



Универзитет у Новом Саду
Природно-математички факултет
Департман за хемију, биохемију и заштиту
животне средине



Хорват Саша

Развој методе за процену комплексности стехиометријских проблема

- докторска дисертација -

Нови Сад, 2018

ПРЕДГОВОР

Докторска дисертација под називом „Развој методе за процену комплексности стехиометријских проблема“ 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 доц. др Душице Родић. Истраживање је спроведено у оквиру пројекта „Инфраструктура за електронски подржано учење у Србији“, Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије.

Основни циљ овог истраживања је да се развије Метода за процену когнитивне комплексности стехиометријских задатака. Дисертацију чини пет главних поглавља: (1) Увод, (2) Теоријски оквир истраживања, (3) Методологија истраживања, (4) Резултати и дискусија, (5) Закључак.

Уводна разматрања дефинишу ученичке тешкоће током решавања стехиометријских проблемских задатака. При томе су истакнути правци актуелних студија које разматрају наведени проблем, уз образложење потреба за овим истраживањем.

У теоријском делу рада разматра се зашто је хемија тежак предмет ученицима, као и шта је ученицима тешко из перспективе наставника. Теоријски је разматрано шта је ученицима тешко у стехиометрији, стратегије решавања и комплексност стехиометријских проблема. Теоријски део се завршава теоријом простора знања, са нагласком на истраживања у стехиометрији применом ове теорије.

Методологија рада почиње истицањем проблема, предмета и циља истраживања, из којих се дефинишу задаци истраживања. Након приказа узорка, и метода истраживања, дат је детаљан опис инструмента истраживања и његова валидација. Уз приказ резултата истраживања истакнути су одабрани статистички поступци, који су у складу дизајном истраживања. Дискусија је заснована на детаљном опису развијене Методе, прикупљених и анализираних резултата, уз анализу корелације са резултатима досадашњих истраживања.

Последња целина обухвата закључна разматрања, уз назначене предности и евентуалне недостатке спроведеног истраживања, уз импликације за даља истраживања.

Прве редове најискреније захвалности посвећујем свом ментору доц. др Душици Родић, и проф. др Мирјани Сегединац. Неизмерно хвала на указаном поверењу, разумевању, поклоњеном времену, отворености за преношење знања, огромном стрпљењу и посвећености мом раду, посебно током писања и пажљивог читања ове дисертације. Ценим сва несебична залагања, свакодневну подршку, сваки искрен и добронамеран како стручни, тако и пријатељски савет дат када ми је био најпотребнији, а нарочито све оне незаборавне и драге ситнице које су нашу сарадњу чиниле лепшом. Не постоји добар инструмент којим се може измерити захвалност према вама.

Захваљујем се члановима комисије доц. др Тамари Рончевић и доц. др Горану Савићу на подршци коју су ми пружали интересујући се за мој рад.

Велики допринос у изради ове дисертације је дао доц. др Милан Сегединац статистичком обрадом дела резултата, несебичним стручним саветима и тумачењем резултата током писања ове дисертације.

Хвала Нади Попсавин на огромном стрпљењу приликом обраде слика и огромној позитивној енергији.

Такође се захваљујем ученицима и професорима Средње школе „Др Андра Јовановић“ из Шапца који су омогућили тестовско испитивање у оквиру експерименталног дела ове докторске дисертације.

Мом директору, проф. др Божи Далмацији, хвала на указаном поверењу, пријатној радној атмосфери и подршци.

Велико хвала члановима Катедре за Методику наставе хемије, мојим дивним колегама проф. др Јасни Адамов, проф. др. Снежани Бабић Кекез, проф. др Тибору Халашију, др Станислави Олић и Јелени Тутић на пријатној радној атмосфери, дружењу и подршци.

Сањи, Дини, Милени, Сузани, Наташи, Драгану и Страхињи велико хвала на колегијалности, годинама пријатељства, и што све ово време и посао чине пријатнијим.

Хвала породици Трифуновић - Миленку и Бранки, и породици Јовић - Кости, Невени и Елени. Хвала Вам што сте уз мене све ове године.

Бобо, хвала за сву љубав, пажњу, смех, разумевање, веру и подршку коју ми поклањаш из дана у дан. Хвала ти за све тренутке које си одвојила од нас, а дала их само мени за оне моменте када сам ти физички био близу а мислима далеко.

Милицы и Ивану, у име прошлости, Бојани у име будућности...

Саша Хорват

Садржај

| | |
|---|----|
| 1. УВОД..... | 1 |
| 2. ТЕОРИЈСКИ ОКВИР ИСТРАЖИВАЊА..... | 3 |
| 2.1. Зашто је хемија тежак предмет? | 3 |
| 2.1.1. Шта је ученицима тешко у хемији? | 3 |
| 2.1.2. Шта наставници сматрају да је тешко у хемији | 5 |
| 2.2. Зашто је тешка стехиометрија?..... | 6 |
| 2.3. Стехиометријски проблемски задаци | 11 |
| 2.3.1. Решавање стехиометријских проблемских задатака | 13 |
| 2.3.2. Стратегије решавања стехиометријских проблемских задатака..... | 15 |
| 2.4. Комплексност проблема у хемији | 17 |
| 2.4.1. Процена комплексности проблемских задатака..... | 18 |
| 2.4.1.1. Комплексност проблема одређена бројем корака..... | 21 |
| 2.4.1.2. Когнитивна комплексност проблема..... | 23 |
| 2.4.1.2.1. Субјективна когнитивна комплексност | 24 |
| 2.4.1.2.2. Објективна когнитивна комплексност | 26 |
| 2.4.1.3. Когнитивна комплексност проблемских задатака | 27 |
| 2.4.1.4 Рубрике за рејтинг когнитивне комплексности..... | 29 |
| 2.5. Теорија простора знања..... | 36 |
| 2.5.1. Методе за конструкцију простора знања | 40 |
| 2.5.2. Примена теорије простора знања у истраживањима у настави хемије..... | 43 |
| 2.5.3. Примена теорије простора знања у истраживању разумевања стехиометрије..... | 45 |
| 3. МЕТОДОЛОГИЈА ИСТРАЖИВАЊА..... | 47 |
| 3.1. Проблем истраживања | 47 |
| 3.2. Циљ и задаци истраживања | 48 |
| 3.3. Методе истраживања | 49 |
| 3.4. Узорак истраживања | 50 |
| 3.5. Инструмент истраживања..... | 51 |
| 3.5.1 Валидација теста..... | 52 |
| 3.5.2 Развој методе за процену когнитивне комплексности стехиометријских задатака..... | 56 |

| | |
|---|-----|
| 4. РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА | 59 |
| 4.1. Развој методе за процену когнитивне комплексности задатака | 59 |
| 4.1.1 Дизајн табеле за процену тежине концепата и интерактивности | 59 |
| 4.1.2. Процена нумеричког рејтинга когнитивне комплексности задатака | 62 |
| 4.2. Валидација методе за процену когнитивне комплексности применом линеарне регресије | 78 |
| 4.3. Валидација методе за процену когнитивне комплексности применом теорије простора знања | 81 |
| 4.3.1. Конструкција очекиваног простора знања | 82 |
| 4.3.2. Конструкција реалног простора знања | 86 |
| 4.3.4. Идентификација разлика у просторима знања | 89 |
| 4.3.5. Анализа разлика у просторима знања | 92 |
| 5. ЗАКЉУЧАК | 99 |
| 5.1. Значај истраживања | 101 |
| 5.2. Ограничења истраживања | 101 |
| 5.3. Импликације за даља истраживања | 102 |
| ЛИТЕРАТУРА | 103 |
| ПРИЛОЗИ | 119 |
| БИОГРАФИЈА | 135 |
| КЉУЧНА ДОКУМЕНТАЦИЈСКА ИНФОРМАЦИЈА | 137 |
| KEYWORDS DOCUMENTATION | 141 |

1. УВОД

Према истраживању које су спровели Брковић и др. (Brković et al., 1998) ученици основних и средњих школа у Србији, хемију стављају на 12. место од 14 предмета на основу своје мотивисаности за учење. Ученици сматрају да су најмање ефикасни у савладавању хемијских садржаја, што је у складу са њиховим оценама из хемије. Постоји неколико разлога због којих се хемија сматра тешким предметом за учење. Чајлдс и Шихан (Childs and Sheehan, 2009) тврде да су хемијски садржаји тешки за усвајање из четири разлога:

- ниво когнитивног развоја ученика,
- капацитет радне меморије,
- математичке вештине, и
- мисконцепције које ученик поседује.

Хемија је апстрактна наука и хемијски концепти су по природи неинтуитивни. Разумевање хемијских реакција на молекуларном нивоу захтева од ученика манипулисање апстрактним појмовима који су недоступни директном посматрању (Kozma and Russell, 1997). Поред тога, хемијски језик је високо развијен научни језик, чијим елементима (терминологијом, номенклатуром и симболиком) ученици још увек не владају, што представља озбиљну баријеру за разумевање хемијских концепата (Cardellini, 2012). Хемијски језик је богат терминима изведеним из латинског и старогрчког језика, као и терминима других наука (математика, техника). Уз то, исте речи које се примењују у научном хемијском језику и у свакодневном животу често имају различито значење (Markić and Childs, 2016).

Специфичну тешкоћу за ученике у учењу хемије чини триплетни модел репрезентације садржаја: макроскопски, субмикроскопски и симболички. У истраживању Чиу и др. (Chiu et al., 2002) нађено је да чак 67% ученика има тешкоће при диференцијацији нивоа репрезентације хемијских садржаја. Посебан проблем представља симултано кретање кроз нивое репрезентације. Коришћење математичких израза, формула и симбола, да би се ближе описали односи између макроскопског и субмикроскопског нивоа репрезентације, чини хемију сложенијом за учење (Gabel, 1999).

Поједини хемијски садржаји који се изучавају на средњошколском нивоу, представљају основу за успостављање правилних корелација са другим

Развој методе за процену комплексности стехиометријских проблема

предметима (математиком, биологијом, физиком), а једна од таквих хемијских области јесте стехиометрија. Стехиометрија представља једну од централних области хемије која захтева високо развијене вештине решавања проблема (BouJaoude и Barakat, 2003). Џонстон (Johnstone, 2000) наводи да се наставници према стехиометрији односе са цинизмом, истичући да је стехиометрија погодна за дизајн испитних задатака које ученици не могу да реше. Међутим, стехиометрија је област која обједињује многе хемијске концепте. С друге стране, за ученике је ова област тешка, апстрактна и непривлачна (Felder, 1990; Schmidt и Jignéus, 2003), јер уз стехиометријске концепте захтева и друге вештине, као што су: писање и изједначавање хемијских једначина, квантитативна хемијска израчунавања масе, запремине, количине, броја честица и друго (Molnár и Molnár - Namvas, 2011). Стехиометрија је ученицима тешка и због трансформације текста проблемског задатка у процедуралне кораке и комплексних прорачуна који захтевају развијене математичке вештине (Wagner, 2001).

2. ТЕОРИЈСКИ ОКВИР ИСТРАЖИВАЊА

2.1. Зашто је хемија тежак предмет?

2.1.1. Шта је ученицима тешко у хемији?

У настави хемије у средњим школама неке теме и концепти се сматрају тешким и за наставнике и за ученике. Омико (Omiko, 2013) наводи да се наставна тема сматра тешком уколико просечан ученик оствари слабо постигнуће, иако је наставник уложио максимални труд у обради наставне теме. Ученичке и наставничке перцепције хемијских тема се разликују, јер су и њихова искуства, знање, циљеви, потребе и мотивација различити. Разумевање разлика у перцепцији хемијске теме од стране ученика и наставника може да помогне наставницима да боље разумеју зашто је хемија ученицима тешка (Carter и Brickhouse, 1989).

Често се дешава да и наставници и ученици у настави хемије површно обрађују наставне теме које су тешке, јер наставници сматрају да су оне ван ученичког домена разумевања, а ученици да им такве наставне теме нису ни потребне. Последица је лоше постигнуће ученика у хемији, што додатно продубљује јаз између ученика и наставног предмета хемије (Omiko, 2017).

Волдемануел и др. (Woldeamanuel et al., 2014) су у Етиопији спровели анкету међу ученицима и наставницима и покушали да одговоре на питање: Зашто је хемија тешка и који су узроци потешкоћа? Они их групишу у четири групе:

- узроци који су повезани са окружењем за учење,
- узроци који су везани за садржај предмета,
- узроци који су својствени ученицима и
- узроци који су својствени наставницима.

Развој методе за процену комплексности стехиометријских проблема

Када је у питању окружење за учење, ученици као главне разлоге истичу:

- научни језик који се користи,
- бројност ученика у одељењу, и
- неопремљеност учионица и лабораторија.

Бројна су истраживања која аргументују тешкоће у учењу хемије, које су условљене наставним садржајима. Према Сирхану, секвенца наставних садржаја је чест узрок потешкоћа у учењу хемије (Sirhan, 2007). Секвенца садржаја у курикулумима хемије најчешће прати логику хемијске науке. Тако у средњој школи учење хемије започиње наставним темама о структури атома, хемијским једначинама и стехиометрији, које су важне за разумевање хемије, али су ученицима апстрактне и непривлачне. Уз то, преобимни предмети и велики број наставних тема у њима, такође су чест узрок ученичких потешкоћа у учењу хемије (Woldeamanuel et al., 2014).

Опште је прихваћено да су апстрактна природа хемијских концепата и математички елементи у хемији чест узрок тешкоћа у учењу. Уз апстрактну природу хемијских концепата, недостатак предзнања, и специфичан језик чини хемију ученицима тешком (Акрап, 2003). У истраживању спроведеном у Нигерији међу ученицима средњих школа Узези и др. (Uzezi et al., 2017) дошли су до резултата да је 63,2% хемијских концепата ученицама тешко и апстрактно. Ови концепти обухватају: симболе, формуле, хемијске једначине, киселине, базе и соли, структуру атома, органску хемију, термохемију и др. У истраживању Чајдлса и Шихана (Childs и Sheehan, 2009) као апстрактни концепти органске хемије идентификовани су следећи концепти: механизми реакција, формуле, синтеза и својства синтетисаних једињења.

Неадекватно разумевање и недостатак одговарајућих математичких вештина ограничава разумевање одређених хемијских концепата код ученика. У истраживању Учегбу и др. (Uchegbu et al., 2015) ученицима је хемија тешка, јер укључује превише рачунања. Некада тешке хемијске концепте, додатно отежава недостатак математичких вештина. Али (Ali, 2004) и Омико (Omiko, 2017) су утврдили да ниво математичких вештина утиче на отежано сналажење ученика у темама: хемијско рачунање, кинетика и енергетски ефекти хемијских реакција. Упоредном анализом тешких садржаја у Шкотској, Нигерији и Великој Британији, Чајдлс и Шихан (Childs и Sheehan, 2009) су као најтеже садржаје идентификовали: концепт мола и Авогадрову константу, хемијску равнотежу, волуметрију, редокс реакције и хемијска израчунавања. На основу ових резултата, поменути аутори су на узорку средњошколаца и студената прве и треће године у Ирској, као најтеже

концепте идентификовали: волуметријска израчунавања, редокс реакције и израчунавања са садржајем раствора.

Као разлоге зашто је хемија тешка и неразумљива, ученици наводе и наставника и његове наставне методе (Акрап, 2003; Woldeamanuel et al., 2014). Ученици не виде повезаност лекција, сматрају наставника централном фигуром на часу, док наставне стратегије, повратне информације и научна образложења сматрају неадекватним.

2.1.2. Шта наставници сматрају да је тешко у хемији

Као и ученици и наставници сматрају да је неопремљеност учионица кључни узрок за тешкоће у учењу хемије, везано за окружење за учење (Woldeamanuel et al., 2014).

Ставови наставника су у сагласности са ставовима ученика и по питању тешкоћа условљених хемијским наставним садржајима. Као тешке области наставници наводе: номенклатуру, хемијске реакције, садржаје органске хемије и садржаје о структури супстанце (de Quadros et al., 2011). Садржаје органске хемије наставници сматрају тешким због симултаног кретања кроз макроскопски и субмикроскопски ниво репрезентације садржаја, јер се чулној перцепцији доступне промене објашњавају реакционим механизмима. Структура супстанце је према наставницима тешка због високог нивоа апстрактности и повезаности са апстрактним наставним садржајима физике (набој, наелектрисање, магнетизам).

У истраживању де Квадроса и др. (de Quadros et al., 2011) наставници у средњим школама у Бразилу су као најтеже садржаје издвојили оне садржаје који захтевају познавање математичких вештина (53% анкетираних наставника). Ови садржаји обухватају хемијска израчунавања, стехиометрију и количину супстанце. Као разлог зашто су ови садржаји тешки, наставници наводе то што захтевају од ученика разумевање и хемијских и математичких концепата. Поред познавања пропорција, потребне су и вештине трансформација јединица физичких величина. До сличних резултата дошли су и Финли и др. (Finley et al., 1982) утврдивши да наставници најтежим концептима за ученике сматрају: мол, хемијске формуле и једначине, структуру атома, електронски омотач и стехиометрију.

Броман и др. (Broman et al., 2011) су у истраживању у Шведској испитивали које области хемије наставници и средњошколци сматрају тешким, лаким, интересантним и неинтересантним, као и које кораке и мере би требало

Развој методе за процену комплексности стехиометријских проблема

предузети да би тешке и мање интересантне области постале смислене и интересантне. Лаким областима ученици сматрају: структуру атома, хемијска израчунавања и стехиометрију, и киселине и базе. Наставници сматрају да су најлакше области уз структуру атома, хемијска израчунавања и стехиометрију, још и оксидо-редукциони процеси. Овај избор лаких области наставници аргументују тиме што сматрају да у њима постоје јасна правила која треба пратити. Ученици и наставници се не слажу у идентификовању тешких области за учење. Тако ученици сматрају да су тешке области: енергетске промене у хемијским реакцијама, биохемија и аналитичка хемија. Наставници се слажу са ученицима да је биохемија тешка област и додатно издвајају хемијску везу као тешку област. Наставници нису препознали тешкоће ученика у учењу аналитичке хемије.

Приказани преглед литературе је указао на то да постоји сагласност у процени узрока потешкоћа у учењу хемије од стране наставника и ученика, али да сагласност није потпуна. Узрок несагласности је дисбаланс између експертског доменског знања наставника и доменског знања ученика у хемији. У превазилажењу дисбаланса може да помогне адекватно методичко знање садржаја наставника (*ПСК*). У том случају наставник разуме процес формирања знања код ученика и може да помогне у превазилажењу тешкоћа у учењу хемије.

2.2. Зашто је тешка стехиометрија?

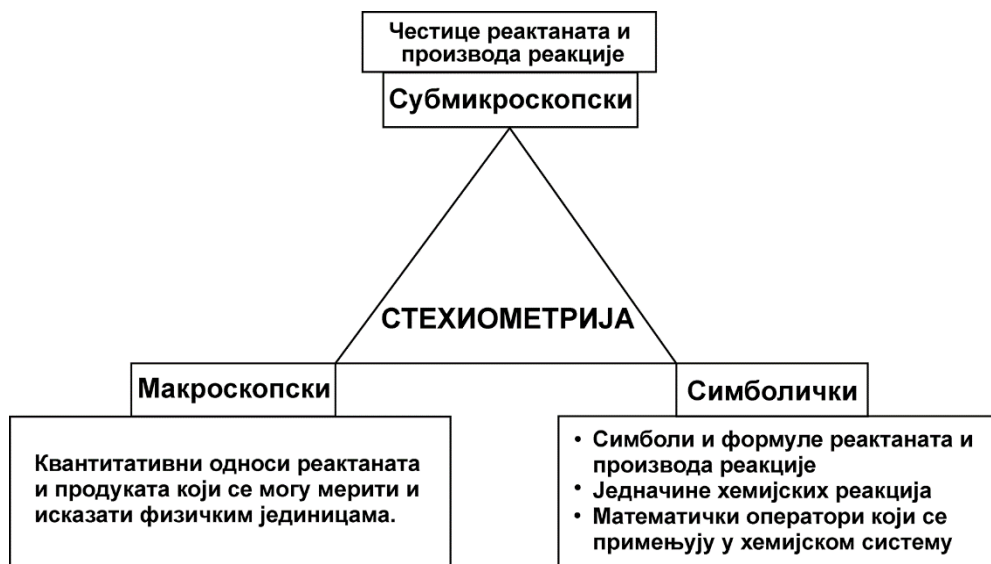
Ученици често имају негативан став према учењу стехиометрије. Постоје многи узроци овог негативног става. Према Мацијејовској (Maciejowska, 2009) најчешћи од њих су:

- неопходност примене раније стечених знања,
- недостатак међупредметне корелације (на пример: наставник хемије уводи појам логаритамске функције, а не наставник математике),
- недостатак неких потребних података у тексту задатка (проналажење информација из Периодног система елемената, напонског низа метала, дијаграма растворљивости, различитих константи и друго), и
- недостатак мотивације условљен монотонијом операција прорачуна.

Тешкоће у учењу стехиометрије су у највећој мери условљене бројношћу и сложеносту хемијских концепата, који су у њу укључени, неадекватним

математичким предзнањима и недовољно развијеним вештинама за решавање проблема код ученика.

Рамфул и Народ (Ramful и Narod, 2014) наводе да разумевање стехиометрије, подразумева симултано кретање кроз хемијски триплет (слика 1) што додатно оптерећује радну меморију ученика.



Слика 1. Интерпретација стехиометрије кроз три нивоа репрезентације (прилагођено из Ramful и Narod, 2014)

Дахсах и Кол су у области стехиометрије идентификовали мисконцепције ученика, које су у вези са хемијским триплетом (Dahsah и Coll, 2007). Они су утврдили да ученици имају тешкоће у разумевању научних концепата које су условљене неразликовањем макроскопског и субмикроскопског нивоа репрезентације. Утврђено је да су ученици у заблуди да је један молекул исто што и један мол, или да при стандардним условима један мол супстанце заузима запремину $22,4 \text{ dm}^3$ без обзира на агрегатно стање супстанце. Такође је утврђено да ученици имају потешкоће са концептима релативне атомске и релативне молекулске масе, сматрајући да оне представљају масу једног атома или молекула, те да су јединице за масу и релативну атомску масу идентичне (Staver и Lumpe, 1995). Код ученика је идентификована и потешкоћа у разумевању концепта мола која је условљена величином Авогадрове константе. Ученици Авогадрову константу сматрају јединицом за мол (Niaz и Robinson, 1992; Staver и Lumpe, 1995;

Развој методе за процену комплексности стехиометријских проблема

Schmidt, 1997; Furio et al., 2002). Дори и Хамеири (Dori и Hameiri, 2003) су утврдиле да су потешкоће код ученика у решавању задатака са количином супстанце узроковане недовољним познавањем честичне природе супстанце и непознавањем хемијских симбола, што утиче на повезивање субмикроскопског и симболичког нивоа репрезентације знања.

Ученици имају потешкоће већ при самом почетку израде стехиометријског задатка, при писању једначине хемијске реакције (Yaroch, 1985; Glažar и Devetak, 2002). Они греше при писању хемијских формула учесника реакције, предвиђају погрешне продукте реакције, не разликују набој јона од оксидационог броја атома у њима, удвајају индексе у формулама (Davidowitz et al., 2010), не разликују значење индекса у хемијским формулама и коефицијента у хемијској једначини (Dori и Hameiri, 2003; Marais и Combrinck, 2009; Chandrasegaran et al., 2009) и друго. Тешкоће се јављају и при решавању стехиометријских задатака када стехиометријски однос у једначини није 1:1 (Duncan и Johnstone, 1973; Koushatana и Tsaparlis, 2002; Furio et al., 2002). Астудиљо и Ниаз (Astudillo и Niaz, 1996) су утврдили да ученици постижу боље резултате уколико су задата и тражена супстанца изражене у молевима, него када су изражене у јединицама масе. Ученици поистовећују количинске и масене односе и сматрају да је један мол исто што и један молекул (Fach et al, 2007).

Врло често ученици не разликују концепт густине и масене концентрације раствора, због коришћених јединица (Astudillo и Niaz, 1996). Они не разумеју да се маса у масеној концентрацији односи на масу растворка, а у густини на масу раствора (Heyworth, 1999).

Нгу и Јеунг (Ngu и Yeung, 2013) су приметили да су грешке ученика у проблемским задацима са растворима, комбинација недостатка исправног разумевања хемијских и математичких концепата. Хобан (Hoban, 2011) тврди да је недостатак математичких знања, као и немогућност ученика да интерпретирају и користе своја математичка знања у хемији, делом последица тога што наставници математике и хемије раде независно. Стехиометрија захтева бројне математичке вештине: основне математичке операције, претварање јединица, решавање пропорција, решавање једначина, познавање експоненцијалних функција, алгоритме и друго (Staver и Lumpe, 1995; Schuttlefield et al., 2012; Herron, 1975).

Скот (Scott, 2012) сматра да концепт мола, који је кључан у стехиометрији, није основни разлог нижег постигнућа ученика, већ да је то неразвијеност основних математичких операција. Разумевање квантитативних односа води бољем концептуалном разумевању стехиометријских релација (Chandrasegaran et al., 2009).

Тешкоће у учењу стехиометрије условљене су и комплексношћу стехиометријских задатака. Стехиометријски задаци су најчешће проблемски задаци који могу да садрже велики број хемијских концепата (елементи за процесирање) који су међусобно повезани различитим односима (висока интерактивност елемената за процесирање), што често изазива когнитивно преоптерећење радне меморије ученика (Sweller, 1994).

Сва поменута истраживања говоре о томе да ученици поседују мисконцепције у концептима повезаним са стехиометријом и да се оне несумњиво одражавају на постигнуће у задацима (BouJaoude и Barakat 2000). Да би се уклониле мисконцепције које постоје код ученика, истраживачи су развијали различите алате, приступе и методе којима би се откриле потешкоће и мисконцепције ученика при решавању стехиометријских проблема те повећало постигнуће и концептуално разумевање. Тако је Кригер (Krieger, 1997) међу првима развила приступ који треба ученицима да омогући боље разумевање стехиометрије. Она је развила алгоритамски приступ за решавање стехиометријских проблема, који чини концептна мапа названа „Шопинг мол“. Централни концепт ове мапе је мол, а повезан је „ходницима“ са следећим концептима: број честица, маса и запремина раствора. Шопинг мол функционише као концептна мапа где се успешно, коришћењем разломака, у једном кораку долази до тачног решења. Свака веза између концепата представља конверзиони фактор. Тако је веза између количине супстанце и масе моларна маса, између количине супстанце и броја честица Авогадрова константа, а између количине супстанце и запремине раствора количинска концентрација.

Вицел (Witzel, 2002), као и Молнар и Молнар - Хамваш (Molnár и Molnár - Hamvas, 2011) су успешно применили приступ „Корак по корак“ за решавање стехиометријских проблема, доводећи решавање стехиометријских проблема у аналогију са слагањем LEGO® коцкица. Овај приступ је заснован на успостављању веза између формула за израчунавање количине супстанце, броја честица и моларне запремине, које се могу комбиновати како би се дошло до тачног решења.

Лугемва (Lugemwa, 2012) је развио приступ у коме се користи троугао за решавање проблема са израчунавањем непознатог члана у релацији. У теменима троуглова распоређене су физичке величине које су међусобно повезане одговарајућим математичким изразом. Физичка величина која се налази у горњем темену троугла, представља производ доње две величине. На пример маса (горње теме) представља производ величина два доња темена (количина супстанце и моларна маса).

Са циљем бољег концептуалног разумевања хемијских једначина и стехиометрије Давидовиц и др. (Davidowitz et al., 2010) су развили приступ у коме

Развој методе за процену комплексности стехиометријских проблема

се од ученика захтева да повезују субмикроскопски и симболички ниво репрезентације, тако што на основу хемијске једначине цртежом представљају честице реактанта и продуката, или на основу цртежа пишу хемијску једначину. Овај приступ је омогућио боље концептуално разумевање код ученика и помогао да се идентификују тешкоће у учењу стехиометрије у вези са предвиђањем производа хемијске реакције и процени лимитирајућег реактанта.

Повезивање макроскопског и субмикроскопског нивоа такође доприноси концептуалном разумевању садржаја. Еванс и др. (Evans et al., 2008) су дизајнирали мултимедијални курс за учење стехиометрије у коме су ученицима уз макроскопске феномене, који прате хемијску реакцију, паралелно дати и визуализовани прикази хемијских реакција на субмикроскопском нивоу.

Лин и др. (Lin et al., 2005) су утврдили да постоји значајна разлика између процене наставника о постигнућу ученика (оčekивано постигнуће) и реалног (стварног) постигнућа ученика на тесту стехиометрије. Инструмент у овом истраживању био је двослојни тест. Ученици су у првом слоју решавали стехиометријски задатак и бирали тачан одговор, а у другом слоју концептуално образлагали изабрани одговор. Од наставника се захтевало да процене значај концепата у сваком задатку и да предвиде учениково постигнуће на сваком задатку. Добијени резултати су указали на то да наставници концепте сматрају лакшим и очекују боља ученичка постигнућа од остварених. Резултати показују да наставници хемије често прецењују постигнућа ученика. Наставници неке концепте сматрају лакшим него што резултати показују. Ова разлика између очекиваног и реалног постигнућа ученика у стехиометрији указује на потребу за даљим истраживањима којима би се дубље анализирале ове разлике и развили поступци за њихово превазилажење.

2.3. Стехиометријски проблемски задаци

Проблем се дефинише на различите начине, али је то увек ситуација у којој појединцу тренутно није познато решење. Тако Вудс и др. проблемску ситуацију дефинишу као стимулус на који појединац нема одговор, односно проблем се јавља кад појединац не може одмах и ефикасно да реагује на стимулус (Woods et al., 1985).

Гање (Gagne, 1977) дефинише решавање проблема као процес размишљања у коме појединац примењује правила и искуства, која су раније меморисана, да дође до решења новог проблема. Процес решавања проблема представља изналажење пута за превазилажење препреке између почетних параметара и решења проблема (Hayes 1980; Wheatley, 1984; Sternberg и Williams, 2002). Овај пут подразумева: креирање стратегије, успешне процене и апроксимације, разумевање концепата заступљених у проблему, као и прорачуне да би се проблем успешно решио (Tsaparlis, 2005; Overton et al., 2013).

Проблемски задатак садржи три компоненте: почетне параметре (чињенице и информације које су дате у тексту задатка), захтев задатка и операције које је потребно извршити да би се од почетних параметара дошло до захтеваног решења (Newell и Simon, 1972). Решавање проблемског задатка захтева анализу и резонување које је засновано на разумевању домена коме задатак припада (Smith, 1988).

Хемијски проблемски задаци класификују се на више различитих начина. Једна од класификација је на квантитативне и квалитативне (Bodner и Herron, 2002; Tsaparlis, 2005). У квантитативним проблемским задацима захтева се нумерички одговор. У квалитативним проблемским задацима, захтевају се тумачења уместо нумеричког одговора.

Џонстон (Johnstone, 1993) класификује проблемске задатке у хемији уважавајући три параметра:

- доступност података заступљених у проблемском задатку,
- стратегије које се користе за решавање проблемског задатка, и
- решење задатка.

Развој методе за процену комплексности стехиометријских проблема

Џонстон (Johnstone, 1993) проблемске задатке класификује у:

- алгоритамске,
- концептуалне, и
- задатке отвореног типа.

Алгоритамски проблеми укључују конкретно мишљење и више подсећају на вежбе (Johnstone, 1993). За ове задатке је карактеристично да садрже све потребне податке, стратегије за решавање проблема, а захтев је прецизно дефинисан (Reid и Yang, 2002). Алгоритамски проблем се решава већ усвојеном процедуром. Ако је процедура решавања проблемског задатка већ усвојена, до решења се лако долази праћењем корака у њој (Cragolice et al., 2008). Концептуални проблемски задаци укључују хемијске феномене и за успешно решавање неопходно је да ученици добро познају хемијске концепте. За разлику од алгоритамских проблемских задатака концептуални проблемски задаци најчешће представљају хемијску ситуацију која је ученицима непозната.

Концептуални проблемски задаци подразумевају избор, предвиђање и објашњење хемијског процеса, и најчешће повезују неколико наставних тема (Surif et al., 2014).

Проблемски задаци отвореног типа захтевају примену апстрактног мишљења, а не само познавање концепата (Overton et al., 2013). То су најчешће задаци који се могу решити на различите начине и најчешће се формулишу као есејски задаци (Surif et al., 2014).

Суриф и др. (Surif et al., 2014) су испитивали постигнуће ученика на алгоритамским, концептуалним и задацима отвореног типа опште хемије, и утврдили да је 89% ученика успешно решило алгоритамске задатке, 29% концептуалне и 14% задатке отвореног типа.

2.3.1. Решавање стехиометријских проблемских задатака

Стехиометријски проблемски задаци су најчешће квантитативни задаци. Решавање стехиометријских задатака је процес изналажења решења комплексних проблема са циљем добијања нумеричког одговора (Bugana и Dahsah, 2016). За проблемски задатак у стехиометрији на почетку су дате одреднице које воде ка решењу, али не и сам поступак његовог решавања.

Решавање стехиометријских проблемских задатака у настави хемије је сложен и изазован задатак, којим се може повећати мотивација за учење (Surif et al., 2014). Стехиометријски проблемски задаци, који су заступљени у средњошколској настави хемије, садрже најмање једну математичку операцију коју је потребно извршити да би се из нумеричких података у задатку добило нумеричко решење проблема (Bunce et al., 1991). Међутим, проблемски стехиометријски задаци су често сложени и укључују више подпроблема. Постоје два основна типа стехиометријских проблемских задатака:

- основни проблемски задаци, чије решавање захтева мањи број корака, најчешће један или два корака, и
- сложени проблемски задаци, који се састоје од већег броја међусобно повезаних основних проблема – подпроблема (Heuworth, 1998).

Средњошколци често имају потешкоће у решавању стехиометријских проблемских задатака (Duran, 2016; Bugana и Dahsah, 2016). Оне су најчешће условљене недовољно развијеним способностима за решавање проблема. То су:

- способност разумевања проблема,
- способност повезивања сродних концепата, теорија, формула и једначина, и
- способност примене хемијских и математичких предзнања.

Ученици стехиометријске проблемске задатке најчешће решавају у више корака. Хејворт наводи пет корака у решавању стехиометријског проблемског задатка (Heuworth, 1998).

Први корак у решавању стехиометријских проблемских задатака је препознавање задатка који се решава (Heuworth, 1998). Овај корак је важна одредница за успех у решавању проблема и блиско је повезан са претходним искуством у решавању сличних проблема. Да би се олакшало препознавање

Развој методе за процену комплексности стехиометријских проблема

проблема ученици се фокусирају на кључне речи у формулацији задатка. Код једноставних проблемских задатака кључне речи служе за идентификацију типа задатка. Код сложених проблемских задатака, оне помажу при декомпозицији проблема у подпроблеме.

Други корак у решавању проблемског задатка је квалитативно представљање проблема. У овој фази решавања ученици конвертују иницијалне представе у јединствен систем апстрактних ентитета. Тиме се омогућује квалитативно решење проблема као основа за конструкцију поступка потпуног решавања. Квалитативно решење садржи мали број подкорака неопходних за приказивање даљег поступка решавања, док детаљи поступка у њему нису исказани.

Избор математичког поступка је трећи корак. Овај поступак се користи за постављање математичких релација избором одговарајућих формула и резултује квантитативним поступком и коначним нумеричким одговором.

Четврти корак је успостављање везе између елемената описа проблема и структуре знања појединца. Експерти у домену имају богато предзнање, које им омогућава лако успостављање таквих веза. Почетници, због скромног предзнања, нису у могућности да користе сигнале из формулације проблема и да успостављају такве везе.

Разумевање проблемске ситуације је пети корак који доводи до развоја стратегије за решавања задатка.

2.3.2. Стратегије решавања стехиометријских проблемских задатака

Проналажење релације између почетних параметара (познатих варијабли) и решења (крајње варијабле) је кључни корак успешног решавања стехиометријских проблема (Ngu и Yeung, 2013). Своје традиционалне методе решавања стехиометријских проблема наставници треба да прилагоде математичким предзнањима ученика и развију инструкције које ће подстаћи концептуално разумевање хемије код ученика (Nakhleh и Mitchell, 1993; Chiu, 2001; Yilmaz et al., 2007; Costu, 2010).

При решавању стехиометријских проблема ученици најчешће примењују алгоритамску стратегију (Schmidt, 1997; Fach et al., 2007; Karupiah, 2007; Cracolice et al., 2008; Holme и Murphy, 2011). Ученици имају боља постигнућа на алгоритамским проблемима него на задацима која захтевају концептуално разумевање (Schmidt, 1997; BouJaoude и Barakat, 2003). Примена алгоритамске стратегије резултује већим постигнућем ученика, али не доприноси бољем разумевању концепата (BouJaoude и Barakat, 2003). Наиме, иако ученик зна да реши пропорцију, или примени образац у стехиометријском проблему, уколико не разуме кључне релације он овом стратегијом неће моћи успешно да реши сложенији проблем (Coll et al., 2006). Правилно разумевање концепата и веза међу њима, омогућиће развој вештине решавања и концептуално разумевање стехиометријских проблема (BouJaoude и Barakat, 2000). Ученици који поседују концептуално разумевање су ефикаснији у решавању стехиометријских проблема, користе мање времена за решавање проблема и проблеме решавају са мањим бројем корака (BouJaoude и Barakat, 2003). Ученици који поседују концептуално разумевање добро познају алгоритам решавања стехиометријског проблема, међутим ученици који познају алгоритам решавања стехиометријског проблема не морају нужно поседовати концептуално разумевање (Niaz, 1995; BouJaoude и Barakat, 2003).

Фрејзер и Слит (Frazer и Sleet, 1984) су развили стратегију мрежног приступа за решавање стехиометријских проблемских задатака. Ова стратегија се заснива на идентификацији и повезивању информација унутар проблемског задатка. Примена ове стратегије подразумева декомпозицију стехиометријског проблема у низ подпроблема. Сваки од подпроблема садржи јединствену информацију. Када ученик зна да реши сваки од ових подпроблема, њиховом синтезом долази до коначног решења проблемског задатка.

Развој методе за процену комплексности стехиометријских проблема

Шмит (Schmidt, 1997) наводи четири најчешће стратегије за решавање стехиометријских проблема:

- метода пропорција,
- мол метода,
- димензиона анализа, и
- логичка метода.

Метода пропорција је дуго била најзаступљенија стратегија решавања стехиометријских проблема (Freitag et al., 1996 цитирано у Schmidt, 1997). Она се своди на директно поређење задате и тражене супстанце кроз пропорцију, без обзира на то како су тражена и задата супстанца исказане у проблему (Schmidt, 1997).

Мол метода, која је у основи алгоритамска стратегија, заснива се на увиђању количинских односа између задате и тражене супстанце (Schmidt, 1997; Tóth и Kiss, 2005; Fach et al., 2007). Ова стратегија укључује три фазе. Прва је израчунавање количине задате супстанце. Друга фаза је израчунавање количине тражене супстанце на основу стехиометријског односа. Трећа фаза је прерачунавање количине тражене суптанце у захтевани исказ.

Димензиона анализа, или метода конверзионог фактора, је заснована на примени алгебарских правила. То је стратегија којом се јединице за изражавање вредности из једног система лако претварају у други метрички систем (Wagner, 2001; Molnár и Molnár - Hamvas, 2011). Према Габелу и Шервуду (Gabel и Sherwood, 1983) димензиона анализа је најефикаснија алгоритамска стратегија за решавање стехиометријских проблема. Међутим, кроз даља истраживања Шмит је закључио да се ова стратегија заснива искључиво на алгоритамским операцијама и да не подразумева концептуално разумевање (Schmidt, 1997).

Шмит (Schmidt, 1994; 1997) и Шмит и Жињеус (Schmidt и Jignéus, 2003) наводе још једну ученичку стратегију која је заснована на логичком расуђивању. Ово је интуитивна стратегија позната под називом логичка метода. У анализи стехиометријског проблема ученици вербализују квантитативне односе на основу хемијске једначине, не користећи при томе математичке изразе.

Когнитивистички приступ решавању проблема не односи се само на изналажење тачног решења проблема, већ на стицање искуства у решавању проблема. Ово искуство у решавању проблема касније помаже ученицима у решавању сличних проблема уз мању количину уложеног менталног напора (Jonassen, 2011). Након успешног решавања проблема, процедура његовог

решавања аутоматизује се у шему и чува у дугорочној меморији (Raas и van Merriënboer, 1994). На пример, када ученик формира шему за израчунавање количинске концентрације раствора, стехиометријска израчунавања са растворима мање оптерећују његову радну меморију, па се преостали ресурси могу прерасподелити на захтеве дате проблемске ситуације.

Да би наставници развили ефикасне инструкције, потребно је да боље сагледају процес учења хемије, што уз праћење ученичког постигнућа, захтева и анализу уложеног менталног напора.

2.4. Комплексност проблема у хемији

Важан задатак наставе хемије је развој вештина за решавање проблема. Са циљем процене нивоа развијености вештина за решавање проблема, дизајнирају се проблемски задаци различите тежине. Шнајдер и др. (Schneider et al., 2013) истичу да при дизајнирању проблема треба обратити пажњу на следеће:

- текстуалне карактеристике проблемског задатка (дужина реченица у тексту задатка, језичке карактеристике и др.),
- карактеристике које се односе на комплексност садржаја у проблемском задатку, и
- вештине потребне за решавање проблемског задатка.

Сви ови елементи утичу на ученичку перцепцију комплексности проблема. Уколико ученици не владају алгоритмом за решавање проблема, они ће покушавати да дођу до тачног решења на различите начине. Карделини (Cardellini, 2006) наводи да ученици покушавају да смање комплексност проблема, визуализујући проблем, повезујући га са другим њима познатим проблемима, или рашчлањујући га на компоненте. Комплексни проблеми су они који захтевају кретање кроз сложен лавиринт могућих путева да би се дошло до тачног решења (Batra, 2007), и често садрже висок степен повезаности између одређеног броја ентитета. Комплексни проблем се може решити само ако се изнађе прави редослед корака.

Комплексност проблема се односи на вештине које је потребно применити да би се проблем успешно решио (Wood, 1986). Јонасен (Jonassen, 2004; 2011) тврди да је комплексност проблема одређена захтевима, варијаблама и функцијама, и њиховом међусобном повезаношћу. Она је важан фактор који утиче на остварено постигнуће на задатку (Vakkari, 1999). Комплексност се може

Развој методе за процену комплексности стехиометријских проблема

варирати додавањем различитих као и трансформацијом постојећих фактора, односно концепата (Jonassen, 2011). Према Теорији когнитивног оптерећења, комплексни проблеми захтевају значајне ресурсе радне меморије, намећући јој високо когнитивно оптерећење. Према Свелеру (Sweller, 1994) и Свелеру и др. (Sweller et al., 1998) задаци имају ниску комплексност ако се концепти могу изоловано научити, а међу њима не постоји интеракција. У задацима високе комплексности постоји интеракција међу заступљеним концептима.

Марч и Сајмон (March и Simon, 1958, цитирано у Campbell, 1988) су одредили комплексност проблема као субјективну категорију, која зависи од способности испитаника. Надолски и др. (Nadolski et al., 2005) конструкт комплексности задатка рашчлањују на две компоненте које се могу посматрати као објективна комплексност (резултат је карактеристика задатка) и субјективна комплексност (одређена односом карактеристика задатка и особе која задатак решава). Субјективна комплексност се односи на лично искуство субјекта, док се објективна комплексност односи на карактеристике задатка (Campbell, 1988). Оба концепта, имају утицај на постигнуће у решавању проблема (Campbell, 1988; Maynard и Nakel, 1997). Мејnard и Хакел (Maynard и Nakel, 1997) су установили одличну релијабилност (0,904) између објективне и субјективне комплексности. Због тога се процена објективне комплексности може користити и као мера субјективне комплексности.

2.4.1. Процена комплексности проблемских задатака

Бројна су истраживања која су се бавила проценом и димензионисањем комплексности проблемских задатака (Halford et al., 1998; Dori и Nameiri, 2003; Schuttlefield et al., 2012; Tang et al., 2014; Ramful и Narod, 2014).

Халфорд и др. (Halford et al., 1998) тврде да се комплексност проблема односи на одређени број елемената заступљених у проблему, који су истовремено у интеракцији, и које је потребно истовремено процесирати у радној меморији како би се дошло до тачног решења. Варијацијама међу елементима заступљеним у проблему може се мењати комплексност задатка. Исти аутори такође сматрају да се при решавању проблема одвијају два процеса која могу да помогну појединцу да се смањи комплексност проблема. Један се односи на „груписање“ (енгл. *Chunking*) а други на „сегментацију“. Оба процеса помажу да се превазиђе преоптерећење радне меморије. Груписање се односи на повезивање више компонената сложеном релацијом, а процес сегментације се односи на рашчлањивање проблема у кораке, чиме се смањује комплексност проблема.

Груписање и сегментацију можемо објаснити на примеру количинске концентрације раствора. Трокомпонентна релација која повезује количинску концентрацију, количину раствора и запремину раствора се своди на једну компоненту која се нумерички може исказати, на пример $c=2 \text{ mol/dm}^3$. Уколико се израчунава количинска концентрација раствора добијеног разблаживањем користиће се вредност почетне концентрације ($c=2 \text{ mol/dm}^3$). Међутим, ако садржај разблаженог раствора треба да буде изражен као масена концентрација, у том случају ученик ће сегментисати израз за концентрацију раствора и израчунавати количину да би израчунао масу.

Дори и Хапеири (Dori и Hameiri, 2003) су у истраживању у коме су користили инструмент за процену комплексности проблема са количином супстанце утврдили да са порастом комплексности опада проценат тачних одговора. Концептима заступљеним у квантитативним проблемима додељивали су нумеричку вредност од 0 до 3. У истраживању је процењивана комплексност трансформације међу нивоима репрезентације (симболичког, макроскопског и субмикроскопског). Њихов поступак процене је мултидимензионални систем анализе (MAS - *Multidimensional Analysis System*). Најкомплекснији проблеми у њиховом истраживању у овом систему су задаци са симболичким нивоом репрезентације, а најмање комплексни они који су садржали трансформације симболичког и макроскопског нивоа репрезентације. MAS је постао заступљен у образовању за конструкцију проблема различитих нивоа комплексности, тежине концепата и трансформација међу нивоима репрезентације.

Шатлфилд и др. (Schuttlefield et al., 2012) су развијали методу за процену комплексности квантитативних проблемских задатака заснованих на Шарловом закону. Варијабле у овима задацима биле су следеће: својства гаса, нумерички формат у ком су задати подаци, јединице запремине, јединице температуре и јединице притиска. За ово истраживање коришћен је on-line тест, којим је процењивано који од ових фактора и у којој мери утиче на комплексност проблема. Резултати су анализирани коришћењем логистичке регресије и утврђено је да на комплексност проблемских задатака са гасовима највише утичу: нумерички формат, јединице запремине и јединице температуре. Комбинације ових фактора намећу различите нивое когнитивног оптерећења. Нумерички формат података је задаван у три облика: као генерални формат, који је ученицима најмање комплексан, као децималан број средње комплексности и као експоненцијалан број који је најкомплекснији за ученике. За јединице запремине и јединице температуре идентификована су четири нивоа комплексности. Комплексност расте следећим редоследом када су у питању јединице запремине (V_1 и V_2): L и L (најмања комплексност), mL и mL, mL и L, и L и mL (највећа

Развој методе за процену комплексности стехиометријских проблема

комплексност). Код јединица температуре (T_1 и T_2) комплексност расте следећим редоследом: K_i °C, $K_i K$, °C $i K$, °C i °C.

Шнајдер и др. (Schneider et al., 2013) према комплексности проблемске задатке клафискују у задатке ниске, средње и високе комплексности. За успешно решавање проблемских задатака ниске комплексности, ученици користе рутинске процедуре и препознавање концепата. Овакви задаци се решавају механички, алгоритамском стратегијом. Проблеми средњег нивоа комплексности захтевају од ученика познавање концепата из више различитих домена и решавају се у више корака. За решавање проблема високе комплексности ученици користе стратегије засноване на резонувању, анализи, процени, планирању и креативном мишљењу.

Танг и др. су испитивали факторе који утичу на комплексност стехиометријских проблемских задатака техником праћења погледа (Tang et al., 2014). Ови аутори су идентификовали три фактора која утичу на комплексност стехиометријских проблема: нумерички формат, једначина хемијске реакције и јединице у којима су исказане задата и тражена супстанца. Ово истраживање је потврдило резултате Шатлфилда о утицају нумеричког формата на комплексност проблемских задатка у хемији (Schuttlefield et al., 2012). Концепт хемијске једначине има три нивоа комплексности. Први ниво комплексности односи се на задату изједначену једначину хемијске реакције, други ниво комплексности је задата неизједначена хемијска једначина, а трећи задаци у којима није дата хемијска једначина. Трећи фактор који утиче на комплексност проблемског задатка су јединице које се користе и он је структуриран у четири нивоа комплексности. Први ниво комплексности се односи на задатке у којима су супстанце исказане у јединицама за количину супстанце (мол). Други ниво комплексности је заступљен у задацима у којима су супстанце исказане у јединицама масе. Трећи ниво се односи на задатке у којима је задата супстанца у јединици масе, а тражена у јединици количине, док се четврти ниво односи на задатке у којима је задата супстанца исказана у јединици за количину супстанце, а тражена супстанца у јединици масе.

Рамфул и Народ (Ramful и Narod, 2014) су комплексност стехиометријских проблемских задатака дефинисали кроз пет нивоа решавања пропорција. Први ниво обухватао је проблемске задатке засноване на поређењу две супстанце исказане у молонима. Други ниво се односио на поређење две супстанце у реакционом систему, када је једна од супстанци била исказана у молонима, а друга у некој другој јединици. Трећи, четврти и пети ниво су укључивали концепт раствора. У проблемским задацима трећег нивоа једна од супстанци била је задата параметрима раствора. Задаци четвртог нивоа су уз концепт раствора садржавали две једначине хемијских реакција. Пети ниво комплексности карактерисао је

задатке који су садржавали реакцију са непознатим учесником реакције. У тим задацима је од ученика захтевано да на основу стехиометријског израчунавања одреде формулу учесника.

Према Гинсу (Ginns, 2005; цитирано у Mattis, 2014) и Мејеру (Mayer, 2005; цитирано у Mattis, 2014) комплексност проблемских задатака се може процењивати на основу броја корака потребних за успешно решавање проблема или бројем елемената који су у интеракцији.

2.4.1.1. Комплексност проблема одређена бројем корака

Према Опденекеру и др. однос између концепата и броја корака у решавању проблема које испитаник процесира у радној меморији током решавања проблема одређује комплексност проблема (Opdenacker et al., 1990). Број корака потребних за решавање проблема је несумњиво битан за успешно решавање тог проблема. Џонстон и Ел-Бана (Johnstone и El-Banna, 1986;1989) и Ниаз (Niaz, 1988) су показали да вредност постигнућа опада ако је за решавање проблема потребно направити већи број корака. Наиме, људски систем за обраду информација има ограничен капацитет радне меморије и у датом тренутку може да процесира мали број информација (5-9) (Heyworth, 1998; Sweller et al., 1998; Novak и Саџас, 2006). Решавање оваквих задатака у више корака захтева од ученика да сваки корак решавања проблема уреди у логичку секвенцу да би дошао до тачног решења (Ayres и Sweller, 1990; Cheng и Lin, 2008). Секвенционирање и решавање проблема у више корака је нарочито важно код стехиометријских проблема који су често збуњујући за ученике (Bunce, 2001). Први корак у секвенционирању проблема треба да буде сагледавање стратегије решавања проблема пре нумеричких операција, а затим класификација проблема на основу односа тражене и задате супстанце, као и јединица у којима су ове супстанце задате (Bunce, 2001). Последњи корак треба да буде ревидирање процедуре решавања проблема (Bunce, 2001; Selvaratnam и Canagaratna, 2008). На овај начин се редукује когнитивно оптерећење (Selvaratnam и Canagaratna, 2008).

Према Хејворту (Heyworth, 1998) у предметима као што су физика и хемија, проблеми који се решавају у једном или два корака су прости проблеми. За разлику од њих, композитни (сложени) проблеми су они који се састоје од више мањих повезаних подпроблема и чије се процедуре решавања реализују у више корака. Ли и Хејворт (Lee и Heyworth, 2000) сматрају да се комплексност проблемског задатка може проценити најмањим бројем корака које је потребно учинити да се дође до тачног решења. Међутим, решавање проблема кроз мали број корака је карактеристика експерата, који користе стратегију „рад унапред”

Развој методе за процену комплексности стехиометријских проблема

да би дошли до нумеричког решења проблема (Heuworth, 1999). За разлику од експерата, почетници повезују податке из текста задатка са формулама покушавајући да дођу до нумеричког решења проблема (Heuworth, 1999). Због доменског знања, наставници (експерти) врло често у току наставе интегришу више корака у један, да би решили композитне проблеме. При томе не сагледавају чињеницу да је примењена „пречица” врло често за ученике збуњујућа и нејасна (Bunce et al., 1991; Kalyuga, 2008). Ученици (почетници) у некој области често користе процедуре „корак по корак”. Понекад ученици трагају за решењем користећи стратегију „покушаја и погрешака” и насумице бирају тачна решења, а проверавају његову тачност (Kalyuga, 2008).

Браун (Brown, 2006) је валидност процене комплексности проблема бројем корака, потребних за њихово решавање проверавао и потврдио на аритметичким проблемским задацима анализом постигнућа ученика.

Карактеристика комплексних проблема је да изазивају високо когнитивно оптерећење код ученика и да је њихово успешно решавање могуће уколико су инструкције у складу са нивоом когнитивног развоја ученика, односно у складу са шемама формираним у дугорочној меморији (Kester et al., 2010).

2.4.1.2. Когнитивна комплексност проблема

Један од кључних фактора који утиче на способност идентификације битних веза унутар сложеног проблема и његово решавање је когнитивна комплексност. Концепт когнитивне комплексности је изведен из Теорије личних конструката Џорџа Келија (Kelly, 1955). По овој теорији појединци се посматрају као научници и у стању су да разумеју, предвиде и контролишу догађаје, градећи своје сопствене системе личних конструката и користећи их као „когнитивне обрасце“ да разумеју свет. Конструкти су систематски организовани тако да појединац може да закључује и предвиђа у датој ситуацији (Kelly, 1955; O'Keefe i Sypher, 1981).

Појам когнитивне комплексности као димензије личности је увео Биери (Bieri, 1955). Као димензија личности, когнитивна комплексност се може дефинисати и као способност конструисања социјалног понашања на мултидимензионални начин. Према Биериу когнитивна комплексност одражава висок степен диференцијације система конструката које појединци користе, у извођењу закључака. Когнитивну комплексност чини велики број чинилаца који су хијерархијски уређени и умрежени. Биери (Bieri, 1955) истиче разлику између когнитивне комплексности и когнитивне једноставности, које се уобичајено упоредо разматрају. Когнитивно једноставне индивидуе одбацују све информације које су неконзистентне, док су когнитивно комплексне индивидуе у стању да укључе и неконзистентне информације у процену проблемске ситуације. Когнитивно комплексне индивидуе боље предвиђају понашање других и боље уочавају разлике између себе и других.

Когнитивна комплексност је описана као способност да се диференцирају и интегришу чињенице (Bieri, 1955; Schroder et al., 1967 цитирано у Davidson, 1996). Диференцијација се односи на начине на које се информације анализирају и расподељују, укључујући и број различитих димензија и дубину анализе у свакој од њих. По Биериу конструкти представљају диференцијалну перцепцију, односно дискриминацију околине (Bieri, 1955). Због тога ће већи степен дискриминације међу конструктима омогућити већу моћ предвиђања за појединца. Особа која није развила финију дискриминацију унутар својих перцепција других особа и појава, има и мању способност реалног тумачења поступака других особа, предвиђања њиховог понашања, или предвиђања начина на који ће се одигравати неки догађај. Левентал и Сингер (Leventhal и Singer, 1964) сматрају да когнитивна комплексност доприноси разликама у перформансама услед диференцијалне осетљивости на одређене садржаје информација. Когнитивно једноставан састав личности је онај који се одликује ниским нивоом степена диференцијације у перцепцији околине. Мајо и Крокет (Mauro и Crockett,

Развој методе за процену комплексности стехиометријских проблема

1964) наводе да когнитивно једноставније и когнитивно комплексније индивидуе на различите начине користе неконзистентне информације. Интеграција се односи на рекомбинацију димензија различитих јединица информација, укључујући број употребљених димензија и процењени значај сваке димензије (Davidson, 1996). Иако се когнитивна комплексност користи да индексира степене диференцијације и интеграције унутар когнитивног система (Burluson и Carlan, 1998), теорије и истраживања се углавном фокусирају на диференцијацију.

Главне карактеристике појединца које утичу на когнитивну комплексност проблема су интересовања, способности и перцепција тежине проблема (Flood и Carson, 1988) и то је субјективна комплексност. Али, когнитивна комплексност се може односити и на сам проблем и тада је реч о објективној когнитивној комплексности. Објективна когнитивна комплексност се често назива и структурна комплексност (Flood and Carson, 1988).

2.4.1.2.1. Субјективна когнитивна комплексност

Субјективна когнитивна комплексност представља способност појединца да се бави вешезначностима информација у току њиховог когнитивног процесирања (Hurt, 1994). Амерник и Бичи истичу да је способност управљања сложеним и неструктурираним материјалима кључна карактеристика субјективне когнитивне комплексности (Amernic и Beechey, 1984). То значи да личност, коју одликује висока субјективна когнитивна комплексност, може да сагледа све доступне информације и изабере оне делове који су потребни за решење датог проблема. Субјективна когнитивна комплексност се односи на две карактеристике когнитивног система: број информација узетих у обзир приликом доношења одлуке (степен диференцијације) и обрасци понашања који се користе за комбиновање информација при доношењу одлуке (степен интеграције).

Да би се проценио ниво когнитивне комплексности личности, развијени су различити поступци који се уобичајено називају мерења концептуалног нивоа личности. Према Ханту (Hunt, 1971 цитирано у Amernic и Beechey, 1984) личности се могу разврстати у оне које одликује конкретно мишљење и оне које одликује апстрактно мишљење. Личност за коју је својствено конкретно мишљење је једнозначна и категорична и решава проблем по устаљеном обрасцу. Личност коју одликује апстрактно мишљење је способна да искористи алтернативне интерактивне процесе и може да се снађе у новонасталим проблемским ситуацијама.

Мерење субјективне когнитивне комплексности заснива се на праћењу когнитивних процеса испитаника у току решавања проблема (Hurt, 1994). Анализом процеса решавања проблема појединца не могу се добити прецизни подаци о нивоима когнитивне комплексности проблема. Ипак, истраживање образаца понашања у току решавања проблема може се користити за димензионисање когнитивне комплексности. При томе треба имати у виду да експерти у одређеним доменима поседују високо развијене вештине за решавање проблема, односно да могу да пронађу релевантне информације у веома сложеном окружењу и интегришу их на веома сложене начине (Amernic и Beechu, 1984).

Дејвидсон (Davidson, 1996) класификује личности на основу нивоа когнитивне комплексности у три категорије. Прву категорију одликује конкретно мишљење, доношење импулсивних одлука и површност (личности ниске когнитивне комплексности). Другу категорију (личности средњег нивоа когнитивне комплексности) одликује поштовање правила, зависност од ауторитета и категоричност у мишљењу. Трећу категорију (личности са високом когнитивном комплексношћу) одликује примена различитих метода за прикупљање информација, истраживање и преиспитивање образаца понашања. Ове личности су самопоуздане, могу да процесирају велике количине информација и способне су да реше сложене проблеме на више начина, користећи аналогиије и комбинаторна образложења.

2.4.1.2.2. Објективна когнитивна комплексност

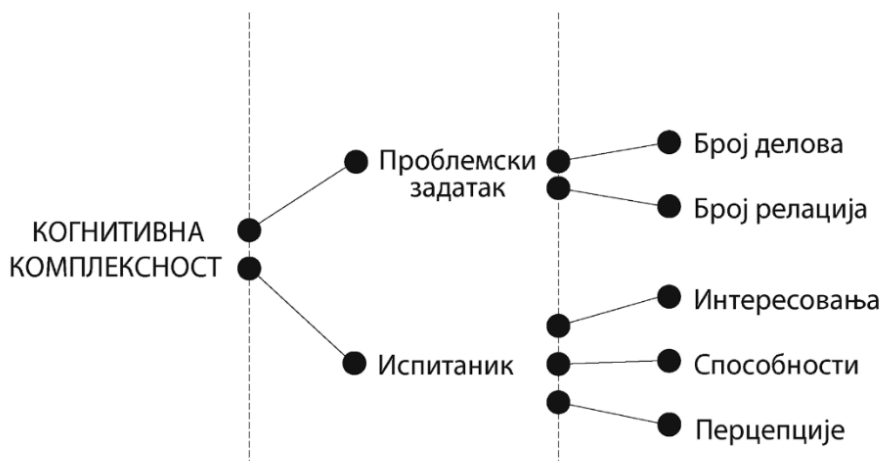
Кембел и Гингрич (Campbell и Gingrich, 1986) су дефинисали објективну когнитивну комплексност проблема као систем више међусобно повезаних елемената у интеракцији, који постављају високе когнитивне захтеве према испитанику. Иако се овде помиње интеракција појединац-проблем, захтеви за когнитивним ресурсима потичу од карактеристика проблема, а не од карактеристика личности. Свака објективна карактеристика проблема која повећава оптерећење информацијама, као и разноликост информација, доприноси когнитивној комплексности проблема. Међутим, ако у проблему за дати обим информација постоји више начина да се дође до тачног решења, когнитивна комплексност проблема се снижава (Campbell, 1988).

Проблеми који захтевају меморисање и понављање чињеница су когнитивно једноставнији од проблема који захтевају објашњавање чињеница (Campbell, 1988; Oosterhof et al., 2008). Такође, проблеми који се могу решити извршењем само једне операције су мање когнитивно комплексни од оних који захтевају више операција, нарочито ако је потребно извршити више операција истовремено. Когнитивна комплексност не мора бити директно повезана са тежином проблема (Campbell, 1988; Oosterhof et al., 2008), иако су проблеми високе комплексности најчешће тешки. Неки проблеми, иако имају низак ниво когнитивне комплексности - садрже познавање само једног концепта - могу да буду различите тежине. На пример, задаци израчунавања растворљивости гвожђе(II)-сулфида и гвожђе(III)-сулфида имају исту когнитивну комплексност јер садрже по један концепт (производ растворљивости), али је пример гвожђе(III)-сулфида тежи због сложености израчунавања. Карактеристике проблема одређују његову објективну когнитивну комплексност. Ли и Белкин (Li и Belkin, 2010) сматрају да је објективна когнитивна комплексност проблема условљена бројем заступљених подпроблема у њему.

Према Халфорду и др. (Halford et al., 1998) когнитивна комплексност је условљена бројем релација међу ентитетима у проблему, а не бројем или количинама информација које се процесирају. Проблем је комплекснији уколико се повећава број ентитета који су у интеракцији. Когнитивна комплексност проблема намеће ментални напор радној меморији и ангажује значајне когнитивне ресурсе. Због тога је неопходна егзактна процена објективне когнитивне комплексности.

2.4.1.3. Когнитивна комплексност проблемских задатака

Когнитивна комплексност проблемског задатка је сложени конструкт кога чине објективна комплексност и тежина задатка (Kalyuga, 2010; van Gog et al., 2011). Структура когнитивне комплексности проблемског задатка приказана је на слици 2.



Слика 2. Когнитивна комплексност проблемских задатака (прилагођено из Flood и Carson, 1988)

Мера тежине проблемског задатка је ментални напор испитаника (Paas, 1992; Paas и van Merriënboer, 1994). Субјективне мере менталног напора су повезане са ученичком перцепцијом тежине задатка (Sweller et al., 2011). Процена уложеног менталног напора мери се субјективном техником применом Ликертове скале. Ова техника се заснива на претпоставци да су испитаници у стању да сагледају сопствене когнитивне процесе и да процене количину уложеног менталног напора, односно тежину задатка.

Ученик који је претходно успешно савладао наставне садржаје лако може остварити високо постигнуће без високог менталног напора (Van Gog и Paas, 2008). Успешни ученици, процес решавања проблемског задатка чувају као шему у дугорочној меморији, па због аутоматизације шема улажу мањи ментални напор у његово решавање. При решавању проблемских задатака са високим нивоом објективне когнитивне комплексности уочене су разлике у постигнућима и процени уложеног менталног напора између успешнијих и мање успешних

Развој методе за процену комплексности стехиометријских проблема

ученика (Kim et al., 2014). При томе је утврђено да успешнији ученици имају значајно боља постигнућа од мање успешних и да их процењују лакшим. У задацима са ниском објективном когнитивном комплексношћу постигнуће и процена тежине успешнијих и мање успешних ученика биле су сличне.

Ли и Хејворт (Lee и Heyworth, 2000) су закључили да објективна когнитивна комплексност грубо одговара ученичкој процени тежине проблемског задатка. Когнитивна комплексност проблемског задатка зависи од садржаја, структуре и количине знања потребних за његово решавање. Варирањем концепата заступљених у проблемском задатку мења се његова когнитивна комплексност. Манипулација когнитивном комплексношћу при конструкцији проблемских задатака користи се за процену ученичког постигнућа, или процену способности за решавање проблема код ученика (Embretson и Daniel, 2008; Schroeder et al, 2012). Као важан аспект процене ученичког постигнућа, процена когнитивне комплексности нашла је примену у валидацији проблемских задатака на многим стандардизованим тестовима знања (Embretson и Daniel, 2008). Тако је Департман за образовање из Флориде (2012, <http://www.fldoe.org/core/fileparse.php/3/urlt/cognitivecomplexity.pdf>) развио методологију за процену стандардизованих тестова из математике на основу процене когнитивне комплексности и тежине задатака. Когнитивна комплексност проблемских задатака дефинише се у три нивоа: ниска, средња и висока когнитивна комплексност. Задаци ниске когнитивне комплексности су они који од ученика захтевају успешну примену претходно научених концепата и принципа. У овим задацима се прецизно истиче шта ученик треба да уради, тако да их ученици најчешће решавају механички у једном кораку, што се често своди на рутинску процедуру. У задацима средњег нивоа когнитивне комплексности ученик треба да образложи решење и објасни ток решавања проблема. При томе ученици користе различите стратегије за решавање проблема. Овакви проблемски задаци захтевају флексибилност мишљења и најчешће се решавају у више корака. Задаци високог нивоа когнитивне комплексности намећу високе захтеве радној меморији испитаника. Од ученика се захтевају апстрактна образложења, планирање, анализа и процена проблемске ситуације.

Тежина проблемских задатака се процењује на основу ученичких постигнућа на следећи начин:

- задаци код којих је постигнуће ученика преко 70% се сматрају лаким,
- задаци код којих је постигнуће ученика између 40% и 70% се сматрају задацима умерене тежине, и
- задаци где је постигнуће ученика мање од 40% се сматрају тешким.

Проблемски задаци са различитом когнитивном комплексношћу најчешће се конструишу на основу личне перцепције комплексности дизајнера задатка. Квалитативни помак у процени когнитивне комплексности проблемских задатака, којима се избегава субјективност дизајнера, представљају Рубрике за рејтинг когнитивне комплексности проблемских задатака. Додељивање нумеричке вредности когнитивне комплексности заснива се на адитивности рејтинга тежине концепата заступљених у проблемском задатку и фактора интерактивности међу њима. До сада су развијене само Рубрике за процену когнитивне комплексности проблемских задатака у настави хемије (Knaus et al., 2011; Raker et al., 2013).

2.4.1.4 Рубрике за рејтинг когнитивне комплексности

Развијене су различите рубрике за процену когнитивне комплексности проблемских задатака у настави хемије (Knaus et al., 2011; Raker et al., 2013). Ове рубрике су се показале као успешни алати за процену когнитивне комплексности на проблемским задацима опште и органске хемије. Израчуната когнитивна комплексност у оба случаја високо корелира са ученичким постигнућем. Развијене рубрике се заснивају на Теорији комплексности (Pirpenger, 1978; Goldreich, 2008) - којом се може објаснити систем са више повезаних делова и на конструкту интристичког когнитивног оптерећења из Теорије когнитивног оптерећења (Sweller, 1988) – у процени интерактивности међу њима.

Интерактивност међу концептима може се објаснити на примеру номенклатуре неорганских једињења. Када се уче симболи хемијских елемената калијума, мангана и кисеоника, интерактивност међу њима је нула, јер сваки од ових симбола елемената може да буде научен појединачно. Када се уче формуле једињења као што су калијум-манганат (K_2MnO_4) или калијум-перманганат ($KMnO_4$) симболи елемената се морају посматрати истовремено уз уважавање оксидационих бројева и набоја јона како би се задовољила електронеутралност молекула. Сада се међу њима јавља интерактивност која се одражава на когнитивну комплексност. То значи да учење није тешко само због броја информација које је потребно научити, већ и због интеракција које међу њима постоје (Volkan, 2015). Уколико је број интеракција већи биће већа и когнитивна комплексност.

Прва Рубрика за развој когнитивне комплексности проблемских задатака у настави хемије развијена је од стране Кнаус и др. 2011. године (Knaus et al., 2011). Рубрика (табела 1) је примењена на стандардизованом тесту Америчког хемијског друштва за припремне и практичне испите опште хемије. Коришћење

Развој методе за процену комплексности стехиометријских проблема

Рубрике обезбеђује једноставан поступак да се квантификују когнитивни захтеви проблема. Валидност инструмента је потврђена на два различита начина, као:

- статистички значајна корелација ($r=0,50 - 0,52$) између експертски засноване процене когнитивне комплексности и постигнућа ученика, и
- статистички значајна корелација ($r=0,65$) између експертске процене когнитивне комплексности и ученичке процене менталног напора.

Да би одредили когнитивну комплексност задатка, експерти процењују број концепата потребних за његово решавање. Уз то, процењују и тежину сваког концепта за ученике као: лак, средње тежак и тежак. Пошто се евидентирају сви концепти потребни да се реши задатак, применом Рубрике одређује се рејтинг тежине задатка.

Табела 1. Рубрика за рејтинг когнитивне комплексности (прилагођено из Knaus et al., 2011)

| Нумерички рејтинг | Тежина концепта и вештина потребних за савладавање задатка | | |
|--------------------------|--|------------------------------------|-------|
| | Лак | Средње тежак | Тежак |
| 1 | 1 | | |
| 2 | 2 | 1 | |
| 3 | 3-4 | 2 | |
| 4 | 5-6 | 3-4 | 1 |
| 5 | | 5-6 | 2 |
| 6 | | | 3-4 |
| 7 | | | 5-6 |
| Вредност интерактивности | | Интерактивност концепата и вештина | |
| 0 | | Безначајна | |
| 1 | | Основна | |
| 2 | | Сложена | |

Тако на пример, уколико су у задатку заступљена четири лака концепта, задатак добија нумерички рејтинг тежине 4. Исти рејтинг тежине је и уколико су у задатку заступљена три концепта средње тежине, или пак један тежак концепт. Након одређивања рејтинга тежине концепата, израчунава се интерактивност. Интерактивност повећава когнитивну комплексност задатка онда када ученици морају да користе међузависност компоненти да би решили задатак. Интерактивност се процењује као безначајна, основна и сложена и додељује јој се нумеричка вредност 0, 1, или 2, респективно. У задацима који садрже до два концепта, интерактивност је безначајна. Рејтинг когнитивне комплексности оваквог задатка једнак је рејтингу тежине. У случају када су у задатку заступљена три концепта, интерактивност се процењује као основна, а у задацима са више од 3 концепта интерактивност је сложена. Сабирањем вредности рејтинга тежине концепата и интерактивности израчунава се рејтинг когнитивне комплексности задатка. Израчунавање рејтинга когнитивне комплексности применом Рубрике за рејтинг когнитивне комплексности приказано је у следећем примеру (Klaus et al., 2011):

Пример задатка:

У природи постоје два изотопа бакра : бакар-63 и бакар-65. Која тврдња је тачна:

1. бакар-63 је у природи заступљенији од бакра-65;
2. бакар-65 је у природи заступљенији од бакра-63;
3. оба изотопа су подједнако заступљена у природи;
4. заступљеност изотопа у природи се не може одредити.

Овај задатак садржи три различита концепта (дефиниција изотопа, заступљеност изотопа у природи и концептуално разумевање релативне атомске масе). Пошто су ово три лака концепта нумерички рејтинг тежине концепата је 3. Ученик мора користити Периодни систем елемената да би дошао до податка о релативној атомској маси бакра и на основу релативне атомске масе (63,54) проценио који је изотоп бакра је заступљенији (бакар-63). Због тога интерактивност добија нумеричку вредност 1, а цео задатак рејтинг когнитивне комплексности 4.

Развој методе за процену комплексности стехиометријских проблема

Рејкер и др. су креирали Рубрику за процену рејтинга когнитивне комплексности за проблемске задатке органске хемије (Raker et al., 2013). Ова Рубрика (табела 2) је модификација рубрике коју су креирали Кнаус и др. (Кнаус et al., 2011).

Модификација је условљена променом домена и типом задатака који се најчешће користи (задаци вишеструког избора). Прва корекција се односи на број концепата који одређује нумерички рејтинг тежине. У Рубрици Кнаус и др. (Кнаус et al., 2011) нумерички рејтинг може да се одређује и интервалски. У Рубрици Рејкера и др. (Raker et al., 2013) нумерички рејтинг је стриктно одређен. Према првој рубрици, задатку који садржи три или четири лака концепта додељује се нумерички рејтинг тежине 3, а према другој рубрици, исти рејтинг 3 додељује се задатку који има само три лака концепта, док се задатку који садржи четири лака концепта додељује нумерички рејтинг тежине 4. Друга корекција се односи на процену интерактивности. Сугестија експерата из органске хемије била је да у овом домену нема задатака без интерактивности. Због тога се уместо интерактивности уводи фактор амплификације. Фактор амплификације статистички је провераван као мултипликативан и као адитиван и утврђено је да је адитиван. Фактор амплификације одређен је нумеричком вредношћу 1, 2 или 3. Трећа корекција се односи на фактор који је условљен дистракторима у задацима вишеструког избора. Значај дистрактора рангиран је на основу претпоставке да је евалуација проблемског задатка когнитивно захтевнија од избора одговора елиминацијом дистрактора. Фактор дистрактора је такође адитиван и има вредност 0 за задатке који се решавају директним препознавањем. Вредност 1 имају задаци који се решавају елиминацијом дистрактора, а вредност 2 задаци који подразумевају евалуацију одговора.

Табела 2. Рубрика за рејтинг когнитивне комплексности проблема из органске хемије (прилагођено из Raker et al., 2013)

| Нумерички рејтинг | Тежина концепта и вештина потребних за савладавање задатка | | |
|------------------------|---|-------------------------|-------|
| | Лак | Средње тежак | Тежак |
| 1 | 1 | | |
| 2 | 2 | 1 | |
| 3 | 3 | 2 | |
| 4 | 4 | 3 | 1 |
| 5 | 5 | 4 | 2 |
| 6 | 6 | 5 | 3 |
| 7 | 7 | 6 | 4 |
| Вредност амплификације | | Фактор амплификације | |
| 1 | | Лак | |
| 2 | | Средње тежине | |
| 3 | | Тежак | |
| Вредност дистрактора | | Улога дистрактора | |
| 0 | | Селекција | |
| 1 | | Елиминација | |
| 2 | | Евалуација | |

Развој методе за процену комплексности стехиометријских проблема

Израчунавање рејтинга когнитивне комплексности проблема из органске хемије приказано је на следећем примеру (Raker et al., 2013):

Пример задатка:

Које је од следећих једињења ароматично?

1. циклобутадиен;
2. циклопропен;
3. фуран;
4. 1,3-Бутадиен.

Први корак у решавању овог проблема је одређивање концепата потребних за решавање проблемског задатка и процена њихове тежине. У овом задатку заступљени су следећи концепти: дефиниција ароматичних једињења - лак; одређивање да ли у цикличној структури постоји коњуговани систем π -електрона (средње тежине) и одређивање да ли број π -електрона задовољава Хикелово правило ароматичности (средње тежине). У следећем кораку процењује се вредност фактора амплификације. Пошто су ова три подпроблема основа за одређивање ароматичности једињења, фактор амплификације се процењује лаким. Након процене фактора амплификације, одређује се вредност дистрактора. На основу дефиниције ароматичности, елиминацијом се лако одбацују нетачни одговори (циклобутадиен, циклопропен и 1,3-бутадиен). У последњем кораку се коришћењем Рубрике одређује нумерички рејтинг когнитивне комплексности проблема који је приказан у табели 3.

Табела 3. Израчунавање рејтинга когнитивне комплексности задатака из органске хемије (прилагођено из Raker et al., 2013)

| Тежина концепта | Број | Нумерички рејтинг |
|---|------|-------------------|
| Лак | 1 | 1 |
| Средње тежине | 2 | 3 |
| Фактор амплификације (лак) | | 1 |
| Улога дистрактора (елиминација) | | 1 |
| Укупан рејтинг когнитивне комплексности: | | 6 |

Значајан допринос Рубрика за процену рејтинга когнитивне комплексности је развој методологије за формално представљање очекиваних структура знања у одређеном домену. Логички и структурно организовани хемијски концепти воде успешнијем учењу (Ausubel et al., 1978 цитирано у Solaz-Portolés и López, 2007). Структуре знања садрже кохерентне менталне репрезентације знања. Према Мејеру (Mayer, 2001 цитирано у Eysink и De Jong, 2012) ученици приликом учења прво бирају и организују релевантне аспекте представљеног наставног материјала у репрезентације, а након тога их повезују са другим информацијама и предзнањима. Успешност ученика у процесу решавања проблема непосредно је повезана са структуром знања у дугорочној меморији (de Jong и Ferguson-Hessler, 1986). Одређивање структуре знања веома је важно за процену стања знања у датој области, као и за креирање инструкција које могу водити оптимизацији развоја структуре знања (Nakiboglu, 2008). За описивање структура знања и њихових промена у току процеса учења, користе се различите технике. Међу њима треба истаћи: тестове асоцијација - *WAT* (Deese, 1965 цитирано у Nakiboglu, 2008), концептне мапе (Novak et al. 1983) и технике структурне анализе - *ConSAT* (Gorodetsky и Hoz, 1985).

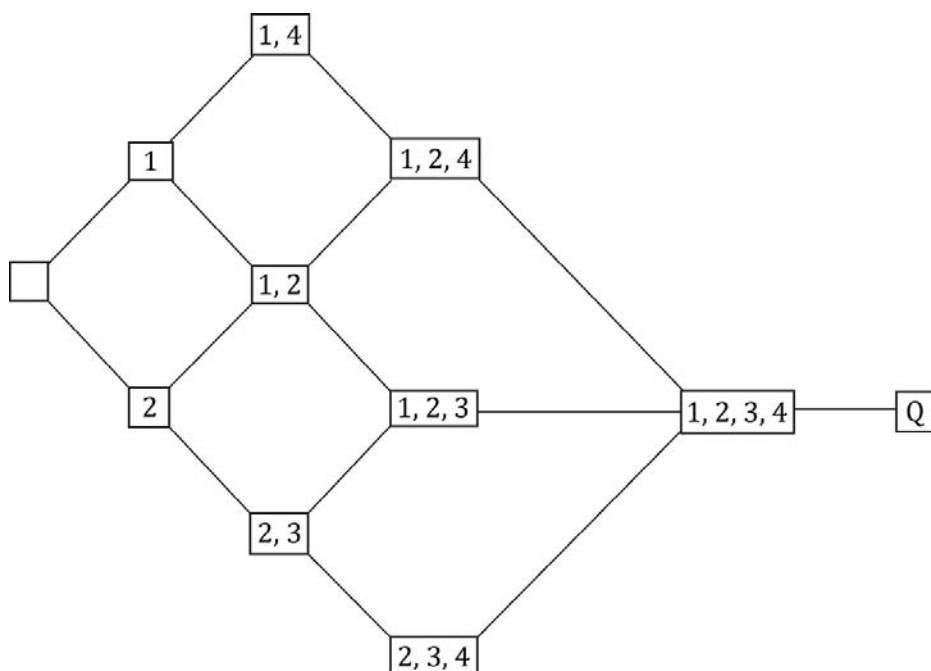
Значајан помак у развоју техника репрезентација и праћења развоја структура знања представља рад Доињона и Фалмања (Doignon и Falmagne, 1985). Они су развили егзактне математичке технике које омогућавају ефикасну процену структуре знања ученика са могућношћу пажљивог праћења напредовања и тешкоћа у учењу, и идентификацију мисконцепција код ученика. Ове математичке технике биле су основа за развој Теорије простора знања (*KST*).

2.5. Теорија простора знања

Теорија простора знања (енг. *Knowledge Space Theory, KST*) је математички формализам који омогућује представљање ученичког знања и редослед стицања знања, односно структуру ученичког знања. Према KST знање се репрезентује сетом фино гранулисаних проблема који чине домен. Скуп проблема које ученик може да реши у датом тренутку назива се стање знања (Doignon и Falmagne, 1999). Оно је детерминисано колекцијом концепата, вештина, чињеница, или метода решавања проблема које је ученик савладао, и које представљају његове компетенције у датом домену у тренутку испитивања, не узимајући у обзир случајне грешке и погађања на „срећу“ (Falmagne и Doble, 2013). Скуп свих могућих стања знања је структура знања.

С обзиром на то да KST претпоставља да ученик не може делимично да реши дати проблем, односно или може да га реши у потпуности, или га не може решити, сваки проблем из домена у стању знања је окарактерисан као тачан (1), или као нетачан (0). Сходно томе потенцијални број стања знања у домену са n проблема је 2^n . На пример, на тесту са пет проблемских задатака структуру знања може чинити 2^5 стања знања, што је укупно 32 стања знања. Пример структуре знања за домен на тесту са пет проблемских задатака је: $K = \{ \{\}, \{1\}, \{2\}, \{1,2\}, \{1,4\}, \{2,3\}, \{1,2,3\}, \{1,2,4\}, \{2,3,4\}, \{1,2,3,4\}, \{1,2,3,4,5\} \}$.

Према овој структури знања могуће је да је ученик у таквом стању знања да може да реши задатке 2 и 3, и да не може да реши задатке 1, 4 и 5, али је немогуће да ученик може да реши задатак 5, а да при томе не може да реши задатке 1, 2, 3, и 4. Решавање задатка број 5 захтева способност да се реше задаци 1, 2, 3 и 4, односно може се рећи да задатак 5 укључује ове задатке. Графички се такво укључивање може представити као што је приказано сликом 3. На овој слици структура знања приказана је графом. Сваки чвор графа представља једно стање знања. Чворови су тако организовани да онај који је са десне стране везе у графу укључује чвор са леве стране.



Слика 3. Структура знања (прилагођено из Doignon и Falmagne, 1999)

Ако имамо два стања знања K и K' , K ће се налазити са леве стране везе у графу, а K' са десне, ако и само ако је $K \subset K'$ (K је прави подскуп скупа K') и при томе не постоји ни једно K'' такво да је $K \subset K'' \subset K'$ (Doignon и Falmagne, 1999).

Структура знања κ дефинисана за домен Q назива се простор знања ако и само ако, задовољава следећа три услова (Falmagne 1989; Albert и Kaluscha 1997):

- садржи празно стање знања $\{\}$ - У овом стању знања ученик не може да реши нити један проблем из домена. Такав ученик тек почиње да учи посматрани домен.
- садржи све проблеме из домена као стање знања. У овом стању знања ученик може да реши све проблеме које домен обухвата, односно ученик је у потпуности савладао домен, и
- структура знања је затворена U-затворена. Уколико у структури знања постоје стања знања K и K' , онда постоји и стање знања $K \cup K'$.

Према услову 3. ако постоји ученик са стањем знања $K1$, и ученик са стањем знања $K2$, и ако они раде заједно при чему уче један од другог, постоји могућност да ће достићи стање знања $K1 \cup K2$ (Falmagne и Doble, 2013).

Развој методе за процену комплексности стехиометријских проблема

Пошто структура знања из посматраног примера са слике 3 задовољава сва три услова може се сматрати простором знања.

Може се уочити да простор знања дефинише динамику стицања знања у домену. У простору знања из примера са слике 3 могуће је да ученик иницијално није савладао ни један проблем, па да је савладао проблем 1, па проблем 2, па 4, па 3, и на крају проблем 5. Тиме је одређен један могући пут учења ($1 \rightarrow 2 \rightarrow 4 \rightarrow 3 \rightarrow 5$). Најдужи пут у графу простора знања који почиње \emptyset стање и завршава се Q стањем знања, гледано слева на десно, при чему су стања знања уређена по укључивању, назива се пут учења (Falmagne и Lakshminarayan, 1994).

Свако стање знања у простору знања има одређену вероватноћу појављивања. Пут учења који обухвата највероватнија стања знања назива се критични пут учења и може се сматрати да ће произвољни ученик највероватније стицати знања управо редоследом који дефинише критични пут учења. За разлику од критичног пута учења, експертски пут учења представља хипотетичку секвенцу задатака којом се обезбеђује најефикасније учење на основу експертске процене која обухвата: процену способности (дефинисање когнитивних елемената потребних за решавање проблема), анализу задатака (рашчлањивање задатака на компоненте - опис карактеристика проблема), и процену тежине проблема (Albert и Lukas, 1999).

Савладавањем проблема ученик прелази у више стање знања (Cosyn et al., 2013). Пут учења у ком се претходно стање знања разликује од наредног за тачно један проблем, тј.:

$$K \subset K', \text{ односно } |K'| = |K| + 1$$

се назива градација, а за простор знања се тада каже да је добро градиран (Falmagne и Lakshminarayan, 1994). Тако пут учења који смо анализирали има форму:

$$\emptyset \subset \{1\} \subset \{1,2\} \subset \{1,2,4\} \subset \{1,2,3,4\} \subset Q$$

У добро градираним просторима знања ученик савладава један по један проблем. Сходно томе, у оваквим просторима знања за свако стање знања K може се одредити непосредни следбеник (енг. *immediate successor state*) који поред свих проблема који чине стање знања K , укључује још тачно један проблем (Falmagne et al., 2006). На пример, са слике 3, стање знања $\{1,2\}$ има два непосредна следбеника $\{1,2,3\}$ и $\{1,2,4\}$. За стање знања K дефинише се спољни руб (енг. *outer fringe*) као скуп свих проблема који се појављују у непосредним следбеницима, а не постоје у стању знања K . У посматраном примеру проблеми 3 и 4 формирају спољни руб стања знања $\{1,2\}$ и подразумева се да је ученик који је у том стању знања способан да савлада ова два проблема (Falmagne и Doignon, 2011).

Очигледно је да је спољни руб стања знања у добро градираном простору знања скуп таквих проблема да ће ученик који савлада било који од њих, поново бити у конзистентном стању знања (Falmagne и Doble, 2013). Према томе, спољни руб стања знања је од велике важности у процесу учења, јер омогућава да се идентификују проблеми које ученик управо треба да савлада и тиме се управља процесом учења. Тиме спољни руб стања знања можемо посматрати као формалну имплементацију зоне проксималног развоја у светлу Теорије конструктивизма Лава Виготског (Vygotsky, 1978). Један пример овакве интерпретације спољног руба је идентификовање оних ученика који су спремни за одабрану инструкцију (Falmagne и Doble, 2013).

Аналогно спољном рубу може се дефинисати и унутрашњи руб (енг. *inner fringe*). Унутрашњи руб стања знања K је скуп свих проблема, такав да уклањање било ког од тих проблема из стања знања K , ученика преводи у конзистентно стање знања (Falmagne и Doble, 2013). Ако из неког разлога ученик има потешкоће у савладавању проблема из спољног руба стања знања K , разматрање претходних задатака из унутрашњег руба стања знања K , треба узети у обзир (Falmagne et al., 2006).

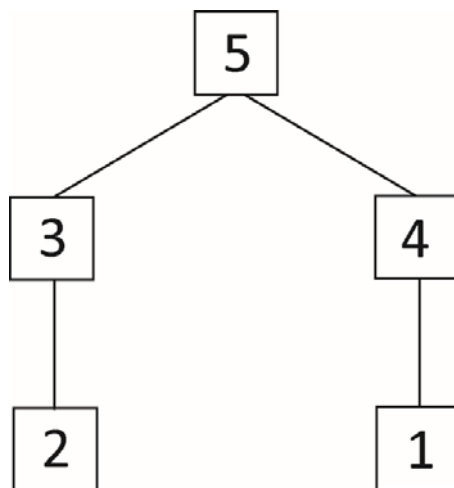
Простори знања могу се репрезентовати доменом (скупом проблема) и релацијом претпостављања (енг. *surmise relation*). Два проблема P и P' су у релацији претпостављања (P, P') уколико из чињенице да ученик може да реши проблем P , засигурно знамо да може да реши и P' (P претпоставља P'). У добро градираним просторима знања релација претпостављања је релација квази поретка, односно та релација је:

- рефлексивна - за сваки проблем P из чињенице да ученик може да реши тај проблем P зна се да ученик може да реши тај проблем P ; и
- транзитивна - за свака три проблема P, P' и P'' из чињенице да P претпоставља P' , и чињенице да P' претпоставља P'' , зна се да P претпоставља P'' .

С обзиром на то да је релација претпостављања релација квази поретка, релација претпостављања дефинише хијерархију проблема у домену у којој су претпостављени проблеми на нижем хијерархијском нивоу у односу на задатке који их претпостављају. Такве хијерархијске структуре најчешће се графички репрезентују Хасеовим дијаграмима.

Слика 4 приказује Хасеов дијаграм простора знања разматраног у претходном примеру (са слике 3). Из овог дијаграма видимо да проблем 4 претпоставља проблем 1, а проблем 3 претпоставља проблем 2. Проблем 5 претпоставља све остале проблеме из домена, односно уколико се зна да је

ученик савладао проблем 5, може се закључити да је савладао и проблеме 1, 2, 3 и 4.



Слика 4. Хасеов дијаграм простора знања

2.5.1. Методе за конструкцију простора знања

У пракси постоји неколико начина да се конструишу простори знања. Према Хокемејеру (Hockemeyer, 1997) ове методе се класификују у:

- методе засноване на испитивању експерата,
- методе засноване на анализи процеса решавања проблема, и
- методе засноване на анализи резултата тестирања.

Развијање метода за конструкцију простора знања испитивањем експерата започело је 1990. Ове методе користе алгоритме за одабир одговарајућих комбинација проблема која се презентују експертима. Експерти процењују валидност ових комбинација проблема и на основу њихових процена конструише се простор знања. Један пример питања које би се могло поставити експертима је: „Уколико је ученик погрешно решио проблем P_1 да ли се засигурно може тврдити да ће погрешити и у решавању проблема P_2 ?“. Највише коришћена овакава метода је *QUERY* алгоритам (Коррен, 1993). Главна предност овакве методе за конструкцију простора знања огледа се у чињеници да се простор знања може конструисати пре тестовског испитивања. Основни недостатак је што је

потребно константно присуство експерата у процесу конструкције простора знања (Segedinac et al., 2010).

Методе за конструкцију простора знања које се заснивају на анализи процеса решавања проблема разматрају декомпозицију проблема у подпроблеме. Један таква метода је идентификација мотива потребних за решавање проблема (Schrepp et al., 1999). Такође простор знања може бити изведен комбинацијом компонената које су садржане у сваком проблему (Albert и Held, 1999). Као и методе засноване на испитивању експерата, ни ове методе не захтевају да тестирање ученика претходи конструкцији простора знања. Додатна предност ових метода огледа се и у томе што могу да буду у извесној мери формализоване (експерти само треба да идентификују скуп мотива за сваки проблем) чиме се смањује ангажовање експерата (Segedinac et al., 2010).

Методе за конструкцију простора знања засноване на анализи резултата тестирања ученичког знања резултују простором знања који је оптималан модел ученичких одговора. Једна таква метода је Индуктивна анализа стабла одговора (енг. *Inductive Item Tree Analysis - ИТА*) (Schrepp, 1999а), која је предложена на основу Ван Леувеове методе Анализе стабла одговора (*Item Tree Analysis - ИТА*) (Van Leeuwe, 1974). Према овој методи идентификују се потенцијалне релације претпостављања за скуп проблема у домену. За сваку од ових потенцијалних релација израчунава се одступање од резултата тестирања ученичког знања као број контрапримера (случајеви у којима би према релацији претпостављања ученик требао тачно да одговори, а одговорио је нетачно, и обрнуто, случајеви у којима је очекиван нетачан одговор, а ученик је тачно одговорио). Релација претпостављања са минималним бројем контрапримера заједно са доменом чини простор знања. Ова метода је развијена уз уважавање чињенице да ће, и када постоји релација претпостављања међу подацима тестирање ученичког знања оно увек бити подложено погађању на срећу и случајним грешкама (Ünlü et al., 2013). Иако захтевају претходно тестирање ученичког знања, овакве методе су посебно погодне из два разлога. Први разлог је то што смањују потребу за ангажовање експерата. Други, значајнији разлог је то што пружају увид у реалну структуру знања за групу ученика, за разлику од претходно анализираних метода за конструкцију простора знања које резултују очекиваним структурама знања.

Хибридне методе конструкције простора знања комбинују наведене приступе. Једну од таквих метода је користио Шреп (Schrepp, 1999б) комбинујући методу анализе процеса решавања проблема и анализе ученичких одговора. Поред побољшања квалитета простора знања хибридне методе пронашле су и друге примене. Тако је комбинација ИТА са методом која користи анализу когнитивне комплексности проблемских задатака коришћена за идентификовање разлика између експертског очекивања ученичких структура

Развој методе за процену комплексности стехиометријских проблема

знања и реалних структура знања ученика, што је резултовало конкретним импликацијама на побољшање курикулума. Други такав пример у коме је ПТА коришћена у комбинацији са методом заснованом на ревидираној Блумовој таксономији је развој формалног приступа организацији образовних циљева у курикулуму (Segedinac et al., 2011).

Спото и др. (Spoto et al., 2010) наглашавају да је KST широко применљив алат у образовању. KST је општи поступак процене и применљива је за евалуацију знања концепата код ученика, укључујући и научне концепте. KST је у основи математички алат и прве примене у образовању очекивале су се у настави математике и природних наука.

Фалмањ и др. (Falmagne et al., 1990) су описали поступак за процену структуре знања ученика применом KST на тесту рачунања са децималним бројевима и разломцима. Исти поступак је коришћен и за конструкцију простора знања у настави алгебре, код решавања линеарних једначина, обрнутих пропорција, множења полинома, планиметрије и друго (Falmagne et al., 2007).

2.5.2. Примена теорије простора знања у истраживањима у настави хемије

Од 1997. године KST се користи и у настави хемије. Тако су Тагепера и др. (Таагерера et al., 1997) применили KST за анализу критичних путева учења за следеће концепте: притисак, густина, физичке и хемијске промене супстанци. Прикупљени подаци обухватају ученичке одговоре пре и после експерименталне наставе у којој су комбиноване четири различите наставне инструкције: предавање уз метафоре, предавање уз видео презентације, демонстрациони експерименти и лабораторијски рад. Просечно ученичко постигнуће на једноставним задацима је било 70%, док је на сложеним ученичко постигнуће било од 30 - 40%. На основу резултата теста са пет задатака вишеструког избора који су обухватили наведене концепте, предложене су највероватније секвенце корака у учењу и потврђена је ефикасност инструкционе стратегије.

Тагепера и Нури (Таагерера и Noori, 2000) су користили KST за евалуацију когнитивне организације знања ученика у простор знања у домену органске хемије, као хијерархијске организације колекције концепата. У овом истраживању коришћен је тест у коме су задаци били уређени у хијерахијски низ према растућој тежини процењеној од стране експерата. Истраживање је показало да је знање ученика засновано на алгоритмима, више него на основним концептима, услед чега ученици имају потешкоће у решавању нових проблема у домену и организовању новостечених знања у шеме знања. У овом раду, као централни концепт према коме су организовани сви концепти нижег реда у органској хемији, идентификован је концепт електронегативности. Грин и Ролник (Green и Rollnick, 2006) наводе да су концепти органске хемије у школским курикулумима и уџбеницима организовани према функционалним групама, или према типу везе, а електронегативност се користи за предвиђање електронске густине, на основу које ученици могу да закључују о физичким својствима и реактивности органских молекула.

Тагепера и др. (Таагерера et al., 2002) су користили KST и за праћење развоја концепта хемијске везе. Анализом простора знања у овом истраживању је утврђено да је већина ученика имала неповезана знања склона заборављању. У овом истраживању је потврђено да потешкоће у разумевању водоничне везе и електронске густине у молекулима који је граде, потичу од нераздевања концепта електронегативности.

Применом KST, Тот и Киш (Tóth и Kiss, 2006) су испитивали разлике у когнитивној структури ученика различитог узраста (13 до 17 година) на основу

Развој методе за процену комплексности стехиометријских проблема

критичних путева учења. Утврђене су мале разлике у когнитивној структури испитаника у наставним темама физичка својства супстанци и хемијски састав супстанци, као и хомогених и хетерогених смеша.

Тот и Лудањи (Tóth и Ludányi, 2007) користили су методу KST и методу феноменологије да би испитали ученичко резонување и промене у њиховим когнитивним структурама. Методом феноменологије одређене су категорије резонувања, а применом KST утврђена је хијерархија међу категоријама. Основне категорије које су идентификоване су честице које изграђују супстанцу, структура атома и модел атома. Уочена је веза само између две категорије и то структуре атома и модела атома. Модел атома помаже ученику да разуме структуру атома и онда када не може да схвати његову физичку величину.

Анализа критичних путева учења представља значајан аспект примене KST. Варик и др. (Vaarik et al., 2008) су примењивали KST за утврђивање разлике у критичним путевима учења између ученика и експерата. Коришћењем двослојног теста у наставној теми структура атома утврђена је разлика у образложењу између ученика и експерата. Експерти су у образложењу увек давали визуализовани приказ модела структуре атома пре симболичког приказа. За разлику од њих ученици су меморисали симболичке репрезентације и приказивали их без разумевања структуре атома.

Даља примена KST у настави хемије била је анализа развијености концепата планарне симетрије, хиралности и изомерије у уводним курсевима органске хемије на основу критичних путева учења (Таагерера et al., 2011). Евалуирана је примена молекулско-орбиталних модела за боље разумевање наведених концепата и утврђено је да ученици немају развијену способност за процену планарне симетрије молекула.

KST омогућује да се процени оптимална секвенца концепата јер дефинише логички конзистентне путеве учења. KST се може користити за емпиријску процену критичних путева учења и секвенци концепата у њима, чиме се развија експертиза код ученика. Такође, помоћу KST се може пратити и динамика којом се та експертиза губи, и у којој мери и на који начин на то утичу наставне инструкције (Граусе, 2013). Тако се могу превазићи недоумице и неусаглашености које постоје међу наставницима, уџбеницима и у курикулумима хемије у погледу секвенционирања концепата. Узрок потешкоћа у учењу стехиометрије је управо то што стехиометријски задаци готово увек садрже велики број хемијских концепата који су међусобно повезани различитим релацијама. Истраживање секвенци учења применом KST у стехиометрији започели су Арасасингам и др. (Arasasingham et al., 2004).

2.5.3. Примена теорије простора знања у истраживању разумевања стехиометрије

Арасасингам и др. (Arasasingham et al., 2004) су користили KST за одређивање способности интеграције триплетног нивоа репрезентације хемијских садржаја, укључујући и графичке репрезентације, у току решавања сета стехиометријских проблема. Они су као алат развили тест којим су проучавали способности ученика да повезују наведене нивое репрезентације. Исти алат користили су и за праћење развоја нивоа концептуалног разумевања, визуализацију и нумеричко решавање стехиометријских проблемских задатака. Аутори су анализом критичних путева учења у овом истраживању указали да размишљања ученика почињу из симболичких репрезентација и воде преко решавања нумеричких проблема, до визуализације проблема. У овом истраживању је потврђено да ученици имају потешкоће у повезивању и разумевању нивоа репрезентације садржаја у стехиометријским проблемима, као и у концептуалном разумевању проблема.

У даљем истраживању Арасасингам и др. (Arasasingham et al., 2005) су KST користили за процену ученичког разумевања стехиометрије. У овом истраживању евалуирана је ефикасност примене програма за учење стехиометрије – *MCWeb*. Овај програм је садржао осам задатака који су били уређени према растућој тежини. Анализом простора знања утврђено је да је учење уз наведени програм условило разлике у простору знања ученика. Простор знања ученика који су учили применом наведеног програма био је знатно сличнији експертском простору знања. На основу анализе критичних путева учења, показано је да се стехиометријски концепти усвајају следећим редоследом: разумевање једначине хемијске реакције на молекуларном нивоу, стехиометријско израчунавање, и израчунавање са лимитирајућим реактантом. И у овом истраживању потврђено је да је визуализација проблема критичан моменат у решавању стехиометријских проблемских задатака.

Тот (Tóth, 2007) је користио KST за испитивање разумевања следећих стехиометријских концепата: густина, масени проценат, моларна маса и моларна запремина. Анализом простора знања код ученика из две различите школе утврђено је да се концепт моларне запремине заснива на концепту моларне масе. У једној групи испитаника није утврђена повезаност ученичког постигнућа у израчунавању запремине гаса са концептима: густина, моларна маса и моларна запремина, док у другој групи то није примећено. То указује на неразумевanje наведених концепата које је вероватно условљено применом различитих наставних метода у ове две школе. Поред тога анализом критичних путева учења

Развој методе за процену комплексности стехиометријских проблема

у обе школе, аутор је одредио концепте спољног руба простора знања – критичне концепте. Као критичне концепте издвојили су масени проценат и моларну запремину.

Тот и Шебешћен (Tóth и Sebestyén, 2009) су користили KST за анализу простора знања ученика који користе различите стратегије решавања стехиометријских проблема. То су биле: стратегија заснована на израчунавању количине супстанце (мол метода), стратегија заснована на увиђању односа пропорционалности (метода пропорција) и решавање проблема без дефинисане стратегије, најчешће комбиновањем ове две стратегије. У овом истраживању утврђене су значајне разлике у просторима знања у зависности од коришћене стратегије. Простор знања ученика који су без стратегије решавали проблеме био је најсличнији експертском простору знања. Такође, код све три групе испитаника је примећено да недостаје концептуално разумевање домена, и решавање стехиометријских проблема најчешће је било засновано на алгоритамским стратегијама. На основу простора знања закључено је да су за решавање комплекснијих проблема, кључне метода пропорција и познавање концепта моларне масе.

KST је могуће користити и за испитивање когнитивне организације и развоја образаца мишљења у току процеса учења. Тагепера и Арасасингам (Taagerera и Arasasingham, 2013) су анализирали простор знања у домену стехиометрије да би утврдили да ли постоји повезаност између хемијских концепата, или простор знања одсликава скуп неповезаних меморисаних чињеница. За ово истраживање конструисан је тест стехиометријских задатака заснован на хијерархијској уређености хемијских концепата (од простијих ка сложенијим). Резултати, прикупљени помоћу Веб алата MCWeb (Arasasingham et al., 2005), указали су на потребу за развој инструкционих стратегија које би подстицале интеграцију ученичких знања у логичку структуру и заснивале се на симултој примени визуелних, нумеричких и симболичких репрезентација стехиометријских концепата.

3. МЕТОДОЛОГИЈА ИСТРАЖИВАЊА

3.1. Проблем истраживања

Хемија представља науку чији се садржаји изучавају на више нивоа репрезентације. Поједини хемијски садржаји су кључни, јер омогућавају да се успоставе правилне корелације са осталим предметима природно-математичког подручја. Једна таква област је стехиометрија која од ученика при решавању проблемских задатака захтева концептуална знања, разумевање основних хемијских концепата (хемијске једначине, номенклатура, оксидо-редукциони процеси, раствори...), и познавање алгоритама – математичке вештине за решавање стехиометријских проблема које помажу ученику да текст проблемског задатака трансформише у потребне процедуралне кораке.

Неразумевање хемијских концепата заступљених у стехиометријском проблему, као и недостатак математичких знања, доприносе томе да ученици ову област сматрају тешком. Поред тога, непопуларност стехиометрије је узрокована комплексношћу стехиометријских проблема који често садрже велики број сложених концепата, односно велики број различитих елемената за процесирање. То може да изазове висок ментални напор код ученика (Sweller, 1988). Да би се ово избегло потребно је развити методе и алате којима би се боље проценила и димензионисала когнитивна комплексност стехиометријских проблемских задатака. На тај начин би наставник, правилним секвенционирањем концепата, омогућио да у току наставног процеса не дође до преоптерећења радне меморије ученика.

Досадашња истраживања су комплексност проблема окарактерисала на два начина. Први начин представља процену комплексности проблема бројем корака потребним за његово решавање (Ginns, 2005 citirano u Mattis, 2014; Mayer, 2005). Други, савременији начин, посматра комплексност кроз мере менталног напора. У том случају она се изражава као когнитивна комплексност и процењује Рубрикама за рејтинг когнитивне комплексности (Knaus et al., 2011; Raker et al., 2013).

Међутим, у литератури не постоје истраживања која пружају информације о валидацији методе за процену когнитивне комплексности стехиометријских проблемских задатака на основу ученичког постигнућа и уложеног менталног

напора, као ни о валидацији методе засноване на примени Теорије простора знања, што је предмет истраживања у овој дисертацији.

3.2. Циљ и задаци истраживања

Циљ овог истраживања је развој и валидација методе за процену когнитивне комплексности стехиометријских проблема. Због тога су специфични задаци овог истраживања следећи:

31: Конструкција и валидација Теста - инструмента којим се мере ученичка постигнућа и процена уложеног менталног напора;

32: Конструкција Табеле за процену тежине и интерактивности концепата заступљених у стехиометријским задацима, и процена когнитивне комплексности задатака применом методе по Кнаус и др. (Knaus et al., 2011);

33: Испитивање валидности примењене методе за процену когнитивне комплексности корелационом анализом односа: ученичко постигнуће-уложени ментални напор, ученичко постигнуће-когнитивна комплексност и уложени ментални напор-когнитивна комплексност;

34: Конструкција очекиваног простора знања на основу експертске процене когнитивне комплексности стехиометријских задатака у коришћеном Тесту;

35: Конструкција реалног простора знања ученика експлоративном анализом постигнућа на Тесту стехиометријских задатака применом кориговане методе ПТА;

36: Утврђивање разлика између очекиваног и реалног простора знања као разлике графова, и

37: Анализа утврђених разлика између очекиваног и реалног простора знања.

3.3. Методе истраживања

У овом докторату ће бити примењене следеће методе: аналитичка метода, статистичка метода, коригована и минимизирана индуктивна анализа стабла одговора (енг. *Corrected and minimized IITA*), и метода разлике графова.

Генетичком анализом проучена су досадашња сазнања о методама за процену комплексности стехиометријских задатака. Она је омогућила развој Табеле за процену тежине и интерактивности у стехиометријским задацима. Методом структуралне анализе анализирани су варијабле овог истраживања: когнитивна комплексност стехиометријских задатака, ученичко постигнуће и уложени ментални напор. Функционалном анализом испитана је међузависност ученичког постигнућа на стехиометријским задацима и уложеног менталног напора, когнитивне комплексности и ученичког постигнућа, као и когнитивне комплексности и уложеног менталног напора.

Статистичка метода је коришћења за обраду добијених резултата. При томе су коришћени следећи статистички пакети: Stat Graphics Centurion XVI, IBM SPSS Statistics 22, Python и Microsoft Office Excel. У првој фази су одређени основни дескриптивни параметри Теста (аритметичка средина, стандардна девијација, максимални и минимални скор и опсег). У другој фази процењене су метријске карактеристике примењеног Теста за мерење постигнућа и уложеног менталног напора (релијабилност, индекс тежине и индекс дискриминативности). Тест је валидиран и регресионом анализом варијабли ученичко постигнуће и уложени ментални напор. Трећа фаза статистичке обраде података обухватила је испитивање корелација између следећих варијабли: ученичког постигнућа и когнитивне комплексности, и уложеног менталног напора и когнитивне комплексности, применом линеарне регресионе анализе.

Коригована и минимизирана индуктивна анализа стабла одговора (ИТА) је коришћена за конструкцију реалног простора знања на основу ученичких постигнућа.

Метода разлике графова је коришћења за идентификацију разлика између очекиваног и реалног простора знања.

3.4. Узорак истраживања

Образовни систем у Републици Србији чине обавезно основно образовање у трајању од осам година, након чега следи средњошколско образовање које ученици уписују на основу својих интересовања и могућности и које траје три или четири године. У седмом и осмом разреду хемија се изучава са фондом од два часа недељно. Фонд часова хемије у средњој школи зависи од одабраног образовног профила.

Узорак овог истраживања чинило је 3 одељења ученика средње медицинске школе „Др Андра Јовановић“ из Шапца, образовни профил фармацеутски техничар. Укупни узорак испитаника био је 82 ученика. Према Наставном плану (Завод за унапређивање образовања и васпитања, 2013) настава хемије у овом образовном профилу реализује се кроз следеће наставне предмете: Хемија (3 часа недељно током првог и другог разреда), Аналитичка хемија (4 часа недељно током другог разреда), Медицинска биохемија (4 часа недељно током трећег разреда), Фармацеутска хемија (3 часа недељно током трећег и четвртог разреда) и Санитарна хемија (2 часа недељно током четвртог разреда).

Ученици који су учествовали у овом истраживању су похађали први, други и трећи разред, и били су узраста 16 – 18 година. Структура испитаника према разредима била је:

- 31 ученик I разреда (37,80%),
- 23 ученика II разреда (28,05%) и
- 28 ученика III разреда (34,15%).

Према оценама из хемије на крају првог разреда гимназије, структура испитаника била је следећа:

- 7,32% испитаника на крају првог разреда из хемије имало је оцену 2 (два),
- 21,95% оцену 3 (три),
- 24,39% оцену 4 (четири) и
- 46,34% оцену 5 (пет).

Испитаници су припадали урбаној популацији, мешовитог социоекономског статуса и својевољно су приступили истраживању. Ученици су

учествовали у анонимном истраживању које је било најављено две недеље раније како би могли да обнове испитивану наставну област – стехиометрију.

3.5. Инструмент истраживања

Као инструмент истраживања коришћен је Тест знања из области стехиометрије. Овим тестом је процењивано:

- ученичко постигнуће на проблемским задацима,
- уложени ментални напор, и
- когнитивна комплексност задатака на тесту.

Време израде Теста (код сва три одељења) је било током три школска часа (један час траје 45 минута). Сви испитаници су током свог школовања обрадили све концепте који су били заступљени у стехиометријским задацима овог Теста.

Тест је садржао 20 стехиометријских проблемских задатака (Прилог 1). На првој страни било је дато упутство за решавање Теста и простор за унос основних података о испитанику, и податке потребне за израду задатака (релативне атомске масе и вредности основних константи). После сваког задатка био је остављен простор за његову израду. Испод простора за израду била је дата скала за самопроцену уложеног менталног напора. Процена уложеног менталног напора мерена је субјективном техником уз примену рејтинг скале, односно Ликертове скале. Ова техника се заснива на претпоставци да су испитаници у стању да сагледају сопствене когнитивне процесе и да процене количину уложеног менталног напора. Након сваког урађеног, или неуррађеног задатка ученици су замољени да изврше процену уложеног менталног напора и то одабиром одговарајуће описне оцене: „изузетно лако“, „веома лако“, „лако“, „ни тешко ни лако“, „тешко“, „веома тешко“ и „изузетно тешко“. Приликом статистичке обраде резултата описним проценама су додељиване нумеричке вредности процене и то: од „изузетно лако“ – нумеричка вредност 1 до „изузетно тешко“ нумеричка вредност 7. Ликертова скала коришћена у овом истраживању приказана је табелом 4.

Табела 4. Седмостепенa Ликертова за процену менталног напора

| | | | | | | |
|-----------------|--------------|-----|-----------------------|-------|----------------|-------------------|
| изузетно лак | веома лак | лак | ни тежак ни лак | тежак | веома тежак | изузетно тежак |
|-----------------|--------------|-----|-----------------------|-------|----------------|-------------------|

Развој методе за процену комплексности стехиометријских проблема

Бодовани су само потпуно тачно урађени задаци, тако да је максимални могући скор на Тесту био 20 бодова. Сви концепти потребни за израду задатака на Тесту обрађивани су у првом разреду образовног профила фармацеутски техничар. Основни концепти су били:

- хемијске једначине,
- стехиометријска израчунавања, и
- смеше.

Поред основних концепата, задаци су укључивали и следеће додатне концепте:

- парцијална редукција нитратног јона,
- израчунавање броја атома из броја молекула,
- различита агрегатна стања супстанци,
- Архимедов закон,
- израчунавање релативне атомске масе из молекулске масе, и
- напонски низ метала.

3.5.1 Валидација теста

Квалитет Теста је оцењен пре-тест и пост-тест гарантима квалитета (Segedinac et al., 2011). Пре-тест гарантима квалитета су одређени од стране експерата чија је ужа научна област Методика наставе хемије (једног универзитетског професора и два асистента) и од стране једног средњошколског професора хемије. Експерти су проценили валидност Теста кроз разноликост задатака, јасноћу захтева, смисленост реченица у задацима. Тест је процењен валидним и на основу усаглашености задатака са важећим курикулумом и препорученим уџбеницима.

Као пост-тест гарантима квалитета Теста одређени су:

- основни статистички параметри Теста (аритметичка средина, стандардна девијација, минимални и максимални скор, и опсег),
- релијабилност (као *Cronbach α* коефицијент),

- индекс тежине сваког задатка, као просечна вредност постигнућа свих ученика по задатку,
- индекс тежине Теста, као просечна вредност индекса тежине задатака на Тесту,
- индекс дискриминативности сваког задатка, као разлика у просечном постигнућу на њему између 27% најуспешнијих и 27% најмање успешних ученика према укупном скору на Тесту, и
- индекс дискриминативности Теста, као просечна вредност индекса дискриминативности свих задатака на Тесту.

Основни статистички параметри Теста за ученичко постигнуће и уложени ментални напор приказани су у табели 5.

Табела 5. Основни статистички параметри Теста

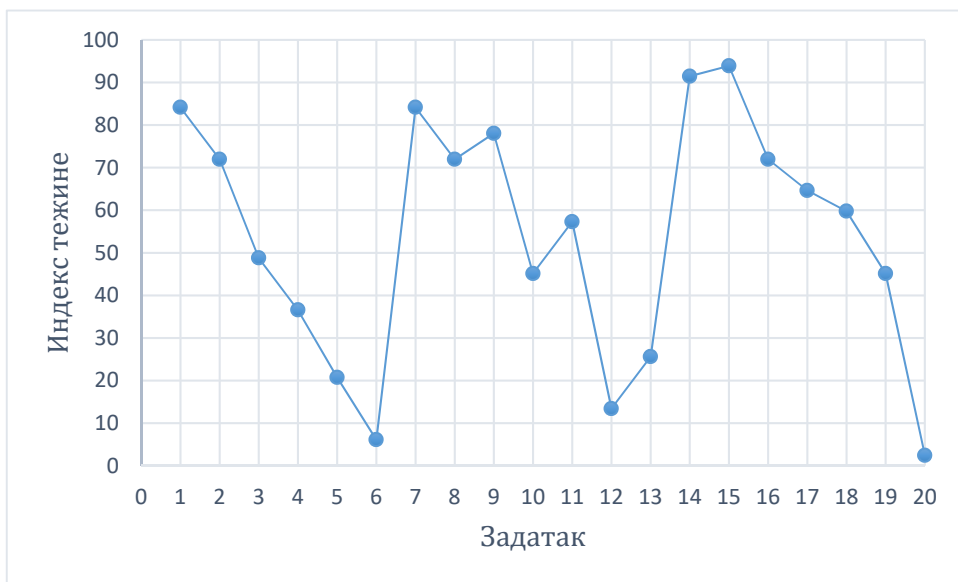
| Параметар | Ученичка постигнућа ¹ (N=82) | Уложени ментални напор ² (N=82) |
|---|--|---|
| Аритметичка средина | 10,73 | 3,87 |
| Стандардна девијација | 4,06 | 0,67 |
| Минимални скор | 0,00 | 1,70 |
| Максимални скор | 20,00 | 5,55 |
| Опсег | 20,00 | 3,85 |
| ¹ Ученичко постигнуће може да варира од 0 то 20 бодова. ² Уложени ментални напор може да варира од 1 до 7 | | |

Релијабилност је одређена као мера унутрашње конзистенције. Кронбах α коефицијент при процени ученичког постигнућа је износио 0,83. Релијабилност Теста при процени уложеног менталног напора износила је 0,92. Обе ове вредности одговарају одличној релијабилности (Nunnally и Bernstein, 1994; Jonsson и Svingby, 2007).

Индекси тежине задатака били су у интервалу од 2,44% до 93,90%. Индекс тежине Теста био је 53,66%, што указује на то да је Тест био умерене тежине. Пет

Развој методе за процену комплексности стехиометријских проблема

задатака на Тесту имало је индекс тежине мањи од 30% (тешки задаци), а осам задатака је имало индекс тежине већи од 70% (лаки задаци) (Townns, 2014). Индекси тежине задатака на Тесту приказани су графички на слици 5.



Слика 5. Приказ индекса тежине по задацима Теста

Индекси дискриминативности задатака су у интервалу од 0,09 до 0,86. Индекс дискриминативности Теста износио је 0,49 и одговара карактеризацији одличан индекс дискриминативности (Townns, 2014). При томе, петнаест задатака је имало одличан индекс дискриминативности (већи од 0,4). Два задатка имају добар индекс дискриминативности (0,3 - 0,39), један задатак има прихватљив индекс дискриминативности (0,2-0,29), док само два задатка имају лош индекс дискриминативности (између 0 и 0,19), па би њих за наредну употребу требало ревидирати (Pande et al. 2013). То су задаци 15 и 20. Индекси дискриминативности задатака на Тесту приказани су графички на слици 6.



Слика 6. Приказ индекса дискриминативности по задацима Теста

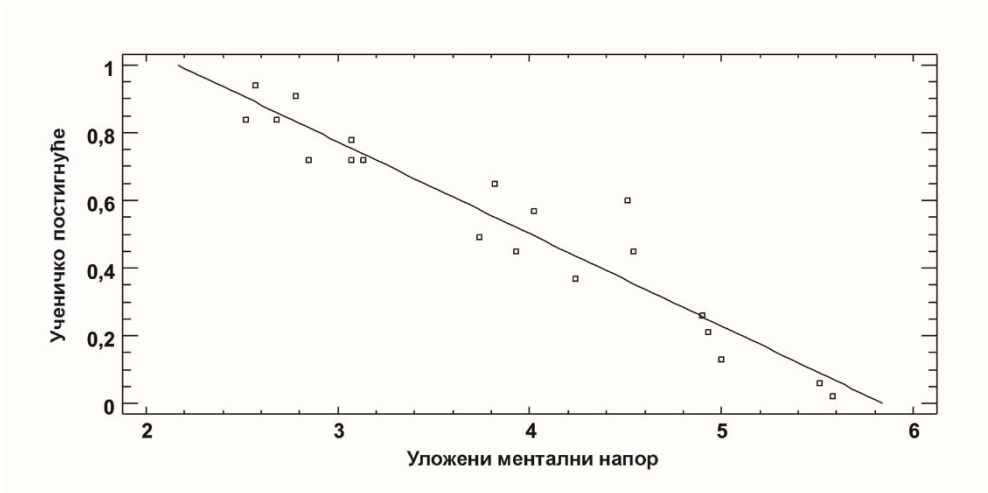
Валидација инструмента извршена је и линеарном регресионом анализом међузависности ученичког постигнућа и уложеног менталног напора. Основни статистички параметри ове анализе приказани су у табели 6.

Табела 6. Статистички параметри регресионе анализе међузависности ученичког постигнућа и процене уложеног менталног напора

| Параметар | Вредност |
|--------------------------------|---|
| Коефицијент корелације (r) | - 0,95 |
| R -квадрат | 91,25% |
| p -вредност | 0,00 |
| Једначина корелације | Постигнуће = 1,59 - 0,27×Ментални напор |

Развој методе за процену комплексности стехиометријских проблема

Ову зависност описује веома јака корелација ($r=-0,95$; $p=0,00$) и вредност R -квадрата од 91,25%. Графички приказ зависности ученичког постигнућа од уложеног менталног напора приказан је на слици 7.



Слика 7. Зависност ученичког постигнућа од уложеног менталног напора

3.5.2 Развој методе за процену когнитивне комплексности стехиометријских задатака

У овој дисертацији развијен је метод за процену когнитивне комплексности стехиометријских проблемских задатака. Прва фаза је била развој Табеле за процену тежине концепата и интерактивности заступљених у стехиометријским задацима. Табелу су развила 4 експерта:

- један универзитетски професор методике наставе хемије са 40 година искуства,
- два асистента методике наставе хемије са петогодишњим искуством, и
- један средњошколски професор хемије са 20 година искуства.

Табела је укључивала све концепте потребне за решавање стехиометријских задатака на Тесту. Кроз панел дискусију, експерти су упоређивали сопствене процене тежине концепата за ученике. Свако неслагање је решено кроз договор. Концепти у табели су процењени тежином: лак, средње

тежине и тежак. Тако је била конструисана Табела за процену тежине концепата. На основу тежине и броја концепата у задатку, применом методе од Кнаус и др. (Кнаус et al., 2011) одређиван је нумерички рејтинг когнитивне комплексности задатака.

На основу добијених вредности за нумерички рејтинг когнитивне комплексности задатака на Тесту конструисан је очекивани простор знања као Хасеов дијаграм (Doignon и Falmagne, 1999).

Реални простор знања конструисан је применом кориговане и минимизиране ПТА из ученичких постигнућа на Тесту, а разлика између очекиваног и реалног простора одређена је као разлика графова простора знања.

4. РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА

У овом делу дисертације дискутује се развој и валидација Методе за процену когнитивне комплексности стехиометријских проблемских задатака. Са тим у вези разматра се: дизајн табеле за процену тежине концепата и интерактивности међу њима, и одређивање нумеричког рејтинга когнитивне комплексности задатака. У делу валидације методе, применом методе регресионе анализе испитује се зависност ученичког постигнућа и уложеног менталног напора од когнитивне комплексности. Након валидације методе, конструисан је очекивани простор знања, као Хасеов дијаграм, док је реални простор знања генерисан на основу остварених постигнућа на Тесту. Разлика у просторима знања одређена је као разлика графова и разматрана у овом делу рада.

4.1. Развој методе за процену когнитивне комплексности задатака

Метод за процену когнитивне комплексности задатака обухватио је:

- дизајн Табеле за процену тежине концепата и интерактивности и
- процену нумеричког рејтинга когнитивне комплексности задатака.

4.1.1 Дизајн табеле за процену тежине концепата и интерактивности

Тешкоће у решавању стехиометријских проблемских задатака су у највећој мери условљене бројношћу и сложеносту заступљених концепата.

Сви заступљени основни концепти су на основу експертске процене ранжирани по тежини и уз додатне концепте приказани су у табели 7.

Развој методе за процену комплексности стехиометријских проблема

Табела 7. Табела за процену тежине концепата и интерактивности задатака на Тесту

| 1. Концепт хемијске једначине | |
|---|---------------------|
| 1.1. Одређивање коефицијената у хемијској једначини реакције која није оксидо-редукција | Лак |
| 1.2. Одређивање коефицијената у хемијској једначини реакције оксидо-редукције | Средње тежак |
| 1.3. Писање хемијске једначине реакције оксидо-редукције са одређивањем коефицијената | Тежак |
| 2. Концепт стехиометријског израчунавања | |
| 2.1. Дата и тражена супстанца су у истом исказу (маса:маса, количина : количина, запремина : запремина) | Лак |
| 2.2. Дата и тражена супстанца се налазе у исказу количина супстанце: x (x= запремина, маса, број честица) | Средње тежак |
| 2.3. Дата и тражена супстанца се налазе у различитом исказу (маса : запремина, маса : број честица) | Тежак |
| 3. Концепт смеше | |
| 3.1. Дата или тражена супстанца је смеша и исказана преко квантитативног састава (масени удео, масена или количинска концентрација) | Лак |
| 3.2. Дата и тражена супстанца су смеше и дате су у различитим исказима (масени удео и масена концентрација) | Тежак |
| 4. Додатни концепти | |
| 4.1. Парцијална редукција нитратног јона | |
| 4.2. Израчунавање броја атома из броја молекула | |
| 4.3. Различита агрегатна стања супстанци | |
| 4.4. Напонски низ метала | |
| 4.5. Израчунавање релативне атомске масе из релативне молекулске масе | |
| 4.6. Архимедов закон | |
| Интерактивност концепата | |
| Задатак садржи до два концепта | 0 |
| Задатак садржи три концепта | 1 |
| Задатак садржи више од три концепта | 2 |

Чајлдс и Шихан (Childs и Sheehan, 2009) су утврдили да је концепт хемијске једначине посебно тежак за ученике онда када се односи на оксидо-редукционе реакције. Због тога су експерти концепт хемијске једначине рангирани у три нивоа тежине:

- лак, уколико је задатак подразумевао одређивање коефицијената у задатој хемијској једначини реакције која није оксидо-редукција,
- средње тежак, уколико је у задатку била задата једначина реакције оксидо-редукције у којој је требало одредити коефицијенте, и
- тежак ако је у задатку захтевано писање хемијске једначине реакције оксидо-редукције са одређивањем коефицијената.

Следећи концепт заступљен у стехиометријским задацима је концепт стехиометријског израчунавања. Уколико су задата и тражена супстанца у истом исказу, концепт се сматра лаким. Концепт је средње тежине уколико је задата или тражена супстанца исказана у јединици количине, а друга супстанца је у некој другој јединици. На крају, ако су задата и тражена супстанца у различитим исказима, искључујући количину супстанце, концепт се сматра тешким.

Трећи концепт заступљен у табели за процену тежине концепата и интерактивности у стехиометријским задацима је концепт смеше. Експерти су сматрали да концепт смеше припада основним стехиометријским концептима, јер се хемијске реакције врло ретко одигравају као реакције чистих супстанци. Хемијски системи су најчешће раствори, или до хемијских реакција долази мешањем раствора. Овај концепт експерти су рангирани у два нивоа:

- лак, ако је дата или тражена супстанца смеша исказана преко квантитативног састава (масени удео, масена или количинска концентрација), и
- тежак, када су и задата и тражена супстанца смеше и дате су у различитим исказима (масени удео и масена концентрација).

С обзиром на то да је стехиометрија једна од централних наставних области у хемији, у којој се сусрећу многобројни концепти других хемијских домена, посебно су процењени додатни концепти у задацима Теста. То су били:

- парцијална редукција нитратног јона,
- израчунавање броја атома из броја молекула,
- различита агрегатна стања супстанци,

Развој методе за процену комплексности стехиометријских проблема

- напонски низ метала,
- израчунавање релативне атомске масе из релативне молекулске масе, и
- Архимедов закон.

Њихов допринос когнитивној комплексности стехиометријских задатака процењен је кроз интерактивност концепата.

Интерактивност концепата у задацима Теста експерти су проценили на основу броја концепата у задатку. Интерактивност је сматрана безначајном за сваки задатак који је садржавао до два концепта, и додељена јој је нумеричка вредност 0. Задаци који су имали три концепта, имали су основну интерактивност, којој је додељивана нумеричка вредност 1. Интерактивност задатака који су садржали више од три концепта је сматрана сложеном, и додељивана јој је нумеричка вредност 2.

4.1.2. Процена нумеричког рејтинга когнитивне комплексности задатака

Нумерички рејтинг когнитивне комплексности задатака у Тесту процењиван је на основу података о броју и тежини концепата и интерактивности међу њима из табеле 7, применом методе по Кнаус и др. (табела 1). Нумерички рејтинг когнитивне комплексности задатака Теста приказан је у табели 8.

Табела 8. Нумерички рејтинг когнитивне комплексности задатака Теста

| Редни број задатка | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|-------------------------|----|----|----|----|-----|----|----|----|----|-----|
| Когнитивна комплексност | 1 | 2 | 4 | 3 | 7 | 8 | 1 | 4 | 4 | 4 |
| Редни број задатка | 11 | 12 | 13 | 14 | 15* | 16 | 17 | 18 | 19 | 20* |
| Когнитивна комплексност | 5 | 6 | 7 | 1 | 2 | 3 | 5 | 4 | 6 | 8 |

* задаци 15 и 20 се искључују из дискусије због индекса дискриминативности

Нумерички рејтинг когнитивне комплексности задатака креће се у интервалу од 1 до 8.

Нумерички рејтинг когнитивне комплексности 1 имају први, седми и четрнаести задатак. Нумерички рејтинг когнитивне комплексности 1 имају задаци који садрже један лак основни концепт, или задаци који садрже један лак основни концепт и један додатни концепт.

У првом задатку од ученика се захтева да израчуна масу алуминијум-оксида која настаје редукцијом гвожђе(III)-оксида елементарним алуминијумом задате масе. У задатку је дата потпуна хемијска једначина.

На основу табеле 7 процењено је да овај задатак садржи један лак концепт (концепт стехиометријског израчунавања када су и задата и тражена у истом исказу - маса). Интерактивност концепата у овом задатку је безначајна, а нумерички рејтинг когнитивне комплексности је 1 (табела 9).

Табела 9. Нумерички рејтинг когнитивне комплексности за први задатак

| 2. Концепт стехиометријског израчунавања | |
|---|----------|
| 2.1. Дата и тражена супстанца су у истом исказу (маса:маса) | Лак |
| Нумерички рејтинг когнитивне комплексности | 1 |

У седмом задатку од ученика се захтева да израчуна запремину течне воде, која настаје у реакцији водоника са задатом запремином кисеоника (при стандардним условима). У задатку је дата потпуна хемијска једначина и податак о густини течне воде.

Овај задатак садржи један лак концепт стехиометријског израчунавања (задата и тражена супстанца су у истом исказу - запремина). Како је у овом задатку задата супстанца исказана као запремина гаса под стандардним условима, а тражена супстанца као запремина течности, задатак уз основни, садржи и један додатни концепт. Додатни концепт је различита агрегатна стања супстанци (израчунавање запремине течне воде). Због тога задатак садржи један лак основни и један додатни концепт. Интерактивности концепата у овом задатку је нула (безначајна), те је нумерички рејтинг когнитивне комплексности овог задатка 1 (табела 10).

Развој методе за процену комплексности стехиометријских проблема

Табела 10. Нумерички рејтинг когнитивне комплексности за седми задатак

| | |
|---|-----|
| 2. Концепт стехиометријског израчунавања | |
| 2.1. Дата и тражена супстанца су у истом исказу (запремина:запремина) | Лак |
| 4. Додатни концепти | |
| 4.3. Различита агрегатна стања супстанци | |
| Нумерички рејтинг когнитивне комплексности | 1 |

Захтев четрнаестог задатка је био да се израчуна број молекула кисеоника који настаје разлагањем задатог броја „молекула“ жива(II)-оксида на основу задате хемијске једначине.

Овај задатак садржи један лак концепт (концепт стехиометријског израчунавања када су и задата и тражена супстанца у истом исказу – број честица). Интерактивност концепата у овом задатку је безначајна, а нумерички рејтинг когнитивне комплексности је 1 (табела 11).

Табела 11. Нумерички рејтинг когнитивне комплексности за четрнаести задатак

| | |
|---|-----|
| 2. Концепт стехиометријског израчунавања | |
| 2.1. Дата и тражена супстанца су у истом исказу (број честица:број честица) | Лак |
| Нумерички рејтинг когнитивне комплексности | 1 |

Други и петнаести задатак су имали нумерички рејтинг когнитивне комплексности 2.

У другом задатку од ученика се очекује да израчуна број молекула водоника, који настаје у реакцији задате масе цинка са хлороводоничном киселином према задатој хемијској једначини. Овај задатак садржи концепт стехиометријског израчунавања средње тежине (задата супстанца је исказана масом, а тражена супстанца количином). Интерактивност у овом задатку је безначајна, а нумерички рејтинг когнитивне комплексности је 2 (табела 12).

Табела 12. Нумерички рејтинг когнитивне комплексности за други задатак

| 2. Концепт стехиометријског израчунавања | |
|---|--------------|
| 2.2. Дата и тражена супстанца се налазе у исказу маса : количина супстанце | Средње тежак |
| Нумерички рејтинг когнитивне комплексности | 2 |

Захтев који је постављен ученицима у петнаестом задатку односио се на израчунавање масе натријум-оксида, која у реакцији са водом даје задату количину натријум-хидроксида. У задатку је дата потпуна хемијска једначина. Задатак садржи један концепт стехиометријског израчунавања средње тежине, интерактивност је безначајна, а нумерички рејтинг когнитивне комплексности је 2 (табела 13).

Табела 13. Нумерички рејтинг когнитивне комплексности за петнаести задатак

| 2. Концепт стехиометријског израчунавања | |
|---|--------------|
| 2.2. Дата и тражена супстанца се налазе у исказу маса:количина супстанце | Средње тежак |
| Нумерички рејтинг когнитивне комплексности | 2 |

Нумерички рејтинг когнитивне комплексности 3 имали су четврти и шеснаести задатак.

У четвртом задатку од ученика се захтева да на основу задате масе калцијум-карбоната која се раствара у хлороводоничној киселини израчунају количину хлороводоника у њој. У задатку је дата хемијска једначина реакције која није оксидо-редукција, без задатих коефицијената. Задатак садржи један лак концепт хемијске једначине и један концепт стехиометријског израчунавања средње тежине (задата и тражена супстанца су у исказу маса : количина). Интерактивност је безначајна, а нумерички рејтинг когнитивне комплексности износи 3 (табела 14).

Табела 14. Нумерички рејтинг когнитивне комплексности за четврти задатак

| 1. Концепт хемијске једначине | |
|---|--------------|
| 1.1. Одређивање коефицијената у хемијској једначини реакције која није оксидо-редукција | Лак |
| 2. Концепт стехиометријског израчунавања | |
| 2.2. Дата и тражена супстанца се налазе у исказу маса : количина супстанце | Средње тежак |
| Нумерички рејтинг когнитивне комплексности | 3 |

Захтев шеснаестог задатка се односио на израчунавање масе калијум-хлората из које разлагањем настаје задата маса кисеоника. У задатку је дата неизједначена једначина оксидо-редукционе реакције. Задатак садржи један концепт хемијске једначине средње тежине и један лак концепт стехиометријског израчунавања (и задата и тражена супстанца су исказане масом). Интерактивност концепата је безначајна, а нумерички рејтинг когнитивне комплексности је 3 (табела 15).

Табела 15. Нумерички рејтинг когнитивне комплексности за шеснаести задатак

| 1. Концепт хемијске једначине | |
|---|--------------|
| 1.2. Одређивање коефицијената у хемијској једначини реакције оксидо-редукције | Средње тежак |
| 2. Концепт стехиометријског израчунавања | |
| 2.1. Дата и тражена супстанца су у истом исказу (маса : маса) | Лак |
| Нумерички рејтинг когнитивне комплексности | 3 |

Задаци са нумеричким рејтингом когнитивне комплексности 4 били су најзаступљенији на тесту. То су трећи, осми, девети, десети и осамнаести задатак.

У трећем задатку од ученика се очекује да израчуна количину азот(II)-оксида, која настаје у реакцији задате масе бакра са раствором азотне киселине, на основу задате хемијске једначине без коефицијената. Овај задатак садржи један концепт хемијске једначине средње тежине (одређивање коефицијената у једначини реакције оксидо-редукције), један концепт стехиометријског израчунавања средње тежине (задата и тражена супстанца су у различитим исказима - маса : количина) и један додатни концепт (парцијална редукција

нитратног јона). С обзиром на то да задатак садржи три концепта, интерактивност међу њима је један (основна интерактивност), а нумерички рејтинг когнитивне комплексности задатка је 4 (табела 16).

Табела 16. Нумерички рејтинг когнитивне комплексности за трећи задатак

| | |
|---|--------------|
| 1. Концепт хемијске једначине | |
| 1.2. Одређивање коефицијената у хемијској једначини реакције оксидо-редукције | Средње тежак |
| 2. Концепт стехиометријског израчунавања | |
| 2.2. Дата и тражена супстанца се налазе у исказу маса : количина супстанце | Средње тежак |
| 4. Додатни концепти | |
| 4.1. Парцијална редукција нитратног јона | |
| Интерактивност концепата | |
| Задатак садржи три концепта | 1 |
| Нумерички рејтинг когнитивне комплексности | 4 |

У осмом задатку од ученика се захтева да израчуна број молекула воде који настаје у реакцији задате масе водоник-сулфида са кисеоником. У задатку је дата потпуна хемијска једначина. Овај задатак садржи један тежак концепт стехиометријског израчунавања (дата и тражена супстанца су у исказу маса : број честица). Интерактивност концепата у овом задатку је безначајна, а нумерички рејтинг когнитивне комплексности задатка је 4 (табела 17).

Табела 17. Нумерички рејтинг когнитивне комплексности за осми задатак

| | |
|---|-------|
| 2. Концепт стехиометријског израчунавања | |
| 2.3. Дата и тражена супстанца се налазе у различитом исказу (маса : број честица) | Тежак |
| Нумерички рејтинг когнитивне комплексности | 4 |

Развој методе за процену комплексности стехиометријских проблема

У деветом задатку од ученика се очекује да израчуна запремину угљен-мооксида (при стандардним условима) која настаје у реакцији оксидације задате масе угљеника према датој хемијској једначини. Задатак садржи један тежак концепт стехиометријског израчунавања (дата и тражена супстанца су у различитим исказима маса : запремина). Интерактивност концепата је безначајна, а нумерички рејтинг когнитивне комплексности задатка је 4 (табела 18).

Табела 18. Нумерички рејтинг когнитивне комплексности за девети задатак

| 2. Концепт стехиометријског израчунавања | |
|--|-------|
| 2.3. Дата и тражена супстанца се налазе у различитом исказу (маса : запремина) | Тежак |
| Нумерички рејтинг когнитивне комплексности | 4 |

Захтев десетог задатка се односио на израчунавање броја молекула фосфор(V)-оксида, који настаје у реакцији сагоревања белог фосфора са задатом масом кисеоника, на основу задате хемијске једначине. Задатак садржи један тежак концепт стехиометријског израчунавања (дата и тражена супстанца се налазе у исказу маса : број честица). Интерактивност концепата је безначајна, а нумерички рејтинг когнитивне комплексности задатка је 4 (табела 19).

Табела 19. Нумерички рејтинг когнитивне комплексности за десети задатак

| 2. Концепт стехиометријског израчунавања | |
|---|-------|
| 2.3. Дата и тражена супстанца се налазе у различитом исказу (маса : број честица) | Тежак |
| Нумерички рејтинг когнитивне комплексности | 4 |

У осамнаестом задатку од ученика се захтева да израчуна масени удео сребра у сребрном новчићу задате масе. Задата је и маса сребро-хромата која настаје таложењем из раствора добијеног растварањем сребрног новчића у азотној киселини. Задата је потпуна хемијска једначина растварања сребра у азотној киселини (оксидо-редукција) и једначина без коефицијената за таложење сребро-хромата. Задатак садржи један лак концепт хемијске једначине (одређивање коефицијената у једначини реакције која није оксидо-редукција), један лак концепт стехиометријског израчунавања (задата и тражена супстанца су у истом исказу маса : маса), један лак концепт смеше (одређивање масеног удела сребра у легури). С обзиром на то да задатак садржи три лака концепта,

интерактивност међу њима је један, а укупни рејтинг когнитивне комплексности је 4 (табела 20).

Табела 20. Нумерички рејтинг когнитивне комплексности за осамнаести задатак

| | |
|---|-----|
| 1. Концепт хемијске једначине | |
| 1.1. Одређивање коефицијената у хемијској једначини реакције која није оксидо-редукција | Лак |
| 2. Концепт стехиометријског израчунавања | |
| 2.1. Дата и тражена супстанца су у истом исказу (маса:маса) | Лак |
| 3. Концепт смеше | |
| 3.1. Тражена супстанца је смеша и исказана преко квантитативног састава (масени удео) | Лак |
| Интерактивност концепата | |
| Задатак садржи три концепта | 1 |
| Нумерички рејтинг когнитивне комплексности | 4 |

Развој методе за процену комплексности стехиометријских проблема

Нумерички рејтинг когнитивне комплексности 5 имали су задаци једанаест и седамнаест.

У једанаестом задатку од ученика се захтева да израчуна запремину раствора баријум-хлорида задате количинске концентрације, која је потребна за добијање задате масе баријум-сулфата, на основу дате хемијске једначине без коефицијената. Задатак садржи један лак концепт хемијске једначине, један концепт стехиометријског израчунавања средње тежине (задата и тражена супстанца се налазе у исказу маса : количина супстанце) и један лак концепт смеше (количинска концентрација раствора). Задатак садржи три концепта, те је интерактивност концепата 1, а укупан нумерички рејтинг когнитивне комплексности задатка 5 (табела 21).

Табела 21. Нумерички рејтинг когнитивне комплексности за једанаести задатак

| 1. Концепт хемијске једначине | |
|--|--------------|
| 1.1. Одређивање коефицијената у хемијској једначини реакције која није оксидо-редукција | Лак |
| 2. Концепт стехиометријског израчунавања | |
| 2.2. Дата и тражена супстанца се налазе у исказу количина супстанце: маса | Средње тежак |
| 3. Концепт смеше | |
| 3.1. Тражена супстанца је смеша и исказана преко квантитативног састава (количинска концентрација) | Лак |
| Интерактивност концепата | |
| Задатак садржи три концепта | 1 |
| Нумерички рејтинг когнитивне комплексности | 5 |

У седамнаестом задатку ученик треба да израчуна количину кисеоника која је потребна за сагоревање задате количине бора. Задатак садржи један тежак концепт хемијске једначине (писање и одређивање коефицијената у једначини реакције оксидо-редукције) и један лак концепт стехиометријског израчунавања (задата и тражена супстанца су у истом исказу количина : количина). Интерактивност међу концептима је безначајна, а укупни нумерички рејтинг когнитивне комплексност задатка је 5 (табела 22).

Табела 22. Нумерички рејтинг когнитивне комплексности за седамнаести задатак

| | |
|---|-------|
| 1. Концепт хемијске једначине | |
| 1.3. Писање хемијске једначине реакције оксидо-редукције са одређивањем коефицијената | Тежак |
| 2. Концепт стехиометријског израчунавања | |
| 2.1. Дата и тражена супстанца су у истом исказу (количина : количина) | Лак |
| Нумерички рејтинг когнитивне комплексности | 5 |

Развој методе за процену комплексности стехиометријских проблема

Дванаести и деветнаести задатак су имали нумерички рејтинг когнитивне комплексности 6.

У дванаестом задатку од ученика се захтева да израчуна запремину гаса (при стандардним условима) која настаје у реакцији растварања задате масе цинка у разблаженој сумпорној киселини. Задатак садржи један тежак концепт хемијске једначине (писање и одређивање коефицијената у једначини реакције оксидо-редукције), један тежак концепт стехиометријског израчунавања (задата и тражена супстанца су исказане у различитим исказима маса : запремина) и један додатни концепт (напонски низ метала). Интерактивност међу концептима је један, а нумерички рејтинг когнитивне комплексности задатка је 6 (табела 23).

Табела 23. Нумерички рејтинг когнитивне комплексности за дванаести задатак

| 1. Концепт хемијске једначине | |
|---|----------|
| 1.3. Писање хемијске једначине реакције оксидо-редукције са одређивањем коефицијената | Тежак |
| 2. Концепт стехиометријског израчунавања | |
| 2.3. Дата и тражена супстанца се налазе у различитом исказу (маса : запремина) | Тежак |
| 4. Додатни концепти | |
| 4.4. Напонски низ метала | |
| Интерактивност концепата | |
| Задатак садржи три концепта | 1 |
| Нумерички рејтинг когнитивне комплексности | 6 |

У деветнаестом задатку се од ученика очекује да израчуна релативну атомску масу метала. Задата је маса карбоната тровалентног метала и запремина угљен-диоксида који настаје његовима разлагањем, као и једначина разлагања без коефицијената. Задатак садржи један лак концепт хемијске једначине (одређивање коефицијената у једначини реакције која није оксидо-редукција), један тежак концепт стехиометријског израчунавања (када су задата и тражена супстанца у исказима маса : запремина) и један додатни концепт (израчунавање релативне атомске масе из молекулске масе). Задатак садржи три концепта, те је интерактивност међу њима један, а нумерички рејтинг когнитивне комплексности задатка је 6 (табела 24).

Табела 24. Нумерички рејтинг когнитивне комплексности за деветнаести задатак

| | |
|---|-------|
| 1. Концепт хемијске једначине | |
| 1.1. Одређивање коефицијената у хемијској једначини реакције која није оксидо-редукција | Лак |
| 2. Концепт стехиометријског израчунавања | |
| 2.3. Дата и тражена супстанца се налазе у различитом исказу (маса : запремина) | Тежак |
| 4. Додатни концепти | |
| 4.5. Израчунавање релативне атомске масе из молекулске масе | |
| Интерактивност концепата | |
| Задатак садржи три концепта | 1 |
| Нумерички рејтинг когнитивне комплексности | 6 |

Развој методе за процену комплексности стехиометријских проблема

Нумерички рејтинг когнитивне комплексности 7 имају пети и тринаести задатак.

У петом задатку од ученика се захтева да израчуна број молекула кисеоника који настаје у реакцији калијум-перманганата са раствором водоник-пероксида задате масе и масеног удела. Задатак садржи један тежак концепт хемијске једначине (писање хемијске једначине реакције оксидо-редукције са одређивањем коефицијената), један тежак концепт стехиометријског израчунавања (задата и тражена супстанца су у исказу маса : број честица) и један лак концепт смеше (масени удео). Интерактивност међу концептима је основна (један), а нумерички рејтинг когнитивне комплексности задатка је 7 (табела 25).

Табела 25. Нумерички рејтинг когнитивне комплексности за пети задатак

| 1. Концепт хемијске једначине | |
|---|----------|
| 1.3. Писање хемијске једначине реакције оксидо-редукције са одређивањем коефицијената | Тежак |
| 2. Концепт стехиометријског израчунавања | |
| 2.3. Дата и тражена супстанца се налазе у различитом исказу (маса : број честица) | Тежак |
| 3. Концепт смеше | |
| 3.1. Тражена супстанца је смеша и исказана преко квантитативног састава (масени удео) | Лак |
| Интерактивност концепата | |
| Задатак садржи три концепта | 1 |
| Нумерички рејтинг когнитивне комплексности | 7 |

У тринаестом задатку ученик треба да израчуна запремину раствора фосфорне киселине задатог масеног удела и густине, која је потребна за неутрализацију задате запремине раствора натријум-хидроксида познате масене концентрације. У задатку је дата једначина хемијске реакције без коефицијената. Овај задатак садржи један лак концепт хемијске једначине (одређивање коефицијената у реакцији која није оксидо-редукција), један лак концепт стехиометријског израчунавања (задата и тражена супстанца су у исказу маса : маса) и један тежак концепт смеше (задата и тражена супстанца су раствори са различито исказаним садржајем – масени процентни садржај : масена концентрација). Интерактивност међу концептима је један (основна), а нумерички рејтинг когнитивне комплексности задатка је 7 (табела 26).

Табела 26. Нумерички рејтинг когнитивне комплексности за тринаести задатак

| | |
|---|-------|
| 1. Концепт хемијске једначине | |
| 1.1. Одређивање коефицијената у хемијској једначини реакције која није оксидо-редукција | Лак |
| 2. Концепт стехиометријског израчунавања | |
| 2.1. Дата и тражена супстанца су у истом исказу (маса:маса) | Лак |
| 3. Концепт смеше | |
| 3.2. Дата и тражена супстанца су смеше и дате су у различитим исказима (масени удео и масена концентрација) | Тежак |
| Интерактивност концепата | |
| Задатак садржи три концепта | 1 |
| Нумерички рејтинг когнитивне комплексности | 7 |

Развој методе за процену комплексности стехиометријских проблема

Нумерички рејтинг когнитивне комплексности 8 имају задаци шест и двадесет.

У шестом задатку од ученика се захтева да израчуна број атома уграђених у молекуле јода, који настају у реакцији задате масе раствора калијум-јодида познатог масеног процентног садржаја са потребном количином калијум-дихромата у киселој средини. Задатак садржи један тежак концепт хемијске једначине (писање хемијске једначине реакције оксидо-редукције са одређивањем коефицијената), један тежак концепт стехиометријског израчунавања (задата и тражена супстанца су у исказима маса : број честица), један лак концепт смеше (масени удео) и један додатни концепт (израчунавање броја атома из броја молекула). Укупан број концепата је четири, па је интерактивност међу њима сложена (два), а нумерички рејтинг когнитивне комплексности задатка 8 (табела 27).

Табела 27. Нумерички рејтинг когнитивне комплексности за шести задатак

| | |
|--|-------|
| 1. Концепт хемијске једначине | |
| 1.3. Писање хемијске једначинереакције оксидо-редукције са одређивањем коефицијената | Тежак |
| 2. Концепт стехиометријског израчунавања | |
| 2.3. Дата и тражена супстанца се налазе у различитом исказу (маса : број честица) | Тежак |
| 3. Концепт смеше | |
| 3.1. Задата супстанца је смеша и исказана преко квантитативног састава (масени удео) | Лак |
| 4. Додатни концепти | |
| 4.2. Израчунавање броја атома из броја молекула | |
| Интерактивност концепата | |
| Задатак садржи четири концепта | 2 |
| Нумерички рејтинг когнитивне комплексности | 8 |

У двадесетом задатку од ученика се очекује да израчуна масени процентни садржај алуминијума у легури са бакром. Задата је густина легуре, запремина воде коју узорак легуре истискује, као и запремина водоника који настаје у реакцији узорка легуре са хлороводоничном киселином. Задатак садржи један тежак концепт хемијске једначине (писање хемијске једначине реакције оксидо-редукције са одређивањем коефицијената), један тежак концепт стехиометријског израчунавања (задата и тражена супстанца су у исказима запремина : маса), један лак концепт смеше (масени удео) и један додатни концепт (Архимедов закон). С обзиром на то да задатак садржи четири концепта, интерактивност међу њима је сложена (два), а нумерички рејтинг когнитивне комплексности задатка је 8 (табела 28).

Табела 28. Нумерички рејтинг когнитивне комплексности за двадесети задатак

| | |
|---|----------|
| 1. Концепт хемијске једначине | |
| 1.3. Писање хемијске једначине реакције оксидо-редукције са одређивањем коефицијената | Тежак |
| 2. Концепт стехиометријског израчунавања | |
| 2.3. Дата и тражена супстанца су у различитом исказу (маса : запремина) | Тежак |
| 3. Концепт смеше | |
| 3.1. Тражена супстанца је смеша и исказана преко квантитативног састава (масени удео) | Лак |
| 4. Додатни концепти | |
| 4.2. Архимедов закон | |
| Интерактивност концепата | |
| Задатак садржи четири концепата | 2 |
| Нумерички рејтинг когнитивне комплексности | 8 |

4.2. Валидација методе за процену когнитивне комплексности применом линеарне регресије

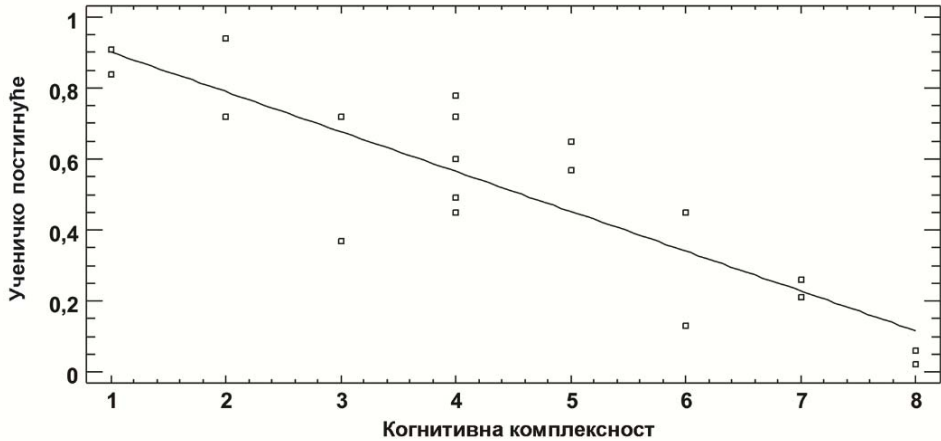
Метод за процену когнитивне комплексности валидиран је статистички. Применом методе линеарне регресије испитана је зависност:

- ученичког постигнућа од нумеричког рејтинга когнитивне комплексности задатака, и
- уложеног менталног напора од нумеричког рејтинга когнитивне комплексности задатака.

Зависност ученичког постигнућа од нумеричког рејтинга когнитивне комплексности задатака на Тесту представљена је табелом 29 и сликом 8.

Табела 29. Статистички параметри линеарне регресионе анализе зависности ученичког постигнућа од нумеричког рејтинга когнитивне комплексности

| Параметар | Вредност |
|--------------------------------|--|
| Коефицијент корелације (r) | -0,88 |
| R -квадрат | 77,81% |
| p -вредност | 0,00 |
| Једначина корелације | Постигнуће = $1,01 - 0,11 \times$ Когн. компл. |



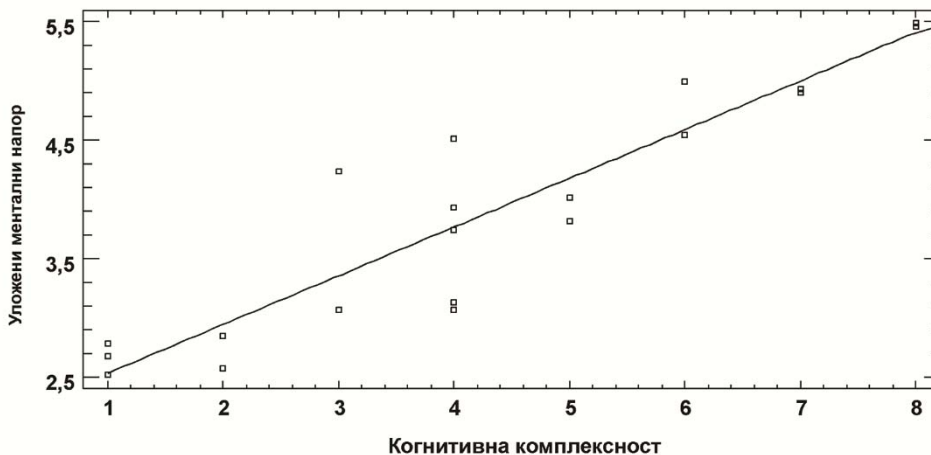
Слика 8. Зависност ученичког постигнућа од нумеричког рејтинга когнитивне комплексности

Коефицијент корелације ($r=-0,88$; $p=0,00$) указује на веома јаку корелацију између ученичког постигнућа и нумеричког рејтинга когнитивне комплексности задатака. Негативна вредност коефицијента корелације показује да са порастом когнитивне комплексности проблемског задатка опада ученичко постигнуће. Највише просечно постигнуће остварено је у четрнаестом задатку (0,91) за који је рејтинг нумеричке комплексности био најнижи (1). Најниже просечно постигнуће (0,02) остварено је на двадесетом задатку који је имао највиши рејтинг когнитивне комплексности (8).

Линеарном регресионом анализом испитана је и зависност уложеног менталног напора ученика од нумеричког рејтинга когнитивне комплексности задатака. Резултати ове анализе представљени су у табели 30 и на слици 9.

Табела 30. Статистички параметри линеарне регресионе анализе зависности уложеног менталног напора од нумеричког рејтинга когнитивне комплексности

| Параметар | Вредност |
|--------------------------------|---|
| Коефицијент корелације (r) | 0,92 |
| R -квадрат | 84,59% |
| p -вредност | 0,00 |
| Једначина корелације | Ментални Напор= 2,12+ 0,41× Когн.Компл. |



Слика 9. Зависност уложеног менталног напора од нумеричког рејтинга когнитивне комплексности

Кофицијент корелације ($r=0,92$; $p=0,00$) указује на веома јаку корелацију између уложеног менталног напора и нумеричког рејтинга когнитивне комплексности задатака. Позитивна вредност овог коефицијента показује да са повећањем когнитивне комплексности задатка ученици улажу већи ментални напор за његово решавање. Најнижи просечни ментални напор уложен је у првом задатку (2,52), за који је нумерички рејтинг когнитивне комплексности износио 1. Највиши просечни ментални напор (5,58) уложен је у двадесетом задатку, за који је нумерички рејтинг когнитивне комплексности износио 8.

4.3. Валидација методе за процену когнитивне комплексности применом теорије простора знања

Поред статистичког поступка за валидацију методе за процену когнитивне комплексности стехиометријских задатака, ова метода валидирана је и применом теорије простора знања (*KST*). *KST* омогућава фино диференцирање концепата и идентификацију разлика између очекиваног простора који је конструисан на основу Методе за процену когнитивне комплексности и реалног простора знања који је генерисан на основу ученичких постигнућа на Тесту.

Ученичко разумевања хемијских концепата и адекватна процена постигнућа од стране наставника су два важна фактора ефикасне наставе. Хемија је тежак наставни предмет који укључује проблемске задатке високе когнитивне комплексности, па наставници понекад не могу у потпуности да сагледају структуру знања ученика (*Osman и Sukor, 2013*), односно очекивана структура знања ученика често се разликује од реалне структуре. Због тога је за валидацију Методе за процену когнитивне комплексности проблемских задатака коришћена и *KST*, применом кориговане и минимизиране ПТА, јер омогућава уочавање финих разлика између очекиване и реалне структуре знања. Стехиометријски проблеми садрже велики број концепата који су организовани у хијерархијску структуру што их чини погодним за примену *KST* за валидацију Методе за процену когнитивне комплексности задатака.

Валидација Методе је вршена упоредном анализом очекиваног простора знања и реалног простора знања. Разлике између простора знања одређене су као разлика графова. Простори знања који се разматрају у овом раду представљени су као усмерени необележени графови, односно као матрице веза (Прилог 3). Овај приступ омогућава једноставне манипулације графовима што је неопходно за њихово поређење.

4.3.1. Конструкција очекиваног простора знања

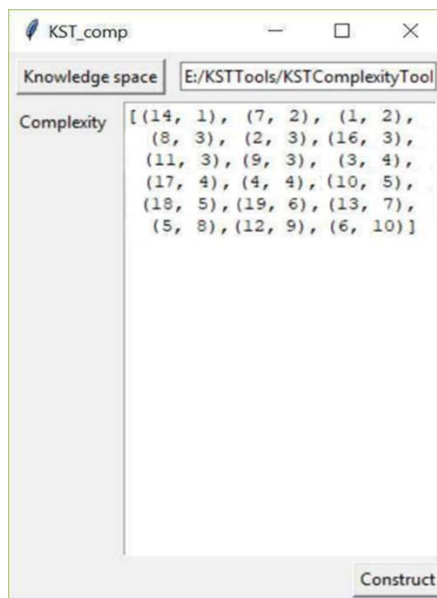
Да би се избегла субјективност експерата, когнитивна комплексност је процењена као нумерички рејтинг когнитивне комплексности задатака на основу посебно конструисане Табеле за процену тежине концепата и интерактивности, и применом методе Кнаус и др. (Knaus et al., 2011).

У ранијим истраживањима (Falmagne et al., 1990) експертска процена тежине задатака коришћена је за конструкцију простора знања. У овом раду развијена је метода за објективну процену нумеричког рејтинга когнитивне комплексности задатака, чиме се смањује утицај субјективности експертске процене. Експертска процена нумеричког рејтинга когнитивне комплексности задатака на Тесту приказана је у табели 31.

Табела 31. Нумерички рејтинг когнитивне комплексности задатака Теста

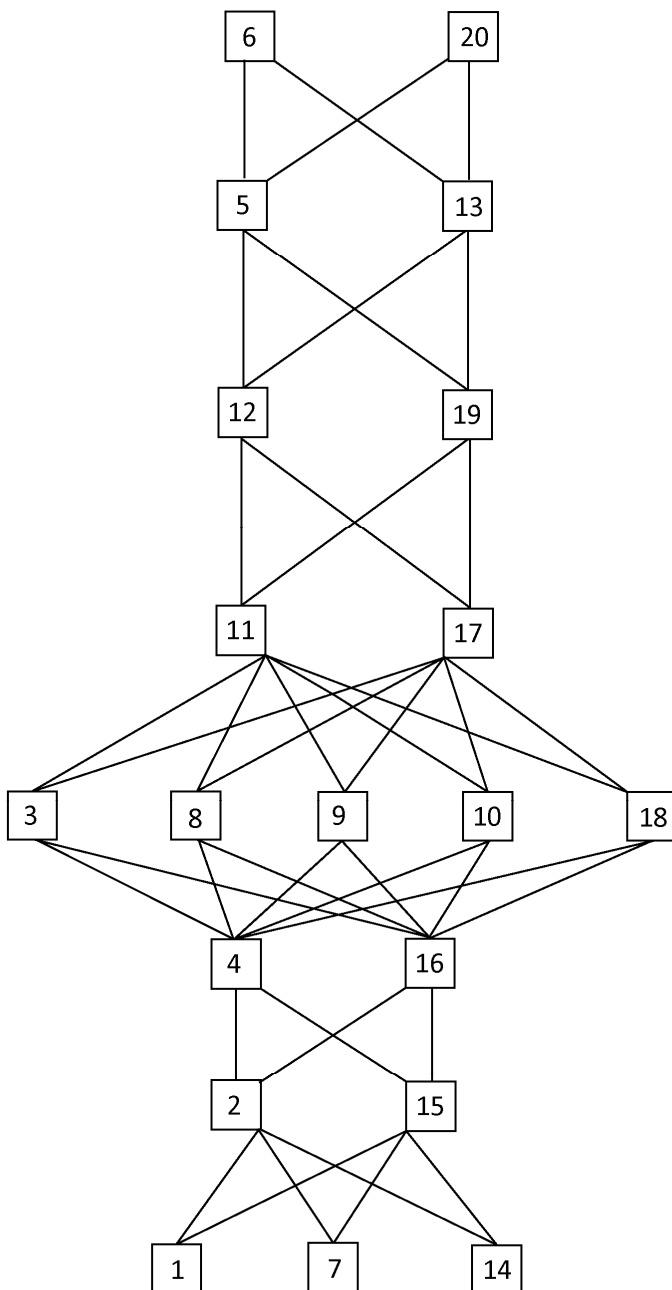
| Рејтинг когнитивне комплексности | Број задатака |
|----------------------------------|-----------------|
| 1 | 1,7,14 |
| 2 | 2, 15 |
| 3 | 4, 16 |
| 4 | 3, 8, 9, 10, 18 |
| 5 | 11, 17 |
| 6 | 12, 19 |
| 7 | 5, 13 |
| 8 | 6, 20 |

Способност решавања проблема ниже когнитивне комплексности узима се као предуслов за решавање когнитивно сложенијих проблема. Софтверски алат (доступан на линку https://github.com/milansegedinac/kst_tools/tree/master/KSTFromRubricTool/KSTFromRubricTool) који конструише очекивани простор знања на основу експертске процене нумеричког рејтинга когнитивне комплексности задатака приказан је на слици 10.



Слика 10. Софтверски алат за конструкцију простора знања на основу експертске процене нумеричког рејтинга когнитивне комплексности

Софтверски алат узима нумеричке рејтинге когнитивне комплексности као улаз (датотека у .CSV формату) и конструише простор знања. Добијени простор знања је одређен релацијама претхођења. Очекивани простор знања конструисан на основу нумеричког рејтинга когнитивне комплексности задатака у Тесту приказан је на слици 11.



Слика 11. Очекивани простор знања конструисан на основу нумеричког рејтинга когнитивне комплексности задатака са Теста

На Хасеовом дијаграму се задаци вишег нумеричког рејтинга когнитивне комплексности налазе изнад задатака нижег нумеричког рејтинга когнитивне комплексности. На дијаграму се види да ученик који није способан да реши задатак нумеричког рејтинга когнитивне комплексности 7, не може да реши ни задатак чији је нумерички рејтинг когнитивне комплексности 8. Најнижи нумерички рејтинг когнитивне комплексности на Тесту имају први, седми и четрнаести задатак. Њима не претходи нити један задатак, па су на самом дну Хасеовог дијаграма и они претходе свим осталим задацима. Највиши нумерички рејтинг когнитивне комплексности имају шести и двадесети задатак, па се претпоставља да ученик који може да их реши, може да реши и све остале задатке на Тесту.

Конструкција простора знања анализом процеса решавања проблема има предност, јер се простор знања може конструисати пре извршеног тестовског испитивања. Једна од кључних карактеристика оваквог приступа је у томе што рефлектује експертске ставове о ученичком знању. Стога, поређење таквог простора знања и простора знања добијеног анализом резултата теста може да укаже на неке од погрешних мишљења експерата и може да помогне експертима како би побољшали своје разумевање о томе како ученици уче.

4.3.2. Конструкција реалног простора знања

Узимајући у обзир да дизајнирани тест садржи $n=20$ задатака, могуће је 2^{20} (1.048.576) различитих стања знања. С обзиром на то да узорак испитаника чине 82 ученика, у простору знања би могло да буде заступљено највише 82 различита стања знања. Како више ученика може да буде у истом стању знања, у овом истраживању је било 72 различита стања знања. Сва стања знања ученика приказана су табеларно у прилогу (Прилог 2). У овом истраживању постојала су два стања знања са највећом фреквенцијом. То су: [1, 2, 3, 7, 8, 9, 10, 14, 15, 16, 17, 18, 19] са фреквенцијом 3, и [1, 2, 3, 7, 8, 9, 10, 11, 14, 15, 16, 17, 18, 19] такође са фреквенцијом 3.

Реални простор знања у овом истраживању је конструисан употребом коригованог и минимизираниог ПТА алгоритма на прикупљеним резултатима тестовског испитивања. За ту сврху су коришћени програмски језик R (<https://www.r-project.org/>) и софтверски пакет DAKS (*Data Analysis and Knowledge Spaces*) (<https://cran.r-project.org/web/packages/DAKS/index.html>). Укупна стопа грешака је била 10,8%, што представља прихватљиву грешку за примену наведеног алгоритма (табела 32). Реални простор знања је приказан Хасеовим дијаграмом на слици 12.

Табела 32. R листинг за реални простор знања конструисан применом коригованог и минимизираниог ИТА алгоритма

```

$diff.value
[1] 11.643426 11.411263 10.563328 9.165727 8.718980 8.356159
[7] 7.445482 7.225565 7.536107 8.527193 8.671274 9.513200
[13] 10.794052 11.012132 10.931429 12.687796 13.091408 14.009966
[19] 15.341982 16.635904 216.113869

$error.rate
[1] 0.00000000 0.04646513 0.06121232 0.07571881 0.09049002 0.09680932
[7] 0.10389370 0.10845430 0.11421239 0.12474868 0.13037161 0.13702299
[13] 0.14263328 0.14371472 0.14453127 0.14891735 0.14991817 0.15266142
[19] 0.15516876 0.15994974 0.35742648

Inductive Item Tree Analysis

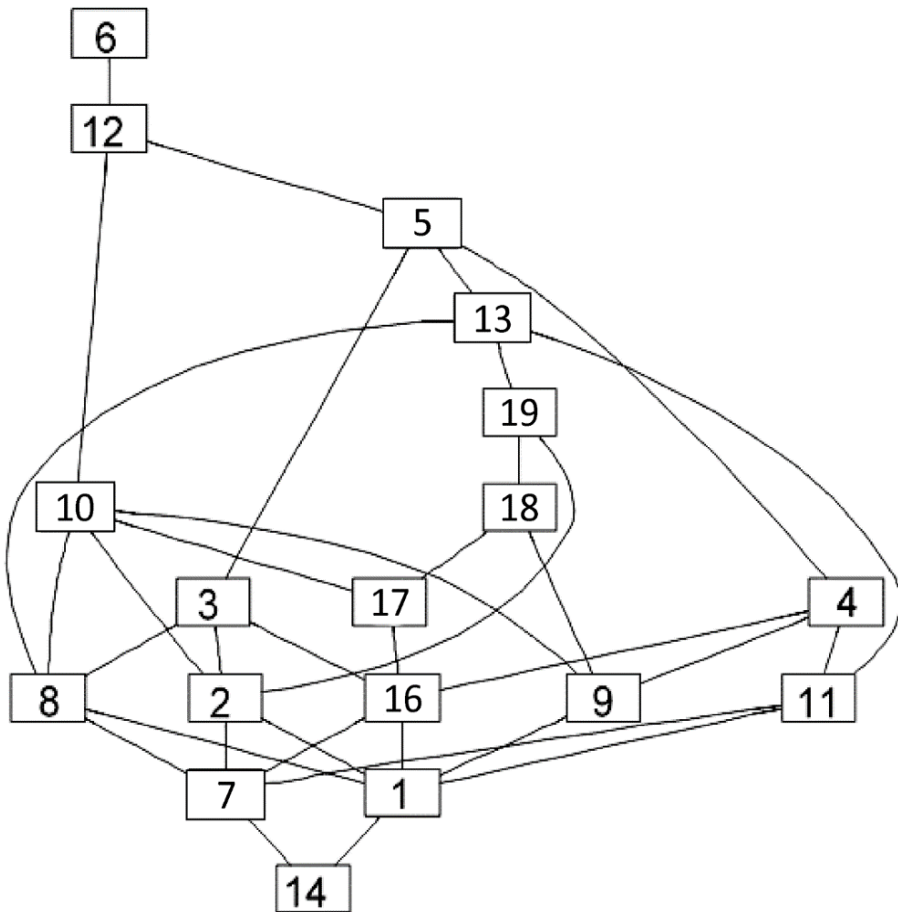
Algorithm: corrected IITA
diff values: 11.643 11.411 10.563 9.166 8.719 8.356 7.445 7.226 7.536 8.527
8.671 9.513 10.794 11.012 10.931 12.688 13.091 14.01 15.342 16.636 216.114

quasi order: {(1L, 2L), (1L, 4L), (1L, 3L), (1L, 8L), (1L, 9L), (1L, 10L),
(1L, 18L), (1L, 11L), (1L, 17L), (1L, 12L), (1L, 16L), (1L, 5L), (1L, 13L),
(1L, 19L), (1L, 6L), (1L, 20L), (7L, 2L),(7L, 4L), (7L, 3L), (7L, 8L), (7L, 10L),
(7L, 18L), (7L, 11L), (7L, 17L), (7L, 12L), (7L, 16L),(7L, 5L), (7L, 13L),
(7L, 19L), (7L, 6L), (7L, 20L), (14L, 1L), (14L, 7L), (14L, 2L), (14L, 15L),
(14L, 4L), (14L, 3L), (14L, 8L), (14L, 9L), (14L, 10L), (14L, 18L), (14L, 11L),
(14L, 17L), (14L, 12L), (14L, 16L), (14L, 5L), (14L, 13L), (14L, 19L), (14L, 6L),
(14L, 20L), (2L, 3L), (2L, 10L), (2L, 12L), (2L, 5L), (2L, 13L), (2L, 19L),
(2L, 6L),(2L, 20L), (15L, 1L), (15L, 7L), (15L, 14L), (15L, 2L), (15L, 4L),
(15L, 3L), (15L, 8L), (15L, 9L), (15L, 10L), (15L, 18L), (15L, 11L), (15L, 17L),
(15L, 12L), (15L, 16L), (15L, 5L), (15L, 13L), (15L, 19L), (15L, 6L), (15L, 20L),
(4L, 12L), (4L, 5L), (4L, 6L), (4L, 20L), (3L, 12L), (3L, 5L), (3L, 6L), (3L, 20L),
(8L, 3L), (8L, 10L), (8L, 12L), (8L, 5L), (8L, 13L), (8L, 6L), (8L, 20L), (9L, 4L),
(9L, 10L), (9L, 18L), (9L, 12L), (9L, 5L), (9L, 13L), (9L, 19L), (9L, 6L),
(9L, 20L), (10L, 12L), (10L, 6L), (10L, 20L), (18L, 12L), (18L, 5L), (18L, 13L),
(18L, 19L), (18L, 6L), (18L, 20L), (11L, 4L), (11L, 12L), (11L, 5L), (11L, 13L),
(11L, 6L), (11L, 20L), (17L, 10L), (17L, 18L), (17L, 12L), (17L, 5L), (17L, 13L),
(17L, 19L), (17L, 6L), (17L, 20L), (12L, 6L), (12L, 20L), (16L, 4L), (16L, 3L),
(16L, 10L), (16L, 18L), (16L, 17L), (16L, 12L), (16L, 5L), (16L, 13L), (16L, 19L),
(16L, 6L), (16L, 20L), (5L, 12L), (5L, 6L), (5L, 20L), (13L, 12L), (13L, 5L),
(13L, 6L), (13L, 20L), (19L, 12L), (19L, 5L), (19L, 13L), (19L, 6L), (19L, 20L),
(6L, 20L), (20L, 6L)}

error rate: 0.108

index in the selection set: 8

```



Слика 12. Реални простор знања конструисан применом минимизиране и кориговане ИТА

Добијени простор знања искључује петнаести и двадесети задатак због лошег индекса дискриминативности, $Id < 0,19$ (Townns, 2014). У задатку број 15. ученици су имали највеће постигнуће на тесту, 93,90% ученика је успешно решило задатак, док је задатак 20 решило само 2,44% ученика.

Очекивани простор знања се разликује од реалног простора знања по положају неких задатака. Стога је потребно објаснити разлике у добијеним просторима знања.

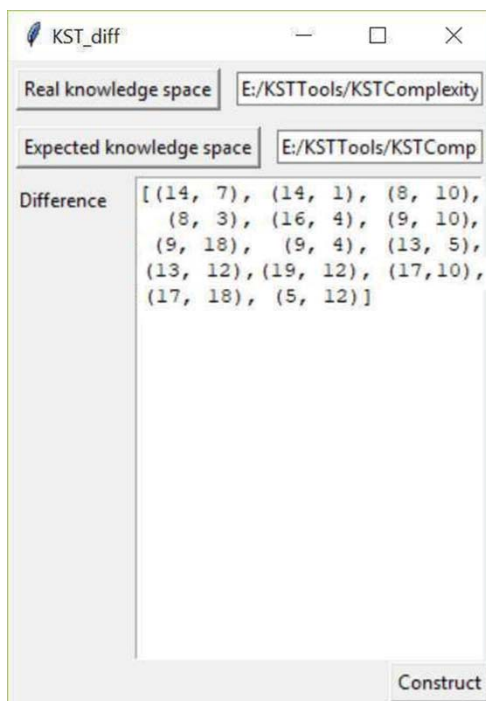
4.3.4. Идентификација разлика у просторима знања

Будући да се и експертски и реални простор знања могу посматрати као два необележена графа, они су дефинисани на истом скупу чворова, па се могу упоредити разликом графова. Разлика графова H и G је граф репрезентован матрицом веза која је разлика матрица веза графова H и G (Прилог 3).

Реални простор знања има већи број нивоа когнитивне комплексности од очекиваног простора знања. Према томе, интервали когнитивне комплексности имају различит број рејтинга. У очекиваном простору знања нумерички рејтинг когнитивне комплексности се креће у интервалу од 1 до 8, док је у реалном простору знања он у интервалу од 1 до 10. Ово не значи да задатак који има нумерички рејтинг когнитивне комплексности 6 у реалном простору знања мора бити сложенији од оног који је оцењен нумеричким рејтингом 5 у очекиваном простору знању. Стога, није могуће директно поредити нумеричке рејтинге когнитивне комплексности реалног и очекиваног простора знања. Да би се ови простори знања упоредили анализирана је релативна позиција проблема у њима, као и релације међу проблемима.

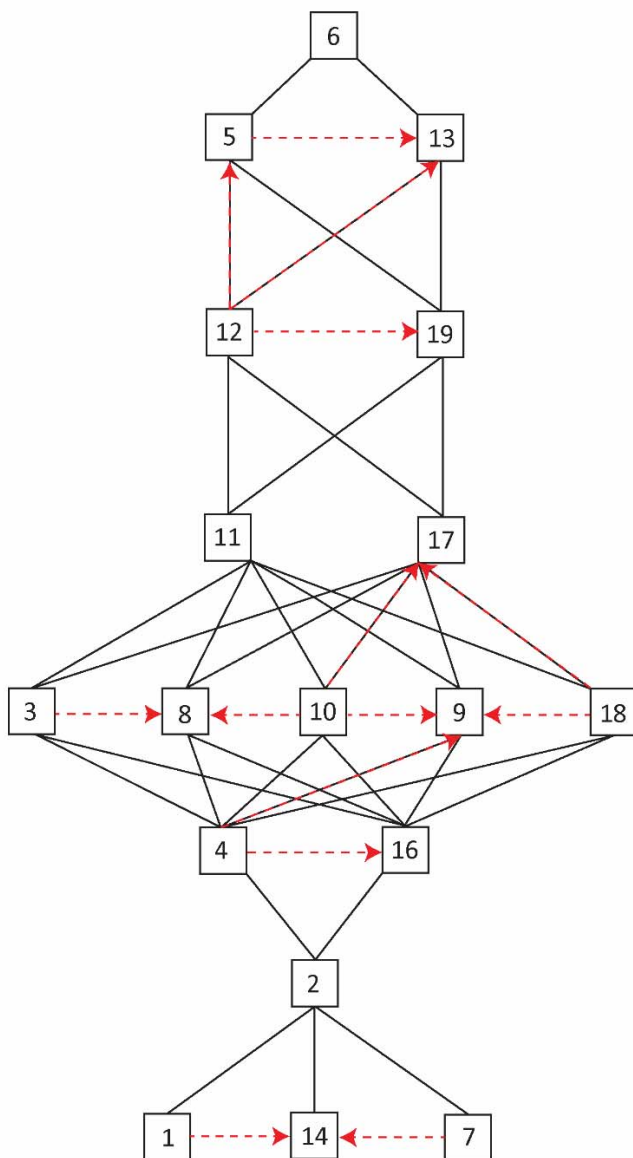
У овом истраживању је коришћен програмски језик Python за идентификацију разлика у просторима знања. Простори знања представљени су као графови помоћу *NetworkX* библиотеке и иста библиотека је коришћена за поређење ових графова (<https://networkx.github.io>). Разлика графа је визуализована коришћењем софтвера библиотеке *matplotlib* (<http://matplotlib.org/index.html>). Да би се графови могли поредити, из очекиваног простора знања су изузети задаци 20 и 15, пошто се они не јављају у реалном простору знања.

У овом докторату је коришћен софтверски алат за одређивање разлике простора знања. Софтверски алат је доступан на следећем линку: https://github.com/milansegedinac/kst_tools/tree/master/KSTComplexityTool/KSTComplexityTool и пример овог алата приказан је на слици 15. Алат пореди два простора знања која су приказани као графови (у овом истраживању су то реални и очекивани простори знања) и продукује граф који представља њихову разлику као скуп веза (скуп парова повезаних чворова).



Слика 13. Софтверски алат за идентификацију разлика простора знања

Уочљива је сличности између очекиваног и реалног простора знања, која се огледа у великом броју истих релација претпостављања у њима, 71,32%. Поред тога реални простор знања садржи и неке релације које нису заступљене у очекиваном простору знања. Ове релације су приказане испрекиданим црвеним линијама са стрелицама на слици 14.



Слика 14. Очекивани простор знања проширен релацијама из реалног простора знања

Развој методе за процену комплексности стехиометријских проблема

Када се посматрају разлике графова анализиране су новоуспостављене и инвертоване релације претпостављања. Новоуспостављене релације су:

(14, 1), (14, 7), (16, 4), (8, 3), (8, 10), (9, 10), (9, 18), (19,12) и (13, 5).

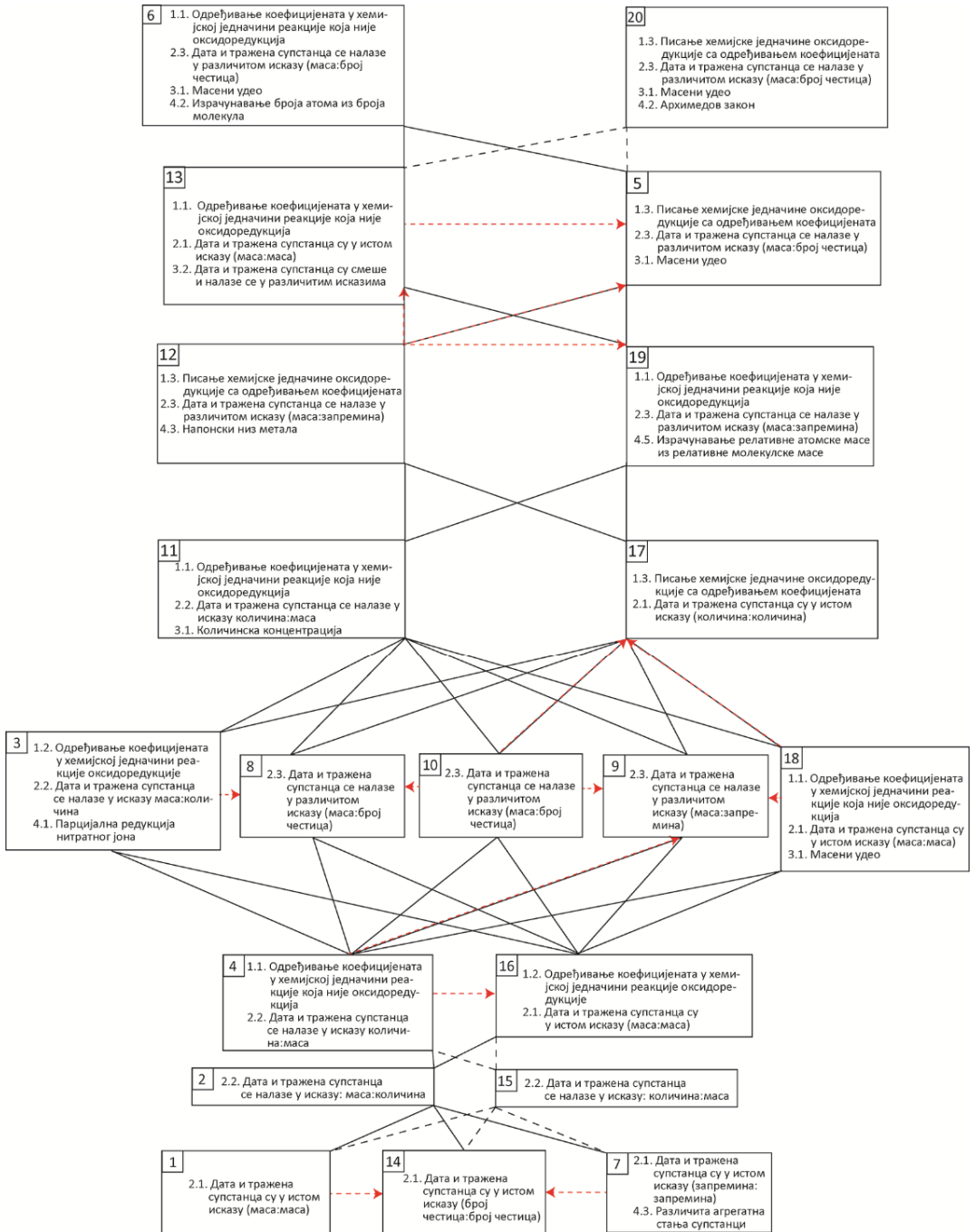
Инвертоване релације су:

(5, 12), (9, 4), (17, 10), (17,18) и (13,12).

4.3.5. Анализа разлика у просторима знања

Да би се анализа разлике графова између очекиваног и реалног простора знања учинила прегледнијом читаоцима, на слици 15 је приказан очекиван простор знања аотиран концептима и проширен релацијама из реалног простора знања.

Први, седми и четрнаести задатак имају исти нумерички рејтинг когнитивне комплексности (1) (табела 11). У сва три задатка заступљен је само концепт стехиометријског израчунавања у коме су задата и тражена супстанца биле у истом исказу. У реалном простору знања задатак четрнаест је предуслов за решавање првог и седмог задатка. То значи да су у реалном простору знања успостављене две нове релације претпостављања (14, 1) и (14, 7). Овај резултат указује на то да постоји разлика у когнитивној комплексности унутар датих проблема, коју експерти нису уочили. Додатном анализом ових проблемских задатака уочено је да се четрнаести задатак односи на израчунавања само са количинама супстанци, те су ученици могли да дођу до решења директним поређењем стехиометријских коефицијената из задате хемијске једначине. За разлику од тога, први задатак је укључивао поређења масе задате и тражене супстанце, за шта је било потребно израчунавати моларне масе.



Слика 15. Очекивани простор знања анотиран концептима заступљеним у задацима конструисан на основу нумеричког рејтинга когнитивне комплексности проблема

Развој методе за процену комплексности стехиометријских проблема

Ово је у сагласности са запажањима Боужадеа и Бараката (BouJaoude и Barakat, 2003) о тешкоћама ученика при стехиометријским рачунањима са масама учесника. Наиме, пошто израчунају релативну молекулску масу супстанци сабирањем релативних атомских маса, ученици их множе или деле са њиховим стехиометријским коефицијентима у једначини. При стехиометријском израчунавању ученици користе следећу пропорцију:

$$\text{маса}_1 : \text{маса}_2 = \text{коефицијент}_1 : \text{коефицијент}_2,$$

што значи да у стехиометријском рачунању користе мол методу као стратегију за решавање стехиометријског проблема.

У седмом задатку и тражена и дата супстанца биле су исказане запремином при стандардним условима. Међутим, тражена супстанца је исказана у течном агрегатном стању, тако да задатак укључује један додатни концепт. Због малог броја концепата (један основни и један додатни) додатни концепт не утиче на интерактивност, а тиме и на нумерички рејтинг когнитивне комплексности. Боужаде и Баракат (BouJaoude и Barakat, 2003) су утврдили да половина испитаника у њиховом истраживању користи вредност $22,4 \text{ dm}^3/\text{mol}$ као моларну запремину течности за воду и водене растворе. При томе, значајан број испитаника користи исту пропорцију за израчунавања са запреминама гасова, течности и чврстих супстанци:

$$\text{запремина}_1 : \text{запремина}_2 = \text{коефицијент}_1 : \text{коефицијент}_2.$$

Ајилдиз и Тархан (Ayıldız и Tarhan, 2013) наводе мисконцепцију према којој су ученици уверени да је моларна запремина воде у сва три агрегатна стања иста и износи $22,4 \text{ dm}^3/\text{mol}$. С обзиром на то да се когнитивне шеме експерата и испитаника разликују, експерти су вероватно превидели неке концепте који могу да утичу на укупну когнитивну комплексност задатка. Стога, предложени метод за примену теорије простора знања за анализу когнитивне комплексности проблемских задатака омогућује финије структурирање концепата које експерти превиђају или их процењују једноставнијим.

Нумерички рејтинг когнитивне комплексности шеснаестог и четвртог задатка експерти су проценили вредношћу 3. Оба ова задатка садрже по један лак коцепт и један концепт средње тежине. У реалном простору знања успостављена је нова претпостављена релација (16, 4). То значи да је задатак шеснаест предуслов задатку четири, иако оба задатка имају нумерички рејтинг когнитивне комплексности 3. Оба задатка укључују концепт хемијске једначине и концепт стехиометријског израчунавања. Међутим, ова два задатка разликују се по комплексности једначине хемијске реакције. Једначина хемијске реакције оксидо-редукције у задатку шеснаест укључује само три учесника, док једначина хемијске

реакције која није оксидо-редукција у четвртом задатку укључује пет учесника. Конструирајући Табелу за рејтинг тежине концепата заступљених у стехиометријским проблемима, експерти су дефинисали одређивање стехиометријских коефицијената у једначини хемијске реакције која није оксидо-редукција као лак концепт, а одређивање коефицијената у једначини хемијске реакције оксидо-редукције као концепт средње тежине. При томе су занемарили чињеницу да ученик може тачно одредити коефицијенте у некој једноставној једначини оксидо-редукционе реакције методом провере. Са друге стране ученик може имати потешкоће, ако примењује исту методу за одређивање коефицијената у једначини реакције која није оксидо-редукција, али има велики број учесника. Метода провере, као поступак изједначавања хемијских једначина, постаје компликованија уколико у хемијској једначини постоји више формула у којима је присутан исти елемент (Staver и Jacks, 1988). Ако упоредимо хемијске једначине из ова два задатка, у задатку шеснаест постоји само по једна структура која садржи калијум, или хлор, или кисеоник са обе стране хемијске једначине, док у задатку број 4 постоје две структуре са кисеоником (CO_2 и H_2O) на десној страни хемијске једначине. Овај пример показује да KST препознаје нијансе у комплексности које експерти нису успели да уоче.

Између осмог, трећег, деветог и десетог задатка, за које је рејтинг когнитивне комплексности био 4, у реалном простору знања се појављују новоуспостављене релације (8, 3), (8, 10) и (9, 10). Осми задатак садржи један тежак концепт, а трећи задатак садржи два концепта средње тежине и један додатни концепт. Неосетљивост Рубрике од Кнаус и др. (Knaus et al., 2011), која се огледа у чињеници да су различит број и врста концепата оцењивани истом когнитивном комплексношћу, довела је до формирања нове релације (8, 3) у реалном простору знања. Имајући у виду чињеницу да је хемијска једначина у трећем задатку сложена, јер су на десној страни једначине азот и кисеоник присутни у по две формуле, и да једначина приказује парцијалну редукцију нитратног јона, узрок инверзије постаје јасан. С друге стране, осми, девети и десети задатак укључују само један тежак концепт. Новоуспостављене релације (8, 10) и (9, 10) се могу објаснити различитим стехиометријским односима између задате и тражене супстанце. У осмом и деветом задатку њихов стехиометријски однос је 1:1, док је у задатку десет он 1:5. Ове новоуспостављене релације су у складу са ранијим истраживањима (Duncan и Johnstone, 1973; Staver и Jacks, 1988). Такође Анамуах-Менсах је утврдио да задаци који укључују стехиометријски однос 2:1 узрокују различите концептуалне потешкоће ученика које нису примећене у проблемима где је стехиометријски однос 1:1 (Anamuah-Mensah, 1986). Међутим, у експертској процени ово је било занемарено.

Развој методе за процену комплексности стехиометријских проблема

Инвертована релација (9, 4) такође се може објаснити стехиометријским односом учесника у хемијској реакцији. Инверзија релације се може објаснити стехиометријским односом учесника реакције. Наиме задатак број девет укључује однос тражене и задате супстанце 2:2 (односно 1:1), а задатак број четири укључује однос 2:1.

Неосетљивост Рубрике у одређивању нумеричког рејтинга тежине концепата потврђена је новоуспостављеном релацијом (9, 18). Оба задатка имају нумерички рејтинг когнитивне комплексности 4, јер се према Рубрици Кнаус и др. (Knaus et al., 2011) задатку који има један тежак концепт и задатку који има три лака концепта додељује исти рејтинг когнитивне комплексности. Сагласно Теорији когнитивног оптерећења (Sweller, 1988), процесирање три лака концепта више оптерећује радну меморију. Наиме, да би успешно решио овај задатак, ученик мора да изабере једну од две једначине хемијске реакције која је потребна за стехиометријско израчунавање, да одреди коефицијенте у комплексној хемијској једначини која садржи чак шест учесника и на крају да израчуна моларну масу тражене и задате супстанце.

Инвертована релација (17, 10) условљена је специфичношћу седамнаестог задатка. Уколико је ученик у стању да напише хемијску једначину за једноставни хемијски систем кога чине само три учесника, он ће моћи лако и да израчуна количину тражене супстанце директним поређем количине задате и тражене супстанце. Десети задатак садржи само један концепт стехиометријског израчунавања средње тежине.

У реалном простору знања утврђена је инвертована релација (17, 18). Разлог ове инверзије је чињеница да у осамнаестом задатку ученици пореде масе учесника и за то морају да израчунавају релативне молекулске масе, док у седамнаестом задатку директно пореде коефицијенте.

Новоуспостављена релација (13, 5) условљена је захтевом петог задатка да се напише комплексна једначина хемијске реакције са укупно седам учесника. Треба напоменути да је ученик за решење овог задатка морао да зна производ редукције перманганатног јона у киселој средини, што експерти нису навели као додатни концепт.

Новоуспостављена релација (19, 12) такође је вероватно условљена тиме што се у дванаестом задатку од ученика захтева писање једначине хемијске реакције. Исти је узрок и инвертоване релације (13, 12). Постоје истраживања у којима је показано да су ученици веома успешни у одређивању коефицијената за задате хемијске једначине. Међутим, показало се да ученици врло често не разумеју суштину основних хемијских промена (Talanquer, 2011). Стога, ако ученик не схвати суштину хемијске промене, он неће моћи да је представи

једначином хемијске реакције, па неће моћи да реши задатак чак и ако је захтев у задатку једноставан.

Инвертована релација (5, 12) се може објаснити чињеницом да ученици нису савладали наставну јединицу Напонски низ метала. Многи ученици су грешили у увиђању производа реакције између цинка и разблажене сумпорне киселине сматрајући да се као гас издваја сумпор(IV)-оксид.

Метода за процену когнитивне комплексности која се предлаже у овој дисертацији може се користити за оптимизацију захтева у проблемским задацима у односу на очекивани ментални напор. Ово је у складу са схватањима Халфорда и др. да се информације процесирају селективном обрадом (Halford et al., 1998) и резултатима Свелера и Чендлера (Sweller and Chandler, 1994), и Полока и др. (Pollock et al., 2002) према којима повећањем сложености задатака процесирање информација у радној меморији постаје мање ефикасно.

Значај Методе која је развијена у овом раду огледа се у прецизном дефинисању тежине концепата при дизајнирању стехиометријских задатака. Ова Метода може да помогне наставницима за лакше димензионисање когнитивне комплексности стехиометријских задатака и боље сагледавање напредовање ученика у учењу. За примену ове Методе потребно је да наставници сагледају стратегије решавања стехиометријских проблема својих ученика, јер нумеричко решење стехиометријског проблема често не пружа увид у ученичко разумевање хемијских концепата. Применом Методе за процену когнитивне комплексности наставник може управљати процесом учења постепеним усложњавањем стехиометријских проблема, тако да не дође до преоптерећења радне меморије ученика. Ова Метода подржава дизајн наставног материјала са различитим нивоом когнитивне комплексности што омогућује да се боље процене исходи учења и преиспита когнитивно оптерећење кроз мере менталног напора (Mattis, 2014).

5. ЗАКЉУЧАК

Циљ овог истраживања је био развој и валидација Методе за процену комплексности стехиометријских проблемских задатака. Ова Метода се може имплементирати непосредно у настави. Њен значајан допринос се огледа у помоћи наставницима да лакше димензионишу когнитивну комплексност стехиометријских проблемских задатака и боље евалуирају напредак ученика у учењу. Ова метода може послужити и као основа за дизајн поступака за процену когнитивне комплексности проблема и у другима доменима хемије. За ову сврху је конструисана Табела за процену тежине концепата и интерактивности. Комбиновањем Табеле са Рубриком за процену когнитивне комплексности Кнаус и др. (Knaus et al., 2011) добијен је валидан инструмент којим се може проценити нумерички рејтинг когнитивне комплексности стехиометријских задатака.

Метода за процену комплексности стехиометријских проблемских задатака је валидирана статистички, корелационом анализом односа ученичког постигнућа и процењене комплексности проблема, као и односом уложеног менталног напора и процењене комплексности. При томе су добијене изузетно високе вредности корелационих коефицијената.

Поред статистичке валидације Метода је подвргнута и валидацији применом Теорије простора знања. Простори знања су конструисани као очекивани простор знања из експертске процене применом предложене Методе, и реални простор знања из ученичких постигнућа на тесту, применом кориговане и минимизиране ИТА. Очекивани и реални простор знања садрже велики број истих релација претпостављања, чиме је додатно потврђена валидност Методе.

KST је у овој дисертацији први пут примењена за валидацију методе за процену комплексности проблемских задатака у стехиометрији. Добијени резултати су указали на то да и када постоји изврсно статистичко слагање, KST омогућује да се уоче fine разлике у структурама знања. Сходно томе, у овој дисертацији су анализиране и fine разлике кроз новоуспостављене и инвертоване релације претпостављања у очекиваном и реалном простору знања, чиме је потврђена идеја о непотпуном наставничком сагледавању структуре ученичког знања и процеса учења хемије (PCK).

Поступак валидације Методе, применом KST омогућава експертима finely структурирање лаких концепата у домену, што експерти често превиде сматрајући лаке концепте тривијалним. Примена KST омогућује и прецизнију

Развој методе за процену комплексности стехиометријских проблема

процену тежине тешких концепата, које Рубрика (Knaus et al., 2011) смешта у исту категорију.

Ова докторска дисертација има и непосредне импликације за наставу стехиометрије, јер указује на неке чињенице које наставници често не увиђају. То су:

- Когнитивна комплексност, односно нумерички рејтинг когнитивне комплексности стехиометријских проблемских задатака условљен је и сложеностју једначине хемијске реакције. Прво, ученици су имали више потешкоћа да изједначе хемијску једначину са већим бројем учесника реакције. Друго, постојање различитог броја формула које су укључивале исти елеменат у продуктима и реактантима додатно је повећало когнитивну комплексност задатака.
- За одређивање коефицијената у хемијској једначини ученици најчешће користе метод провере, а да при томе нису у стању да дају образложење хемијске реакције и стехиометријских односа у хемијској једначини.
- Задаци у којима је стехиометријски однос између задате и тражене супстанце 1:1, имају нижи нумерички рејтинг когнитивне комплексности од задатака са другим стехиометријским односом.
- Ученици често поседују мисконцепције којих наставници нису свесни, што узрокује повећање нумеричког рејтинга когнитивне комплексности таквих задатака.
- Задаци у којима су задата и тражена супстанца исказане у молловима имају нижи нумерички рејтинг когнитивне комплексности од задатака у којима су задата и тражена супстанца исказане у јединицама масе.

5.1. Значај истраживања

Ово истраживање је значајно у домену хемијског образовања, зато што:

- је у њему развијена и валидирана метода за процену нумеричког рејтинга когнитивне комплексности стехиометријских проблемских задатака, што омогућује наставнику управљање процесом учења постепеним усложњавањем стехиометријских задатака,
- је у овој дисертацији први пут примењена KST за процену нумеричког рејтинга когнитивне комплексности проблемских задатака у стехиометрији, која је указала на fine разлике између очекиване и реалне структуре знања, што је резултовало конкретним импликацијама за повећање ефикасности учења стехиометрије,
- се ова метода може користити за развој поступака за процену нумеричког рејтинга когнитивне комплексности проблема у другим доменима хемије.

5.2. Ограничења истраживања

Ограничење овог истраживања представља узорак испитаника. Наиме, испитивани су ученици само једне школе и једног образовног профила.

Најважније ограничење од предложене методе за идентификацију разлика у просторима знања је чињеница да је потребно ангажовање експерата да би се детаљно анализирале разлике очекиваних и реалних простора знања. Свака новоуспостављена и инвертована релација претпостављања, која је утврђена као разлика графова очекиваног и реалног простора знања мора да се процени од стране експерата у датом домену.

5.3. Импликације за даља истраживања

Табела за процену тежине задатака и интерактивности садржи концепте који су заступљени само у задацима овог теста. Стога, у даљим истраживањима било би добро обратити пажњу на додатне концепте из других домена хемије који се могу јавити у стехиометријским проблемским задацима. Развој валидних поступака за процену тежине концепата и у другим хемијским доменима могло би да олакша наставницима развој критеријума за дизајн задатака и објективнију процену ученичког постигнућа.

Примену KST у анализи реалне структуре знања требало би даље развити тако што ће се посебно анализирати спољни руб простора знања и довести у везу са зоном проксималног развоја из Конструктивистичке теорије Лава Виготског (Vygotsky,1978) чиме би се подстакао развој инструкција које погодују оптималном напредовању ученика у учењу хемије.

ЛИТЕРАТУРА

- Akpan, B. (2003). Students Perceived Areas of difficulty in Chemistry and how these are handled by popular chemistry textbooks in Stokoto Secondary School. *Nigeria Journal of curriculum studies*, **7**, 90–99.
- Albert, D. и Kaluscha, R. (1997). Adapting Knowledge Structures in Dynamic Domains. In C. Herzog (Ed.), *Beiträge zum Achten Arbeitstreffen der GI-Fachgruppe 1.1.5/7.0.1 "Intelligente Lehr-/Lernsysteme"*, September 1997, Duisburg, Germany [Contributions of the 8th Workshop of the GI SIG "Intelligent Tutoring Systems"] (pp. 89–100). TU München.
- Albert, D. и Lukas, J. (1999). *Knowledge Spaces: Theories, Empirical Research, and Applications*. Lawrence Erlbaum Associates, Inc.: Mahwah, New York.
- Albert, D., и Held, T. (1999). Component-based Knowledge Spaces in Problem Solving and Inductive Reasoning, In D. Albert и J. Lukas (Eds.), *Knowledge Spaces: Theories, Empirical Research, and Applications* (pp. 15–40). Mahwah, NJ.
- Ali, A. (2004). *A handbook of science methods for secondary schools*. Science teachers. London: Edward Arnold.
- Amernic, J.H. и Beechy, T.H. (1984). Accounting Students' Performance and Cognitive Complexity: Some Empirical Evidence. *The Accounting Review*, **59**(2), 300–313.
- Anamuah-Mensah, J., (1986), Cognitive strategies used by chemistry students to solve volumetric analysis problems. *Journal of Research in Science Teaching*, **23**(9), 759–769
- Arasasingham, R. D., Taagepera, M., Potter, F. и Lonjers, S. (2004). Using Knowledge Space Theory To Assess Student Understanding of Stoichiometry. *Journal of Chemical Education*, **81** (10), 1517–1523.
- Arasasingham, R., Taagepera, M., Potter, F., Martorell, I. и Lonjers, S. (2005). Assessing the effect of web-based learning tools on student understanding of stoichiometry using knowledge space theory. *Journal of Chemical Education*, **82**, 1251–1262.
- Astudillo, L. и Niaz, M. (1996). Reasoning strategies used by students to solve stoichiometry problems and its relationship to alternative conceptions, prior knowledge, and cognitive variables. *Journal of Science Education and Technology*, **5**, 131–140.
- Ausubel, D., Novak, J. и Hanesian., H. (1978). *Educational Psychology: A cognitive view (2nd Ed.)*. New York : Holt, Rinehart and Winston.
- Ayres, P. и Sweller, J. (1990). Locus of difficulty in multistage mathematics problems. *American Journal of Psychology*, **103**(2), 167–193.

Развој методе за процену комплексности стехиометријских проблема

- Ayyıldız, Y. и Tarhan, L. (2013), Case study applications in chemistry lesson: gases, liquids, and solids. *Chemistry Education Research and Practice*, **14**(4), 408–420.
- Batra, D. (2007). Cognitive complexity in data modeling: causes and recommendations. *Requirements Engineering*, **12**, 231–244
- Bieri, J. (1955). Cognitive complexity–simplicity and predictive behavior. *Journal of Abnormal and Social Psychology*, **51**, 263–268.
- Bodner, G. M. и Herron, J. D. (2002). Problem solving in chemistry. In: Gilbert, J. K., De Jong, O., Justi, R., Treagust, D. F., Van Driel, J. H. (Eds), *Chemical Education: Research-based Practice*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 235–266. Dordrecht: Kluwer.
- Bolkan, S. (2015). The Importance of Instructor Clarity and Its Effect on Student Learning: Facilitating Elaboration by Reducing Cognitive Load. *Communication Reports*, **29**(3), 152–162.
- BouJaoude, S. и Barakat, H. (2000). Secondary school students' difficulties with stoichiometry, *School Science Review*, **81**(296), 91–98.
- BouJaoude, S. и Barakat, H. (2003). Students' Problem Solving Strategies in Stoichiometry and their Relationships to Conceptual Understanding and Learning Approaches. *Electronic Journal of Science Education*, **7**(3), <http://wolfweb.unr.edu/homepage/crowther/ejse/boujaoude.pdf> (датум приступа: 16.03.2012.).
- Brković, A., Petrović-Bjekić, D. и Zlatić, L. (1998). Motivacija učenika za nastavne predmete. *Psihologija*, **1-2**, 115–136
- Broman, K., Ekborg, M. и Johnels, D. (2011). Chemistry in crisis? Perspectives on teaching and learning chemistry in Swedish upper secondary schools. *Nordic Studies in Science Education*, **7**(1), 43–60
- Brown, D. L. (2006). Can you do the math? Mathematic competencies of baccalaureate degree nursing students. *Nurse Educator*, **31**, 98–100.
- Bunce D. M., Gabel, D. L. и Samuel J. V. (1991). Enhancing Chemistry Problem-Solving Achievement Using Problem Categorization. *Journal of Research in Science Teaching*, **28**(6), 505–521.
- Bunce, D. M. (2001). Does Piaget Still Have Anything to Say to Chemists?. *Journal of Chemical Education*, **78**(8), 1107–1120.
- Burana, L. и Dahsah, C. (2016). Problem Solving Ability of High School Chemistry Students. *NPSE 2016: New Perspectives in Science Education*, 5th Edition.
- Burleson, B. R. и Caplan, S. E. (1998). Cognitive complexity. In McCroskey, J. C. , Daly, J. A. , Martin M. M. *Communication and personality: Trait perspectives*, 230–286, Cresskill, NJ: Hampton.

- Campbell, D. J. (1988). Task Complexity: A Review and Analysis. *The Academy of Management Review*, **13**(1), 40–52.
- Campbell, D. J. и Gingrich, K. (1986) The interactive effects of task complexity and participation on task performance: A field experiment. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, **38**, 162–180.
- Cardellini, L. (2006). Fostering creative problem solving in chemistry through group work. *Chemistry Education Research and Practice*, **7**(2), 131–140.
- Cardellini, L. (2012). Chemistry: Why the Subject is Difficult?. *Educación Química*, **23**, 305–310.
- Carter, C. S. и Brickhouse, N. W. (1989). What Makes Chemistry Difficult? Alternate Perceptions. *Journal of Chemical Education*, **66**(3), 223–225
- Chandrasegaran, A. L., Treagusta, D. F., Waldripb, B. G. и Chandrasegaran, A. (2009). Students' Dilemmas in Reaction Stoichiometry Problem Solving: Deducing the Limiting Reagent in Chemical Reactions. *Chemistry Education Research and Practice*, **10**, 14–23.
- Cheng, Y.-H. и Lin, F.-L. (2008). A study on left behind students for enhancing their competence of geometry argumentation. In O. Figueras, J. L. Cortina, S. Alatorre, T. Rojano, и A. Sepúlveda (Eds.), *Proceedings of the Joint Meeting of the 32nd Conference of the International Group for the Psychology of Mathematics Education (PME) and PME-NA XXX (Vol. 2, pp. 305–312)*. Morelia, Mexico.
- Childs, P.E и Sheehan, M. (2009). What's difficult about chemistry? An Irish perspective. *Chemistry Education Research and Practice*, **10**, 204–218.
- Chiu, M. H. (2001). Algorithmic Problem Solving and Conceptual Understanding of Chemistry by Students at a Local High School in Taiwan. *Proceedings of the National Science Council, Republic of China (D)*, **11**(1), 20–38.
- Chiu, M. H., Chou, C. C. и Liu C. J. (2002) Dynamic Processes of Conceptual Change: Analysis of Constructing Mental Models of Chemical Equilibrium. *Journal of Research in Science Teaching*, **39**(8), 688–712
- Coll, R. K., Ali, S., Bonato, J. и Rohindra, D. (2006). Investigating First-Year Chemistry Learning Difficulties in the South Pacific: A Case Study from Fiji. *International Journal of Science and Mathematics Education*, **4**(3), 365–390.
- Costu, B. (2010). Algorithmic, Conceptual and Graphical Chemistry Problems: A Revisited Study. *Asian Journal of Chemistry*, **22**(8), 6013–6025.
- Cosyn, E., Doble, C., Falmagne, J. C., Lenoble, A., Thiery, N. и Uzun, H. (2013). Assessing Mathematical Knowledge in a Learning Space. In J. C. Falmagne, D. Albert, C. Doble, D. Eppstein, X. Hu (eds.). *Knowledge Spaces: Applications in Education*. pp. 27–50. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

Развој методе за процену комплексности стехиометријских проблема

- Cracolice, M. S., Deming, J. C. и Ehlert, B. (2008). Concept Learning versus Problem Solving: A Cognitive Difference. *Journal of Chemical Education*, **85**(6), 873–878.
- Dahsah, C. и Coll, R. K. (2007). Thai Grade 10 and 11 Students' Understanding of Stoichiometry and Related Concepts. *International Journal of Science and Mathematics Education*, **6**, 573–600.
- Daniel, R. C. и Embretson, S. E. (2010). Designing cognitive complexity in mathematical problem-solving items. *Applied Psychological Measurement*, **34**, 348–364.
- Davidowitz, B., Chittleborough, G. и Murray, E. (2010). Student-generated submicro diagrams: a useful tool for teaching and learning chemical equations and stoichiometry. *Chemistry Education Research and Practice*, **11**, 154–164.
- Davidson, R. A. (1996). Cognitive complexity and performance in professional accounting examinations. *Accounting Education*, **5** (3), 219–231.
- de Jong, T. и Ferguson - Hessler, M. G. M. (1986). Cognitive Structures of Good and Poor Novice Problem Solvers in Physics. *Journal of Educational Psychology*, **78**(4), 279–288.
- de Quadros, A. L., Da-Silva, D. C., Silva, F. C., de Andrade, F. P., Aleme, H. G., Tristão, J. C., Oliveira, S. R., Santos, L. J. и De Freitas-Silva, G. (2011). The knowledge of chemistry in secondary education: difficulties from the teachers' viewpoint. *Educación Química*, **22**(3), 232-239.
- Deese, J. (1965) *The structure of association in language and thought*. Baltimore, USA: The Johns Hopkins University Press.
- Doignon, J. P. и Falmagne, J. C. (1985). Spaces for the assessment of knowledge. *International Journal of Man-Machine Studies*, **23**, 175–196
- Doignon, J. P. и Falmagne, J. C. (1999). *Knowledge spaces*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg GmbH.
- Dori, Y. J. и Hameiri, M. (2003). Multidimensional Analysis System for Quantitative Chemistry Problems: Symbol, Macro, Micro, and Process Aspects. *Journal of Research in Science Teaching*, **40**(3), 278–302.
- Duncan, I. M., Johnstone, A. H., (1973). The mole concept in chemistry. *Education in Chemistry*, **10**(6), 213–215.
- Duran, M. (2016). An academic survey concerning high school and university students' attitudes and approaches to problem solving in chemistry. *International Journal of Environmental u Science Education*, 819-837.
- Embretson, S.E. и Daniel, R.C. (2008). Understanding and quantifying cognitive complexity level in mathematical problem solving items. *Psychology Science Quarterly*, **50**(3), 328–344

- Evans, K. L., David Yaron, D. и Leinhardt, G. (2008). Learning stoichiometry: a comparison of text and multimedia formats. *Chemistry Education Research and Practice*, **9**, 208–218.
- Eysink, T. H. S. и De Jong, T. (2012). Does instructional approach matter? How elaboration plays a crucial role in multimedia learning. *The Journal of the Learning Sciences*, **21**, 583–625.
- Fach, M., de Boer, T. и Parchmann, I. (2007). Results of an interview study as basis for the development of stepped supporting tools for stoichiometric problems. *Chemistry Education Research and Practice*, **8**(1), 13–31.
- Falmagne, J. C. (1989). A latent trait theory via a stochastic learning theory for a knowledge space. *Psychometrika*, **54** (2), 283–303
- Falmagne, J. C. и Doble, C. (2013). Overview. In: J. C. Falmagne, D. Albert, C. Doble, D. Eppstein, X. Hu (eds.). *Knowledge Spaces: Applications in Education*. pp. 3–26. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Falmagne, J. C. и Doignon, J. P. (2011). *Learning Spaces. Interdisciplinary Applied Mathematics*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg.
- Falmagne, J. C. и Lakshminarayan, K. (1994). Stochastic Learning Paths - Estimation and Simulation. In G.H. Fisher, D. Laming (Ed.). *Contributions to Mathematical Psychology, Psychometrics, and Methodology*. Recent Research in Psychology, pp. 91–110. New York, Springer - Verlag.
- Falmagne, J. C., Cosyn, E., Doble, C., Lenoble, A., Thiery, A. и Uzun, H. (2007). Assessing Mathematical Knowledge in a Learning Space. Validity and/or Reliability Papers for NCME 2007 Symposium "On-Demand Learning-Embedded Benchmark Assessment Using Classroom Technology" http://www.stat.cmu.edu/~brian/NCME07/Validity_in_L_Spaces.pdf (датум приступа 24.06.2012.)
- Falmagne, J. C., Cosyn, E., Doignon, J. P. и Thiéry N. (2006) The Assessment of Knowledge, in Theory and in Practice. In: Missaoui R., Schmidt J. (eds) *Formal Concept Analysis. Lecture Notes in Computer Science*, 3874. Springer, Berlin, Heidelberg
- Falmagne, J. C., Koppen, M., Villano, M. Doignon, J. P. и Johannesen, L. (1990) Introduction to Knowledge Spaces: How to Build, Test, and Search Them. *Psychological Review*, **97**(2), 201–224
- Falmagne, J. C., Koppen, M., Villano, M., Doignon, J. P. и Johannesen, L. (1990). Introduction to Knowledge Spaces: How to Build, Test, and Search Them. *Psychological Review*, **97**(2), 201–224.
- Felder, R. M. (1990). Stoichiometry without tears. *Chemical Engineering Education*, **24**(1), 188–196.

Развој методе за процену комплексности стехиометријских проблема

- Finley, F. N. , Stewart, J. и Yaroch, W. L. (1982). Teachers' perceptions of important and difficult science content, *Science Education*, **66**(4), 531–538
- Flood. R.L. и Carson E.R. (1988). *Dealing with complexity: an introduction to the theory and application of systems science*. Plenum, New York
- Florida Department of Education/Office of Assessment. FCAT 2.0 Cognitive Complexity Classification of the 2012-13. Statewide Assessment Test Items. <http://www.fldoe.org/core/fileparse.php/3/urlt/cognitivecomplexity.pdf> (датум приступа 12.03.2018.)
- Frazer, M. J. и Sleet, R. J. (1984). A study of students' attempts to solve chemical problems. *European Journal of Science Education*, **6**(2), 141–152.
- Freytag, K., Glaum, E. и Thomas, E. (1996). *Grundziige der Chemie*. Frankfurt: Diesterweg.
- Furió, C., Azcona, R. и Guisasola, J. (2002). The Learning and Teaching of the Concepts Amount of Substance and Mole: A Review of the Literature. *Chemistry education: Research and Practice in Europe*, **3**(3), 277–292.
- Gabel, D. (1999). Improving Teaching and Learning through Chemistry Education Research: A Look to the Future. *Journal of Chemical Education*, **76**(4), 548–554.
- Gabel, D. L. и Sherwood, R. D. (1983). Facilitating problem solving in high school chemistry achievement. *Journal of Research in Science Teaching*, **20**, 163-177.
- Gagne, R.M. (1977). *The Conditions of Learning*. 3rd Edition. New York, Holt, Rinehart and Winston.
- Ginns, P. (2005). Meta-analysis of the modality effect. *Learning and Instruction*, **15**, 313–331.
- Glažar, S. A. и Devetak, I. (2002). Secondary school students' knowledge of stoichiometry. *Acta Chimica Slovenica*, **49**, 43–53.
- Goldreich, O (2008). *Computational Complexity: A Conceptual Perspective*. Cambridge, Cambridge University Press.
- Gorodetsky, M. и Hoz, R. (1985). Changes in the group cognitive structure of some chemical equilibrium concept following a university course in general chemistry. *Science Education*, **69**, 185–199.
- Grayce, C. J. (2013). A Commercial Implementation of Knowledge Space Theory. In College General Chemistry. In J. C. Falmagne, D. Albert, C. Doble, D. Eppstein, X. Hu (eds.). *Knowledge Spaces: Applications in Education*. pp. 93–113. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Green, G. и Rollnick, M. (2006). The Role of Structure of the Discipline in Improving Student Understanding: The Case of Organic Chemistry. *Journal of Chemical Education*, **83**(9), 1376–1381

- Halford, G. S., Wilson, W. H. и Phillips, S. (1998). Processing capacity defined by relational complexity: implications for comparative, developmental, and cognitive psychology. *Behavioral & Brain Sciences*, **21**, 803–831.
- Hayes, J. (1980). *The Complete Problem Solver*. The Franklin Institute: Philadelphia
- Herron, J. D. (1975). Piaget for Chemists. Explaining what "good" students cannot understand. *Journal of Chemical Education*, **52**(3), 146–150.
- Heyworth, R. M. (1998). Quantitative Problem Solving in Science: Cognitive Factors and Directions for Practice. *Education Journal*, **26**(1), 12–29
- Heyworth, R. M. (1999). Procedural and conceptual knowledge of expert and novice students for the solving of a basic problem in chemistry. *International Journal of Science Education*, **21**(2), 195–211.
- Hoban, R. (2011). *Mathematical transfer by chemistry undergraduate students*. Dublin: Dublin City University.
- Hockemeyer, C. (1997). Using the Basis of a Knowledge Space for Determining the Fringe of a Knowledge State. *Journal of Mathematical Psychology*, **41**, 275–279.
- Holme, T. & Murphy, K. (2011). Assessing Conceptual and Algorithmic Knowledge in General Chemistry with ACS Exams. *Journal of Chemical Education*, **88**, 1217–1222.
- Hunt, D.E. (1971). *Matching Models in Education: The Curriculum of Teaching Methods with Student Characteristics*, Ontario Institute for Studies in Education.
- Hurt, R.L. (1994). Cognitive Complexity and Accounting Education, in Burns, J. O. и Needles, B.E. (eds.) *Accounting Education for the 21st Century, The Global Challenges*, pp. 346–352. Elsevier Science Ltd., The Boulevard, Langford Lane, Kidlington, Oxford
- Johnstone, A. H. (1993). "Introduction". In: Wood, C. и Sleet, R. (Eds). *Creative Problem Solving in Chemistry*. London, The Royal Society of Chemistry. NJ: Prentice Hall.
- Johnstone, A. H. (2000). Teaching of chemistry - logical or psychological? *Chemistry Education: Research and Practice in Europe*, **1**(1), 9–15.
- Johnstone, A. H. и El-Banna, H. (1986). Capacities, Demands and Processes – a Predictive Model for Science Education. *Education in Chemistry*, **23**, 80–84
- Johnstone, A. H. и El-Banna, H. (1989). Understanding learning difficulties a predictive research model, *Studies in Higher Education*, **14**, 159–167.
- Jonassen, D. H. (2004). *Learning to Solve Problems An Instructional Design Guide*. San Francisco - Pfeiffer.
- Jonassen, D. H. (2011). *Learning to Solve Problems - A Handbook for Designing Problem-Solving Learning Environments*. New York-Routledge.

Развој методе за процену комплексности стехиометријских проблема

- Jonsson A. и Svingby G. (2007). The use of scoring rubrics: Reliability, validity and educational consequences. *Educational Research Review*, **2**, 130–144.
- Kalyuga, S. (2008). *Managing Cognitive Load in Adaptive Multimedia Learning*. Information Science reference. Hershey New York
- Kalyuga, S. (2010). Managing Cognitive Load in Adaptive ICT-Based Learning. *Journal of Systemics, Cybernetics and Informatics*, **7**, 16 Karuppiah 21.
- Karuppiah, N. (2007). Solving stoichiometric problems: Do we really understand our students? *CoSMed*, 2007, <http://www.recsam.edu.my/cosmed/cosmed07/abstractsfullpapers2007/SCIENCE/S029F.pdf>, (датум приступа, 28. jun 2014.)
- Kelly G.A. (1955). *The Psychology of Personal Construct. A theory of personality*. New York: Taylor и Francis Group
- Kester, K., Paas, F. и van Merriënboer, J. J. G. (2010). Instructional Control of Cognitive Load in the Design of Complex Learning Environments. In J. L. Plass, R. Moreno, R. Brünken (Ed.). *Cognitive Load Theory*, 109–130. Cambridge: Cambridge University Press.
- Kim, S. J., Alevan, V. и Dey, A. K. (2014). Understanding expert-novice differences in geometry problem-solving tasks: a sensor-based approach, 1867–1872. *Proceeding of CHI EA '14 CHI '14 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*. Toronto, Canada, 26 April - 01 May, 2014.
- Knaus, K., Murphy, K., Blecking, A. и Holme, T. (2011). A Valid and Reliable Instrument for Cognitive Complexity Rating Assignment of Chemistry Exam Items. *Journal of Chemical Education*, **88**, 554–560
- Koppen, M. (1993). Extracting Human Expertise for Constructing Knowledge Spaces: An Algorithm. *Journal of Mathematical Psychology*, **37**, 1–20.
- Kousathana, M. и Tsaparlis, G. (2002). Students' errors in solving numerical chemical-equilibrium problems. *Chemistry Education: Research and Practice in Europe*, **3**(1), 5–17.
- Kozma, R. B. и Russell, J. (1997). Multimedia and understanding: Expert and novice responses to different representations of chemical phenomena. *Journal of Research in Science Teaching*, **34**(9), 949–968.
- Krieger, C. R. (1997). Stoichiometry: A Cognitive Approach to Teaching Stoichiometry. *Journal of Chemical Education*, **74**(3), 306–309.
- Lee, F. L. и Heyworth, R. M. (2000). Problem Complexity: A Measure of Problem Difficulty in Algebra. *Education Journal*, **28**(1), 85–107.
- Leventhal, H. и Singer, D. L., (1964) Cognitive complexity, impression formation and impression change. *Journal of Personality*, **32**(2), 210–226.

- Li, Y. и Belkin, N. J. (2010). An exploration of the relationships between work task and interactive information search behavior. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, **61**(9), 1771–1789.
- Lin, H. S., Lee, S. T. и Treagust, D. (2005). Chemistry Teachers' Estimations of Their Students' Learning Achievement. *Journal of Chemical Education*, **82**(10), 1565–1569.
- Lugemwa, F. N. (2012). Fostering Basic Problem-Solving Skills in Chemistry. *African Journal of Chemical Education*, **2**(2), 79–91.
- Maciejowska, I. (2009). Calculations in Chemistry: Permanent Problem of Students and their Teachers. *Gamtamokslinis Ugdyimas*, **3**(26) 38–43. <http://oaji.net/articles/2014/514-1394533215.pdf> (датум прситупа 23.02.2018).
- March, J., и Simon, H. (1958). *Organizations*. New York: Wiley.
- Markić, S. и Childs, P.E (2016). Language and the teaching and learning of chemistry. *Chemistry Education Research and Practice*, **17**, 434–438
- Mattis, K. V. (2014). Flipped Classroom Versus Traditional Textbook Instruction: Assessing Accuracy and Mental Effort at Different Levels of Mathematical Complexity. *Technology, Knowledge and Learning*, **20**(2), 231–248.
- Mayer, R. E. (2001). *Multimedia learning*. New York, NY: Cambridge University Press.
- Mayer, R. E. (2005). Multimedia learning: Guiding visuospatial thinking with instructional animation. In P. Shah и A. Miyake (Eds.). *The Cambridge handbook of visuospatial thinking*. New York: Cambridge University Press.
- Mayer, R. E. (2009). (Ed.). *Multimedia learning*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Maynard, D. C. и Hakel, M. D. (1997). Effects of objective and subjective task complexity on performance. *Human Performance*, **10**(4), 303 – 330.
- Mayo, C. W. и Crockett W. H. (1964). Cognitive Complexity and Primacy–Recency Effects in Impression Formation. *Journal of Abnormal and Social Psychology*, **68**(3), 335–338.
- Molnár, J. и Molnár–Hamvas, L. (2011). LEGO–Method–New Strategy for Chemistry Calculation. *US–China Education Review B*, **7**, 891–908.
- Nadolski, R. J., Kirschner, P. A. , van Merriënboer, J. J. G. и Wöretshofer J. (2005). Development of an Instrument for Measuring the Complexity of Learning Task. *Educational Research and Evaluation*, **11**(1), 1–27.
- Nakhleh, M. B. и Mitchell, R. C. (1993). Concept Learning versus Problem Solving: There Is a Difference. *Journal of Chemical Education*, **70**(3), 190–192.

Развој методе за процену комплексности стехиометријских проблема

- Nakiboglu, C. (2008). Using word associations for assessing non major science students' knowledge structure before and after general chemistry instruction: the case of atomic structure. *Chemistry Education Research and Practice*, **9**, 309–322.
- Newell, A., Simon, H. (1972). *Human Problem Solving*. Englewood. Cliffs,
- Ngu, B. H. и Yeung, A. S. (2013). Algebra word problem solving approaches in a chemistry context: Equation worked examples versus text editing. *Journal of Mathematical Behavior*, **32**, 197–208.
- Niaz, M. (1988). Manipulation of M Demand of Chemistry Problems and its Effect on Student Performance: A Neo-Piagetian Study. *Journal of Research in Science Teaching*, **25**, 643–657
- Niaz, M. (1995). Cognitive Conflict as a Teaching Strategy in Solving Chemistry Problems: A Dialectic-Constructivist Perspective. *Journal of Research in Science Teaching*, **32**(9), 959–970
- Niaz, M. и Robinson, W. R. (1992). Manipulation of logical structure of chemistry problems and its effect on student performance. *Journal of Research in Science Teaching*, **29**, 211–226.
- Novak J. D. и Cañas A. J. (2006). *The Theory Underlying Concept Maps and How to Construct Them (Technical Report No. IHMC CmapTools 2006-01)*. Pensacola, FL: Institute for Human and Machine Cognition <http://cmap.ihmc.us/Publications/ResearchPapers/TheoryUnderlyingConceptMaps.pdf> (датум приступа, 29. jun 2015.)
- Novak, J. D., Gowin, D. B., и 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.
- Nunnally, J. и Bernstein., L. (1994). *Psychometric theory*. New York: McGraw-Hill Higher, INC; 3rd edition.
- O'Keefe, D.J., и Sypher, H.E., (1981). Cognitive complexity measures and the relationship of cognitive complexity to communication. *Human Communication Research*, **8**, 72–92
- Omiko, A. (2013). Perception of Chemistry teachers on major determinants of students achievement in difficult chemistry concepts. *Journal of Research and theory in Education*, **5**(2), 50–59.
- Omiko, A. (2017). Identification of the Areas of Students Difficulties in Chemistry Curriculum at the Secondary School Level. *International Journal of Emerging Trends in Science and Technology*, **4**(4), 5071–5077.
- Oosterhof, A., Rohani, F., Sanfilippo, C., Stillwell, P. и Hawkins, K. (2008). *The Capabilities-Complexity Model*. Center for Advancement of Learning and Assessment Florida

- State University. <https://files.eric.ed.gov/fulltext/ED525198.pdf> (датум приступа 12.03.2018.)
- Opdenacker, C., Fierens, H., Van Brabant, H., Sevenants, J., Spruyt, J., Sloommaekers, P. J. и Johnstone, A. H. (1990). Academic performance in solving chemistry problems related to student working memory capacity. *International Journal of Science Education*, **12**(2), 177-185.
- Osman, K. и Sukor, N. S., (2013), Conceptual understanding in secondary school chemistry: a discussion of the difficulties experienced by students. *American Journal of Applied Sciences*, **10**(5), 433-441
- Overton, T., Potter, N. и Leng, C. (2013). A study of approaches to solving open-ended problems in chemistry. *Chemistry Education Research and Practice*, **14**, 468-475.
- Paas, F. (1992). Training Strategies for Attaining Transfer of Problem-Solving Skill in Statistics: A Cognitive-Load Approach. *Journal of Educational Psychology*, **84** (4), 429-434.
- Paas, F. и van Merriënboer, J. J. G. (1994). Instructional control of cognitive load in the training of complex cognitive tasks. *Educational Psychology Review*, **6**, 51-71.
- Pande, S. S., Pande, R. P., Parate, V. P., Nikam, A. N. и Agrekar, S. H. (2013). Correlation between difficulty & discrimination indices of MCQs in formative exam in Physiology. *South-East Asian Journal of Medical Education*. **7**(1), 45-50.
- Pippenger, N. (1978) Complexity theory. *Scientific American*, **238**, 114-125
- Pollock, E., Chandler, P. и Sweller, J. (2002). Assimilating complex information. *Learning and Instruction*, **12**, 61-86.
- Raker, J. R., Trate, J. M., Holme, T. A. и Murphy, K. (2013). Adaptation of an Instrument for Measuring the Cognitive Complexity of Organic Chemistry Exam Items. *Journal of Chemical Education*, **90**, 1290-1295.
- Ramful, A. и Narod, F. B. (2014). Proportional reasoning in the learning of chemistry: levels of complexity. *Mathematics Education Research Journal*, **26**(1), 25-46.
- Reid, N. и Yang, M.J. (2002). The Solving of Problems in Chemistry: the more open-ended problems. *Research in Science & Technological Education*, **20**(1), 83-98.
- Schmidt, H. J. (1994). Stoichiometric problem solving in high school chemistry. *International Journal of Science Education*, **16**, 191-200
- Schmidt, H. J. (1997). An Alternate Path to Stoichiometric Problem Solving. *Research in Science Education*, **27**(2), 237-249.
- Schmidt, H. J. и Jignéus C. (2003). Students' Strategies in Solving Algorithmic Stoichiometry Problems. *Chemistry Education Research and Practice*, **4**(3), 305-317.

Развој методе за процену комплексности стехиометријских проблема

- Schneider, M. C., Huff, K. L., Egan, K. L., Gaines, M. L. и Steve Ferrara, S. (2013). Relationships Among Item Cognitive Complexity, Contextual Demands, and Item Difficulty: Implications for Achievement-Level Descriptors. *Educational Assessment*, **18**, 99–121.
- Schrepp, M. (1999a). Extracting knowledge structures from observed data. *British Journal of Mathematical and Statistical Psychology*, **52**, 213–224.
- Schrepp, M. (1999b). An Empirical Test of a Process Model for Letter Series Completion Problems. In D. Albert и J. Lukas (Eds.), *Knowledge Spaces: Theories, Empirical Research Applications*, pp. 133–154. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates
- Schrepp, M., Held, T., и Albert, D. (1999). Component-based Construction of Surmise Relations for Chess Problems, In D. Albert и J. Lukas (Eds.), *Knowledge Spaces: Theories, Empirical Research, and Applications* (pp. 41–66). Mahwah, NJ.
- Schroeder, J., Murphy, K. L. и Holme, T. A. (2012). Investigating Factors That Influence Item Performance on ACS Exams. *Journal of Chemical Education*, **89**, 346–350.
- Schuttlefield, J. D., Kirk, J., Pienta, N. J. и Tang, H. (2012). Investigating the Effect of Complexity Factors in Gas Law Problems. *Journal of Chemical Education*, **89**, 586–591.
- Scott, F. J. (2012). Is mathematics to blame? An investigation into high school students' difficulty in performing calculations in chemistry. *Chemistry Education Research and Practice*, **13**, 330–336.
- Segedinac, M., Savić, G., Konjović, Z., и Segedinac, M. (2010). Optimal counter examples expectation based method for knowledge space construction, *8th IEEE International Symposium on Intelligent Systems and Informatics*, Subotica, Serbia
- Segedinac, M., Segedinac, M., Konjović, Z. и Savić, G., (2011). A formal approach to organization of educational objectives. *Psihologija*, **44**, 307–323.
- Selvaratnam, M. и Canagaratna, S. G. (2008). Using Problem-Solution Maps To Improve Students' Problem-Solving Skills. *Journal of Chemical Education*, **85**(3), 381–385
- Sirhan, G. (2007). Learning Difficulties in Chemistry: An Overview. *Journal of Turkish Science Education*, **4**(2), 2–20.
- Smith, M. U. (1988). Towards a unified theory of problem solving: A view from Biology. *Annual Meeting of the American Educational Research Association*. New Orleans, April 5–9, 1988
- Solaz-Portolés J. J. и López, V. J. (2007). Cognitive variables in science problem solving: A review of research. *Journal of Physics Teacher Education Online*, **4**(2), 25–32
- Spoto, A., Stefanutti, L. и Vidotto, G. (2010) Knowledge space theory, formal concept analysis, and computerized psychological assessment. *Behavior Research Methods*, **42**(1), 342–350.

- Staver, J. R. и Jacks, T. (1988). The Influence of Cognitive Reasoning Level, Cognitive Restructuring Ability, Disembedding Ability, Working Memory Capacity, and Prior Knowledge on Students' Performance on Balancing Equations By Inspection. *Journal of Research in Science Teaching*, **25**(9), 763–775.
- Staver, J. R. и Lumpe, A. T. (1995). Investigations of Students' Understanding of the Mole Concept and Its Use in Problem Solving. *Journal of Research in Science Teaching*, **32**(2), 177–193
- Sternberg, R. J. и Williams, W.M. (2002). *Educational Psychology*. 2nd Edition, Allyn and Bacon, Boston
- Surif, J. Ibrahim, H.P. и Dalimc, S. F. (2014). Problem Solving: Algorithms and Conceptual and Open-Ended Problems in Chemistry. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, **116**, 4955–4963.
- Sweller, J. (1988). Cognitive load during problem solving: Effects on learning. *Cognitive Science*, **12**, 257–285.
- Sweller, J. (1994). Cognitive Load Theory, Learning Difficulty, And Instructional Design. *Learning and Instruction*, **4**, 293–312.
- Sweller, J. и Chandler, P. (1994). Why Some Material Is Difficult to Learn. *Cognition and Instruction*, **12**(3), 185–233.
- Sweller, J., Ayres, P. и Kalyuga, S. (2011). *Cognitive Load Theory*. Springer New York.
- Sweller, J., van Merriënboer, J. J. G. и Paas, F. (1998). Cognitive architecture and instructional design. *Educational Psychology Review*, **10**(3), 251–296.
- Taagepera, M. и Arasasingham, R.D. (2013). Using Knowledge Space Theory to Assess Student Understanding of Chemistry. In College General Chemistry. In. J.C. Falmagne, D. Albert, C. Doble, D. Eppstein, X. Hu (eds.). *Knowledge Spaces: Applications in Education*. pp. 115–128. Springer - Verlag Berlin Heidelberg
- Taagepera, M. и Noori, S. (2000). Mapping students' thinking patterns in learning organic chemistry by the use of knowledge space theory. *Journal of Chemical Education*, **77**, 1224–1229.
- Taagepera, M., Arasasingham, R. D., King, S., Potter, F., Martorell, I., Ford, D., Wu, J. и Kearney, A. M. (2011). Integrating symmetry in stereochemical analysis in introductory organic chemistry. *Chemistry Education Research and Practice*, **12**, 322–330.
- Taagepera, M., Arasasingham, R., Potter, F., Soroudi, A. и Lam, G. (2002). Following the development of the bonding concept using knowledge space theory. *Journal of Chemical Education*, **79**, 756–762.
- Taagepera, M., Potter, F., Miller, G. E. и Lakshminarayan, K. (1997). Mapping students' thinking patterns by the use of the Knowledge Space Theory. *International Journal of Science Education*, **19**(3), 283–302.

Развој методе за процену комплексности стехиометријских проблема

- Talanquer, V., (2011), Macro, submicro, and symbolic: the many faces of the chemistry “triplet”. *International Journal of Science Education*, **33**(2), 179–195.
- Tang, H., Kirk, S. и Pienta, N. J. (2014). Investigating the Effect of Complexity Factors in Stoichiometry Problems Using Logistic Regression and Eye Tracking. *Journal of Chemical Education*, **91**, 969–975
- Tóth Z. и Ludányi, L., (2007), Using phenomenography combined with knowledge space theory to study students’ thinking patterns in describing an ion, *Journal of Baltic science education*, **6**(3), 27–33.
- Tóth, Z. (2007). Mapping students’ knowledge structure in understanding density, mass percent, molar mass, molar volume and their application in calculations by the use of the knowledge space theory. *Chemistry Education Research and Practice*, **8** (4), 376–389.
- Tóth, Z. и Kiss, E. (2006). Using particulate drawings to study 13-17 year olds’ understanding of physical and chemical composition of matter as well as the state of matter. *Practice and Theory in Systems of Education*, **1**, 109–125.
- Tóth, Z. и Kiss, E., (2005). Hungarian secondary school students’ strategies in solving stoichiometric problems. *Journal of Science Education - Revista de educación en ciencias*, **6**, 47–49.
- Tóth, Z. и Sebestyén, A. (2009). Relationship between Students’ Knowledge Structure and Problem-Solving Strategy in Stoichiometric Problems based on the Chemical Equation. *Eurasian Journal of Physich and Chemical Education*, **1**(1), 8–20.
- Towns, M. H. (2014). Guide To Developing High-Quality, Reliable, and Valid Multiple-Choice Assessments. *Journal of Chemical Education*, **91**, 1426–1431.
- Tsaparlis, G. (2005). Non-algorithmic quantitative problem solving in university physical chemistry: A correlation study of the role of selective cognitive factors. *Research in Science & Technological Education*, **23**, 125–148.
- Uchegbu, R. I., Anozieh, M. C., Mbadiugha, C. N. Ibe, C. O., и Njoku, P. C. (2015). Teachers’ Perception of the Impediments to Chemistry Teaching in Secondary Schools in Imo State, Nigeria. *Open Science Journal of Education*, **3**(5), 26–31
- Ünlü, A., Schrepp, M., Heller, J., Hockemeyer, K., Wesiak, G. и Albert, D. (2013). Recent Developments in Performance-based Knowledge Space Theory. In. J. C. Falmagne, D. Albert, C. Doble, D. Eppstein, X. Hu (eds.). *Knowledge Spaces: Applications in Education*. pp. 115–128. Springer - Verlag Berlin Heidelberg.
- Uzezi, J.G., Ezekiel, D., Auwal, A. K. M. (2017). Assessment of Conceptual Difficulties in Chemistry Syllabus of the Nigerian Science Curriculum as Perceived by High School College Students. *American Journal of Educational Research*, **5**(7), 710–716.

- Vaarik, A., Taagepera, M. и Tamm, L. (2008). Following the logic of student thinking patterns about atomic structures. *Journal of Baltic Science Education*, **7**, 27–36.
- Vakkari, P. (1999). Task complexity, problem structure and information actions. Integrating studies on information seeking and retrieval. *Information Processing and Management*, **35**, 819–837.
- van Gog, T., Kester., L. и Paas, F. (2011). Effects of Concurrent Monitoring on Cognitive Load and Performance as a Function of Task Complexity. *Applied Cognitive Psychology*, **25**, 584–587
- van Gog, T., и Paas, F. (2008). Instructional efficiency: Revisiting the original construct in educational research. *Educational Psychologist*, **43**, 16-26.
- van Leeuwe, J. F. J. (1974). Item tree analysis. *Nederlands Tijdschrift voor de Psychologie*, **29**, 475–484.
- Vygotsky, L.S. (1978). *Mind in Society: The development of higher psychology processes*. Cambridge MA: Harvard University press
- Wagner, E. P. (2001). A Study Comparing the Efficacy of a Mole Ratio Flow Chart to Dimensional Analysis for Teaching Reaction Stoichiometry. *School Science and Mathematics*, **101**(1), 10–22.
- Wheatley, G. H. (1984). *Problem solving in school mathematics*. MEPS Technical Report 84.01, School Mathematics and Science Center, Purdue University, West Lafayette, IN.
- Witzel, J. E. (2002). Lego Stoichiometry. *Journal of Chemical Education*, **79**(3), 352A–352B.
- Woldeamanuel, M. M., Atagana, H. и Engida, T. (2014). What Makes Chemistry Difficult? *African Journal of Chemical Education*, **4**(2), 31–43
- Wood, R. E. (1986). Task Complexity: Definition of the Construct. *Organizational Behavior And Human Decision Processes*, **37**, 60–82.
- Woods, D. R., Crowe, C. M., Hoffman, T. W. и Wright, J. D. (1985). Challenges to teaching problem solving skills. *Chem 13 News*, **155**, 1–12.
- Yarroch, W. L. (1985). Student understanding of chemical equation balancing. *Journal of Research in Science Teaching*, **22**(5), 449–459.
- Yilmaz, A., Tuncer, G. и Alp, E. (2007). An Old Subject with Recent Evidence from Turkey: Students' Performance on Algorithmic and Conceptual Questions of Chemistry. *World Applied Sciences Journal*, **2**(4), 420–426.

ПРИЛОЗИ**ПРИЛОГ 1****ИНСТРУМЕНТ ИСТРАЖИВАЊА**

Шифра

Школа

Разред

Датум израде теста

Просечна оцена постигнута у првом разреду је __, __.

Оцене из предмета у првом разреду:

Хемија: __

Физика: __

Математика: __

УПУТСТВО ЗА РАД:

Пажљиво прочитајте и урадите задатке теста! Испод текста сваког задатка налази се простор предвиђен за његову израду.

ОБАВЕЗНО ОЦЕНИТЕ ТЕЖИНУ ЗАДАТКА ЗАОКРУЖИВАЊЕМ
ОДРЕЂЕНЕ ТВРДЊЕ, БЕЗ ОБЗИРА ДА ЛИ СТЕ ЗАДАТАК УРАДИЛИ!

Подаци који могу бити потребни за решавање задатака:

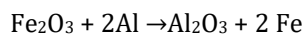
Релативне атомске масе: $Ar(H)=1$, $Ar(C)=12$, $Ar(N)=14$, $Ar(O)=16$, $Ar(Na)=23$,
 $Ar(Al)=27$, $Ar(P)=31$, $Ar(S)=32$, $Ar(Cl)=35.5$, $Ar(K)=39$, $Ar(Ca)=40$, $Ar(Cr)=52$,
 $Ar(Fe)=56$, $Ar(Mn)=55$, $Ar(Cu)=63.5$, $Ar(Zn)=65.5$, $Ar(I)=127$, $Ar(Ba)=137$, $Ar(Ag)=108$
, $Ar(Hg)=200,6$, $Ar(Pb)=207$.

Моларна запремина: $V_m=22.4 \text{ dm}^3/\text{mol}$ (стандардни услови),

Авогадрова константа: $N_A=6.023 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$.

Развој методе за процену комплексности стехиометријских проблема

1. Израчунати масу алуминијум-оксида која се добија у реакцији редукције гвожђе(III)-оксида елементарним алуминијумом, ако реагује 2,7 грама алуминијума са одговарајућом масом гвожђе(III)-оксида према следећој хемијској једначини:

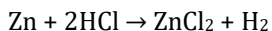


Решење:

$$\underline{m(\text{Al}_2\text{O}_3)=5,1\text{ g}}$$

| | | | | | | |
|-----------------|--------------|-----|-----------------------|-------|----------------|-------------------|
| изузетно лак | веома лак | лак | ни тежак ни лак | тежак | веома тежак | изузетно тежак |
|-----------------|--------------|-----|-----------------------|-------|----------------|-------------------|

2. Израчунајте количину водоника која настаје у реакцији 1,31 грама цинка и хлороводоничне киселине према следећој хемијској једначини:

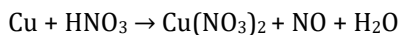


Решење:

$$\underline{n(\text{H}_2)=0,02\text{ mol}}$$

| | | | | | | |
|-----------------|--------------|-----|-----------------------|-------|----------------|-------------------|
| изузетно лак | веома лак | лак | ни тежак ни лак | тежак | веома тежак | изузетно тежак |
|-----------------|--------------|-----|-----------------------|-------|----------------|-------------------|

3. Израчунати количину азот(II)-оксида која настаје у реакцији 6,35 грама бакра са одговарајућом количином разблажене азотне киселине.

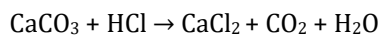


Решење:

$$\underline{n(\text{NO})=0,067 \text{ mol}}$$

| | | | | | | |
|-----------------|--------------|-----|-----------------------|-------|----------------|-------------------|
| изузетно лак | веома лак | лак | ни тежак ни лак | тежак | веома тежак | изузетно тежак |
|-----------------|--------------|-----|-----------------------|-------|----------------|-------------------|

4. Израчунати која је количина гасовитог хлороводоника растворена у води, ако овај раствор може да раствори 25 грама калцијум-карбоната.



Решење:

$$\underline{n(\text{HCl})=0,5 \text{ mol}}$$

| | | | | | | |
|-----------------|--------------|-----|-----------------------|-------|----------------|-------------------|
| изузетно лак | веома лак | лак | ни тежак ни лак | тежак | веома тежак | изузетно тежак |
|-----------------|--------------|-----|-----------------------|-------|----------------|-------------------|

Развој методе за процену комплексности стехиометријских проблема

5. Колико молекула кисеоника настаје у реакцији калијум-перманганата са 11,33 грама 30%-процентног раствора водоник-пероксида у присуству сумпорне киселине?

Решење:

$$N(O_2) = 6,02 \times 10^{22} \text{ молекула}$$

| | | | | | | |
|-----------------|--------------|-----|-----------------------|-------|----------------|-------------------|
| изузетно лак | веома лак | лак | ни тежак ни лак | тежак | веома тежак | изузетно тежак |
|-----------------|--------------|-----|-----------------------|-------|----------------|-------------------|

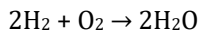
6. Израчунати колико атома јода је уграђено у молекуле јода који настају у реакцији оксидације 100 грама 8,3%-процентног раствора калијум-јодида са довољном количином калијум-дихромата у киселој средини.

Решење:

$$N(I) = 3 \times 10^{22} \text{ атома}$$

| | | | | | | |
|-----------------|--------------|-----|-----------------------|-------|----------------|-------------------|
| изузетно лак | веома лак | лак | ни тежак ни лак | тежак | веома тежак | изузетно тежак |
|-----------------|--------------|-----|-----------------------|-------|----------------|-------------------|

7. Која запремина течне воде настаје у реакцији $2,8 \text{ dm}^3$ кисеоника (мереног при стандардним условима) са потребном количином водоника? Густина течне воде је 1 g/cm^3 .

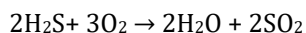


Решење:

$$\underline{V(\text{H}_2\text{O})=4,5 \text{ cm}^3}$$

| | | | | | | |
|-----------------|--------------|-----|-----------------------|-------|----------------|-------------------|
| изузетно лак | веома лак | лак | ни тежак ни лак | тежак | веома тежак | изузетно тежак |
|-----------------|--------------|-----|-----------------------|-------|----------------|-------------------|

8. Израчунати колико молекула воде настаје у реакцији 3,4 грама водоник-сулфида са одговарајућом количином кисеоника према следећој хемијској једначини:



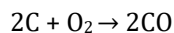
Решење:

$$\underline{N(\text{O}_2)=6,023 \times 10^{22} \text{ молекула}}$$

| | | | | | | |
|-----------------|--------------|-----|-----------------------|-------|----------------|-------------------|
| изузетно лак | веома лак | лак | ни тежак ни лак | тежак | веома тежак | изузетно тежак |
|-----------------|--------------|-----|-----------------------|-------|----------------|-------------------|

Развој методе за процену комплексности стехиометријских проблема

9. Израчунати запремину угљен-моноксида (при стандардним условима) која се добија оксидацијом 3,6 грама угљеника према следећој хемијској једначини:

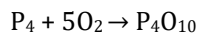


Решење:

$$\underline{V(\text{CO}) = 6,72 \text{ dm}^3}$$

| | | | | | | |
|-----------------|--------------|-----|-----------------------|-------|----------------|-------------------|
| изузетно лак | веома лак | лак | ни тежак ни лак | тежак | веома тежак | изузетно тежак |
|-----------------|--------------|-----|-----------------------|-------|----------------|-------------------|

10. Одредити број молекула фосфор(V)-оксида који настаје у реакцији 16 грама кисеоника са белим фосфором према следећој хемијској једначини:

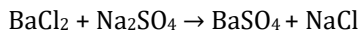


Решење:

$$\underline{N(\text{P}_4\text{O}_{10}) = 6,023 \times 10^{22} \text{ молекула}}$$

| | | | | | | |
|-----------------|--------------|-----|-----------------------|-------|----------------|-------------------|
| изузетно лак | веома лак | лак | ни тежак ни лак | тежак | веома тежак | изузетно тежак |
|-----------------|--------------|-----|-----------------------|-------|----------------|-------------------|

11. Израчунати запремину раствора баријум-хлорида чија је концентрација $0,1 \text{ mol/dm}^3$, да се у реакцији са натријум-сулфатом добије 2,33 грама талога баријум-сулфата.



Решење:

$$\underline{V(\text{BaCl}_2) = 100 \text{ cm}^3}$$

| | | | | | | |
|-----------------|--------------|-----|-----------------------|-------|----------------|-------------------|
| изузетно лак | веома лак | лак | ни тежак ни лак | тежак | веома тежак | изузетно тежак |
|-----------------|--------------|-----|-----------------------|-------|----------------|-------------------|

12. Узорак цинка масе 4,6792 грама потопљен је у разблажени раствор сумпорне киселине. Када је после неког времена овај комад извађен и осушен, утврђено је да му је маса два пута мања од почетне. Израчунати која запремина гаса (мерена при стандардим условима) се издвојила у току хемијске реакције.

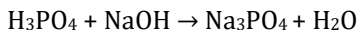
Решење:

$$\underline{V(\text{H}_2) = 800,1075 \text{ cm}^3}$$

| | | | | | | |
|-----------------|--------------|-----|-----------------------|-------|----------------|-------------------|
| изузетно лак | веома лак | лак | ни тежак ни лак | тежак | веома тежак | изузетно тежак |
|-----------------|--------------|-----|-----------------------|-------|----------------|-------------------|

Развој методе за процену комплексности стехиометријских проблема

13. Колико cm^3 40%-раствора фосфорне киселине густине $1,25 \text{ g/cm}^3$ је потребно за потпуну неутрализацију 50 cm^3 раствора натријум-хидроксида, чија је масена концентрација 4 g/dm^3 ?

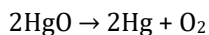


Решење:

$$V_r(\text{H}_3\text{PO}_4) = 0,33 \text{ cm}^3$$

| | | | | | | |
|-----------------|--------------|-----|-----------------------|-------|----------------|-------------------|
| изузетно лак | веома лак | лак | ни тежак ни лак | тежак | веома тежак | изузетно тежак |
|-----------------|--------------|-----|-----------------------|-------|----------------|-------------------|

14. Израчунати број молекула кисеоника који се добија разлагањем $6,023 \times 10^{23}$ „молекула“ жива(II)-оксида према хемијској једначини:

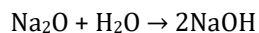


Решење:

$$N(\text{O}_2) = 3,01 \times 10^{22} \text{ молекула}$$

| | | | | | | |
|-----------------|--------------|-----|-----------------------|-------|----------------|-------------------|
| изузетно лак | веома лак | лак | ни тежак ни лак | тежак | веома тежак | изузетно тежак |
|-----------------|--------------|-----|-----------------------|-------|----------------|-------------------|

15. Израчунати масу натријум-оксида која је потребна за добијање 4 mol натријум-хидроксида.

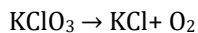


Решење:

$$\underline{m(\text{Na}_2\text{O})=124 \text{ g}}$$

| | | | | | | |
|-----------------|--------------|-----|-----------------------|-------|----------------|-------------------|
| изузетно лак | веома лак | лак | ни тежак ни лак | тежак | веома тежак | изузетно тежак |
|-----------------|--------------|-----|-----------------------|-------|----------------|-------------------|

16. Израчунати масу калијум-хлората, чијим термичким разлагањем до калијум-хлорида настаје 3,2 грама кисеоника.



Решење:

$$\underline{m(\text{KClO}_3)= 8,16 \text{ g}}$$

| | | | | | | |
|-----------------|--------------|-----|-----------------------|-------|----------------|-------------------|
| изузетно лак | веома лак | лак | ни тежак ни лак | тежак | веома тежак | изузетно тежак |
|-----------------|--------------|-----|-----------------------|-------|----------------|-------------------|

Развој методе за процену комплексности стехиометријских проблема

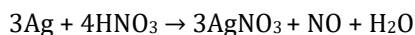
17. При сагревању бора настаје бор(III)-оксид. Израчунати колико молова кисеоника је потребно за сагоревање 0,1 mol бора?

Решење:

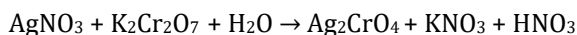
$$n(\text{O}_2) = 0,075 \text{ mol}$$

| | | | | | | |
|-----------------|--------------|-----|-----------------------|-------|----------------|-------------------|
| изузетно лак | веома лак | лак | ни тежак ни лак | тежак | веома тежак | изузетно тежак |
|-----------------|--------------|-----|-----------------------|-------|----------------|-------------------|

18. Сребрни новчић масе 9,70 грама растворен је у азотној киселини. Реакција растварања се одиграва према следећој хемијској једначини:



Целокупно сребро из раствора је сталожено као сребро-хромат додавањем zasiћеног раствора калијум-дихромата:



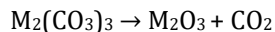
Маса талога након сушења износила је 13,88 грама. Израчунати масени удео сребра у новчићу.

Решење:

$$\omega(\text{Ag}) = 93,10\%$$

| | | | | | | |
|-----------------|--------------|-----|-----------------------|-------|----------------|-------------------|
| изузетно лак | веома лак | лак | ни тежак ни лак | тежак | веома тежак | изузетно тежак |
|-----------------|--------------|-----|-----------------------|-------|----------------|-------------------|

19. Жарењем 23,40 грама узорка карбоната тровалентног метала ослобађа се 6,72 dm³ угљен-диоксида (стандардни услови). Израчунати релативну атомску масу метала.



Решење:

$$A_r(M)=27$$

| | | | | | | |
|--------------|-----------|-----|-----------------|-------|-------------|----------------|
| изузетно лак | веома лак | лак | ни тежак ни лак | тежак | веома тежак | изузетно тежак |
|--------------|-----------|-----|-----------------|-------|-------------|----------------|

20. Узорак легуре алуминијума и бакра има густину 3,02 g/cm³. Убацивањем узорка у мензурку са дестилованом водом запремина се повећа за 3,62 cm³. Растварањем узорка у хлороводоничној киселини ослободи се 6,72 dm³ водоника мереног при стандардним условима. Одредити проценат алуминијума у легури. Напонски низ метала дат је у табелици.

K, Na, Ca, Mg, Al, Zn, Cr, Fe, Cd, Co, Ni, Sn, Pb, H, Cu, Hg, Ag, Pd, Pt, Au

Решење:

$$\omega(Al)=49,36\%$$

| | | | | | | |
|--------------|-----------|-----|-----------------|-------|-------------|----------------|
| изузетно лак | веома лак | лак | ни тежак ни лак | тежак | веома тежак | изузетно тежак |
|--------------|-----------|-----|-----------------|-------|-------------|----------------|

ПРИЛОГ 2

Фреквенције стања знања

| Стање знања | Фреквенција |
|--|-------------|
| [] | 1 |
| [2, 16] | 1 |
| [9, 15, 16] | 1 |
| [7, 8, 14, 15] | 1 |
| [1, 7, 14, 15] | 1 |
| [1, 7, 9, 14] | 1 |
| [2, 3, 8, 9, 15] | 1 |
| [7, 8, 9, 10, 15] | 1 |
| [1, 2, 7, 14, 16] | 1 |
| [2, 8, 14, 15, 17, 18] | 1 |
| [1, 7, 8, 9, 14, 15] | 1 |
| [7, 8, 10, 14, 15, 17] | 1 |
| [1, 2, 9, 11, 14, 15] | 1 |
| [1, 14, 15, 16, 17, 18, 19] | 1 |
| [7, 9, 14, 15, 16, 17, 18] | 1 |
| [1, 2, 8, 9, 14, 15, 17] | 1 |
| [1, 7, 8, 9, 14, 15, 16] | 1 |
| [1, 4, 8, 11, 13, 15, 16] | 1 |
| [7, 9, 14, 15, 16, 17, 19] | 1 |
| [1, 4, 8, 9, 11, 14, 15, 17] | 1 |
| [1, 2, 8, 9, 11, 14, 15, 17] | 1 |
| [1, 5, 7, 8, 9, 13, 15, 19] | 1 |
| [1, 2, 8, 9, 10, 11, 14, 15] | 1 |
| [1, 2, 7, 8, 9, 13, 14, 15] | 1 |
| [1, 2, 4, 7, 9, 14, 15, 16] | 1 |
| [1, 2, 7, 8, 10, 14, 15, 16, 17] | 1 |
| [1, 2, 3, 4, 7, 9, 11, 14, 16] | 1 |
| [1, 2, 3, 7, 8, 9, 14, 15, 16] | 1 |
| [1, 2, 7, 9, 10, 11, 14, 15, 16] | 1 |
| [1, 2, 7, 9, 10, 14, 15, 16, 17, 18] | 2 |
| [4, 7, 8, 9, 11, 13, 14, 15, 17, 18] | 1 |
| [1, 2, 3, 4, 7, 8, 11, 14, 15, 16] | 1 |
| [1, 2, 3, 4, 7, 9, 11, 14, 15, 18] | 1 |
| [2, 3, 4, 5, 7, 11, 14, 15, 16, 19] | 1 |
| [1, 2, 7, 8, 9, 10, 14, 15, 16, 17, 18] | 2 |
| [1, 2, 7, 9, 10, 14, 15, 16, 17, 18, 19] | 1 |
| [1, 4, 7, 8, 9, 11, 13, 14, 15, 16, 18] | 1 |
| [1, 2, 3, 4, 7, 9, 11, 14, 15, 18, 19] | 1 |
| [1, 3, 7, 8, 9, 11, 13, 14, 15, 18, 19] | 1 |
| [1, 2, 5, 7, 9, 11, 13, 14, 15, 18, 19] | 1 |
| [1, 2, 3, 4, 7, 8, 9, 11, 14, 15, 16] | 1 |

| | |
|---|---|
| [1, 2, 3, 7, 8, 9, 10, 14, 15, 16, 17, 18] | 2 |
| [1, 2, 3, 7, 8, 9, 10, 11, 14, 15, 16, 17] | 1 |
| [1, 4, 7, 8, 9, 10, 14, 15, 16, 17, 18, 19] | 2 |
| [1, 2, 4, 7, 8, 9, 10, 11, 14, 15, 16, 17] | 1 |
| [1, 2, 3, 4, 5, 7, 11, 14, 15, 17, 18, 19] | 1 |
| [1, 2, 3, 4, 7, 9, 11, 14, 15, 17, 18, 19] | 1 |
| [1, 3, 4, 5, 7, 8, 11, 14, 15, 16, 17, 18] | 1 |
| [1, 2, 3, 4, 7, 8, 9, 10, 11, 14, 15, 16] | 1 |
| [1, 2, 3, 4, 7, 8, 10, 13, 14, 15, 16, 17] | 1 |
| [1, 2, 7, 8, 9, 10, 11, 14, 15, 16, 17, 18, 19] | 1 |
| [1, 2, 3, 7, 8, 9, 10, 14, 15, 16, 17, 18, 19] | 3 |
| [1, 2, 7, 8, 9, 11, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19] | 1 |
| [1, 2, 3, 7, 8, 9, 10, 11, 14, 15, 16, 17, 18] | 1 |
| [1, 2, 4, 7, 8, 9, 11, 14, 15, 16, 17, 18, 19] | 1 |
| [1, 2, 3, 4, 5, 6, 9, 14, 15, 16, 17, 18, 19] | 1 |
| [1, 2, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 14, 15, 16, 17, 18, 19] | 1 |
| [1, 2, 3, 7, 8, 9, 10, 11, 14, 15, 16, 17, 18, 19] | 3 |
| [1, 5, 7, 8, 9, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19] | 1 |
| [1, 2, 3, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 14, 15, 16, 17, 18] | 1 |
| [1, 2, 3, 4, 7, 8, 11, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19] | 1 |
| [1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 9, 11, 14, 15, 16, 17, 18] | 1 |
| [1, 2, 3, 7, 8, 9, 10, 11, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19] | 2 |
| [1, 2, 3, 7, 8, 9, 10, 11, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19] | 1 |
| [1, 2, 3, 5, 7, 8, 9, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19] | 1 |
| [1, 3, 4, 5, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 14, 15, 16, 17, 18, 20] | 1 |
| [1, 2, 3, 5, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19] | 1 |
| [1, 2, 3, 4, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19] | 1 |
| [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 11, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19] | 2 |
| [1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19] | 1 |
| [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19] | 1 |
| [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20] | 1 |

ПРИЛОГ 3

Матрице веза

Матрица веза за очекивани простор знања

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 2 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 3 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| 4 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 |
| 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 7 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| 9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 11 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 13 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 14 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 15 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 16 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| 17 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 |
| 18 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |

Матрица веза за реални простор знања

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 2 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 3 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 4 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 7 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 8 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 9 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 11 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 13 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 14 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 15 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 16 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 |
| 17 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| 18 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |

Развој методе за процену комплексности стехиометријских проблема

Матрица веза за разлику између графова очекиваног и реалног простора
знања

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 8 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 9 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 11 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 13 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 14 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 15 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 16 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 17 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 18 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

БИОГРАФИЈА



Саша Хорват је рођен 12.03.1985. године у Прибоју. Основну школу „Милосав Стиковић“ завршио је у Пријепољу 2000., а Пријепољску гимназију 2004. године. Основне академске студије хемије на Природно-математичком факултету у Новом Саду, уписао је 2004. године, а завршио их 2009. са просечном оценом 8,80. 2010. године уписао је мастер-академске студије хемије на истом факултету, модул – професор хемије и завршио их 2011. године са просечном оценом 9,41. Од новембра 2012. године студент је докторских студија Методике наставе природних наука, математике и рачунарства - модул методика наставе хемије на Природно-математичком факултету у Новом Саду, а све испите предвиђене наставним планом и програмом положио је са оценом 10. Запослен је од 2009. године на Природно-математичком факултету као стручни сарадник за организацију наставе.

На Природно-математичком факултету у Новом Саду од школске 2015/16. године ангажован је у извођењу вежби из предмета: Школски огледи у настави хемије, Специјални хемијски експерименти у настави, Дидактика хемије и Примена мултимедије у настави. У научно-истраживачком раду бави се димензионисањем когнитивне комплексности проблема у хемији.

Коаутор је 10 научних радова и 17 саопштења на међународним и домаћим научним скуповима. Члан је Српског хемијског друштва - Хемијског друштва Војводине и Друштва предметних дидактичара Србије.

УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ
ПРИРОДНО-МАТЕМАТИЧКИ ФАКУЛТЕТ

КЉУЧНА ДОКУМЕНТАЦИЈСКА ИНФОРМАЦИЈА

| | |
|---------------------------------|--|
| Редни број: РБР | |
| Идентификациони број: ИБР | |
| Тип документације: ТД | Монографска документација |
| Тип записа: ТЗ | Текстуални штампани материјал |
| Врста рада: ВР | Докторска дисертација |
| Име и презиме аутора: АУ | Саша Хорват |
| Ментор: МН | др Душица Родић, доцент Природно-математичког факултета, Универзитет у Новом Саду |
| Наслов рада: НР | Развој методе за процену комплексности стехиометријских проблема |
| Језик публикације: ЈП | Српски (ћирилица) |
| Језик извода: ЈИ | Српски(ћирилица)/енглески |
| Земља публиковања: ЗП | Република Србија |
| Уже географско подручје: УГП | Војводина |
| Година: ГО | 2018. |
| Izdavač: IZ | Ауторски репринт |
| Место и адреса: МА | Департман за хемију, биохемију и заштиту животне средине, Природно-математички факултет, Трг Доситеја Обрадовића 3, Нови Сад |
| Физички опис рада: ФО | Број поглавља: 5; Страница: 149; Литературних цитата: 206; Слика: 15; Табела: 32 |
| Научна област: НО | Хемија |

| | |
|---|---|
| Научна дисциплина: НД | Методика наставе хемије |
| Предметна одредница, кључне речи: ПО | Когнитивна комплексност, стехиометрија, решавање проблема, теорија простора знања, ПТА, разлика графова |
| УДК | |
| Чува се: ЧУ | У библиотеци Департамента за хемију, биохемију и заштиту животне средине, ПМФ, Трг Доситеја Обрадовића 3, Нови Сад |
| Важна напомена: ВН | Нема |
| Извод: ИЗ | <p>Циљ овог истраживања је био развој и валидација методе за процену комплексности стехиометријских проблема.</p> <p>Метода за процену комплексности укључује дизајн табеле за процену тежине и интерактивности концепата. Нумерички рејтинг когнитивне комплексности задатака на Тесту одређен је комбиновањем Табеле са методом Кнауса и сарадника. Метода за процену комплексности стехиометријских проблемских задатака је валидирана статистички, корелационом анализом односа ученичког постигнућа и нумеричког рејтинга когнитивне комплексности проблема, као и односом уложеног менталног напора и процењене комплексности. При томе су добијене изузетно високе вредности корелационих коефицијената.</p> <p>Поред статистичке валидације Метода је подвргнута и валидацији применом Теорије простора знања. Применом предложене Методе конструисан је очекивани простор знања, а применом кориговане и минимизиране ПТА конструисан је реални простор знања из ученичких постигнућа на тесту. Простори знања су упоређен применом теорије графова. Очекивани и реални простор знања садрже велики број истих релација претпостављања, чиме је додатно потврђена валидност Методе. Примена КСТ у валидацији Методе омогућила је</p> |

| | |
|---|--|
| | да се увиде fine разлике између очекиваног и реалног простора знања на основу чега је указано на могућности даљег побољшања наставе стехиометрије. |
| Датум прихватања теме од стране НН већа: ДП | 02. 11. 2017. |
| Датум одбране: ДО | |
| Чланови комисије: КО Председник: Ментор: Члан: Члан: | др Мирјана Сегединац, редовни професор, Природно-математички факултет, Нови Сад др Душица Родић, доцент, Природно-математички факултет, Нови Сад др Тамара Рончевић, доцент, Природно-математички факултет, Нови Сад др Горан Савић, доцент, Факултет техничких наука, Нови Сад |

UNIVERSITY OF NOVI SAD

FACULTY OF SCIENCES

KEYWORDS DOCUMENTATION

| | |
|--------------------------------|--|
| Accession number: ANO | |
| Identification number: INO | |
| Document type: DT | Monography |
| Type of record: TR | Printed text |
| Contents code: CC | PhD Thesis |
| Author: AU | Saša Horvat |
| Mentor: MN | dr Dušica Rodić, Assistant professor, Faculty of Sciences, University of Novi Sad |
| Title: TI | Development of a method for assessing the complexity of stoichiometric problems |
| Language of text: LT | Serbian (Cyrillic) |
| Language of abstract: LA | Serbian/English |
| Country of publication: CP | Republic of Serbia |
| Locality of publication: LP | Vojvodina |
| Publication year: PY | 2018 |
| Publisher: PU | Author's reprint |
| Publication place: PP | Department of Chemistry, Biochemistry and Environmental Protection, Faculty of Sciences, Trg Dositeja Obradovića 3, Novi Sad |
| Physical description: PD | Chapters: 5; Pages: 149; Literature: 206; Pictures: 15; Tables: 32 |
| Scientific field SF | Chemistry |
| Scientific discipline SD | Methods of teaching chemistry |

| | |
|---------------------------|---|
| Subject, Key words SKW | Cognitive complexity, stoichiometry, problem solving, knowledge space theory, IITA, graph difference |
| UC | |
| Holding data: HD | Department of Chemistry, Biochemistry and Environmental Protection (Library), Trg D. Obradovića 3, Novi Sad |
| Note: N | None |
| Abstract: AB | <p>The main goal of this dissertation was to develop and validate the Method for estimation of the complexity of stoichiometric problems. The Method for assessment of complexity involves the design of a table for assessment of difficulty and interactivity of the concepts. The numerical rating of the cognitive complexity of tasks on the Test is determined by combining the Table with the Knaus et al. (2011) method. Method for estimation of the complexity of stoichiometric problems is validated by a statistically significant correlation analysis between students' performances and cognitive complexity, as well as between students' evaluation of invested mental effort and cognitive complexity. In doing so, extremely high values of correlation coefficients were obtained.</p> <p>In addition to statistical validation, the Method was subjected to validation using the Knowledge Space Theory. Using the proposed Method, the expected knowledge space was constructed, and by applying the corrected and minimized IITA, a real knowledge space from student achievement on the test was constructed.</p> <p>Knowledge spaces are compared using graph difference. The expected and real knowledge space contained a large number of the same surmise relations, which additionally confirms the validity of Method. Differences between the</p> |

| | |
|---|--|
| | <p>knowledge space pointed to some facts that teachers often do not see with their students.</p> <p>The application of KST in the Method validation pointed out the fine differences between the expected and real knowledge space, indicating possibilities for further improvement of stoichiometry teaching.</p> |
| Accepted on Scientific Board on: AS | November 2, 2017 |
| Defended: DE | |
| Thesis Defend Board: DB President: Mentor: Member: Member: | <p>Dr. Mirjana Segedinac, Full Professor, Faculty of Sciences, Novi Sad</p> <p>Dr. Dušica Rodić, Assistant professor, Faculty of Sciences, University of Novi Sad</p> <p>Dr. Tamara Rončević, Assistant professor, Faculty of Sciences, University of Novi Sad</p> <p>Dr. Goran Savić, Assistant professor, Faculty of Tehnical Sciences, University of Novi Sad</p> |