruments for different types of load?* (Мастер рад). Utrecht: Faculty of Social and Behavioral Sciences.
171. Whelan, R. R. (2007). Neuroimaging of cognitive load in instructional multimedia. *Educational Research Review*, 2, 1-12.
172. Wouters, P., Paas, F., van Merriënboer, J. J. G. (2008). How to optimize learning from animated models: A review of guidelines based on cognitive load. *Review of Educational Research*, 78(3), 645-675.
173. Yalçınalp, S., Geban, Ö., Özkan, İ. (1995). Effectiveness of using computer-assisted supplementary instruction for teaching the mole concept. *Journal of Research in Science Teaching*, 32(10), 1083-1095.
174. Yeziarski, E. J., Birk, J. P. (2006). Misconceptions about the particulate nature of matter. *Journal of Chemical Education*, 83(6), 954-960.
175. Yurtseven, M. K. (2000). *Teaching systems thinking to industrial engineering students*. Proceedings of 1<sup>st</sup> International Conference on Systems Thinking in Management, 8-10. новембар, 2000., Geelong, Australia.
176. Завод за унапређење образовања и васпитања Републике Србије, *Наставни програм хемије за трећи разред гимназија општег типа и природно-математичког смера*. Преузето са: <http://www.zuov.gov.rs> Приступљено 20.07.2014.
177. Zipp, G. P., Maher, C., D'Antoni, A. V. (2009). Mind maps: Useful schematic tools for organizing and integrating concepts of complex patient care in the clinic and classroom. *Journal of Colledge Teaching and Learning*, 6(2), 59-68.
178. Zoller, U., Tsaparlis, G. (1997). Higher and lower-order cognitive skills: The case of chemistry. *Research in Science Education*, 27(1), 117-130.



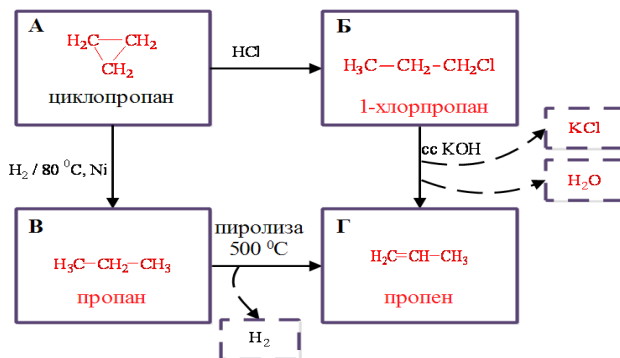
## 7. ПРИЛОЗИ

## 7.1. Наставни лист за понављање угљоводоника и халогених деривата угљоводоника

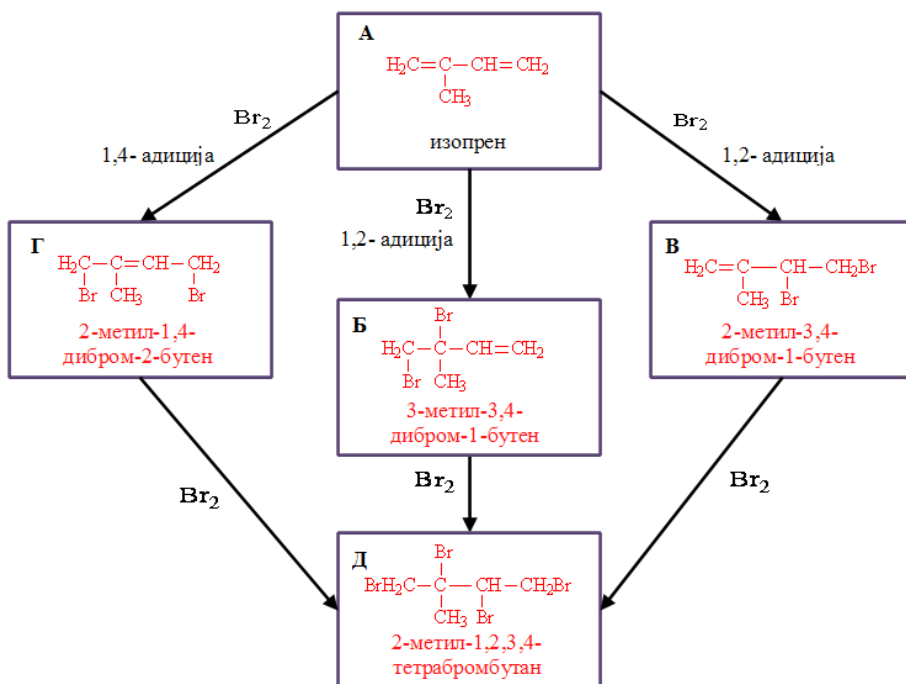
**Задатак 1.** Бутан (једињење А) подлеже пиролизи на  $700\text{ }^{\circ}\text{C}$  при чему се добијају етан (поље Б) и непознато једињење В. Једињење В адира воду у присуству хлороводоничне киселине дајући једињење Г. Једињење Г се такође може добити полазећи од једињења Д у реакцији са разблаженим раствором натријум хидроксида. Једињење Д се може добити полазећи од етана у реакцији са хлором у присуству светлости и може се превести у полазно једињење (бутан) у реакцији са хлоретаном и два атома натријума.



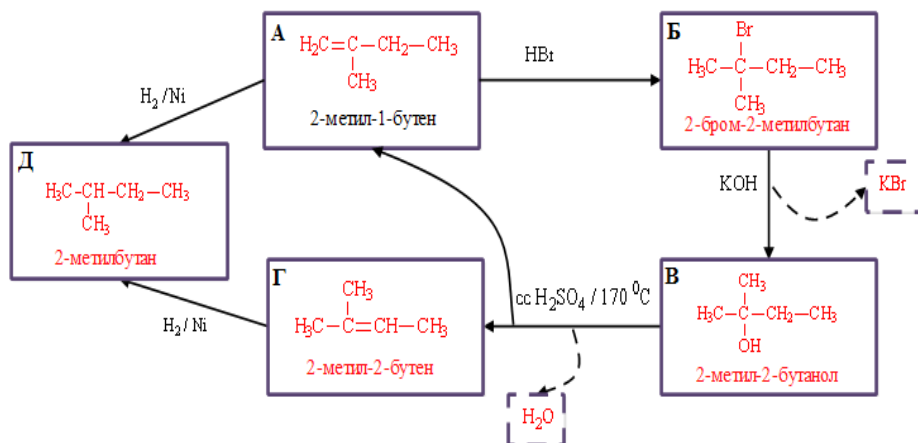
**Задатак 2.** У поље А написати структуру циклопропана, а након тога, у поље Б структуру и назив једињења које се добија адицијом хлороводоника на циклопропан. Циклопропан такође подлеже реакцији са водоником на  $80\text{ }^{\circ}\text{C}$  у присуству никла као катализатора при чему настаје једињење В. Крајњи производ Г се може добити на два начина: Пиролизом једињења В при чему се поред једињења Г издваја и молекул водоника, или полазећи од једињења Б у реакцији са концентрованим раствором калијум-хидроксида.



**Задатак 3.** У поље А написати структуру изопрена, а након тога, у поља Б и В структуре и називе једињења која се добијају у току 1,2-адисије брома на изопрен. Једињење Г се добија у току 1,4-адисије брома на изопрен. Крајње једињење Д се може добити адисијом брома на једињења Б, В или/и Г.

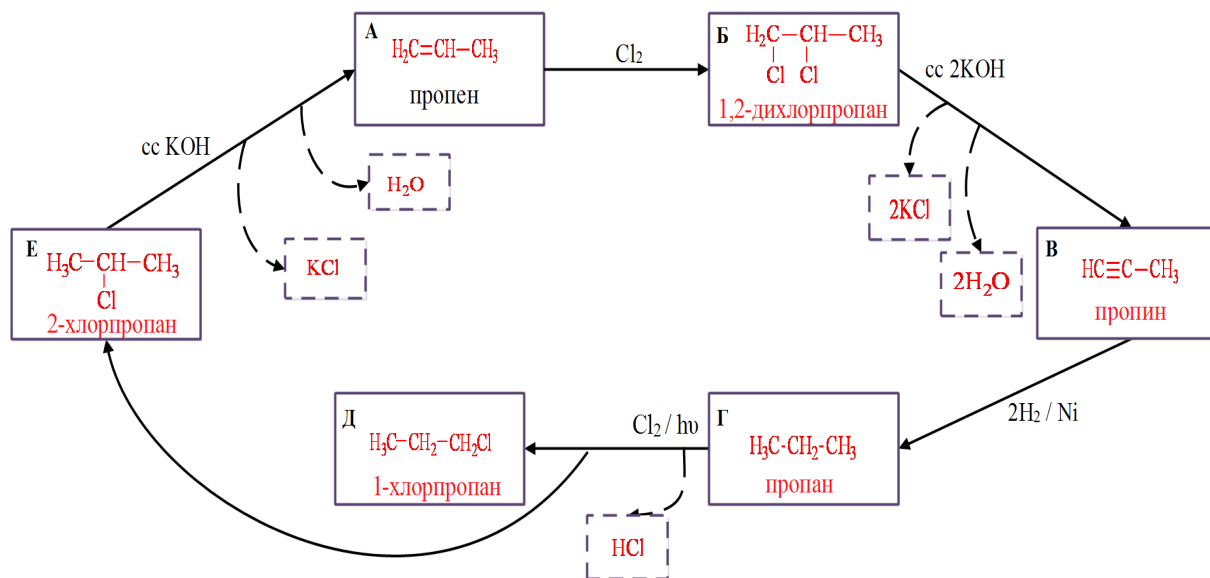


**Задатак 4.** У поље А написати структуру 2-метил-1-бутена, а након тога, у поље Б структуру и назив једињења које се добија адисијом бромоводоника на једињење А. Једињење Б реагује са разблаженим раствором калијум-хидроксида дајући једињење В, које у реакцији са концентрованом сумпорном киселином на повишеној температури даје једињења А и Г. Једињења из поља А и Г дају крајње једињење Д у реакцији адисије водоника у присуству никла као катализатора.



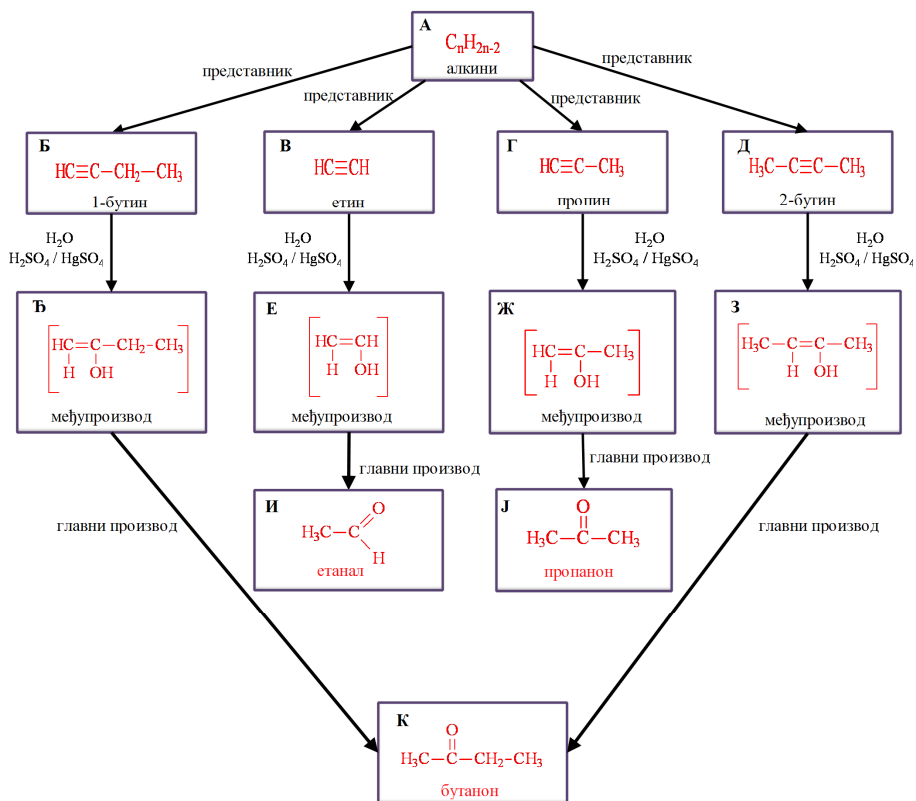


**Задатак 5.** Нацртати структуру пропена у поље А, а након тога, у поље Б написати структуру и назив једињења које се може добити адицијом хлора на пропен. Једињење Б даље реагује са два молекула концентрованог раствора калијум-хидроксида и даје једињење В, које адицијом два молекула водоника у присуству никла као катализатора даје једињење Г. Једињење Г реагује са хлором у присуству светлости дајући једињења Д и Е. У реакцији са концентрованим раствором калијум-хидроксида једињење Е прелази у полазну супстанцу – пропен.

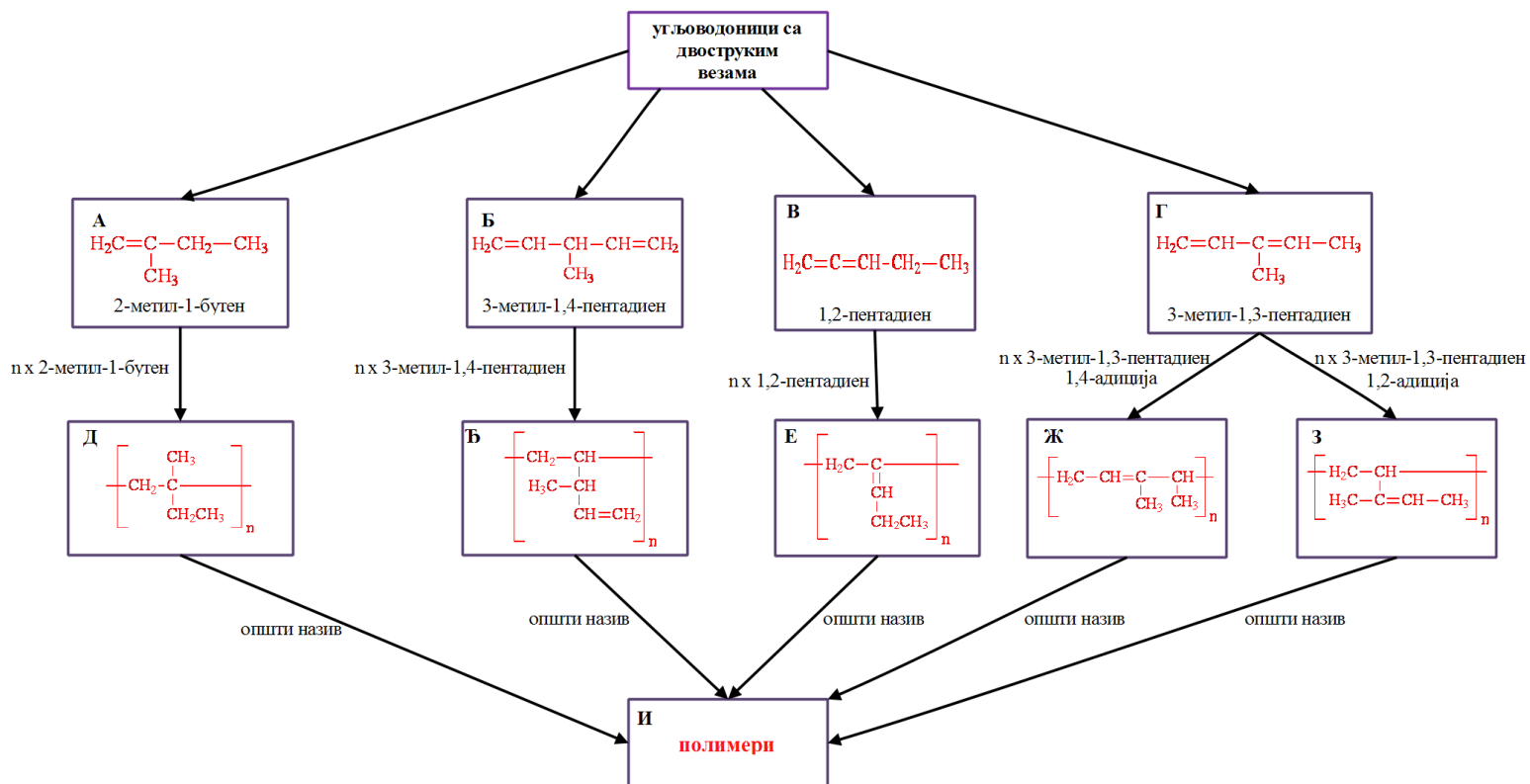


**Напомена:** Оба једињења, Д и Е реагују са концентрованим раствором калијум-хидроксида дајући пропен, али једињење Б реагује брже.

**Задатак 6.** У поља А написати општу формулу алкина, а након тога у поља Б, В, Г и Д структурне формуле одговарајућих представника ове класе угљоводоника, који адицијом воде у присуству жива(II)-сулфата у киселој средини дају као крајње производе једињења И, Ј и К. У поља Ђ, Е, Ж и З написати структуре одговарајућих међупроизвода дате хемијске реакције.

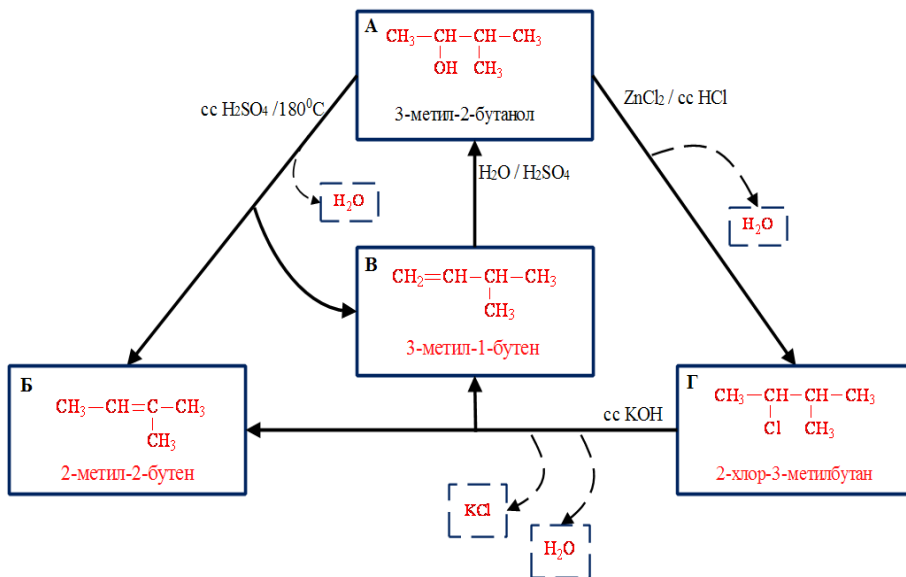


**Задатак 6.** У поља А, Б, В и Г написати структуре одговарајућих угљоводоника са двоструким везама, а након тога, у поља Д, Ђ, Е, Ж и З структуре једињења која настају адисијом  $n$  молекула приказаних једињења. У поље И написати општи назив те групе једињења.

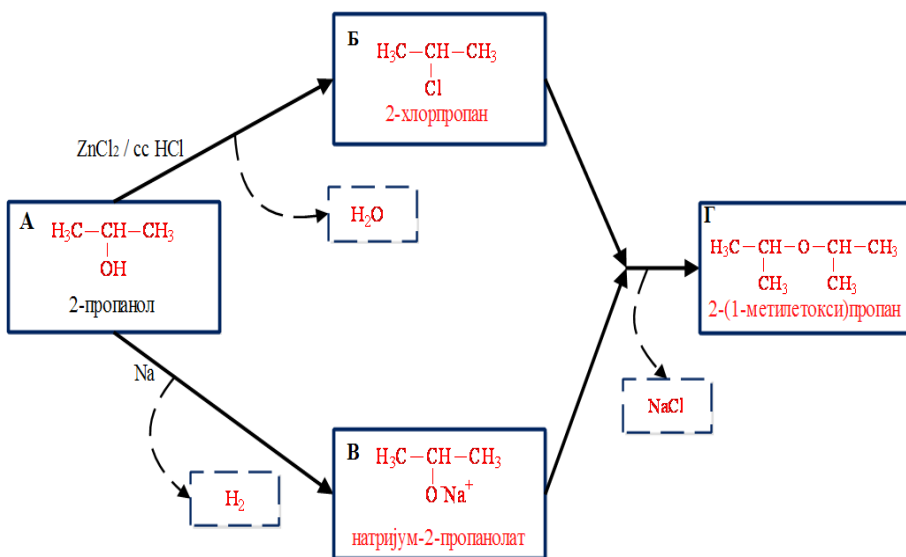


### 7.2. Наставни лист за понављање алкохола, фенола и етара

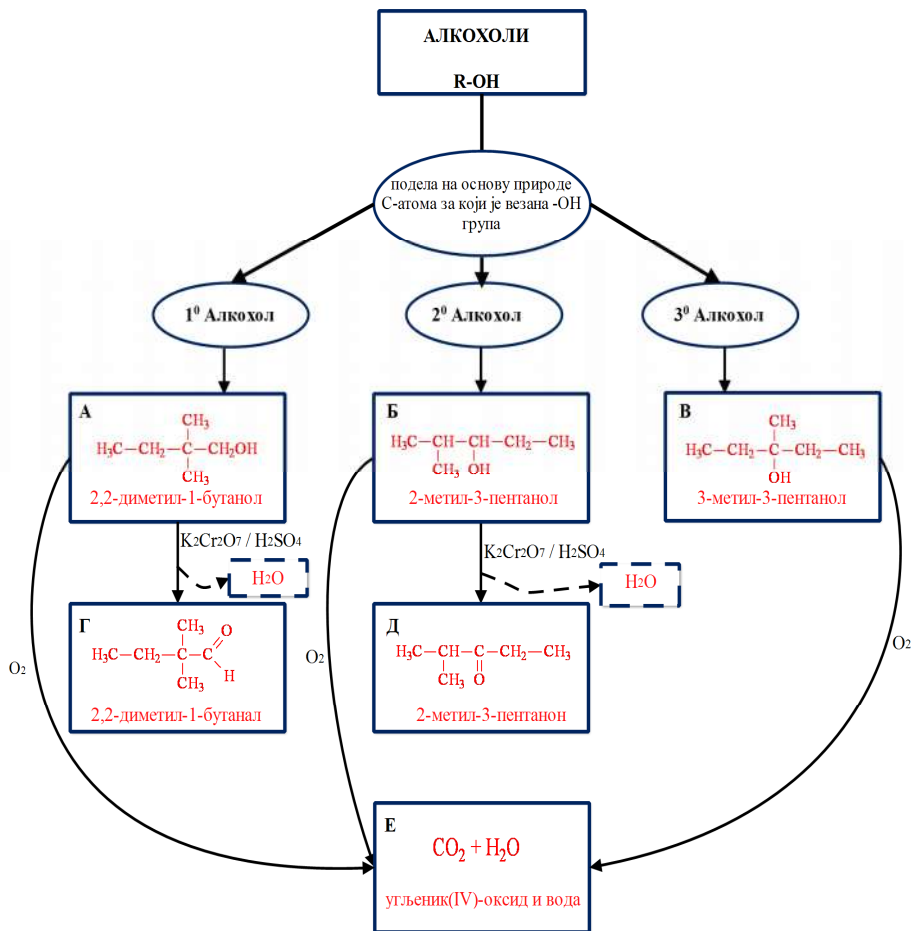
**Задатак 1.** Полазећи од 3-метил-2-бутанола (чију структуру треба написати у поље А), написати производе његове дехидратације у поља Б и В. У поље Г написати структуру и назив производа Лукасовог теста на 3-метил-2-бутанол, у присуству цинк(II)-хлорида и концентроване хлороводоничне кселине.



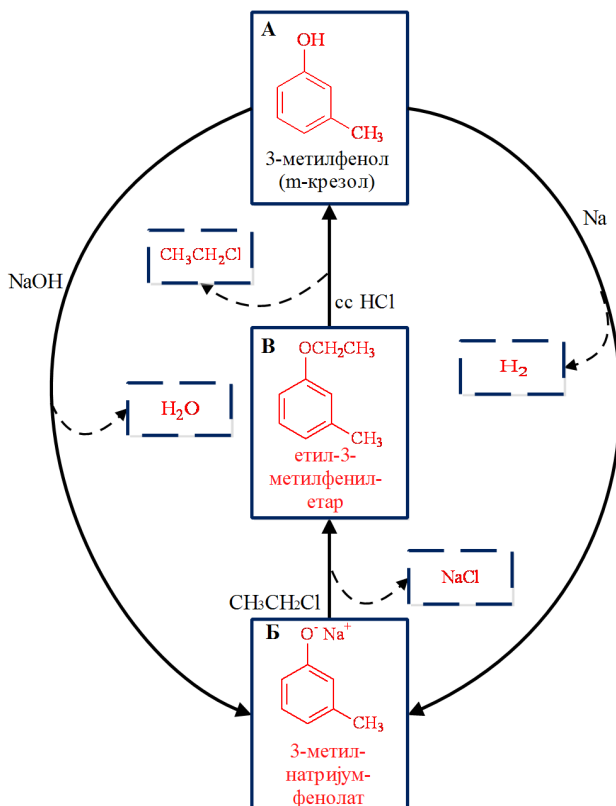
**Задатак 2.** У поље А написати структуру 2-пропанола, а након тога у поље Б, назив и структуру једињења које се добија Лукасовим тестом на 2-пропанол. Једињење А реагује са металним натријумом дајући једињење В, које у реакцији са једињењем из поља Б даје коначни производ, једињење Г.



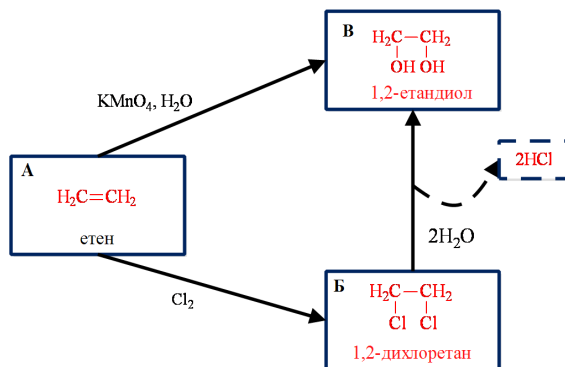
**Задатак 3.** У одговарајућа поља А, Б и В уписати структуре 2-метил-3-пентанола, 2,2-диметил-1-бутанола и 3-метил-3-пентанола, а након тога у поља Г и Д написати структуре и називе једињења која се добијају оксидацијом једињења А и Б са калијум-дихроматом у присуству сумпорне киселине. У поље Е написати производе оксидације једињења А, Б и В са кисеоником.



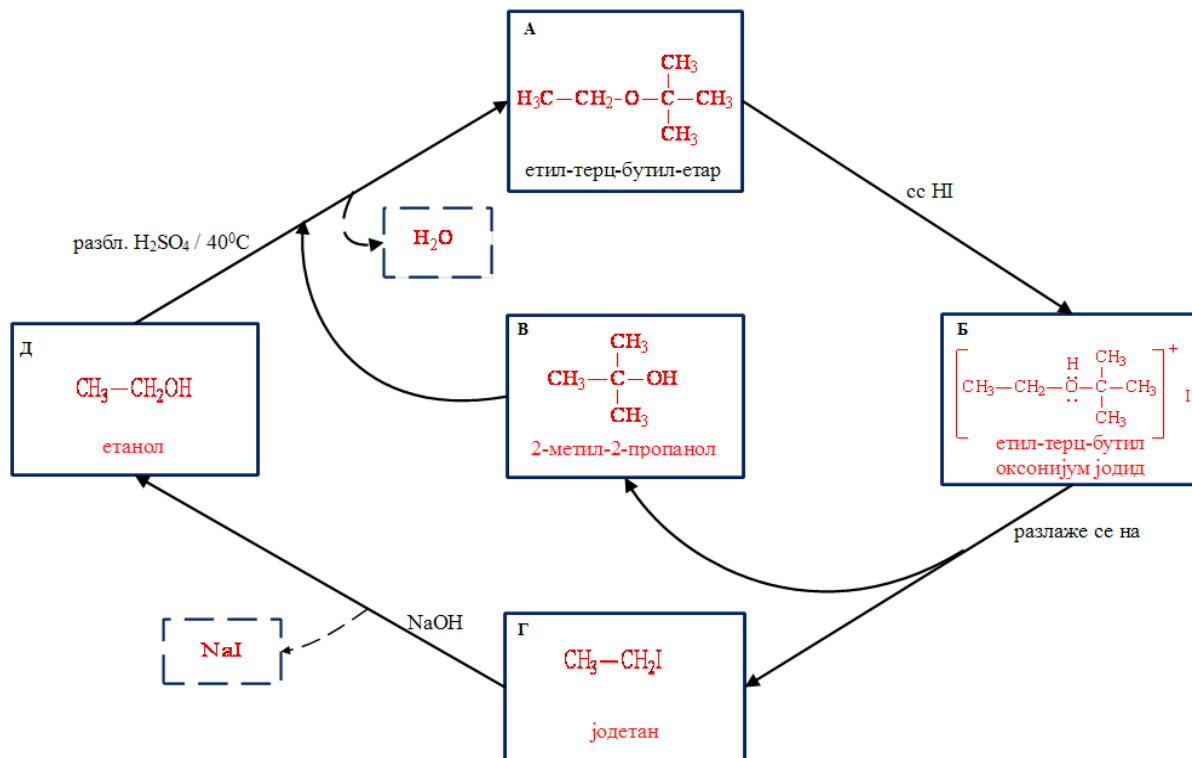
**Задатак 4.** У поље А написати структуру 3-метилфенола, а након тога, у поље Б структуру и назив једињења које се може добити у реакцији између 3-метилфенола и натријум-хидроксида, или натријума. Једињење из поља В се добија полазећи од једињења Б у реакцији са хлоретаном, а може се превести у полазно једињење (3-метилфенол) у реакцији са концентрованом хлороводоничном киселином.



**Задатак 5.** У поље А написати структуру етена, а након тога, у поље Б структуру и назив једињења које се добија адицијом хлора на етен. Једињење из поља В се може добити на два начина: оксидацијом етена са калијум-перманганатом, или реакцијом једињења Б са два молекула воде.

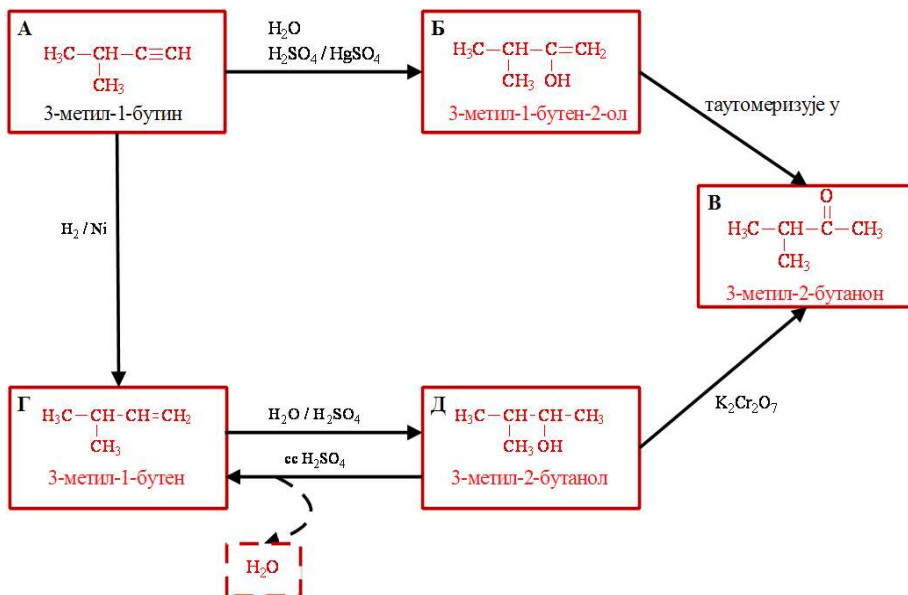


**Задатак 6.** У поље А написати структуру етил-терц-бутил-етра, а након тога, у поље Б структуру и назив оксонијум соли која се добија у реакцији између једињења А и концентроване јодоводоничне киселине. Оксонијум со из поља Б се разлаже на једињења В и Г. Једињење из поља Г реагује са разблаженим раствором натријум-хидроксида дајући једињење Д, које реагује са једињењем В у присуству разблажене сумпорне киселине на одговарајућој температури дајући полазно једињење А.

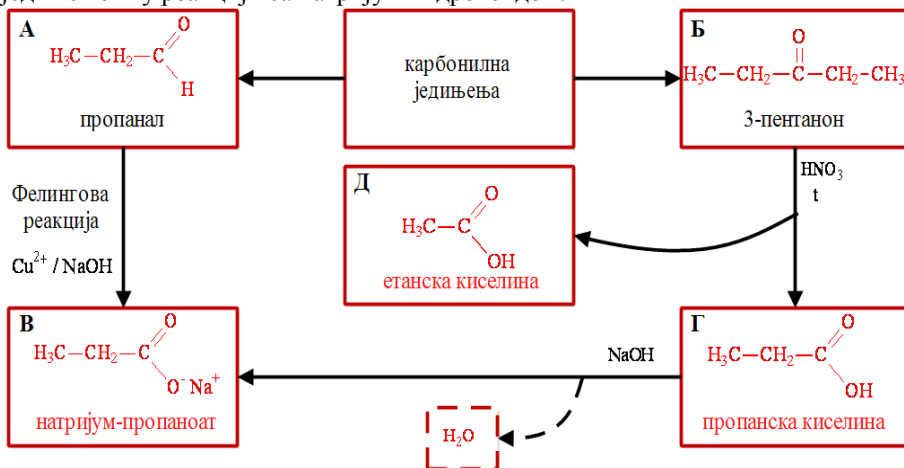


### 7.3. Наставни лист за понављање карбонилних једињења

**Задатак 1.** У поље А написати структуру 3-метил-1-бутина, а након тога, у поље В структуру и назив једињења које се може добити на два начина полазећи од 3-метил-1-бутина: Адицијом воде у присуству жива(II)-сулфата и сумпорне киселине преко интермеђијера из поља Б, или оксидацијом једињења из поља Д, које се добија адицијом воде на једињење из поља Г. Једињење из поља Г се претходно добија хидрогензацијом полазног једињења (3-метил-1-бутина).

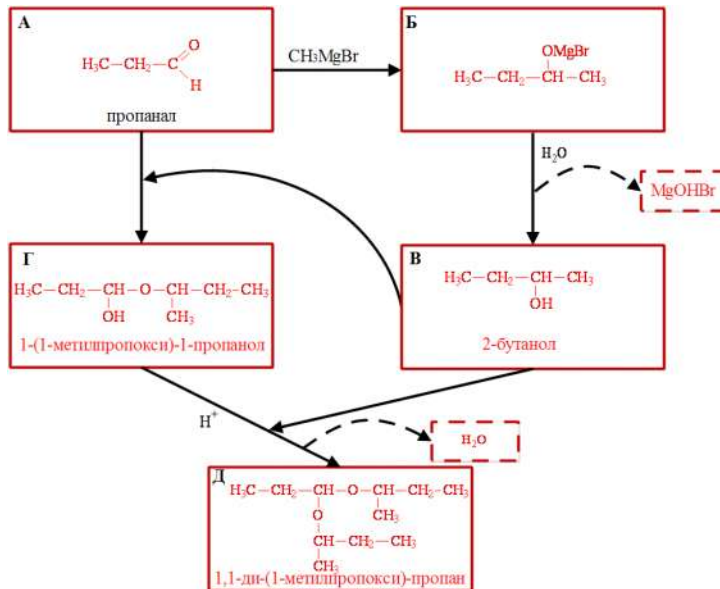


**Задатак 2.** У поља А и Б написати структуре пропанала и 3-пентанона, а након тога у поље В структуру и назив једињења које се добија у Фелинговој реакцији на пропанал. У поља Г и Д приказати производе оксидације 3-пентанона са азотном киселином. Једињење из поља Г се може превести у једињење В у реакцији са натријум хидроксидом.

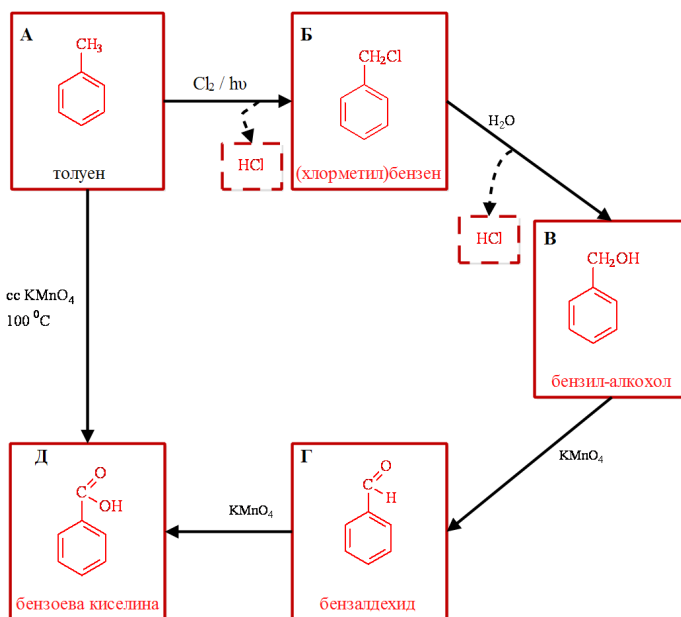




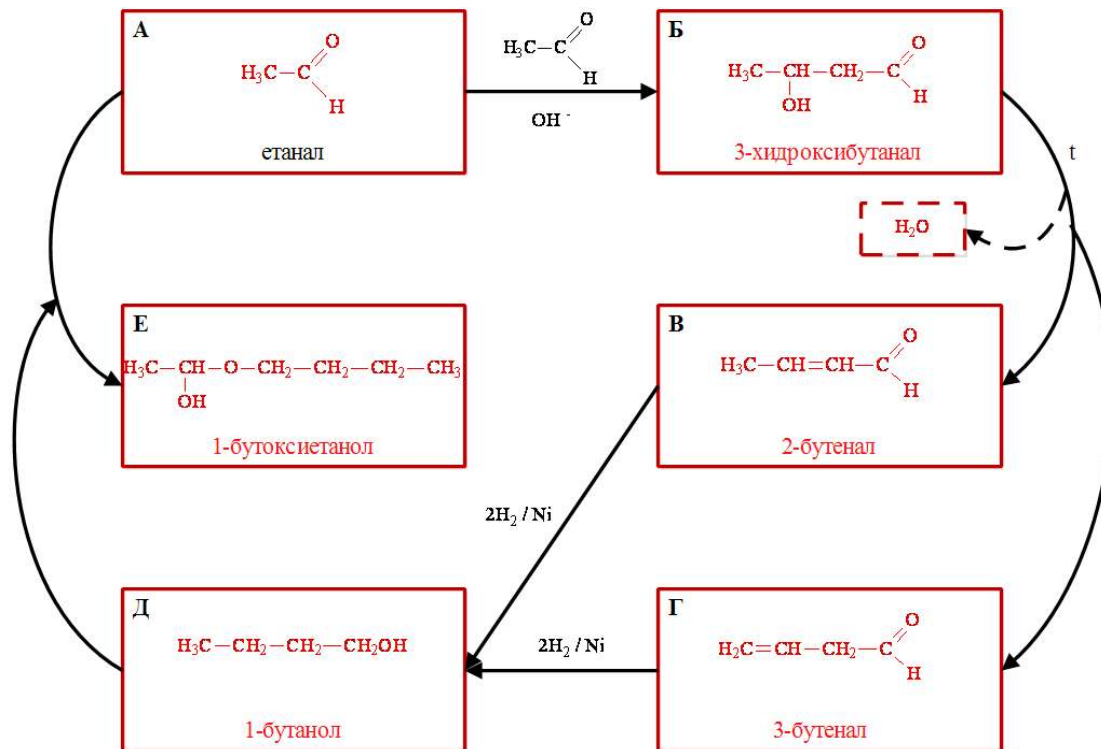
**Задатак 3.** Полазећи од пропанала (поље А) приказати производ Грињареве реакције (поље Б међупроизвод и поље В главни производ), а након тога добијени производ из поља В посматрати као полазно једињење за наредну реакцију адиције на пропанал. Крајњи производ (поље Д) добија се у реакцији између једињења из поља В и Г, у киселој средини.



**Задатак 4.** Написати структуру толуена у поље А, а након тога приказати производ хлоровања толуена у пољу Б. Добијени производ из поља Б подвргнути реакцији хидратације (поље В). Оксидацијом једињења из поља В добија се једињење Г, које даљом оксидацијом даје крајњи производ (поље Д).

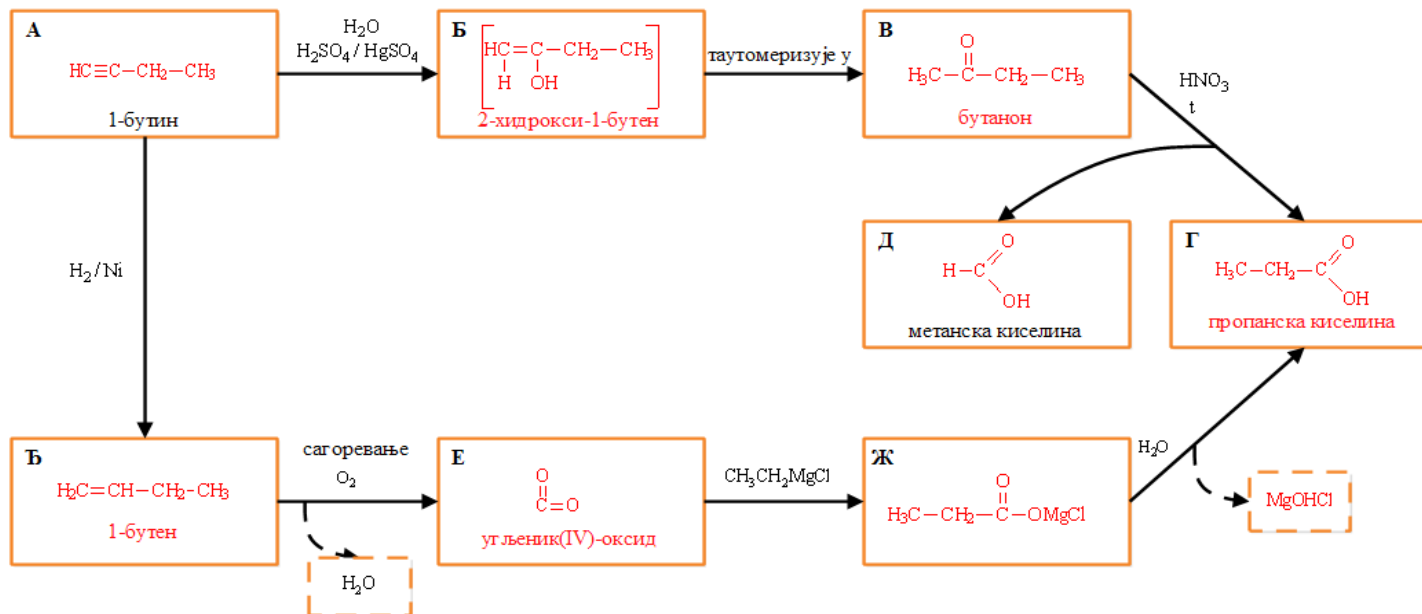


**Задатак 5.** У поље А написати структуру етанала, а након тога, у поље Б структуру и назив једињења које се добија у току алдолне адиције етанала, а након тога у поља В и Г уписати производе који настају дехидратацијом једињења из поља Б. Једињења из поља В и Г хидрогенизацијом дају заједнички производ Д, који у реакцији са полазним етаналом даје крајњи производ Е.

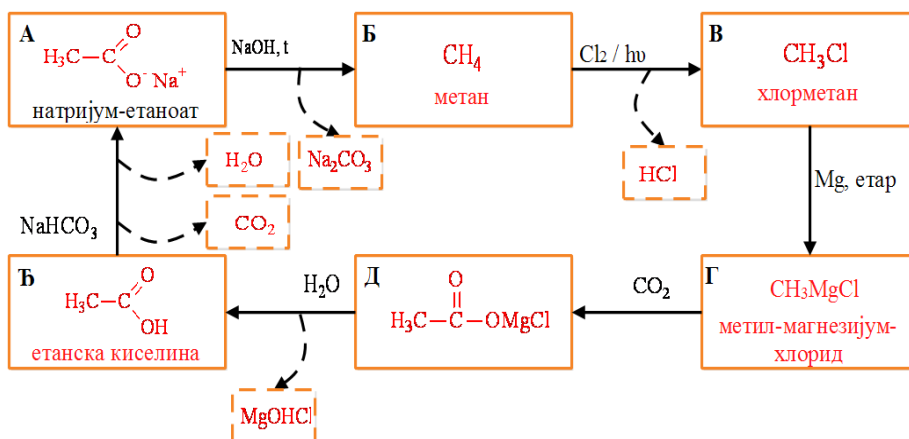


## 7.4. Наставни лист за понављање карбоксилних киселина и деривата карбоксилних киселина

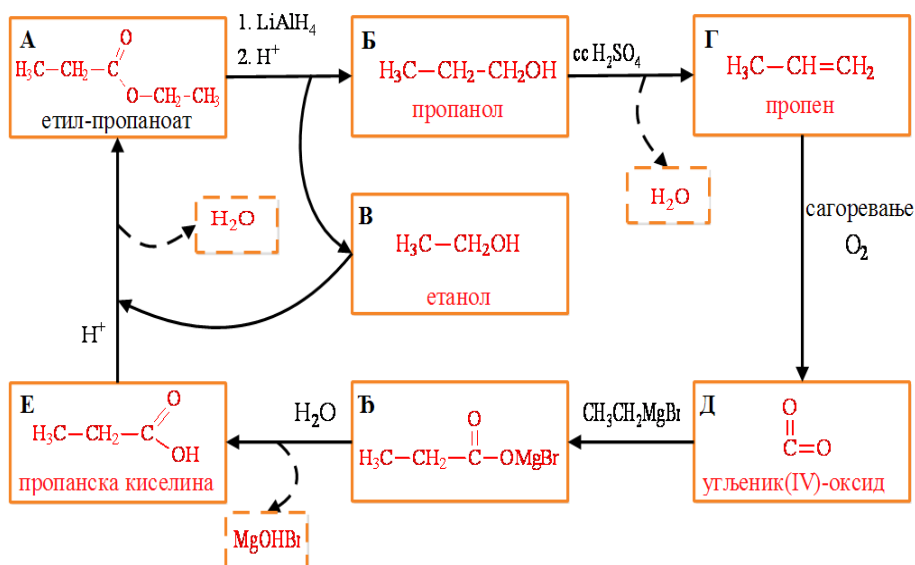
**Задатак 1.** У поље А написати структуру 1-бутина, а након тога, у поље В, написати структуру и назив једињења које се добија адисијом воде на 1-бутин, преко интермедијера чију структуру и назив уписати у поље Б. Једињење из поља В подлеже оксидацији у присуству вреле азотне киселине. Ако је један од производа те оксидације метанска киселина (поље Д), одредити структуру и назив другог производа (поље Г). Полазно једињење (1-бутин) може да адире 1 молекул водоника у присуству катализатора, при чему прелази у једињење из поља Ђ, које затим сагоревањем прелази у једињење Е. Једињење из поља Е реагује са Грињаревим реагенсом, дајући крајњи производ (поље Ж међупроизвод; поље Г главни производ).



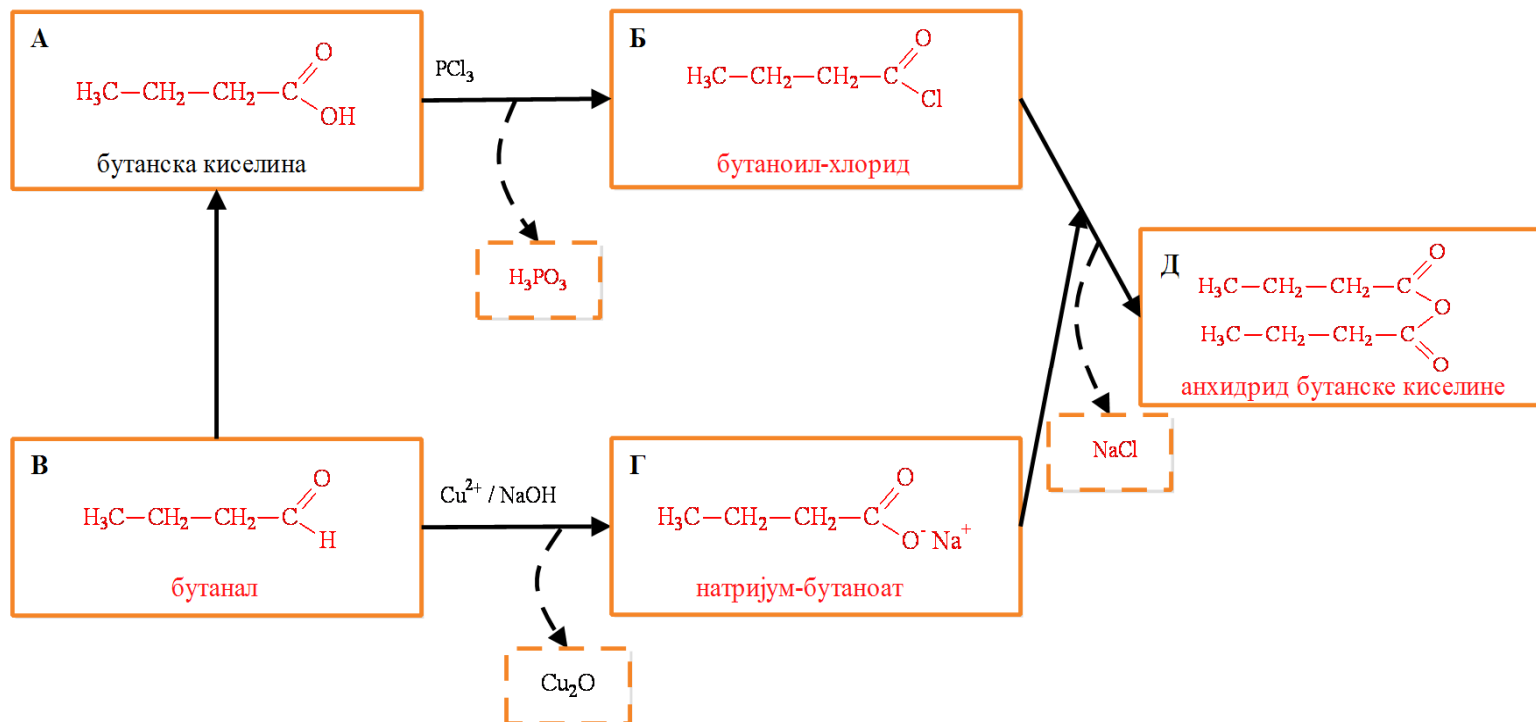
**Задатак 2.** У поље А написати структуру натријум-etanoата, који загревањем са натријум-хидроксидом прелази у једињење Б. Једињење из поља Б подлеже хлоровању у присуству светлости, дајући једињење В. Једињење В се може превести у једињење Г у реакцији са магнезијумом у присуству етра, при чему добијени производ реагује са угљеник(IV)-оксидом, дајући једињење Ђ (међупроизвод ове реакције уписати у поље Д).



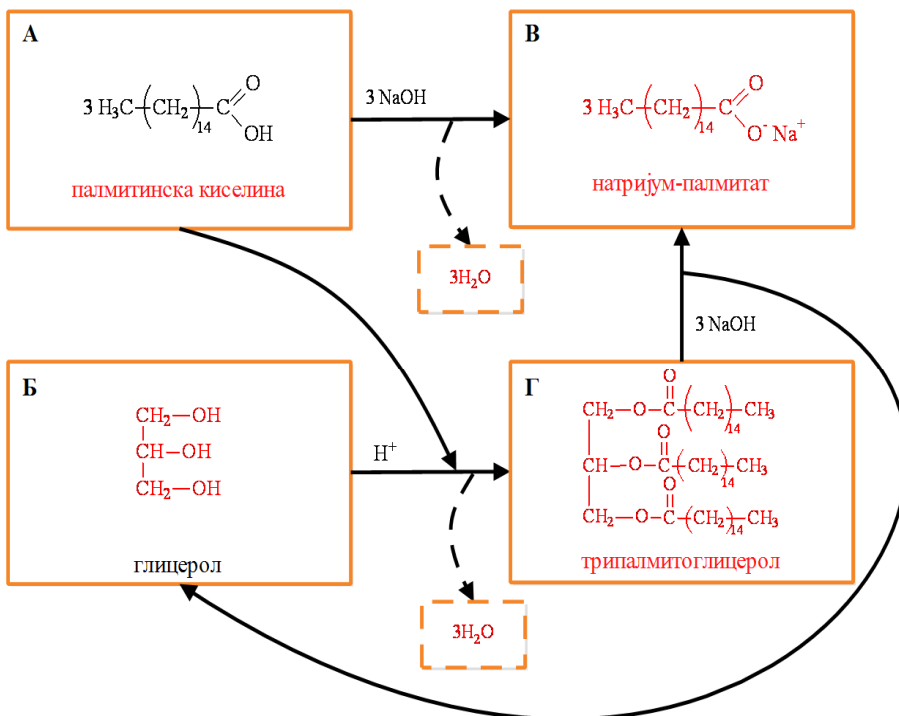
**Задатак 3.** У поље А написати структуру етил-пропаноата, који се редукцијом са литијум-алуминијум-хидридом преводи у два производа (једињења у пољима Б и В). Једињење из поља Б реагује са концентрованом сумпорном киселином дајући једињење Г, које сагоревањем прелази у једињење Д. Једињење из поља Д реагује са Грињаревим реагентом дајући производ Е (преко интермедијера из поља Ђ). Крајњи производ Е може да реагује са једињењем из поља В у киселој средини, дајући полазну супстанцу – етил-пропаноат.



**Задатак 4.** У поље А написати структуру бутанске киселине, која реагујући са фосфор(III)-хлоридом прелази у једињење Б. Бутанска киселина (поље А) се добија оксидацијом једињења из поља В, са раствором калијум-перманганата. Једињење из поља В реагује са Фелинговим реагенсом дајући једињење Г, које даље реагује са једињењем из поља Б дајући крајњи производ (поље Д).



**Задатак 5.** У поље А написати назив дате карбоксилне киселина, а у поље Б напишати структуру глицерола. Карбоксилна киселина из поља А реагује са раствором натријум-хидроксида, дајући крајње једињење В. Једињење В се може такође добити полазећи од једињења из поља Г, у реакцији са натријум-хидроксидом. Једињење Г се добија у реакцији карбоксилне киселине из поља А са глицеролом у киселој средини.



## 7.5. Тест 1: Угљоводоници и халогени деривати угљоводоника

**Тест из угљоводоника и халогених деривата угљоводоника**

Име и презиме: \_\_\_\_\_

Разред и одељење: \_\_\_\_\_

Оцена из хемије на крају I разреда: \_\_\_\_\_

Оцена из хемије на крају II разреда: \_\_\_\_\_

Датум: \_\_\_\_\_

Остварен број бодова на тесту: \_\_\_\_\_

1. Које од наведених једињења тренутно реагује са бромом?

а) етан

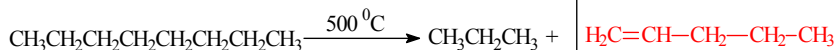
 б) етен

в) циклобутан

Заокружити слово испред тачног одговора.

изузетно лако	веома лако	лако	ни тешко ни лако	тешко	веома тешко	изузетно тешко

2. У празно поље уписати један од два могућа производа пиролизе октана, који се издваја поред пропана.



изузетно лако	веома лако	лако	ни тешко ни лако	тешко	веома тешко	изузетно тешко

3. За алкане је карактеристична реакција:

а) адисије

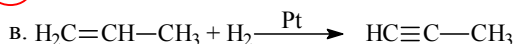
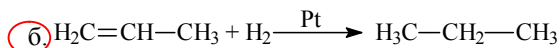
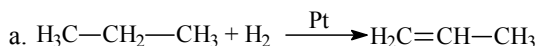
б) елиминације

 в) супституције

Заокружити слово испред тачног одговора.

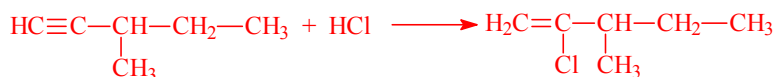
изузетно лако	веома лако	лако	ни тешко ни лако	тешко	веома тешко	изузетно тешко

4. Која од следећих хемијских једначина правилно приказује процес хидрогенизације?



изузетно лако	веома лако	лако	ни тешко ни лако	тешко	веома тешко	изузетно тешко

5. Написати IUPAC-ов назив и рационално-структурну формулу једињења које се може добити у току адиције 1 молекула HCl-а на 3-метил-1-пентин.



2-хлор-3-метил-1-пентен

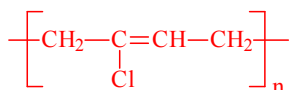
изузетно лако	веома лако	лако	ни тешко ни лако	тешко	веома тешко	изузетно тешко

6. 1,3-бутадиен спада у класу коњугованих диена, за коју је поред 1,2 карактеристична и 1,4 адиција.

Попунити празна места у датој реченици.

изузетно лако	веома лако	лако	ни тешко ни лако	тешко	веома тешко	изузетно тешко

7. Неопрен се добија слободнорадикалском полимеризацијом 2-хлор-1,3-бутадиена и примењује се као еластомер. Написати структуру неопрена.

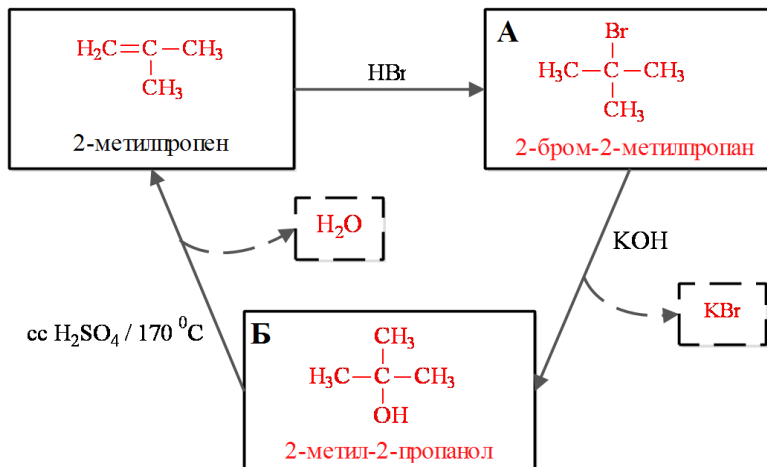


изузетно лако	веома лако	лако	ни тешко ни лако	тешко	веома тешко	изузетно тешко



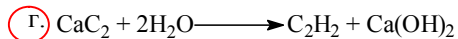
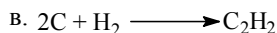
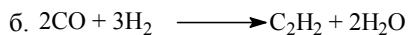
8. Написати структуру 2-метилпропена, а након тога у поље А написати структуру и назив једињења које се добија адицијом бромоводоника на 2-метилпропен. Једињење из поља А реагује са разблаженим раствором калијум-хидроксида дајући једињење Б, које у реакцији са концентрованом сумпорном киселином на повишеној температури даје полазно једињење – 2-метилпропен.

*Напомена:* У поља са пуним линијама уписати главне производе, а у поља са испрекиданим линијама уписати споредне производе. Поред сваког једињења уписати и његов назив.



изузетно лако	веома лако	лако	ни тешко ни лако	тешко	веома тешко	изузетно тешко

9. Ацетилен се може добити полазећи од неорганског једињења, на следећи начин:

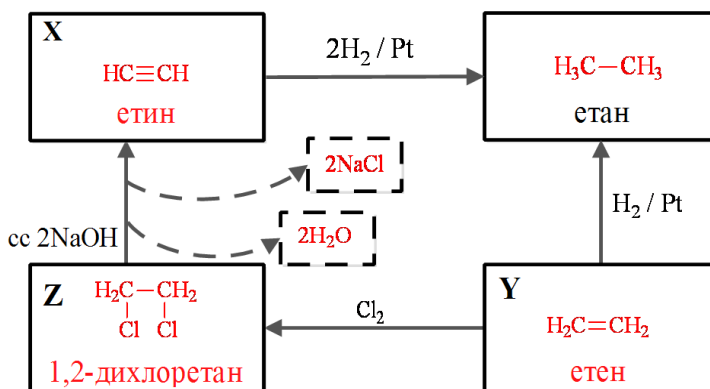


Заокружити слово испред тачног одговора.

изузетно лако	веома лако	лако	ни тешко ни лако	тешко	веома тешко	изузетно тешко

10. Једињење X адире 2 молекула водоника у присуству платине при чему настаје етан. Етан се такође добија полазећи од једињења Y у току адисије 1 молекула водоника. Y подлеже реакцији хлоровања при чему се добија једињење Z, које са 2 молекула концентрованог натријум-хидроксида даје једињење X.

*Напомена:* У поља са пуним линијама уписати главне производе, а у поља са испрекиданим линијама уписати споредне производе. Поред сваког једињења уписати и његов назив.



изузетно лако	веома лако	лако	ни тешко ни лако	тешко	веома тешко	изузетно тешко

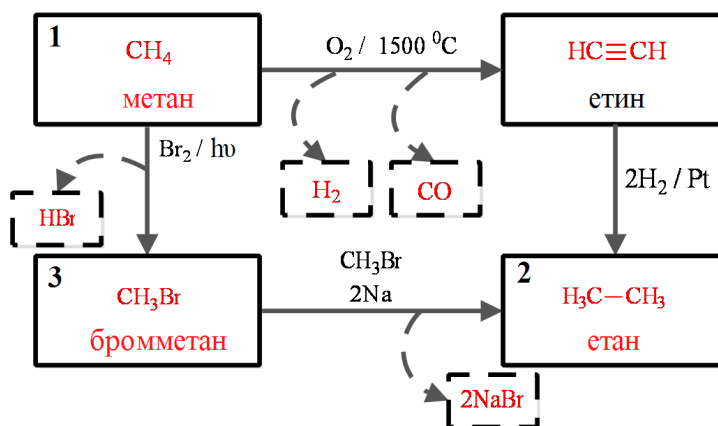
11. Када 1-хексен реагује са раствором калијум-перманганата настаје одговарајући диол, који се назива 1,2-хександиол. Наведена реакција служи као доказна реакција на алкене (двоструку везу).

Попунити празна места у датим реченицама.

изузетно лако	веома лако	лако	ни тешко ни лако	тешко	веома тешко	изузетно тешко

12. Етин се добија контролисаним оксидацијом **једињења 1** на  $1500\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а реагујући са 2 молекула водоника даје **једињење 2**. **Једињење 2** се такође добија када два молекула **једињења 3** реагује са два атома натријума. **Једињење 1** реагује са бромом у присуству светлости дајући **једињење 3**.

*Напомена: У поља са пуним линијама уписати главне производе, а у поља са испрекиданим линијама уписати споредне производе. Поред сваког једињења уписати и његов назив.*



изузетно лако	веома лако	лако	ни тешко ни лако	тешко	веома тешко	изузетно тешко

## 7.6. Тест 2: Алкохоли, феноли и етри

*Тест из алкохола, фенола и етра*

Име и презиме: \_\_\_\_\_

Разред и одељење: \_\_\_\_\_

Оцена из хемије на крају I разреда: \_\_\_\_\_

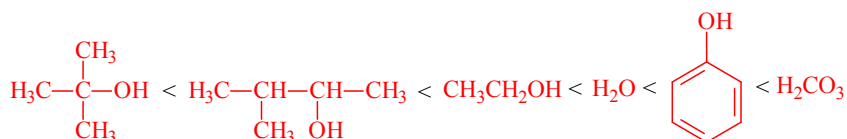
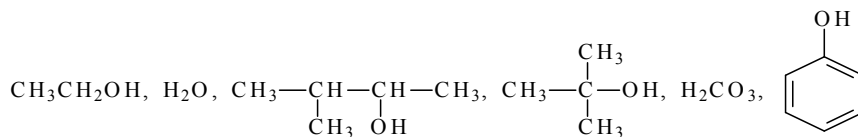
Оцена из хемије на крају II разреда: \_\_\_\_\_

Оцена на полугодишту III разреда: \_\_\_\_\_

Датум: \_\_\_\_\_

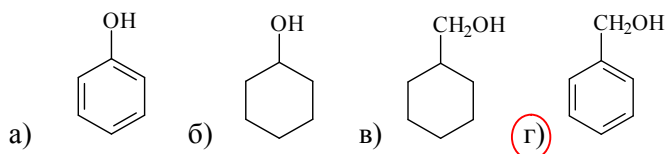
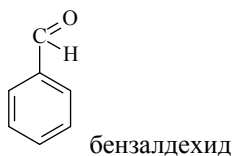
Остварен број бодова на тесту: \_\_\_\_\_

1. Следећа једињења поређати по редоследу пораста киселости.



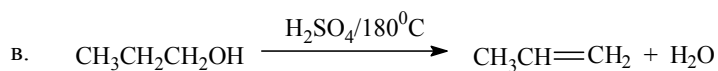
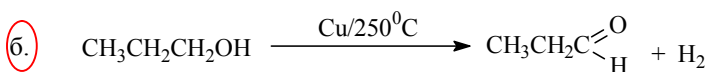
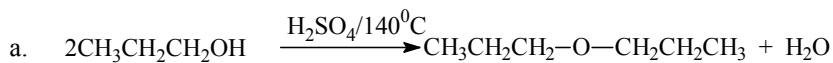
изузетно лако	веома лако	лако	ни тешко ни лако	тешко	веома тешко	изузетно тешко

2. Заокружити слово испред формуле једињења чијом се оксидацијом у присуству јаких оксидационих средстава добија бензалдехид.



изузетно лако	веома лако	лако	ни тешко ни лако	тешко	веома тешко	изузетно тешко

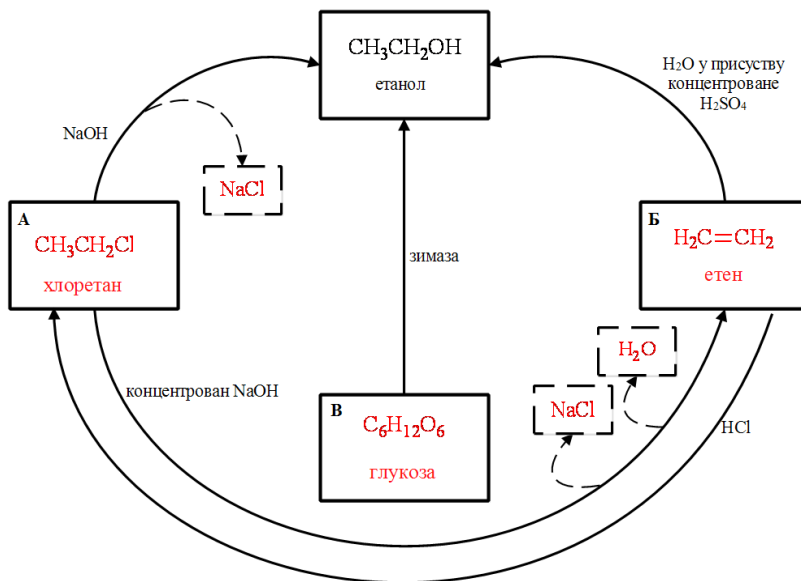
3. Заокружити слово испред једначине хемијске реакције која НЕ приказује процес дехидратације пропанола.



изузетно лако	веома лако	лако	ни тешко ни лако	тешко	веома тешко	изузетно тешко

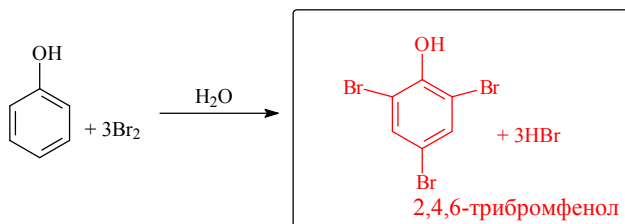
4. У поље А написати структуру и назив једињења које у реакцији са разблаженим раствором натријум-хидроксида даје етанол. Са друге стране, етанол се може добити полазећи од једињења Б у току адисије воде у присуству концентроване сумпорне киселине, или полазећи од једињења В у присуству ензима зимаза.

*Напомена:* У поља са пуним линијама уписати главне производе, а у поља са испрекиданим линијама уписати споредне производе. Поред сваког једињења уписати и његов назив.



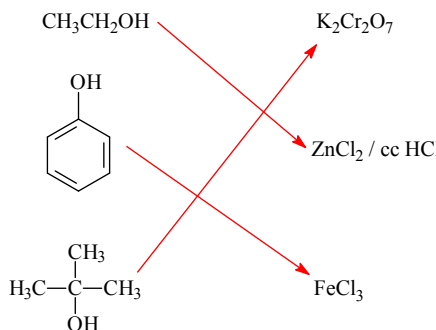
изузетно лако	веома лако	лако	ни тешко ни лако	тешко	веома тешко	изузетно тешко

5. У празно поље уписати производбромовања фенола у воденој средини. Поред структуре производа уписати и његов назив.



изузетно лако	веома лако	лако	ни тешко ни лако	тешко	веома тешко	изузетно тешко

6. Повезати линијом фенол, етанол, односно 2-метил-2-пропанол (tert-бутил-алкохол) са реагенсима помоћу којих се дата једињења доказују на собној температури, без загревања и у кратком временском периоду.



изузетно лако	веома лако	лако	ни тешко ни лако	тешко	веома тешко	изузетно тешко

7. Реакција сагоревања алкохола је:

- а) ендотермна реакција  
 б) егзотермна реакција  
 в) ни једно од понуђених

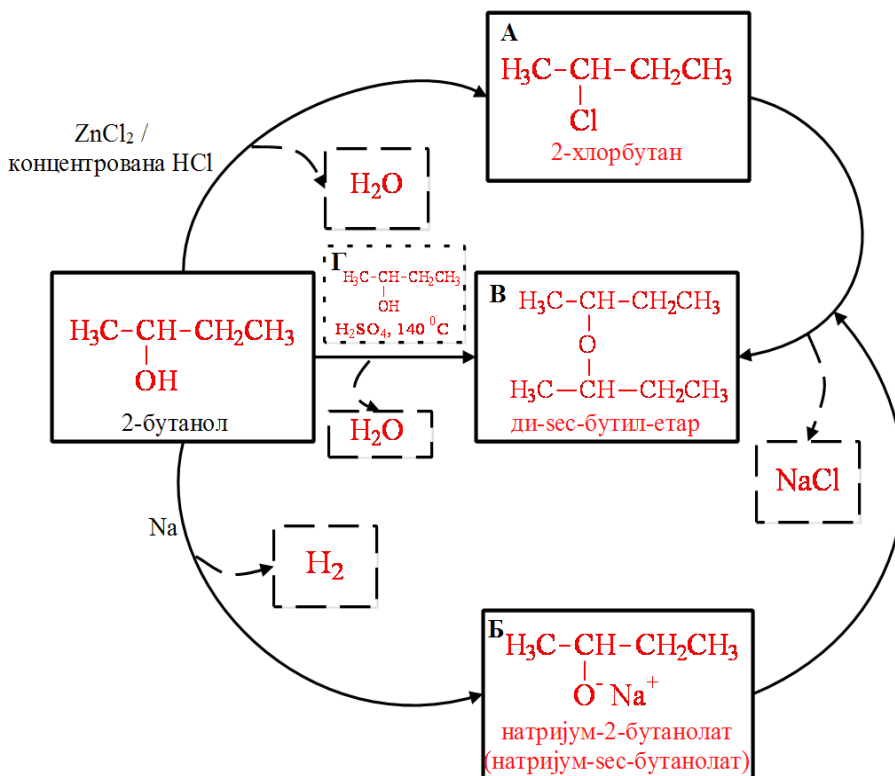
Заокружити слово испред тачног одговора.

изузетно лако	веома лако	лако	ни тешко ни лако	тешко	веома тешко	изузетно тешко

8. Приказати производе реакције 2-бутанола са Лукасовим реагенсом (поље А) и натријумом (поље Б). Након тога, у поље В написати формулу и назив једињења које се добија реакцијом једињења из поља А и једињења из поља Б.

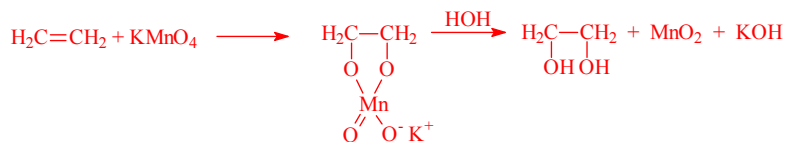
2-бутанол се такође може превести у крајњи производ са непознатим реагенсом при одређеним реакционим условима. Уписати тај реагенс у празно поље Г.

*Напомена:* У поља са пуним линијама уписати главне производе, а у поља са испрекиданим линијама уписати споредне производе. Поред сваког једињења уписати и његов назив.



изузетно лако	веома лако	лако	ни тешко ни лако	тешко	веома тешко	изузетно тешко

9. Које органско једињење се добија оксидацијом етена калијум-перманганатом, или кисеоником у присуству сребра? Образложити одговор једанчином хемијске реакције.



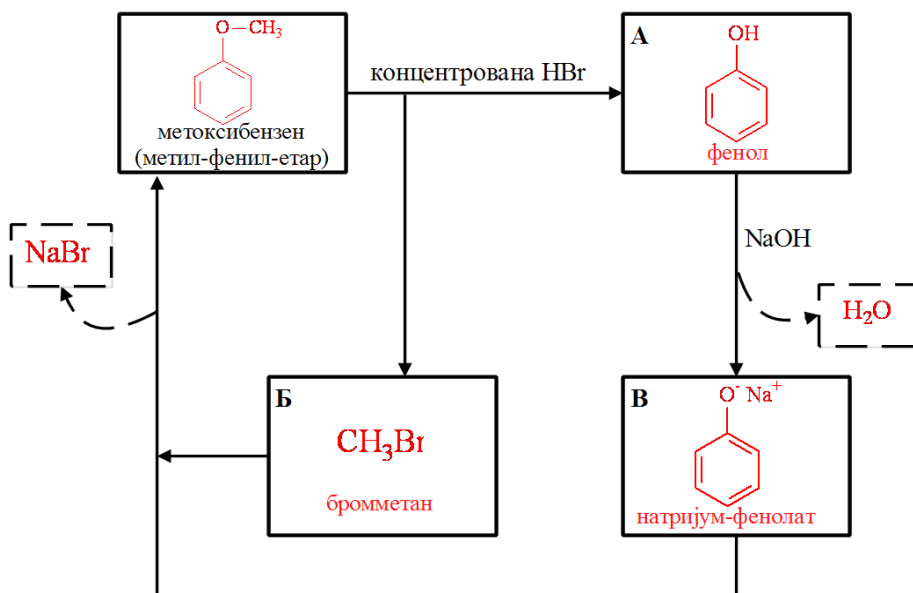
1,2-етандиол

изузетно лако	веома лако	лако	ни тешко ни лако	тешко	веома тешко	изузетно тешко



10. У поље А и у поље Б написати формуле и називе производа разлагања метоксибензена (метил-фенил-етар) у присуству концентроване бромоводоничне киселине. Једињење из поља А са NaOH даје једно од једињења потребних за синтезу полазног етра (метоксибензена). Написати формулу и назив тог једињења у поље В.

*Напомена:* У поља са пуним линијама уписати главне производе, а у поља са испрекиданим линијама уписати споредне производе. Поред сваког једињења уписати и његов назив.



изузетно лако	веома лако	лако	ни тешко ни лако	тешко	веома тешко	изузетно тешко

## 7.7. Тест 3: Карбонилна једињења

*Тест из карбонилних једињења*

Име и презиме: \_\_\_\_\_

Разред и одељење: \_\_\_\_\_

Оцена из хемије на крају I разреда: \_\_\_\_\_

Оцена из хемије на крају II разреда: \_\_\_\_\_

Оцена на полугодишту III разреда: \_\_\_\_\_

Остварен број бодова на тесту: \_\_\_\_\_

1. Заокружити слово испред тачне тврдње која се односи на реакцију нуклеофилне адиције на карбонилну групу.

- а. У току нуклеофилне адиције на карбонилну групу, на карбонилни угљеник се веже нуклеофилни реагенс
- б. У току нуклеофилне адиције на карбонилну групу, на кисеоник карбонилне групе се веже нуклеофилни реагенс
- в. Ниједан од понуђених одговора није тачан

изузетно лако	веома лако	лако	ни тешко ни лако	тешко	веома тешко	изузетно тешко

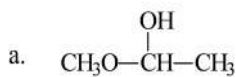
2. Адицијом воде на карбонилну групу настају:

- а. алдоли
- б. хемиацетали
- в. геминални диоли
- г. монохидроксилни алкохоли

Заокружити слово испред тачне тврдње.

изузетно лако	веома лако	лако	ни тешко ни лако	тешко	веома тешко	изузетно тешко

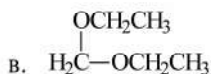
3. На црту, испод наведених структурних формула, написати да ли припадају класи ацетала, хемиацетала, кетала, хемикетала.



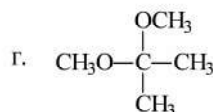
хемиацетал



хемикетал



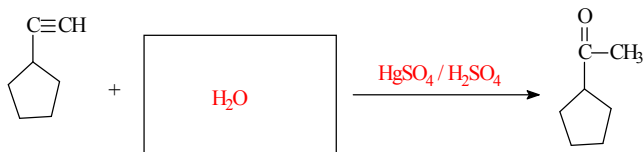
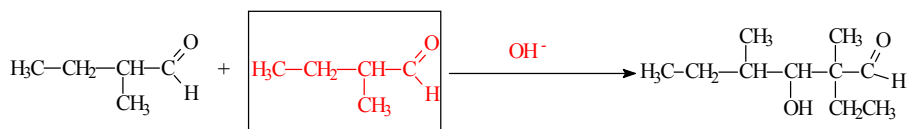
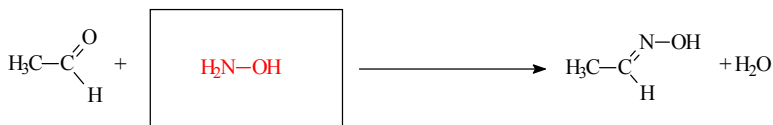
ацетал



кетал

изузетно лако	веома лако	лако	ни тешко ни лако	тешко	веома тешко	изузетно тешко

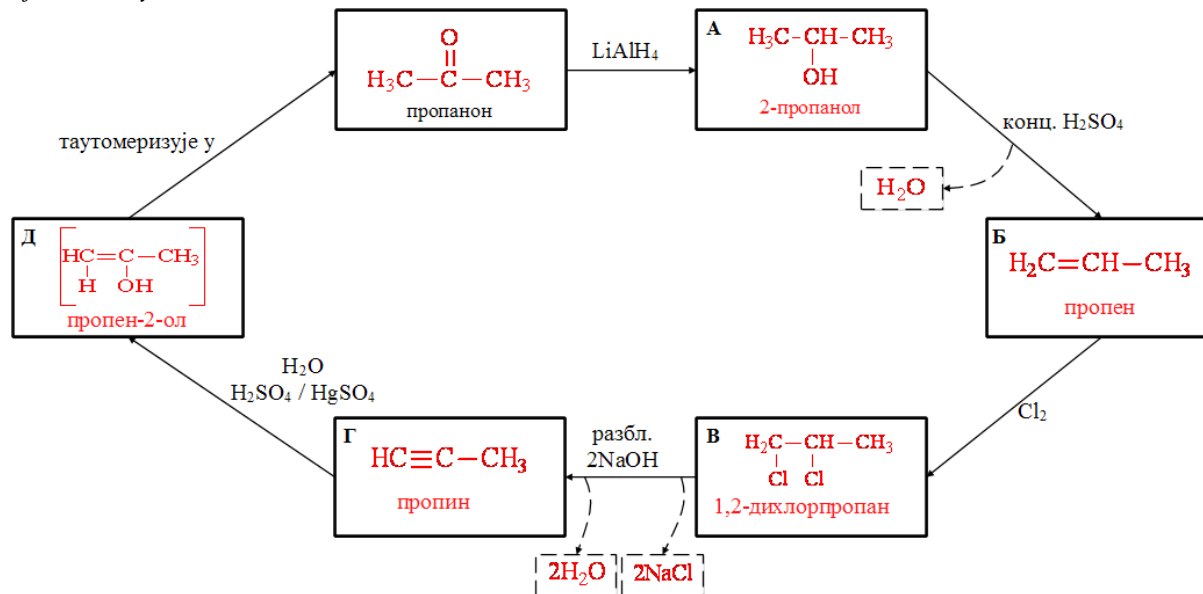
4. Попунити празна поља са реактантима, а на стрелице написати одговарајуће услове реакција, који су неопходни да би дошло до следећих трансформација:



изузетно лако	веома лако	лако	ни тешко ни лако	тешко	веома тешко	изузетно тешко

5. У поље А написати структуру и назив једињења које се добија редукцијом пропанона, а након тога у поље Б уписати једињење које се добија из једињења А у присуству концентроване сумпорне киселине. Једињење Б хлоровањем прелази у једињење В, које са концентрованим раствором натријум-хидроксида даје једињење Г. Једињење из поља Г адицијом воде прелази у полазну супстанцу (пропанон), преко интермедијерног производа (поље Д).

Напомена: У поља са пуним линијама уписати главне производе, а у поља са испрекиданим линијама уписати споредне производе. Поред сваког једињења уписати и његов назив.



изузетно лако	веома лако	лако	ни тешко ни лако	тешко	веома тешко	изузетно тешко

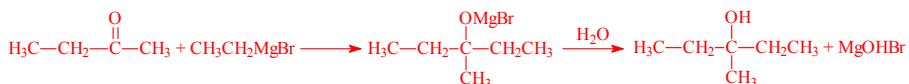
6. Заокружити слово испред назива једињења које се преводи у 3-метил-3-пентанол у реакцији са Грињаревим реагенсом ( $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{MgBr}$ ). Образложити одговор реакцијом.

а. бутанал

**б** бутанон

в. пропанал

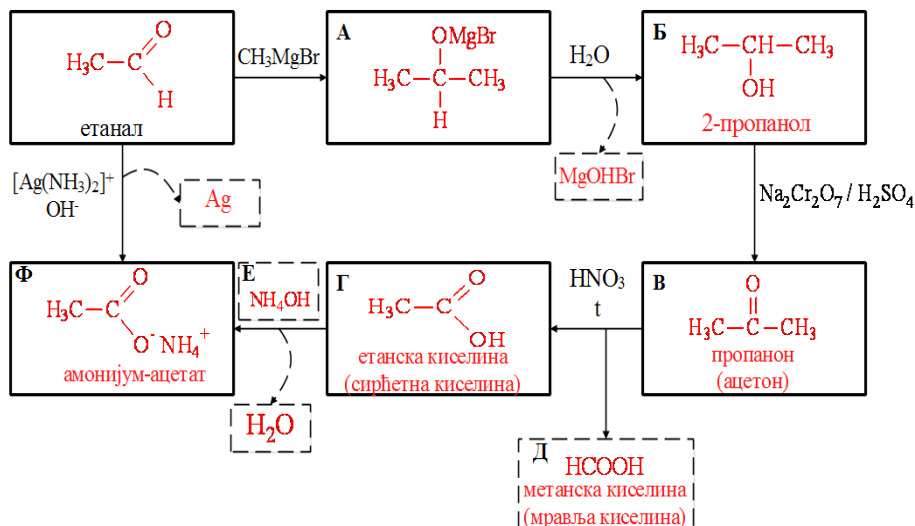
г. пропанон



изузетно лако	веома лако	лако	ни тешко ни лако	тешко	веома тешко	изузетно тешко

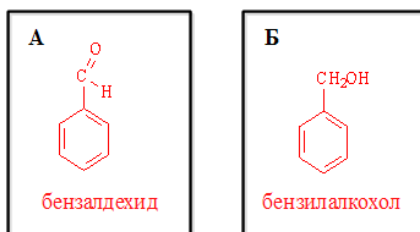
7. Написати назив и формулу једињења које се добија у реакцији етанала са Грињаревим реагенсом (поље А међупроизвод и поље Б главни производ), а након тога у пољу В приказати оксидациони производ једињења из поља Б. Једињење из поља В даје два производа (поља Г и Д) у реакцији са врелом азотном киселином, а једињење из поља Г у реакцији са непознатим реагенсом (поље Е), даје крајње једињење у пољу Ф, које се такође може добити и у реакцији полазног једињења (етанала) са Толенсовим реагенсом.

*Напомена:* У поља са пуним линијама уписати главне производе, а у поља са испрекиданним линијама уписати споредне производе. Поред сваког једињења уписати и његов назив.



изузетно лако	веома лако	лако	ни тешко ни лако	тешко	веома тешко	изузетно тешко

8. Непознато једињење А поседује молекулску формулу  $C_7H_6O$  и представља дериват бензена. Лако редукује  $Ag^+$ , а настаје оксидацијом непознатог једињења Б, које представља примарни алкохол. Написати структурне формуле и називе непознатих једињења А и Б.



изузетно лако	веома лако	лако	ни тешко ни лако	тешко	веома тешко	изузетно тешко

9. I Заокружити слово испред назива једињења које најлакше реагује са амонијаком.

а. пропанон (ацетон)

б. етанал (ацеталдехид)

в. 3,3-диметил-2-бутанон (метил-терц-бутил-кетон)

II Образложити свој одговор:

Алдехиди су реактивнији од кетона, па самим тим етанал (алдехид) лакше ступа у реакцију нуклеофилне адиције са амонијаком од одговарајућих кетона (пропанон и 3,3-диметил-2-бутанон). Разлог томе јесте то што алдехиди имају везан водоников атом за карбонилну групу, док кетони имају везане волуминозније алкил или арил групе које отежавају прилаз нуклеофилног реагенса.

изузетно лако	веома лако	лако	ни тешко ни лако	тешко	веома тешко	изузетно тешко

## 7.8. Тест 4: Карбоксилне киселине и деривати карбоксилних киселина

**Тест из карбоксилних киселина и њихових деривата**

Име и презиме: \_\_\_\_\_

Разред и одељење: \_\_\_\_\_

Оцена из хемије на крају I разреда: \_\_\_\_\_

Оцена из хемије на крају II разреда: \_\_\_\_\_

Оцена на полугодишту III разреда: \_\_\_\_\_

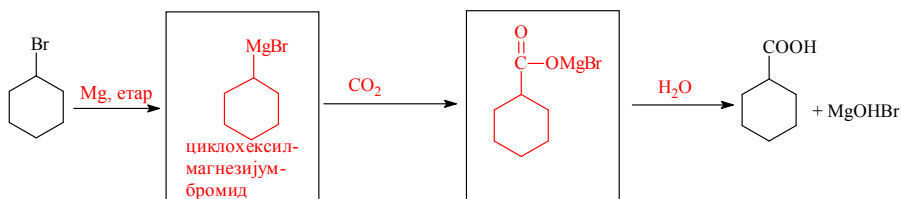
Остварен број бодова на тесту: \_\_\_\_\_

1. Спојити стрелицама формуле киселина, које се налазе на левој страни, са одговарајућим рКа вредностима (негативни логаритам киселинске константе,  $pK_a = -\log K_a$ ), које се налазе на десној страни:



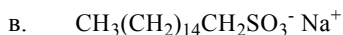
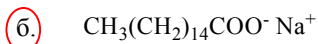
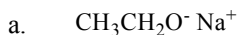
изузетно лако	веома лако	лако	ни тешко ни лако	тешко	веома тешко	изузетно тешко

2. Написати синтезу циклохексанске киселине полазећи од бромциклохексана, попуњавајући празне квадратиће са производима реакција. На стрелице написати реагенсе и услове реакција.



изузетно лако	веома лако	лако	ни тешко ни лако	тешко	веома тешко	изузетно тешко

3. I Заокружити слово испред рационалне формуле сапуна:



II На линију написати назив датог сапуна по IUPAC-номенклатури:

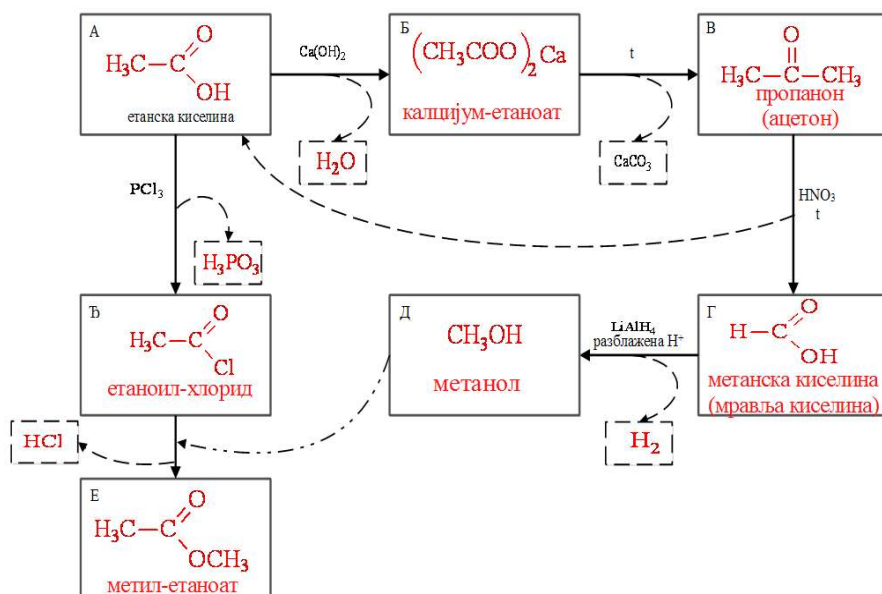
**натријум-хексадеканоат (натријум-палмитат)**

изузетно лако	веома лако	лако	ни тешко ни лако	тешко	веома тешко	изузетно тешко

4. У поља А написати структуру етанске киселине, а након тога у поља Б написати структуру и назив производа који настаје у реакцији између етанске киселине и калцијум-хидроксида. Једињење из поља Б подлеже термичком разлагању дајући једињење В. Једињење из поља В се оксидује врелом азотном киселином, дајући два производа: етанску киселину и једињење из поља Г. Једињење из поља Г се редукује са литијум-алуминијум-хидридом, дајући једињење Д, које затим реагује са једињењем из поља Ђ дајући крајњи производ Е (једињење из поља Ђ добија се у реакцији између етанске киселине и фосфор(III)-хлорида).

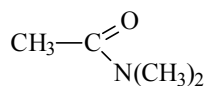
*Напомена:* У поља са пуним линијама уписати главне производе, а у поља са испрекиданим линијама уписати споредне производе. Поред сваког једињења уписати и његов назив.





изузетно лако	веома лако	лако	ни тешко ни лако	тешко	веома тешко	изузетно тешко

5. Заокружити слово испред формуле једињења које реагује са етаноил-хлоридом, у реакцији добијања N,N-диметилетанамид (структура је приказана на слици испод текста задатка).

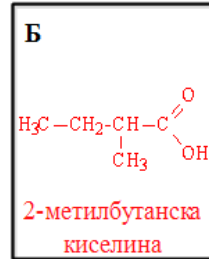
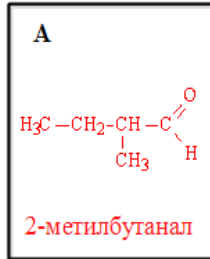


N,N-диметилетанамид

- а)  $\text{CH}_3\text{CONH}_2$   
 б)  $\text{CH}_3\text{CONHCH}_3$   
 в)  $\text{NH}(\text{CH}_3)_2$   
 г)  $\text{NH}_2\text{CH}_3$

изузетно лако	веома лако	лако	ни тешко ни лако	тешко	веома тешко	изузетно тешко

6. По завршетку реакције алифатичног једињења А, молекулске формуле  $C_5H_{10}O$ , са киселим раствором калијум-дихромата, боја раствора постаје зелена. Добијена супстанца Б реагује са натријум-хидрогенкарбонатом, при чему се као један од производа реакције издваја гас који не потпомаже горење (гаси упаљено дрвце). Написати структурне формуле и називе за супстанце А и Б, ако обе садрже по један хиралан центар у својој структури.



изузетно лако	веома лако	лако	ни тешко ни лако	тешко	веома тешко	изузетно тешко

7. Хлорид киселине добија се полазећи од одговарајуће карбоксилне киселине, у реакцији са фосфор(III)-хлоридом. Наведена реакција припада следећем типу хемијске реакције:

- а) адиција
- б) елиминација
- в) супституција**
- г) дисоцијација

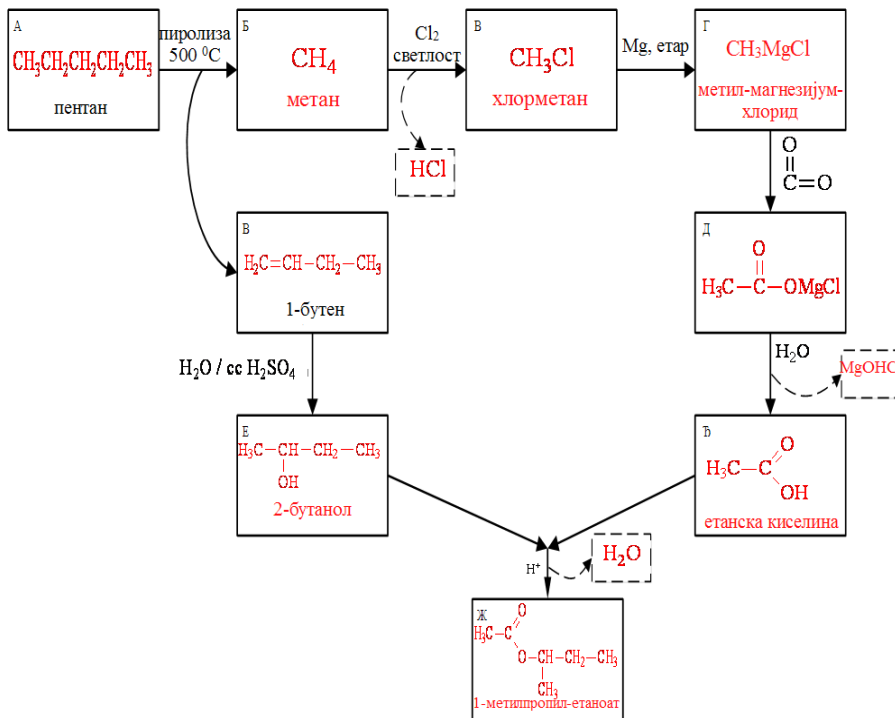
Заокружити слово испред тачног одговора.

изузетно лако	веома лако	лако	ни тешко ни лако	тешко	веома тешко	изузетно тешко

8. У поље А уписати структуру пентана, а након тога у поља Б и В уписати структуре и називе једињења која се добијају у току пиролизе пентана (ако је један од производа 1-бутен, у поље Б написати структуру и назив другог производа пиролизе). Једињење из поља Б реагује са хлором у присуству светлости дајући једињење В. Једињење из поља Г добија се полазећи од једињења из поља В у реакцији са магнезијумом у присуству етра. Једињење из поља Г реагује са угљеник(IV)-оксидом, дајући једињење Ђ као крајњи производ (у поље Д написати структуру међупроизвода).

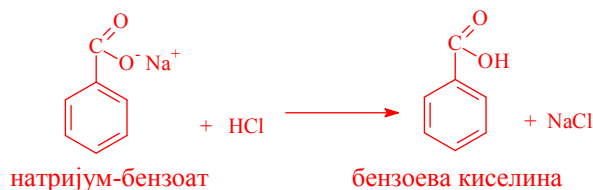
Једињење из поља В реагује са водом у присуству концентроване сумпорне киселине дајући једињење Е, које реагује са једињењем из поља Ђ у киселој средини, при чему се добија крајњи производ Ж.

*Напомена:* У поља са пуним линијама уписати главне производе, а у поља са испрекиданим линијама уписати споредне производе. Поред сваког једињења уписати и његов назив.



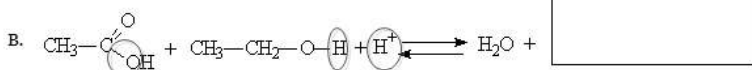
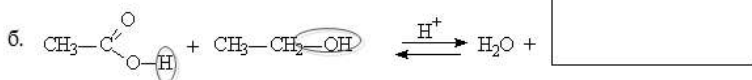
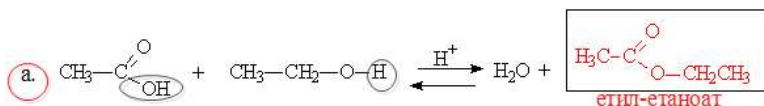
изузетно лако	веома лако	лако	ни тешко ни лако	тешко	веома тешко	изузетно тешко

9. Бензоева киселина се може припремити полазећи од њене соли, натријум-бензоата, према следећој једначини хемијске реакције:



изузетно лако	веома лако	лако	ни тешко ни лако	тешко	веома тешко	изузетно тешко

10. Полазећи од етанола и етанске киселине у киселој средини, добија се одговарајући естар, а као споредни производ ове реакције издваја се молекул воде. Заокружити слово испред једначине реакције естерификације, у којој је на прави начин приказано издвајање молекула воде из етанола и етанске киселине. Након тога, завршити започету једначину уписивањем производа у празно поље.



изузетно лако	веома лако	лако	ни тешко ни лако	тешко	веома тешко	изузетно тешко

## 7.9. Тест 5: Финални тест (Кисеонична органска једињења)

*Тест из кисеоничних органских једињења*

Име и презиме: \_\_\_\_\_

Разред и одељење: \_\_\_\_\_

Оцена из хемије на крају I разреда: \_\_\_\_\_

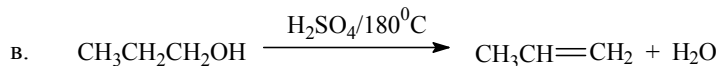
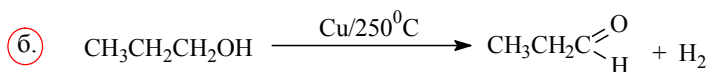
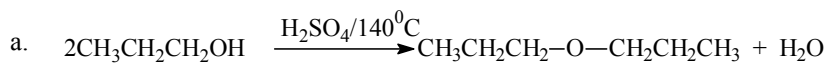
Оцена из хемије на крају II разреда: \_\_\_\_\_

Оцена на полугодишту III разреда: \_\_\_\_\_

Остварен број бодова на тесту: \_\_\_\_\_

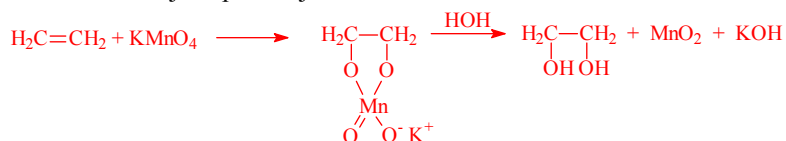
**Тест А**

1. Заокружити слово испред једначине хемијске реакције која НЕ приказује процес дехидратације пропанола.



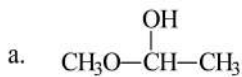
изузетно лако	веома лако	лако	ни тешко ни лако	тешко	веома тешко	изузетно тешко

2. Које органско једињење се добија оксидацијом етена калијум-перманганатом, или кисеоником у присуству сребра? Образложити одговор једанчином хемијске реакције.

**1,2-етандиол**

изузетно лако	веома лако	лако	ни тешко ни лако	тешко	веома тешко	изузетно тешко

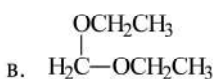
3. На црту, испод наведених структурних формула, написати да ли припадају класи ацетала, хемиацетала, кетала, хемикетала.



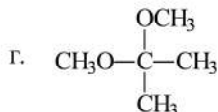
хемиацетал



хемикетал



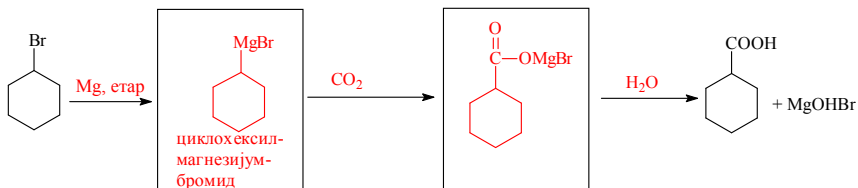
ацетал



кетал

изузетно лако	веома лако	лако	ни тешко ни лако	тешко	веома тешко	изузетно тешко

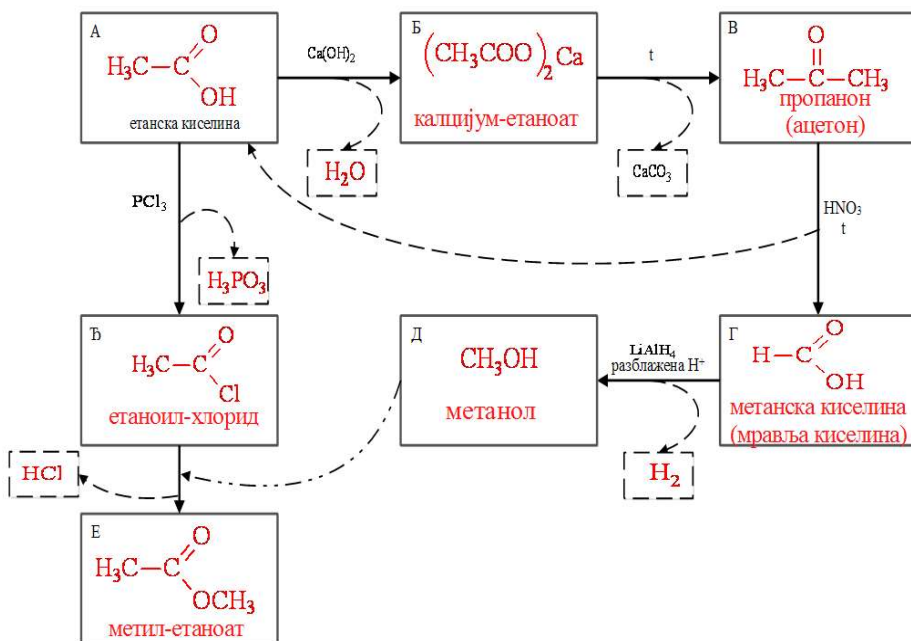
4. Написати синтезу циклохексанске киселине полазећи од бромциклохексана, попуњавајући празне квадратиће са производима реакција. На стрелице написати реагенсе и услове реакција.



изузетно лако	веома лако	лако	ни тешко ни лако	тешко	веома тешко	изузетно тешко

5. У поља А написати структуру етанске киселине, а након тога у поља Б написати структуру и назив производа који настаје у реакцији између етанске киселине и калцијум-хидроксида. Једињење из поља Б подлеже термичком разлагању дајући једињење В. Једињење из поља В се оксидује врелом азотном киселином, дајући два производа: етанску киселину и једињење из поља Г. Једињење из поља Г се редукује са литијум-алуминијум-хидридом, дајући једињење Д, које затим реагује са једињењем из поља Б дајући крајњи производ Е (једињење из поља Б добија се у реакцији између етанске киселине и фосфор(III)-хлорида).

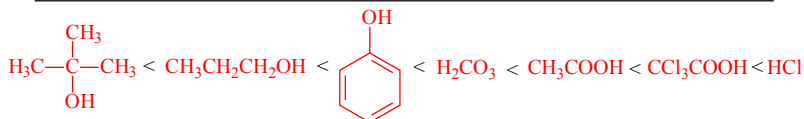
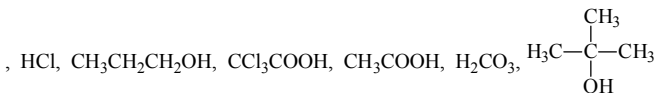
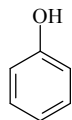
Напомена: У поља са пуним линијама уписати главне производе, а у поља са испрекиданим линијама уписати споредне производе. Поред сваког једињења уписати и његов назив.



изузетно лако	веома лако	лако	ни тешко ни лако	тешко	веома тешко	изузетно тешко

Тест Б

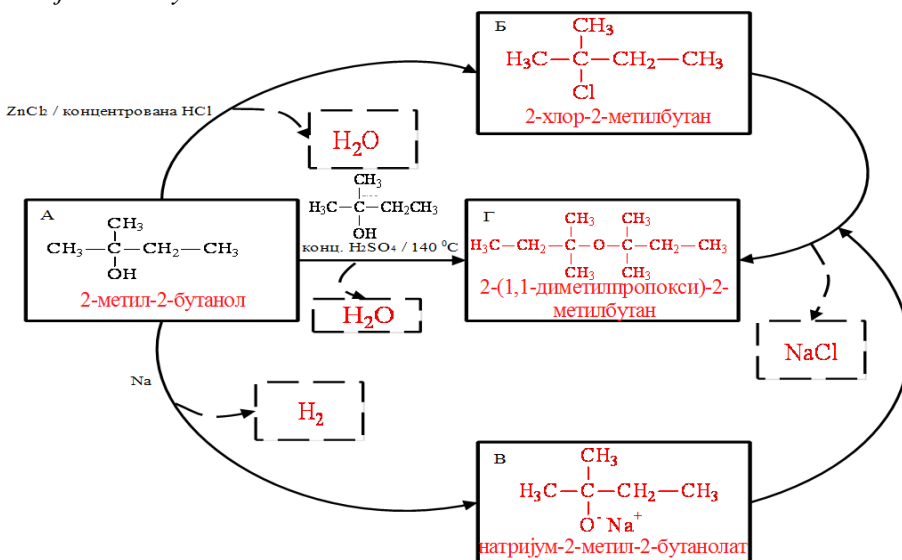
1. Следећа једињења поређати по редоследу пораста киселости.



изузетно лако	веома лако	лако	ни тешко ни лако	тешко	веома тешко	изузетно тешко

2. У поље А написати назив датог једињења, а након тога приказати производе реакције тог једињења са Лукасовим реагенсом (поље Б) и натријумом (поље В). Након тога, у поље Г написати структуру и назив једињења које се добија реакцијом између једињења из поља Б и једињења из поља В. Једињење из поља А се такође може превести у крајњи производ (поље Г) при одређеним реакционим условима, који су наведени на стрелици.

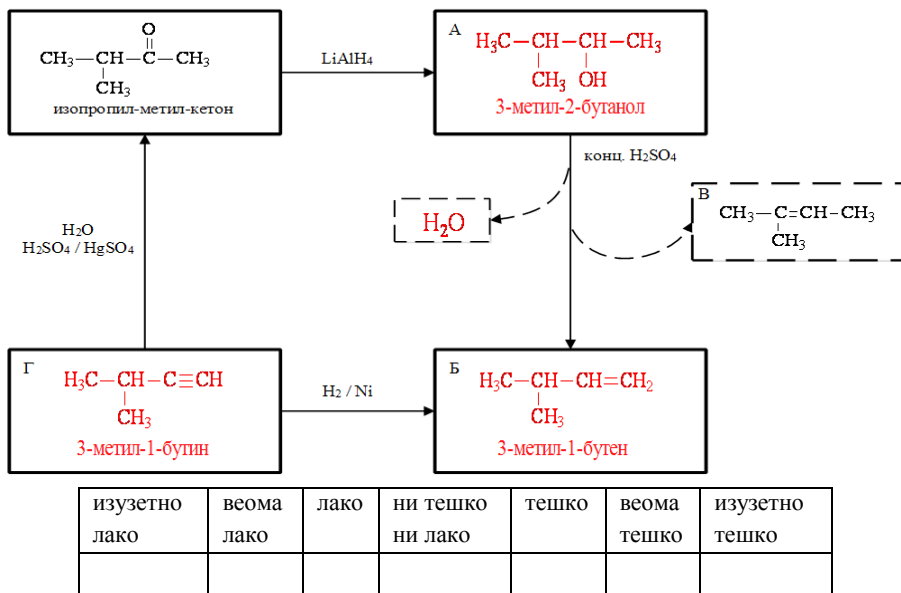
*Напомена:* У поља са пуним линијама уписати главне производе, а у поља са испрекиданим линијама уписати споредне производе. Поред сваког једињења уписати и његов назив.



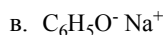
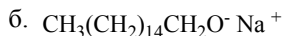
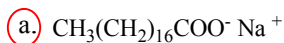
изузетно лако	веома лако	лако	ни тешко ни лако	тешко	веома тешко	изузетно тешко



3. У поље А написати структуру и назив једињења које се добија редукцијом изопропил-метил-кетона, а након тога у поље Б уписати назив и структуру једињења које се добија из једињења А у присуству концентроване сумпорне киселине (структура једног од производа ове реакције наведена је у пољу В). Једињење Б се добија полазећи од једињења из поља Г у реакцији са молекулом водоника у присуству никла. Једињење из поља Г адицијом воде у присуству сумпорне киселине и жива(II)-сулфата прелази у полазну супстанцу (изопропил-метил-кетон).



4. I Заокружити слово испред рационалне формуле сапуна:



- II На линију написати назив датог сапуна по IUPAC-номенклатури:  
натријум-октадеканоат (натријум-стеарат)
- 

- III Дефинисати појам сапуна:

Сапуни су алкалне соли виших масних киселина.

---

изузетно лако	веома лако	лако	ни тешко ни лако	тешко	веома тешко	изузетно тешко

## Прилог 7.10. Приказ додатних табела

Табела 38. Резултати тестова нормалности расподеле података за постигнуће ученика у изоморфним и аналогним ЛЗ

Зависна варијабла	Подгрупа	СКА	СКС	Shapiro-Wilk-ов тест	
				F	p
Постигнуће у ЛИЗ	Е група мушки пол	-1.82	0.76	0.931	0.092
	Е група женски пол	-0.31	-1.26	0.902	0.054
	К група мушки пол	0.93	-0.05	0.946	0.268
	К група женски пол	1.13	0.23	0.956	0.495
Постигнуће у ЛАЗ	Е група мушки пол	0.46	-0.27	0.978	0.838
	Е група женски пол	-1.65	0.87	0.895	0.059
	К група мушки пол	1.98	0.03	0.843	0.003*
	К група женски пол	1.45	0.43	0.893	0.057

- $p < 0.05$ ; ЛИЗ: линеарни изоморфни задаци, ЛАЗ: линеарни аналогни задаци, СКА: стандардизовани коефицијент асиметрије, СКС: стандардизовани коефицијент спљоштености

Табела 39. Резултати тестова нормалности расподеле података за постигнуће ученика у изоморфним и аналогним СЗ

Зависна варијабла	Подгрупа	СКА	СКС	Shapiro-Wilk-ов тест	
				F	p
Постигнуће у СИЗ	Е група мушки пол	-0.55	-1.48	0.895	0.014*
	Е група женски пол	-1.37	-0.54	0.857	0.009*
	К група мушки пол	2.71	0.57	0.703	0.000*
	К група женски пол	2.18	0.06	0.749	0.000*
Постигнуће у САЗ	Е група мушки пол	0.36	-1.07	0.944	0.183
	Е група женски пол	0.24	-1.44	0.873	0.016*
	К група мушки пол	4.29	4.20	0.601	0.000*
	К група женски пол	2.71	1.28	0.735	0.000*

- $p < 0.05$ ; СИЗ: системички изоморфни задаци, САЗ: системички аналогни задаци, СКА: стандардизовани коефицијент асиметрије, СКС: стандардизовани коефицијент спљоштености

**Табела 40.** Резултати тестова нормалности расподеле података за ментални напор ученика у изоморфним и аналогним ЛЗ

Зависна варијабла	Подгрупа	СКА	СКС	Shapiro-Wilk-ов тест	
				F	p
Ментални напор у ЛИЗ	Е група мушки пол	-1.46	1.04	0.890	0.011*
	Е група женски пол	-0.99	0.95	0.966	0.699
	К група мушки пол	-0.56	-0.07	0.954	0.371
	К група женски пол	-0.22	0.28	0.954	0.453
Ментални напор у ЛАЗ	Е група мушки пол	0.17	-0.77	0.933	0.102
	Е група женски пол	-0.04	-0.25	0.956	0.490
	К група мушки пол	-0.57	-1.15	0.911	0.050
	К група женски пол	-1.25	0.01	0.899	0.057

- $p < 0.05$ ; ЛИЗ: линеарни изоморфни задаци, ЛАЗ: линеарни аналогни задаци, СКА: стандардизовани коефицијент асиметрије, СКС: стандардизовани коефицијент спљоштености

**Табела 41.** Резултати тестова нормалности расподеле података за ментални напор ученика у изоморфним и аналогним СЗ

Зависна варијабла	Подгрупа	СКА	СКС	Shapiro-Wilk-ов тест	
				F	p
Ментални напор у СИЗ	Е група мушки пол	0.33	-0.71	0.914	0.057
	Е група женски пол	-0.39	-0.08	0.927	0.151
	К група мушки пол	-4.51	5.44	0.579	0.000*
	К група женски пол	-1.87	-0.26	0.736	0.000*
Ментални напор у САЗ	Е група мушки пол	0.14	-0.96	0.930	0.087
	Е група женски пол	0.62	-0.51	0.954	0.456
	К група мушки пол	-3.92	2.82	0.529	0.000*
	К група женски пол	-1.50	1.62	0.771	0.000*

- $p < 0.05$ ; СИЗ: системички изоморфни задаци, САЗ: системички аналогни задаци, СКА: стандардизовани коефицијент асиметрије, СКС: стандардизовани коефицијент спљоштености

Табела 42. Корелациони матрикс за задатке финалног теста знања

Редни број задатка	З <sub>1</sub>	З <sub>2</sub>	З <sub>3</sub>	З <sub>4</sub>	З <sub>5</sub>	З <sub>6</sub>	З <sub>7</sub>	З <sub>8</sub>	З <sub>9</sub>	З <sub>10</sub>	З <sub>11</sub>
З <sub>1</sub>	/	r=0.13	r=0.17	r=0.18	r=0.17	r=0.23*	r=0.10	r=0.15	r=0.28*	r=0.16	r=0.10
З <sub>2</sub>	r=0.13	/	r=0.39*	r=0.54*	r=0.63*	r=0.38*	r=0.44*	r=0.54*	r=-0.01	r=0.24*	r=0.46*
З <sub>3</sub>	r=0.17	r=0.39*	/	r=0.42*	r=0.49*	r=0.66*	r=0.35*	r=0.40*	r=0.29*	r=0.39*	r=0.44*
З <sub>4</sub>	r=0.18	r=0.54*	r=0.42*	/	r=0.80*	r=0.54*	r=0.64*	r=0.61*	r=0.26*	r=0.50*	r=0.44*
З <sub>5</sub>	r=0.17	r=0.63*	r=0.49*	r=0.80*	/	r=0.60*	r=0.68*	r=0.68*	r=0.17	r=0.44*	r=0.64*
З <sub>6</sub>	r=0.23*	r=0.38*	r=0.66*	r=0.54*	r=0.60*	/	r=0.48*	r=0.46*	r=0.32*	r=0.45*	r=0.40*
З <sub>7</sub>	r=0.10	r=0.44*	r=0.35*	r=0.64*	r=0.68*	r=0.48*	/	r=0.73*	r=0.33*	r=0.44*	r=0.55*
З <sub>8</sub>	r=0.15	r=0.54*	r=0.40*	r=0.60*	r=0.68*	r=0.46*	r=0.73*	/	r=0.26*	r=0.32*	r=0.57*
З <sub>9</sub>	r=0.28*	r=-0.01	r=0.29*	r=0.26*	r=0.17	r=0.32*	r=0.33*	r=0.26*	/	r=0.45*	r=0.13
З <sub>10</sub>	r=0.16	r=0.24*	r=0.39*	r=0.50*	r=0.44*	r=0.45*	r=0.44*	r=0.32*	r=0.45*	/	r=0.18
З <sub>11</sub>	r=0.10	r=0.46*	r=0.30*	r=0.44*	r=0.64*	r=0.40*	r=0.55*	r=0.57*	r=0.13	r=0.18	/

\*p&lt;0.0

## 8. БИОГРАФИЈА



Тамара Хрин је рођена 16.03.1987. године у Врбасу. Основну школу и гимназију „Петро Кузмјак” завршила је у Руском Крстуру. Школске 2006/2007. године уписала је основне академске студије хемије – смер професор хемије, на Природно-математичком факултету у Новом Саду. Дипломирала је 2010. године са просечном оценом 9.78. Исте године је уписала мастер академске студије хемије (модул: професор хемије), које завршава 2011. године са просечном оценом 9.78. Докторске академске студије Методике наставе хемије уписала је школске 2011/2012. године на истом факултету. Положила је све испите предвиђене планом и програмом докторских студија са оценом 10.00.

У периоду мај-јун 2011. године радила је као наставник хемије у основној школи „Петефи Бригада” у Кули. Од марта 2012. до фебруара 2015. године укључена је на пројекат под називом „Инфраструктура за електронски подржано учење у Србији”, као стипендиста Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије. Од марта 2015. године запослена је на Природно-математичком факултету у Новом Саду као асистент за ужу научну област Методике наставе хемије, и ангажована на реализацији пројекта под називом „Квалитет образовног система Србије у Европској перспективи”, Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије.

Од октобра 2011. године ангажована је на Катедри за Методику наставе хемије за извођење вежби из предмета Методика наставе хемије II, Школска пракса I и Школска пракса II. У научно-истраживачком раду бави се онтолошким репрезентацијама знања, системичким приступом у настави хемије и теоријом когнитивног оптерећења. Коаутор је 10 научних радова, од којих су 5 објављена у међународним часописима са SCI и SSCI листе, као и 13 саопштења на међународним и домаћим научним скуповима.

Члан је Српског хемијског друштва и друштва предметних дидактичара Србије. Добитник је Годишње награде Српског хемијског друштва за изузетан успех у току студија за 2011. годину.



**УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ**  
**ПРИРОДНО-МАТЕМАТИЧКИ ФАКУЛТЕТ**  
**КЉУЧНА ДОКУМЕНТАЦИЈСКА ИНФОРМАЦИЈА**

<b>Редни број:</b> РБР	
<b>Идентификациони број:</b> ИБР	
<b>Тип документације:</b> ТД	Монографска документација
<b>Тип записа:</b> ТЗ	Текстуални штампани материјал
<b>Врста рада</b> (дипл., маг., докт.): ВР	Докторска дисертација
<b>Име и презиме аутора:</b> АУ	Тамара Н. Хрин
<b>Ментор</b> (титула, име, презиме, звање): МН	др Мирјана Сегедицац, редовни професор
<b>Наслов рада:</b> НР	Ефикасност примене системичког приступа у средњошколској настави органске хемије
<b>Језик публикације:</b> ЈП	Српски (ћирилица)
<b>Језик извода:</b> ЈИ	Српски (ћирилица) и енглески
<b>Земља публикавања:</b> ЗП	Република Србија
<b>Уже географско подручје:</b> УП	Војводина
<b>Година:</b> ГО	2015.
<b>Издавач:</b> ИЗ	Ауторски репринт

<b>Место и адреса:</b> МА	Нови Сад, Трг Доситеја Обрадовића 3
<b>Физички опис рада:</b> ФО	Број поглавља: 8/ број страница: 222/ број табела: 42/ број слика: 45/ број референци: 178/ број прилога: 10
<b>Научна област:</b> НО	Хемија
<b>Научна дисциплина:</b> НД	Методика наставе хемије
<b>Предметна одредница, кључне речи:</b> ПО	Системички приступ учењу и настави хемије, системички задаци, инструкциони метод, евалуација знања, смислено учење и разумевање, системско мишљење
<b>УДК</b>	
<b>Чува се:</b> чу	Библиотека Департмана за хемију, биохемију и заштиту животне средине, Трг Доситеја Обрадовића 3, Нови Сад
<b>Важна напомена:</b> ВН	-
<b>Извод:</b> ИЗ	<p>Многе студије посвећене настави и учењу органске хемије истичу чињеницу да ученици средњошколског узраста показују значајне тешкоће током савладавања концепата из овог домена. На основу тога, циљ овог истраживања био је да се помогне ученицима у превазилажењу тих тешкоћа, применом системичких задатака (СЗ) као инструкционог метода.</p> <p>У истраживању су учествовали ученици III разреда гимназије „Јован Јовановић Змај” из Новог Сада, а истраживање је спроведено током школске 2012/13. године. За потребе истраживања конструисани су тестови знања који су садржали два основна типа задатака: конвенционалне, линеарне задатке (ЛЗ) и системичке задатке (СЗ). Поред тестова знања примењена је и седмостепена Ликертова скала за самопроцену</p>



	<p>уложеног менталног напора.</p> <p>Резултати истраживања су показали да ученици обучавани системичким приступом (експериментална група), остварују боља постигнућа на финалном тесту знања (како у ЛЗ, тако и у СЗ) од ученика контролне групе, који су обучавани применом традиционалног приступа. Виша постигнућа ученика експерименталне групе праћена су нижим нивоима уложеног менталног напора, у односу на ученике контролне групе.</p> <p>Испитана веза између постигнућа и менталног напора резултовала је високом релативном ефикасношћу за инструкциони метод заснован на примени СЗ, и ниском релативном ефикасношћу за традиционални приступ. При томе је установљено да је инструкциони метод примењен у експерименталној групи више погодан за испитанике женског пола, него за испитанике мушког пола. Са друге стране, традиционална настава је била једнако неповољна за испитанике оба пола.</p> <p>Надаље, након примене експлораторне факторске анализе, СЗ су окарактерисани као валидни и релијабилни алати за процену ученичког смисленог разумевања. Поред СЗ, конвенционални есејски задаци, као и задаци допуњавања са више од два захтева такође су се показали ефикасним за процену ученичког смисленог разумевања.</p> <p>На крају овог истраживања, СЗ су окарактерисани као алати који ефикасно процењују нивое ученичког системског мишљења. У овом делу истраживања је потврђено да су управо испитаници женског пола у оквиру експерименталне групе достигли највиши очекивани ниво системског мишљења – ниво комплексног повезивања концепата у домену органске хемије.</p>
--	---

<b>Датум прихватања теме од стране Сената:</b> ДП	29.05.2014.
<b>Датум одбране:</b> ДО	2015. година
<b>Чланови комисије:</b> <b>(име и презиме / титула / звање / назив организације / статус)</b> КО	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Др Катарина Пенев Гаши, редовни професор, Природно-математички факултет, Универзитет у Новом Саду, председник;</li> <li>2. Др Мирјана Сегедицац, редовни професор, Природно-математички факултет, Универзитет у Новом Саду, ментор;</li> <li>3. Др Јасна Адамов, ванредни професор, Природно-математички факултет, Универзитет у Новом Саду, члан;</li> <li>4. Др Снежана Бабић-Кекез, доцент, Природно-математички факултет, Универзитет у Новом Саду, члан;</li> <li>5. Др Оливера Гајић, редовни професор, Филозофски факултет, Универзитет у Новом Саду, члан.</li> </ol>

**UNIVERSITY OF NOVI SAD  
FACULTY OF SCIENCES  
KEY WORDS DOCUMENTATION**

<b>Accession number:</b> ANO	
<b>Identification number:</b> INO	
<b>Document type:</b> DT	Monography document
<b>Type of record:</b> TR	Textual printed material
<b>Contents code:</b> CC	
<b>Author:</b> AU	Tamara N. Hrin
<b>Mentor:</b> MN	Mirjana Segedinac, full professor, Faculty of Sciences, University of Novi Sad
<b>Title:</b> TI	Efficiency of systemic approach in secondary organic chemistry teaching
<b>Language of text:</b> LT	Serbian (Cyrillic)
<b>Language of abstract:</b> LA	Serbian (Cyrillic) and English
<b>Country of publication:</b> CP	Republic of Serbia
<b>Locality of publication:</b> LP	Vojvodina
<b>Publication year:</b> PY	2015.
<b>Publisher:</b> PU	Author's reprint
<b>Publication place:</b> PP	Novi Sad, Trg Dositeja Obradovića 3

<b>Physical description:</b> PD	Chapters: 8/ pages: 222/ references: 178/ tables: 42/ figures: 45/appendixes: 10
<b>Scientific field</b> SF	Chemistry
<b>Scientific discipline</b> SD	Methods of teaching chemistry
<b>Subject, Key words</b> SKW	Systemic approach in teaching and learning chemistry, systemic questions, instructional method, knowledge evaluation, meaningful learning and understanding, systems thinking
UC	
<b>Holding data:</b> HD	Library of the Department of Chemistry, Biochemistry and Environmental Protection, Trg Dositeja Obradovića 3, Novi Sad
<b>Note:</b> N	-
<b>Abstract:</b> AB	<p>Many studies dedicated to the teaching and learning of organic chemistry courses have emphasized that high school students have shown significant difficulties in mastering the concepts of this discipline. Therefore, the aim of our study was to help students to overcome these difficulties by applying systemic questions (SQs) as the instructional method.</p> <p>This study included third grade students from one high school („Jovan Jovanović Zmaj”) in Novi Sad, Serbia. The experiment was conducted during the 2012/13. school year. For the purpose of this research, knowledge tests with conventional, linear questions (LQs) and systemic questions (SQs) were constructed. In addition to knowledge tests, the seven-point Likert scale for measuring of mental effort was applied.</p> <p>This work shows that students from the group exposed to the new teaching method (application of SQs) achieved higher scores on final testing than students from the control group, who were taught by the traditional method, when students' achievements in LQs and in SQs, were studied. These results were followed by observation of lower levels of mental effort by students from the</p>

	<p>experimental group, and higher levels of mental effort in the control group, invested during solving both types of questions.</p> <p>This correlation between achievement and mental effort resulted in high instructional efficiency for the applied method in the experimental group, and low instructional efficiency for the traditional teaching and learning method applied in the control group. In addition it was found that the application of SQs was more suited to female students than for male students in experimental group, while traditional method was less effective for both genders in control group.</p> <p>Furthermore, after conducting an exploratory factor analysis on the obtained data, SQs were characterized as valid and reliable tools for assessing students' meaningful understanding. Apart from this, essay questions and completion type of questions with three or more requests were found to be useful in assessing students' meaningful understanding.</p> <p>At the end of this study, SQs were characterized as effective tools for assessing different levels of students' systems thinking. These results emphasized the fact that female students from experimental group reached the highest expected level of systems thinking – level of complex connection of concepts from organic chemistry domain.</p>
<p><b>Accepted on Senate on:</b> AS</p>	<p>29.05.2014.</p>
<p><b>Defended:</b> DE</p>	<p>2015.</p>
<p><b>Thesis Defend Board:</b> DB</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Dr. Katarina Penov Gaši, full professor, Faculty of Sciences, University of Novi Sad, president;</li> <li>2. Dr. Mirjana Segedinac, full professor, Faculty of Sciences, University of Novi Sad, mentor;</li> <li>3. Dr. Jasna Adamov, associate professor, Faculty of Sciences, University of Novi Sad, member;</li> </ol>

	<ol style="list-style-type: none"><li data-bbox="552 215 1060 306">4. Dr. Snežana Babić-Kekez, assistant professor, Faculty of Sciences, University of Novi Sad, member;</li><li data-bbox="552 316 1060 407">5. Dr. Olivera Gajić, full professor, Faculty of Philosophy, University of Novi Sad, member;</li></ol>
--	--