



УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ

ПРИРОДНО-МАТЕМАТИЧКИ ФАКУЛТЕТ

ДОКТОРСКЕ АКАДЕМСКЕ СТУДИЈЕ

МЕТОДИКА НАСТАВЕ ПРИРОДНИХ НАУКА, ФИЗИКА

# **КОГНИТИВНО ОПТЕРЕЋЕЊЕ УЧЕНИКА ДРУГОГ РАЗРЕДА ГИМНАЗИЈЕ У НАСТАВИ ФИЗИКЕ**

ДОКТОРСКА ДИСЕРТАЦИЈА

Ментор: Проф. др Маја Стојановић

Кандидат: Бранка Радуловић

Нови Сад, 2014. године

## Предговор

Ова докторска дисертација је рађена на Катедри за општу физику и методiku наставе физике Департмана за физику, Природно-математичког факултета Универзитета у Новом Саду под менторством др Маје Стојановић.

Сазнавање у савременој настави представља један од централних циљева реализације наставе. Процес усвајања знања у настави и његове основне карактеристике представљају важну страну методике наставе физике. Развојем психологије, методика наставе и других наука и њиховим преплитањем данас се врше разни тестови и методи који нам дају начине да унапредимо образовни систем. Један од тих метода је испитивање когнитивног оптерећења (Burkes, 2007; Kalyuga, 2009/a; Plass et al., 2010; Sweller et al., 2011). У овом раду је испитано когнитивно оптерећење ученика у настави физике другог разреда гимназије на примеру наставне области *Особине течности* и како когнитивно оптерећење утиче на постигнуће ученика на финалном тестирању.

Главни закључци су да је настава праћена експериментима проузроковала најмање когнитивно оптерећење код ученика, потом мултимедијални метод и на крају највеће когнитивно оптерећење је проузроковао традиционалан метод.

Рад је припремљен с надом да ће сакупљени и презентовани резултати истраживања бити од интереса за наставнике физике, али и да ће пружити важне смернице и податке за развој методике наставе физике.

Захваљујем се ментору др Маји Стојановић на указаној помоћи кроз корисне савете и подршци током израде ове дисертације.

Велику захвалност дугујем и проф. др Агнеш Капор на указаној помоћи и подршци током израде ове дисертације и током студија, као и проф. др Мирјани Сегединац, проф. др Душанки Обадовић и проф. др Оливери Гајић.

Такође, велику захвалност дугујем и проф. др Слободанки Марков на веома корисним саветима и подршци током студија.

Захваљујем се и наставницима Невени Радошевић, Гени Литричин и Веселину Панићу, као и ученицима и директорима Гимназије „Јован Јовановић Змај“ и Гимназије „Исидора Секулић“ који су ми омогућили реализацију истраживања и учествовали у њему.

Посебну захвалност упућујем својој породици на великој подршци.

Нови Сад, август 2014.

Бранка Радуловић

## Садржај

1. Увод.....	8
2. Теоријско разматрање проблема истраживања.....	11
2.1. Став ученика према физици као предмету и њен положај у средњем образовању.....	11
2.2. Когнитивно оптерећење .....	18
2.1.1. Типови когнитивног оптерећења .....	28
2.1.1.1. Интринстичко когнитивно оптерећење .....	28
2.1.1.2. Екстерно когнитивно оптерећење .....	29
2.1.1.3. Везано когнитивно оптерећење.....	31
2.1.2. Мерење когнитивног оптерећења .....	34
2.1.2.1. Мерење когнитивног оптерећења кроз самооцењивање.....	34
2.1.2.2. Физиолошке мере као индикатор когнитивног оптерећења.....	35
2.1.2.3. Двоструки задатак или подзадатак за процену когнитивног оптерећења.....	36
3. Методологија.....	37
3.1. Проблем и предмет истраживања.....	37
3.2. Циљ и задаци истраживања.....	37
3.3. Хипотезе истраживања .....	38
3.4. Варијабле истраживања.....	40
3.5. Методе истраживања .....	41
3.5.1. Педагошки експеримент са паралелним групама .....	41
3.5.2. Методе педагошке статистике.....	41
3.6. Технике и инструменти истраживања.....	42
3.6.1. Иницијални тест.....	42
3.6.2. Финални тест.....	42

3.6.3. Скале за самоперцепцирање менталног напора .....	43
3.7. Узорак истраживања .....	43
3.7.1. Узорак истраживања .....	43
3.7.2. Експериментални програм.....	44
4. <i>Анализа резултата истраживања</i> .....	46
4.1. Постигнуће ученика на тестовима знања .....	46
4.1.1. Постигнуће ученика на иницијалном тесту .....	46
4.1.2. Постигнуће ученика на финалном тесту .....	51
4.1.3. Утицај пола испитаника на постигнуће ученика на финалном тесту .....	71
4.2. Когнитивно оптерећење ученика.....	73
4.2.1. Утицај пола испитаника на перцепцију когнитивног оптерећења .....	87
4.3. Утицај перцепције когнитивног оптерећења на постигнуће ученика на финалном тесту.....	89
5. Закључак .....	99
6. Литература.....	101
7. Прилози.....	111
7.1. Изглед иницијалног теста.....	111
7.2. Изглед финалног теста.....	114
7.3. Експериментални програм .....	117
7.4. Садржаји програма за наставни предмет Физика за други разред средњег образовања и васпитања за гимназије.....	181
Биографија.....	185
Кључна документација.....	187

## Апстракт

Савремени дидактички трендови имају за тенденцију да укажу на такве наставне методе које у свом фокусу имају когницију, метакогницију и такав пренос информација којим се постиже боље разумевање градива узимајући у обзир ограничења радне меморије. Тежи се да се помери тежиште са традиционалног учења ка новим наставним методама које показују већу ефикасност при разумевању наставног садржаја од стране ученика узимајући у обзир његове перформансе.

Теорија која се бави испитивањем когнитивног оптерећења у процесу учења јесте теорија когнитивног оптерећења. Циљ теорије когнитивног оптерећења јесте да предвиди исходе учења, узимајући у обзир могућности и ограничења људске когнитивне архитектуре (Kirschner, 2002; Kalyuga, 2009/a). Теорија когнитивног оптерећења пружа смернице за начине којима се може управљати когнитивним оптерећењем у наставном процесу и тако унапредити сам наставни процес (Cooper, 1998; Burkes, 2007; de Jong, 2010). Ова теорија указује на начине како у већој мери остварити развијање сложених когнитивних способности код ученика, а да се при томе постигне мање когнитивно, односно ментално оптерећење. Концепт когнитивног оптерећења представља теоријски концепт који одражава интеракције између информационе структуре и когнитивних особина ученика (Kalyuga, 2009/b; Sweller, 1988; Van Merriënboer, Sweller, 2005). Стога се може јасно уочити да његово испитивање указује на начин промене наставне методе, а самим тим и на правац развоја методике наставе.

У раду је испитано како одређене наставне методе (традиционални метод, мултимедијални метод и метод коришћења експеримента у настави физике) утичу на когнитивно оптерећење ученика приликом усвајања нових појмова и како когнитивно оптерећење утиче на постигнуће ученика на иналом тестирању.

У овом истраживању коришћен је педагошки експеримент са паралелним групама. Контролну групу су чинили ученици са којима су наставне јединице обрађене традиционалном методом, експерименталну групу  $E_1$  су чинили ученици са којима су наставне јединице обрађене уз коришћење експерименталне групе  $E_2$  су чинили ученици са којима су наставне јединице обрађене мултимедијалном методом.

Главни закључци овог истраживања су да постоји статистички значајна зависност избора наставног метода и постигнућа, односно когнитивног оптерећења ученика. Резултати истраживања су указали да су ученици експерименталне групе  $E_1$  постигли веће постигнуће него ученици експерименталне групе  $E_2$  и контролне групе. Такође, резултати истраживања су такође показали да су ученици експерименталне групе  $E_1$  исказали најмање когнитивно оптерећење у поређењу са ученицима из друге две групе.

Рад је припремљен с надом да ће сакупљени и презентовани резултати истраживања бити од интереса за наставнике физике, али и да ће пружити важне смернице и податке за развој методике наставе физике.

Кључне речи: когнитивно оптерећење, ученици другог разреда гимназије, настава физике

## **Abstract**

Modern didactic trends have a tendency to indicate such teaching methods in their focus have cognition, metakogniciju and such transfer of information that achieves a better understanding of the material, taking into account the limitations of working memory. Tends to shift the focus from traditional learning to new teaching methods, which show greater efficiency in the understanding of the content of the student, taking into account his performance.

Theory which examines the cognitive load in the learning process is a theory of cognitive load. The aim of cognitive load theory is to predict learning outcomes, taking into account the capabilities and limitations of human cognitive architecture (Kirschner, 2002; Kalyuga, 2009/a). Cognitive load theory provides guidance on the ways in which you can manage cognitive load in the learning process and thus improve the teaching process (Cooper, 1998; Burkes, 2007, de Jong, 2010). This theory suggests ways to a greater extent to achieve the development of complex cognitive skills in students, and to thereby achieve lower cognitive and mental load. The concept of cognitive load is a theoretical concept that reflects the interaction between information structures and cognitive characteristics of students (Kalyuga, 2009/b; Sweller, 1988; Van Merriënboer, Sweller, 2005). Therefore, it can be clearly seen that his study suggests a way change teaching methods, and consequently the direction of development of methods of teaching.

The paper examines how a particular form of instruction (traditional method, multimedia method and method of use experiments) affects students' cognitive load when adopting new concepts and how cognitive load affects student achievement and how cognitive load affects to student achievement on the final test.

In this study is used pedagogical experiment with parallel groups. The control group consisted of students who received instruction to traditional methods, the experimental group E<sub>1</sub> consisted of students who received instruction with the use of experiments and experimental group E<sub>2</sub> consisted of students who received instruction using the multimedia method.

The main conclusions of this study are that there is a statistically significant correlation choice of teaching methods and achievements, or cognitive load of students. The results suggest that students of the experimental group E<sub>1</sub> achieve greater achievement than students of the experimental group E<sub>2</sub> and the control group. Also, the survey results also showed that the students of the experimental group E<sub>1</sub> showed the least cognitive load, compared to students from the other two groups.

The paper has been prepared with the hope that collected and presented the results of the research will be of interest to teachers of physics, but also to provide important guidance and information for the development of physics education.

Keywords: cognitive load, the students of the second grade, teaching physics

## 1. Увод

Нагли развој науке и технике, и на њиховим основама заснована технологија, нужно захтевају све убрзаније стицање знања. Да би се захтеви наставе, али и науке испунили, треба изналазити нове путеве, начине и методе остваривања наставног процеса, подразумевајући примену нових техничких средстава. Савремена методика наставе омогућава да се превазиђу традиционални приступи и да се развију и афирмишу нови начини и путеви стицања знања (Hake, 1998; Dickey, 2007; Jackson et all, 2008; Parveen, 2010). Стога је један од главних циљева методике наставе физике да прати нове дидактичке трендове, али и да испита њихову ефикасност и резултате рада прикаже наставницима, како би имали увид у могућности неког наставног метода. Успешно извођење наставе подразумева оспособљавање за учење током целог живота, те би један од резултата успешног наставног процеса требало да буде стицање дуготрајног функционалног знања. У циљу постизања трајнијих знања, наставници морају да знају који наставни метод је најподеснији да се ученицима приближити градиво (Alkhalifa, 2005; Eysenck, Keane, 2000; Jackson et all, 2008; Redish, 1994). У бројној литератури (Hake, 1998; Mahmood, 2004; Russ, 2006; Safdar, 2007; Mateljan i sar., 2009; Обадовић, 2003, 2005) се истиче значај примене различитих савремених метода у настави природних наука. Рад је усмерен ка испитивању утицаја традиционалног метода, мултимедијалног метода и метода коришћења експеримената на когнитивно оптерећење ученика у настави физике. Ова три метода су изабрана из разлога њихове најчешће примене у настави физике у Републици Србији.

У традиционалној настави доминира фронтални облик рада са израженом предавачком функцијом наставника који не обезбеђује довољну интеракцију са ученицима нити оставља довољно времена за самосталне активности ученика у функцији квалитетнијег овладавања наставним садржајима. У литератури се наводи да је традиционална настава често формализована, вербализована и недовољно очигледна што смањује трајност знања и повезивање теорије са реалним животом. Традиционална школа заснована на репродукцији чињеница не представља толико подстицајну околину за учење као школа која своју наставу заснива на активностима ученика.

Мултимедијални метод представља правац модернизације наставног процеса у циљу праћења нових достигнућа у информатичкој индустрији. У бројној литератури (Lappi, 2007; Mayer, 2001; Muller, 2008) се наводе позитивни резултати примене мултимедијалног метода у раду са ученицима. У њима се наводи да интерактивност и квалитет презентованих материјала уз коришћење мултимедијалних средстава даје знатно богатије садржаје у поређењу са наставом која се одвија у традиционалним учионицама. Нема сумње да нова технологија пружа могућност наставнику да подиже квалитет поучавања и да обезбеди бољу двострану комуникацију у настави. Мултимедијална презентација наставног градива доприноси лакшем одржавању дисциплине у настави и креирању педагошких ситуације у којима ће се повећати мисаона активност ученика и долазити до изражаја њихова одговорност за успех



наставе и учења. У литератури се наводи да ученици марљивије прате мултимедијалну презентацију, боље памте наставне садржаје (нарочито оне који се теже уче слушањем и читањем) и активније учествују у процесу сазнања нових садржаја. Брже стицање знања пружа могућност ученицима да се више посвете учењу истраживањем, откривањем и решавањем проблема и да на тај начин дају већи допринос своме развоју. Значи, коришћењем мултимедијалног метода постиже се ангажовање већег броја чула, стога и подстицање и одржавање пажње код ученика, развијање радозналости и жеље за учењем, за активним учествовањем у наставном процесу и своме развоју.

Настава праћена експериментима интегрише позитивне елементе традиционалне методе мењајући положај ученика и наставника у намери да се повећа активно учешће ученика и стално праћење његовог напредовања. Настава постаје очигледнија и динамичнија повећавајући мотивацију ученика (Clark, Jorde, 2004; Gerace, Beatty, 2005; Jarrett, Ferry, 2009; Jarrett et al., 2010). Повећавање мотивације ученика утиче се на његов однос према предмету. Ученици који су више мотивисани за неки предмет исказују већу жељу за додатним истраживањем појава које се изучавају у оквиру истог те на тај начин се постижу квантитативнија и квалитетнија знања ученика. Настава праћена експериментима, поред мотивације подстиче и креативност ученика. Истовремено, примена оваквог вида наставе наставницима пружа могућност добијања брже и тачније повратне информације од ученика. Информација о томе да ли су и у којој мери разумели градиво би се добијала непосредно у току наставе кроз учеником рад са експериментима. На такав начин би се добијале повратне информације у реалном времену и било би остварено континуирано вредновање знања ученика од познавања чињеница преко разумевања и способности анализе и синтезе знања до примене знања, као крајњег облика знања којем се тежи у наставном процесу. Експеримент у настави физике, поред свега наведеног, омогућава ученицима стицање директног искуства о физичким законитостима и проблемским питањима постављајући и проверавајући своје хипотезе (Бабић, 2012).

Визуализација и интерактивно симулирање проблема помаже ученицима да дођу до логичког искуства о појединим везама у проматраној појави, чиме се додатно развија логички начин мишљења (Бабић, 2012). Одређивањем когнитивног оптерећења, наставник је у могућности да сазна какви су ефекти његовог дидактичког утицаја на ученике и шта би требало променити у начину подучавања.

Постоје три типа когнитивног оптерећења: интринстичко, екстерно и везано (Carterette, Friedman, 1996; Sweller, 2010). Интринстичко когнитивно оптерећење је изазвано унутрашњом интелектуалном сложеностју задатка или наставног материјала. Интринстичко оптерећење се не може манипулисати применом одређене методе рада, већ само смањивањем сложености наставног материјала. За разлику од интринстичког когнитивног оптерећења на екстерно и везано когнитивно оптерећење се може манипулисати применом одговарајућих наставних метода. На основу тога, може се уочити јасна веза између теорије когнитивног оптерећења и правца развоја методике наставе.

У литератури (Paas et al., 2003; Ayres, 2006; Beers et al., 2008; Sparling et al., 2010) се уобичајено користе емпиријске методе за класификацију мерења когнитивног оптерећења. Ове методе се могу поделити у две главне категорије у вези са директним/индиректним и објективним/субјективна димензијама. Под директне/индиректне објективне методе спадају праћење активације мозга, као и праћење физиолошких промена у њудском организму, док су директне/индиректне субјективне методе усмерене ка процени самоперципираног менталног напора и стреса, као и ка постигнућу испитаника. Субјективне скале су засноване на претпоставци да су људи у стању да преиспитају сопствене когнитивне процесе и да процене утрошену количину менталног напора. Према наводима из литературе, увођење иновација у наставу може да додатно оптерети ученика и тако повећа когнитивно оптерећење чиме се губи на квантуму и квалитету знања (Mayer, Moreno 2003; Van Merriënboer, Sweller 2005), па је због тога избор наставне методе од изузетног значаја, што је и циљ овог рада.

За ово истраживање је одабрана наставна област *Особине течности* у оквиру које се обрађују три наставне јединице: *Вискозност у течностима. Њутнов и Стоксов закон; Енергија површинског слоја и површински напон течности* и *Капиларне појаве*. Наставна област *Особине течности* се изучава у оквиру четири часа што износи трећину укупног фонда часова теме *Молекулске силе и агрегатно стање* у другом разреду гимназија природно-математичког смера. Изабрана наставна област је значајна за разумевање особина течности, стога је изабрана не само за утврђивање когнитивног оптерећења ученика, већ и због могућности подстицања веће мотивације на часу и корелације са садржајима других наставних предмета (на пример хемије). Садржај теме се изучава и на студијама орјентисаним ка природним и техничким наукама, што додатно упућује на значај истраживања како различити методи наставе као резултат дају различите нивое знања и когнитивног оптерећења ученика.

Очекивани резултати би требало да укажу на везу између постигнућа ученика у настави физике на финалном тесту и когнитивног оптерећења, и тиме помогну наставницима у што успешнијој реализацији наставног процеса. Такође, добијени резултати би требало да одреде смер у коме ће се вршити наредна истраживања у циљу употпуњавања слике о утицају наставних метода на когнитивни развој ученика. Испитивањем когнитивног оптерећења ученика, различитих узраста испитаника и у оквиру различитих наставних целина, указује се на могуће начине побољшања самог наставног процеса.

## 2. Теоријско разматрање проблема истраживања

У овом делу рада су дат је преглед истраживања везан за испитивање ставова ученика према физици као предмету, њен положај у средњем образовању у Републици Србији, као и основне поставке когнитивног оптерећења и теорије која га описује.

### 2.1. Став ученика према физици као предмету и њен положај у средњем образовању

#### Положај физике у средњем образовању

Цитат Максина Грина (Maxine Greene) „Образовање у свом најбољем виду представља процес у ком људи уче да истражују идеје о себи и свету у ком живе, да постављају питања о искуству које зовемо животом, да прихвате двосмислености, да без страха примете оно што је необично и да новим очима гледају на оно што је обично.“ (Guld Landi, 2007) јасно указује на све већу потребу и заинтересованост истраживача за решавањем неких питања методика наука и продубљивањем у ситне, замршене нити које постављена и отворена питања нуде. Један од предмета који ученицима нуди одговоре на питања која природа и свет око нас постављају јесте физика. Физика је теоријска и апстрактна наука, али истовремено и изразито везана за стваран свет (Angell et all, 2004; Etkina, 2001; Etkina et all, 2007). Физика, поред свих својих циљева, може се представити као наука која има за циљ описивање и објашњавање природе и њених појава, где су укључене и свакодневне појаве, астрономске појаве, предвиђање економских догађаја и слично. Једном речју, физика својим законитостима описује све, и живу и неживу природу, и кретање и условно речено мировање. На основу тога може се закључити да је делокруг физике цела планета и цео Универзум. Стога је важно да се ученицима и студентима настава физике, али и достигнућа физике, представе кроз савремене наставне методе које за последицу имају мање когнитивно оптерећење и боље усвајање и повезивање појмова и појава. Важно је да ученици и студенти разумеју физику, јер су они будући стручњаци у својим областима који требају да створе неке нове производе и да покрену неку нову „индустријску“ револуцију. Како се наводи у цитатима Кетрин Патерсон (Katherine Paterson) „Али из дана у дан све више верујем да се основни задатак нас као људских бића састоји у томе да тражимо везе и тако увежбавамо своју машту... Из тога следи да је главни задатак образовања храњење маште и брига о њој.“ и Максима Грина „Подучавање представља буђење младих људи и њихово оспособљавање да именују, размишљају, замишљају и делују са све конкретнијом одговорношћу у свету који постаје све разноврснији. Оно се у исто време састоји и од омогућавања младима да остану у додиру са страхом и жељом, с мирисом јоргована и укусом бресака. Светло може бити ћудљиво и трепераво, али наставници су ти који могу да га натерају да сија у свим ћошковима и да можда покрену придошлице да се придруже

осталима и да се промене.“ (Guld Landi, 2007), види се важност образовања и положај физике који она треба да има.

Циљ наставе физике јесте стицање функционалне писмености (природно-научне, математичке, техничке), систематско стицање знања о физичким појавама и процесима и њихово разумевање на основу физичких модела и теорија, оспособљавање ученика за примену знања и решавање проблема и задатака у новим и непознатим ситуацијама, активно стицање знања о физичким појавама кроз истраживачки приступ, стицање радних навика, одговорности и способности за самосталан рад и за тимски рад, формирање основе за даље образовање.

Физика се у средњем образовном систему Републике Србије категорише као општеобразовни предмет. У табели 1 је приказан недељни фонд часова физике за поједине школе за школску 2011/12 годину.

Табела 1 – Приказ недељног фонда часова физике за гимназије

	I разред (број часова недељно)	II разред (број часова недељно)	III разред (број часова недељно)	IV разред (број часова недељно)
Гимназија - природно-математички смер	2	3	3	4+1
Гимназија – друштвени смер	2	2	2	2
Гимназија – општи смер	2	2	3	2

Како се види у табели 1, број часова физике на недељном нивоу је од два до четири, зависно од смера и године (Правилник о наставном плану и програму за гимназију "Службени гласник СРС - Просветни гласник", број 5/90 и "Просветни гласник", бр. 3/91, 3/92, 17/93, 2/94, 2/95, 8/95, 23/97, 2/02, 5/03, 10/03, 11/04, 18/04, 24/04, 3/05, 11/05, 2/06, 6/06, 12/06, 17/06, 1/08, 8/08, 1/09, 3/09, 10/09 и 5/2010). Наведеним фондом часова остварују се циљеви и задаци наставе физике.

Задаци наставе физике су:

- (1) стварање разноврсних могућности да кроз различите садржаје и облике рада током наставе физике сврха, циљеви и задаци образовања, као и циљеви наставе физике буду у пуној мери реализовани;
- (2) развијање функционалне писмености;
- (3) упознавање основних начина мишљења и расуђивања у физици;
- (4) разумевање појава, процеса и односа у природи на основу физичких закона;

- (5) развијање способности за активно стицање знања о физичким појавама кроз истраживање;
- (6) развијање радозналости, способности рационалног расуђивања, самосталности у мишљењу и вештине јасног и прецизног изражавања;
- (7) развијање логичког и апстрактног мишљења;
- (8) схватање смисла и метода остваривања експеримента и значаја мерења;
- (9) решавање једноставних проблема и задатака у оквиру наставних садржаја;
- (10) развијање способности за примену знања из физике;
- (11) схватање повезаности физичких појава и екологије и развијање свести о потреби заштите, обнове и унапређивања животне средине;
- (12) развијање радних навика и склоности ка изучавању наука о природи;
- (13) развијање свести о сопственим знањима, способностима и даљој професионалној оријентацији.

Због улоге образовања у друштвеном и економском развоју потребно је да се у обавезном и средњем образовању у настави физике у Републици Србији стави већи акценат на примену сазнања у практичне сврхе. Важно је применити такве наставне методе које ће ученицима омогућити смањено когнитивно оптерећење и лакше разумевање физичких појмова и процеса. Потребно је креирати такав образовни систем и применити такве наставне методе које омогућавају да ученици наставне садржаје науче са разумевањем и да умеју да реше непознате проблемске ситуације (Gow, 1993; Gibbs, 1999), а не само да поседују чињенично знање, какав се тренд дуго примењује у образовању у Републици Србији. Важно је да ученици науче да размишљају. Прави и једини начин за то је развој критичког мишљења кроз примену одговарајућих наставних метода. Цитат Луси Макормик Калкинс (Lucy McCormick Salkins) „Ако наша настава треба да буде уметност, морамо да знамо да то што наставу претвара у уметност није количина добрих идеја, већ њихов избор, равнотежа и осмишљавање...“ још један је у дугачком низу који указује на важност избора наставних метода. Примена одговарајућих наставних метода, обучени наставни кадар и поседовање наставних средстава важан су услов за развој образовања и испуњавање његових основних задатака.

### Испитивања ставова ученика о физици

У литератури, физика се често описује као интересантна, али истовремено и тешка и захтевна наука. Физика је наука која се заснива на експериментима, графичким приказима,

математичком апарату што је узрок њене лепоте и интересантности, али и осећаја комплексности и замршености (Olusola, Olasimbo, Rotimi, 2012). Сматрају је једном од најнепосреднијих природних наука јер изучава природне појаве и описује свакодневне физичке процесе, а и најкомплекснијих јер у себи садржи све друге природне науке. Због њене комплексности, али и интересантности често се у разним истраживањима нашла као главна тема, као и испитивање става ученика према њој (Sherin, 2001; Etkina et all, 2007; Dong-Hai Nguyen, Sanjay Rebello, 2011). Тако у истраживању (Angell et all, 2004) које је за циљ имало да испити став ученика према физици, испитани су ученици који слушају предмет физику и који слушају друштвене предмете (језике и социјалне науке). Узорак је броји 2192 ученика. У овом истраживању је добијено да преко 80% ученика који су изабрали физику као додатни предмет физика је оценило као интересантном, да се тиче разумевања свакодневних појава, али и целог света, да су експерименти важни у физици, али и да је тешка. Ученици који су се више определили за друштвене предмете, са великим процентом (преко 60%) су се сложили да су експерименти важан део физике, да она објашњава свакодневне појаве, али и да је тешка, а у много мањем проценту да је физика интересантна и да се бави разумевањем целог света/Универзума.

У истраживању (Checkley, 2010) испитани су ученици који су изабрали виши курс физике и ученици који нису изабрали виши курс физике са циљем да се увиди зашто јесу или нису изабрали виши курс физике, као и да се испита њихов став према физици. Резултати су показали да ученици који нису изабрали виши курс физике, оценили су је као тешком јер захтева одређен степен математичког апарата, чак наводе да им је математички апарат потребан за час физике знатно тежи него што им је потребан на часу математике. Међутим, свидео им се сам садржај уколико би се изоставио математички апарат. У овом истраживању су била укључена и питања да ли је физика повезана са нових технологијама (iPod, телефони и слично). Ова група ученика је изјавила да схватају да је физика укључена у развој нових технологија, али да не разумеју како. За њих су телефони или iPod неке мале црне кутије за чији принцип рада би могли да се заинтересују ако не мора да се укључи математички апарат. Ученици који су узели виши курс физике, то су учинили јер сматрају да је она лака, интересантна и уживају изучавајући је. Неки од испитаника ове групе су навели да сматрају да им је физика поправила просек оцена. Ученици ове групе су навели да сматрају важним физику и да су изабрали виши курс физике како би оставили отвореним више могућности за даља истраживања и усавршавања, "keeping doors open". Као општи закључак донешен у овом истраживању јесте да ученици могу бити веома лако заинтересовати за физику само је потребно наћи одговарајући метод за то и да они који су разумели њен садржај истакли су њену интересантност и релевантност за разумевање света око себе.

У истраживању (Obadović i sar., 2013) испитан је утицај имплементације једноставних експеримената у наставу физике на став ученика према физици. Резултати овог истраживања су показали да много већи проценат ученика који не раде експерименте на часу физике не воле да уче физику за разлику од ученика који експерименте раде често или

повремено на часу. Резултати овог истраживања су указали на значај коришћења експеримента у настави физике. Применом експеримената у настави физике може се значајно утицати на став ученика према физици. У овом истраживању је, такође, показано да ученици који нису радили експерименте у оквиру наставе физике, физику оцењују као досадну, док ученици који су радили експерименте у оквиру наставе физике, често или макар повремено, физику сматрају интересантном.

У истраживању (Stefan, Ciomoş, 2010) је показано да је око половине испитаника физику оценила као тешким предметом, а више од половине интересантном (63% испитаника 8 разреда и 73% 9 разреда). Већина испитаника је изјавило да воли да учи физику, као и да је сматрају битном за разумевање живота. Слично је добијено и у истраживању (Olusola, Olasimbo, Rotimi, 2012). У овом истраживању показано је да ученици физику не сматрају лаким предметом, али је сматрају интересантном и да лакше разумљивом ако је укључен експеримент.

Како се види из претходно наведених истраживања, показано је да је увођење експеримента у наставу физике позитивно јер ученици боље разумеју изучаване појмове и појаве и поседују позитиван став према њој.

У истраживању (Angell et al., 2004) чији је циљ био да се издвоје најинтересантнији делови физике, добијен је веома интересантан податак. Наиме, као најинтересантније области физике од стране наставника и ученика издвојене су: астрофизика, релативност, атомска и нуклеарна физика, електрицитет, светлост и таласи, експерименти и квантна физика. Занимљиво је да ученицима више занимљивије силе и кретање и термодинамика него наставницима, као и да је мали проценат наставника и ученика (око 10, односно око 20%, редом) историју и филозофију физике оценило као интересантну. Из овога се види се и ученици и наставници више воле да дискутују о неким теоријама које се не могу једноставно показати као што је то случај са релативности или су то неки удаљени предмети (астрофизика). Слична интересовања се могу уочити и у филмској индустрији; филм о апокалипси.

У истраживању (Osborne et al., 2003) је добијено да број ученика који бира основни ниво физике значајно опада у односу на биологију и хемију. У овом истраживању је добијено да су ученици биологију оценили лакшом и интересантнијом у односу на физику и хемију, али да су знања из физике и хемије значајнија за посао. У истраживању (Williams et al., 2003) извршено је поређење како ученици виде биологију и физику на узорку од 31500 ученика који уче физику на А-нивоу и 52100 ученика биологије. Око половине испитаника је биологију оценило као интересантном. Петина испитаника је истом категоријом оценила физику. Око половине испитаника је физику оценила као (веома) досадном, док је исту категорију биологији приписало око петине ученика. Разлог негативног става према физици је тежак и неразумљив садржај. Као позитивне стране физике, као наставног предмета, ученици су навели практично искуство и наставни садржај. Добијени налази су у

сагласности са другим налазима да уколико се са ученицима раде експерименти ученици ће лакше разумети изучаване појаве и самим тим ће имати позитивниј став према физици.

У истраживању (Ibeh at all, 2013) чији узорак броји 180 ученика и 18 наставника, добијено је да је негативан став ученика према физици резултат неквалификованих наставника, примене не одговарајућих наставних метода, недостатак наставних средстава и слично. Квалитетно обучен наставни кадар уме да искористи погодности које нуди неки наставни метод нуди и тако пренесе своје знање ученицима. Квалитетно обучен наставник физике уме да истакне све важне елементе науке, да подстакне критичко мишљење код ученика у циљу формирања целокупне личности и да промени став ученика према науци. У горе наведеним цитатима Кетрин Патерсон (Katherine Paterson) и Луси Макормик Калкинс (Lucy McCormick Calkins), као и у цитату Ларија Сварца и Дејвида Буда (Larry Swartz, David Booth) „У светове из неких прича лако је ући: то поље смо видели, на том имању смо живели, на тој реци пећали. Други су компликованији. Да бисмо ушли, потребан нам је способан писац да отвори врата, паметан приповедач да нас увуче у радњу или проишљив наставник који ће за причу осмислити привлачан контекст. Док слушамо или читамо речи, претварамо симболе у запањујуће слике које нам омогућавају да се удубимо у причу.“ (Guld Landi, 2007) види се да је велика одговорност на самом наставнику, али и на истраживачу чији главни циљ треба да буде унапређивање научне дисциплине и истицање добијених резултата.

Испитивање ставова ученика према науци, поготово природним наукама, је важно, јер уочавањем узрочника настанка негативних ставова код ученика и њиховим уклањањем директно се може утицати на привредни развој једне земље. Стога су у последњих пар година у Републици Србији почели да се организују Фестивали науке, Ноћи истраживача, разна популарна предавања, научни кафеи све са циљем промене става ученика, али и целокупног становништа према науци. Поред наведених догађаја, важно је константно примењивати такве наставне методе које за циљ имају смањено когнитивно оптерећење и боље разумевање и повезивање градива.

Још један од показатеља успешности ученика у разумевању физике и других природних наука који се одражава и кроз став ученика према науци, али и њен положај у образовању, јесте постигнуће ученика на PISA тесту. На основу ранијих резултата на PISA тестовима (2012) добијно је да су ученици Немачке били успешнији и од ученика Француске, а ученици Француске су били успешнији од ученика Србије. То указује на то да деца која заврше основну школу код нас поседују чињенично знање и не умеју да у довољној мери самостално закључују и траже решења у непознатим и потпуно новим ситуацијама. Иако не постоји значајна разлика у броју часова физике у Републици Србији, Француској и Немачкој, главна разлика је у методама које се примењују у наставном процесу. Док је у француском систему обавезног образовања у настави физике акценат на примени експеримента, код нас се већи значај придаје чињеничном знању и теорији. Последњих неколико деценија се тежи променити наставни процес код нас преласком од традиционалног, монолошког метода ка увођењу експеримента, мултимедијалних садржаја,



проблемске наставе како би се променио начин размишљања ученика. Променом начина размишљања утицаће се и на сам став према физици као наставном предмету. Ученицима ће моћи лакше да повезују појмове и појаве што им је поред проблематичног математичког апарата био и основни проблем.

На основу реченог може се закључити да су фактори који физику представљају интересантном, али истовремено и тешком: логично мишљење, критичко мишљење, математички апарат, графички прикази, експерименти и други. Значи, физика као наука захтева промену образовног система од „учења напамет“ ка учењу са разумевањем. Како у начелу ова наука захтева одржени степен разумевања самих појава и добар математички апарат, ученици често из тог разлога могу да имају негативан став према њој. Важну улогу у промени става ученика имају наставници од којих се очекује да нова достигнућа науке предоче ученицима користећи се достигнућима методике наставе физике. Из овог се види важност испитивања когнитивног оптерећења ученика и утицај когнитивног оптерећења на постигнуће ученика, што је и циљ ове дисертације.

### Вредновање ученичких постигнућа у настави физике

Вредновање рада ученика обухвата идентификацију и формулисање широког опсега циљева наставног процеса. Оцењивање, које се често поистовећује са вредновањем, представља фазу наставног процеса у оквиру кога је потребно да сви елементи са својим сазнајно-логичким, психолошким, материјално-техничким, дидактичко-методичким и другим компонентама буду повезани у складну и јединствену целину (Гојков, 2003). Оцена, као мерни инструмент, може да се креће у опсегу од 1 до 5, од 5 до 10 или описно. Нивои постигнућа ученика, који су често означени и оценама, дефинисани су разним таксономијама. Применом Блумове таксономије (Bloom, 1981; Teodorescu et al, 2008; Buick, 2010) ученицима се може лако указати на тренутни ниво усвојеног знања, али и на процену тешкоћа које су довеле до евентуалног слабијег успеха у учењу. У раду је испитивано когнитивно подручје кроз три категорије; знање, схватање и примена. Категорија знање у физици представља образовни циљ који се базира на процесу памћења, укључујући и сложене процесе увиђања односа, процењивања и разумевања градива. Значи, од ученика се очекује да уме да репродукује добијене информације, да влада терминима, да уме да препозна појмове. Појам схватања обухвата такве образовне задатке који захтевају разумевање наставних садржаја и трансформацију применљивих информација у неку паралелну форму, док се под примена знања подразумева решавање проблема коришћењем апстракције. Решавање проблема се може рашчланити на више операција: поставка проблема, перципирање проблема, класификација и избор апстракције погодне за решавање проблема. Поред Блумове, постоје и друге таксономије. Озубел и Робинсон (Кнежевић, 1995) су у својој таксономији предложили когнитивни класификатор са четири степена: налажење, примена, решавање проблема и креативност. Први степен, учење налажењем, односи се у томе да чињенице које ученици усвајају буду сврстане у постојеће сазнајне

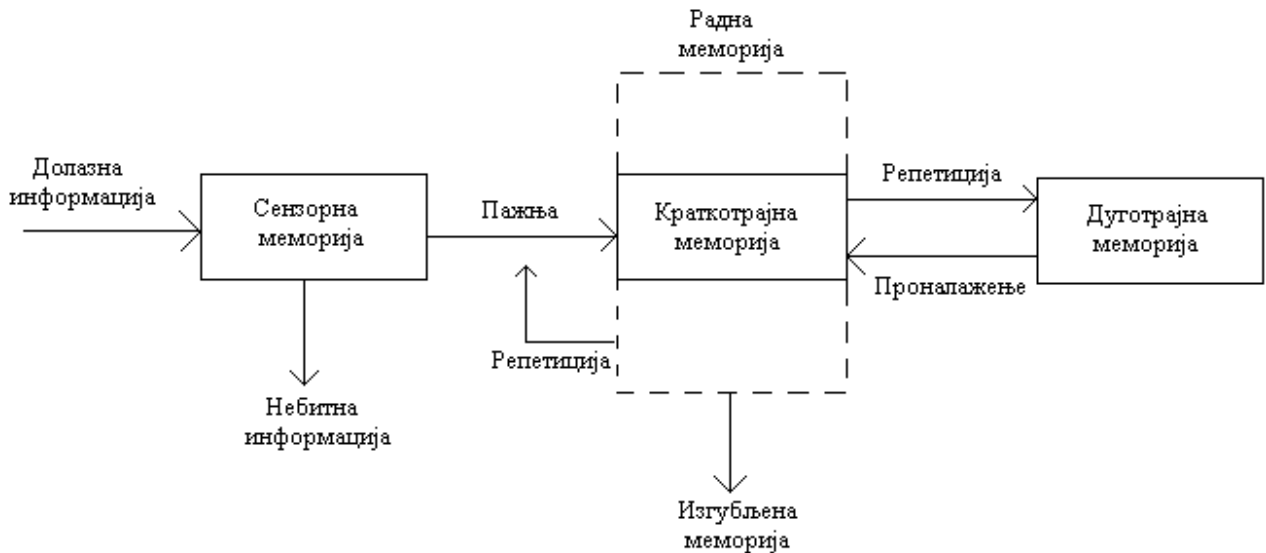
структуре. У поређењу са Блумовом шестостепену класификацијом, степен налажење одговара знању и схватању по Блумовој таксономији. Други по реду степен примена, односи се на постојање опште усаглашености сопствене сазнајне структуре са другим, нпр. конвенцијалним, нормама и слично. У оквиру трећег степена, решавања проблема, ученици стичу интелектуална умења која су одређена генералном стратегијом одређеног типа задатка. Док се у четвртом степену, креативност, подразумева оригиналност решавања проблема. Значи на овом степену ученик самостално трансформише сазнајну структуру. Према овој таксономији са ова четири степена се могу представити структуру и функцију наставног процеса. Озубел-Робинсова таксономија тежи да подигне на виши ниво бихевиорални систем у Блумовој таксономији и да се направи јасна разлика перцептивног усвајања знања и продуктивног стицања интелектуалних умења, а истовремено сједини знање и сазнавање (Кнежевић, 1995).

Марзанова таксономије (Кнежевић, 1995) се такође састоји од четири степена: садржинска знања, разумевање, анализа и примена. Први степен означава препознавање и поврат информација и извршења менталних поступака и психомоторних процедура. Други степен означава интеграцију и симболизацију знања. Прва два степена Марзанове таксономије одговарала би првом и другом степену Блумове таксономије. Трећи степен Марзанове таксономије, анализа, подразумева усклађивање и класификовање активности, анализирају грешке, уопштавања закључака на основу фундаменталног знања наводећи логичке последице. Овај степен би одговарао трећем и четвртом степену Блумове шестостепену класификације (примена и анализа). Док четврти степен Марзанове таксономије, примена, укључује доношење одлука, решавање проблема, експериментисање и истраживање и одговарало би петом и шестом степену Блумове таксономије (синтеза и евалуација).

## ***2.2. Когнитивно оптерећење***

Знање о томе како сазнајемо, мислимо и решавамо проблеме - људска когнитивна архитектура - може да нам пружи кохерентну, уједињујућу базу која се може користити за генерисање наставних метода и података. Та база може објаснити зашто неки наставни поступци имају позитивне ефекте, а неки не.

Сазнавање у савременој настави представља један од централних циљева реализације наставе. Процес усвајања знања у настави и његове основне карактеристике представљају важну, али недовршену страну дидактике физике. Стога ће у овом делу поглавља бити укратко приказана схема људске меморије, односно „пут“ неке информације (слика 1). Од самог почетка систематских истраживања когнитивних процеса преовладао је став да се подаци које региструју наша чула не обрађују тренутно, већ да је реч о низу појединачних процеса који се одвијају у неколико фаза (Костић, 2006). Људска меморија се може сматрати системом за процесирање информација. Основне компоненте људске меморије су сензорна, краткотрајна и дуготрајна меморија (Tulving, 1985; Huang at all, 2009).



Слика 1 – Схема људске меморије (преузето из Huang at all, 2009)

На основу когнитивне теорије обраде информација перцепт, односно информација коју прими ученик прво доспева у сензорну меморију. У овом меморијском домену подаци неосмишљени. Први процеси интеграције елемената у облике које је могуће осмислити одигравају се у временском опсегу који је обухваћен трајењем информације у чулној меморији. Ако је реч о аудитивном модалитету, његова временска димензија налаже да информација мора да буде привремено задржана како би се добио њен целовитији облик пре него што се пропусти у даљу обраду. Док ако је у питању визуелни модалитет, може се претпоставити да је у питању интегративна функција која обезбеђује опажања континуираног покрета. Информација из сензорне меморије бива или процесуирана даље ка дуготрајној меморији или бива одбачена. Разлози на основу којих се селекују информације које ће од њих бити прослеђене у даљу обраду су двојаки и међусобно условљени. Наша чула региструју велики број информација и немогуће их је све обрадити. Стога, чињеницу да постоје ограничења у обради информација когнитивног система треба схватити као биолошко и еколошко својство врсте, а не као недостатак тог система (Костић, 2006; Tulving, 1983). Информација на свом „путу“ ка дуготрајној меморији се прво обрађује у радној, односно краткотрајној меморији. Радна меморија је један од најзначајнијих делова људске когнитивне архитектуре (Baddeley, Hitch, 1974; Taylor, 2005). Она представља функционални механизам који ограничава обим информација које доспевају у дуготрајну меморију. Прве значајне кораке при разјашњавању овог домена учинио је Милер (Miller, 1956), иако су још крајем XIX века нека истраживања показала да опсег пажње износи четири до пет елемената, што је схваћено као ограничење капацитета оперативне меморије. Милер је сумирајући налазе великог броја експеримената дотадашњу интуицију о ограничењима меморијског опсега претварио у егзактан опис капацитета оперативне, односно радне меморије. Добио је тачну вредност капацитета оперативне меморије; седам плус/минус две смисаоне јединице (Miller, 1956). Истраживањем је добијено да се информација може задржати од 18 – 20 секунди у оперативној меморији и да после тога или

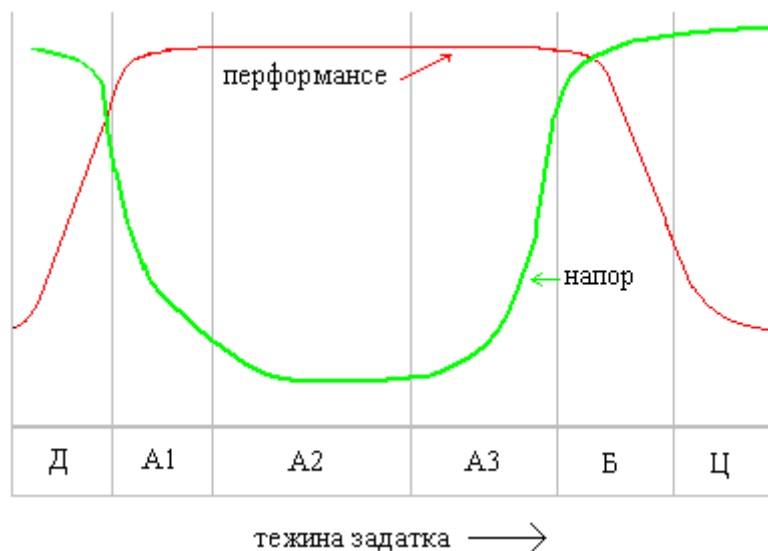
ишчезава или бива интерферирана са неким паралелним задатком (Peterson, Peterson, 1959; Peterson at all, 1961). Са садржајем радне меморије може се вршити (ре)комбиновање, манипулација и интерпретација информација на основу претходно усвојених термина који се налазе у дуготрајној меморији. Манипулација и рекомбинација информација, односно допуњавање и повезивање са другим информацијама има за улогу да помогне ученицима у самом процесу учења (Doshier, 2003; Eysenck, Keane, 2000).

Дуготрајна меморија је компонента система обраде информација у којој је тренутно ускладиштено наше целокупно знање. Постоје два критеријума на основу којих је могуће класификовати знање, односно садржај дуготрајне меморије. По једној класификацији разликујемо декларативно и процедурално знање. Декларативно знање обухвата знање о појмовима и различите информације (чињенице) о свету око нас, док се процедурално знање односи на знање о обављању одређених операција и процедура. Према другој класификацији, коју је предложио Ендел Талвинг (Tulving, 1983), у оквиру дуготрајне меморије могуће је издвојити два аспекта: семантичку и епизодичку меморију (Костић, 2006). Семантичка меморија обухвата знање о појмовима и процедурално знање, док је у епизодичкој меморији ускладиштено лично искуство (сећање). Материјал у семантичкој меморији доминантно је кодован у вербалном (симболичком) коду, док је у епизодичкој меморији кодован у оквиру различитих чулних модалитета.

Разумевање начина складиштења је веома важно за развој методике наставе као научне дисциплине. Увиђањем начина складиштења информација и проналажењем могућности за манипулацију постојећих и добијених информација може се утицати на правац развоја методике наставе мењајући наставни процес и прилагођавајући га развоју ученика. Познавањем структуре људске меморије (слика 1), долазне информације би након процесуирања у сензорну меморију, према захтевима методике наставе, требало помоћу когнитивних стратегија за пренос информација довести до дугорочне меморије у којој се могу чувати, употпуњавати и повезивати са другим информацијама. Стога један од разлога важности испитивања начина складиштења већег броја информација у дуготрајну меморију јесте и утицај на развој личности ученика као појединца, али и као будућег професионалца у некој области (Wittrock, 1974).

Структуре које чине оквир људске когнитивне архитектуре представљају кључни предуслов за избор наставног метода како за истраживаче, тако и за наставнике и професоре. Стога, знање о људској когнитивној архитектури се може искористити за унапређење и избор наставног метода. У процесу учења човек користи различите степене капацитета размишљања. Степен ангажовања капацитета људског мишљења у процесу учења одређује се као когнитивно оптерећење. Когнитивно оптерећење може се уопштено одредити као захтев радне меморије за ресурсима који су потребни за остваривање циљева специфичних когнитивних активности у појединим ситуацијама (Sweller at all, 2011). На когнитивно оптерећење утичу и узрочни фактори и фактори процене. Под узрочним факторима подразумевају се карактеристике задатка, когнитивне карактеристике ученика, окружење и многи други. Са друге стране, под факторе процене спадају ментално оптерећење, ментални

напор и перформансе. Ментално оптерећење се може дефинисати као аспект или индекс когнитивног оптерећења. Ментално оптерећење је представљено као разлика између захтева задатка и способност особе да савлада ове захтеве (Hancock, Meshkati, 1988). Веза између тежине задатка, перформанси и напора је представљена кроз теоријски модел који разликује шест делова (слика 2).



Слика 2 – Теоријски модел зависности тежине задатка, перформанси и напора (преузето из de Waard, 1996)

Део који је на слици 2 означен са Д представља део где је перформанса ниска, иако је мала тежина задатка. У овом делу се осећа велики утицај умора или растројености на учинак, чак и ако је мала тежина задатка. Део А2 се може окарактерисати са оптималним нивоом перформанси и лакоћом израде задатог задатка. У деловима А1 и А3 перформансе су и даље високе, али је потребно уложити одређени напор да би се достигао жељени ниво перформанси. У делу Б, тежина задатка прелази капацитет меморије и перформансе опадају. Када тежина задатка достигне ниво који је карактеристичан за део Ц, перформансе су на најнижем нивоу, а ученик је преоптерећен.

Ментално оптерећење је више од количине посла који мора да се уради да би се остварили захтеви задатка (Hancock, Meshkati, 1988; Sweller at all, 2011; Choi at all, 2014). Ментални напор односи се на когнитивни капацитет потребан за решавање задатка. Перформансе ученика су одраз менталног оптерећења, менталног напора и узрочних фактора. Конструкт когнитивног оптерећења не узима у обзир психолошке ефекте као што су веровања појединаца, очекивања и циљеве и њихов утицај на перцепцију сопственог оптерећења (Choi at all, 2014).

Теорија која се бави испитивањем когнитивног оптерећења у процесу учења јесте теорија когнитивног оптерећења. Циљ теорије когнитивног оптерећења јесте да предвиди исходе учења, узимајући у обзир могућности и ограничења људске когнитивне архитектуре

(Kirschner, 2002; Kalyuga, 2009/a). Теорија се може применити на широк спектар учења, јер повезује карактеристике материјала за учење на принципима људске обраде информација (Paas et al., 2004; Schnotz, Kirschner, 2007). Теорија когнитивног оптерећења је вођена идејом дизајна за ефикасно учење, односно идејом заснованом на знању о томе како људски мозак функционише (Plass et al., 2010; Sweller et al., 2011). Полазећи од ове премисе, различити процеси стицања знања и разумевања су описани у смислу њихових захтева за људски когнитивни систем, који се посматра као активни, ограничен капацитет система за обраду података. Узимајући у обзир захтеве когнитивних ресурса изазваних сложеностима информација које се уче, начина на који се инструкције представљају, као и претходно искуство, теорија когнитивног оптерећења има за циљ да предвиди оно што чини учење успешно, као и начин како се може ефикасно унапредити настава, односно инструкције (Cooper, 1998; Burkes, 2007; de Jong, 2010).

Полазна тачка зачетка и даљег развоја теорије когнитивног оптерећења може се сматрати одређивање капацитета радне меморије. Како је напред речено, Милер је први одредио капацитет оперативне, радне меморије. Милер је својим резултатима продубио дотадашња сазнања и „бацио светло“ на будућа сазнања, како у испитивању преноса информација тако и на испитивању начина функционисања оперативне меморије и природе њених ограничења. Милер је први увео појам смисане јединице, која представља целину која може, али не мора, да се састоји из више елемената, са којима оперише оперативна меморија. У прилог Милеровим резултатима говоре и Мардакови резултати који показују да трајање информација зависи од броја смисаоних јединица, а не од броја елемената. У циљу што детаљнијег испитивања меморија и начина преноса информација, тежила се наћи разлика у обављању когнитивних задатака између маховског мајстора и почетника. Претпоставке које су се наметале су да би требало да се покажу велике разлике у успешности међу испитиванима. Чејс и Сајмон су у свом истраживању добили да је разлика између почетника и шаховског мајстора у томе што је шаховски мајстор у стању да осмисли односе међу фигурама и да позицију или делове позиције третира као целину, чиме се значајно смањује број елемената који се оперише (Костић, 2006). Значи, они су показали на који начин људи могу комбиновати елементе у целине и тако смањујући оптерећење, а информационе целине повезивати са информацијама у дуготрајној меморији, односно „градити“ сопствено знање. Џон Свелер је на примеру свог истраживања (Sweller, 1988, 1989) показао да је решавање проблемских задатака директно повезано са когнитивним оптерећењем. Решавањем проблемских задатака и учењем уз такав начин рада природно се намеће да је неопходно тражити узрочно-последичне везе међу изазваним појавама. Увиђањем тих веза смањује се број елемената стапајући се у целине, смисаоне јединице. Операцију са мањим бројем елемената у радној меморији и још уз то повезивањем тих елемената са претходно усвојеним смањује се когнитивно оптерећење. У радовима (Chandler, Sweller, 1991; Sweller, 1994) наводи се да шема стицања и пренос научених поступака из контролисаних на аутоматску обраду, као два критична механизма учења, имају за последицу смањење или заобилажење ограничења радне меморије. Овим се добија да већи број смишљених информација прелази у дуготрајну меморију. Важно је изнаћи

начине како се могу информације брже и лакше премештати у дуготрајну меморију, одакле би се позивале и примењивале у проблемским ситуацијама. Како је напред речено, физика је научна дисциплина која је конципирано тако да су јој основни проблеми базирани на проблемским ситуацијама. У своју жижу интересовања физика је поставила тражење односа, односно уочавање интеракција међу појмовима и појавама. Учењем интеракција између више елемената значајно се повећава интристичко когнитивно оптерећење. Да би се снизитило ово оптерећење потребно је sukcesивно учити тражене везе, а не истовремено.

У истраживању (Brünken et al., 2002) коришћен је приступ за процену когнитивног оптерећења. Наиме, испитали су корисност методологије два задатка за процену когнитивног оптерећења изазваног мултимедијалним учењем. Истраживањем је добијено исто когнитивно оптерећења као што то предвиђа теорија когнитивног оптерећења када се примењује на мултимедијалном учењу, односно добијено је да аудиовизуелна презентација текстуалних и сликовитих материјала за учење узрокује мање когнитивно оптерећење него само визуелна презентација истих материјала. Овим се потврђује корисност методологије два задатка као обећавајући приступ за процену когнитивног оптерећења изазваног сложеним системом мултимедијалног учења.

У истраживању (Lee et al., 2006) у којем је било укључено 257 ученика средње школе испитивана је оптимизација когнитивног оптерећења на примеру закона идеалног гаса кроз примену симулација. Визуелна сложеност је руковођена одвајањем приказа симулације на два екрана (ниска сложеност) или представљања свих информација на једном екрану (висока сложеност). Резултати су показали да се интристичким и екстерним когнитивним оптерећењем у визуелним дисплејима може манипулисати и да се ефекат предзнања ученика на оптерећење може ублажити деловањем ових манипулацијама.

У истраживању (Muller et al., 2008) испитивана су два истраживачка програма, један, на основу теорије когнитивног оптерећења, је усмерен на начине смањења екстерног когнитивног оптерећења током наставе слободних ресурсе за учење. Други, заснован на конструктивизму, усмерен је на интерактивну мултимедију, који омогућава ученицима да изграде своје знање. Ученици су били тестирани пре и после истраживања, а у истраживању су учествовали од куће. Истраживање је обухватало кратке мултимедијалне садржаје који су објашњавали први и други Њутнов закон. У експерименту 1, ученици који су гледали видео дијалог који укључује алтернативне концепције изјавили су да су улажили већи ментални напор током извођења експеримента и током израде финалног теста, али и постигли веће резултате на финалном тесту од ученика који су добили презентацију са стандардним стилем предавања. У експерименту 2, два додатна мултимедијална поступка су оцењена у циљу процене утицаја времена проведеног за учење и начина обраћања алтернативне концепције. Резултати овог истраживања су показали да су ученици усвојили активнији приступ разумевању материјала ако су покренуте и алтернативне концепције. У овом истраживању је добијено да у експериментима 1 и 2, ученици који су гледали мултимедијалне садржаје који обухватају алтернативне концепције о првом и другом

Њутновим законом постигли су веће резултате на финалном тесту од оних који су гледали мултимедијалне садржаје стриктно следећи утврђене смернице.

Истраживање (Homer, Plass, 2010) које је спроведено са циљем испитивања утицаја претходног знања и когнитивног оптерећења на ефикасност симболичког представљања у визуализацији науке. Истраживањем су обухваћене две теме из хемије: Кинетичка молекуларна теорија (дан 1) и Закони идеалног гаса (дан 2). За половину визуализација додате су кључне информације. Резултати су показали да је као главна разлика међу групама био ефекат претходног знања за експеримент рађен првог дана, док је други дан утврђена трокрака интеракција између претходног знања, старосне групе и симбола. Симболи су били укључени за све ученике средње школе и за ученике виших разреда средње школе са ниским предзнањем, али нису били ефикасни за средњошколце са високим предзнањем.

Теорија когнитивног оптерећења се може представити као:

1. универзална теорија јер се односи на све основне методе подучавања;
2. теорија која нуди конкретне смернице које сваки наставник може да примени у своме раду;
3. теорија заснована на великом броју емпиријских истраживања;
4. теорија која јасно указује како постићи брже и квалитетније усвајање знања и;
5. теорија која усклађује људске когнитивне процесе учења.

На основу ових пет начела може се увидети њена широка примена у методикама наука, психологији и педагогији. Теорија когнитивног оптерећења се може сматрати психолошком теоријом јер покушава да објасни психолошке феномене или понашања које проистичу из наставе. Испитивање начина на који људски мозак функционише је већ неколико деценија у жижи интересовања психолошких, али и физичких истраживања. Развој медицинске физике омогућио је другим наука, између осталих и психологији, да стално продубљују и шире поља својих истраживања. Ово је још један од назнака важности и комплексности физике као науке.

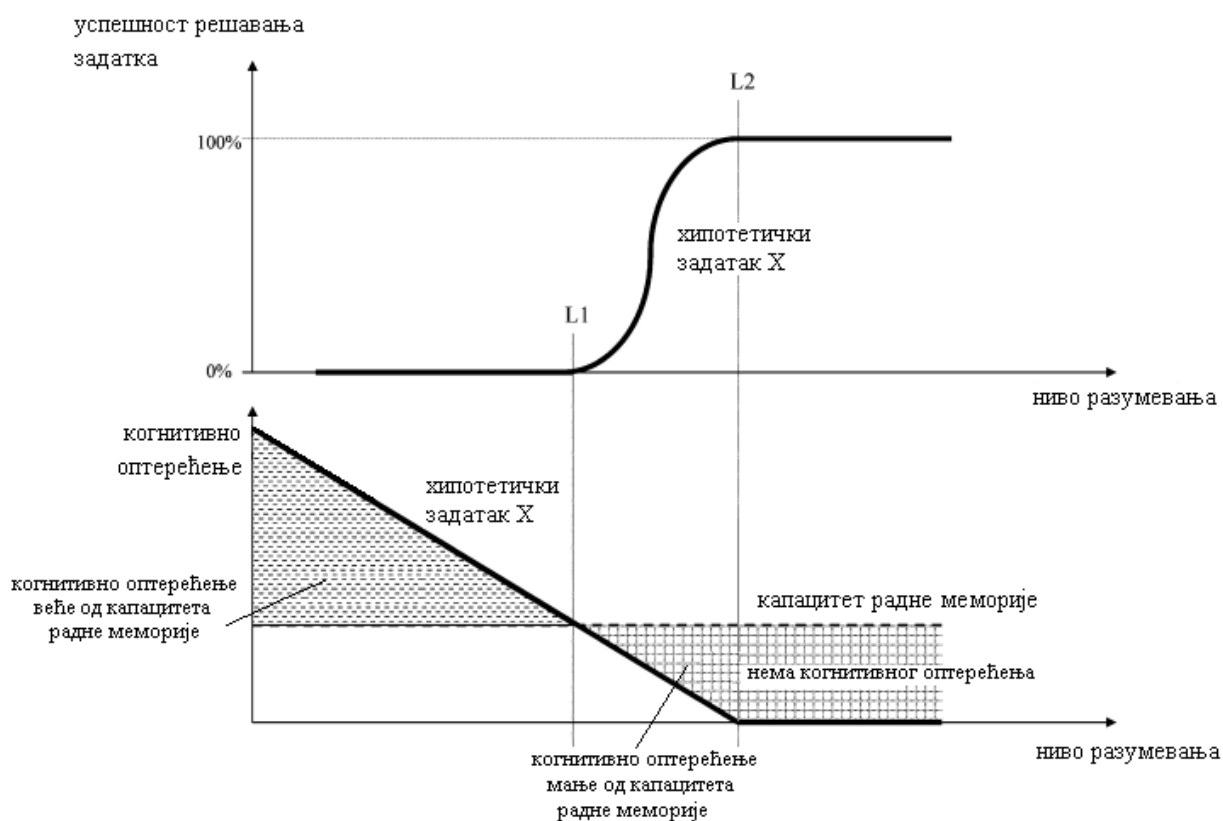
Фокусирање теорије когнитивног оптерећења на то како објективне карактеристике задатка утиче когнитивне оптерећење и учење, јасно указује на њену блиску везу са педагогијом и методикама наставе. Ако се не разуме механизам учења и решавања проблема, шансе за дизајнирање нових наставних метода или побољшање постојећих не би било могуће или би било узалудно. Теорија когнитивног оптерећења указује на начине којима се може управљати когнитивним оптерећењем у наставном процесу. Концепт когнитивног оптерећења је теоријски концепт који одражава интеракције између информационих



структура и когнитивних особина ученика (Kalyuga, 2009/b; Sweller, 1988; Van Merriënboer, Sweller, 2005). Стога је за даљи развој методике, као научне дисциплине, од суштинске важности одредити како одређене наставне методе утичу на когнитивно оптерећење ученика, што је и циљ овог рада. Испитивање когнитивног оптерећења одређује начин промене наставног метода, а самим тим и правац развоја методике наставе.

Ако се прихвати мишљење Виготског да је школска средина извор и организатор дететовог индивидуалног развоја, онда је потребно дефинисати и зону проксималног развоја у оквиру теорије когнитивног оптерећења. Зона проксималног развоја се може представити као разлика између најтежег задатка који неки ученик може самостално да изврши (садашњи ниво развоја) и најтежег задатка који неки ученик може да научи да га самостално изведе са нечијом подршком (ниво проксималног развоја). Што је зона проксималног развоја шира то је већи потенцијал за учење.

У раду (Schnotz, Kürschner, 2007) се наводи повезаност зоне проксималног развоја и тежине задатка, односно когнитивног оптерећења. На слици 3 је приказана повезаност успешности решавања задатка и когнитивног оптерећења у односу на ниво разумевања.



Слика 3 – Упоредна представа успешности решавања задатка и когнитивно оптерећење (преузето из Schnotz, Kürschner, 2007)

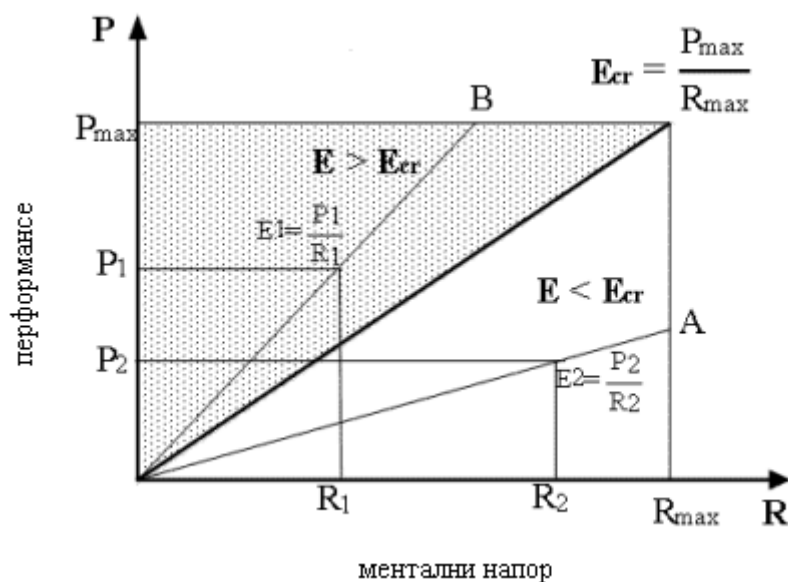
На горњем делу слике 3 види се да за неки хипотетички задатак X, леви део x-осе који представља низак ниво постигнуће ученика је 0% све до нивоа L1. Затим, од нивоа L1 до

нивоа L2 повећава се удео тачних одговора и на нивоу L2 достиже 100%. Овим је добијено ако је ниво ученичког разумевања мањи од L1 задатак је и сувише тежак и ученик није у стању да га реши, а ако је ниво ученичког разумевања већи од L2, ученик ће без проблема решити задатак. Посматано кроз когнитивно оптерећење, нивои до L1 показују велико когнитивно оптерећење, веће од капацитета радне меморије и из тог разлога ученик није у стању да реши задатак. У регији од L1 до L2, когнитивно оптерећење је нешто мање од радне меморије и ученици су у стању да успешно реше задатак. Разлика између капацитета радне меморије и интринстичког когнитивног оптерећења се може потрошити на повећање везаног когнитивног оптерећења (уз претпоставку да је екстерно оптерећење за све нивое било једнако нули). У регији већој од L2, интринстичко когнитивно оптерећење је једнако нули јер се задатак решава према аутоматизму и није неопходно трошити капацитете радне меморије. Уколико се задаци решавају према аутоматизму, односно не долази до усвајања нових знања него само до коришћења постојећег. Стога је неопходно да постоји одређени ниво тежине задатка који ће од ученика захтевати да користи капацитете радне меморије како би се повећавао квантум ученичког знања. У овом случају то је регија између L1 и L2.

Графички начин одређивања ефикасности извођења наставе је приказан на слици 4. Под ефикасношћу може се подразумевати однос перформанси и уложеног менталног напора. У раду (Kalyuga, 2008) се наводи формула за одређивање ефикасности ( $E$ )

$$E = \frac{P}{R},$$

где је  $R$  ментални напор, а  $P$  перформансе.



Слика 4 – Графичко приказивање ефикасности извођења наставе (преузето из Kalyuga, 2008)

Критична вредност ефикасности ( $E_{cr}$ ) се може одредити тако што се подели максимална вредност перформанси ( $P_{max}$ ) са максималном вредношћу менталног оптерећења ( $R_{max}$ ), односно највећом вредношћу коришћене рејтинг скале.

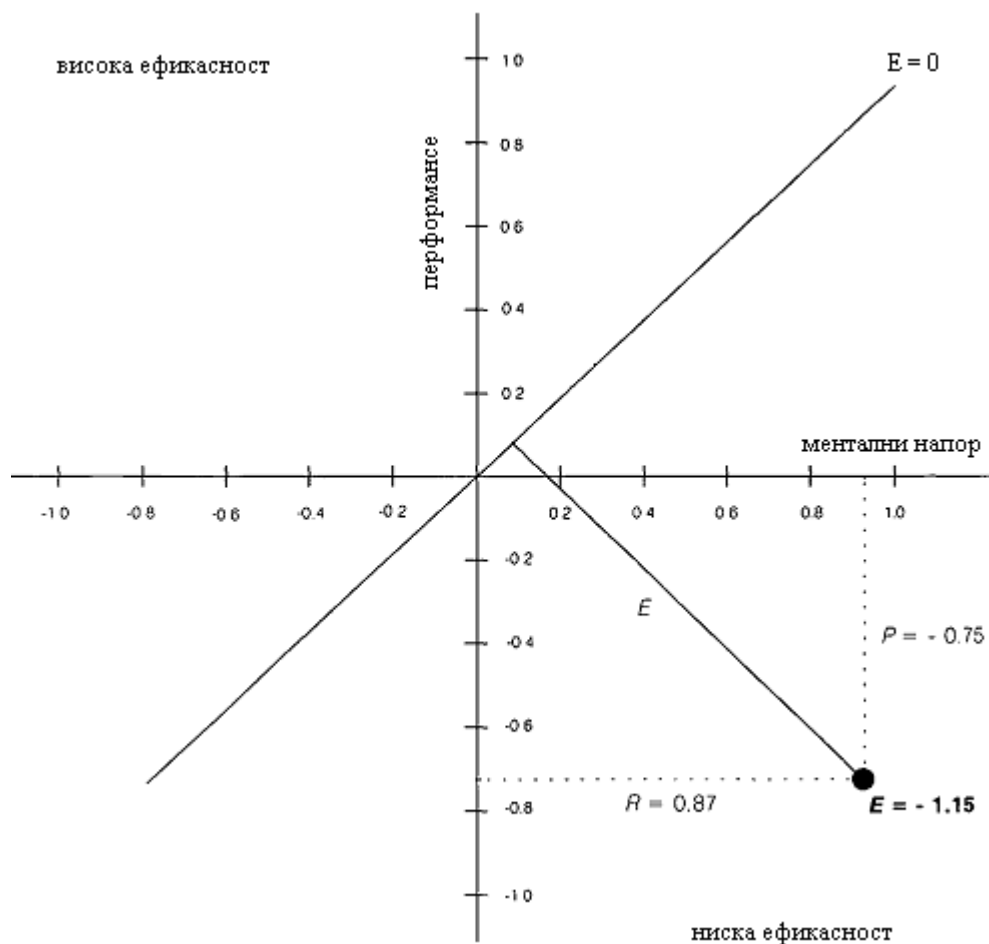
$$E_{cr} = \frac{P_{max}}{R_{max}}$$

Уколико је вредност добијене ефикасности већа од критичне вредности ефикасности когнитивни учинак ученика се сматрао ефикасним (у приказаном примеру то је  $E_1$ ), а уколико је вредност добијене ефикасности мања или једнака од критичне тада се когнитивни учинак сматрао неефикасним (у приказаном примеру то је  $E_2$ ).

Пас и сарадници (Paas, Van Merriënboer, 1993) су, такође, одредили формулу по којој би се могао израчунати и графички представити ефикасност. Ефикасност ( $E$ ) су дефинисали као:

$E = \frac{|R - P|}{\sqrt{2}}$ , где је ( $R$ ) ментални напор, а ( $P$ ) перформансе. Вредности перципираног оптерећења и добијених перформанси потребно је стандардизовати. Стандардизација се рачуна тако што се од сваке вредности одузме перципираног напора одузме средња вредност и подели са стандардном девијацијом. Нулта вредност ефикасности је дефинисана као:  $P = R$  (слика 5). Све тачке на замишљеним линијама које су паралелне правој  $E = 0$  представљају менталну ефикасност за дати случај.

Вредности у горњем левом квадранту указују на већу менталну ефикасност и окарактерисане су високим вредностима перформанси и малим оптерећењем. Вредности у доњем десном квадранту указују на мању менталну ефикасност, а окарактерисане су великим оптерећењем и малим вредностима перформанси.



Слика 5 – Одређивање ефикасности (преузето из Paas, Van Merriënboer, 1993)

Ефикасност наставних метода уз приказани график одређује се као растојање тачке  $(P, R)$  од линије  $E = 0$ .

### 2.1.1. Типови когнитивног оптерећења

Когнитивна теорија оптерећење прави разлику између интринстичког, везаног и екстерног облика когнитивног оптерећења, и сугерише различите технике и процедуре, односно ефекте за управљање и смањење непотребног когнитивног оптерећења у процесу учењу.

#### 2.1.1.1. Интринстичко когнитивно оптерећење

Интринстичко когнитивно оптерећење је повезано са наставним градивом, односно материјалом који се учи. Како сво наставно градиво није исте дужине, не захтева исте формулације, односно не садржи увек исти број интерактивних елемената може се закључити да материјал који се састоји од већег броја интерактивних елемената је

когнитивно тежи него материјал који садржи мањи број интерактивних елемената. Значи да неки делови наставног градива, по својој природи, захтевају веће когнитивно ангажовање него други делови. Како је напред речено, интристичко когнитивно оптерећење је неопходно да постоји у процесу учења. Уколико не постоји когнитивно оптерећење тада је наставни процес аутоматизован и садржај дуготрајне меморије се не повећава.

У традиционалном приступу објашњења интристичког когнитивног оптерећења, оно се сматрало фиксно, односно непроменљиво у односу на спољашње утицаје наставне манипулације или на вербалне и комуникацијске способности наставника. Модернији приступ говори да је интристичко оптерећење повезано само са бројем интерактивних елемената, односно са сложености материјала који се изучава. Модернији приступ указује на могућност манипулације интристичког оптерећења. Како се наводи у литератури (Ayres, 2006; de Jong, 2010; Plass et al., 2010; Sweller et al., 2011) интристичко оптерећење је не променљиво у односу на примењен наставни метод, али да је потребно наћи начин на који се може утицати на ово оптерећење. Начин на који се може манипулисати интристичко когнитивно оптерећење у мултимедијалном учењу је материјал високе сложености поделити на више делова тако да се добије материјал ниже сложености. Наравно, приликом дељења материјала потребно је водити рачуна да се ниједна информација не изгуби. Други начин везан за језике би био да се учи реч по реч и да се на тој речи дефинишу граматички облици, потом да се разматра цела реченица (Pollock et al., 2002). На примеру физике то би значило да се прво уведе једноставни појмови и законитости, а потом исте законитости али у комплекснијем облику.

У истраживању Ли и сарадници (Lee et al., 2006) је искоришћен начин манипулисања интристичког оптерећења приказивањем симулације на два екрана. Овим се постиже нижа сложеност материјала него када је исти материјал приказан на једном екрану. Смањење интристичког когнитивног оптерећења је првенствено ефикасно за ученике са нижим предзнањем, али и за ученике са нешто вишим предзнањем. Смањењем интристичког оптерећења наставни материјал постаје когнитивно лакши, односно ученици могу лакше да разумеју градиво које им се предаје. Како је напред речено, уколико је велико интристичко оптерећење, веће од капацитета радне меморије, ученик неће моћи да усвоји све чињенице које су му потребне да успешно да реши задатак. Када се интристичко оптерећење смањи толико да буде мање од капацитета радне меморије (регија од L1 до L2) ученик ће моћи да успешно реши задатак.

### **2.1.1.2. Екстерно когнитивно оптерећење**

Према речима Ван Меринбоера и Свелера (van Merriënboer, Sweller, 2005), екстерно когнитивно оптерећење је оптерећење које није неопходно да постоји а да ипак дође до усвајања наставног градива. Оно зависи од начина на који се материјал излаже. Користећи се овом формулацијом екстерног когнитивног оптерећења јасно се види да је узрочник овог

когнитивног оптерећења избор наставног метода и/или вербалне и комуникацијске способности наставника.

Пример у којем се може јавити повећано екстерно когнитивно оптерећење је ефекат подељене пажње. У оквиру овог ефекта, ученик мора да задржава један елемент у краткотрајној меморији док други елемент тражи који је у некој врсти корелације са првим елементом. Ово се дешава на пример код примене мултимедијалног метода где ученик добија две одвојене информације (вербалну и визуелну) које је потребно да повеже (Chandler, Sweller 1996; Sweller et al., 2011; Cooper et al., 2001). Према когнитивним теоријама мултимедијалног учења, учење је олакшано када је садржај представљен у вербалном и невербалном (графичком) формату (Mayer, 2001). Вишеструка репрезентација информација може се користити за подстицање ученика на активност у учењу, усмеравајући његову пажњу на релевантне долазне информације. На тај начин се додатно олакшавају кохерентне менталне репрезентације и интеграција информација са већ усвојеним знањем. Међутим, неки истраживачи (Mendelson, 2004; Craig et al., 2002) тврде да вишеструка репрезентација, посебно ако је материјал за учење представљен кроз речи и слике, не помаже при формирању менталних схема у учењу. У ствари, они успоравају обраду информација и смањују перформансе у разумевању и у трансферу знања. Други пример у оквиру којег се може јавити повећано екстерно когнитивно оптерећење јесте пример када ученик треба да реши неку проблемску ситуацију без помоћи схема или цртежа (Sweller, 1988). Повећано екстерно оптерећење се може јавити и применом различитих модалитета.

Екстерно когнитивно оптерећење је интересантно и важно питање јер оно може да подстакне повећање везаног когнитивног оптерећења. Стога је јасно да је велики број истраживања овог домена психологије, али и педагогије која је баш због тога упућен на екстерно когнитивно оптерећење јер оно може само да отежа ученику да прими, обради и задржи информацију (Mayer et al., 2001; Mayer, Moreno, 2003).

Како Пас у својим радовима (Paas et al., 2003, 2004) наводи да у неким случајевима екстерно когнитивно оптерећење може бити повезано, односно не одвојиво од везаног когнитивног оптерећења, па се покушај смањења когнитивног оптерећења мора пажљиво размотрити. Због утицаја екстерног на везано когнитивно оптерећење, оно утиче и на правац развоја нових наставних метода или промену постојећих. У циљу смањења додатног когнитивног оптерећења пожељно је све информације, примљене вишеструком презентацијом, буду смештене на једно место. Такође, у оквиру истог циља мора се водити рачуна о лимитираности која је ипак неопходна да би уопште дошло до прихватања нових чињеница, веза и повезаности међу појмовима и појавама, односно до стварања нових знања.

Важна ставка при смањењу когнитивног оптерећења је добра организација часа и веома добра припрема часа. При доброј припремљености за час могу се избећи неке карактеристике самог наставног материјала које би могла изазвати додатно когнитивно оптерећење. Изостављањем карактеристика наставног материјала који нису нужни за сам процес усвајања знања, ученик се усресређује на наставни материјал. Важно је изнаћи

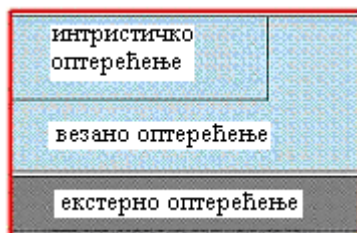
све могућности смањења непотребног когнитивног оптерећења како би се олакшао ученицима сам процес усвајања знања и вештина које су им неопходне за решавање разних проблемских ситуација.

### **2.1.1.3. Везано когнитивно оптерећење**

Теорија когнитивног оптерећење описује везано оптерећење као капацитет радне меморије потребне за процесе шеме апстракције и шеме аутоматизације, која заузврат може довести до промена у дуготрајном памћењу (Sweller, 2010; Sweller et al., 2011). Као основне карактеристике везаног оптерећења се могу навести да оно захтева капацитет радне меморије, јер ако се активности не би одржавале у радној меморији, оне не би изазвале когнитивно оптерећење. Потом, везано оптерећење је везано за учење и оно представља когнитивно оптерећење услед когнитивне активности у радној меморији које има за циљ намерно учење и које превазилази просте извођења или решења задатка (Schnitz, Kürschner, 2007). Стога, под везаним когнитивним оптерећењем се подразумева оно оптерећење које је проистекло из процеса као што су навођење примера, класификација, диференцијација, интерпретација и слично, односно проистекло из трагања за обрасцима у материјалу за учење, како би се намерно сажела когнитивна схема и створиле семантичке макроструктуре; примене стратегије учења и из метакогнитивних процеса који прате процес учења (de Jong, 2010). На основу дефиниције везаног оптерећења, као дела капацитета радне меморије потребне за когнитивне процесе, уочава се уска повезаност везаност оптерећења са интристичким оптерећењем. Везано оптерећење је ограничено интристичким оптерећењем, у смислу да је могуће решити тежак задатак са великим интристичким оптерећењем без великог метакогнитивног размишљања, односно са малим везаним оптерећењем, док обрнуто није могуће. Значи, интристичко оптерећење може бити веће од везаног, али везано не може бити веће од интристичког (Schnitz, Kürschner, 2007). Везано оптерећење је ограничено и мотивационим аспектима. Ученици који имају површински приступ учењу постижу мање везано оптерећење од ученика који се више посвете учењу. На основу тога, везано оптерећење се може разумети и као аспект ученичке саморегулације. Како везано оптерећење може да побољша учење, иако оно није предуслов за учење, бажно је обезбедити ученицима окружење за учење које им омогућава да промене став према учењу, да уочавају суштину и проширују своја знања, да у потпуности искористе капацитет радне меморије. Различити начини извођења наставе имају за циљ да подстичу и усмеравају ученике да развијају своја знања кроз повезивање и увежбавање градива како би се постигло веће везано оптерећење.

Сумарно гледано све три врсте когнитивног оптерећења која могу да се одвијају у различитим наставним ситуацијама, а у оквиру капацитета радне меморије приказана су на слици 6. Светли правоугаоници на слици означавају интристичко и везано оптерећење, док

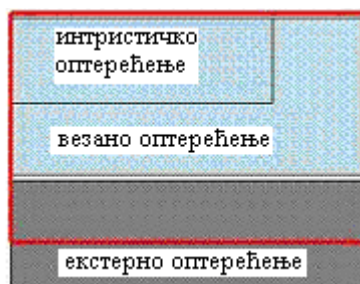
тамни правоугаоник представља екстерно оптерећење. Тамни оквир правоугаоника означава ефикасну способност радне меморије ученика.



Слика 6 – Укупно оптерећења у оквиру капацитета радне меморије (преузето из Kalyuga, 2008)

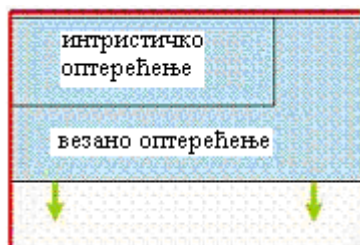
На слици 6 се види да примена наставне методе која за циљ има да је збир сва три оптерећења у оквиру капацитета радне меморије је изразито погодна.

У случају када оптерећење прелази границе радне меморије као што је приказано на слици 7, потребно је прво да се покуша да се смањи екстерно оптерећење колико је то могуће да се укупно оптерећење нађе у оквиру прихваћених ограничења капацитета.



Слика 7 - Преоптерећење са прекомерном екстерним оптерећењем (преузето из Kalyuga, 2008)

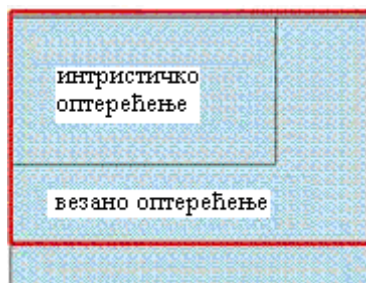
Уколико је екстерно оптерећења толико смањено да више не постоји као што је приказано на слици 8, тада је могуће не потрошен капацитет радне меморије искористити за повећање интристичког или везаног оптерећења. Важно је повећавати интристичко оптерећење јер је оно од суштинског значаја за разумевање материјала и стварање нових знања.



Слика 8 – Могућност повећања интристичког или везаног оптерећења због неискоришћености капацитета радне меморије (преузето из Kalyuga, 2008)

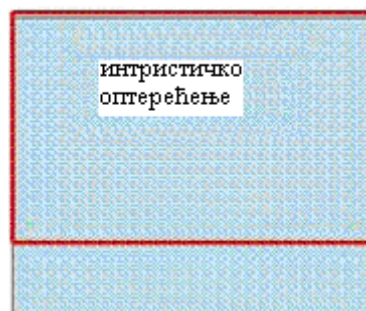


У случају да је интристичко и везано оптерећење толико повећано да превазилази оквире капацитета радне меморије као што је приказано на слици 9, потребно је смањити додатне когнитивне активности које доводе до повећања везаног оптерећења.



Слика 9 – Преоптерећење са прекомерним везаним оптерећењем (преузето из Kalyuga, 2008)

Међутим, у неким случајевима, задатак може бити толико тежак за ученике и изазвати когнитивно преоптерећење које је веће од капацитета радне меморије, чак и када је искључено екстерно и везано оптерећење (слика 10). У том случају је потребно уложити одговарајућу помоћ од стране наставника како би ученици били у стању да реше задатак, као што је напред речено.



Слика 10 – Преоптерећење са прекомерном интристичким оптерећењем (преузето из Kalyuga, 2008)

Како су интристичко, везано и екстерно оптерећење адитивне величине, могуће је манипулисати са њима. У овом случају када је велико интристичко оптерећење развијен је велики број специфичних техника и процедура у циљу изналажења начина за управљањем прекомерним нивоима интристичког оптерећења. Примери који се може манипулисати интристичко оптерећење су дељење првобитног задатка, односно вештачко смањење структурне сложености задатка у почетним фазама учења и слично.

## **2.1.2. Мерење когнитивног оптерећења**

И раније се интуитивно говорило о когнитивном оптерећењу тражењем разлога у разликама постигнућа ученика на финалном и иницијалном тесту. Уколико је резултат на финалном тесту мањи него на иницијалном тесту онда је дошло до значајнијег повећања когнитивног оптерећења. Добри резултати на тестовима знања могу указивати на смањено екстерно когнитивно оптерећење и повећани развој схема приликом учења.

Због великог значаја за развој методике, испитивању когнитивног оптерећења је посвећена велика пажња. Многи аутори (Paas et al, 2003; Ayres, 2006; Tracy, Albers, 2006; Beers et al, 2008; Sparling et al, 2010; Naapalainen et al, 2010) су изналазили начине и методе како директно мерити когнитивно оптерећење. Емпиријски приступ мерењу когнитивног оптерећења може се поделити у две главне категорије у вези са директним/индиректним и објективним/субјективна димензијама. Под директне објективне мере спадају: методологија двоструког задатка, технике праћења покрета ока, мерења активности мозга помоћу fMRI, док под индиректне објективне мере спадају испитивање физиолошких промена где су главни показатељи кардиоваскуларне природе (мерење крвног притиска, лупање срца и слично) мерени помоћу EEG, мере понашања и мере исхода учења. Под директне субјективне мере подразумевају се самопеципирани ниво стреса, а под индиректне субјективне мере самоперципирани ментални напор.

Код већине наведених емпиријских објективних мера коришћених за одређивање когнитивног оптерећења резултати се добијају истовремено са самим утицај наставних инструкција, док се код емпиријских субјективних мера мерење врши по завршетку утицаја наставних инструкција.

Показано је да су субјективне рејтинг скале, које се користе у оквиру емпиријских субјективних мера, у стању да обезбеде валидне и поуздане процене перцепције менталног оптерећења на ненаметљив начин.

### **2.1.2.1. Мерење когнитивног оптерећења кроз самооцењивање**

Једна од најчешће примењиваних метода за мерење когнитивног оптерећења је метод самооцењивања (Paas et al, 2003). Ова метода спада у групу емпиријских индиректних субјективних мера. У оквиру ове методе, ученици сами процењују колико су менталног напора уложили приликом учења на основу задате скале (de Jong, 2010). Постоје различите скале. Најчешће се примењују скале са пет, седам или девет понуђених категорија у оквиру којих ученици проналазе нивое које сматрају одговарајућим. У овом раду је коришћена Ликертова скала са пет категорија, 1 – веома лако; 2 – лако; 3 – ни лако ни тешко; 4 – тешко и 5 – веома тешко. Дата скала је изабрана као погодна за испитане ученике због

претпоставке да још увек немају јасно конструисану диференцијацију нивоа менталног напора те се стога сматрало непотребним уводити скале виших категорија.

У раду де Јонга (de Jong, 2010) наводе се конкретна питања истраживача која су постављана испитаницима у циљу одређивања, самоперципирања, когнитивног оптерећења. Истраживачи Морено, Валдез су у свом истраживању укључили питање „Колико вам је било тешко да учите о процесима муње?“, Полак је комбиновао питање уложеног напора и разумевања „Колико лако или тешко вам је било да научите и разумете електрицитет из инструкција које сте добили?“, Морено је поставио питање „Колико вам је помогао или вам био тежак програм који сте користили?“. Као што се може увидети овим питањима се скретала пажња испитаницима да размисле и одлуче колико су то уложили напора да разумеју добијени материјал, а у неким питањима и да одлуче да ли им тај материјал може помоћи. Степен когнитивног оптерећења се може одредити помоћу скале у виду броја, али исто тако може и описно кроз интервјуе. Подстакнути оваквим начином испитивања степена когнитивног оптерећења, извршено је упоредно пилот истраживање у оквиру којег учествовало пет ученика једне експерименталне групе. Пилот истраживање је спроведено у циљу додатног испитивања колико су ученици уложили менталног напора за разумевање наставног градива и шта мисле о примени мултимедијалног метода у наставни физике. Пилот истраживање је спроведено кроз интервјуисање ученика. Испитаници су изјавили да им се веома свидела настава кроз примену мултимедијалног метода, да имају велику жељу да им се настава из осталих предмета организује на тај начин и да осећају већу мотивацију за рад. На питање везано за уложени ментални напор за савлађивање наставног градива, изјавили су да се нису додатно припремали за тест знања јер су на самом часу научили доста.

### **2.1.2.2. Физиолошке мере као индикатор когнитивног оптерећења**

Још један од начин мерења когнитивног оптерећења је кроз праћење промена у физиолошким процесима (Naaralainen et all, 2010; de Jong, 2010). Један од процеса који се прати је лупање срца и мерење притиска. Овај метод даје више информација о емоционалном стању испитаника него о радној, односно менталној оптерећености, те се стога мора водити рачуна о добијеним подацима. Са друге стране, когнитивно оптерећење се може проценити помоћу неуроимицинг техника. Развој медицинске физике омогућава праћење активности мозга приликом извођења неке промене у окружењу. Једна од метода која омогућава праћење активности мозга јесте електроенцефалографија. Електроенцефалографија представља детектовање електричне активности мозга помоћу електрода причвршћених на површину главе. ЕПР сигнали представљају електрични одговор мозга на неки стимулус (визуелни или аудитивни) или неку менталну активност. Биоелектрични сигнали су последица јонских реакција које проузрокују електрохемијску активност ћелија које преносе електрични импулс.

Савремене технологије, засноване на принципима физиких постулата, су главна средства за детаљнија испитивања праћења рада мозга. Оне теже дати динамичку слику мозга како би се на бољи начин могле разумети начини мишљења, учења и памћења. Једна од метода праћења функција мозга јесте уз помоћ магнетне резонанце. Бројна истраживања (пример *Human Brain Project*) су окренута у правцу праћења функција мозга, баш уз помоћ магнетне резонанце јачине 4Т и 7Т. Тежња науке и технологије је да се конструише магнетна резонанца од 10,5Т. На научницима специфичних области је остављено да се теоријске поставке употпуне са експерименталним резултатима добијеним на принципима физике.

### **2.1.2.3. Двоструки задатак или подзадатак за процену когнитивног оптерећења**

Други начин мерења когнитивног оптерећења је помоћу двоструког задатка или подзадатка. Основна претпоставке методе је да подзадатак не угрожава когнитивне перформансе потребне за примарни задатак. Примери за овакав вид процене когнитивног оптерећења могу се кретати од једноставног праћења задатка и реаговање на промену боје, односно на реаговања на одређена аудио или визуелне стимулусе па до памћења одређених детаља (de Jong, 2010). На овај начин је сама метода повезана са процесима у радном меморијом као што су повезивање информација, перцепција и слично. Овим се може видети на који део, корак процеса, највише делује когнитивно оптерећење (Brüken et al, 2003).

## 3. Методологија

### 3.1. Проблем и предмет истраживања

Проблем и предмет рада је испитивање, односно утврђивање применом које наставне методе (традиционална, мултимедијална метода или метода експеримента) се код ученика постиже најмање когнитивно оптерећење и како оно утиче на постигнуће ученика на финалном тестирању.

### 3.2. Циљ и задаци истраживања

У фокусу овог истраживања је питање методологије праћења и унапређивања квалитета средњошколског образовања утврђивањем когнитивног оптерећења ученика.

**Циљ истраживања** је утврђивање перцепције когнитивног оптерећења ученика у погледу примене три наставне методе (традиционална метода, мултимедијална метода или метода експеримента), односно утврђивање применом које наставне методе се код ученика постиже најмање когнитивно оптерећење и како когнитивно оптерећење утиче на тачност одговора на питања финалног теста. Другим речима, неопходно је статистички установити да ли постоје разлике између ученика експерименталних и контролних група када је реч о перцепцији когнитивног оптерећења, когнитивном оптерећењу и успеху на финалном тесту у зависности од примене наставних метода у настави Физике. Постигнуће на финалном тесту испитује се на три когнитивна нивоа: 1. когнитивни ниво – знање, 2. когнитивни ниво – схватање и 3. Когнитивни ниво – примена.

Наведени циљ истраживања операционализован је на следеће **истраживачке задатке**:

1. Утврдити да ли постоји разлика између ученика експерименталних ( $E_1$ ) и ( $E_2$ ) и контролне групе ( $K$ ) у погледу њихових постигнућа на финалном тесту у зависности од примењиваног наставног метода;

1.1. Утврдити да ли постоји разлика између ученика експерименталних ( $E_1$ ) и контролне ( $K$ ) групе у погледу њихових постигнућа на финалном тесту у зависности од примене експерименталног наставног метода;

1.2. Утврдити да ли постоји разлика између ученика експерименталних ( $E_2$ ) и контролне ( $K$ ) групе у погледу њихових постигнућа на финалном тесту у зависности од примене мултимедијалног наставног метода;

2. Утврдити да ли постоји утицај пола испитаника на постигнуће на финалном тесту у зависности од примењиваног наставног метода;

3. Утврдити да ли постоји разлика између ученика експерименталних ( $E_1$ ) и ( $E_2$ ) и контролне групе ( $K$ ) у перцепцији когнитивног оптерећења у зависности од примењиваног наставног метода;

3.1. Утврдити да ли постоји разлика између ученика експерименталне ( $E_1$ ) и контролне ( $K$ ) групе у перцепцији когнитивног оптерећења у зависности од примене експерименталног наставног метода;

3.2. Утврдити да ли постоји разлика између ученика експерименталне ( $E_2$ ) и контролне ( $K$ ) групе у перцепцији когнитивног оптерећења у зависности од примене мултимедијалног наставног метода;

4. Утврдити да ли постоји утицај пола испитаника на перцепцију когнитивног оптерећења у зависности од примењиваног наставног метода;

5. Утврдити да ли постоји утицај перципираног когнитивног оптерећења на постигнуће ученика на финалном тесту у зависности од примењеног наставног метода.

### ***3.3. Хипотезе истраживања***

#### **Општа хипотеза:**

$H_0$  Претпоставља се да не постоје значајне разлике између ученика експерименталних ( $E_1$ ) и ( $E_2$ ) и контролне групе ( $K$ ) кад је реч о перцепцији когнитивног оптерећења, когнитивном оптерећењу и успеху на финалном тесту у зависности од примене метода наставе, односно мултимедијалне и експерименталне наставе Физике.

$H_a$  Претпоставља се да постоје значајне разлике између ученика експерименталних ( $E_1$ ) и ( $E_2$ ) и контролне групе ( $K$ ) кад је реч о перцепцији когнитивног оптерећења, когнитивном оптерећењу и успеху на финалном тесту у зависности од примене метода наставе, односно мултимедијалне и експерименталне наставе Физике.

#### **Посебне хипотезе:**

$H_{1.0}$  Претпоставља се да не постоје значајне разлике између ученика експерименталних ( $E_1$ ) и ( $E_2$ ) и контролне групе ( $K$ ) у погледу њихових постигнућа на финалном тесту у зависности од примењиваног наставног метода;

X1. (a) Претпоставља се да постоје значајне разлике између ученика експерименталних ( $E_1$ ) и ( $E_2$ ) и контролне групе (К) у погледу њихових постигнућа на финалном тесту у зависности од примењиваног наставног метода;

X1.1. (a) Претпоставља се да постоје значајне разлике између ученика експерименталне ( $E_1$ ) и контролне групе (К) у погледу њихових постигнућа на финалном тесту у зависности од примене експерименталног наставног метода, те да ће ученици експерименталне групе ( $E_1$ ) постићи значајно боље резултате од ученика контролне групе (К).

X1.2. (a) Претпоставља се да постоје значајне разлике између ученика експерименталне ( $E_2$ ) и контролне групе (К) у погледу њихових постигнућа на финалном тесту у зависности од примене мултимедијалног наставног метода, те да ће ученици експерименталне групе ( $E_2$ ) постићи значајно боље резултате од ученика контролне групе (К).

X2. (o) Претпоставља се да не постоји разлика у постигнућу ученика за три испитивана когнитивна нивоа у зависности од примењеног наставног метода;

X2. (a) Претпоставља се да постоји разлика у постигнућу ученика за три испитивана когнитивна нивоа у зависности од примењеног наставног метода;

X2.1. (a) Претпоставља се да постоји разлика у постигнућу ученика на когнитивном нивоу знање у зависности од примењеног наставног метода;

X2.2. (a) Претпоставља се да постоји разлика у постигнућу ученика на когнитивном нивоу схватање у зависности од примењеног наставног метода;

X2.3. (a) Претпоставља се да постоји разлика у постигнућу ученика на когнитивном нивоу примена у зависности од примењеног наставног метода;

X3. (o) Претпоставља се да не постоји значајна разлика у погледу на постигнуће на финалном тесту у зависности од пола испитаника за примењене наставне методе;

X3. (a) Претпоставља се да постоји значајна разлика у погледу на постигнуће на финалном тесту у зависности од пола испитаника за примењене наставне методе;

X4. (o) Претпоставља се да не постоје значајне разлике између ученика експерименталних ( $E_1$ ) и ( $E_2$ ) и контролне групе (К) у перцепцији когнитивног оптерећења у зависности од примењиваног наставног метода;

X4. (a) Претпоставља се да постоје значајне разлике између ученика експерименталних ( $E_1$ ) и ( $E_2$ ) и контролне групе (К) у перцепцији когнитивног оптерећења у зависности од примењиваног наставног метода;

X4.1. (a) Претпоставља се да постоје значајне разлике између ученика експерименталне ( $E_1$ ) и контролне (K) групе у перцепцији когнитивног оптерећења у зависности од примене експерименталног наставног метода и да ће ученици експерименталне групе ( $E_1$ ) исказати мање когнитивно оптерећење него ученици контролне групе (K);

X4.2. (a) Претпоставља се да постоје значајне разлике између ученика експерименталне ( $E_2$ ) и контролне (K) групе у перцепцији когнитивног оптерећења у зависности од примене мултимедијалног наставног метода и да ће ученици експерименталне групе ( $E_2$ ) исказати мање когнитивно оптерећење него ученици контролне групе (K);

X5. (o) Претпоставља се да не постоји разлика у перцепцији когнитивног оптерећења за три испитивана когнитивна нивоа постигнућа у зависности од примењиваног наставног метода;

X5. (a) Претпоставља се да постоји разлика у перцепцији когнитивног оптерећења за три испитивана когнитивна нивоа постигнућа у зависности од примењиваног наставног метода;

X5.1. (a) Претпоставља се да постоји разлика у перцепцији когнитивног оптерећења на питања когнитивног нивоа знање у зависности од примењиваног наставног метода;

X5.2. (a) Претпоставља се да постоји разлика у перцепцији когнитивног оптерећења на питања когнитивног нивоа схватање у зависности од примењиваног наставног метода;

X5.3. (a) Претпоставља се да постоји разлика у перцепцији когнитивног оптерећења на питања когнитивног нивоа примена у зависности од примењиваног наставног метода;

X6. (o) Претпоставља се да не постоји значајна разлика у перципираном когнитивном оптерећењу у односу на пол испитаника за примењене наставне методе;

X6. (a) Претпоставља се да постоји значајна разлика у перципираном когнитивном оптерећењу у односу на пол испитаника за примењене наставне методе;

X7. (o) Претпоставља се да не постоји утицај перципираног когнитивног оптерећења и примењеног наставног метода на постигнућа ученика које је утврђено финалним мерењем;

X7. (a) Претпоставља се да постоји утицај перципираног когнитивног оптерећења и примењеног наставног метода на постигнућа ученика које је утврђено финалним мерењем.

### **3.4. Варијабле истраживања**

Након постављања хипотеза дефинисане су варијабле истраживања: независне, зависне и контролне варијабле.



**Независну варијаблу** представља експериментални фактор.

**Зависне варијабле** су: постигнуће ученика на финалном тесту, удео тачних одговора на питања финалног теста и перципирано когнитивно оптерећење ученика.

**Контролна варијабла** су: пол испитаника и постигнуће ученика на иницијалном тесту.

### ***3.5. Методе истраживања***

#### **3.5.1. Педагошки експеримент са паралелним групама**

Пошто је циљ овог истраживања да се утврди како избор наставног метода утиче на перцепцију когнитивног оптерећења ученика и на квалитет знања који ученици усвајају, примењен је педагошки експеримент са три паралелне групе, једном контролном и две експерименталне групе.

Након уједначавања ученика на основу постигнућа на иницијалном тесту, ученици су били подељени у три групе.

Да би се елиминисао утицај наставника у експерименталним групама, све наставне јединице је обрадио исти наставник, аутор рада. Након обрађених наставних јединица ученицима је дат тест путем којег би се одредио квантум њиховог знања за дати наставни метод. Тест знања је био типа вишеструког избора. У оквиру сваког задатка финалног теста била је задата Ликертова скала у оквиру које су ученици субјективно оценили тежину задатка, односно колико су менталног напора уложили у учење тако што ће одабрати број на скали, у распону од 1 (веома лако) до 5 (веома тешко).

#### **3.5.2. Методе педагошке статистике**

У циљу проверавања постављених хипотеза примењене су следеће методе:  $\chi^2$  тест, једнофакторска анализа варијансе, мултифакторска анализа варијансе, Вилкоксонов т-тест, Такијев (Tukey) тест и дескриптивна статистика. Такође је испитана ефикасност наставних метода.

У истраживању су анализирани статистички параметри: аритметичка средина ( $M$ ), стандардна девијација ( $SD$ ), грешка. За утврђивање повезаности коришћен је т-тест. Величина (интензитет) ефекта независне варијабле на зависну добијена је израчунавањем ета корелације ( $\eta^2$ ).

За статистичку обраду података добијених на тестовима знања (иницијални и финални тест) и перцепције ученика о сопственом когнитивном оптерећењу коришћен је програм Статистика 12.0, MathLab и Excel.

Резултати су приказани помоћу табела, хистограма и графика.

### **3.6. Технике и инструменти истраживања**

У овом истраживању примењене су технике тестирање и скалирање. Тестирање је вршено у циљу испитивања постигнућа ученика на тестовима знања, док је техника скалирања извршена у циљу субјективног оцењивања когнитивног оптерећења.

Инструменти који су конструисани и примењени у истраживању су:

- Иницијални– тест утврђивања претходног знања из физике ученика група К, Е<sub>1</sub> и Е<sub>2</sub> пре увођења експерименталног фактора.
- Финални тест – тест испитивања знања из физике ученика група К, Е<sub>1</sub> и Е<sub>2</sub> након увођења експерименталног фактора
- скале за перцепцирање когнитивног оптерећења.

Инструменте, тестове знања, је конципирао аутор овог рада уз консултовање тестова знања из Збирке задатака и тестова за други разред гимназије (Чалуковић, Каделбург, 2009) и уџбеника: Физика 2 за други разред математичке гимназије (Чалуковић, 2011) и Физика за други разред гимназије (Распоповић и сар., 1996).

#### **3.6.1. Иницијални тест**

Иницијални тест се односио на садржаје из претходно обрађене наставне теме *Основи динамике флуида*. Максималан број бодова је био 20. Питања иницијални теста су била груписана у три когнитивна нивоа (знање, схватање, примена).

Иницијални тест је дат у прилогу 7.1.

#### **3.6.2. Финални тест**

Финални тест се односио на садржаје наставне теме *Особине течности*. Финални тест је рађен након педагошког експеримента у све три групе, а у циљу одређивања нивоа усвојености наставних садржаја у датим групама. Максималан број бодова је био 20.

Питања финалног теста су била груписана у три когнитивна нивоа (знање, схватање, примена).

За конципирање питања за тестове знања коришћени су уџбеници за други разред гимназије који се користе у Републици Србији. Питања за тестове знања су позитивно рецензирала три универзитетска професора која се баве том области физике и три наставника која предају у гимназијама.

Финални тест је дат у прилогу 7.2.

### **3.6.3. Скале за самоперцепцирање менталног напора**

Како је напред речено, једна од најчешће примењиваних метода за мерење менталног напора јесте метод самооцењивања (Paas et al, 2003). Ова метода спада у групу емпиријских индиректних субјективних мера. У оквиру ове методе, ученици сами процењују колико су менталног напора уложили приликом учења на основу задате скале (de Jong, 2010). Постоје различите скале. Најчешће се примењују скале са пет, седам или девет понуђених категорија у оквиру којих ученици проналазе нивое које сматрају одговарајућим. У овом раду је коришћена Ликертова скала са пет категорија, 1 – веома лако; 2 – лако; 3 – ни лако ни тешко; 4 – тешко и 5 – веома тешко. Дата скала је изабрана као погодна за испитане ученике због претпоставке да још увек немају јасно конструисану диференцијацију нивоа менталног напора те се стога сматрало непотребним уводити скале виших категорија.

## **3.7. Узорак истраживања**

### **3.7.1. Узорак истраживања**

Истраживање је спроведено на узорку од четири одељења природно-математичког смера другог разреда гимназије „Јован Јовановић Змај“ у Новом Саду и два одељења природно-математичког смера гимназије „Исидора Секулић“ у Новом Саду. Узорак броји 187 ученика. У табели 2 је приказана структура узорка према полу.

Табела 2 – Структура узорка према полу и експерименталним групама

Пол \ Група	К	Е <sub>1</sub>	Е <sub>2</sub>
мушки	32	41	30
женски	30	22	32
укупно	62	63	62

Након иницијалног тестирања, ученици су били подељени у три групе. Једну групу су чинили ученици са којима су наставне јединице обрађене вербално-текстуалном методом представљали су контролну групу. Другу групу су чинили ученици са којима су наставне јединице обрађене уз коришћење експеримената и представљали су експерименталну групу Е<sub>1</sub>. Трећу групу су чинили ученици са којима су наставне јединице обрађене мултимедијалном методом и представљали су експерименталну групу Е<sub>2</sub>.

Оцена на крају првог полугодишта се, такође, могла искористити за уједначавање група, али да би се избегли различити утицаји наставника и различито оцењивање као паразитни фактор, коришћен је иницијални тест.

Истраживање је спроведено у фебруару 2012. године у Новом Саду.

### **3.7.2. Експериментални програм**

Основни методолошки поступак у овом експерименталном истраживању заснивао се на моделу експеримента са паралелним групама. У оквиру модела експеримента, урађена је израда експерименталног програма, као и припрема паралелних форми инструмената за утврђивање резултата на иницијалном и финалном мерењу.

Експериментални програм је усмерен ка оспособљавању ученика да решавају проблеме и задатке у новим и непознатим ситуацијама, да активно учествују у наставном процесу кроз примену илустративно-демонстративних и лабораторијско-експерименталних наставних метода, као и на усмеравање ученика да примењују стечена знања.

Аутор овог рада је био носилац и реализатор експерименталног програма. Све наставне јединице у експерименталним групама и две наставне јединице у контролној групи је реализовао аутор овог рада (слика 11). Једну, прву, наставну јединицу у контролној групи је реализовао предметни наставник према приложеном сценарију.



Слика 11 – Скица експерименталног истраживања

Експериментални програм са сценаријима за наставни садржај се у целини налази у прилогу 7.3.

## 4. Анализа резултата истраживања

Методика наставе природних наука је условљена у свом развоју, с једне стране, непосредном праксом научног истраживања, а с друге најопштијим теоријским научним сазнањима. Њена основна сврха јесте да допринесе не само бољем поимању него и већој ефикасности наставног процеса. Стога се значај овог истраживања огледа у налажењу ефикасније наставне методе која ће проузроковати најмање когнитивно оптерећење и тако остварити квантитативније и квалитативније знање ученика које ће се директно одразити на развој ученика као будућег професионалца у некој области. На основу тога, значај истраживања се може уочити и у кључној улози коју образовање има у припремању младих генерација за живот, професионални развој и флексибилност ученика у правцу вредности, идеала и циљева. Увођење иновација у наставу може да додатно оптерети ученика и тако повећа когнитивно оптерећење чиме се губи на квантуму и квалитету знања (Sweller, Chandler, 1994). Зато је важно која иновација уведена у наставни процес доприноси постизању квалитетнијег знања ученика. Последњих десет година интензивно се развијају и усавршавају наставне методе и облици рада у функцији подизања ефикасности и ефективности наставног процеса.

### 4.1. Постигнуће ученика на тестовима знања

#### 4.1.1. Постигнуће ученика на иницијалном тесту

Ученици су подељени у три групе на основу постигнућа на иницијалном тесту (табела 3). Резултати су обрађени применом једнофакторске анализе варијансе.

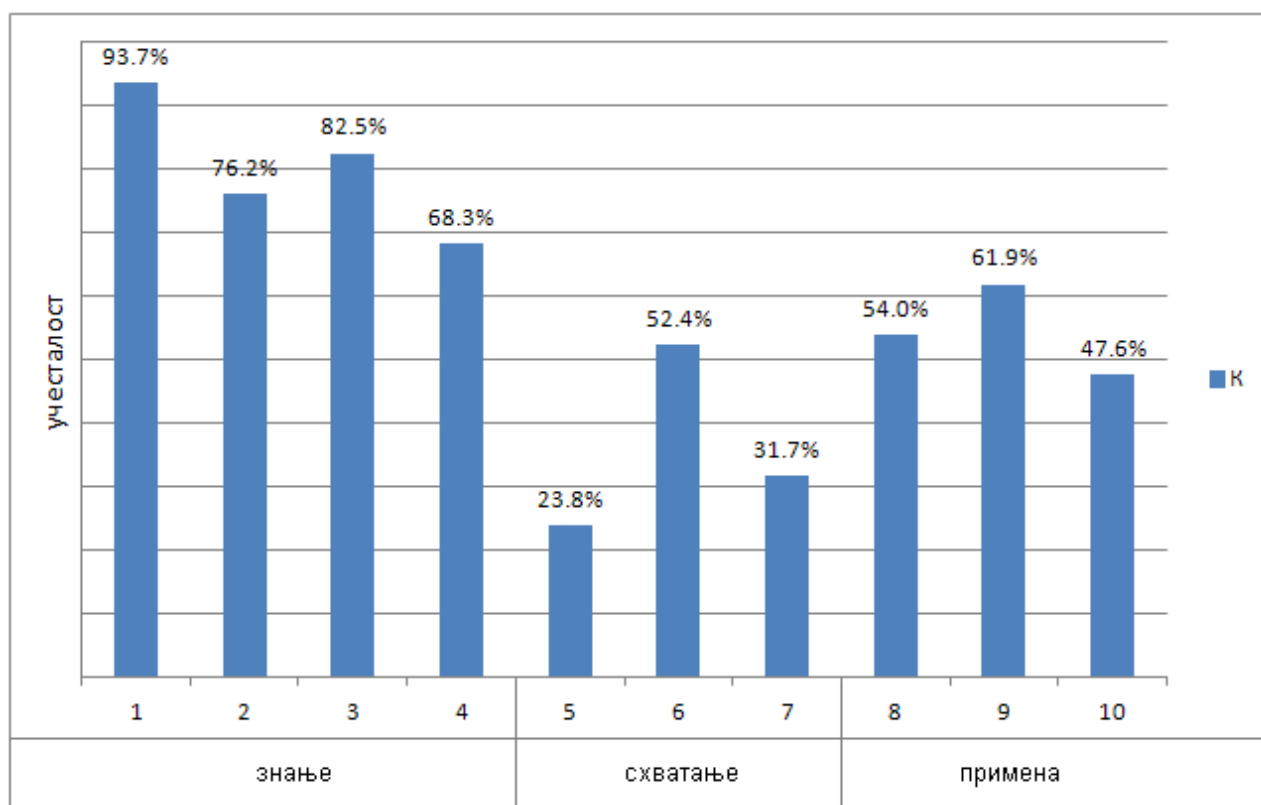
Табела 3 – Постигнуће ученика на иницијалном тесту

	К	Е <sub>1</sub>	Е <sub>2</sub>
Просечно постигнуће на иницијалном тесту у распону од 0 до 20 бодова	10,9032	10,4921	10,9032
Стандардна девијација	3,08199	3,08938	2,48081
Коефицијент варијације	28,2668%	29,445%	22,753%
Најмањи број бодова на иницијалном тесту	1,0	5,0	5,0
Највећи број бодова на иницијалном тесту	15,0	17,0	15,0
Распон	14,0	12,0	10,0
Скјунис - асиметрија	-3,57088	-0,765265	-1,23742
Куртозис – релативан степен спљоштености	2,91525	-1,19425	-0,302858
Укупно ученика	62	63	62

На основу резултата приказаних у табели 3 закључује се да су постигнућа ученика на иницијалном тесту готово иста и износе око 11 бодова. Стога се може сматрати да су групе уједначене.

Питања иницијалног теста су била подељена у три групе на основу когнитивног нивоа који су захтевали. Прва четири питања су се односила на најнижи когнитивни ниво знање. У оквиру тих питања се од ученика очекивало да покажу познавање општих и основних појмова везаних за механику флуида (Бернулијеву једначину). Наредна три питања су била на когнитивном нивоу схватање. У оквиру ових питања од ученика се тражило да умеју да разумеју повезаност међу појмовима. Последња три питања су се односила на когнитивни ниво примена. У оквиру ових питања се очекивало да ученици анализирају односе међу задатим појмовима.

Према питањима, дистрибуција тачних одговора на питања иницијалног теста ученика контролне групе представљена је на хистограму бр. 1.



Хистограм бр. 1 – Удео тачних одговора на питања иницијалног теста

Како се на хистограму бр. 1 види, највећи проценат (око 94%) ученика је тачно одговорило на прво питање. У оквиру овог питања од ученика се тражило да препознају (не)физичке наведене величине. Око 76% ученика је тачно одговорило на друго питање иницијалног теста у оквиру којег се испитивало да ли знају основне разлике између идеалних течности и идеалних гасова. У оквиру трећег питања, које је око 83% ученика тачно одговорило,

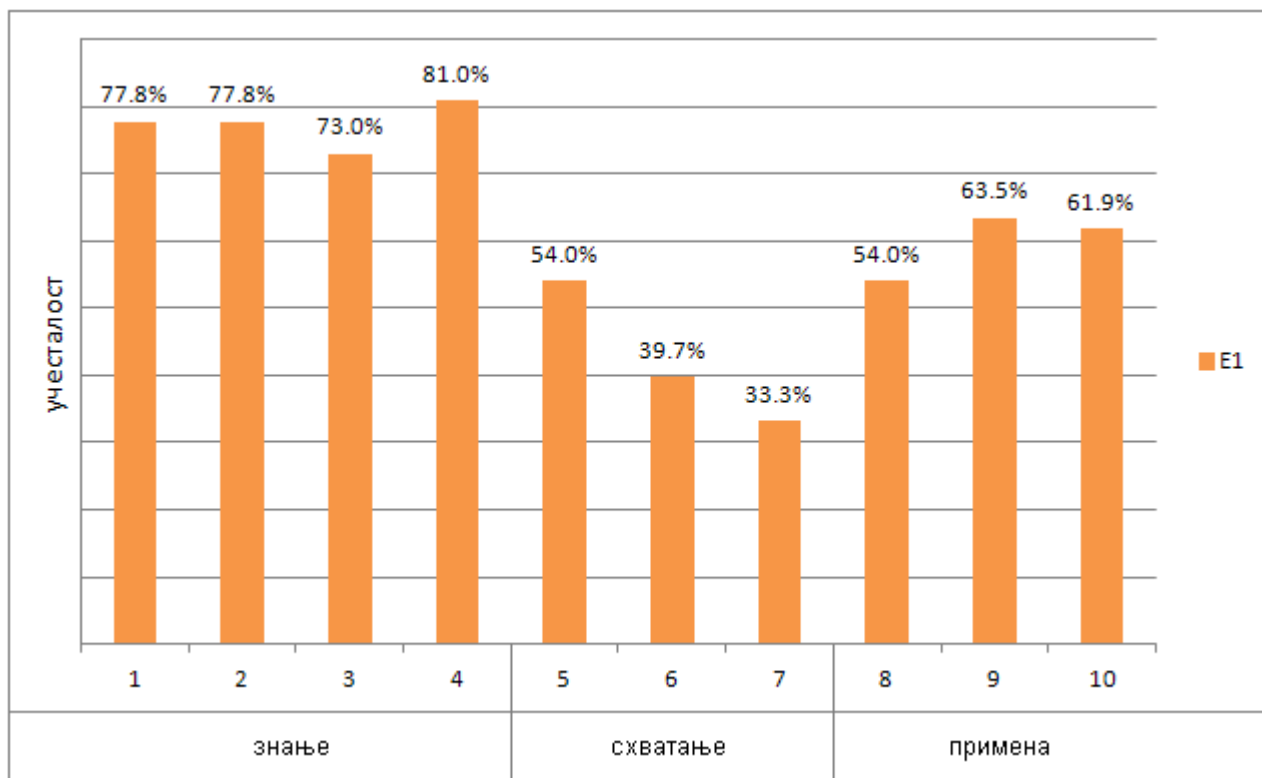
испитивала се познавање основних карактеристика идеалних течности. На четврто питање је око 68% ученика тачно одговорило. Питање је постављено да би се испитало познавање основних особина међумолекулских сила. Значи, око 80% ученика контролне групе је тачно одговорило на питања која су се односила на когнитивни ниво знање. Овим је показано да ученици поседују знање о општим појмовима везаним за Бернулијеву једначину.

Око 24% ученика је тачно одговорило на пето питање који је циљ био да се испита разумевање хидростатичког притиска. Око 52% ученика је тачно одговорило на шесто питање који је циљ био да се испита разумевање статичког притиска. Око 32% ученика је тачно одговорило на седмо питање који је циљ био да се испита разумевање једначине континуитета. Значи, око 36% ученика је тачно одговорило на питања везана за когнитивни ниво схватање.

У оквиру осмог питања се од ученика захтевало да реше проблемску ситуацију. У оквиру овог питања је било потребно упоредити притисак који се ствара између две плоче кроз које струји ваздух са атмосферским притиском. На ово питање је тачно одговорило 54% ученика. Око 62% ученика је тачно одговорило на девето питање у оквиру којег су ученици требали да на основу задате једначине анализирају стање система које је описан њоме. Око 48% ученика је тачно урадило задатак везан за Мариотову боцу која представља конкретан пример Бернулијеве једначине. Значи, око 55% ученика контролне групе је тачно одговорило на питања везана за когнитивни ниво примена.

Дистрибуција тачних одговора на питања иницијалног теста ученика експерименталне групе  $E_1$  представљена је на хистограму бр. 2.





Хистограм бр. 2 – Удео тачних одговора на питања иницијалног теста

Око 78% ученика експерименталне групе  $E_1$  је дало тачан одговор на прво питање, што је за око 16% мање него ученика контролне групе. Око 78% ученика ове групе је дало тачан одговор и на друго питање, што је око 2% више него код ученика контролне групе. На треће питање је 73% ученика дало тачан одговор, што је око 10% мање него код ученика контролне групе. 81% ученика експерименталне групе је тачно одговорило на четврто питање што је око 13% више него ученика контролне групе. Значи, око 77% ученика експерименталне групе  $E_1$  је тачно одговорило на питања иницијалног теста на когнитивном нивоу знање.

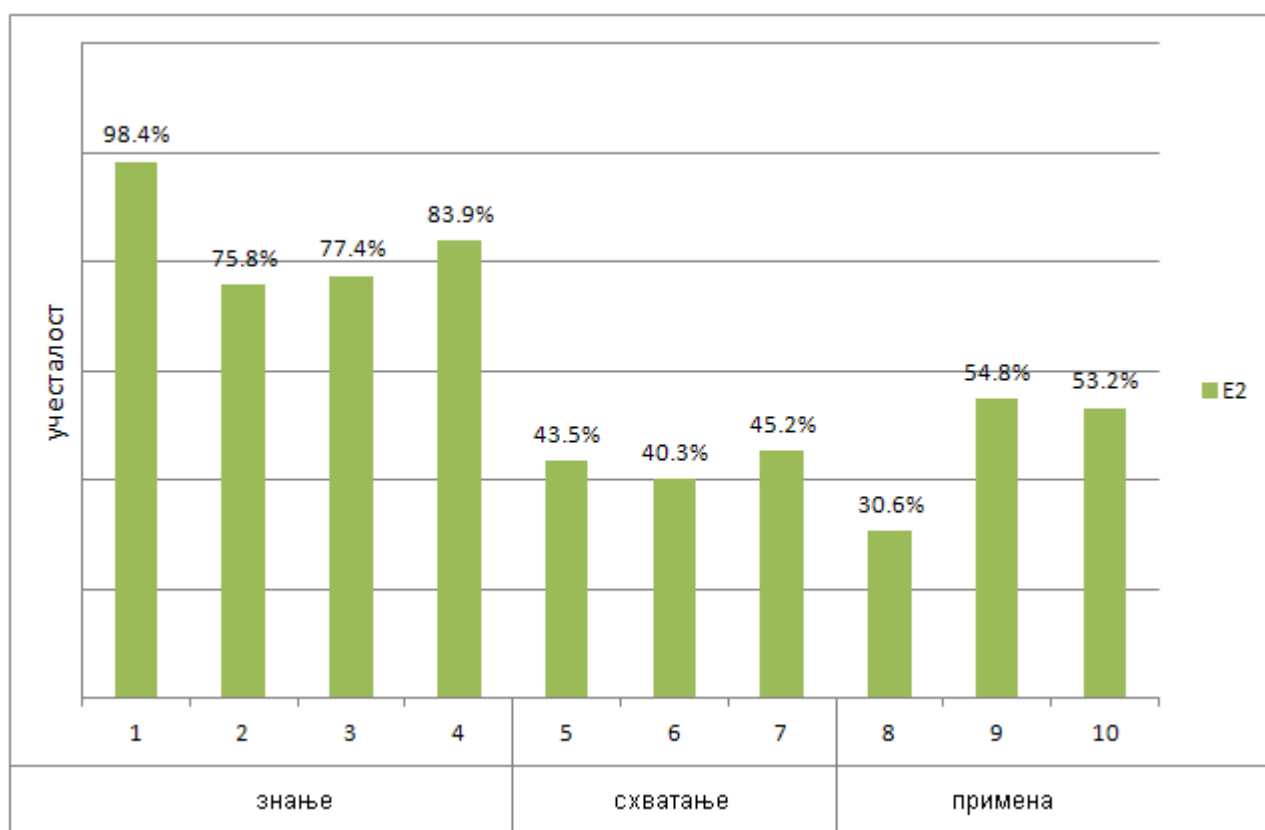
54% ученика експерименталне групе је тачно одговорило на пето питање што је за око 30% више од ученика контролне групе. Око 40% ученика је тачно одговорило на шесто питање иницијалног теста што је за око 12% мање од ученика контролне групе, док је око 33% ученика експерименталне групе тачно одговорило на седмо питање што је готово исто као код ученика контролне групе. Око 42% ученика је тачно одговорило на питања иницијалног теста на когнитивном нивоу схватање.

54% ученика експерименталне групе је тачно одговорило на осмо питање што је исто као код ученика контролне групе. Око 64% ученика експерименталне групе је тачно одговорило на девето питање, што је готово исти проценат као код ученика контролне групе. Око 62% ученика експерименталне групе је тачно одговорило на десето питање што је за око 14%

више него код ученика контролне групе. Значи, око 60% ученика експерименталне групе  $E_1$  је тачно одговорило на питања иницијалног теста на когнитивном новиу примена.

На основу добијених података се може закључити да је већина ученика експерименталне групе  $E_1$  тачно одговорило на питања иницијалног теста.

Дистрибуција тачних одговора на питања иницијалног теста ученика експерименталне групе  $E_2$  представљена је на хистограму бр. 3.



Хистограм бр. 3 – Удео тачних одговора на питања иницијалног теста

Око 98% ученика експерименталне групе  $E_2$  је тачно одговорило на прво питање, што је око 5% више него код ученика контролне групе. На друго питање, тачно је одговорило око 76%, док је на треће тачно одговорило 77%, што је око 5% више него код ученика контролне групе. Око 84% ученика експерименталне групе је тачно одговорило на четврто питање, што је око 16% више него ученика контролне групе. Значи, око 84% ученика експерименталне групе  $E_2$  је тачно одговорило на питања иницијалног теста на нивоу знање.

Око 44% ученика је тачно одговорило на пето питање, што је за око 20% више него ученика контролне групе. Око 40% је тачно одговорило на шесто питање, што је за око 12% мање него код ученика контролне групе. Око 45% је тачно одговорило на седмо питање што је за око 13% више него код ученика контролне групе. Значи, око 43% ученика експерименталне групе  $E_2$  је тачно одговорило на питања когнитивног нивоа схватање.

Око 31% је тачно одговорило на осмо питање, што је за око 23% мање него код ученика контролне групе. Око 55% је тачно одговорило на девето питање, што је за око 7% мање него код ученика контролне групе и око 53% је тачно одговорило на десето питање, што је за око 5% више него код ученика контролне групе. Значи, око 46% ученика експерименталне групе  $E_2$  је тачно одговорило на питања иницијалног теста на конитивном нивоу примена.

Упоређивањем резултата добијено је да је више ученика експерименталне групе  $E_2$  него друге две групе тачно одговорило на питања на нивоу знања. Готово подједнак проценат ученика експерименталне групе  $E_1$  и  $E_2$ , али већи него ученика контролне групе, тачно је одговорило на питања на когнитивном нивоу схватање. На питања на когнитивном нивоу примена, у највећем проценту су тачно одговорили ученици експерименталне групе  $E_1$ .

#### 4.1.2. Постигнуће ученика на финалном тесту

У табели 4 је приказано постигнуће ученика на финалном тесту за испитиване наставне методе. Резултати су обрађени применом једнофакторске анализе варијансе.

Табела 4 – Приказ постигнуће ученика на финалном тесту за испитиване наставне методе

	К	$E_1$	$E_2$
Просечно постигнуће на финалном тесту знања у распону од 0 до 20 бодова	11,0	13,2857	13,0161
Стандардна девијација	2,63644	2,84791	2,11545
Коефицијент варијације	23,9676%	21,4359%	16,2526%
Минималан број бодова на тесту знања	6,0	7,0	8,0
Максималан број бодова на тесту знања	17,0	19,0	18,0
Распон	11,0	12,0	10,0
Скјунис - асиметрија	0,730991	-0,379717	-0,104739
Куртозис – релативан степен спљоштености	-0,675578	-0,886607	-0,681711

На основу стандардне вредности скјуниса и куртозиса које се налазе у распону од -2 до +2 закључује се да је расподела нормална .

Упоређивањем просечног постигнућа на финалном тесту, уочава се да су ученици експерименталних група  $E_1$  и  $E_2$  постигли веће постигнуће него ученици контролне групе  $K$ . Добијени резултат показује да коришћење иновација у настави физике има веома позитивне ефекте. Знања која се усвоје коришћењем само традиционалне наставне методе јесу веома важна основа али, како је у уводном делу речено, таквим начином ученици губе активну улогу у сопственом образовању и често бива да ученици нису у могућности да реше непознате проблемске ситуације. Бољи резултати се постижу када ученик има активну улогу. У том случају ученик се додатно заинтересује за изучавани појам, а наставу прате са већом концентрацијом.

Применом једнофакторске анализе варијансе добијено је да постоји статистички значајна разлика између група  $F(2,184) = 14,891$ ,  $p = 0,000 < 0,05$ . Овим је потврђена полазна хипотеза да постоји статистички значајна разлика у постигнућима ученика на финалном тесту у зависности од примењиваног наставног метода.

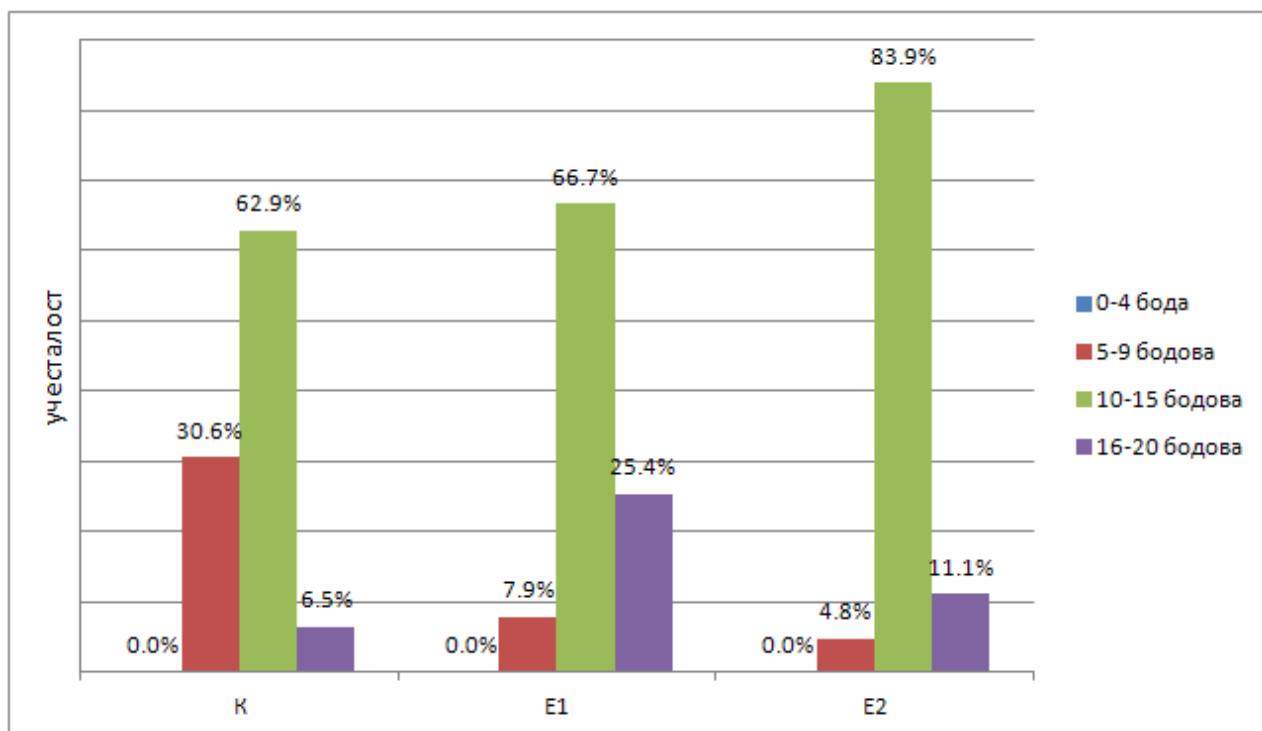
Да би се јасније уочила разлика међу групама примењен је Такијев тест. Применом Такијевог HSD теста (табела 5) показано је да се средња вредност за контролну групу ( $M = 11,00$ ,  $SD = 2,636$ ) значајно разликује од средње вредности за експерименталне групе  $E_1$  и  $E_2$ . Такође је добијено да се средња вредност за експерименталну групу  $E_1$  ( $M = 13,29$ ,  $SD = 2,848$ ) значајно разликује од средње вредност за контролну групу, али не и за експерименталну групу  $E_2$ . Односно, добијено је да важи и супротно да се средња вредност за експерименталну групу  $E_2$  ( $M = 13,02$ ,  $SD = 2,115$ ) значајно разликује од средње вредност за контролну групу, али не и за експерименталну групу  $E_1$ .

Табела 5 – Такијев тест

наставни метод (I)	наставни метод (J)	Разлика средњих вредности (I-J)	Грешка	Значајност р-вредност
K	$E_2$	-2,016*	0,459	0,000
	$E_1$	-2,286*	0,457	0,000
$E_1$	K	2,286*	0,457	0,000
	$E_2$	,270	0,457	0,826
$E_2$	K	2,016*	0,459	0,000
	$E_1$	-,270	0,457	0,826

\*. р-вредност мања од 0,05

На хистограму бр. 4 је приказан утицај наставног метода на постигнуће ученика на финалном тесту.



Хистограм бр. 4 – Утицај наставног метода на постигнуће ученика на финалном тесту

Како је  $\chi^2$  тест показао да је  $p = 0,0000 < 0,05$  одбацује се нулта хипотеза о независности обележја „начин предавања“ и „постигнуће на финалном тесту“, односно констатује се да постоји зависност између тих обележја.

На основу резултата приказаних на хистограму бр. 4 види се да око 31% ученика из контролне групе је остварио између 5 и 9 бодова на финалном тесту, док је око 63% ученика је остварио између 10 и 15 бодова, а око 6% је освојило више од 16 бодова на финалном тесту. Занимљиво је приметити да ни један ученик из ове групе није освојио мање од четири бода.

8% ученика експерименталне групе  $E_1$  остварили су од 5 до 9 бодова на финалном тесту, док је 67% је остварило од 10 до 15 бодова и око 25% је остварило од 16 до 20 бодова. Ниједан ученик из ове групе није оставрио мање од 5 бодова на финалном тесту.

Истовремено, око 5% ученика експерименталне групе  $E_2$  остварили су од 5 до 9 бодова на финалном тесту. Око 84% је остварио од 10 до 15 бодова и свега око 11% изнад 15 бодова на финалном тесту.

Упоредивањем добијених резултата уочава се да је више ученика из експерименталне групе  $E_1$  него из друге две групе остварило више од 16 бодова. Такође, већи проценат ученика из експерименталне групе  $E_2$  него ученика из преостале две групе је остварио од 10 до 15 бодова на финалном тесту. Истовремено већи проценат ученика из експерименталне групе  $E_1$  него ученика контролне групе је остварио од 10 до 15 бодова на финалном тесту. Такође,

већи проценат ученика контролне групе него ученици друге две групе је остварио од пет до девет бодова на финалном тесту.

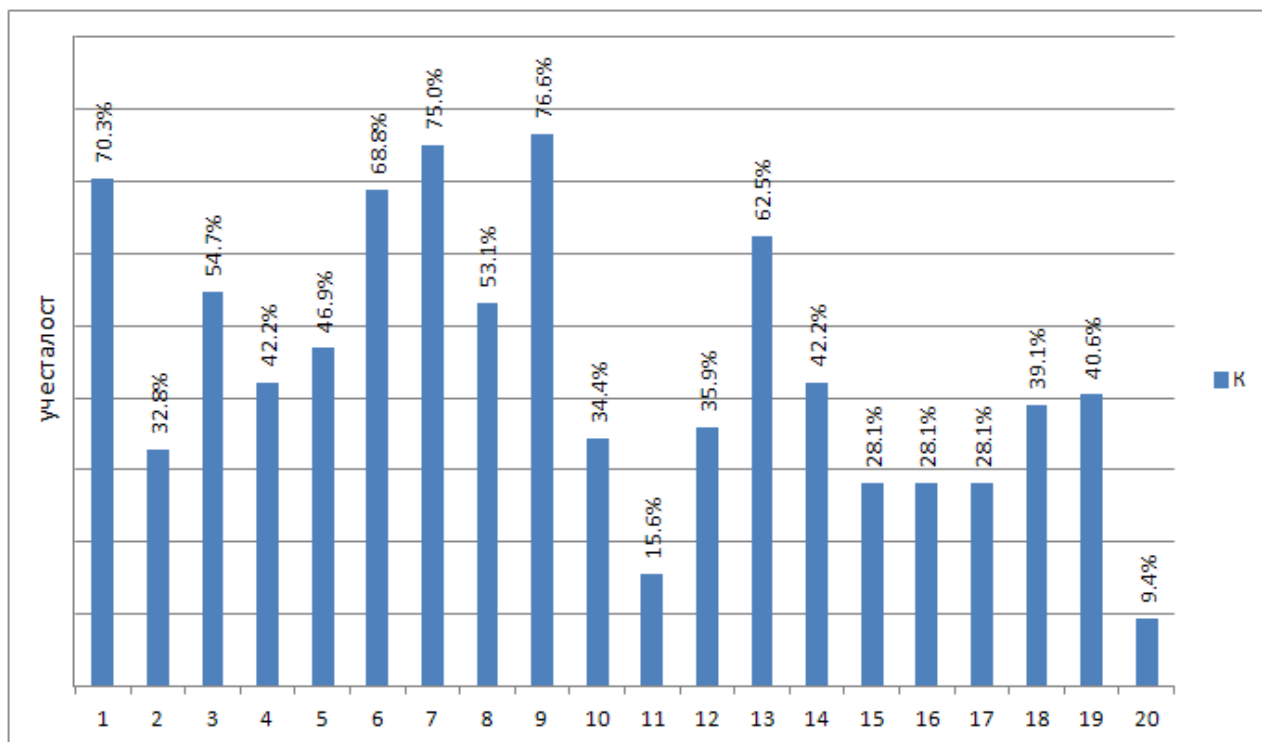
Добијени резултат је потврдио полазну хипотезу да постоји статистички значајна разлика у образовним постигнућима ученика приликом представљања наставних јединица различитим наставним методама. Разлог који се може навести као образложење добијених резултата, који јасно указује на позитиван ефекат увођења иновација у наставу физике, налази се делимично у концепцији саме науке и у убрзаном техничко-технолошком развоју друштва. Наиме, физика као наука је заснована на експериментима, стога је и ученицима јасније када им се прикаже изучавана појава. Са друге стране, теорије мултимедијалног учења указују на позитивне ефекте примене вишеструке репрезентације. Мајер (Maier, 2001) у свом раду истиче да је учење олакшано када је садржај представљен у вербалном и невербалном (графичком) формату. Стога је добијени резултат у позитивној корелацији са наводима Мајера.

Расподела удела тачних одговора према питањима за ученике контролне групе приказана је на хистограму бр. 5.

У првих седам питања, која су захтевале когнитивни ниво знање, очекивало се да ученици да владају појмовима вискозност, коефицијент површинског напона, знају основне особине површинског напона, као и да разликују адхезионе и кохезионе силе.

Наредних седам питања захтевале су когнитивни ниво схватање. На овом когнитивном нивоу очекивало се да ученици умеју да трансформишу и тумаче изразе, као и да уочавају повезаности између различитих појмова. У ових седам питањима се тражило да уоче повезаност коефицијента вискозности и температуре; потом повезаност брзине падања куглице кроз течности са густином истих користећи се коефицијентом вискозности; да уоче разлог зашто је тешко вертикалним размицањем раздвојити две паралелне стаклене плоче ако се између њих налази мала количина воде и слично.

Последњих шест питања је захтевало когнитивни ниво примена. Примена знања значи решавање проблема коришћењем апстракције. Решавање проблема се може рашчланити на више операција: поставка проблема, перципирање проблема, класификација и избор апстракције погодне за решавање проблема. У оквиру ових питања од ученика се захтевало да одреде коефицијент вискозности течности, коефицијент површинског напона воде, висину стуба течности у капиларној цевчици отвореној са оба краја и слично.



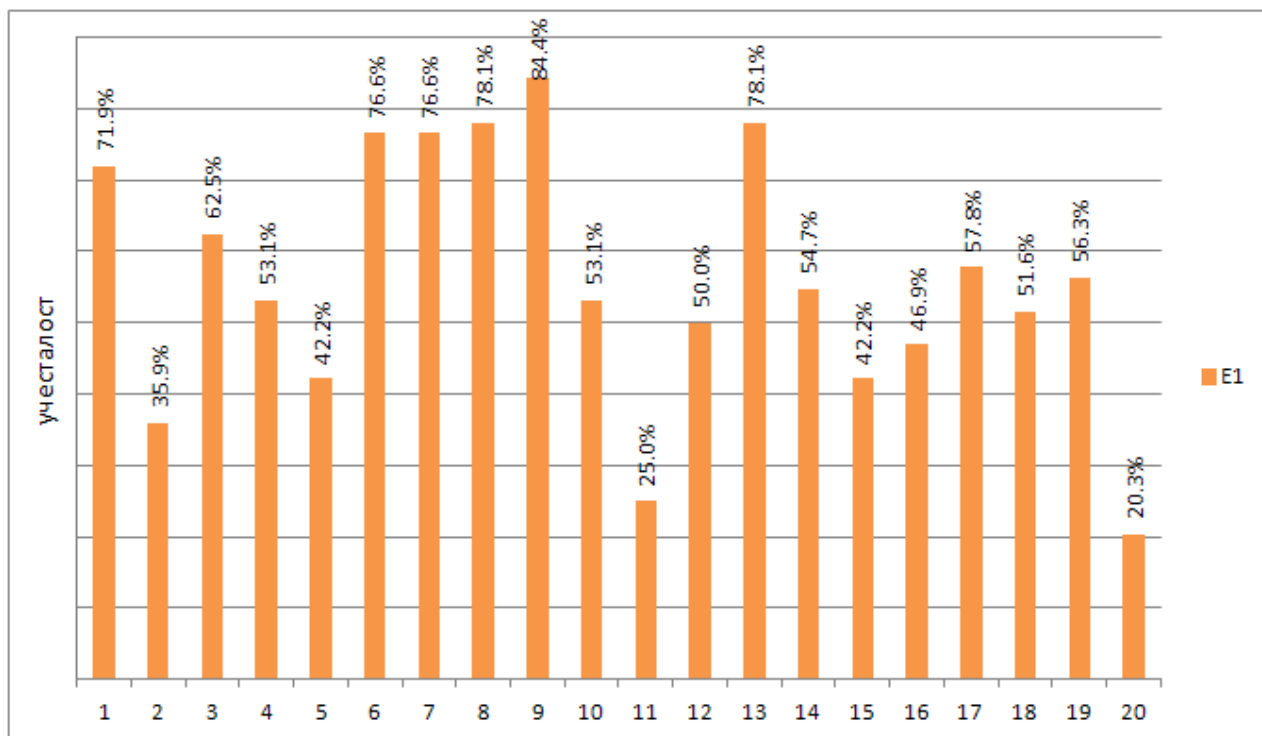
Хистограм бр. 5 - Удео тачних одговора на питања финалног теста за контролну групу

Око 70% ученика контролне групе је тачно одговорило на прво питање. Питања је постављено да би се испитало познавање основних карактеристика адхезионих сила. Око 33% је тачно одговорило на друго питање. Питање је постављено да би се испитало познавање појма вискозности. Око 55% је тачно одговорило на треће питање. Питање је постављено са циљем да се увиди знање појединости везане за Стоксов закон. Око 42% је тачно одговорило на четврто питање, док је око 47% је тачно одговорило на пето питање, око 69% на шесто питање и 75% на седмо питање. Питања је постављено да би се проверило познавање основних својстава површинског напона, односно међумолекулских, адхезионих сила. Око 53% је тачно одговорило на осмо питање. Питања је постављено да би се испитало у којој мери ученици схватају појам вискозности, као и да ли су у стању да трансформишу потребан израз како би уочили потребне зависности међу физичким величинама. У оквиру овог питања било је потребно да ученици повежу брзину кретања куглице кроз течност са разликом густина куглице и дате течности и да одреде у ком случају ће се куглица кретати брже. Око 77% је тачно одговорило на девето питање. Питања је постављено да би се испитало разумевање основних чињеница везаних за вискозитет течности. У оквиру овог питања било је потребно разумети повезаност адхезионих и кохезионих сила са појавом ламинарности. Око 34% је тачно одговорило на десето питање. Питања је постављено да би се испитало разумевање чињеница везаних за површински напон течности. У оквиру овог питања било је потребно разумети смисао адхезионих сила и њихову непосредну повезаност са површинским напоном. Око 16% ученика је тачно одговорило на једанаесто питање чији је циљ био да се испита разумевање чињеница везаних за угао квашења. У оквиру овог питања ученицима је задата вредност угла на

основу које су требали да одреде да ли долази до потпуно (не)квашења. Око 36% је тачно одговорило на дванаесто питање које је било везано за разумевање основних чињеница везаних за угао квашења. Око 63% је тачно одговорило на тринаесто питање чији је циљ био да се испита разумевање односа равнотеже сила површинског напона и тежине стуба течности у капилари. Око 42% је тачно одговорило на четрнаесто питање. Питања је постављено да би се испитало разумевање адхезионих сила које се формирају између молекула течности (воде) и молекула чврстог тела (сита). Око 28% је тачно одговорило на петнаесто, шеснаесто и седамнаесто питање. Питања су постављена да би се испитало у којој мери су ученици способни да примене стечено знање. У оквиру њих се од ученика очекивало да на дате вредности потребних параметара одреде коефицијент вискозности, анализира однос коефицијента вискозности глицерина и времена падања куглице кроз њега и да се анализира однос брзине падања куглице кроз течност и коефицијент вискозности те течности. Око 39% је тачно одговорило на осамнаесто питање. Питања је постављено да би се анализирао однос силе површинског напона течности и тежине стуба течности за задату капилару потопљену једним својим крајем у течност. На деветнаесто питање је тачно одговорило око 41% ученика контролне групе. Питања је постављено да би се анализирао однос силе површинског напона која делује дуж унутрашњег и спољног обима прстена и тежине прстена, да се повежу две области физике (еластичност и особине течности), да се направи избор смера операција и изведе непознати коефицијент површинског напона течности. На двадесето питање је свега око 9% тачно одговорило. Питања је постављено да би се анализирају силе површинског напона и тежине стуба течности у капилари отвореној са оба краја, да се осмисли план решавања задатка и изрази висина стуба течности преко коефицијента површинског напона.

На хистограму бр. 6 је представљена дистрибуција удела тачних одговора по питањима финалног теста за ученика експерименталне групе  $E_1$ .





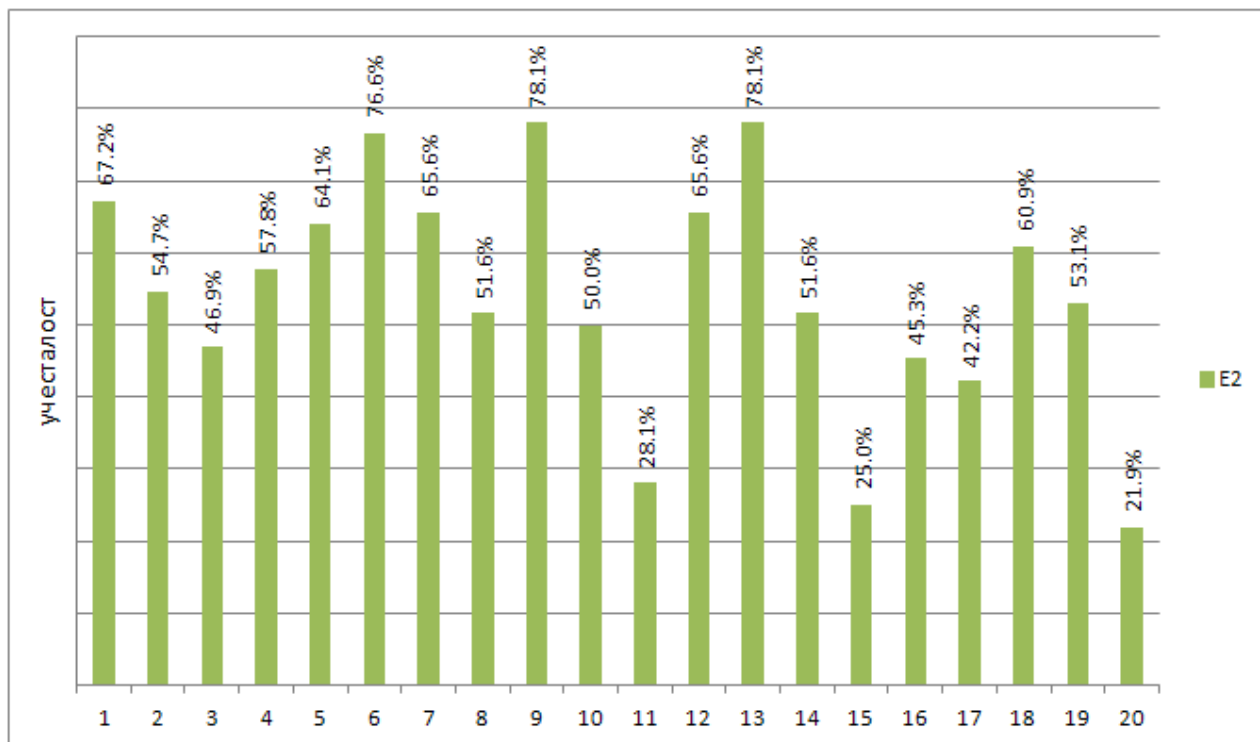
Хистограм бр. 6 - Удео тачних одговора на питања финалног теста за експерименталну групу  $E_1$

Око 72% ученика експерименталне групе  $E_1$  је тачно одговорило на прво питање што је око 2% више него ученика контролне групе. Око 36% ученика експерименталне групе је тачно одговорило на друго питање што је за око 3% више него у контролној групи. На треће питање је тачно одговорило око 63% што је за око 10% више него у контролној групи. На четврто питање је тачно одговорило око 53% ученика што је за око 10% више него у контролној групи. На пето питање је око 42% ученика тачно одговорило, што је пар процената (око 5%) мање него у контролној групи, док је на шесто и седмо питање тачно одговорило око 77%. На осмо питање је тачно одговорило око 78% ученика, што је за око 25% више него у контролној групи. Око 84% је тачно одговорило на девето питање, што је за око 7% више него у контролној групи. Око 53% је тачно одговорило на десето питање, што је за 20% више него у контролној групи. 25% је тачно одговорило на једанаесто питање, што је за око 9% више него у контролној групи. 50% је тачно одговорило на дванаесто питање, што је за око 14% више него у контролној групи. Око 78% је тачно одговорило на тринаесто питање, што је за око 15% више него у контролној групи. Око 55% је тачно одговорило на четрнаесто питање, што је за око 13% више него у контролној групи. Око 42% је тачно одговорило на петнаесто питање, што је за око 14% више него у контролној групи. Око 47% је тачно одговорило на шеснаесто питање, што је за око 20% више него у контролној групи. Око 58% је тачно одговорило на седамнаесто питање, што је за око 30% више него у контролној групи. Око 52% је тачно одговорило на осамнаесто питање, што је за око 13% више него у контролној групи. Око 56% је тачно одговорило на деветнаесто питање, што је

за око 15% више него у контролној групи и на двадесето питање је тачно одговорило око 20% ученика експерименталне групе  $E_1$ , што је за око 10% више него у контролној групи.

Готово на свим питањима су ученици експерименталне групе  $E_1$  у већем проценту тачно одговорили на постављена питања у односу на контролну групу. Добијени податак говори о позитивном ефекту увођења експеримената у наставу физике.

На хистограму бр. 7 је представљена дистрибуција удела тачних одговора по питањима финалног теста за ученика експерименталне групе  $E_2$ .



Хистограм бр. 7 - Удео тачних одговора на питања финалног теста за експерименталну групу  $E_1$

Око 67% ученика експерименталне групе  $E_2$  је тачно одговорило на прво питање што је око 3% мање него у контролној групи. Око 55% ученика експерименталне групе је тачно одговорило на друго питање, што је за око 20% више него у контролној групи. На треће питање је тачно одговорило око 47% што је за око 8% мање него у контролној групи. На четврто питање је тачно одговорило око 58% ученика што је за око 16% више него у контролној групи. На пето питање је око 64% ученика тачно одговорило, што је за око 17% више него у контролној групи. Око 77% је тачно одговорило на шесто питање, што је за око 8% више него у контролној групи. Око 66% је тачно одговорило на седмо питање, што је за око 10% мање него у контролној групи. На осмо питање је тачно одговорило око 52% ученика, а на девето питање је тачно одговорило око 78%, што готово исто као и у контролној групи. 50% је тачно одговорило на десето питање, што је за 15% више него у

контролној групи. Око 28% је тачно одговорило на једанаесто питање, што је за око 10% више него у контролној групи. Око 66% је тачно одговорило на дванаесто питање, што је за око 30% више него у контролној групи. Око 78% је тачно одговорило на тринаесто питање, што је за око 15% више него у контролној групи. Око 52% је тачно одговорило на четрнаесто питање, што је за око 10% више него у контролној групи. 25% је тачно одговорило на петнаесто питање, што је за око 3% мање него у контролној групи. Око 45% је тачно одговорило на шеснаесто питање, што је за око 17% више него у контролној групи. Око 42% је тачно одговорило на седамнаесто питање, што је пар процената (око 5%) више него у контролној групи. Око 61% је тачно одговорило на осамнаесто питање, што је за око 22% више него у контролној групи. Око 53% је тачно одговорило на деветнаесто питање, што је за око 12% више него у контролној групи и на двадесето питање је тачно одговорило око 22% ученика експерименталне групе E<sub>2</sub>, што је за око 13% више него у контролној групи.

Готово на свим питањима су ученици експерименталне групе E<sub>2</sub> у већем проценту тачно одговорили на постављена питања у односу на контролну групу. Добијени податак показује позитивне ефекте мултимедијалног метода у односу на традиционални метод. Такође, добијени податак је у сагласности са когнитивним теоријама мултимедијалног учења у којима се наводи да је учење олакшано када је садржај представљен у вербалном и невербалном (графичком) формату (Mayer, 2001).

Да би се јасније уочио допринос примењеног метода по уделу тачних одговора по питањима финалног теста упоредно су показани резултати истраживања (график бр. 1).

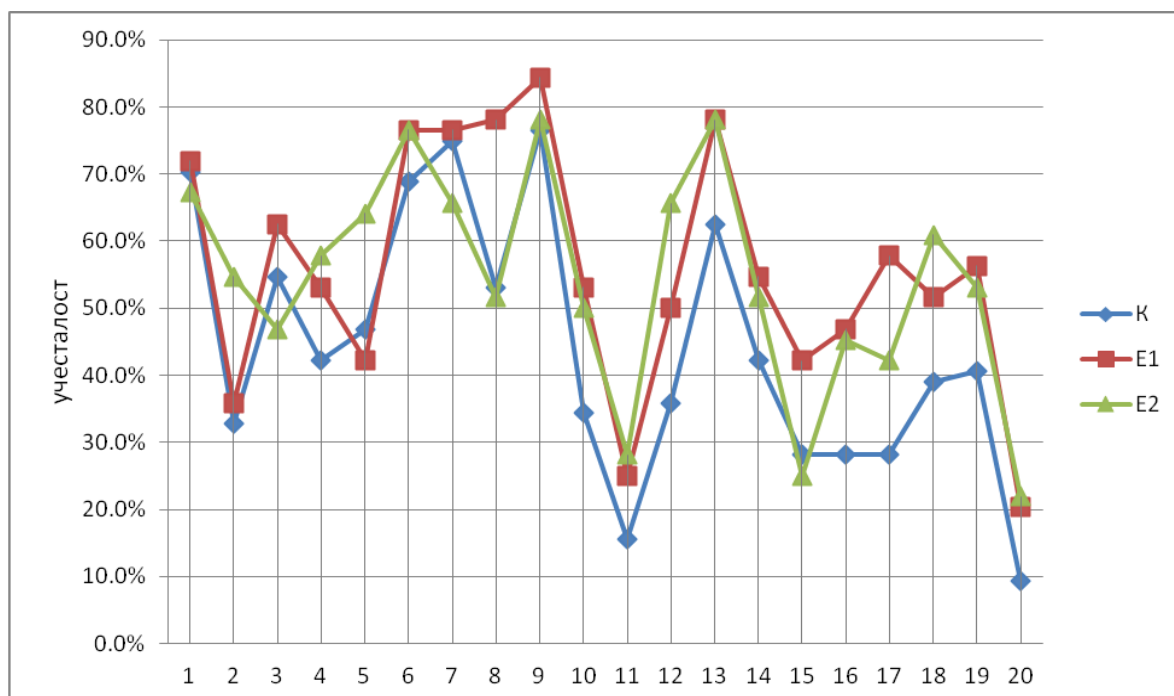


График бр. 1 – Приказ постигнућа ученика на финалном тесту према питањима

Поређењем учесталости удела тачних одговора на прво питање финалног теста већина испитаника је одговорила тачно, са том разликом да се ученици експерименталне групе  $E_1$  издвајају по највећим уделом. Интересантно је приметити да је већи проценат ученика контролне групе него ученика експерименталне групе  $E_2$  тачно одговорио на прво питање. Добијени резултат показује да су ученици усвоји појам адхезионих сила који им је важан за разумевање целе наставне области.

За питање број два, добијено је да је више ученика експерименталне групе  $E_2$  дало тачан одговор него ученика друге две групе. Такође, нешто већи проценат ученика експерименталне групе  $E_1$  него ученика контролне групе је дало тачан одговор на дато питање. Како је питања постављено да би се проверило познавање појма вискозности, може се закључити да су ученици експерименталне групе  $E_2$  боље усвојили дати појам.

За питање број три добије је да је више ученика експерименталне групе  $E_1$  дало тачан одговор него ученика друге две групе. Такође, нешто већи проценат ученика контролне групе него ученика експерименталне групе  $E_2$  је дало тачан одговор на дато питање. Како је питање постављено да би се проверило знање појединости везане за Стоксов закон које су експериментално проверавали ученици групе  $E_1$ , јасно је да су у већој мери дали тачан одговор.

За питање број четири добијено је да су у већој мери тачно одговорили ученици експерименталне групе  $E_2$  него ученици друге две групе. Такође више ученика експерименталне групе  $E_1$  него ученика контролне групе је дало тачан одговор. За пето питање је добијено да су у већој мери тачно одговорили ученици експерименталне групе  $E_2$  него ученици друге две групе, а разлике између контролне групе и експерименталне групе  $E_1$  нису велике, али иду у корист контролне групе. За шесто питање је добијено да су ученици експерименталних група  $E_1$  и  $E_2$  у већој мери него ученици контролне групе дали тачан одговор. За седмо питање је добијено да су ученици експерименталне групе  $E_1$  и контролне групе у већој мери него ученици експерименталне групе  $E_2$  дали тачан одговор на ово питање. Како је питања постављено да би се проверило познавање основних својстава површинског напона, на основу великог процента тачних одговора може се закључити да ученици поседују потребно знање. Осциловање у висини процената унутар групе у зависности од броја питања се могу повезати са не великом сконцентрисаношћу ученика приликом одговарања на питања финалног теста.

За осмо и девето питање је добијено да је више ученика експерименталне групе  $E_1$  него ученика друге две групе дало тачан одговор на ово питање, док нема великих разлика између постигнућа ученика контролне и експерименталне групе  $E_2$  на ова два питања. Питање је постављено да би се испитало у којој мери ученици схватају појам вискозности, као и да ли су у стању да трансформишу потребан израз како би уочили потребне зависности међу физичким величинама. У оквиру осмог питања било је потребно да ученици повежу брзину кретања куглице кроз течност са разликом густина куглице и дате течности и да одреде у ком случају ће се куглица кретати брже. На основу добијених

резултата уочава се да су у највећем проценту тачно одговорили ученици експерименталне групе  $E_1$ . Ово је очекивано јер су, радећи експеримент – Стоксову методу, могли да уоче дату зависност.

За десето питање је добијено да су ученици експерименталних група  $E_1$  и  $E_2$  у већој мери него ученици контролне групе дали тачан одговор. Питање је постављено да би се испитало разумевање чињеница везаних за површински напон течности. Добијени резултати су показали да су ученици контролне групе у мањој мери него ученици експерименталних група дали тачан одговор јер само теоријским изучавањем површинског напона течности не могу се јасно уочити сви ефекти површинског напона. У оквиру овог питања било је потребно разумети смисао адхезионих сила и њихову непосредну повезаност са површинским напоном. Ученици друге две групе су уз експеримент или анимацију којом се демонстрирао ефекат површинског напона могли лакше да разумеју појам површинског напона и стога су у већем проценту тачно одговорили на дато питање.

За једанесто питање добијено да је већи проценат ученика експерименталних група тачно одговорило на задато питања у односу на ученике контролне групе. Питање је постављено да би се испитало разумевање чињеница везаних за угао квашења. У оквиру овог питања ученицима је задата вредност угла на основу које су требали да одреде да ли долази до потпуно (не)квашења. Добијени податак се може објаснити бољим разумевањем градива ако им је оно предочено уз анимацију или експеримент.

За дванаесто питање је добијено да су већем проценту ученици експерименталне групе  $E_2$  су тачно одговорили у односу на ученике друге две групе. Како је питање постављено да би се испитало разумевање основних чињеница везаних за угао квашења, добијени податак указује на слагање са когнитивним теоријама мултимедијалног учења у којима се наводи да је учење олакшано када је садржај представљен у вербалном и невербалном (графичком) формату (Maier, 2001). Такође, ученици експерименталне групе  $E_1$  него ученици контролне групе су у већој мери дали тачан одговор.

За тринаесто и четрнаесто питање је добијено да су у већем проценту ученици експерименталних група него ученици контролне групе тачно одговорили на постављено питање. Питања су постављена да би се испитало разумевање односа равнотеже сила површинског напона и тежине стуба течности у капилари, односно да се испита разумевање адхезионих сила које се формирају између молекула течности (воде) и молекула чврстог тела (сита). На основу добијеног види се предност коришћења експеримента или мултимедијалних садржаја у настави физике.

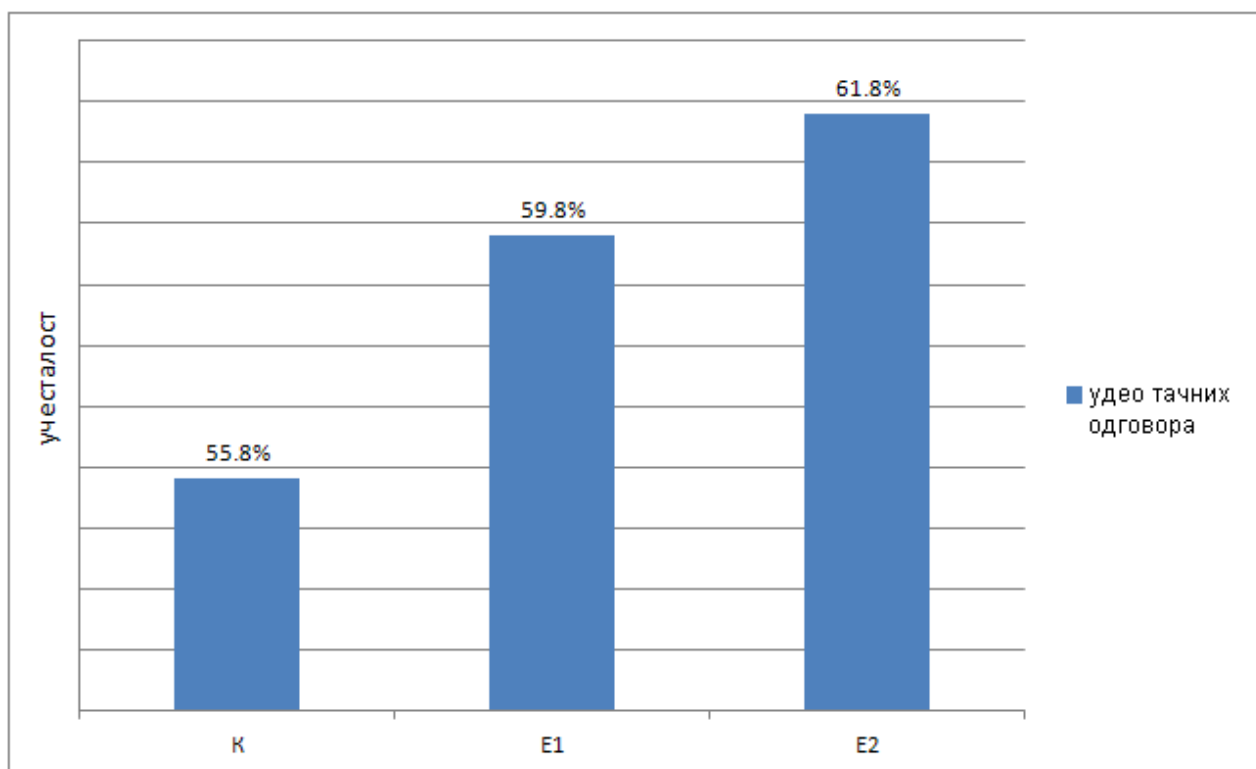
За петнаесто и седамнаесто питање је добијено да је већи проценат ученика експерименталне групе  $E_1$  него ученика друге две групе дао тачан одговор. Добијени резултат потврђује и наглашава важну улогу експеримента у настави физике. За шеснаесто, деветнаесто и двадесето питање је добијено да је више ученика експерименталних група него ученика контролне групе дало тачан одговор. За османаесто питање је добијено да је

више ученика експерименталне групе  $E_2$  него ученика друге две групе дало тачан одговор. Такође је добијено да је више ученика експерименталне групе  $E_1$  него ученика контролне групе дало тачан одговор.

Сумарно гледано, ученици експерименталне групе  $E_1$  су у већој мери него ученици друге две групе дали тачан одговор на питања финалног теста. Такође, ученици експерименталне групе  $E_2$  су већој мери него ученици контролне групе дали тачан одговор на питања финалног теста.

Добијени подаци говоре у прилог тежњи да се промени начин образовања у Србији, али промене би требало да иду у смеру увођења више експерименталне и проблемске наставе, да ученици дискутују са наставницима о појавама које изучавају. На такав начин би се значајно, позитивно утицало на постигнуће ученика на тестовима знања у оквиру којих се очекује решавање проблемских ситуација, односно на развијању функционалног знања.

На хистограму бр. 8 је приказан удео тачних одговора на питања финалног теста за когнитивни ниво знање.



Хистограм бр. 8 – Утицај наставног метода на удео тачних одговора на питања финалног теста за когнитивни ниво знање

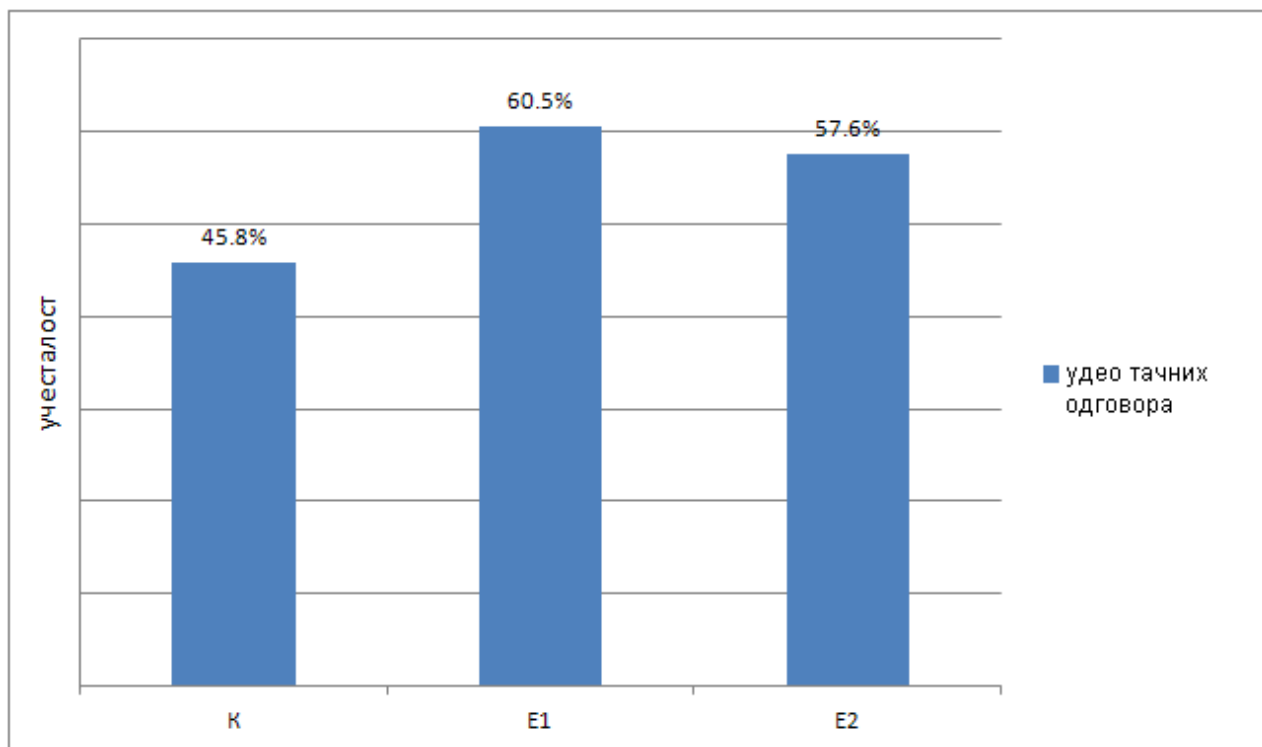
Како је  $\chi^2$  тест показао да је  $p = 0,1674 > 0,05$  не одбацујемо нулту хипотезу о независности обележја „начин предавања“ и „удео тачних одговора за ниво знање“, односно констатујемо да не постоји зависност између тих обележја.

Око 56% ученика контролне групе је тачно одговорило на питања на когнитивном нивоу знање. Око 60% ученика експерименталне групе  $E_1$  и око 62% ученика експерименталне групе  $E_2$  је тачно одговорило на питања на когнитивном нивоу знање.

Добијени резултати упућују на већу ефикасност примене увођења иновација, експеримента и мултимедијалних садржаја, у наставу физике. Ученицима је знатно јаснији сам појам који теоријски изучавају на часу ако могу да сами изазову појаву, погледају експеримент или неку занимљивост која показује дати појам и везе са другим појмовима. Примери са којима се свакодневно сусрећу ученици, а у вези су са појавом вискозности су: истицање воде из славине, дување ветра, проток течности кроз канализацију и слично. Примери са којима се ученици често срећу, а у вези су са површинским напоном течности и/или са капиларним појавама су: прање масног посуђа, капљице уља на листовима салате, сламчица за сок и слично.

Добијени резултати нису показали статистички значајну разлику између обележја „начин предавања“ и „удео тачних одговора за ниво знања“, али се може уочити позитиван ефекат увођења експеримента и мултимедијалних садржаја у наставу физике за когнитивни ниво знање.

На хистограму бр. 9 је приказан удео тачних одговора на питања финалног теста за когнитивни ниво схватање.



Хистограм бр. 9 – Утицај наставног метода удео тачних одговора на питања финалног теста за когнитивни ниво схватање

Како је  $\chi^2$  тест показао да је  $p = 0,0000 < 0,05$  одбацујемо нулту хипотезу о независности обележја „начин предавања“ и „удео тачних одговора за ниво схватање“, односно констатујемо да постоји зависност између тих обележја.

Око 46% ученика контролне групе је тачно одговорило на питања финалног теста на когнитивном нивоу схватање. Такође, око 60% ученика експерименталне групе E<sub>1</sub> и око 58% ученика експерименталне групе E<sub>2</sub> је тачно одговорило на ова питања.

Из добијеног се види да је више ученика експерименталне групе E<sub>1</sub> него ученика контролне групе дало тачан одговор на питања на когнитивном нивоу схватање. Такође, више ученика експерименталне групе E<sub>2</sub> него ученика контролне групе је тачно одговорило.

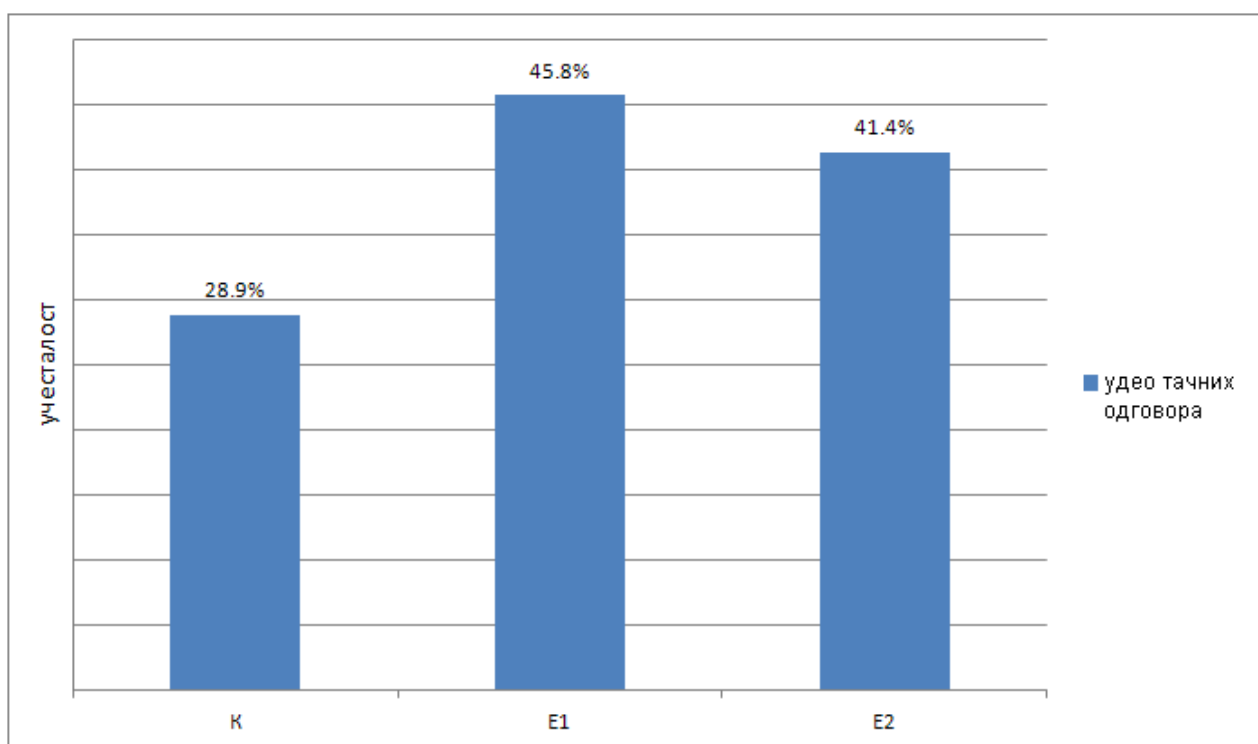
На основу добијених резултата види се да је већина ученика којима је коришћена нека иновација дала тачан одговор на питања везана за капиларност на когнитивном нивоу схватање. Са појмом капиларности ученици су се срели кроз изучавање наставе *Природа и друштво*, *Рука у тесту*, *Биологија* у склопу изучавања корена биљака, али и свакодневном животу коришћењем сламчице за сок и слично. Стога им је било лакше да разумеју основне појмове везане за капиларне појаве и везе које постоје између њих. Док већина ученика контролне групе нису дали тачан одговор јер нису могли да самостално повежу и уоче везе међу појмовима и појавама везаним за капиларност. Током истраживања ученици експерименталних група су сами тражили паралеле са другим предметима и неким



животним ситуацијама. Стога, добра припрема за час може значајно утицати на ученике, на њихова интересовања, пажњу на часу, односно на везано когнитивно оптерећење. Како је напред речено, тежња образовног система треба да буде усмерена ка процесуирању усвајених појмова у дуготрајну меморију одакле могу бити позивани и примењивани у разним проблемским ситуацијама. Ово се може остварити увођењем научног метода у првим разредима основног образовања, развојем критичког мишљења и обавезом наставника да указују на повезивање и заокруженост градива.

Добијени подаци су потврдили полазну хипотезу да постоји статистички значајна разлика између обележја „начин предавања“ и „удео тачних одговора за ниво схватање“.

На хистограму бр. 10 је приказан удео тачних одговора на питања финалног теста за когнитивни ниво примена.



Хистограм бр. 10 – Утицај наставног метода удео тачних одговора на питања финалног теста за когнитивни ниво примена

Како је  $\chi^2$  тест показао да је  $p = 0,0000 < 0,05$  одбацујемо нулту хипотезу о независности обележја „начин предавања“ и „удео тачних одговора за ниво примена“, односно констатујемо да постоји зависност између тих обележја.

Око 29% ученика контролне групе, око 46% ученика експерименталне групе  $E_1$  и око 41% ученика експерименталне групе  $E_2$  је дало тачан одговор на питања везана за примену

знања. На основу добијеног се може увидети да је нешто мање од половине ученика којима је коришћена нека иновација, експеримент или мултимедијални садржај, али више него ученика контролне групе, дало тачан одговор на питања на когнитивном нивоу примена.

У разговору са ученицима о томе да ли им се свидело коришћење мултимедијалних садржаја у настави физике, изјавили су да им се допало и да би волели да мултимедијални метод чешће примењују у настави физике, али и у оквиру других предмета. На питање да ли су им тестови знања били тешки, ученици експерименталне групе  $E_2$  су изјавили да им тестови нису били тешки него да су сматрали да су на самом часу научили довољно па нису понављали градиво код куће. Стога, на финалном тесту нису дали тачан одговор на сва питања финалног теста.

Нешто слабије постигнуће ученика експерименталне групе  $E_1$  на питања везана за примену знања може се наћи у образовном систему који не негује у великој мери да ученици самостално истражују и слободно дискутују са наставницима о резултатима експеримента. На основу личног искуства током рада са ученицима експерименталне групе  $E_1$ , ученици имају дозу страха да дискутују са наставницима о експериментима или о изучаваним појавама јер се од њих у већем делу школовања тражило само чињенично знање, а не критичко мишљење. Добијени подаци указују на позитиван ефекат увођења експеримената у наставу физике на постигнуће ученика.

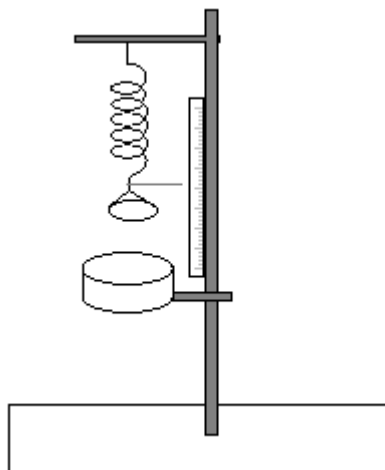
Експерименти који су се користили за извођење наставне јединице *Вискозност у течностима*. *Њутнов и Стоксов закон* били су Стоксова метода. У оквиру експеримента ученици су мерили време падања куглица кроз дату течност. Коришћене су различите течности како би ученици могли експерименталним путем да утврде како коефицијент вискозности утиче на брзину кретања куглице.

Ученицима је било задато да поставе спајалицу на површину воде (слика 12), а затим да ставе детерџент у воду и посматрају шта ће се десити како би лакше разумели појам површинског напона течности.



Слика 12 – Експеримент 1 приказ површинског напона

Други експеримент је био везан за разумевање површинског напона течности захтевао је повезивање знања из области еластичности. Танак прстен је закачен за опругу као што је приказано на слици 13 и постави се на површину течности, тако да опруга у том положају буде неистегнута. Услед повлачења посуде на доле или истицања воде из посуде долази до истезања еластичне опруге. На тај начин је сила површинског напона која је тежила да прстен задржи у води директно сразмерна тежини истекле воде, односно еластичној сили опруге.

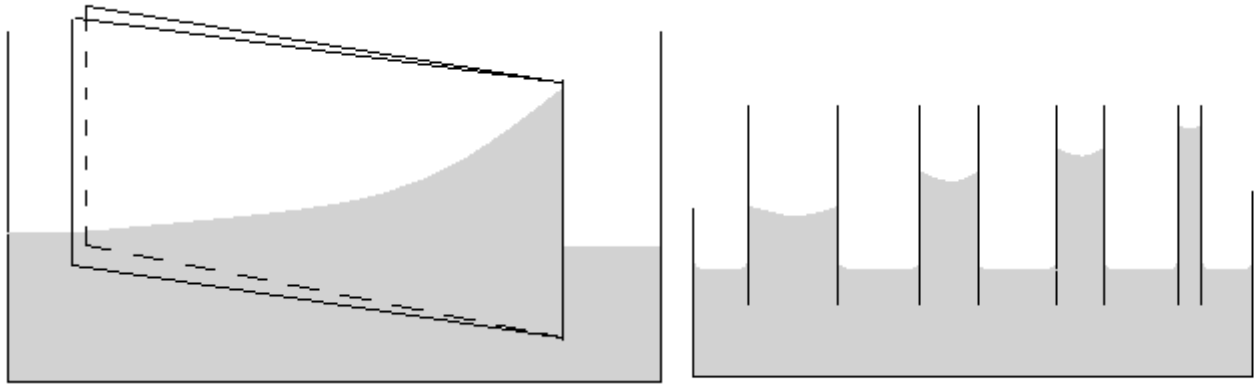


Слика 13 – Експеримент 2 приказ дејства силе површинског напона

Искусвени подаци добијени из разговора са наставницима физике средњих школа у Новом Саду, Суботици и Бачкој Паланци и професора на Природно-математичком факултету у Новом Саду који се баве овом облашћу добијено је да је ученицима тешко разумљив начин представљање површине течности као затегнута опна. Како је напред речено, ученици се често сусрећу са појавом површинског напона (мехур сапунице, уљане капљице на површини воде и сл.), али дату појаву не повезују са предаваним градивом. У бројној литератури се наводи да је најефикаснији начин за превазилажење овог проблема увођење научног метода у наставни процес што је добијени резултат и показао.

Експерименти који су се користили за обраду наставне јединице *Капиларне појаве* су били везани за методу капиларе и једним делом су се ослањали на знања из биологије. Ученицима је прво задато да методом капиларе одреде висину стуба течности у капилари која је уроњена у посуду са течношћу.

Потом су стављене две спојене плочице које граде мали угао стављене у посуду са водом (слика 14). Услед тежње система да дође до изједначавања притисака, ниво течности између плочица ће се повисити. Различити нивои висине стуба течности зависе од размака између плочица. Добијени резултат се може симулирати низом капилара у којима ће се остварити дато подизање течности. Како је напред речено, са појмом капиларности ученици су се сусрели приликом објашњења узимање воде из земље од стране биљака. На овом примеру се може уочити да је ученицима тешко да повежу две гране природних наука.



Слика 14 – Експеримент капиларне појаве

Добијени резултати указују на постојање статистички значајне разлике између обележја „начин предавања“ и „удео тачних одговора за ниво примена“.

На основу презентованих резултата може се уочити да је настава праћена експериментима ефикаснија у односу на друга два наставна метода. Међутим, како статистичка значајност зависности удела тачних одговора и начина предавања није на свим нивоима велика, урађен је и Вилкоксоновог т-тест. Добијене вредности су приказане у табели 6.

Табела 6 – Вилкоксонов т-тест за испитивана три наставна метода

	К	Е <sub>1</sub>	Е <sub>2</sub>
Просечна вредност	0,0967742	2,79365	2,1129
Стандардна девијација	4,27616	4,28109	2,63709
Распон	19,0	18,0	14,0
т-тест	$t = 0,178197$ $p = 0,859158$ $\eta^2 = 0,00052$	$t = 5,17951$ $p = 0,00000256258$ $\eta^2 = 0,302$	$t = 6,30885$ $p = 3,57834E-7$ $\eta^2 = 0,39881$
Скјунис - асиметрија	2,00993	0,21119	2,21281
Куртозис – релативан степен спљоштености	-0,0008731	-0,425698	2,51823

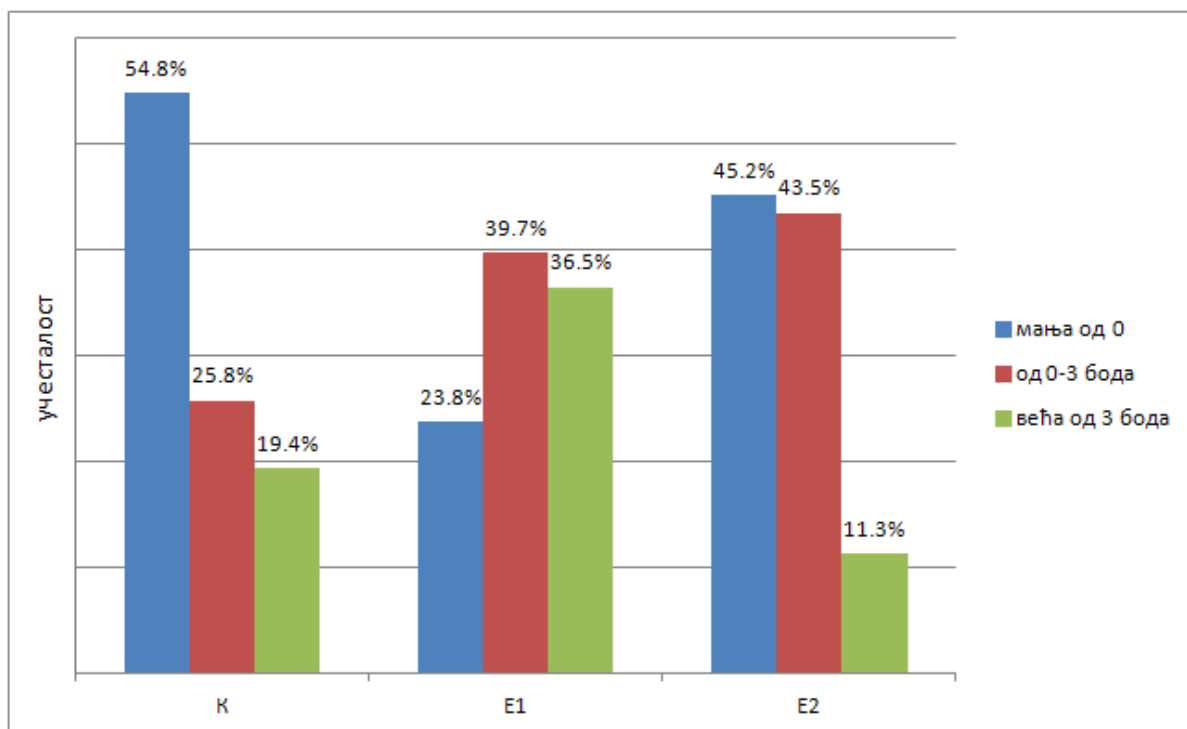
Вилкоксонов тест ранга показао је статистички значајно повећање у постигнућу ученика на тестовима знања  $z = -5,226$ ,  $p = 0,000$  у односу на примењен наставни метод. Мерењем величине утицаја наставног метода, добијено да је  $r = 0,38$  што би означавао средњи утицај.

Подаци приказани у табели 6 указују да је највећи допринос остварен код ученика експерименталне групе E<sub>1</sub>, а потом код ученика експерименталне групе E<sub>2</sub> и на крају код ученика контролне групе. Ово је још једна потврда увођења иновација у наставни процес, поготово увођење експеримента у наставу физике. Како је напред речено, експеримент, који се изводи у склопу наставе физике, истовремено може представљати наставни објект и наставну методу. Ученици се упознају са најважнијим карактеристикама експерименталне методе, начином планирања, извођења и вредновања резултата експеримента. Експеримент се користи како би се одређени наставни садржај физике што очигледније и веродостојније представио ученицима. Значи, експерименти у настави физике омогућавају ученицима стицање директног искуства о физичким законитостима и проблемским питањима постављајући и проверавајући своје хипотезе.

Са друге стране, визуализација и интерактивно симулирање проблема помаже ученицима да дођу до логичког искуства о појединим везама у проматраној појави, чиме се додатно развија логички начин мишљења.

Но, како би се употпунио налаз о ефикасности неке наставне методе, испитано је и когнитивно оптерећење ученика што је приказано даље у раду.

Да би се одредила ефикасност неког наставног метода уобичајено је да се посматра његов ефекат као разлика у постигнућима ученика на тестовима знања, иницијалном и финалном тесту. На хистограму бр. 11 је приказана разлика у постигнућима ученика на иницијалном и финалном тесту у односу на испитивани наставни метод.



Хистограм бр. 11 – Утицај наставног метода на разлику у броју бодова на тестовима знања

Како је  $\chi^2$  тест показао да је  $p = 0,0005 < 0,05$  одбацујемо нулту хипотезу о независности обележја „разлика у постигнућима на тестовима знања“ и „настани метод“, односно констатујемо да постоји зависност између тих обележја.

Како се на хистограму бр. 11 види, највећи број ученика контролне групе (око 55%) остварили су негативан помак, односно остварили су мање бодова на финалном тесту него на иницијалном тесту, док је око 26% ученика остварило разлику на иницијалном и финалном тесту до три бода. Око 20% ученика је остварио помак већи од три бода. На основу добијених вредности може се уочити да применом традиционалног метода не постижу добри резултати.

Око 24% ученика експерименталне групе  $E_1$  није остварио позитиван помак, а око 40% ученика је освојио до три бода више него на иницијалном тесту. Око 37% ученика ове групе је остварио помак већи од три бода, што је око 2 пута више него ученика контролне групе.

Око 45% ученика експерименталне групе  $E_2$  је остварио негативан помак, око 44% до три бода више него на иницијалном тесту, а око 11% преко три бода. Значи, ученици експерименталне групе  $E_2$  су готово уједначено подељени на две групе, они који су остварили позитиван помак, али до три бода и они који су оставрили негативан помак. Такође се види да скоро дупло мање ученика експерименталне групе  $E_2$  него ученика контролне групе је остварило помак већи од три бода. Истовремено, скоро дупло више ученика експерименталне групе  $E_2$  него ученика контролне групе је остварио помак до три бода разлике у иницијалном и финалном тесту.

Добијени резултати указују на важност увођења експеримента у наставу. Како је напред речено, увођење експеримента може позитивно да утиче на мотивацију ученика за одређени предмет. Међутим, увођење експеримента у наставу физике, као и све друге иновације, потребно је уводити постепено и константно од првих разреда основне школе. У супротном може се јавити негативан ефекат и смањење постигнућа ученика. Разлог томе би се могао потражити у фокусу ученика. Уколико ученици своју пажњу усредосреде на наставно средство, а не на садржај који им се излаже онда таква иновација није добро осмишљена и потребно је заменити са другом. Стога је циљ овог рада да укаже наставницима физике на исходе изабране три методе које се најчешће користе у настави физике. На основу представљених резултата може се рећи да је увођење експеримената у наставу физике позитивно. Извођење експеримената током наставе физике олакшава се ученицима да уоче и разумеју одговарајуће узрочно-последичне везе међу појавама или појмовима који се изучавају током теоријске наставе. Уочавањем и разумевањем тих веза ученици лакше усвајају изучаване појмове, односно може се рећи да увођење експеримената у наставу физике ученицима се омогућује да лакше достигну свој максимум, што је циљ наставног процеса.

Добијени резултати указују на потврду полазне хипотезе да постоји статистички значајна разлика у разлици постигнућа ученика на иницијалном и финалном тесту и изабраног наставног метода.

#### 4.1.3. Утицај пола испитаника на постигнуће ученика на финалном тесту

У табели 7 приказане су  $p$  и  $F$ -вредности које указују на могући утицај више променљивих (пола испитаника и наставног метода) на постигнуће ученика на финалном тесту. Вредности су добијене применом мултифакторских тестова.

Табела 7 – Мултифакторска анализа фактора који утичу на постигнуће ученика на финалном тесту

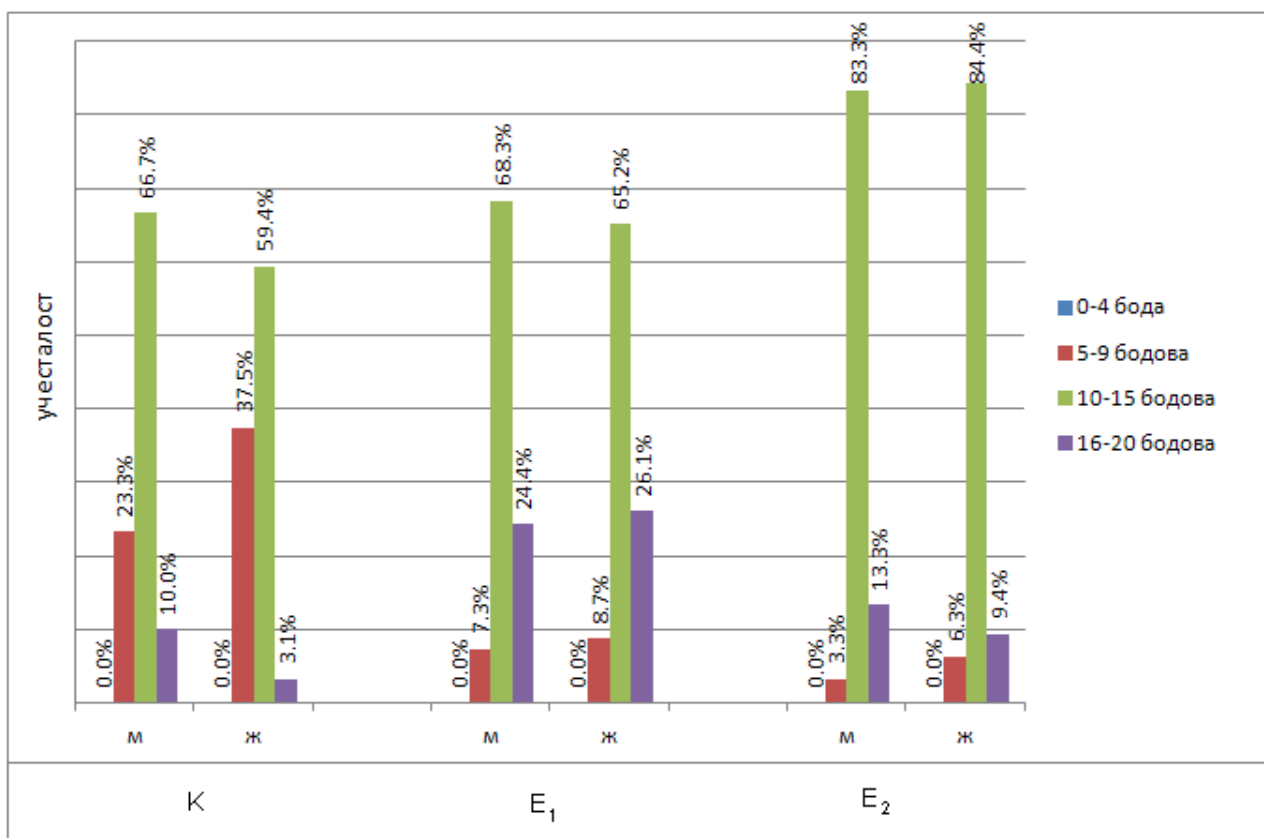
Фактори	сума квадрата	Df	средњи квадрат	F – вредност	p – вредност	парцијални ета квадрата
пол испитаника	8,737	1	8,737	1,349	,247	,007
наставни метод	198,891	2	99,445	15,355	,000	,145
пола испитаника и наставни метод	18,054	2	9,027	1,394	,251	,015
грешка	1172,232	181	6,476			
укупно	1394,043	186				

Како се види у табели 7, мултифакторски тестови су показали да утицај пола испитаника и наставног метода није био статистички значајан  $F(2, 181) = 1,394$ ,  $p = 0,251$ . Добијени податак нам говори да нема значајне разлике у утицају наставног метода на постигнуће ученика на финалном тесу момака и девојака. Међутим, вредност парцијалног ета квадрата ( $\eta^2 = 0,02$ ) показује да постоји мали утицај.

Мултифакторски тестови су показали статистички значајан утицај наставног метода  $F(2, 181) = 15,355$ ,  $p = 0,000$ ,  $\eta^2 = 0,145$  на постигнуће ученика на финалном тесту, док утицај пола испитаника  $F(1, 181) = 1,349$ ,  $p = 0,247$ ,  $\eta^2 = 0,007$  није достигао статистичку значајност.

На основу добијене  $p$  – вредности може се сматрати да је потврђена полазна хипотеза истраживања да пол испитаника не утиче на постигнуће ученика.

На хистограму бр. 12 је приказана зависност постигнућа на финалном тесту у односу на пол испитаника за дати наставни метод.



Хистограм бр. 12 – Утицај пола испитаника на постигнуће ученике на финалном тесту

Како се на хистограму бр. 12 види код ученика из К групе више девојака него момака је остварило од 5 до 9 бодова, док је истовремено више момака него девојака остварило од 10 до 15 бодова и од 16 до 20 бодова на финалном тесту.

У групи E<sub>1</sub> разлике између постигнућа момака и девојака су до 3%, односно готово да нема промена.

Посматрајући групу ученика E<sub>2</sub> уочава се да је више девојака него момака остварио од 5 до 9 бодова, док је више момака него девојака остварило од 16 до 20 бодова.

Значи, разлике су уочљиве за ученике контролне групе, много слабије за ученика експерименталне групе E<sub>2</sub>, а унутар групе E<sub>1</sub> се нису показале родне разлике у постигнућу ученика.



## 4.2. Когнитивно оптерећење ученика

У циљу испитивања утицаја различитог начина предавања наставних јединица на квалитет и различите когнитивне нивое (знање, схватање и примена) ученика, ученици су субјективно оценили когнитивно оптерећење за дати наставни метод. Резултати су обрађени применом једнофакторске анализе варијансе и приказани у табели 8.

Табела 8 – Перципирано когнитивно оптерећење ученика

	К	Е <sub>1</sub>	Е <sub>2</sub>
Перципирано когнитивно оптерећење	3,5127	3,22302	3,43175
Стандардна девијација	0,782158	0,463405	0,549729
Коефицијент варијације	22,2666%	14,378%	16,0189%
Најмања вредност когнитивног оптерећења	1,2	2,0	2,0
Највећа вредност когнитивног оптерећења	5,0	4,5	4,8
Распон	3,8	2,5	2,8
Скјунис - асиметрија	-0,499172	-0,182632	0,650333
Куртозис – релативан степен спљоштености	0,959466	0,547425	0,837073

На основу вредности скјуниса и куртозиса које су у распону од 2 до -2 расподелу може да се тврди да је расподела нормална, односно није ни спљоштена ни померана ка једном крају.

На основу вредности перципираног когнитивног оптерећења за испитиване наставне методе види се да су ученици експерименталних група перципирани мање когнитивно оптерећење него ученици контролне групе. Најмање когнитивно оптерећење перципирани су ученици експерименталне групе Е<sub>1</sub> (приближно 3,3), нешто веће су перципирани ученици експерименталне групе Е<sub>2</sub> (приближно 3,4), док су ученици контролне групе перципирани највеће оптерећење (приближно 3,5). На основу добијених вредности перципираног просечног когнитивног оптерећења може се закључити да је најмање когнитивно оптерећења проузроковала настава праћена експериментима. Такође, овај вид наставе је показао и највеће постигнуће ученика (табела 4).

На графику бр. 2 је представљена дистрибуција перцепције когнитивног оптерећења за ученике контролне групе.

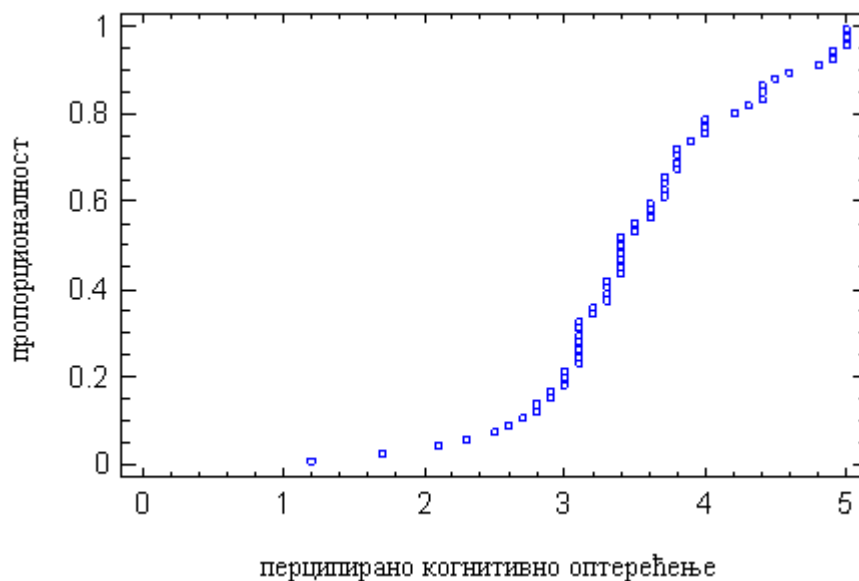


График бр. 2 – Перципирано когнитивно оптерећење ученика контролне групе

Како се види на графику бр. 2 највише одговора је било између 3 и 4 што би представљало категорије ни лако ни тешко (3) и тешко (4).

На графику бр. 3 је представљена дистрибуција перцепције когнитивног оптерећења за ученике експерименталне групе  $E_1$ .

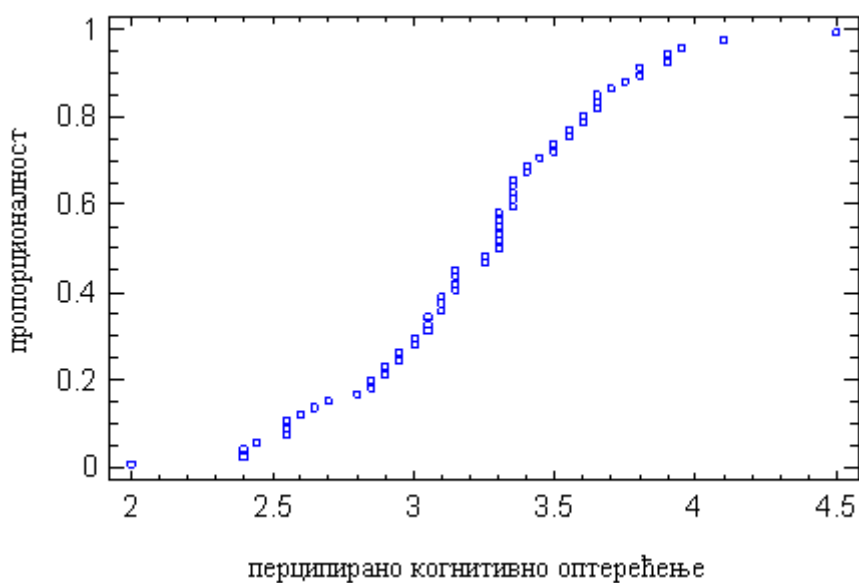


График бр. 3 – Перципирано когнитивно оптерећење ученика експерименталне групе  $E_1$

Како се види на графику бр. 3 највише одговора је било између највише одговора је било од 3,1 до 3,4.

На графику бр. 4 је представљена дистрибуција перцепције когнитивног оптерећења за ученике експерименталне групе E<sub>2</sub>.

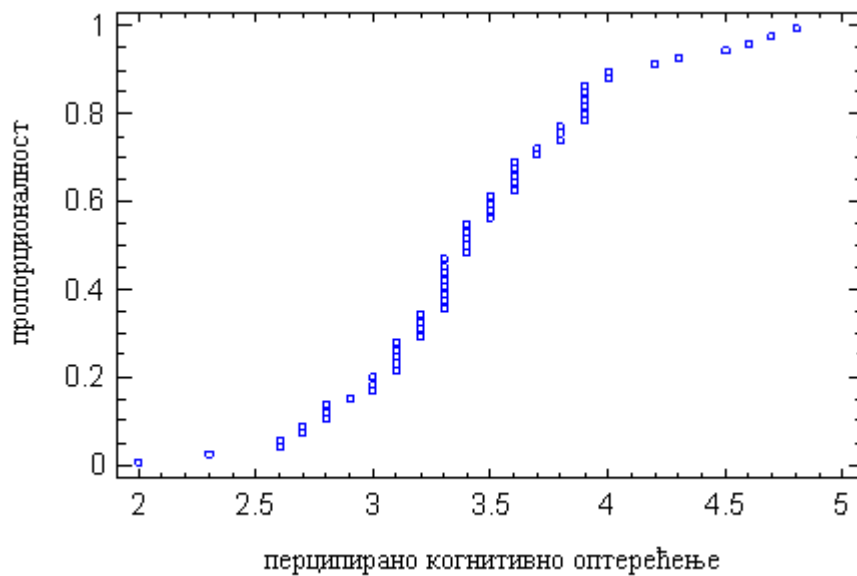
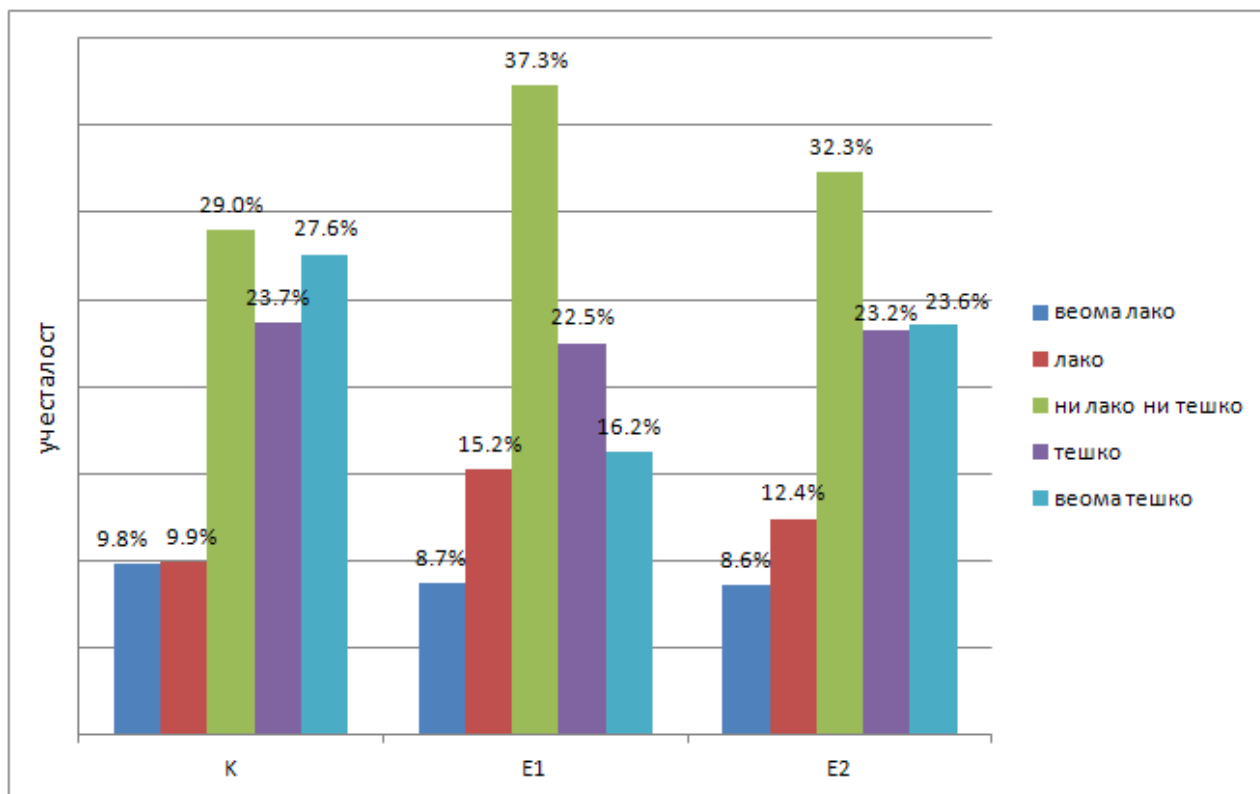


График бр. 4 – Перципирано когнитивно оптерећење ученика експерименталне групе E<sub>2</sub>

Како се види на графику бр. 4 највише одговора је било између највише одговора је било од 3,1 до 3,8.

Једнофакторском анализом варијансе испитан је утицај примењеног наставног метода на перцепцију когнитивног оптерећења (табела 11). Утврђено је постоји статистички значајна разлика на нивоу  $p < 0,05$  перципираног когнитивног оптерећења три наставна метода  $F(2, 184) = 3,592, p = 0,029$ .

На хистограму бр. 13 приказано је когнитивно оптерећење за сва три наставна метода.



Хистограм бр. 13 – Утицај когнитивног оптерећења у зависности од начина предавања

Како је  $\chi^2$  тест показао да је  $p = 0,029 < 0,05$  одбацујемо нулту хипотезу о независности обележја „начин предавања“ и „когнитивно оптерећење“, односно констатујемо да постоји зависност између тих обележја. Коефицијент  $f_1 = 0,819$  показује велики утицај наставног метода на перципирано когнитивно оптерећење.

На основу резултата приказаних на хистограму бр. 13 види се да је око 10% ученика контролне групе је питања финалног теста оценила као веома лака, готово исти проценат као лака, 29% као ни лака ни тешка, око 24% као тешка и око 28% као веома тешка. Значи, око 20% ученика је питања оценила као (веома) лака, док их је око 52% оценила као (веома) тешка.

Око 9% ученика експерименталне групе  $E_1$  је питања финалног теста оценила као веома лако, око 12% као лака, око 37% као ни тешка ни лака, око 23% као тешка и око 16% као веома тешка. Значи, око 21% ученика је питања оценила као (веома) лака, док их је око 39% оценило као (веома) тешка.

Око 9% ученика експерименталне групе  $E_2$  је питања финалног теста оценила као веома лако, око 12% као лака, око 32% као ни тешка ни лака, око 23% као тешка и око 24% као веома тешка. Значи, око 21% ученика је питања оценила као (веома) лака, док их је око 47% оценило као (веома) тешка.

На основу добијених резултата највећи проценат ученика експерименталне групе  $E_1$ , у односу на ученике из друге две групе, питања финалног теста су оценила као ни тешка ни лака. Такође, најмањи проценат ученика експерименталне групе  $E_1$ , у односу на друге две групе, је питања оценила као (веома) тешка. Из овог се може закључити да ученици експерименталне групе  $E_1$  сматрају да им је примерена тежина градива и да могу савладати све изучаване појмове везане за изабрану наставну област. Добијени податак говори у корист веће ефикасности наставе праћене експериментима.

Добијено је и то да је више ученика контролне групе него ученика експерименталне групе  $E_2$ , питања финалног теста оценила као (веома) тешка.

На основу тога може се констатовати да је настава праћена експериментима проузрокује најмање когнитивно оптерећење код ученика, потом је то настава праћена мултимедијалним садржајем и на крају традиционалан начин презентовања наставних јединица.

Резултати овог истраживања су у позитивној корелацији са добијеним резултатима у истраживању (Hmelo-Silver et al., 2006) учење засновано на решавању проблема и коришћењу експеримената је веома ефикасан модел учења јер смањује когнитивно оптерећење и омогућава ученицима да уче у сложеним доменима.

Мултимедијални метод се показао ефикаснијим од традиционалног метода у погледу мањег когнитивног оптерећења. Према когнитивним теоријама мултимедијалног учења, учење је олакшано када је садржај представљен у вербалном и невербалном (графичком) формату (Maier, 2001). Вишеструка репрезентација информација може се користити за подстицање ученика на активност у учењу, усмеравајући његову пажњу на релевантне долазне информације. На тај начин се додатно олакшавају кохерентне менталне репрезентације и интеграција информација са већ усвојеним знањем.

На основу личног искуства из разговора са наставницима физике основних и средњих школа у Новом Саду, Суботици, Бајмоку и Бачкој Паланци, наставници најчешће користе традиционални метод у обради наставних садржаја, али то не значи да је тај метод најбољи. Напротив, добијени резултати указују да коришћењем само табле и креде ученици у већој мери користе ресурсе који су потребни за остваривање циљева специфичких когнитивних активности и тако се проузрокују веће когнитивно оптерећење које за последицу има непостизање трајнијих знања и примене наученог. На основу тог податка може се објаснити зашто су ученици контролне групе углавном дали нетачан одговор на питања финалног теста везана за когнитивни ниво примена знања.

На основу добијених резултата може се тврдити да је полазна хипотеза да постоји статистички значајна разлика у просечном оптерећењу ученика у односу на начин предавања наставних јединица потврђена.

Такијев тест (табела 9) је показао да се средња вредност перципираног когнитивног оптерећења ученика контролне групе ( $M = 3,49$ ,  $SD = 1,26$ ) и средња вредности перципираног когнитивног оптерећења ученика експерименталне групе  $E_1$  ( $M = 3,22$ ,  $SD = 1,15$ ) значајно разликују. Такође је добијено да се средња вредност перципираног когнитивног оптерећења ученика експерименталне група  $E_2$  ( $M = 3,41$ ,  $SD = 1,22$ ) разликује значајно и од контролне групе и од експерименталне групе  $E_1$ .

Табела 9 – Такијев тест

(I) наставни метод	(J) наставни метод	разлика (I-J)	грешка	значајност р-вредност
К	$E_2$	,079	,048	,227
	$E_1$	,265*	,048	,000
$E_1$	К	-,079	,048	,227
	$E_2$	,186*	,048	,000
$E_2$	К	-,265*	,048	,000
	$E_1$	-,186*	,048	,000

\*р-вредност мања од 0,05

Графички приказ функције (Гаусова функција) по којој се померава функција зависности когнитивног оптерећења представљена је на графику бр. 5.

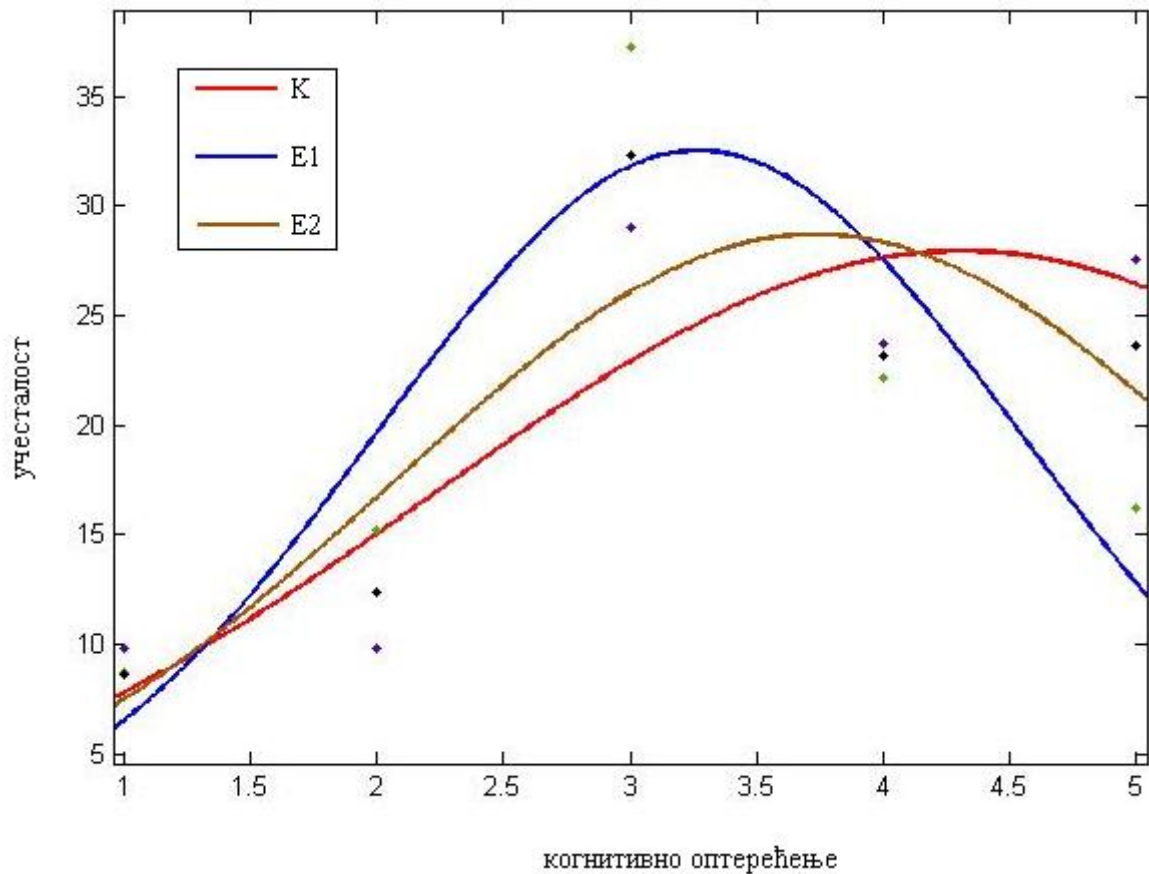


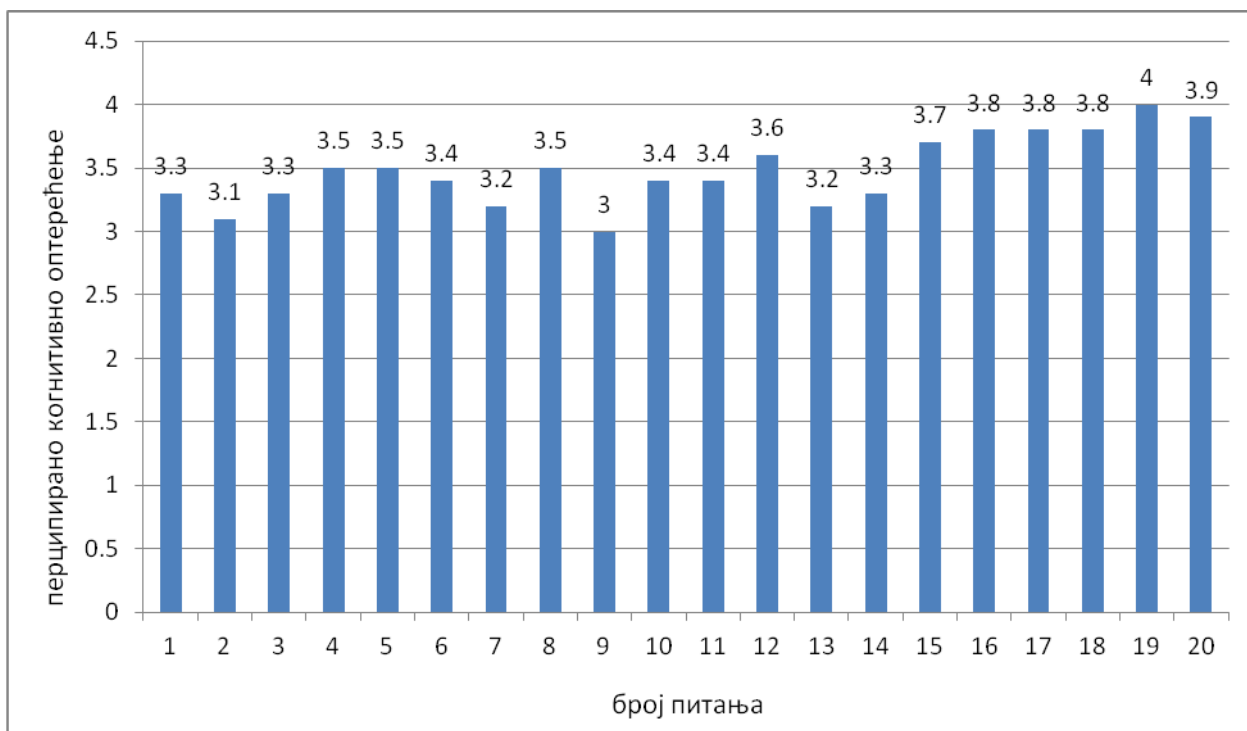
График 5 – Функционална зависност когнитивног оптерећења

Посматрањем максимума кривих уочава се да је максимум криве која описује когнитивно оптерећење ученика експерименталне групе E<sub>1</sub> померен ка мањим вредностима док је крива која описује когнитивно оптерећење ученика контролне групе померен ка вишим вредностима когнитивног оптерећења, што јасно оцртава резултате представљене у табели бр. 8. У табели бр. 10 су приказани степени добијене функционалне зависности когнитивног оптерећења.

Табела 10 – Степени добијене функционалне зависности когнитивног оптерећења

$f(x) = a \cdot \exp\left(-\left(\frac{x-b}{c}\right)^2\right)$						
	$a$	$b$	$c$	$R^2$	Кориговани $R^2$	RMSE
K	27,94	4,31	2,93	0,7631	0,5263	6,535
E <sub>1</sub>	32,52	3,27	1,79	0,7971	0,5942	6,9
E <sub>2</sub>	38,71	3,73	2,35	0,7525	0,505	6,695

На хистограму бр. 14 је приказано перципирано когнитивно оптерећење ученика контролне групе према питањима финалног теста.

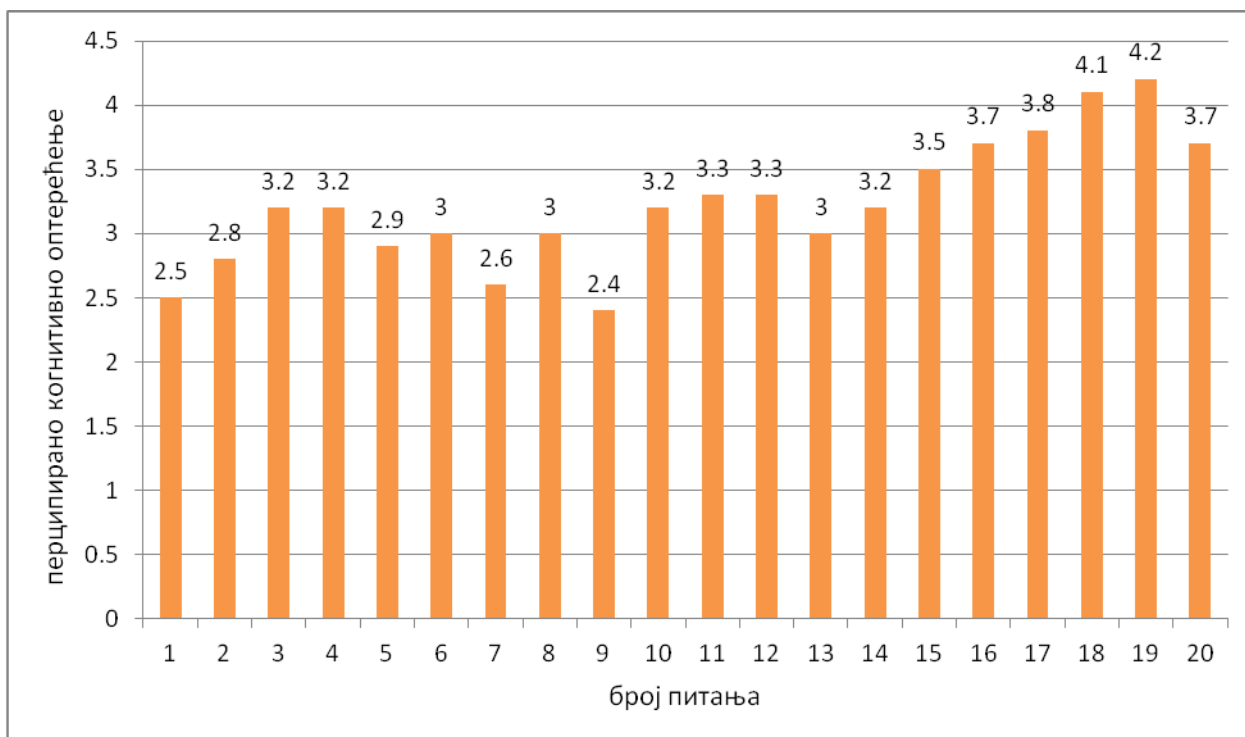


Хистограм бр. 14 – Перципирано когнитивно оптерећење ученика контролне групе према питањима финалног теста

Како се види на хистограму бр. 14 добијено је да је перципирано когнитивно оптерећење ученика контролне групе готово уједначено за питања од првог до четрнаестог које обухватају групе питања на когнитивном нивоу знање и схватање. Бројне вредности које изражавају перцепцију когнитивног оптерећења за ова питања се крећу од 3 до 3,6. На преосталих шест питања која су везана за когнитивни ниво примену, перципирано је нешто веће когнитивно оптерећење које се креће у опсегу од 3,7 до 4.

На хистограму бр. 15 је приказано перципирано когнитивно оптерећење ученика експерименталне групе  $E_1$  према питањима финалног теста.

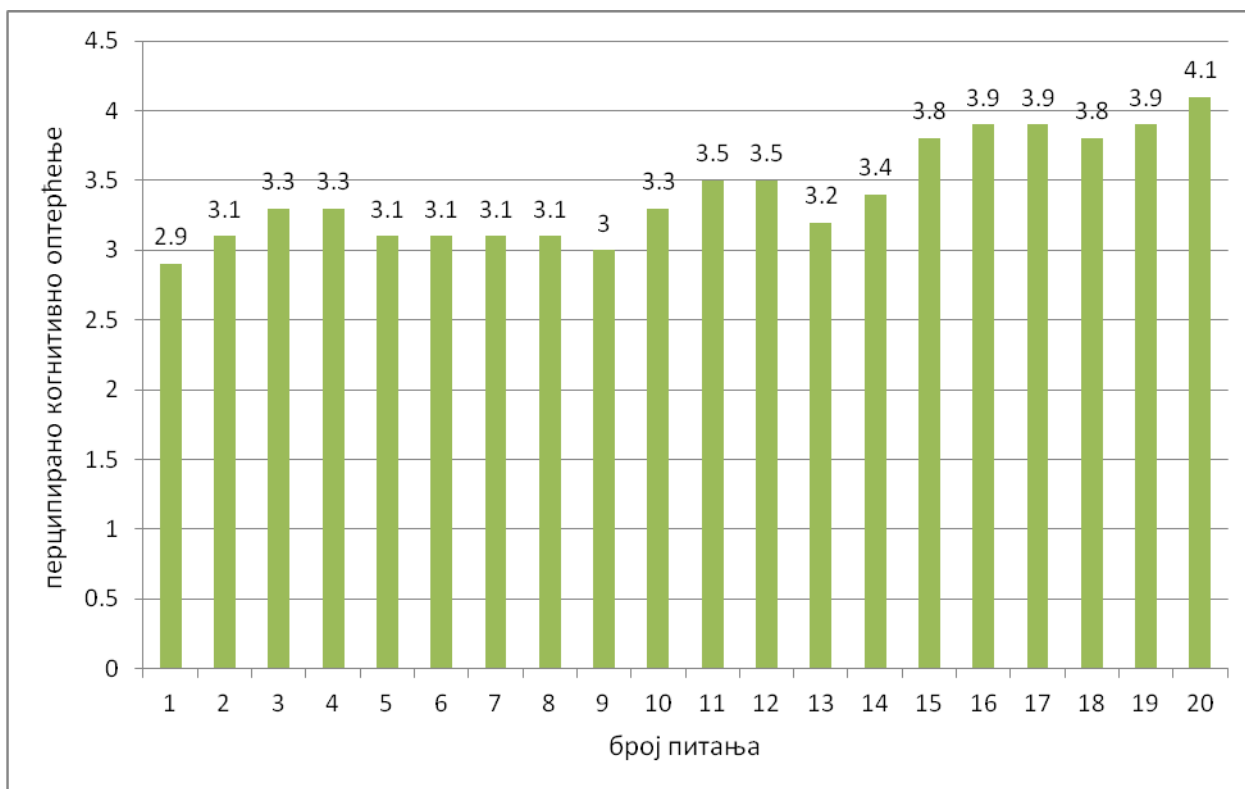




Хистограм бр. 15 – Перципирано когнитивно оптерећење ученика експерименталне групе  $E_1$  према питањима финалног теста

Како се види на хистограму бр. 15 добијено је да су ученици експерименталне групе  $E_1$  перципирали мање когнитивно оптерећење од ученика контролне групе за прво, пето, седмо и девето питање. Разлика у перцепцији когнитивног оптерећења за ове две групе за прво питање је 0,8. Питање је било везано за познавање основних својстава међумолекулских сила. Разлика у перцепцији когнитивног оптерећења за ове две групе за пето и седмо питање је 0,6. Питања су била везано за познавање основних својстава површинског напона. Разлика у перцепцији когнитивног оптерећења за ове две групе за девето питање је 0,6. Питање је било везано за познавање основних својстава унутрашњег отпора у течностима, односно за вискозност течности. На преостала питања перципирана су готово иста оптерећења.

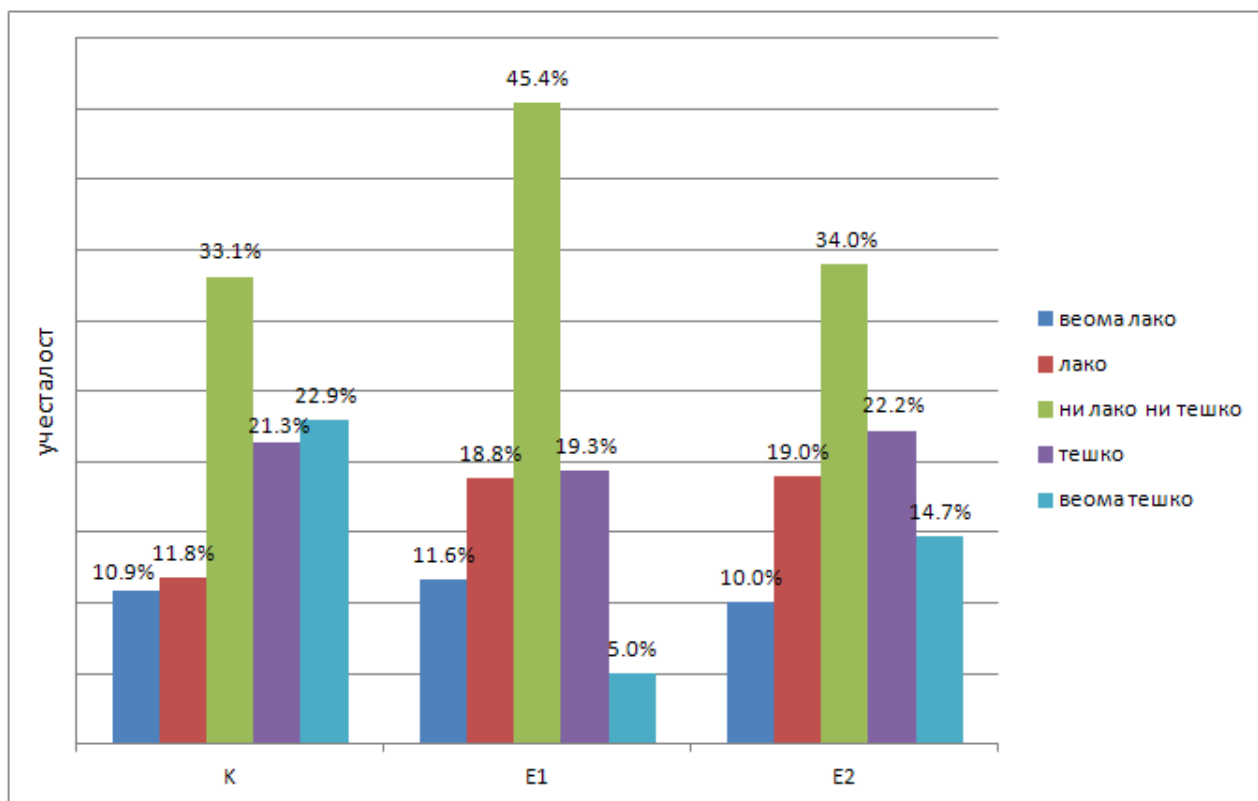
На хистограму бр. 16 је приказано перципирано когнитивно оптерећење ученика експерименталне групе  $E_2$  према питањима финалног теста.



Хистограм бр. 16 – Перципирано когнитивно оптерећење ученика експерименталне групе E<sub>2</sub> према питањима финалног теста

Како се види на хистограму бр. 16 добијено је да су ученици експерименталне групе E<sub>2</sub> перципирали готово исто оптерећење као ученици контролне групе. Највећа разлика у перцепцији когнитивног оптерећења износи 0,4 и остварена је код првог, петог и осмог питања.

Перципирано когнитивно оптерећење ученика према когнитивном нивоу знање је приказано на хистограму бр. 17.



Хистограм бр. 17 – Перципирано когнитивно оптерећење за когнитивни ниво знање

Како је  $\chi^2$  тест показао да је  $p = 0,0000 < 0,05$  одбацујемо нулту хипотезу о независности обележја „начин предавања“ и „когнитивно оптерећење“, односно констатујемо да постоји зависност између тих обележја.

Како се види на хистограму бр. 17 око 11% ученика контролне групе је питања финалног теста когнитивног нивоа знање је оценило као веома лака, око 12% као лака, око 33% као ни лака ни тешка, око 21% као тешка и око 23% као веома тешка. Значи, око 23% ученика је питања као (веома) лака, док их око 44% оценила као (веома) тешка.

Око 12% ученика експерименталне групе E<sub>1</sub> је питања финалног теста когнитивног нивоа знање је оценило као веома лака, око 19% као лака, око 45% као ни лака ни тешка, око 19% као тешка и 5% као веома тешка. Значи, око 31% ученика је питања као (веома) лака, док их око 24% оценила као (веома) тешка.

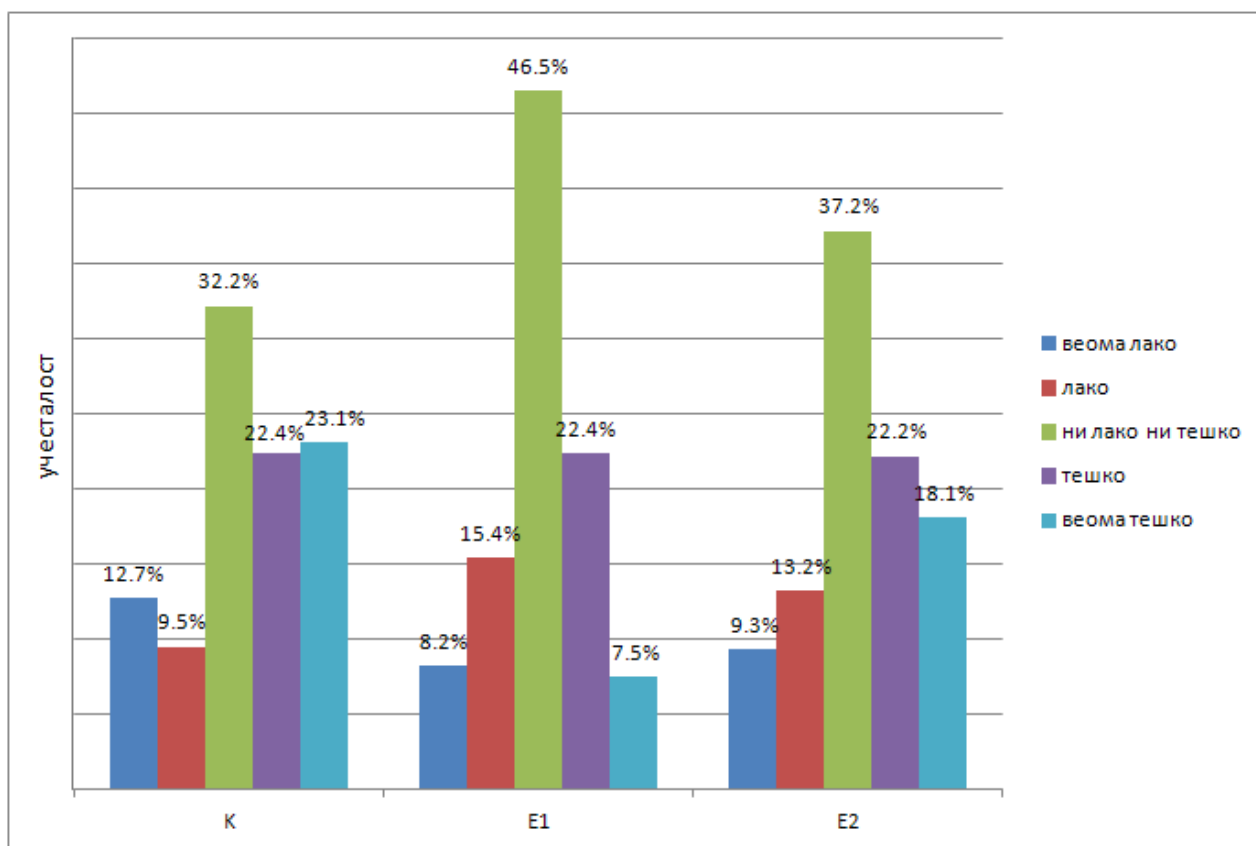
10% ученика експерименталне групе E<sub>2</sub> је питања финалног теста когнитивног нивоа знање је оценило као веома лака, 19% као лака, 34% као ни лака ни тешка, око 22% као тешка и око 15% као веома тешка. Значи, 29% ученика је питања као (веома) лака, док их око 37% оценила као (веома) тешка.

Више ученика експерименталних група него ученика контролне групе је питања финалног теста на когнитивном нивоу знање оценило као (веома) лака. Такође, више ученика

експерименталне групе E<sub>1</sub> него ученика друге две групе је иста питања оценило као ни лака ни тешка. Мање ученика експерименталне групе E<sub>1</sub> него ученика друге две групе је иста питања оценило као (веома) тешка. Значи, најмање когнитивно оптерећење за питања финалног теста на когнитивном нивоу знање су перципирали ученици експерименталне групе E<sub>1</sub>, потом ученици експерименталне групе E<sub>2</sub> и на крају највеће когнитивно оптерећење су перципирали ученици контролне групе.

Добијени резултати су потврдили полазну хипотезу да постоји статистички значајна разлика у перципираном когнитивном оптерећењу за дати наставни метод за когнитивни ниво знање.

Перципирано когнитивно оптерећење ученика према когнитивном нивоу схватање је приказано на хистограму бр. 18.



Хистограм бр. 18 – Перципирано когнитивно оптерећење за когнитивни ниво схватање

Како је  $\chi^2$  тест показао да је  $p = 0,0000 < 0,05$  одбацујемо нулту хипотезу о независности обележја „начин предавања“ и „когнитивно оптерећење“, односно констатујемо да постоји зависност између тих обележја.

Како се види на хистограму бр. 18, око 13% ученика контролне групе је питања финалног теста когнитивног нивоа схватање је оценило као веома лака, око 10% као лака, око 32% као

ни лака ни тешка, око 22% као тешка и око 23% као веома тешка. Значи, око 23% ученика је питања као (веома) лака, док их око 45% оценила као (веома) тешка.

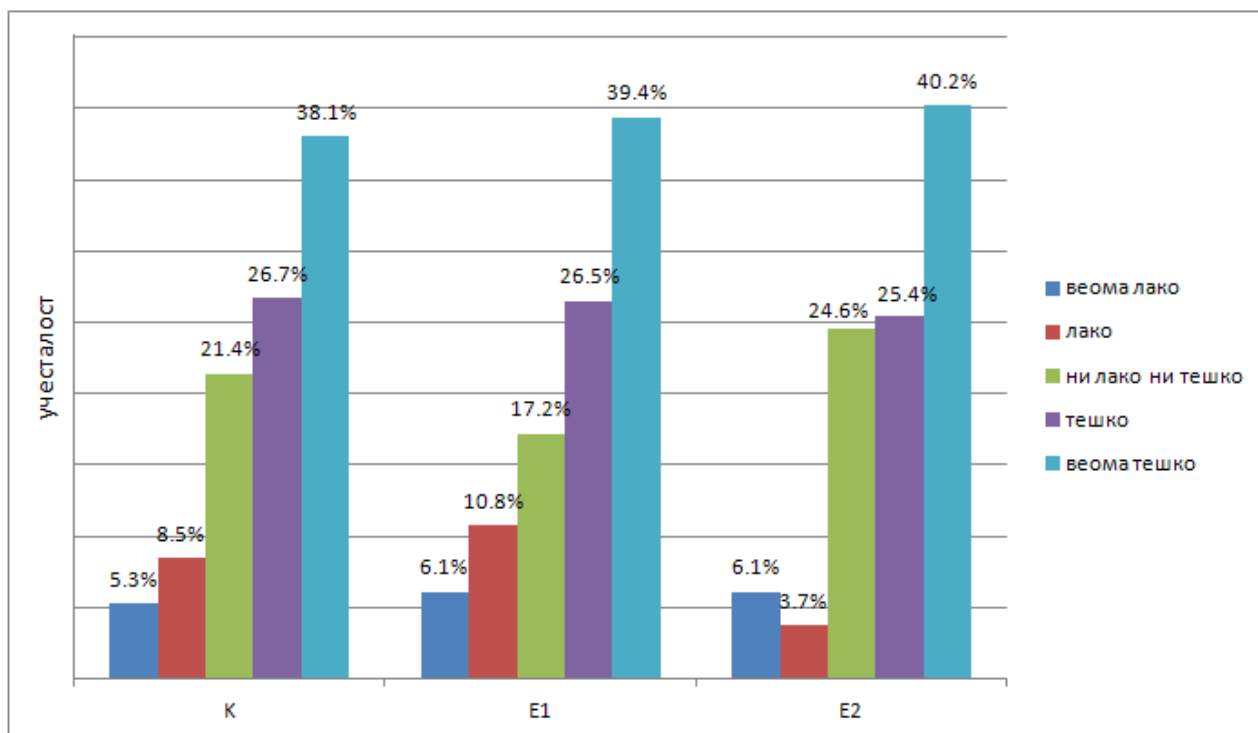
Око 8% ученика експерименталне групе  $E_1$  је питања финалног теста когнитивног нивоа схватање је оценило као веома лака, око 15% као лака, око 47% као ни лака ни тешка, око 22% као тешка и око 7% као веома тешка. Значи, око 23% ученика је питања као (веома) лака, док их око 29% оценила као (веома) тешка.

Око 9% ученика експерименталне групе  $E_2$  је питања финалног теста когнитивног нивоа схватање је оценило као веома лака, око 13% као лака, око 37% као ни лака ни тешка, око 22% као тешка и око 18% као веома тешка. Значи, 22% ученика је питања као (веома) лака, док их око 40% оценила као (веома) тешка.

Готово исти проценат ученика свих група је питања финалног теста на когнитивном нивоу схватање оценило као (веома) лака. Такође, више ученика експерименталне групе  $E_1$  него ученика друге две групе је иста питања оценило као ни лака ни тешка. Мање ученика експерименталне групе  $E_1$  него ученика друге две групе је иста питања оценило као (веома) тешка. Значи, најмање когнитивно оптерећење за питања финалног теста на когнитивном нивоу схватање су перципирани ученици експерименталне групе  $E_1$ , потом ученици експерименталне групе  $E_2$  и на крају највеће когнитивно оптерећење су перципирани ученици контролне групе.

Добијени резултати су потврдили полазну хипотезу да постоји статистички значајна разлика у перципираном когнитивном оптерећењу за дати наставни метод за когнитивни ниво схватање.

Перципирано когнитивно оптерећење ученика према когнитивном нивоу примена је приказано на хистограму бр. 19.



Хистограм бр. 19 – Перципирано когнитивно оптерећење за когнитивни ниво примена

Како је  $\chi^2$  тест показао да је  $p = 0,0170 < 0,05$  одбацујемо нулту хипотезу о независности обележја „начин предавања“ и „когнитивно оптерећење“, односно констатујемо да постоји зависност између тих обележја.

Како се види на хистограму бр. 19, око 5% ученика контролне групе је питања финалног теста когнитивног нивоа примена је оценило као веома лака, око 9% као лака, око 21% као ни лака ни тешка, око 27% као тешка и око 38% као веома тешка. Значи, око 14% ученика је питања као (веома) лака, док их око 65% оценила као (веома) тешка.

Око 6% ученика експерименталне групе E<sub>1</sub> је питања финалног теста когнитивног нивоа примена је оценило као веома лака, око 11% као лака, око 17% као ни лака ни тешка, око 27% као тешка и око 39% као веома тешка. Значи, око 17% ученика је питања као (веома) лака, док их око 66% оценила као (веома) тешка.

Око 6% ученика експерименталне групе E<sub>2</sub> је питања финалног теста когнитивног нивоа примена је оценило као веома лака, око 4% као лака, око 25% као ни лака ни тешка, око 25% као тешка и око 40% као веома тешка. Значи, око 10% ученика је питања као (веома) лака, док их око 65% оценила као (веома) тешка.

Више ученика експерименталне групе E<sub>1</sub> него ученика друге две групе је иста питања оценило (веома) лака. Готово исти проценат ученика све три групе је иста питања оценило као (веома) тешка.

Добијени резултати су потврдили полазну хипотезу да постоји статистички значајна разлика у перципираном когнитивном оптерећењу за дати наставни метод за когнитивни ниво примена.

Сумирањем добијених резултата може се тврдити да су најмање когнитивно оптерећење перципирани ученици експерименталне групе Е<sub>1</sub>. Значи, увођење (малих, демонстрационих или једноставних) експеримената може у великој мери да позитивно утиче на ученике смањивајући когнитивно оптерећење и истовремено повећавајући постигнуће ученика на тестовима знања. Физика је експериментална наука те је из тог угла разумљива предност увођења експеримената у наставу физике. Међутим, за неке наставне јединице и одређене когнитивне нивое овај метод је показао нешто веће когнитивно оптерећење него друга два испитивана метода. Разлог томе се може наћи у томе што ученици углавном нису навикли на питање зашто се то дешава и да самостално истражују кроз експерименте и да дискутују са наставницима. У неким западним земљама (на пример у Немачкој) ученици су навикли да дискутују са наставницима о изучаваним појавама и/или урађеним експериментима (Ранчић, Радуловић, 2011). Овакав начин школовања има позитивне ефекте на развој ученика као будућег професионалца у некој области, а резултат тих ефеката се може лако и јасно уочити у постигнућима ученика на PISA тестовима.

#### 4.2.1. Утицај пола испитаника на перцепцију когнитивног оптерећења

У табели 11 приказане су р и F-вредности које указују на могући утицај више променљивих (пол испитаника и наставни метод) на перцепцију когнитивног оптерећења ученика. Вредности су добијене применом мултифакторских тестова.

Табела 11 – Мултифакторска анализа фактора који утичу на перцепцију когнитивног оптерећења ученика

Фактори	сума квадрата	Df	средњи квадрат	F – вредност	р – вредност	Парцијални ета квадрат
пол испитаника	0,007	1	0,007	0,019	0,890	0,000
наставни метод	2,364	2	1,182	3,069	0,049	0,033
пол испитаника и наставни метод	0,149	2	0,075	0,194	0,824	0,002
грешка	69,713	181	0,385			
укупно	72,600	186				

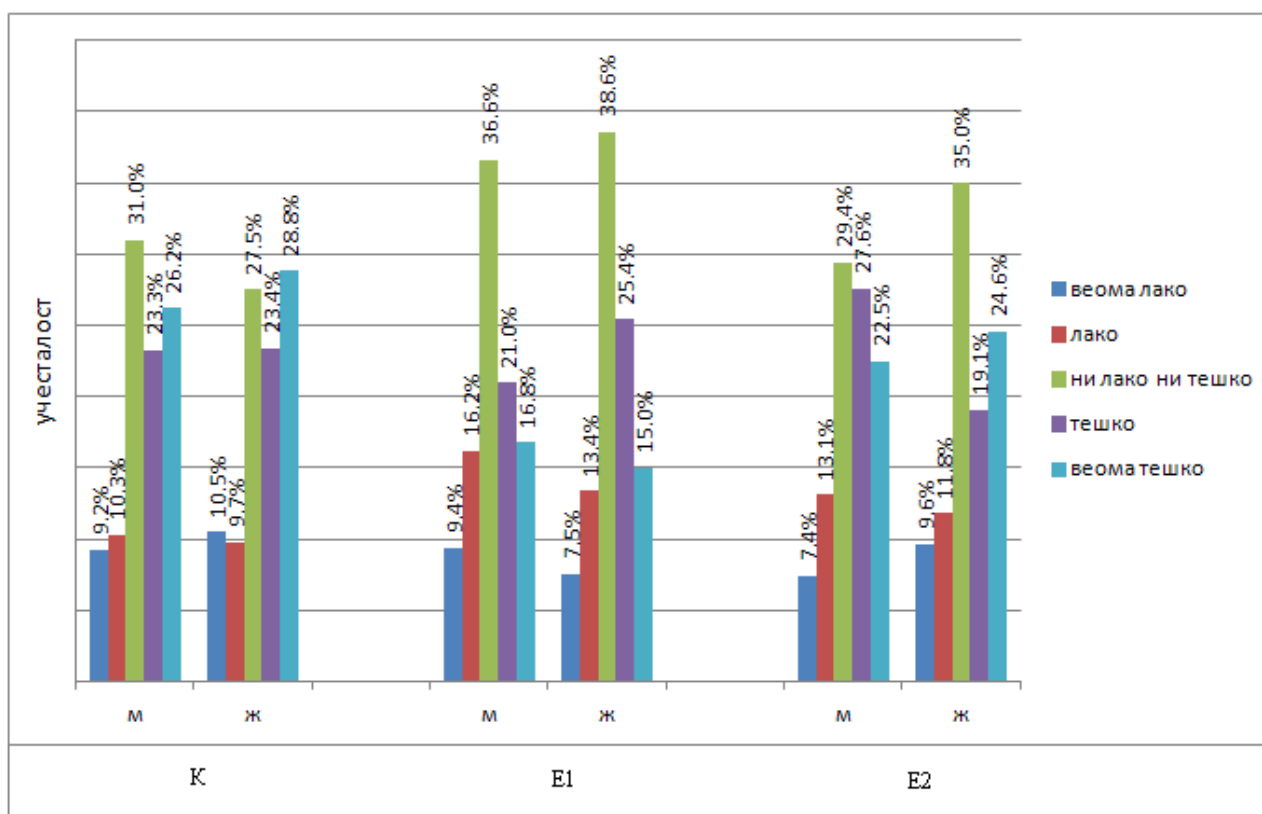
Како се види у табели 11, мултифакторски тестови су показали да утицај пола испитаника и наставног метода није био статистички значајан  $F(2, 181) = 0,194$ ,  $p = 0,824$ . Добијени

податак нам говори да нема значајне разлике у утицају наставног метода на постигнуће ученика на финалном тесу момака и девојака. Међутим, вредност парцијалног ета квадрата ( $\eta^2 = 0,02$ ) показује да постоји мали утицај.

Мултифакторски тестови су показали статистички значајан утицај наставног метода  $F(2, 181) = 3,069$ ,  $p = 0,049$  на перципирано когнитивно оптерећење, док утицај пола испитаника  $F(1, 181) = 0,019$ ,  $p = 0,890$ ,  $\eta^2 = 0,000$  није достигао статистичку значајност.

Добијене вредности потврђују полазну претпоставку да пол испитаника не утиче на перципирано когнитивно оптерећење.

На хистограму бр. 20 је приказана зависност пола испитаника на његову перцепцију когнитивног оптерећења за дати наставни метод.



Хистограм бр. 20 – Утицај пола испитаника на његову перцепцију когнитивног оптерећења за дати наставни метод

Како се на хистограму бр. 20 види код ученика контролне групе нема значајнијих одступања у перципираном когнитивном оптерећењу у односу на пол испитаника.

Код ученика експерименталне групе E<sub>1</sub> добијено је да је више момака него девојака питања оценила као (веома) лака, док је нешто више девојака него момака иста питања оценила као



ни лака ни тешка или као (веома) тешка. Уколико се овај резултат упореди са резултатом приказаним на хистограму бр. 12, где је наведено да је већи проценат девојака него момака остварило више од 15 бодова на финалном тесту, може се извести закључак да су девојке уложили већи когнитивни напор да би савладале изучавано градиво.

Код ученика експерименталне групе  $E_2$  добијено је да је више девојака него момака питања оценила као ни лака ни тешка, док је више момака него девојака иста питања оценила као (веома) тешка.

Иако применом анализе варијансе није добијена статистички значајна разлика, унутар експерименталних група се могла наћи одређена родна разлика у перципираном когнитивном оптерећењу.

### **4.3. Утицај перцепције когнитивног оптерећења на постигнуће ученика на финалном тесту**

У табели 12 приказане су  $p$ ,  $F$  и  $\eta^2$ -вредности које указују на могући утицај више променљивих (перципирано когнитивно оптерећење и наставни метод) на постигнуће ученика на финалном тесту. Вредности су добијене применом мултифакторских тестова.

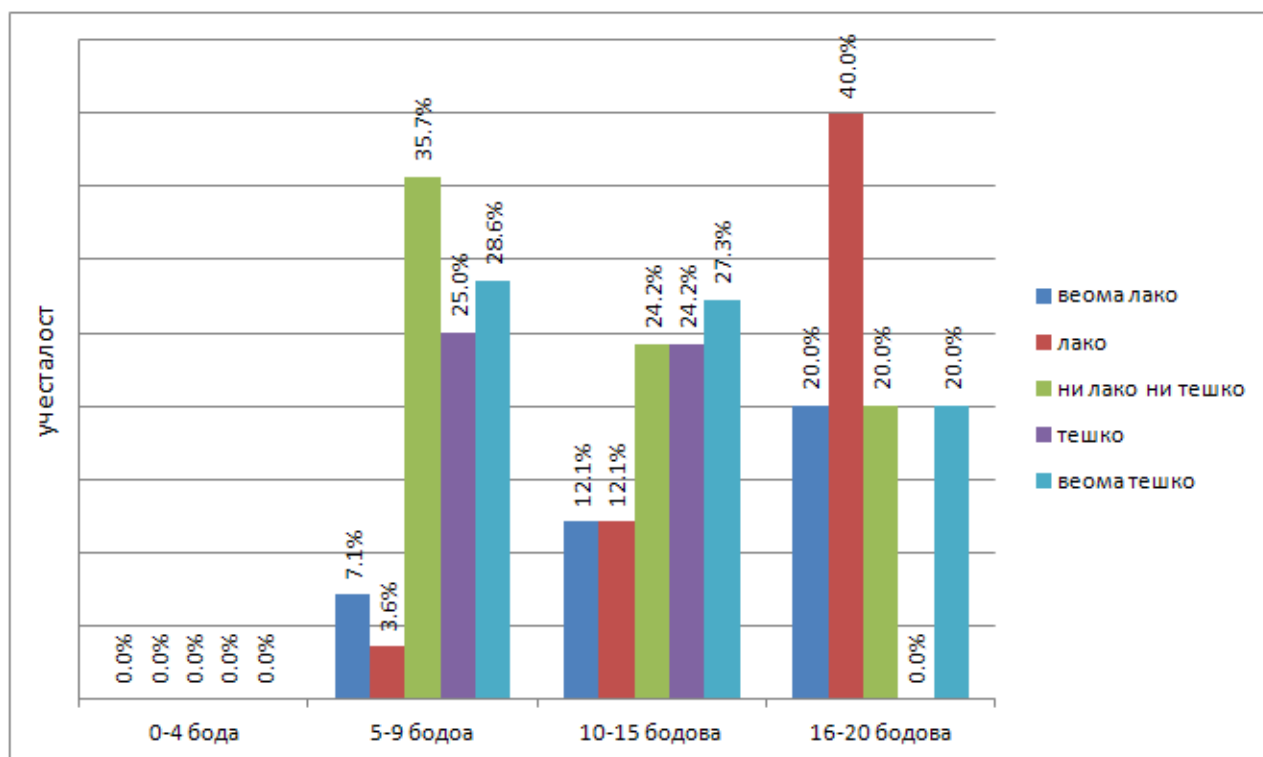
Табела 12 – Мултифакторска анализа фактора који утичу на постигнуће ученика на финалном тесту

Фактори	сума квадрата	Df	средњи квадрат	F – вредност	p – вредност	Парцијални ета квадрат
перципирано когнитивно оптерећење	13,909	4	3,477	14,287	0,000	0,015
наставни метод	7,042	2	3,521	14,466	0,000	0,008
перципирано когнитивно оптерећење и наставни метод	3,063	8	0,383	1,573	0,127	0,003
грешка	916,349	3765	0,243			
укупно	1975,000	3780				

Како се види у табели 12, мултифакторски тестови су показали статистички значајан утицај перципираног когнитивног оптерећења  $F(4, 3780) = 14,287$ ,  $p = 0,000$  и  $\eta^2 = 0,02$  на

постигнуће ученика на финалном тесту. Са друге стране, мултифакторски тестови су показали да утицај наставног метода  $F(2, 3780) = 14,466$ ,  $p = 0,000$ ,  $\eta^2 = 0,008$ , такође има статистичку значајност на постигнуће ученика. Добијене вредности потврђују полазну претпоставку да постоји статистички значајан утицај перципираног когнитивног оптерећења и примењеног наставног метода на постигнуће ученика на финалном тесту.

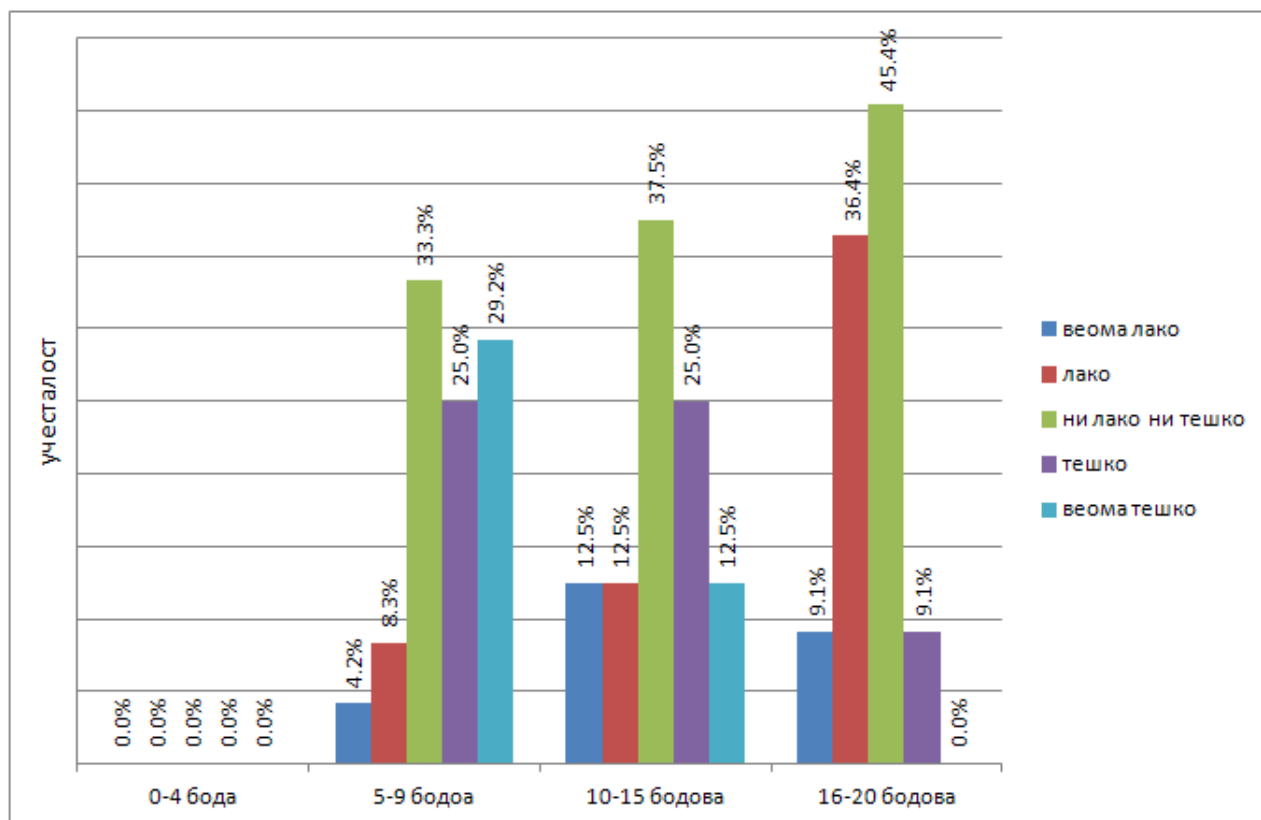
На хистрограму бр. 21 је приказан утицај перципираног когнитивног оптерећења ученика контролне групе на постигнуће на финалном тесту.



Хистограм 21 – Утицај перципираног когнитивног оптерећења на постигнуће ученика контролне групе

Како се види на хистограму бр. 21, ученици контролне групе који су освојили од пет до девет бодова на финалном тесту питања су оценили као: ни лака ни тешка, тешка или веома тешка. Ученици који су освојили од десет до петнаест бодова су готово у истом проценту питања оценили као тешка, односно веома тешка као ученици који су остварили мањи број бодова од њих. Мањи проценат ученика који су освојили више од десет бодова него ученика који су освојили мање од десет бодова, питања је оценило као ни лака ни тешка. Значајно већи проценат ученика који су остварили више од десет бодова него ученика који су остварили мање од десет бодова је питања оценило као лака или веома лака. Овим је добијено да су ученици који су остварили боље резултате на финалном тесту перципирали мање когнитивно оптерећење него ученици са лошијим резултатима.

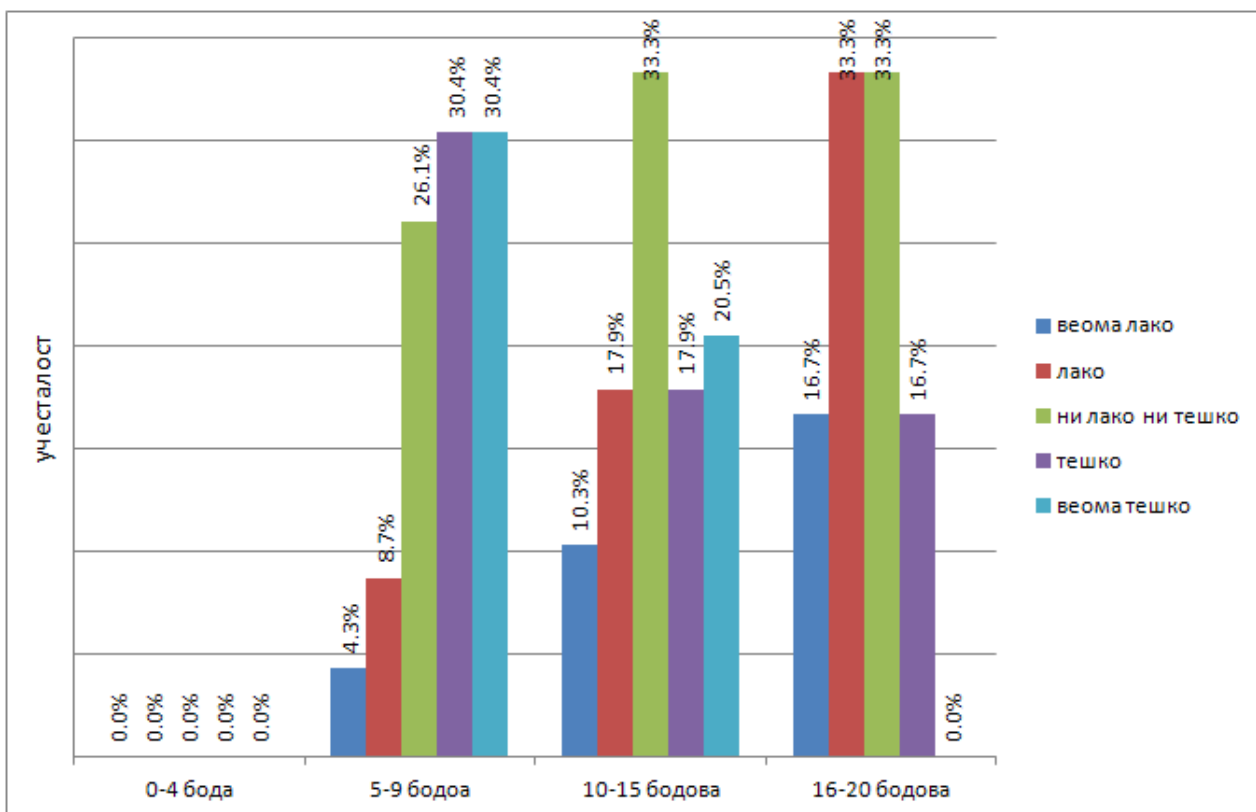
На хистограму бр. 22 је приказана зависност перципираног когнитивног оптерећења ученика експерименталне групе Е<sub>1</sub> на постигнуће на финалном тесту.



Хистограм 22 – Утицај перципираног когнитивног оптерећења на постигнуће ученика експерименталне групе Е<sub>1</sub>

Како се види на хистограму бр. 22, ученици који су на финалном тесту освојили од пет до девет бодова питања су оценила као: ни лака ни тешка, тешка и веома тешка. Значајно већи проценат ученика који су освојили више од десет бодова него ученика са слабијим постигнућем су питања оценила као веома лака или као лака. Нешто већи проценат ученика који су освојили више од десет бодова него ученика који су освојили до девет бодова су питања оценила као ни лака ни тешка. Значајно мањи проценат ученика који су освојили од десет до петнаест бодова на финалном тесту него ученика који су освојили до девет бодова је питања оценило као веома тешко, а ученика који су освојили више од шеснаест бодова уопште нема у овој категорији. Значи, ученици са бољим перформансама су перципирани мање когнитивно оптерећење.

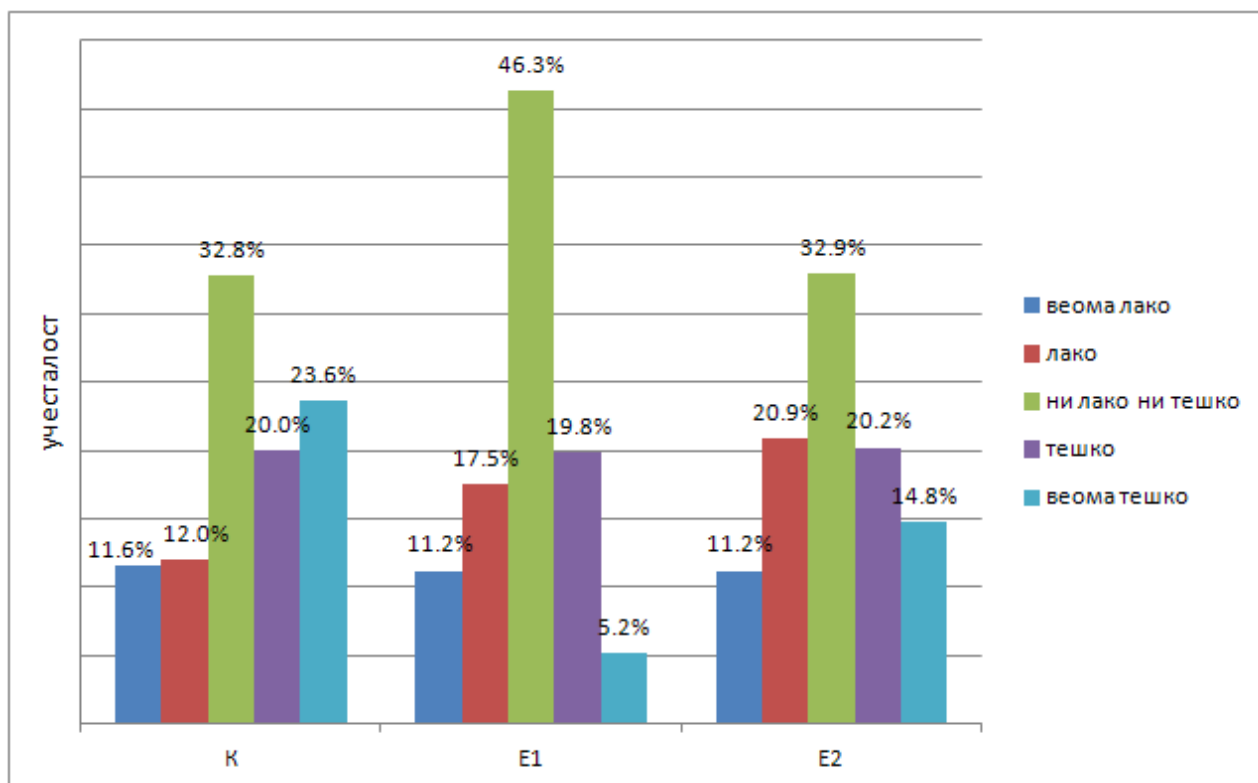
На хистограму бр. 23 је приказана зависност перципираног когнитивног оптерећења на постигнуће ученика експерименталне групе Е<sub>2</sub> на финалном тесту.



Хистограм 23 – Утицај перципираног когнитивног оптерећења на постигнуће ученика експерименталне групе  $E_2$

Како се види на хистограму бр. 23, ученици који су на финалном тесту освојили од пет до девет бодова питања су оценила као: тешка, веома тешка и ни лака ни тешка. Значајно већи проценат ученика који су освојили више од десет бодова него ученика са слабијим постигнућем су питања оценила као веома лака или као лака. Нешто већи проценат ученика који су освојили више од десет бодова него ученика који су освојили до девет бодова су питања оценила као ни лака ни тешка. Значајно мањи проценат ученика који су освојили од десет до петнаест бодова на финалном тесту него ученика који су освојили до девет бодова је питања оценило као веома тешко, а ученика који су освојили више од шеснаест бодова уопште нема у овој категорији. Добијени резултати су веома слични са резултатима ученика експерименталне групе  $E_1$ , односно добијено је да су ученици са бољим перформансама су перципирали мање когнитивно оптерећење.

За когнитивни ниво знање, мултифакторски тестови су показали да наставни метод  $F(2, 1308) = 1,840$ ,  $p = 0,159$  и перципирано когнитивно оптерећење  $F(4, 1308) = 0,096$ ,  $p = 0,810$  није показао статистички значајан утицај на удео тачних одговора за когнитивни ниво знање (хистограм 24).



Хистограм бр. 24 – Перципирано оптерећење ученика који су тачно одговорили на питања финалног теста на когнитивном нивоу знање

Као што се види на хистограму бр. 24, око 12% ученика контролне групе који су тачно одговорили, питања су оценили као веома лако, 12% као лако, око 33% као ни лако ни тешко, 20% као тешко, а око 24% као веома тешко.

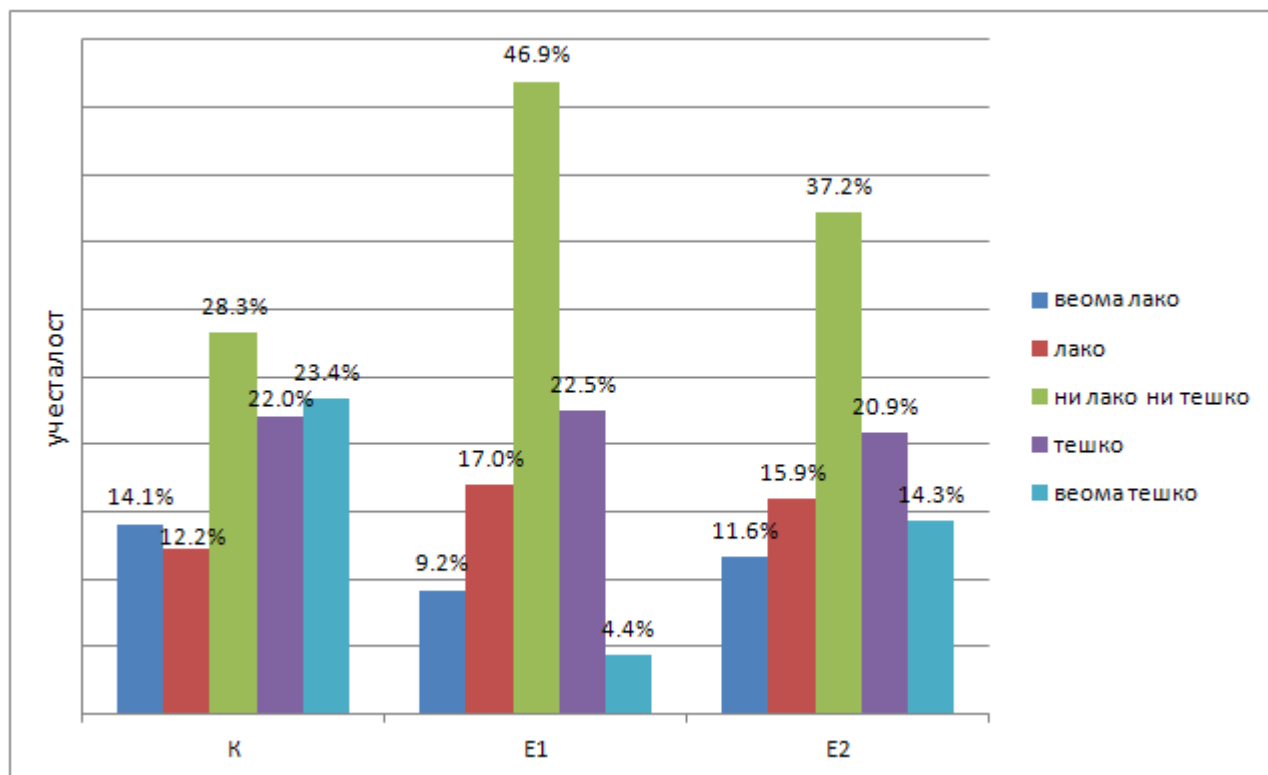
Око 11% ученика експерименталне групе E<sub>1</sub> који су тачно одговорили, питања су оценили као веома лако, око 18% као лако, око 46% као ни лако ни тешко, око 20% као тешко и око 5% као веома тешко.

Око 11% ученика експерименталне групе E<sub>2</sub> који су тачно одговорили, питања су оценили као веома лако, око 21% као лако, око 33% као ни лако ни тешко, око 20% као тешко и око 15% као веома тешко.

Значи, више ученика експерименталних група него ученика контролне групе као веома лака и лака. Више ученика E<sub>1</sub> групе него ученика друге две групе је питања оценили као ни лака ни тешка. Више ученика E<sub>2</sub> групе него ученика друге две групе је питања оценили као лака. Више ученика контролне групе него ученика друге две групе је питања оценили као веома тешка. На основу добијеног може се увидети да су ученици експерименталних група перципирани мање оптерећење него ученици контролне групе.

Добијене вредности показују да није потврђена полазна претпоставка да постоји статистички значајан утицај перципираног когнитивног оптерећења и примењеног наставног метода на удео тачних одговора за когнитивни ниво знање.

За когнитивни ниво схватање, мултифакторски тестови су показали да наставни метод  $F(2, 1308) = 6,138$ ,  $p = 0,002$  и перципирано когнитивно оптерећење  $F(4, 1308) = 5,872$ ,  $p = 0,000$  имају статистички значајан утицај на удео тачних одговора за когнитивни ниво схватање (хистограм 25).



Хистограм бр. 25 – Перципирано оптерећење ученика који су тачно одговорили на питања финалног теста на когнитивном нивоу схватање

Око 14% ученика контролне групе који су тачно одговорили, питања су оценили као веома лака, око 12% као лака, око 28% као ни лако ни тешко, 22% као тешка и око 23% као веома тешко.

Око 9% ученика експерименталне групе  $E_1$  који су тачно одговорили питања су оценили као веома лака, 17% као лака, око 47% као ни лако ни тешка, око 22% као тешка и свега око 4% као веома тешка.

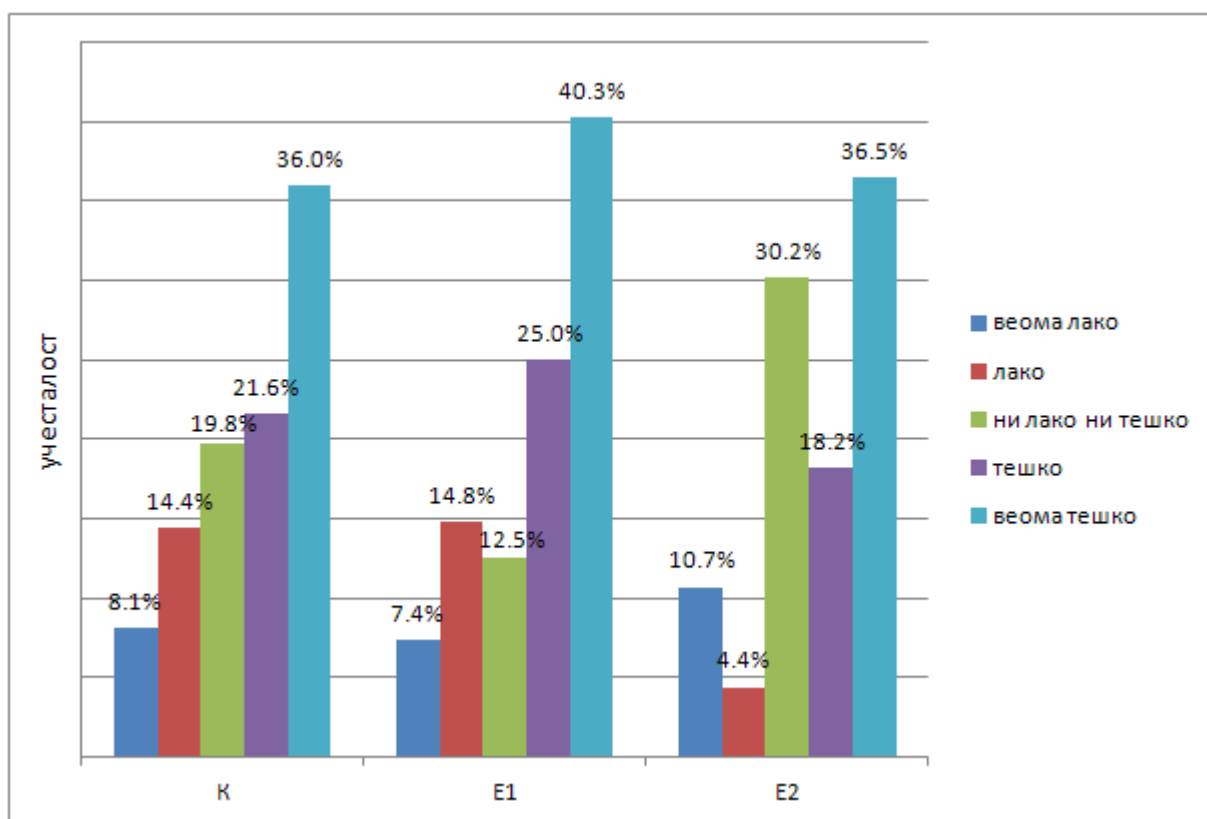
Око 12% ученика експерименталне групе  $E_2$  који су тачно одговорили питања су оценили као веома лака, око 16% као лака, око 37% као ни лако ни тешка, око 21% као тешка и око 14% као веома тешка.

Значи, више ученика  $E_1$  групе него ученика друге две групе је питање оценило ни лако ни тешко, док је више ученика контролне групе него ученика друге две групе је питање оценило као веома тешко. На основу добијеног може се увидети да су ученици  $E_1$  групе

перципирани мање оптерећење него ученици друге две групе за питања на когнитивном нивоу схватање.

Добијене вредности показују да је потврђена полазна претпоставка да постоји статистички значајан утицај перципираног когнитивног оптерећења и примењеног наставног метода на удео тачних одговора за когнитивни ниво схватање.

За когнитивни ниво примена, мултифакторски тестови су показали да наставни метод  $F(2, 1119) = 6,558$ ,  $p = 0,001$  и перципирано когнитивно оптерећење  $F(4, 1119) = 6,012$ ,  $p = 0,000$  имају статистички значајан утицај на удео тачних одговора за когнитивни ниво примена (хистограм 26).



Хистограм бр. 26 – Перципирано оптерећење ученика који су тачно одговорили на питања финалног теста на когнитивном нивоу примена

Око 8% ученика контролне групе који су тачно одговорили, питања су оценили као веома лака, око 14% као лака, око 20% као ни лака ни тешка, око 22% као тешка и 36% као веома тешка.

Око 7% ученика експерименталне групе  $E_1$  који су тачно одговорили, питања су оценили као веома лака, око 15% као лака, око 12% као ни лака ни тешка, 25% као тешка и око 40% као веома тешка.

Око 11% ученика експерименталне групе  $E_2$  који су тачно одговорили питања су оценили као веома лака, око 4% као лака, око 30% као ни лака ни тешка, око 18% као тешка и око 37% као веома тешка.

Више ученика  $E_1$  групе него ученика друге две групе је питање оценило тешка и веома тешка. Више ученика  $E_2$  групе него ученика друге две групе је питање оценило као веома лака и ни лака ни тешка. На основу добијеног може се увидети да су ученици  $E_2$  групе перципирали најмање оптерећење, потом ученици контролне групе и на крају ученици  $E_1$  групе. Добијен је занимљив податак да ученици који су експериментално проверавали физичке законитости су уложили веће когнитивно оптерећење да би тачно одговорили на постављена питања него ученици друге две групе. Један од начина објашњења овог резултата јесте да се у образовном систему у Србији углавном од ученика тражи да поседују чињенично знање. Када ученик приступи извођењу експеримента уочава се одређена бојазност. Не коришћење експеримента у наставном процесу који јасно симулира физичку појаву негативно се утиче на развијање критичком мишљења код ученика.

Добијене вредности показују да је потврђена полазна претпоставка да постоји статистички значајан утицај перципираног когнитивног оптерећења и примењеног наставног метода на удео тачних одговора за когнитивни ниво примена.

Да би се одредила ефикасност примененог наставног метода искористићен је Пасов метод израчунавања ефикасности.



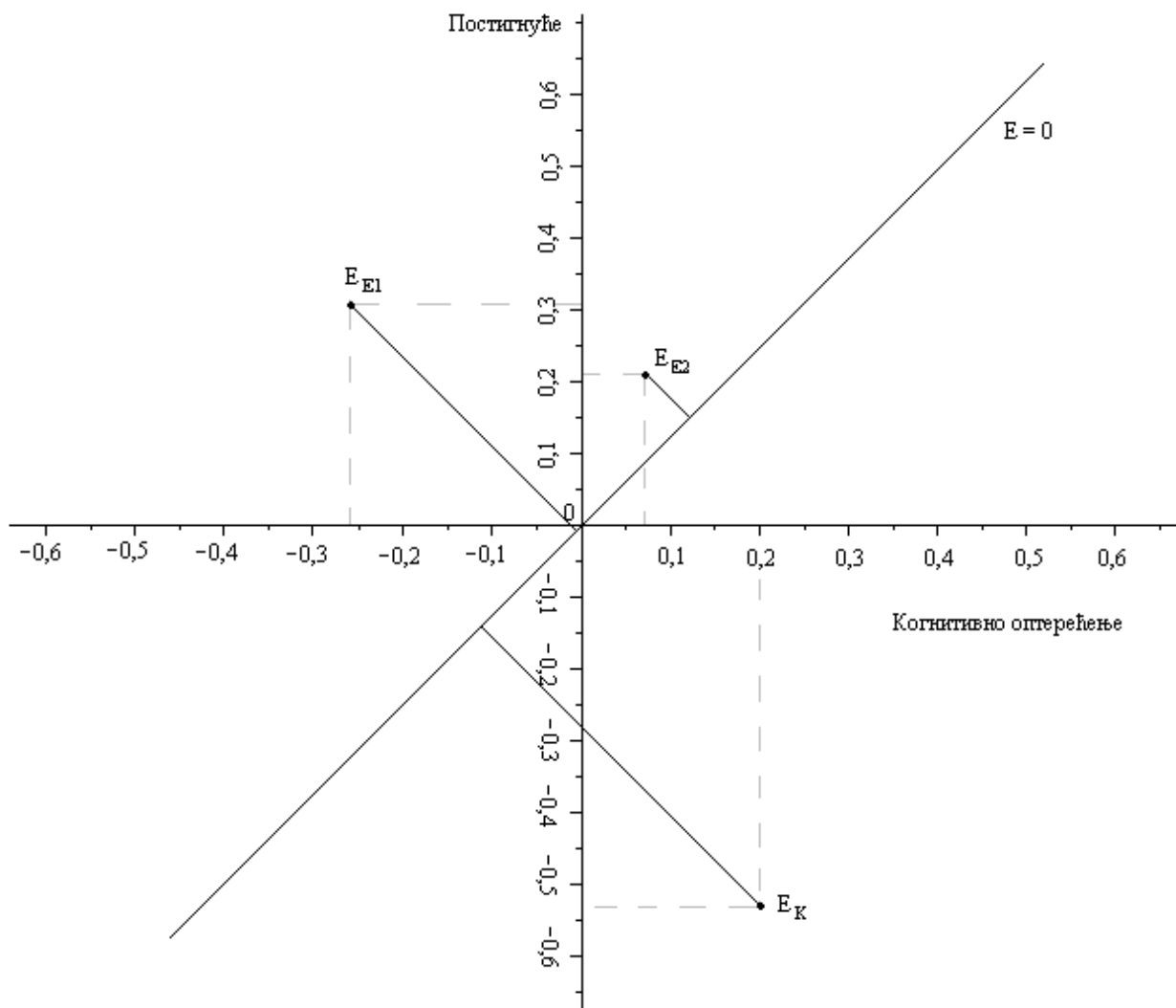


График 6 – Графичко одређивање ефикасности наставних метода

На основу добијених вредности стандардизованих перформанси и перципираних когнитивних оптерећења графички се може одредити ефикасност наставних инструкција. За контролну групу добијено је да је стандардизована вредност оптерећења 0,20, а стандардизована вредност перформанси -0,53. Добијена тачка се налази у доњем десном квадранту и окарактерисана је са ниском вредношћу стандардизоване перформансе и релативно високом вредношћу стандардизованог оптерећења. Ефикасност традиционалне наставне методе за коју је карактеристична добијена тачка износи  $E_K = -0,52$ . Стандардизована вредност оптерећења за експерименталну групу  $E_1$  износи -0,26, а стандардизована вредност перформанси износи 0,31. Тачка окарактерисана овим координатама се налази у горњем левом квадранту и окарактерисана је релативно високом вредношћу перформанси и малим оптерећењем. На основу добијених вредности показало се да је ефикасност методе коришћења експеримента у настави физике износи  $E_{E1} = 0,40$ . Стандардизована вредност оптерећења за експерименталну групу  $E_2$  износи 0,07, а стандардизована вредност перформанси износи 0,21. Тачка окарактерисана овим

координатама се налази у горњем десном квадранту и окарактерисана је релативно високом вредношћу перформанси и малим оптерећењем. Ефикасност традиционалне наставне методе за коју је карактеристична добијена тачка износи  $E_{E2} = 0,10$ .

Добијене вредности показују да је наставни метод коришћења експеримента у настави физике ефикаснији од друга два испитивана наставна метода. Такође, добијено је да је мултимедијални метод ефикаснији од традиционалног метода.

Сумирањем добијених резултата може се закључити да за наставну област *Особине течности* ефикаснији наставни метод је онај који у себи садржи експерименте јер проузкорује мање когнитивно оптерећење него мултимедијални или традиционални метод. Добијени сумарни налаз је од користи наставницима физике јер даје конкретне резултате утицаја одређеног наставног метода. Но, поред коришћења одговарајућих наставних метода потребно је и променити образовни систем ка стицању функционалног знања. Уколико се позовемо на цитат Џорџа Пикеринга „Можда је образовање данас најважнији светски проблем: ваљано употребљено, оно ће дати боље друштво, а у супротном може да нас уништи.“ добијени налаз и целокупно истраживање значајно добија на тежини.

Процес учења у учионици и његове основне карактеристике су фокус методично - дидактичких наука. Наставни садржај и начин његовог презентовања је посебно важан због чињенице да се развој науке делом огледа и у избору и начину презентовања нових научних достигнућа. Учењем актуелних достигнућа померају се границе науке упућивањем ученика на неке за сада не решене проблеме. На основу само тога важно је применити такав наставни метод који ће, у што већој мери је то могуће, остварити да се информације које ученици приме, обраде и повежу са претходно усвојеним и „складиште“ у дуготрајну меморију. Ученике је неопходно припремити да су у могућности да решавају проблемске ситуације. Најчешће решевање проблемских ситуација захтева познавање и повезивање разних наука. У овом раду је дат један пример интердисциплинарности. Повезана су знања из хемије, механике и механике флуида.

## 5. Закључак

Преплитање науке, технике и технологије се осети у свим сферама ученичког живота. Увођење нових техничко-технолошких достигнућа у наставу може негативно утицати на квантум знања ученика. Стога је важно испитати како одређени наставни метод утиче на ученика што је био циљ овог рада. Правац развоја методике наставе физике усмерен је ка испитивању наставних метода које могу допринети бољем поимању, мањем когнитивном оптерећењу ученика и које ће подићи свест о сопственом знању. Стога, нове смернице у конципирању наставе физике су усмерене ка испитивању когнитивног оптерећења ученика. У правцу тих смерница је конципиран и овај рад.

Резултати истраживања су подељени у три целине.

- Прва целина се односи на постигнуће ученика на тестовима знања, где су представљени резултати постигнућа ученика на иницијалном и финалном тесту. Резултати истраживања су показали да су ученици све три групе освојили готово исто постигнуће на иницијалном тесту чиме су се групе сматрале уједначеним. Након извођења педагошког експеримента са паралелним групама, применом једнофакторске анализе варијансе показано је да постоји статистички значајна разлика између група  $p < 0,05$ . Применом Такијевог HSD теста показано је да се средња вредност постигнућа ученика контролне групе на финалном тесту значајно разликује од средње вредности постигнућа ученика експерименталних група  $E_1$  и  $E_2$ . Такође је добијено да се средња вредност постигнућа ученика експерименталне групе  $E_1$  значајно разликује од средње вредности постигнућа ученика контролне групе, али не и од постигнућа ученика експерименталне групе  $E_2$ . Односно, добијено је да важи и супротно да се средња вредност постигнућа ученика експерименталне групе  $E_2$  значајно разликује од средње вредности постигнућа ученика контролне групе, али не и од постигнућа ученика експерименталне групе  $E_1$ . Вилкоксон тест ранга показао је статистички значајно повећање у постигнућу ученика на тестовима знања у односу на примењен наставни метод. Мерењем величине утицаја наставног метода, добијено да је  $r = 0,38$  што би означавао средњи утицај. Мултифакторски тестови су показали статистички значајан утицај наставног метода на постигнуће ученика на финалном тесту, док утицај пола испитаника није достигао статистичку значајност.
- У оквиру друге целине испитано је когнитивно оптерећење ученика за три испитиване групе ученика, као и утицај пола испитаника на перцепцију когнитивног оптерећења. Применом анализе варијансе је одређено перципирано когнитивно оптерећење за све три групе ученика. Такође, овом анализом је утврђено да постоји статистички значајна разлика на нивоу  $p < 0,05$  перципираног когнитивног оптерећења три наставна метода. Такијев тест је показао да се средња вредност перципираног когнитивног оптерећења ученика контролне групе и средња вредности перципираног когнитивног оптерећења ученика експерименталне групе  $E_1$  значајно разликују. Такође је добијено да се средња

вредност перципираног когнитивног оптерећења ученика експерименталне група  $E_2$  разликује значајно и од контролне групе и од експерименталне групе  $E_1$ . Значи, резултати истраживања су показали да су најмање когнитивно оптерећење перципирани ученици експерименталне групе  $E_1$ , нешто веће когнитивно оптерећење су исказали ученици експерименталне групе  $E_2$ , а ученици контролне групе су исказали највеће когнитивно оптерећење. У оквиру ове целине мултифакторским тестовима је испитан утицај пола испитаника на перцепцију когнитивног оптерећења. Резултати су показали да постоји статистички значајан утицај наставног метода на перципирано когнитивно оптерећење, док утицај пола испитаника није достигао статистичку значајност.

- У оквиру треће целине испитан је утицај перцепције когнитивног оптерећења на постигнуће ученика на финалном тесту. Мултифакторски тестови су показали статистички значајан утицај перципираног когнитивног оптерећења и наставног метода на постигнуће ученика на финалном тесту. Добијено је да су ученици који су остварили боље резултате на финалном тесту перципирани мање когнитивно оптерећење него ученици са лошијим резултатима, за све три групе. У оквиру овог дела примењени су и мултифакторски тестови за одређивање утицаја наставног метода и перципираног когнитивног оптерећења на удео тачних одговора за сва питања финалног теста, као и за три примењена когнитивна нивоа. За когнитивни ниво знање, мултифакторски тестови су показали да наставни метод и перципирано когнитивно оптерећење нису остварили статистички значајан утицај на удео тачних одговора. За когнитивни ниво схватање, мултифакторски тестови су показали да наставни метод и перципирано когнитивно оптерећење имају статистички значајан утицај на удео тачних одговора. За когнитивни ниво примена, мултифакторски тестови су показали да наставни метод и перципирано когнитивно оптерећење имају статистички значајан утицај на удео тачних одговора. У оквиру овог дела је одређена ефикасност наставних инструкција. Добијено је да је ефикасност примене традиционалне наставне методе  $E_K = 0,52$ , ефикасност примене методе коришћења експеримента  $E = -0,40$ , а ефикасност примене мултимедијалне методе  $E = -0,10$ . Овим је показано да је највећа ефикасност постигнута код методе коришћења експеримента у настави физике.

Одређивањем когнитивног оптерећења упућује се на јасније оцењивање ефикасности неког наставног метода. Додатно, непотребно, улагање менталног напора приликом савлађивања наставног градива отежава ученицима боље поимање и разумевање узрочно-последичних веза међу појавама које се изучавају. Бољим разумевањем узрочно-последичних веза међу физичким појавама и повезивањем са претходно усвојеним појмовима, изучавани појмови се „складиште“ у дуготрајну меморију одакле могу бити „позивани“ и примењивани у различитим проблемским ситуацијама. Стога, резултати овог рада су првенствено од велике користи наставницима јер дају потпунији увид у ефикасност наставног метода. Наставници ће, на основу резултата овог рада бити у могућности да уоче ефекте испитивана три најчешће примењивана наставна метода у настави физике у Републици Србији.

Истраживање је значајно јер даје објективну слику и смернице развоја средњошколског образовања са посебним акцентом на когнитивно оптерећење.

## 6. Литература

1. Alkhalifa, E. M. (2005) Effects Of The Cognitive Level Of Thought On Learning Complex Material, *Educational Technology & Society*, 8 (2), 40-53
2. Angell, C., Guttersrud, Ø., Henriksen, E. K., Isnes, A. (2004) Physics: Frightful, But Fun - Pupils' and Teachers' Views of Physics and Physics Teaching, *Science Education*, Vol. 88, Issue 5, pp. 683–706
3. Angeli, C., Valanides, N., Cognitive Load Imposed By Integrating Information And Communication Technology In A Technology In A Teacher Education Course, [http://www.modelab.ufes.br/xioste/papers/xioste\\_paper009.pdf](http://www.modelab.ufes.br/xioste/papers/xioste_paper009.pdf)
4. Ayres P. (2006) Using subjective measures to detect variations of intrinsic cognitive load within problems, *Learning and Instruction*, Vol. 16, pp. 389-400
5. Бабић, Е. (2012) *Дигитална видео анализа у настави физике*, дипломски рад, Универзитет у Сарајеву, Природно-математички факултет, Одсек за физику
6. Baddeley, A. D., Hitch, G. (1974) Working memory. In G. H. Bower (Ed.), *The psychology of learning and motivation: Advances in research and theory*, New York: Academic Press, pp. 47–89
7. Bannert, M. (2002) Managing cognitive load-recent trends in cognitive load theory, *Learning and Instruction*, 12, 139–146
8. Barrett H. C., Frederick D. A., Haselton M. G., Kurzban R. (2006), Can Manipulations Of Cognitive Load Be Used To Test Evolutionary Hypotheses?, *Journal Of Personality And Social Psychology* Vol. 91, No. 3, 513–518
9. Beers, P., Boshuizen, H., Kirschner, P. A., Gijsselaers, W., Westendorp, J. (2008) Cognitive load measurements and stimulated recall interviews for studying the effects of information and communications technology, *Educational Technology Research and Development*, 56, 309–328
10. Bloom, B. S. (1981), *Taksonomija ili klasifikacija obrazovnih ili odgovornih ciljeva*, Republički zavod za unapređivanje vaspitanja i obrazovanja, Beograd
11. Brüken, R., Plass, J. L., Leutner, D. (2003) Direct measurement of cognitive load in multimedia learning, *Educational Psychologist*, 38, 53–62

12. Brünken R., Steinbacher S., Plass J. L., Leutner D. (2002), Assessment Of Cognitive Load In Multimedia Learning Using Dual-Task Methodology, *Experimental Psychology* Vol. 49(2), 109-119
13. Buick J. M. (2010), Physics Assessment And The Development Of A Taxonomy, *European J Of Physics Ed.*, Vol. 2, No. 1, 12-27
14. Букуров М. (2006), *Механика флуида*, скрипта, Факултет техничких наука, Нови Сад
15. Carterette E., Friedrnan M. (1996), *Perceptual and Cognitive Development*, Handbook of perception and cognition 2nd Edition, Academic Press, INC.
16. Чалуковић, Н. (2011) *Физика 2, за други разред математичке гимназије*, Круг, Београд
17. Чалуковић, Н., Каделбург, Н. (2009) *Физика 2: збирка задатака и тестова за други разред гимназије*, Круг, Београд
18. Chandler, P., Sweller, J. (1991) Cognitive load theory and the format of instruction, *Cognition and Instruction*, 8, 293–332
19. Chandler, P., Sweller, J. (1996) Cognitive load while learning to use a computer program, *Applied Cognitive Psychology*, 10, 151–170
20. Checkley, D. (2010) Thesis, *High School Students' Perceptions Of Physics*, Faculty Of Education, Lethbridge, Alberta
21. Chi M. T. H., Feltovich P. J., Glaser R. (1981), Categorization And Representation Of Physics Problem By Experts And Novices, *Cognitive Science* 5, 121-152
22. Choi, H. H., van Merriënboer, J., Paas F. (2014) Effects of the Physical Environment on Cognitive Load and Learning: Towards a New Model of Cognitive Load, *Educ Psychol Rev*, Vol. 26, pp. 225–244
23. Clark D., Jorde D. (2004), Helping Students Revise Disruptive Experientially Supported Ideas About Thermodynamics: Computer Visualizations And Tactile Models, *Journal Of Research In Science Teaching* Vol. 41, No. 1, pp. 1–23
24. Cooper, G. (1998). Research into cognitive load theory and instructional design at UNSW. From <http://dwb4.unl.edu/Diss/Cooper/UNSW.htm> (13.08.2012.)
25. Cooper, G., Tindall-Ford, S., Chandler, P., Sweller, J. (2001) Learning by imagining, *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 7, 68–82
26. Craig, S. D., Gholson, B., Driscoll, D. M. (2002) Animated pedagogical agents in multimedia educational environments: Effects of agent properties, picture features and redundancy, *Journal of Educational Psychology*, 94, 428–434
27. de Jong, T. (2010) Cognitive load theory, educational research, and instructional design: some food for thought, *Instr Sci*, 38, 105-134

28. de Waard, D. (1996) *The Measurement of Drivers' Mental Workload*, The Traffic Research Centre VSC, University of Groningen, The Netherlands
29. Dickey M. D. (2007), Barriers And Enablers In Integrating Cognitive Apprenticeship Methods In A Web-Based Educational Technology Course For K–12 (Primary And Secondary) Teacher Education, *ALT-J, Research In Learning Technology*, Vol. 15, No. 2, pp. 119–130
30. Dong-Hai Nguyen, N. Sanjay Rebello (2011), Students' Understanding And Application Of The Area Under The Curve Concept In Physics Problems, *Physical Review Special Topics - Physics Education Research* 7, 010112, 1-17str
31. Doshier, B. (2003) Working memory. In *Encyclopedia of cognitive science*, New York: Wiley, Vol. 4, pp. 569–577
32. Erland Burkes K. M. (2007), Dissertation, Applying Cognitive Load Theory To The Design Of Online Learning, University Of North Texas
33. Etkina E. (2001), Can The Learning Of Physics Mirror The Doing Of Physics?, AAPT Winter Meeting, San Diego
34. Etkina E., Van Heuvelen A., Karelina A., Ruibal-Villasenor M., Rosengrant D., (2007) Spending Time On Design: Does It Hurt Physics Learning? *Physics Education Research Conference*, Vol. 951, pp. 88-91
35. Eysenck M. W., Keane M. (2000) *Cognitive Psychology A Student's Handbook*, Fourth Edition, Psychology Press Ltd
36. Garton A. F. (2004) *Exploring Cognitive Development: The Child As Problem Solver*, Blackwell Publishing Ltd, 1-157
37. Gajić O., Markov S., Radulović B., Stojanović M. (2012): The Analysis of Students' Opinions on the Role of Knowledge Tests in Higher Education, *The New Educational Review*, Vol. 30, No. 4, 114-125
38. Gerace, W. J., Beatty, I. D. (2005), Teaching Vs. Learning: Changing Perspectives On Problem Solving In Physics Instruction, *Proceedings Of The 9th Common Conference Of The Cyprus Physics Association And Greek Physics Association: Developments And Perspectives In Physics—New Technologies And Teaching Of Science* (Invited), Nicosia, Cyprus, 1-10str
39. Gerjets, P., Scheiter, K. (2003) Goal configurations and processing strategies as moderators between instructional design and cognitive load: Evidence from hypertext-based instruction, *Educational Psychologist*, 38, 33–42
40. Gibbs, G. (1999): Using assessment strategically to change the way students learn, in S. Brown and A. Glasner, *Assessment Matters in Higher Education: Choosing and Using Diverse Approaches*, Buckingham: Society for Research into Higher Education/Open University Press, pp. 507-513

41. Гојков, Г (2003) *Документологија*, Виша школа за образовање васпитача, Вршац
42. Gow, L., Kember, D. (1993): Conceptions of teaching and their relation to student learning, *British Journal of Educational Psychology*, 63, 20–33
43. Guld Landi Ketlin (2007) *Zainteresujte đake za učenje: 50 primera dobre nastavne prakse*, Kreativni centar, Beograd
44. Haapalainen E., Kim S., Forlizzi J. F., Dey A. K. (2010), Psycho-Physiological Measures For Assessing Cognitive Load, *Ubicomp '10*, Copenhagen, Denmark, 301-310
45. [http://www.cs.cmu.edu/~sjunikim/download/ubicomp2010\\_cogload1.pdf](http://www.cs.cmu.edu/~sjunikim/download/ubicomp2010_cogload1.pdf) (30.06.2012.)
46. Hake R. R. (1998), Interactive-Engagement Vs Traditional Methods: A Six-Thousandstudent Survey Of Mechanics Test Data For Introductory Physics Courses, *American Journal Of Physics* V66 P64-74 <http://serc.carleton.edu/resources/1310.html> (30.06.2012.)
47. Hanock, P., Meshkati, N. (1988) *Human Mental Workload*, Amsterdam: North-Holland
48. Harrison D. M., Morris S. W., Innovative Teaching Techniques And U.S.-Developed Materials, <http://www.upscale.utoronto.ca/pvb/harrison/comparecanusstudents/comparingcanadausstudents.pdf> (30.06.2012.)
49. Heller K., Teaching Introductory Physics Through Problem Solving <http://groups.physics.umn.edu/phised/talks/maine%2002.pdf> (30.06.2012.)
50. Hmelo-Silver C. E., Duncan R.G., Chinn C.A. (2007) Scaffolding and Achievement in Problem-Based and Inquiry Learning: A Response to Kirschner, Sweller and Clark (2006), *Educational psychologist*, Vol. 42, No. 2, pp. 99-107
51. Homer, B. D., Plass, J. L. (2010) Expertise reversal for iconic representations in science visualizations, *Instr Sci* (2010) 38:259–276
52. Huk, T. (2006) Who benefits from learning with 3D models? The case of spatial ability, *Journal of Computer Assisted Learning*, 22, 392–404
53. Huang, W., Eades, P., Hong, S.H. (2009) Measuring Effectiveness of Graph Visualizations: A Cognitive Load Perspective, *Information Visualization*, Vol. 8, No. 3, pp. 139-152
54. Ibeh G.F, Onah D.U, Umahi A.E, Ugwuonah F.C, Nnachi N.O, Ekpe J.E. (2013) Strategies to Improve Attitude of Secondary School Students towards Physics for Sustainable Technological Development in Abakaliki L.G.A, Ebonyi-Nigeria, *Journal of Sustainable Development Studies*, Vol. 3, No. 2, 2013, 127-135
55. Iqbal H. M. (1997) Dissertation, *A Study On The Effectiveness Of Intervention Methodology On The Cognitive Development Of Science Students*, The University Of The Punjab, Lahore, Pakistan
56. Iyad Zayour (2011) Thesis, *Reverse Engineering: A Cognitive Approach, A Case Study And A Tool*, Presented To The Faculty Of Graduate And Postdoctoral Studies, Ottawa-Carleton



Institute For Computer Science, University Of Ottawa, Ottawa, Ontario, K1N 6N5, Canada,  
From

<http://www.site.uottawa.ca/~tcl/gradtheses/izayour/izayourthesis.pdf> (30.06.2012.)

57. Jackson J., Dukerich L., Hestenes D. (2008) Modeling Instruction: An Effective Model For Science Education, *Science Educator* Vol. 17, No. 1, 10-17
58. Jarrett L., Ferry B. (2009), Adding Value To Physics Labs To Help Build Confident, Knowledgeable Teachers, *Uniserve Science Proceedings, Motivating Science Undergraduates: Ideas And Interventions*, 160-166
59. Jarrett L., Takacs G., Ferry B. (2010), Adding Value To Physics Laboratories For Preservice Teachers, *International Journal Of Innovation In Science And Mathematics Education* 18 (1) 26-42
60. Kalyuga S. (2006) Rapid Cognitive Assessment Of Learners' Knowledge Structures, *Learning And Instruction* 16 1-11
61. Kalyuga (2008) *Managing Cognitive Load in Adaptive Multimedia Learning*, Information Science reference, Hershey, New York
62. Kalyuga S. (2009/a) *Cognitive Load Factors In Instructional Design For Advanced Learners*, Nova Science, Inc., New York
63. Kalyuga S. (2009/b) Knowledge Elaboration: A Cognitive Load Perspective, *Learning And Instruction* 19, 402-410
64. Квашчев Р. (1978), *Моделирање процеса учења*, Институт за педагошка истраживања, Београд
65. Kester L., Kirschner P. A., Jeroen J. G. Van Merriënboer(2005), The Management Of Cognitive Load During Complex Cognitive Skill Acquisition By Means Of Computer-Simulated Problem Solving, *British Journal Of Educational Psychology* 75, 71–85
66. Kirschner, P. A. (2002) Cognitive load theory: Implications of cognitive load theory on the design of learning, *Learning and Instruction*, 12, 1–10
67. Kirschner, P. A., Sweller, J., Clark, R. E. (2006) Why minimally guided instruction does not work, *Educational Psychologist*, 41, 75–86
68. Кнежевић Љ. (1995) Дизертација: *Валидација таксономије у настави природе и друштва*, Филозофски факултет, Универзитет у Новом Саду
69. Костић А. (2006) *Когнитивна психологија*, Завод за уџбенике и насравна средства, Београд
70. Krathwohl D. R. (2002), A Revision Of Bloom's Taxonomy: An Overview, *Theory Into Practice*, Volume 41, Number 4, 212-264  
[http://www.unco.edu/cetl/sir/stating\\_outcome/documents/krathwohl.pdf](http://www.unco.edu/cetl/sir/stating_outcome/documents/krathwohl.pdf) (30.06.2012.)

71. Крсник, Р. (2008), *Сувремене идеје у методици наставе физике*, Школска књига, Загреб
72. Lappi, O. (2007) Conceptual Change In Cognitive Science Education Towards Understanding And Supporting Multidisciplinary Learning, *Proceedings Of The European Cognitive Science Conference*, 149-154
73. Lee, H., Plass, J.L., Homer, B. D. (2006) Optimizing Cognitive Load for Learning From Computer-Based Science Simulations, *Journal of Educational Psychology*, Vol. 98, No. 4, 902–913
74. Mahmood M. K. (2004), Dissertation, A Comparison Of Traditional Method And Computer Assisted Instruction On Students Achievement In General Science, Institute Of Education And Research, University Of The Punjab, Lahore, Pakistan
75. Marcus, N., Cooper, M., Sweller, J. (1996) Understanding instructions, *Journal of Educational Psychology*, 88, 49–63
76. Mateljan V., Širanović Ž., Šimović V. (2009), Prijedlog Modela Za Oblikovanje Multimedijских Web Nastavnih Sadržaja Prema Pedagoškoj Praksi U RH, *Informatologia* 42, 1, 38–44
77. Mayer R. E. (2001) *Multimedia learning*, Cambridge University Press, New York
78. Mayer R. E., Moreno R. (2003) Nine Ways To Reduce Cognitive Load In Multimedia Learning, *Educational Psychologist*, 38(1), 43–52
79. Mayer, R. E., Heiser, J., Lonn, S. (2001) Cognitive constraints on multimedia learning: When presenting more material results in less understanding, *Journal of Educational Psychology*, 93, 187–198
80. Mcnamara D. S. (2006), Bringing Cognitive Science Into Education, And Back Again: The Value Of Interdisciplinary Research, *Cognitive Science* 30, 1–4
81. Mccaskey T. L. (2009), Dissertation, Comparing And Contrasting Different Methods For Probing Student Epistemology And Epistemological Development In Introductory Physics, The University Of Maryland
82. Mendelson A. L. (2004) For Whom is a Picture Worth a Thousand Words? Effects of the Visualizing Cognitive Style and Attention on Processing of News Photos, *Journal of Visual Literacy*, Vol. 24, No. 1, 1-22
83. Miller, G. A. (1956) The magical number seven, plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information, *The Psychological Review*, 63, 81–97
84. Molefe N.P.J., Lemmer M., Smit J.J.A (2005), Comparison Of The Learning Effectiveness Of Computer-Based And Conventional Experiments In Science Education, *South African Journal Of Education*, EASA, Vol 25(1) 50–55
85. Muller D. A., Sharma M. D., Reimann P. (2008) Raising Cognitive Load With Linear Multimedia To Promote Conceptual Change, Wiley Periodicals, Inc. *Sci Ed* 92, 278 – 296

86. Muller D. A. (2008) Thesis *Designing Effective Multimedia For Physics Education*, University Of Sydney, Australia
87. Obadović, D., Rančić, I., Cvjetičanin, S., Segedinac, M. (2013) The Impact of Implementation of Simple Experiments on the Pupils' Positive Attitude in Learning Science Contents in Primary School, *The New Educational Review*, Vol. 34, No. 4, pp. 138-150
88. Obadović, D. (2003) Potreba za uvođenjem novog smera na fakultetima prirodnih nauka. *Zbornik predavanja sa Republičkog seminara iz fizike za nastavnike osnovnih i srednjih škola*, pp. 112-116
89. Obadović, D. (2005) Radionica za eksperimente tipa "Uradi sam", *Zbornik predavanja sa Republičkog seminara iz fizike za nastavnike osnovnih i srednjih škola*, pp. 169-174
90. Olusola, Olasimbo O., Rotimi, C.O. (2012) Attitudes of Students towards the Study of Physics in College of Education Ikere Ekiti, Ekiti State, Nigeria, *American International Journal of Contemporary Research*, Vol. 2 No. 12, pp. 86-89
91. Osborne, J., Simon, S., Collins, S. (2003) Attitudes towards science: a review of the literature and its implications, *International Journal of Science Education*, Vol. 25, No. 9, pp.1049–1079
92. Otero V. K. (2003), Cognitive Processes And The Learning Of Physics Part I: The Evolution Of Knowledge From A Vygotskian Perspective, *Proceedings Of The International School Of Physics "Enrico Fermi"*, Varenna, Italy, 1-32
93. Parveen Q. (2010), Thesis A Comparison Of The Effectiveness Of Use Of Transmitter Of Knowledge And Inductive Inquiry Models On Students Academic Achievement, Department Of Education, Faculty Of Social Sciences, International Islamic University, Islamabad, Pakistan
94. Paas F., Renkl A., Sweller J. (2004) Cognitive load theory: Instructional implications of the interaction between information structures and cognitive architecture, *Instructional Science*, Vol. 32, pp. 1-8
95. Paas F., Van Merriënboer J. (1993) The Efficiency of Instructional Conditions: An Approach to Combine Mental Effort and Performance Measures, *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, Vol. 35. No. 4, pp. 737-743
96. Paas F., Tuovinen J.E., Tabbers H., van Gerven P.W.M. (2003) Cognitive load measurement as a means to advance cognitive load theory, *Educational Psychologist*, Vol. 38, No. 1, pp. 63-71
97. Paas, F., Tuovinen, J., van Merriënboer, J. J. G., & Darabi, A. (2005). A motivational perspective on the relation between mental effort and performance: Optimizing learner involvement in instruction. *Educational Technology, Research and Development*, Vol. 53, pp. 25-34

98. Plass J.L., Moreno R., Brünken R. (2010) *Cognitive load Theory*, Cambridge University Press
99. Peterson L.R., Peterson M.J. (1959) Short-term retention of individual verbal items, *Journal of Experimental Psychology*, Vol. 58, pp. 193-198
100. Peterson L.R., Peterson M.J., Miller A. (1961) Short-term retention meaningfulness, *Canadian Journal of Psychology*, Vol. 15, pp. 143-147
101. Pollock, E., Chandler, J., Sweller, J. (2002) Assimilating complex information, *Learning and Instruction*, Vol. 12, pp. 61– 86
102. Quiroga L. M., Crosby M. E., Iding M. K. (2004) Reducing Cognitive Load, *Proceedings Of The 37th Hawaii International Conference On System Sciences*, 1-9
103. Распоповић, М., Божин, С., Даниловић, Е. (1996) *Физика за други разред гимназије*, Завод за уџбенике и наставна средства, Београд
104. Ранчић, И., Радуловић, Б. (2011) Систем природних наука у Француској, Немачкој и Србији у обавезном образовању, семинарски рад, Универзитет у Новом Саду, Природно-математички факултет, Департман за физику, стр. 1-62
105. Redish E. F. (1994) The Implications Of Cognitive Studies For Teaching Physics, *American Journal Of Physics* 62(6), 796-803
106. Renkl, A., Gruber, H., Weber, S., Lerche, T., Schweizer, K. (2003) Cognitive load during learning from worked-out examples, *Zeitschrift Fur Pädagogische Psychologie*, 17, 93–101
107. Ross B. H. (2007) Cognitive Science: Problem Solving And Learning For Physics Education, *Physics Education Research Conference* Volume 951; AIP Conf. Proc., Pp. 11-14
108. Rowlands M. (1999) *The Body In Mind, Understanding Cognitive Processes*, The University Of Cambridge, United Kingdom
109. Russ R. S. (2006), Dissertation, A Framework For Recognizing Mechanistic Reasoning In Student Scientific Inquiry, Submitted To The Faculty Of The Graduate School Of The University Of Maryland
110. Safdar M. (2007) Dissertation, A Comparative Study Of Ausubelian And Traditional Methods Of Teaching Physics At Secondary School Level In Pakistan, Faculty Of Advanced Integrated Studies And Research, National University Of Modern Languages, Islamabad
111. Sparling, E. Isaac G., Shilad S. (2010) "Cognitive Load Of Rating Scales", *Honors Projects*, Paper 17, 1-42
112. Schnotz, W., Kürschner, C. (2007) A reconsideration of Cognitive Load Theory, *Educ Psychol Rev*, 19, pp. 469-508
113. Sears F. W. (1962) *Mehanika, talasno kretanje i toplota*, Naučna knjiga, Београд

114. Sibley C., Roberts D. M., Coyne J. T., Baldwin C., Cole A., Applying Real Time Physiological Measures Of Cognitive Load To Improve Training, <http://archlab.gmu.edu/people/cbaldwi4/hcii-paper%28exp1to3%29.pdf> (24.01.2013.)
115. Sherin B. L. (2001) How Students Understand Physics Equations, *Cognition And Instruction*, 19(4), 479–541, Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
116. Stefan, M., Ciomoş, F. (2010) The 8th And 9th Grades Students' Attitude Towards Teaching And Learning Physics, *Acta Didactica Napocensia*, Vol. 3, No. 3, pp. 7-14
117. Sweller J. (1989) Cognitive Technology: Some Procedures For Facilitating Learning And Problem Solving In Mathematics And Science, *Journal Of Educational Psychology* Vol. 81, No. 4, 457-466
118. Sweller, J. (1988) Cognitive load during problem solving: Effects on learning, *Cognitive Science*, 12, 257–285
119. Sweller, J. (1994) Cognitive load theory, learning difficulty, and instructional design, *Learning and Instruction*, 4, 295–312
120. Sweller, J., Chandler, P. (1994) Why some material is difficult to learn, *Cognition and Instruction*, 12, 185–233
121. Sweller, J. (2010) Element Interactivity and Intrinsic, Extraneous, and Germane Cognitive Load, *Educ Psychol Rev*, Vol. 22, pp.123–138
122. Sweller J., Ayres P., Kalyuga S. (2011) *Cognitive load theory*, Springer, New York
123. Taylor L. M. (2005) *Introducing Cognitive Development*, Psychology, In The Taylor & Francis E-Library
124. Teodorescu R., Bennhold C., Feldman G. (2008) Enhancing Cognitive Development Through Physics Problem Solving: A Taxonomy Of Introductory Physics Problems, *Physics Education Research Conference, Part Of The PER Conference Series*, Canada, Volume 1064, 203-206
125. Tindall-Ford, S., Chandler, P., Sweller, J. (1997) When two sensory modes are better than one, *Journal of Experimental Psychology: Applied*, Vol. 3, No. 4, pp. 257-287
126. Tracy J. P., Albers M. J. (2006), Measuring Cognitive Load To Test The Usability Of Web Sites, *Annual Conference- Society For Technical Communication*, Conf 53, 256-260 [http://www.stcsig.org/sn/pdf/tracy\\_measuring\\_cognitive\\_load.pdf](http://www.stcsig.org/sn/pdf/tracy_measuring_cognitive_load.pdf) (24.01.2013.)
127. Tulving, E. (1985) How many memory systems are there? *American Psychologist*, 40, 385-398
128. Tulving, E. (1983) *Elements of Episodic Memory*, London, Clarendon Press, Oxford University Press
129. van Merriënboer, J. J. G., Sweller, J. (2005) Cognitive load theory and complex learning: Recent developments and future directions, *Educational Psychology Review*, 17, 147–177

130. Wilson, B., Cole, P. (1991) A Review Of Cognitive Teaching Models, *Educational Technology Research And Development* 39 (4), 47-64.  
<http://carbon.ucdenver.edu/~bwilson/hndbkch.html> (24.01.2013.)
131. Williams, C., Stanisstreet, M., Spall, K., Boyes, E., Dickson, D. (2003) Why aren't secondary students interested in physics?, *Physics Education*, Vol. 38, No. 4, pp. 324-329
132. Wittrock M. C. (1974) Learning as a generative activity, *Educational Psychologist* 11, 87-95
133. Wittrock M. C. (1990) Generative processes of comprehension, *Educational Psychologist* 24, 345-376
134. Bloom's Taxonomy – “If You Want Better Answers, Ask Better Questions.”  
<http://www.foridahotteachers.org/file%20cabinet/bloom%27s%20taxonomy%20-%20asking%20good%20questions%20-%20novel%20study.pdf> (30.06.2012.)
135. Benjamin Bloom's Taxonomy Of Learning Domains - Cognitive, Affective, Psychomotor Domains - Design And Evaluation Toolkit For Training And Learning  
<http://www.businessballs.com/bloomstaxonomyoflearningdomains.htm> (30.06.2012.)
136. The Need For A Revision Of Bloom's Taxonomy  
[http://www.corwin.com/upm-data/13602\\_chapter\\_1\\_marzano\\_final\\_pdf\\_2.pdf](http://www.corwin.com/upm-data/13602_chapter_1_marzano_final_pdf_2.pdf) (30.06.2012.)
137. Applying Standards Based Constructivism: A Two-Step Guide For Motivating Students  
Marzano's Dimensions Of Thinking/Learning  
[http://www.learnercentered.org/constructivism/models\\_marzano.html](http://www.learnercentered.org/constructivism/models_marzano.html) (30.06.2012.)
138. <http://earlychildhooddevelopment.yolasite.com/information-processing-theory.php>  
(24.01.2013.)
139. <http://www.kathyillian.com/ilt/HistoricalTimelineKathyIllian.pdf> (24.01.2013.)
140. Falling ball: measuring the viscosity of milk  
(<http://www.youtube.com/watch?v=PCYszq3FlI8>)
141. VISCOSITY- What is viscosity??.a measure of the resistance of a fluid  
(<http://www.youtube.com/watch?v=x0Y9XJvHwD0>)
142. How Temperature Affects the Viscosity of Honey - A Science Fair Project  
([http://www.youtube.com/watch?v=\\_5te9X4sNrU](http://www.youtube.com/watch?v=_5te9X4sNrU))
143. 2 28 Површински напон (<http://www.youtube.com/watch?v=JVqDa4DkpAE>)
144. Surface Tension ([http://www.youtube.com/watch?v=1Z\\_JqcHjJss](http://www.youtube.com/watch?v=1Z_JqcHjJss))
145. 7.2 Surfactants and Surface Tension (<http://www.youtube.com/watch?v=Pe12NedfYC0>)
146. ThermoPore-Surface Energy & Capillary Forces, Part 4  
([http://www.youtube.com/watch?v=sLI\\_JKNYXVU](http://www.youtube.com/watch?v=sLI_JKNYXVU))
147. Capillary action is the ability of a liquid to flow in narrow spaces without the assistance of any other forces (e.g., surface tension)  
(<http://www.youtube.com/watch?v=d78OidfEqAs>)

## 7. Прилози

### 7.1. Изглед иницијалног теста

#### I test

Pol: a) M                      b) Ž

Navedite ocenu iz fizike na kraju prvog polugodišta. \_\_\_\_\_

1. U fizičke veličine ne spada:

- a) zapreminski protok
- b) maseni protok
- c) statički pritisak
- d) strujna linija
- e) vreme

2. Koja su svojstva idealne tečnosti? (zaokruži tačne odgovore)

- a) konstantna gustina
- b) postojanje viskoznosti
- c) konstantan oblik
- d) postojanje strujnih linija
- e) ne postojanje unutrašnjeg trenje

3. Koja je razlika između modela idealne tečnosti i idealnog gasa?

- a) razlikuju se po tome da li su stišljivi.
- b) razlikuju se po promeni oblika
- c) ne postoji razlika

4. Da li međumolekulska sila ima sledeće osobine:

	da	ne
uvek je privlačna		

najveća je pri ravnotežnom rastojanju između molekula		
teži nuli pri velikom rastojanju između molekula		

5. Kako se menja statički pritisak vode kada ona struji kroz horizontalnu cev koja se sužava?

- a) povećava se
- b) smanjuje se
- c) ne menja se

6. Atmosferski pritisak na visini od 350m je veći ili manji nego pritisak na površini Zemlje.

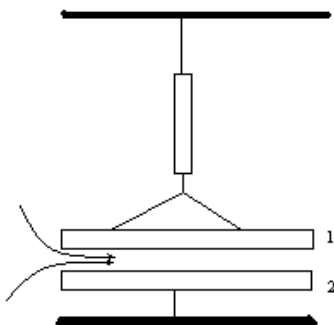
- a) veći
- b) manji
- c) isti su jer je visina mala
- d) isti su jer pritisak ne zavisi od visine

7. Poluprečnik šireg dela strujne cevi je duplo veći od poluprečnika užeg dela. Kakav je odnos brzina strujanja u tim cevima?

- a)  $v_s = 2v_u$
- b)  $v_s = 4v_u$
- c)  $v_s = v_u$
- d)  $v_u = 4v_s$
- e)  $v_u = 2v_s$

8. Između ploča 1 i 2 je mali razmak. Ploča 1 je obešena za dinamometar, a ploča 2 je učvršćena. Uporedi sile koje pokazuje dinamometar u slučajevima:

- kada se između ploča prođuvava vazduh i
- kada vazduh između ploča miruje.



(u tabelu staviti x u koloni gde smarate da je tačan odgovor)

	kada vazduh struji	kada vazduh miruje
pritisak vazduha između ploča je manji od		

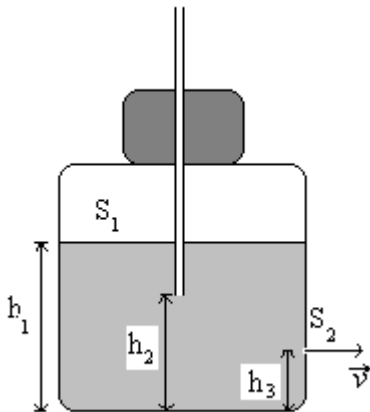


atmosferskog pa se ploče približavaju		
pritisak vazduha između ploča je veći od atmosferskog pa se ploče udaljavaju		
pritisak vazduha između ploča ne utiče na kretanje ploča		
ploče će da miruju u oba slučaja		
ploče će da se kreću u oba slučaja		

9. Bernulijeva jednačina  $p + \frac{1}{2}\rho v^2 + \rho gh = \text{const}$  važi ako je:

- a) fluid viskozan
- b) strujanje stacionarno
- c) fluid nestišljiv
- d) fluid na sobnoj temperaturi

10. U sudu čiji je poprečni presek  $S_1$  nalazi se tečnost gustine  $\rho$ . Sud je zatvoren poklopcem kroz koji je provučena otvorena cevčica, a voda zauzima položaj prikazan na slici. Na zidu suda je otvor površine  $S_2$  ( $S_2 \ll S_1$ ). Kolika je brzina isticanja tečnosti?



- a)  $v = \sqrt{2gh_1}$     b)  $v = \sqrt{2g(h_1 - h_2)}$     c)  $v = \sqrt{2g(h_2 - h_3)}$     d)  $v = \sqrt{2gh_2}$     e)  $v = \sqrt{2g(h_1 - h_3)}$

Кључ: 1д; 2а,е; 3а; 4 не, не, да; 5б; 6б; 7д; 8 када ваздух мирује: притисак ваздуха између плоча не утиче на кретање плоча, када ваздух струји: притисак ваздуха између плоча је мањи од атмосферског па се плоче приближавају; 9а,б; 10ц

## 7.2. Изглед финалног теста

### Test 2

Pol: a) M      b) Ž

Ocena iz fizike na kraju prvog polugodišta: \_\_\_\_\_

Molimo Vas da odgovorite na sledeća pitanja. U okviru svakog pitanja samo je jedan odgovor tačan.

Posle svakog pitanja na skali od 1 do 5 zaokruži koliko smatraš da je težak zadatak:

**1 = Veoma teško;    2 = Teško;    3 = Ni teško ni lako;    4 = Lako;    5 = Veoma lako.**

<p>1. Šta su to adhezione sile?</p> <p>a) sile privlačenja između istih molekula b) sile odbijanja između istih molekula c) sile privlačenja između različitih molekula d) sile odbijanja između različitih molekula</p> <p style="text-align: right;">1 2 3 4 5</p>	<p>2. Pojava viskoznost je posledica:</p> <p>a) privlačnih međumolekulskih sila unutar jednog sloja b) odbojnih međumolekulskih sila unutar jednog sloja c) kretanja fluida d) ništa od navedenog</p> <p style="text-align: right;">1 2 3 4 5</p>
<p>3. Kada važi Stoksov zakon za sfer na tela koje se kreću kroz tečnost?</p> <p>a) kada se telo kreće velikom brzinom b) kada tečnost laminarno struji oko tela c) kada tečnost turbulentno struji oko tela d) ništa od navedenog</p> <p style="text-align: right;">1 2 3 4 5</p>	<p>4. Zašto je teško vertikalnim razmicanjem razdvojiti dve horizontalne staklene ploče između kojih je mala količina vode?</p> <p>a) zbog sila površinskog napona b) zbog viskoznosti c) zbog kapilarnih pojava d) zbog razlike u gustini</p> <p style="text-align: right;">1 2 3 4 5</p>
<p>5. Koeficijent površinskog napona zavisi od:</p> <p>a) oblika slobodne površine tečnosti b) veličine slobodne površine tečnosti c) vrste tečnosti d) koeficijenta viskoznosti</p> <p style="text-align: right;">1 2 3 4 5</p>	<p>6. Zbog čega molekuli na površini tečnosti raspolažu dodatnom potencijalnom energijom?</p> <p>a) jer je rezultanta međumolekulskih sila jednaka nuli b) jer je rezultanta međumolekulskih sila usmerena ka unutrašnjosti tečnosti c) jer je na površini veća sila viskoznosti d) jer molekuli imaju veću brzinu</p> <p style="text-align: right;">1 2 3 4 5</p>
<p>7. Da li se može staviti igla na vodu, a da ne</p>	<p>8. Staklena kuglica se pušta u menzuru sa naftom i u</p>

<p>potone?</p> <p>a) ne može jer igla ima veću gustinu od vode</p> <p>b) može zbog površinskog napona</p> <p>c) može zbog veće mase vode u odnosu na masu igle</p> <p>d) može zbog viskoznosti</p> <p style="text-align: right;">1 2 3 4 5</p>	<p>menzuru sa vodom. Šta se dešava sa kuglicom?</p> <p>a) Kuglica istovremeno pada u obe tečnosti</p> <p>b) Kuglica će pre pasti na dno menzure sa vodom</p> <p>c) Kuglica će pre pasti na dno menzuri sa naftom</p> <p>d) Kuglica će plivati na površini nafte.</p> <p style="text-align: right;">1 2 3 4 5</p>
<p>9. Kada stavimo pločicu na vodu i povučemo je, koji sloj tečnosti će se kretati najspriježe?</p> <p>a) uz pločicu</p> <p>b) na 2/3 dubine od splava</p> <p>c) na dnu jezera</p> <p>d) na sredini</p> <p style="text-align: right;">1 2 3 4 5</p>	<p>10. Zašto kapi ulja na površini supe imaju približno kružni oblik?</p> <p>a) zbog površinskog napona</p> <p>b) zbog viskoznosti</p> <p>c) zbog kapilarnih pojava</p> <p>d) zbog gustine</p> <p style="text-align: right;">1 2 3 4 5</p>
<p>11. Kada je ugao kvašenja <math>\alpha = 180^\circ</math> tada dolazi do:</p> <p>a) potpunog kvašenja</p> <p>b) potpunog ne kvašenja</p> <p>c) nije moguće da ugao bude <math>180^\circ</math></p> <p>d) ni do kvašenja ni do ne kvašenja</p> <p style="text-align: right;">1 2 3 4 5</p>	<p>12. Sferni stakleni balon, u kojem je tri četvrtine zapremine ispunjeno živom, dovede se u bestežinsko stanje. Kako će se rasporediti živa u balonu?</p> <p>a) živa kvasi staklo pa će sredina balona biti šuplja</p> <p>b) živa u balonu će ostati u horizontalnom (ravnom) položaju</p> <p>c) živa će ispuniti ceo balon</p> <p>d) živa ne kvasi staklo pa će biti u vidu sferne kapi u sredini balona.</p> <p style="text-align: right;">1 2 3 4 5</p>
<p>13. Koji izraz je tačan za izračunavanje visine do koje se tečnost spusti/popne u cevčici potopljenoj u neku tečnost?</p> <p>a) <math>h = \frac{4\gamma}{\rho \cdot g \cdot r}</math>    b) <math>h = \frac{2\gamma}{\rho \cdot g}</math>    c) <math>h = \frac{\gamma}{\rho \cdot g \cdot r}</math></p> <p>d) <math>h = \frac{2\gamma}{\rho \cdot g \cdot r}</math></p> <p style="text-align: right;">1 2 3 4 5</p>	<p>14. Da li voda može proći kroz gusto sito, a da ne ostane ni kapljica vode na situ?</p> <p>a) ne može zbog kohezionih sila</p> <p>b) ne može zbog adhezionih sila</p> <p>c) može zbog različitog agregatnog stanja</p> <p>d) može zbog različite gustine</p> <p style="text-align: right;">1 2 3 4 5</p>
<p>15. Mesingana kuglica prečnika 0,5 mm pada kroz tečnost gustine <math>\rho_o = 1,26 \text{ g/cm}^3</math> konstantnom brzinom 6,7 mm/s. Odrediti koeficijent viskoznosti tečnosti. Gustina mesinga je <math>\rho = 8,55 \text{ g/cm}^3</math>.</p> <p>a) <math>\eta = 0,592 \text{ Pa}\cdot\text{s}</math>    b) <math>\eta = 0,148 \text{ Pa}\cdot\text{s}</math>    c) <math>\eta = 0,296 \text{ Pa}\cdot\text{s}</math>    d) <math>\eta = 0,037 \text{ Pa}\cdot\text{s}</math></p> <p style="text-align: right;">1 2 3 4 5</p>	
<p>16. U posudu sa glicerinom koji ima koeficijent viskoznosti 0,83 Pa·s, puštena je metalna kuglica prečnika <math>2r = 2 \text{ mm}</math>. Na visini od 50 cm od dna posude kuglica ima konstantnu brzinu padanja. Koliko je vreme</p>	

padanja kuglice sa visine  $h$  na dno posude? Gustina kuglice iznosi  $6000 \text{ kg/m}^3$ , a gustina glicerina je  $800 \text{ kg/m}^3$ .

- a)  $t = 36,6 \text{ s}$       b)  $t = 66,3 \text{ s}$       c)  $t = 74,8 \text{ s}$       d)  $t = 11,5 \text{ s}$

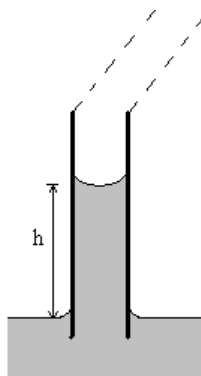
1 2 3 4 5

17. Kolika je brzina kuglice koja pada kroz tečnost čija je viskoznost  $0,65 \text{ Pa}\cdot\text{s}$ ? Poluprečnik kuglice je  $1 \text{ mm}$ , gustina kuglice je  $1000 \text{ kg/m}^3$ , a gustina tečnosti je  $680 \text{ kg/m}^3$ .

- a)  $v = 0,53 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$       b)  $v = 0,838 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$       c)  $v = 2,14 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$       d)  $v = 1,07 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$

1 2 3 4 5

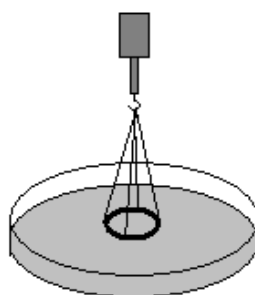
18. Između dve vertikalne paralelne staklene ploče, na međusobnom rastojanju  $0,25 \text{ mm}$ , nalivena je tečnost čiji je koeficijent površinskog napona  $0,03 \text{ N/m}$ . Visina do koje se podiže tečnost između ploča, u odnosu na nivo tečnosti oko ploča, iznosi  $3,1 \text{ cm}$ . Naći gustinu tečnosti. Kvašenje je potpuno.



- a)  $\rho = 500 \text{ kg/m}^3$       b)  $\rho = 880 \text{ kg/m}^3$       c)  $\rho = 789 \text{ kg/m}^3$       d)  $\rho = 235 \text{ kg/m}^3$

1 2 3 4 5

19. Pri merenju koeficijenta površinskog napona vode korišćeni su dinamometar i aluminijumski prsten. Prsten se položi na površinu vode, a zatim se dinamometrom lagano vuče naviše dok se ne odvoji od vode. Masa prstena je  $5,7 \text{ g}$ , a srednji prečnik  $20 \text{ cm}$ . Pri odvajanju prstena od vode dinamometar je pokazivao  $0,15 \text{ N}$ . Koliki je koeficijent površinskog napona vode?

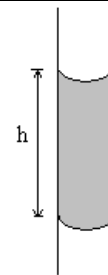


- a)  $\gamma = 0,0119 \text{ N/m}$       b)  $\gamma = 0,0597 \text{ N/m}$       c)  $\gamma = 0,119 \text{ N/m}$       d)  $\gamma = 0,049 \text{ N/m}$

1 2 3 4 5

20. Dugačka kapilarna cev poluprečnika  $1 \text{ mm}$  otvorena je sa obe strane i drži se vertikalno. Kolika maksimalna visina tečnosti može ostati u njoj?

$$\text{a) } h = \frac{2\gamma}{\rho \cdot g \cdot r} \quad \text{b) } h = \frac{4\gamma}{\rho \cdot g \cdot r} \quad \text{c) } h = \frac{\gamma}{\rho \cdot g \cdot r} \quad \text{d) } h = \frac{2\gamma}{\rho \cdot g}$$



1 2 3 4 5

Кључ: 1ц; 2ц; 3б; 4а; 5ц; 6б; 7б; 8б; 9ц; 10а; 11д; 12д; 13д; 14б; 15а; 16а; 17д; 18 ц; 19ц; 20б

### 7.3. Експериментални програм

#### Сценарио за наставни час реализован у контролној групи

1.

*Наставни предмет:* Физика

*Разред:* II разред гимназије, природно-математички смер

*Наставна тема:* Особине течности

*Наставна јединица:* Вискозност у течностима. Њутнов и Стоксов закон

*Наставни облик рада:* фронтални

*Наставне методе:* вербално-текстуалне методе

*Циљ часа:* Оспособљавање ученика да решавају проблеме и задатке у новим и непознатим ситуацијама. Упознавање ученика са појмом вискозности флуида.

*Образовни задаци:*

- Дефинисати и окарактерисати силе унутрашњег трења у течностима као појаву вискозности, услед које долази до успоравања протицања течности и успореног кретања тела кроз исте.
- Формулисати Њутнов закон вискозности.
- Именовати коефицијент вискозности и извести мерну јединицу за поменути коефицијент.
- Навести зависност коефицијента вискозности од температуре.

- Сликвито описати и приказати кретање течности кроз цеви, утврђивањем и анализирањем чињенице да највећу брзину имају делови течности дуж осе цеви, а најмању делови уз зидове цеви.
- Формулисати Поазејев закон.
- Теоријски размотрити, анализирати и илустровати кретање сферног тела у флуидима.
- Формулисати Стоксов закон вискозности.

*Функционални задаци:*

Оспособљавање ученика за разумевање појаве вискозности; неговање имагинативних способности; оспособљавање ученика за уочавање проблема и увиђање битних детаља.

*Васпитни задаци:*

- Стицање радних навика.

*Наставна средства:* табла и креда.

*Артикулација часа:*

- уводни део часа: 5-10 минута
- главни део часа: 25-30 минута
- завршни део часа: 5-10 минута

*Уводни део часа:*

Питање: По чему су течности сличне гасовима?

Очекивани одговор: Течности и гасови заузимају облик суда у којем се налазе.

Питање: По чему су течности сличне чврстим телима?

Очекивани одговор: Течности, као и чврста тела, заузимају сталну запремину и опирају се истезању и сабијању.

Питање: Кроз шта се теже крећете: кроз воду (базен или море) или кроз ваздух?

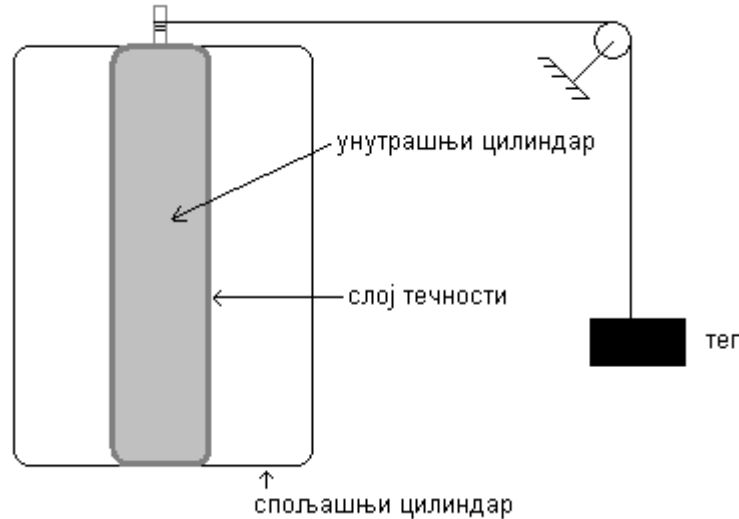
Очекивани одговор: Теже је кретати се кроз воду јер пружа већи «отпор».

*Главни део часа:*

### Вискозност у течностима. Њутнов и Стоксов закон

Вискозност се може схватити као унутрашње трење флуида (Sears, 1962; Чалуковић, 2011). Исто као дефиниција силе трења у механици, вискозност се јавља само када постоје додирне површине при кретању течности, односно када један слој течности клизи по другом слоју. Течности су вискозније од гасова јер пружају већи отпор при кретању тела кроз њих. За постојање вискозности неопходно је постојање и деловање одређене тангенцијалне силе која делује у правцу кретања (течења) посматраног флуида. У основи појам вискозности и основне једначине које описују ток кретања флуида сличне су са проблемом тангентног напона и деформације у крутом телу.

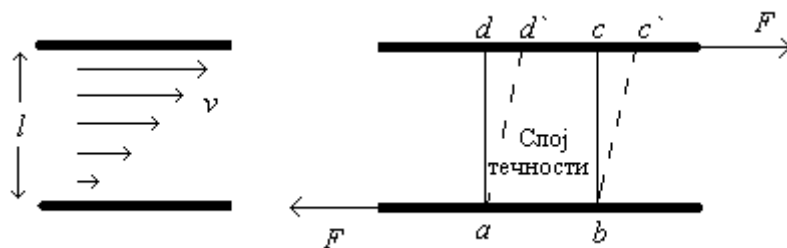
Објашњење самог појма вискозности се може и експериментално показати. Један од првих начина мерења вискозности течности је преко два коаксијална цилиндра од којих се унутрашњи обрће у скоро апсолутно глатким лежиштима (слика 1). У прстенаст простор између цилиндара сипа се течност чија вискозност треба да се мери.



Слика 1 – Принципијелан приказ рада инструмента за мерење вискозности

Унутрашњи цилиндар је повезан преко неистегљивог канапа за тег тако да приликом мењања потенцијалне енергије тег, тег делује одређеним моментом силе на унутрашњи цилиндар. Унутрашњи цилиндар приликом дејства момента силе започиње кружно кретање. Због особина течности кружно кретање цилиндра (брзо) постаје кретање са константном угаоном брзином. Познавајући момент силе, димензије апарата и угаону брзину може се израчунати вискозност течности која се налази између цилиндара. На принципу овог експеримента је дефинисан Њутнов закон вискозности.

Да би се дефинисале основне величине којима се описује вискозност неког флуида поставићемо исти експеримент, али са том разликом да су цилиндри скоро исте величине. Уколико су цилиндри скоро исте величине, добиће се да је слој течности између њих веома танак. На слици 2 показан је део слоја течности између покретног унутрашњег и непокретног спољашњег зида. У механици је дефинисано да се два слоја која су у непосредном контакту крећу истом брзином. Значи, слој молекула течности и слој молекула унутрашњег цилиндра се крећу истом брзином, а слој молекула течности уз непокретни зид спољашњег цилиндра мирује. Брзина слојева у средини равномерно расте идући од једног ка другом цилиндру, као што показују стрелице.



Слика 2 – Ламинарни ток вискозног флуида



Ток при којем један слој течности клизи по другом не мешајући се при томе назива се ламинарни ток. Посматрањем таквог кретања део течности, у неком тренутку ће имати облик  $abcd$ , док ће у неком наредном тренутку имати облик  $abc'd'$ . Временом посматрени део флуида постајаће све више деформисан. Другим речима, течност се налази у стању непрекидног повећања тангентне деформације. Да би се кретање одржало, потребно је непрекидно деловати неком силом на горњу плочу. Како је напред речено, слој непосредно уз плочу ће се кретати истом брзином као и плоча и повлачиће слој испод себе и тако редом. Да би се одржао исти концепт експеримента на доњу плочу се мора деловати истом силом као на горњу плочу само у супротном смеру. Количник силе којом се делује и површине попречног пресека плоче на коју се делује ( $F/S$ ) представља тангентни напон који дејствује на течност. Резултат деловања тангентног напона јесте померање  $dd'$ . Померање  $dd'$  је сразмерно тангентној деформацији. За разлику од крутог тела, код флуида тангентна деформација постоји и неограничено расте све док постоји напон који делује.

Експерименталним путем је утврђено да је тангентни напон који делује на дати флуид сразмеран, не тангентној деформацији као код крутог тела, већ брзини њене промене. Деформација на слици 2, у тренутку када запремина флуида има облик  $abc'd'$ , износи  $dd'/ad$  или  $dd'/l$ . Пошто је  $l$  константно, брзина промене деформације једнака је производу  $1/l$  и брзине промене  $dd'$ . Брзина промене количине  $dd'$  јесте брзина тачке  $d'$ , односно брзина  $v$  покретне плоче.

Коефицијент вискозности флуида дефинисан је количником тангентног напона  $F/S$  и брзине промене тангентне деформације:

$$\eta = \frac{F}{S} \cdot \frac{\ell}{v}$$

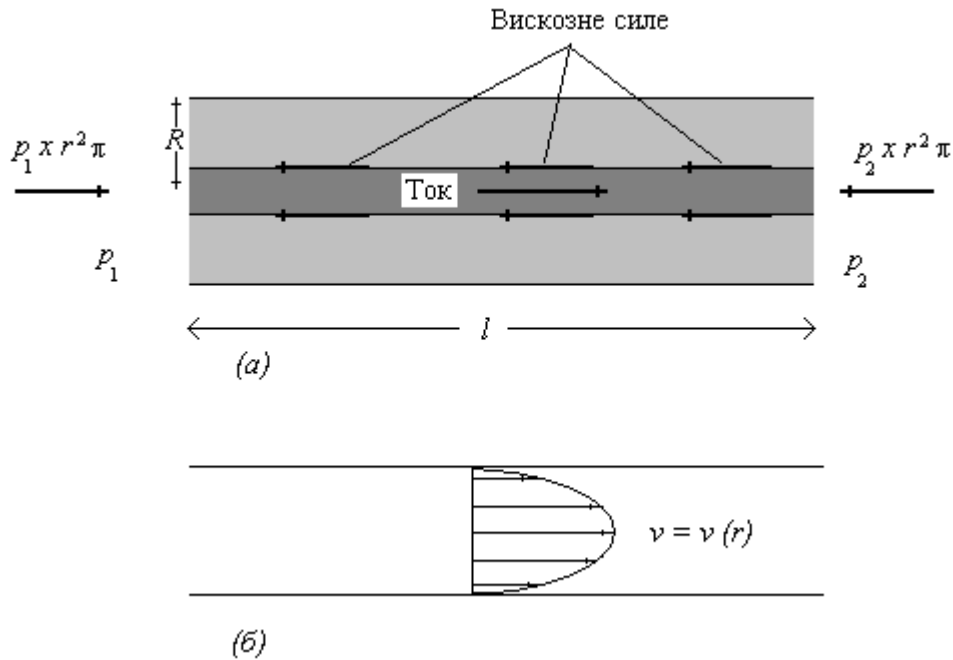
Јединица за коефицијент вискозности је  $kg/m \cdot s$ .

Добијена релација важи за случај када се брзина равномерно повећава са повећањем растојања од доње плоче.

Коефицијент вискозности зависи и од температуре, при чему се за гасове повећава, а за течности смањује са повећањем температуре.

### **Поазејев закон**

Из опште природе вискозних ефеката очигледно је да брзина вискозног флуида који тече кроз цев неће бити иста у свим тачкама попречног пресека. Под условом да брзина кретања тока флуида није сувише велика, односно да се остварује ламинаран ток, може се закључити да је вредност брзине највећи у средини цеви и опада до нули идући ка зидовима цеви.



Слика 3 – а) приказ сила које делују на цилиндрични елемент вискозног флуида; б) приказ расподела брзина вискозног тока

Посматра се део цеви унутрашњег полупречника  $R$  и дужине  $\ell$ , кроз коју ламинарно тече флуид вискозности  $\eta$  (слика 3) и у оквиру тог дела цеви издвоји се мали цилиндар полупречника  $r$  који се налази у равнотежи, односно креће се константном брзином иако постоји деловање сила. Силе које делују на издвојени мали цилиндар су вискозне силе (које делују супротно од смера кретања тока флуида) и силе које потичу услед разлике притисака на крајевима цилиндра (принудне силе). Принудна сила је једнака  $F = (p_1 - p_2) \pi r^2$ . На основу Њутновог закона, сила вискозности се може дефинисати као:  $F = \eta 2r\pi\ell \cdot \frac{\Delta v}{\Delta r}$ . Изједначавањем ова два израза добија се да је градијент брзине једнак  $\frac{\Delta v}{\Delta r} = -\frac{\Delta p}{2\eta\ell} r$ , док се брзина једног слоја може изразити као:

$$v = \frac{p_1 - p_2}{4\eta\ell} (R^2 - r^2)$$

Крива на слици 3 (б) је график ове једначине.

Запремински проток  $q$  флуида, који представља колико флуида прође кроз произвољни пресек цеви у јединици времена, одређује се следећом формулом:

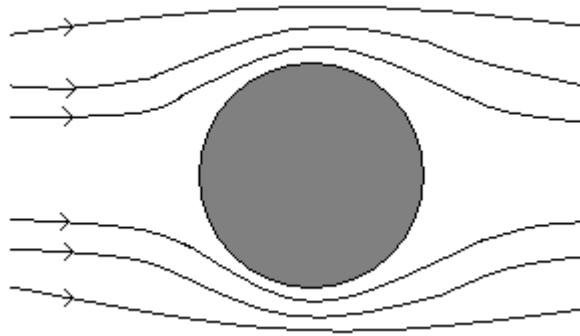
$$q = \frac{P_1 - P_2}{8\eta\ell} \pi \cdot R^4.$$

Ову релацију је први извео Поазе (Jean Léonard Marie Poiseuille, 1797- 1869) (Sears, 1962; Чалуковић, 2011) те се у његову част овај закон зове *Поазејев закон*.

На основу релације се види да је проток обрнуто сразмеран коефицијенту вискозности, као што би се могло и очекивати. Што је флуид вискознији, односно што пружа већи отпор при струјању то ће проток бити мањи.

### Стоксов закон

На слици 4 је приказана сфера око које тече идеалан флуид, чија је вискозност једнака нули, или сфера која се креће кроз дати флуид. У овом примеру струјне линије које се стварају имају потпуно симетрични облик око сфере.



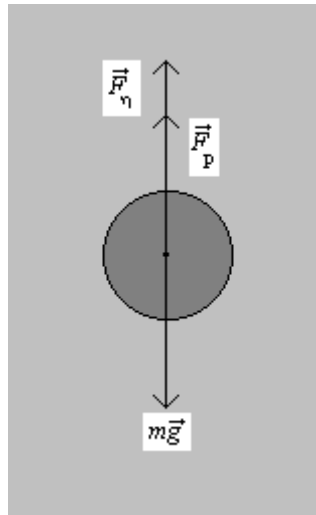
Слика 4 – Приказ тока струјних линија идеалног флуида око сфере

Притисак у свакој тачки полусферне површине уз ток једнак је притиску у одговарајућој тачки на полусфери низ ток а резултанта сила које делују на сферу једнака је нули. Међутим, ако је флуид вискозан, онда постоји једна вискозна сила која делује на сферу. У том случају сила зависи од коефицијента вискозности флуида ( $\eta$ ), полупречника сфере ( $r$ ) и брзине сфере ( $v$ ) у односу на флуид

$$F = 6\pi\eta rv.$$

Ову једначину је први извео Стокс (George Gabriel Stokes, 1819-1903) и у његову част ова законитост се зове *Стоксов закон*.

Сфера која пада кроз вискозни флуид после извесног времена постиже константну брзину  $v$ , при којој је резултантна вискозне силе ( $F_\eta$ ) и силе потиска ( $F_p$ ) једнака тежини сфере (слика 5).  $\rho$  је густина сфере, а  $\rho_o$  густина флуида.



Слика 5 – Приказ дејства сила на сферу која пада кроз вискозан флуид

На основу равнотеже сила које делују на тело које се креће константном брзином може да се напише следећа релација:

$$\frac{4}{3} r^3 \pi \rho g = \frac{4}{3} r^3 \pi \rho_0 g + 6\pi \eta r v,$$

односно брзина кретања сфере се може изразити као:

$$v = \frac{2}{9} \cdot \frac{r^2 g}{\eta} (\rho - \rho_0).$$

Са друге стране, пошто се ради, о равномерном кретању, експериментално се може одредити интензитет брзине као:

$$v = \frac{l}{t}.$$

Изједначавањем ове две релације за брзину сфере добија се зависност коефицијента вискозности преко мерљивих параметара (полупречника сфере, пређеног пута сфере и времена падања).

$$\eta = \frac{2}{9} \cdot \frac{r^2 g}{l} (\rho - \rho_0) t.$$

На основу добијене релације се може одређивати коефицијент вискозности мерењем одређених величина.

*Завршни део часа:*

Питање: Да ли се при протицању течности кроз непомичну цев, сви њени делови крећу једнаком брзином?

Очекивани одговор: Не. Најбрже се креће средишњи део течности, а слојеви течности уз зид цеви практично се не померају.

Питање: Шта је вискозности и од чега зависи коефицијент вискозности?

Очекивани одговор: Вискозност је унутрашње трење у течностима, а коефицијент вискозности зависи од силе која делује, површине на коју се делује, брине кретања слојева течности, дебљине слоја и температуре.

Питање: Да ли ће камен пасти брже на дно језера зими – када је вода хладнија или лети – када је вода топлија?

Очекивани одговор: Камен ће брже пасти када је вода топлија јер је тада мањи коефицијент вискозности – мањи је отпор.

Питање: За тела каквог облика важи Стоксов закон?

Очекивани одговор: Стоксов закон важи за тела сферног облика чији је полупречник релативно мали како би се одржало ламинарно кретање.

## 2.

*Наставни предмет:* Физика

*Разред:* II разред гимназије, природно-математички смер

*Наставна тема:* Особине течности

*Наставна јединица:* Енергија површинског слоја и површински напон течности

*Наставни облик рада:* фронтални

*Наставне методе:* вербално-текстуалне методе

*Циљ часа:* Оспособљавање ученика да решавају проблеме и задатке у новим и непознатим ситуацијама и упознавање ученика са појмом површинског напона течности.

*Образовни задаци:*

- Сликвито објаснити да на граници између воде и ваздуха постоји уређен слој молекула воде, који су водоничним везама међусобно повезани, али и са молекулима у унутрашњости течности.
- Анализирати и разликовати молекул који се налази у унутрашњости течности и његове интеракције, од молекула који се налази у површинском слоју течности.
- Дефинисати површински напон течности.
- Дефинисати и формулисати коефицијент површинског напона  $\gamma$ , а потом извести његову мерну јединицу.
- Дефинисати коефицијент површинског напона  $\gamma$  преко рада.
- Одредити разлику притисака испод закривљене површине течности - примеру сферне површине преко коефицијента површинског напона.
- Дефинисати угао квашења и према којим вредностима угла квашења течност (не) кваси зидове суда у коме се налази.

*Функционални задаци:*

Оспособљавање ученика за разумевање појаве површинског напона течности; неговање имагинативних способности; оспособљавање ученика за уочавање проблема и увиђање битних детаља.

*Васпитни задаци:* Стицање радних навика.

*Наставна средства:* табла и креда.

*Артикулација часа:*

- уводни део часа: 5-10 минута
- главни део часа: 25-30 минута
- завршни део часа: 5-10 минута

*Уводни део часа:*

Питање:

Очекивани одговор:

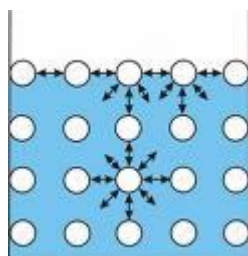
Питање: Како мали инсект може да стоји на површини воде, а да не потоне?

Очекивани одговор: Површина воде је као затегнута опна коју тежина инсекта не може да «прокине».

*Главни део часа:*

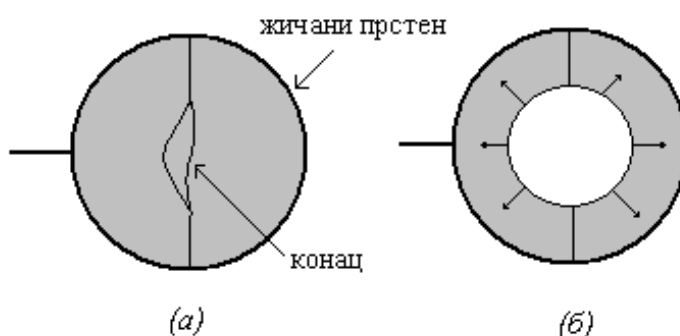
### Енергија површинског слоја и површински напон течности

Посматрајмо молекул на површини течности и у дубини течности и како он интерагује са суседним молекулима (слика 1).



Слика 1 - Молекули течности који се налазе на њеној површини и у њеној дубини

Како се види на слици 1, молекул течности који се налази у дубини течности интерагује са суседним молекулима, а силе интеракције су практично симетрично распоређене те је резултанта свих сила којима он делује на друге молекуле је једнака нули. Посматрањем молекула који се налази на површини течности, он је окружен са једне стране са молекулима течности који су „гушће“ распоређени, а са друге стране окружен је молекулима ваздуха. Резултатна сила која делује на овај молекул није једнака нули и усмерена је ка унутрашњости течности. Стога, молекули који су у површинском слоју течности располажу додатном потенцијалном енергијом у односу на молекуле у унутрашњости течности. Дата енергија им омогућава да остану на површини и да се површина течности понаша као затегнута опна. О овоме сведоче све површинске појаве на течностима. Значи, оне указују на то да се површина течности понаша као затегнута опна, односно да је површина у стању напона (Sears, 1962; Чалуковић, 2011). Ако се посматра ма која линија која лежи на површини или ограничава површину, онда материјал на обема странама затеже материјал на супротне стране. Ово затезање лежи у равни површине и нормално је на линију. Ефекат се може показати помоћу једноставног експеримента показаног на слици 2.



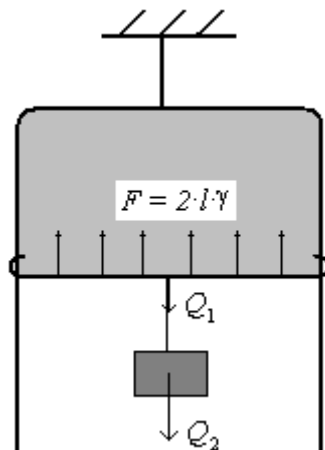
Слика 2 – Жичани прстен са омчом од конца зарођен у сапуницу, (а) пре и (б) после бушења опне у омчи

Жичани прстен пречника величине неколико центиметара, има причвршћену омчу од конца. Када се прстен и конац потопе у сапуницу и извуку, образује се танка опна течности на којој конац плута, као што је приказано на слици (а). Ако се опна у омчи пробуши, конац ће се затегнути и заузеће кружни облик, као на слици (б). Изгледаће као да ивице течности вуку конац радијално од центра, што је показано стрелицама. Свакако су исте силе деловале и пре него што је опна била пробушена, али пошто се опна налази са обе стране конца, укупна сила којом је опна деловала на конац била је једнака нули.

Други једноставан експеримент помоћу кога се могу приказати ефекти површинског напона приказан је на слици 3. Комад жице савијен је у облику латиничког слова У, док је други комад жице дужине  $\ell$  покретљив. Када се уређај потопи у сапуницу и извади, покретна



жица (ако њена тежина  $Q_1$  није сувише велика) одмах се повуче према врху. Она се може држати у равни ако се дода терет  $Q_2$ . Оно што изненађује јесте да ће укупна сила  $F = Q_1 + Q_2$  држати покретни део у стању мировања у сваком положају, без обзира на површину опне течности, под условом да је температура опне константна.



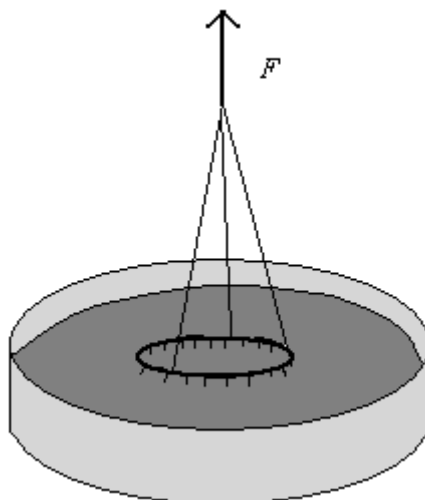
Слика 3 – Приказ експеримента за одређивање површинског напона

Пошто опна има две површине, укупна дужина дуж које делују површинске силе износи  $2\ell$ . Површински напон опне  $\gamma$  дефинише се као количник површинске силе и дужине (нормалне на силу) дуж које делује сила. Дакле, у овом случају,

$$\gamma = \frac{F}{2\ell}.$$

Јединица површинског напона, у SI систему, је N/m.

Други начин приказивања површинске силе је помоћу инструмента приказаног на слици 4.



#### Слика 4 – Приказ експеримента за одређивање површинског напона

Приказани апарат се често користи за мерење површинског напона. Кружна жица чији је обим  $\ell$  подигнута је из течности. Додатна сила  $F$ , која је потребна да се уравнотеже површинске силе  $2\gamma\ell$ , које потичу од две дебљине жице. Сам начин на који се може извршити мерење силе површинског напона течности заснива се на затезању једне фине опруге или помоћу увртања једне торзионе жице. Површински напон тада је

$$\gamma = \frac{F}{2\ell}.$$

Нађено је да површински напон површине неке течности у додиру са њеном паром или са ваздухом зависи од природе течности и од температуре, тако да са порастом температуре опада вредност површинског напона.

#### **Површински напон и површинска енергија**

Уколико се претпостави да се покретна жица из експеримента приказаног на слици 6 помери за растојање  $y$  под дејством силе  $F = Q_1 + Q_2$ , тада ће укупан извршен рад бити једнак  $F \cdot y$ . Укупна површина опне у том случају ће се повећати за  $2\ell \cdot y$  под условом да је температура опне константна. Извршен рад по јединици површине, утрошен на повећање површине, износи

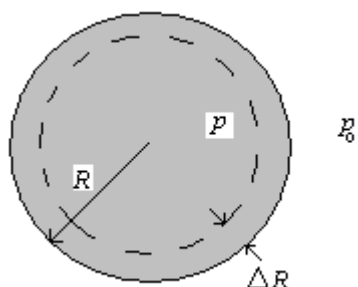
$$\frac{A}{\Delta S} = \frac{F \cdot y}{2\ell \cdot y} = \frac{F}{2\ell}$$

Ово је једнако првобитној дефиницији површинског напона  $\gamma$ . Стога се коефицијент површинског напона може дефинисати или као сила по јединици дужине или као рад по јединици површине при повећању површине.

**Притисак испод закривљене површине течности** – пример сферне површине  
(Чалуковић, 2011)

Посматрајмо сферну кап течности у ваздуху. Нека је полупречник капи  $R$ , а притисак ваздуха  $p_0$ . Силе површинског напона „затежу“ површину течности, па је притисак ( $p$ ) у течности већи него спољни. При бескрајно малом смањењу површине капи, силе површинског напона изврше рад који је једнак промени енергије површинског слоја

течности  $A = \gamma \cdot \Delta S$ . Са друге стране, тај рад се врши против резултујуће силе притиска  $A = (p - p_0) \Delta V$ .



Изједначавањем добија се:

$$(p - p_0) \left[ \frac{4}{3} \pi R^3 - \frac{4}{3} \pi (R - \Delta R)^3 \right] = \gamma \cdot 4\pi [R^2 - (R - \Delta R)^2]$$

Сређивањем израза добија се да је разлика притисака у сферној капљици и ван ње сразмерна коефицијенту површинског напона, а обрнуто сразмерна полупречнику капи

$$p - p_0 = \frac{2\gamma}{R}$$

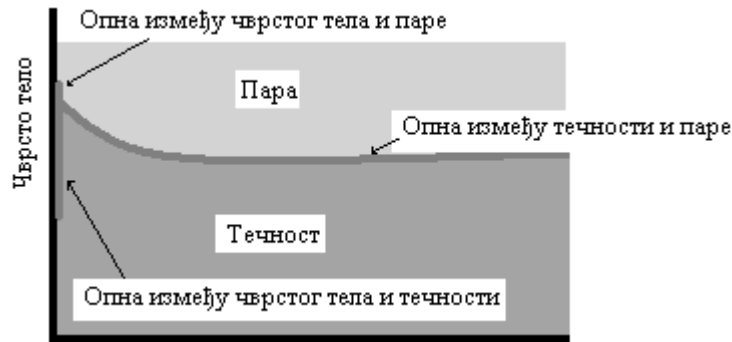
### Угао квашења

Досадашњи примери односили су се на дискусију површинских појава на граници између течности и гаса. Међутим, постоје и друге границе између чврстог зида и течности и између чврстог тела и паре. Три граничне површине и опне које их праве, схематски су приказане на слици 5. Издвојен је мали делић граничних површина и посматрају се сила површинског напона која делује на њих:

$F_{sl}$  – сила површинског напона опне чврсто тело-течност

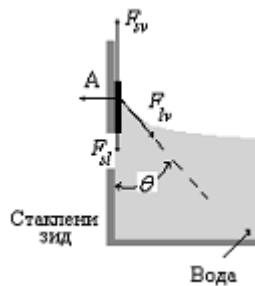
$F_{sv}$  – сила површинског напона опне чврсто тело-пара

$F_{lv}$  – сила површинског напона опне течност-пара



Слика 5 – Приказ опни које се формирају на границама између чврстог тела, течности и ваздуха међусобно

Да би елемент течности на површини био у равнотежи, резуланта површинских сила која делује на њега мора бити једнака сили интеракције између молекула различите врсте. Ова сила се назива сила адхезије ( $F_A$ ). То значи да су пројектоване силе дуж x- и y-правца једнаке нули (слика 6).



Слика 6 – Приказ сила које се формирају између стакленог зида, течности и ваздуха

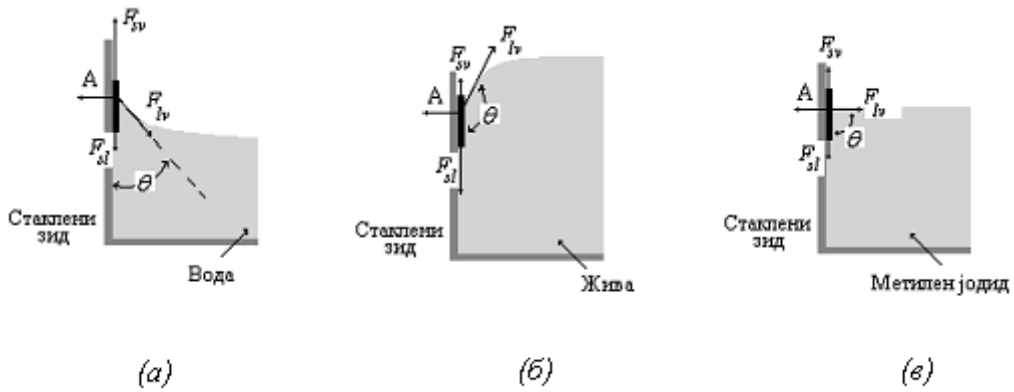
$$\sum F_x = F_{lv} \cdot \sin \theta - F_A = 0,$$

$$\sum F_y = F_{sv} - F_{sl} - F_{lv} \cdot \cos \theta = 0,$$

одакле је  $A = F_{lv} \cdot \sin \theta$ , а  $\cos \theta = \frac{F_{sv} - F_{sl}}{F_{lv}}$ .

Угао  $\theta$  се назива *угао квашења*.

На слици 7 су приказана закривљења код различитих врста течности и стакленог зида)



Слика 7 – Приказ различитих случајева закривљености течности

Ако је угао квашења  $\theta$  мањи од  $90^\circ$  течност кваси стакло, слика 7 (а) и тада је  $F_{sv}$  веће од  $F_{sl}$ . Ако је угао квашења  $\theta$  већи од  $90^\circ$  течност не кваси стакло, слика (б). Ако је угао квашења  $\theta$  једнак  $90^\circ$  течност нити кваси нити не кваси стакло, слика (в).

*Завршни део часа:*

Питање: Чему је једнака резултујућа сила молекула који се налази у унутрашњости течности?

Очекивани одговор: Резултујућа сила је у том случају једнака нули.

Питање: Од чега зависи коефицијент површинског напона?

Очекивани одговор: Коефицијент површинског напона зависи од силе и обима на који она делује  $\gamma = \frac{F}{2l}$ .

Питање: Која је јединица за коефицијент површинског напона?

Очекивани одговор: Јединица површинског напона је N/m.

Питање: Ако је угао квашења  $\theta$  мањи од  $90^\circ$  да ли течност кваси стакло?

Очекивани одговор: Када је угао квашења  $\theta$  мањи од  $90^\circ$  течност кваси стакло.

### 3.

*Наставни предмет:* Физика

*Разред:* II разред гимназије, природно-математички смер

*Наставна тема:* Особине течности

*Наставна јединица:* Капиларне појаве

*Наставни облик рада:* фронтални

*Наставне методе:* вербално-текстуалне методе

*Циљ часа:* Оспособљавање ученика да решавају проблеме и задатке у новим и непознатим ситуацијама и упознавање ученика са специфичним случајем површинског напона течности изражен кроз капиларне појаве.

*Образовни задаци:*

- Сликвито описати појаве капиларног подизања и спуштања.
- Дефинисати појаву капиларности.
- Навести и окарактеристисати узроке капиларних појава - површински напон и квашење.
- Објаснити дејство сила површинског напона које се јављају дуж граничне линије између зида капиларе и слободне површине течности.
- Теоријски размотрити и анализирати појаву капиларног подизања воде у капилари до висине  $h$ , када се тежина стуба изједначи са резултантом вертикалних компоненти сила површинског напона.
- Изводити образац за максималну висину пењања стуба течности у капилари, односно висину на којој су  $F_v$  и  $Q$  у равнотежи.
- Навести значај и примере капиларних појава у свакодневном животу.

*Функционални задаци:*

Оспособљавање ученика за разумевање појаве капиларности; неговање имагинативних способности; оспособљавање ученика за уочавање проблема и увиђање битних детаља.

*Васпитни задаци:* Стицање радних навика.

*Наставна средства:* табла и креда.

*Артикулација часа:*

- уводни део часа: 5-10 минута
- главни део часа: 25-30 минута
- завршни део часа: 5-10 минута

*Уводни део часа:*

Питање: Како биљке из земље упијају воду?

Очекивани одговор: Помоћу танких кранчица корена које личе на капиларне севчице.

Питање: Шта је мениск?

Очекивани одговор: Мениск је слободна површина течности.

Питање: Шта су адхезионе, а шта су кохезионе силе?

Очекивани одговор: Адхезионе силе су привлачне међумолекулске силе између молекула различите врсте, а кохезионе силе су привлачне међумолекулске силе између молекула исте врсте.

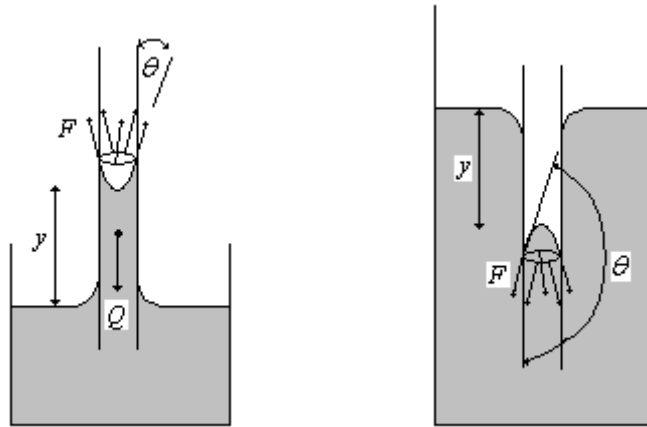
Питање: Када течност кваси материјал преовадају које међумолекулске силе?

Очекивани одговор: Када течност кваси материјал израженије су адхезионе силе.

Главни део часа:

### Капиларне појаве

Најпознатији површински ефекат јесте подизање течности у отвореној цеви малог попречног пресека, капиларност (Sears, 1962; Чалуковић, 2011). Реч капиларност, која се користи за описивање ефеката ове врсте, потиче од описа таквих цеви као «капиларних». У случају течности која кваси цев, угао квашења је мањи од  $90^\circ$  и течност се пење док не постигне равнотежну висину  $y$ , слика 1 (а). Закривљена површина течности у цеви назива се мениск.



Слика 1 – Приказ капиларности, (а) течност која кваси зидове капиларе; (б) течност која не кваси зидове капиларе

Ако је цев полупречника  $r$ , течност додирује цев дуж линије дужине  $2r\pi$ . Када издвојимо цилиндар течности висине  $y$  и полупречника  $r$ , заједно са њеном опном течност-пара, укупна сила нагоре је:

$$F = 2r\pi \cdot \gamma_{lv} \cdot \cos\theta$$

Сила надоле јесте тежина  $Q$  стуба течности у капилари

$$Q = \rho g \cdot r^2 \pi y.$$

Пошто је цилиндар у равнотежи тада су силе које делују на њега једнаке по интензитету:

$$\rho g \cdot r^2 \pi y = 2r\pi \cdot \gamma_{lv} \cdot \cos\theta.$$

Из добијене једначине може се одредити висина стуба течности у капилари као:

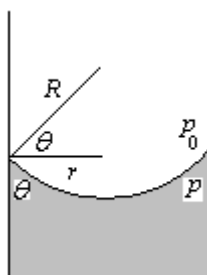
$$y = \frac{2\gamma_{lv} \cdot \cos\theta}{\rho g r}.$$



Иста једначина важи и за капиларно спуштање течности приказано на слици 1 (б).

Капиларност објашњава упијање мастила у хартију, пењање бензина у упаљачу за цигарете и многе друге појаве.

Израз за висину до које се подиже или спушта нека течност у капиларној цеви може се такође извести посматрањем разлике притисака кроз опну. Слика 2 показује врх течног стуба у цеви са слике 1 (а). Претпоставимо да је мениск део сферне површине.



Слика 2 – Приказ врха стуба течности која кваси зидове капиларе

Полупречник површине износи  $R = \frac{r}{\cos\theta}$ , где је  $r$  полупречник цеви.

Разлика притисака кроз површину износи  $\frac{2\gamma_{lv}}{R}$ , тако да притисак  $p$  испод површине износи:

$$p = p_0 - \frac{2\gamma_{lv} \cdot \cos\theta}{r},$$

када је притисак изнад површине атмосферски притисак  $p_0$ .

Притисак у стубу на висини  $y$  се, са друге стране може израчунати из једначине хидростатике као:

$$p = p_0 - \rho g y.$$

Изједначавањем израза за притисак  $p$  добија се израз за одређивање висине стуба течности у капилари

$$y = \frac{2\gamma_{lv} \cdot \cos\theta}{\rho g r}.$$

Потребан математички апарат за објашњење појава површинског напона течности обухваћено је градивом другог разреда гимназије, а ниво знања и разумевања овог физичког појма је испитано кроз примену различитих метода.

*Завршни део часа:*

Питање: Шта је капилара?

Очекивани одговор: Капилара је уска стаклена цевчица.

Питање: Где се у природи могу наћи примери капиларних појава?

Очекивани одговор: Када биљке узимају воду из земље преко коренчића.

Питање: До које висине се течност (која кваси зидове стакла) попне?

Очекивани одговор: Течност која кваси зидове цевчице ће се пењати све док се не изједначе силе површинског напона и тежина стуба течности или док се не изједначе притисци изнад течности и у течности.

## Сценарио за наставни час реализован у Експерименталној групи Е<sub>1</sub>

1.

*Наставни предмет:* Физика

*Разред:* II разред гимназије, природно-математички смер

*Наставна тема:* Особине течности

*Наставна јединица:* Вискозност у течностима. Њутнов и Стоксов закон

*Наставни облик рада:* рад у пару

*Наставне методе:* илустративно-демонстративна и лабораторијско-експериментална

*Циљ часа:* Оспособљавање ученика да решавају проблеме и задатке у новим и непознатим ситуацијама, да изразе и образложе своје мишљење и да дискутују са другима. Упознавање ученика са појмом вискозности флуида. Оспособљавање ученика за уочавање и распознавање појава везаних за вискозност флуида, као и за активно стицање знања путем истраживања. Усмеравање ученика да примењују стечена знања.

*Образовни задаци:*

- Дефинисати и окарактерисати силе унутрашњег трења у течностима као појаву вискозности, услед које долази до успоравања протицања течности и успореног кретања тела кроз исте.
- Формулисати Њутнов закон вискозности.
- Именовати коефицијент вискозности и извести мерну јединицу за поменути коефицијент.
- Навести зависност коефицијента вискозности од температуре.
- Сликвито описати и приказати кретање течности кроз цеви, утврђивањем и анализирањем чињенице да највећу брзину имају делови течности дуж осе цеви, а најмању делови уз зидове цеви.
- Формулисати Поазејев закон.
- Теоријски размотрити, анализирати и илустровати кретање сферног тела у флуидима.
- Формулисати Стоксов закон вискозности.

*Функционални задаци:*

Оспособљавање ученика за разумевање појаве вискозности; неговање имагинативних способности; оспособљавање ученика за уочавање проблема и увиђање битних детаља; оспособљавање ученика за извођење експеримента; неговање способности критичког мишљења.

*Васпитни задаци:*

- Стицање радних навика.

*Наставна средства:* мензура, штоперица, лењир, куглице, папир, селотеп трака, вода и уље, посуда за сипање/одлагање течности, табла и креда.

*Артикулација часа:*

- уводни део часа: 5-10 минута
- главни део часа: 25-30 минута
- завршни део часа: 5-10 минута

*Уводни део часа:*

Питање: По чему су течности сличне гасовима?

Очекивани одговор: Течности и гасови заузимају облик суда у којем се налазе.

Питање: По чему су течности сличне чврстим телима?

Очекивани одговор: Течности, као и чврста тела, заузимају сталну запремину и опирају се истезању и сабијању.

Питање: Кроз шта се теже крећете: кроз воду (базен или море) или кроз ваздух?

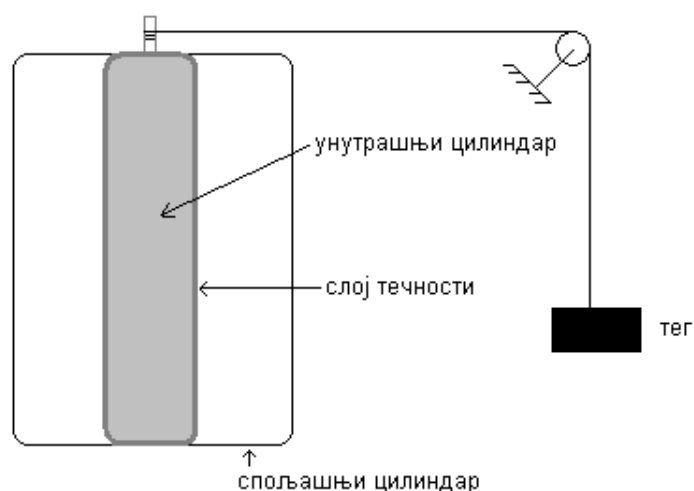
Очекивани одговор: Теже је кретати се кроз воду јер пружа већи «отпор».

*Главни део часа:*

### Вискозност у течностима. Њутнов и Стоксов закон

Вискозност се може схватити као унутрашње трење флуида (Sears, 1962; Чалуковић, 2011). Исто као дефиниција силе трења у механици, вискозност се јавља само када постоје додирне површине при кретању течности, односно када један слој течности клизи по другом слоју. Течности су вискозније од гасова јер пружају већи отпор при кретању тела кроз њих. За постојање вискозности неопходно је постојање и деловање одређене тангенцијалне силе која делује у правцу кретања (течења) посматраног флуида. У основи појам вискозности и основне једначине које описују ток кретања флуида сличне су са проблемом тангентног напона и деформације у крутом телу.

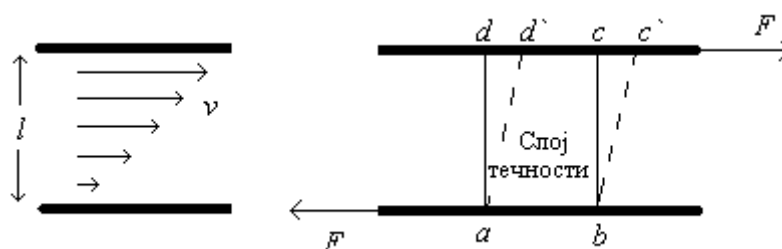
Објашњење самог појма вискозности се може и експериментално показати. Један од првих начина мерења вискозности течности је преко два коаксијална цилиндра од којих се унутрашњи обрће у скоро апсолутно глатким лежиштима (слика 1). У прстенаст простор између цилиндара сипа се течност чија вискозност треба да се мери.



Слика 1 – Принципијелан приказ рада инструмента за мерење вискозности

Унутрашњи цилиндар је повезан преко неистегљивог канапа за тег тако да приликом мењања потенцијалне енергије тега, тег делује одређеним моментом силе на унутрашњи цилиндар. Унутрашњи цилиндар приликом дејства момента силе започиње кружно кретање. Због особина течности кружно кретање цилиндра (брзо) постаје кретање са константном угаоном брзином. Познавајући момент силе, димензије апарата и угаону брзину може се израчунати вискозност течности која се налази између цилиндара. На принципу овог експеримента је дефинисан Њутнов закон вискозности.

Да би се дефинисале основне величине којима се описује вискозност неког флуида поставићемо исти експеримент, али са том разликом да су цилиндри скоро исте величине. Уколико су цилиндри скоро исте величине, добиће се да је слој течности између њих веома танак. На слици 2 показан је део слоја течности између покретног унутрашњег и непокретног спољашњег зида. У механици је дефинисано да се два слоја која су у непосредном контакту крећу истом брзином. Значи, слој молекула течности и слој молекула унутрашњег цилиндра се крећу истом брзином, а слој молекула течности уз непокретни зид спољашњег цилиндра мирује. Брзина слојева у средини равномерно расте идући од једног ка другом цилиндру, као што показују стрелице.



Слика 2 – Ламинарни ток вискозног флуида

Ток при којем један слој течности клизи по другом не мешајући се при томе назива се ламинарни ток. Посматрањем таквог кретања део течности, у неком тренутку ће имати облик  $abcd$ , док ће у неком наредном тренутку имати облик  $abc'd'$ . Временом посматрини део флуида постајаће све више деформисан. Другим речима, течност се налази у стању непрекидног повећања тангентне деформације. Да би се кретање одржало, потребно је непрекидно деловати неком силом на горњу плочу. Како је напред речено, слој непосредно уз плочу ће се кретати истом брзином као и плоча и повлачиће слој испод себе и тако редом. Да би се одржао исти концепт експеримента на доњу плочу се мора деловати истом силом као на горњу плочу само у супротном смеру. Количник силе којом се делује и површине попречног пресека плоче на коју се делује ( $F/S$ ) представља тангентни напон који дејствује на течност. Резултат деловања тангентног напона јесте померање  $dd'$ . Померање  $dd'$  је сразмерно тангентној деформацији. За разлику од крутог тела, код флуида тангентна деформација постоји и неограничено расте све док постоји напон који делује.

Експерименталним путем је утврђено да је тангентни напон који делује на дати флуид сразмеран, не тангентној деформацији као код крутог тела, већ брзини њене промене. Деформација на слици 2, у тренутку када запремина флуида има облик  $abc'd'$ , износи  $dd'/ad$  или  $dd'/l$ . Пошто је  $l$  константно, брзина промене деформације једнака је производу  $1/l$  и брзине промене  $dd'$ . Брзина промене количине  $dd'$  јесте брзина тачке  $d'$ , односно брзина  $v$  покретне плоче.

Коефицијент вискозности флуида дефинисан је количником тангентног напона  $F/S$  и брзине промене тангентне деформације:

$$\eta = \frac{F}{S} \cdot \frac{\ell}{v}$$

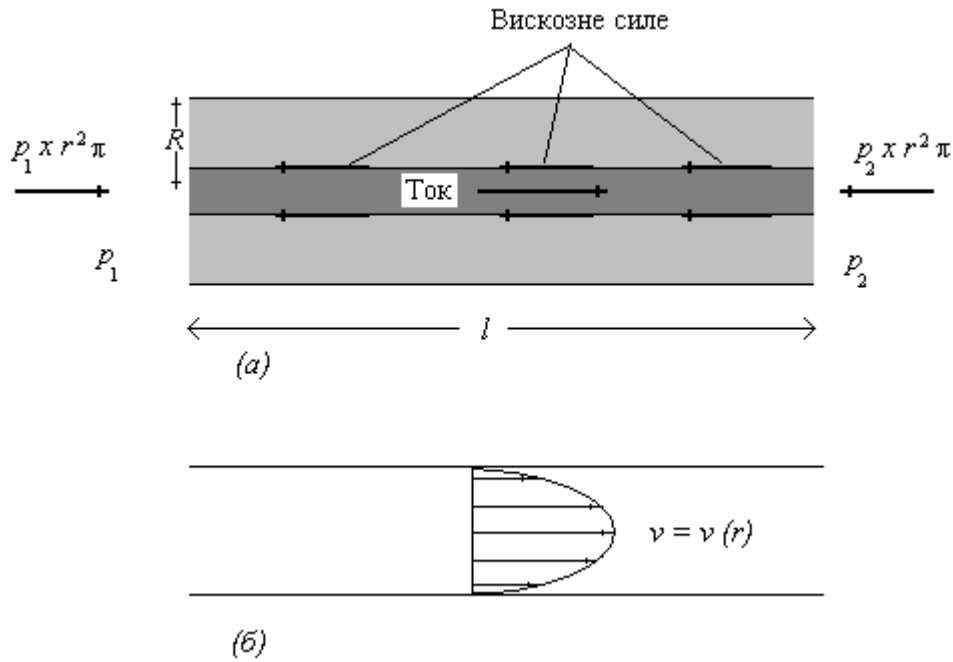
Јединица за коефицијент вискозности је  $kg/m \cdot s$ .

Добијена релација важи за случај када се брзина равномерно повећава са повећањем растојања од доње плоче.

Коефицијент вискозности зависи и од температуре, при чему се за гасове повећава, а за течности смањује са повећањем температуре.

### **Поазејев закон**

Из опште природе вискозних ефеката очигледно је да брзина вискозног флуида који тече кроз цев неће бити иста у свим тачкама попречног пресека. Под условом да брзина кретања тока флуида није сувише велика, односно да се остварује ламинаран ток, може се закључити да је вредност брзине највећи у средини цеви и опада до нули идући ка зидовима цеви.



Слика 3 – а) приказ сила које делују на цилиндрични елемент вискозног флуида; б) приказ расподела брзина вискозног тока

Посматра се део цеви унутрашњег полупречника  $R$  и дужине  $\ell$ , кроз коју ламинарно тече флуид вискозности  $\eta$  (слика 3) и у оквиру тог дела цеви издвоји се мали цилиндар полупречника  $r$  који се налази у равнотежи, односно креће се константном брзином иако постоји деловање сила. Силе које делују на издвојени мали цилиндар су вискозне силе (које делују супротно од смера кретања тока флуида) и силе које потичу услед разлике притисака на крајевима цилиндра (принудне силе). Принудна сила је једнака  $F = (p_1 - p_2) \pi r^2$ . На основу Њутновог закона, сила вискозности се може дефинисати као:  $F = \eta 2r \pi \ell \cdot \frac{\Delta v}{\Delta r}$ .

Изједначавањем ова два израза добија се да је градијент брзине једнак  $\frac{\Delta v}{\Delta r} = -\frac{\Delta p}{2\eta \ell} r$ , док се брзина једног слоја може изразити као:

$$v = \frac{p_1 - p_2}{4\eta \ell} (R^2 - r^2)$$

Крива на слици 3 (б) је график ове једначине.

Запремински проток  $q$  флуида, који представља колико флуида прође кроз произвољни пресек цеви у јединици времена, одређује се следећом формулом:



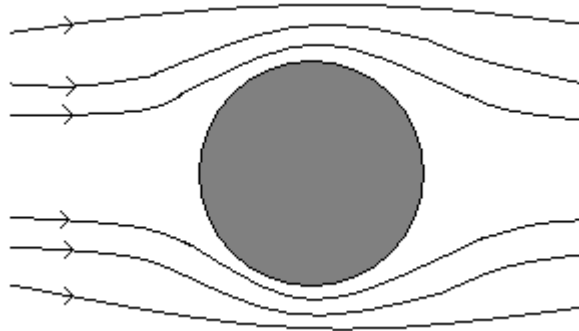
$$q = \frac{P_1 - P_2}{8\eta\ell} \pi \cdot R^4 .$$

Ову релацију је први извео Поазе (Jean Léonard Marie Poiseuille, 1797- 1869) (Sears, 1962; Чалуковић, 2011) те се у његову част овај закон зове *Поазејев закон*.

На основу релације се види да је проток обрнуто сразмеран коефицијенту вискозности, као што би се могло и очекивати. Што је флуид вискознији, односно што пружа већи отпор при струјању то ће проток бити мањи.

### Стоксов закон

На слици 4 је приказана сфера око које тече идеалан флуид, чија је вискозност једнака нули, или сфера која се креће кроз дати флуид. У овом примеру струјне линије које се стварају имају потпуно симетрични облик око сфере.



Слика 4 – Приказ тока струјних линија идеалног флуида око сфере

Притисак у свакој тачки полусферне површине уз ток једнак је притиску у одговарајућој тачки на полусфери низ ток а резултанта сила које делују на сферу једнака је нули. Међутим, ако је флуид вискозан, онда постоји једна вискозна сила која делује на сферу. У том случају сила зависи од коефицијента вискозности флуида ( $\eta$ ), полупречника сфере ( $r$ ) и брзине сфере ( $v$ ) у односу на флуид

$$F = 6\pi\eta rv .$$

Ову једначину је први извео Стокс (George Gabriel Stokes, 1819-1903) и у његову част ова законитост се зове *Стоксов закон*.

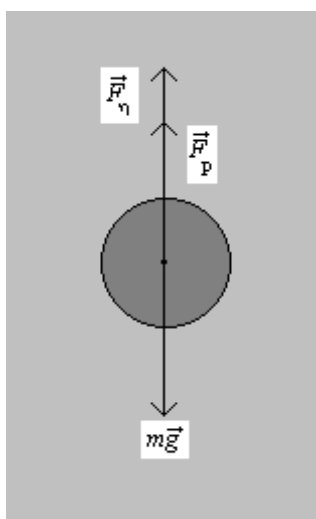
Ученици се поделе у групе од по четири ученика и подели им се потребна апаратура (штоперице, лењери, мензуре). Ученицима је задат задатак да експериментално одреде коефицијент вискозности датих течности.

*Потребан материјал:*

- мензура
- штоперица
- лењир
- куглице
- папир, селотеп трака, вода и уље, посуда за сипање/одлагање течности.

*Поступак експеримента:*

У мензуру сипати воду до највише вредности, потом, папиром и лепљивом траком обележити референтне нивое (који морају бити на централном делу мензуре). Лењиром измерити дужину између нивоа. Дате куглице пуштати да слободно падају у мензуру и мерити време кретања куглице од једног до другог забележеног нивоа. Силе које делују на куглицу у посматраном интервалу су силе вискозности ( $F_\eta$ ), силе потиска ( $F_p$ ) и сила тежине куглице ( $Q$ ) (слика 5). У посматраном интервалу брзина кретања куглице је константна. Нека је  $\rho$  густина сфере, а  $\rho_0$  густина флуида.



Слика 5 – Приказ дејства сила на куглицу која пада кроз вискозан флуид

На основу равнотеже сила које делују на тело које се креће константном брзином може да се напише следећа релација:

$$\frac{4}{3} r^3 \pi \rho g = \frac{4}{3} r^3 \pi \rho_0 g + 6\pi \eta r v,$$

односно брзина кретања сфере се може изразити као:

$$v = \frac{2}{9} \cdot \frac{r^2 g}{\eta} (\rho - \rho_0).$$

Са друге стране, пошто се ради, о равномерном кретању, експериментално се може одредити интензитет брзине као:

$$v = \frac{\ell}{t}.$$

Изједначавањем ове две релације за брзину сфере добија се зависност коефицијента вискозности преко мерљивих параметара (полупречника сфере, пређеног пута сфере и времена падања).

$$\eta = \frac{2}{9} \cdot \frac{r^2 g}{\ell} (\rho - \rho_0) t.$$

На основу добијене релације се може одређивати коефицијент вискозности мерењем одређених величина. Након урађеног експеримента са водом треба заменити течности и приступити поновном мерењу како би се могле упоредити вредности коефицијената вискозности.

*Завршни део часа:*

Питање: Да ли се при протицању течности кроз непомичну цев, сви њени делови крећу једнаком брзином?

Очекивани одговор: Не. Најбрже се креће средишњи део течности, а слојеви течности уз зид цеви практично се не померају.

Питање: Шта је вискозности и од чега зависи коефицијент вискозности?

Очекивани одговор: Вискозност је унутрашње трење у течностима, а коефицијент вискозности зависи од силе која делује, површине на коју се делује, брине кретања слојева течности, дебљине слоја и температуре.

Питање: Да ли ће камен пасти брже на дно језера зими – када је вода хладнија или лети – када је вода топлија?

Очекивани одговор: Камен ће брже пасти када је вода топлија јер је тада мањи коефицијент вискозности – мањи је отпор.

Питање: За тела каквог облика важи Стоксов закон?

Очекивани одговор: Стоксов закон важи за тела сферног облика чији је полупречник релативно мали како би се одржало ламинарно кретање.

## 2.

*Наставни предмет:* Физика

*Разред:* II разред гимназије, природно-математички смер

*Наставна тема:* Особине течности

*Наставна јединица:* Енергија површинског слоја и површински напон течности

*Наставни облик рада:* рад у пару

*Наставне методе:* вербално-текстуалне методе

*Циљ часа:* Оспособљавање ученика да решавају проблеме и задатке у новим и непознатим ситуацијама. Упознавање ученика са појмом површинског напона течности. Оспособљавање ученика за уочавање и распознавање појава, везаних за површински напон течности (у свакодневном животу), као и за активно стицање знања путем истраживања.

*Образовни задаци:*

- Сликвито објаснити да на граници између воде и ваздуха постоји уређен слој молекула воде, који су водоничним везама међусобно повезани, али и са молекулима у унутрашњости течности.
- Анализирати и разликовати молекула који се налази у унутрашњости течности и његове интеракције, од молекула који се налази у површинском слоју течности.
- Дефинисати површински напон течности.
- Дефинисати и формулисати коефицијент површинског напона  $\gamma$ , а потом извести његову мерну јединицу.
- Дефинисати коефицијент површинског напона  $\gamma$  преко рада.
- Одредити разлику притисака испод закривљене површине течности - примеру сферне површине преко коефицијента површинског напона.
- Дефинисати угао квашења и према којим вредностима угла квашења течност (не) кваси зидове суда у коме се налази.

*Функционални задаци:*

Оспособљавање ученика за разумевање појаве површинског напона течности; неговање имагинативних способности; оспособљавање ученика за уочавање проблема и увиђање битних детаља; оспособљавање ученика за извођење експеримента; неговање способности критичког мишљења.

*Васпитни задаци:* Стицање радних навика и навике посматрања физичких појава, забележавање битних чињеница, стицање нових животних искустава.

*Наставна средства:* пластичне чаше, спајалице, вода, детергент за суђе, еластична опруга, прстен, лењир, статив, посуда са водом, табла и креда.

*Артикулација часа:*

- уводни део часа: 5-10 минута
- главни део часа: 25-30 минута
- завршни део часа: 5-10 минута

*Уводни део часа:*

Питање:

Очекивани одговор:

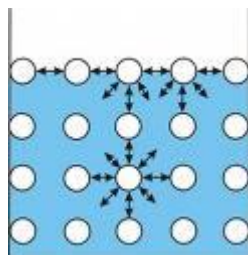
Питање: Како мали инсект може да стоји на површини воде, а да не потоне?

Очекивани одговор: Површина воде је као затегнута опна коју тежина инсекта не може да «прокине».

Главни део часа:

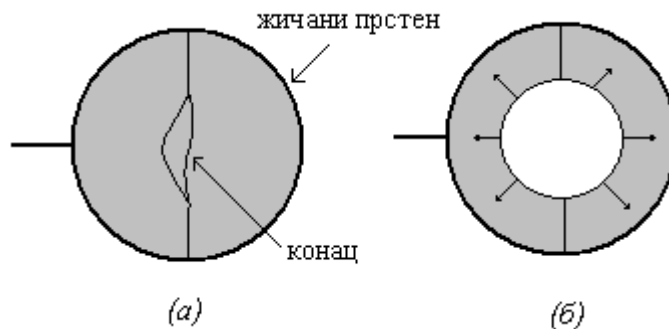
### Енергија површинског слоја и површински напон течности

Посматрајмо молекул на површини течности и у дубини течности и како он интерагује са суседним молекулима (слика 1).



Слика 1 - Молекули течности који се налазе на њеној површини и у њеној дубини

Како се види на слици 1, молекул течности који се налази у дубини течности интерагује са суседним молекулима, а силе интеракције су практично симетрично распоређене те је резултанта свих сила којима он делује на друге молекуле је једнака нули. Посматрањем молекула који се налази на површини течности, он је окружен са једне стране са молекулима течности који су „гушће“ распоређени, а са друге стране окружен је молекулима ваздуха. Резултатна сила која делује на овај молекул није једнака нули и усмерена је ка унутрашњости течности. Стога, молекули који су у површинском слоју течности располажу додатном потенцијалном енергијом у односу на молекуле у унутрашњости течности. Дата енергија им омогућава да остану на површини и да се површина течности понаша као затегнута опна. О овоме сведоче све површинске појаве на течностима. Значи, оне указују на то да се површина течности понаша као затегнута опна, односно да је површина у стању напона (Sears, 1962; Чалуковић, 2011). Ако се посматра ма која линија која лежи на површини или ограничава површину, онда материјал на обема странама затеже материјал на супротне стране. Ово затезање лежи у равни површине и нормално је на линију. Ефекат се може показати помоћу једноставног експеримента показаног на слици 2.



Слика 2 – Жичани прстен са омчом од конца зароњен у сапуницу, (а) пре и (б) после бушења опне у омчи

Жичани прстен пречника величине неколико центиметара, има причвршћену омчу од конца. Када се прстен и конец потопе у сапуницу и извуку, образује се танка опна течности на којој конец плута, као што је приказано на слици (а). Ако се опна у омчи пробуши, конец ће се затегнути и заузеће кружни облик, као на слици (б). Изгледаће као да ивице течности вуку конец радијално од центра, што је показано стрелицама. Свакако су исте силе деловале и пре него што је опна била пробушена, али пошто се опна налази са обе стране конца, укупна сила којом је опна деловала на конец била је једнака нули.

Да би се експериментално показало да се површина течности понаша као затегнута опна коришћени су следећи експеримент.

*Потребан материјал:*

-пластичне чаше

-спајалице

-вода и детерцент за суђе.

*Извођење експеримента:*

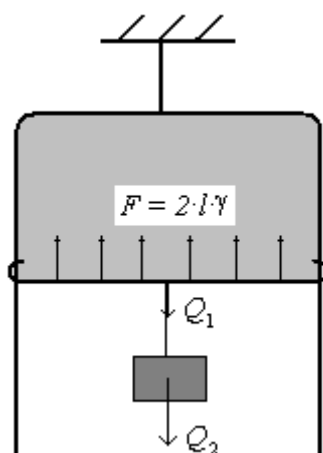
Ученици су добили чаше напуњене водом и спајалице. Ученицима је било задато да поставе спајалицу на површину воде (слика 3), а затим да ставе детерцент у воду и посматрају шта ће се десити како би лакше разумели појам површинског напона течности.



Слика 3 – Експеримент 1 приказ површинског напона

Прво се чиме су се ученици суочили јесте како поставити спајалицу, а да не потоне јер је густина материјала од кога је направљена спајалица много већа од густине воде. Спајалицу су брзо стављали, потом су је стављали под (оштрим и правим) углом и спајалица је у свим тим случајевима потонула. Након неколико неуспелих покушала, сви ученици су успели да поставе спајалицу тако да она буде на површини воде.

Још један од експеримената помоћу кога се могу приказати ефекти површинског напона приказан је на слици 4. Комад жице савијен је у облику латиничког слова У, док је други комад жице дужине  $l$  покретљив. Када се уређај потопи у сапуницу и извади, покретна жица (ако њена тежина  $Q_1$  није сувише велика) одмах се повуче према врху. Она се може држати у равни ако се дода терет  $Q_2$ . Оно што изненађује јесте да ће укупна сила  $F = Q_1 + Q_2$  држати покретни део у стању мировања у сваком положају, без обзира на површину опне течности, под условом да је температура опне константна.



Слика 4 – Приказ експеримента за одређивање површинског напона

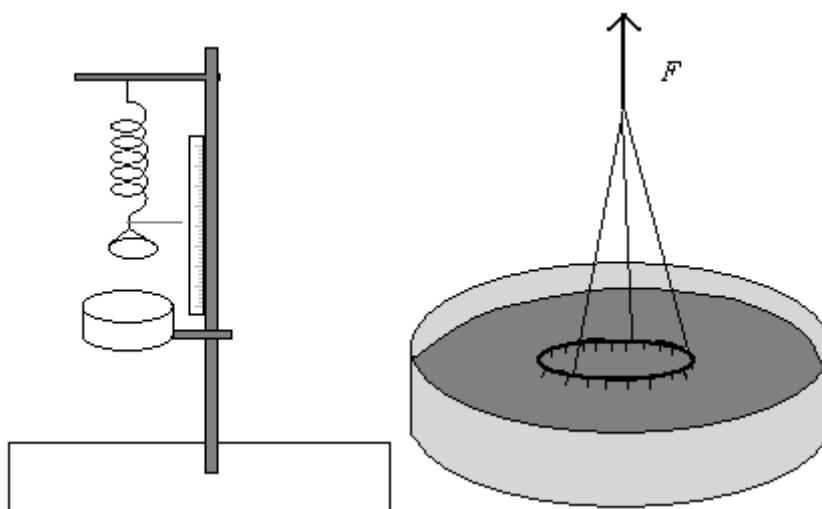


Пошто опна има две површине, укупна дужина дуж које делују површинске силе износи  $2\ell$ . Површински напон опне  $\gamma$  дефинише се као количник површинске силе и дужине (нормалне на силу) дуж које делује сила. Дакле, у овом случају,

$$\gamma = \frac{F}{2\ell}.$$

Јединица површинског напона, у SI систему, је N/m.

Други начин приказивања површинске силе је помоћу инструмента приказаног на слици 5.



Слика 5 – Приказ експеримента за одређивање површинског напона

*Потребан материјал:*

-еластична опруга

-прстен

-лењир

-статив

-посуда са водом.

*Извођење експеримента:*

Еластичну опругу, коефицијента елстичности  $k$ , једним крајем повезати са стативом а другим за танак прстен, унутрашњег ( $d$ ) и спољног ( $D$ ) пречника. Потом прстен поставити

на површину течности тако да опруга у том положају не буде истегнута. Посуду са водом постепено повлачити на доле. Услед повлачења посуде на доле долази до истезања еластичне опруге ( $x$ ). На тај начин је сила површинског напона ( $F = \alpha \pi (D + d)$ ) која је тежила да прстен задржи у води директно сразмерна еластичној сили опруге ( $F = k \cdot x$ ). Коефицијент површинског напона се онда може изразити као:

$$\gamma = \frac{k \cdot x}{\pi (D + d)}$$

Другачија модификација овог експеримента јесте да се уместо повлачења посуде са водом на доле, направи процеп помоћу којег је могуће контролисано истицање воде. У том случају сила површинског напона је по интензитету једнака тежини истекле воде.

Коефицијент површинског напона зависи од природе течности и од температуре, тако да са порастом температуре опада вредност површинског напона.

### **Површински напон и површинска енергија**

Уколико се претпостави да се покретна жица из експеримента приказаног на слици 6 помери за растојање  $y$  под дејством силе  $F = Q_1 + Q_2$ , тада ће укупан извршен рад бити једнак  $F \cdot y$ . Укупна површина опне у том случају ће се повећати за  $2 \ell \cdot y$  под условом да је температура опне константна. Извршен рад по јединици површине, утрошен на повећање површине, износи

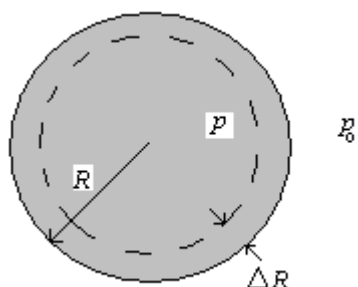
$$\frac{A}{\Delta S} = \frac{F \cdot y}{2 \ell \cdot y} = \frac{F}{2 \ell}$$

Ово је једнако првобитној дефиницији површинског напона  $\gamma$ . Стога се коефицијент површинског напона може дефинисати или као сила по јединици дужине или као рад по јединици површине при повећању површине.

### **Притисак испод закривљене површине течности** – пример сферне површине (Чалуковић, 2011)

Посматрајмо сферну кап течности у ваздуху. Нека је полупречник капи  $R$ , а притисак ваздуха  $p_0$ . Силе површинског напона „затежу“ површину течности, па је притисак ( $p$ ) у течности већи него спољни. При бескрајно малом смањењу површине капи, силе површинског напона изврше рад који је једнак промени енергије површинског слоја

течности  $A = \gamma \cdot \Delta S$ . Са друге стране, тај рад се врши против резултујуће силе притиска  $A = (p - p_0) \Delta V$ .



Изједначавањем добија се:

$$(p - p_0) \left[ \frac{4}{3} \pi R^3 - \frac{4}{3} \pi (R - \Delta R)^3 \right] = \gamma \cdot 4\pi [R^2 - (R - \Delta R)^2]$$

Сређивањем израза добија се да је разлика притисака у сферној капљици и ван ње сразмерна коефицијенту површинског напона, а обрнуто сразмерна полупречнику капи

$$p - p_0 = \frac{2\gamma}{R}$$

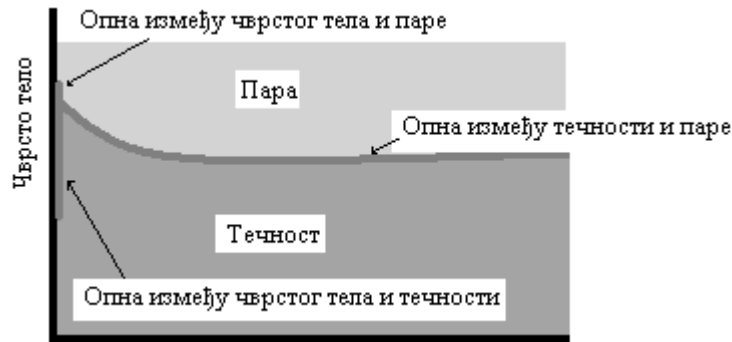
### Угао квашења

Досадашњи примери односили су се на дискусију површинских појава на граници између течности и гаса. Међутим, постоје и друге границе између чврстог зида и течности и између чврстог тела и паре. Три граничне површине и опне које их праве, схематски су приказане на слици 6. Издвојен је мали делић граничних површина и посматрају се сила површинског напона која делује на њих:

$F_{sl}$  – сила површинског напона опне чврсто тело-течност

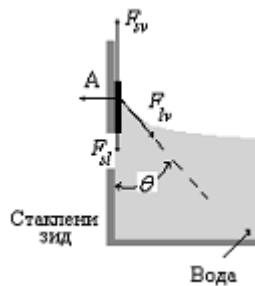
$F_{sv}$  – сила површинског напона опне чврсто тело-пара

$F_{lv}$  – сила површинског напона опне течност-пара



Слика 6 – Приказ опни које се формирају на границама између чврстог тела, течности и ваздуха међусобно

Да би елемент течности на површини био у равнотежи, резуланта површинских сила која делује на њега мора бити једнака сили интеракције између молекула различите врсте. Ова сила се назива сила адхезије ( $F_A$ ). То значи да су пројектоване силе дуж x- и y-правца једнаке нули (слика 7).



Слика 7 – Приказ сила које се формирају између стакленог зида, течности и ваздуха

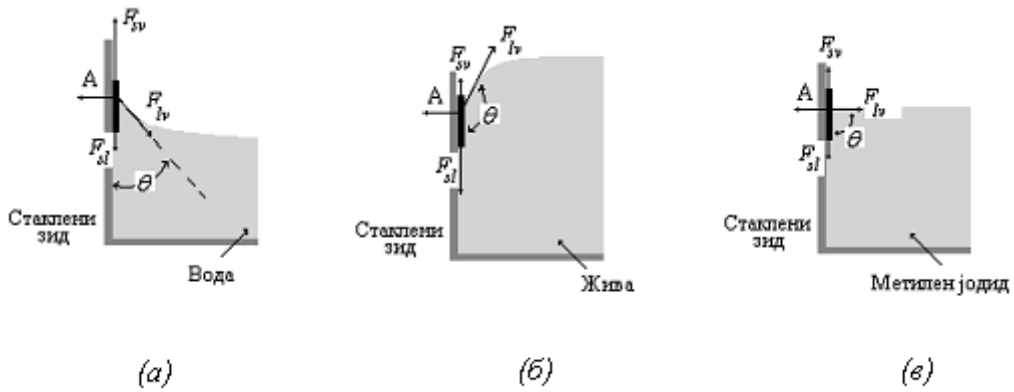
$$\sum F_x = F_{lv} \cdot \sin \theta - F_A = 0,$$

$$\sum F_y = F_{sv} - F_{sl} - F_{lv} \cdot \cos \theta = 0,$$

одакле је  $A = F_{lv} \cdot \sin \theta$ , а  $\cos \theta = \frac{F_{sv} - F_{sl}}{F_{lv}}$ .

Угао  $\theta$  се назива *угао квашења*.

На слици 8 су приказана закривљења код различитих врста течности и стакленог зида)



Слика 8 – Приказ различитих случајева закривљености течности

Ако је угао квашења  $\theta$  мањи од  $90^\circ$  течност кваси стакло, слика 8 (а) и тада је  $F_{sv}$  веће од  $F_{sl}$ . Ако је угао квашења  $\theta$  већи од  $90^\circ$  течност не кваси стакло, слика (б). Ако је угао квашења  $\theta$  једнак  $90^\circ$  течност нити кваси нити не кваси стакло, слика (в).

*Завршни део часа:*

Питање: Чему је једнака резултујућа сила молекула који се налази у унутрашњости течности?

Очекивани одговор: Резултујућа сила је у том случају једнака нули.

Питање: Од чега зависи коефицијент површинског напона?

Очекивани одговор: Коефицијент површинског напона зависи од силе и обима на који она делује  $\gamma = \frac{F}{2\ell}$ .

Питање: Која је јединица за коефицијент површинског напона?

Очекивани одговор: Јединица површинског напона је N/m.

Питање: Чему је сразмерна сила површинског напона у експерименту са опругом?

Очекивани одговор: Сила површинског напона је сразмерна еластичној сили деформације опруге.

Питање: Ако је угао квашења  $\theta$  мањи од  $90^\circ$  да ли течност кваси стакло?

Очекивани одговор: Када је угао квашења  $\theta$  мањи од  $90^\circ$  течност кваси стакло.

### 3.

*Наставни предмет:* Физика

*Разред:* II разред гимназије, природно-математички смер

*Наставна тема:* Особине течности

*Наставна јединица:* Капиларне појаве

*Наставни облик рада:* рад у пару

*Наставне методе:* монолошка, дијалошка, илустрациона

*Циљ часа:* Оспособљавање ученика да решавају проблеме и задатке у новим и непознатим ситуацијама и упознавање ученика са специфичним случајем површинског напона течности изражен кроз капиларне појаве.

*Образовни задаци:*

- Сликвито описати појаве капиларног подизања и спуштања.
- Дефинисати појаву капиларности.
- Навести и окарактеристисати узроке капиларних појава - површински напон и квашење.
- Објаснити дејство сила површинског напона које се јављају дуж граничне линије између зида капиларе и слободне површине течности.
- Теоријски размотрити и анализирати појаву капиларног подизања воде у капилари до висине  $h$ , када се тежина стуба изједначи са резултантом вертикалних компоненти сила површинског напона.
- Изводити образац за максималну висину пењања стуба течности у капилари, односно висину на којој су  $F_V$  и  $Q$  у равнотежи.
- Навести значај и примере капиларних појава у свакодневном животу.

*Функционални задаци:*

Оспособљавање ученика за разумевање појаве капиларности; неговање имагинативних способности; оспособљавање ученика за уочавање проблема и увиђање битних детаља; оспособљавање ученика за извођење експеримента; неговање способности критичког мишљења.

*Васпитни задаци:* Стицање радних навика и навике посматрања физичких појава, забележавање битних чињеница, стицање нових животних искустава.

*Наставна средства:* капилара, чаша, лењир, две стаклене танке плочице, ексер, гумица за тегле, вода, табла и креда.

*Уводни део часа:*

Питање: Како биљке из земље упијају воду?

Очекивани одговор: Помоћу танких кранчица корена које личе на капиларне севчице.

Питање: Шта је мениск?

Очекивани одговор: Мениск је слободна површина течности у танким цевчицама.

Питање: Шта су адхезионе, а шта су кохезионе силе?

Очекивани одговор: Адхезионе силе су привлачне међумолекулске силе између молекула различите врсте, а кохезионе силе су привлачне међумолекулске силе између молекула исте врсте.

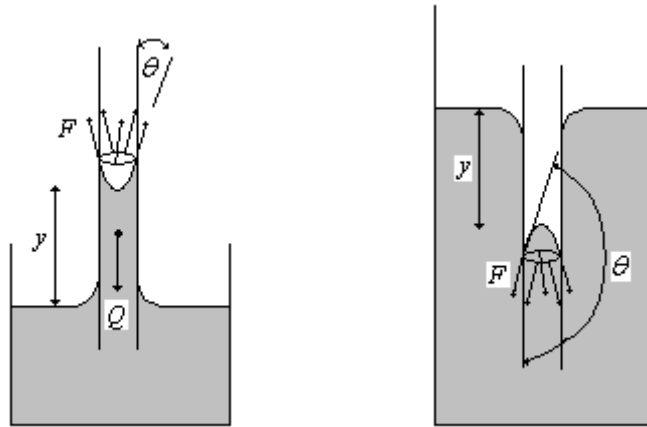
Питање: Када течност кваси материјал преовадају које међумолекулске силе?

Очекивани одговор: Када течност кваси материјал израженије су адхезионе силе.

Главни део часа:

### Капиларне појаве

Најпознатији површински ефекат јесте подизање течности у отвореној цеви малог попречног пресека, капиларност (Sears, 1962; Чалуковић, 2011). Реч капиларност, која се користи за описивање ефеката ове врсте, потиче од описа таквих цеви као «капиларних». У случају течности која кваси цев, угао квашења је мањи од  $90^\circ$  и течност се пење док не постигне равнотежну висину  $y$ , слика 1 (а). Закривљена површина течности у цеви назива се мениск.



Слика 1 – Приказ капиларности (а) течност која кваси зидове капиларе; (б) течност која не кваси зидове капиларе

Ако је цев полупречника  $r$ , течност додирује цев дуж линије дужине  $2r\pi$ . Када издвојимо цилиндар течности висине  $y$  и полупречника  $r$ , заједно са њеном опном течност-пара, укупна сила нагоре је:

$$F = 2r\pi \cdot \gamma_{lv} \cdot \cos\theta$$

Сила надоле јесте тежина  $Q$  стуба течности у капилари

$$Q = \rho g \cdot r^2 \pi y.$$

Пошто је цилиндар у равнотежи тада су силе које делују на њега једнаке по интензитету:

$$\rho g \cdot r^2 \pi y = 2r\pi \cdot \gamma_{lv} \cdot \cos\theta.$$

Из добијене једначине може се одредити висина стуба течности у капилари као:

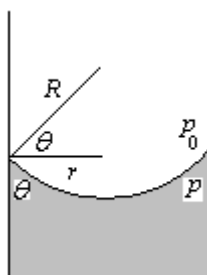
$$y = \frac{2\gamma_{lv} \cdot \cos\theta}{\rho g r}.$$



Иста једначина важи и за капиларно спуштање течности приказано на слици 1 (б).

Капиларност објашњава упијање мастила у хартију, пењање бензина у упаљачу за цигарете и многе друге појаве.

Израз за висину до које се подиже или спушта нека течност у капиларној цеви може се такође извести посматрањем разлике притисака кроз опну. Слика 2 показује врх течног стуба у цеви са слике 1 (а). Претпоставимо да је мениск део сферне површине.



Слика 2 – Приказ врха стуба течности која кваси зидове капиларе

Полупречник површине износи  $R = \frac{r}{\cos\theta}$ , где је  $r$  полупречник цеви.

Разлика притисака кроз површину износи  $\frac{2\gamma_{lv}}{R}$ , тако да притисак  $p$  испод површине износи:

$$p = p_0 - \frac{2\gamma_{lv} \cdot \cos\theta}{r},$$

када је притисак изнад површине атмосферски притисак  $p_0$ .

Притисак у стубу на висини  $y$  се, са друге стране може израчунати из једначине хидростатике као:

$$p = p_0 - \rho g y.$$

Изједначавањем израза за притисак  $p$  добија се израз за одређивање висине стуба течности у капилари

$$y = \frac{2\gamma_{lv} \cdot \cos\theta}{\rho g r}.$$

Потребан математички апарат за објашњење појава површинског напона течности обухваћено је градивом другог разреда гимназије, а ниво знања и разумевања овог физичког појма је испитано кроз примену различитих метода.

Ученицима је прво задато да методом капиларе одреде коефицијент површинског напона (слика 26).

*Потребан материјал:*

-капиларе

-чаша са водом

-лењир.

*Извођење експеримента:*

У чашу са водом поставити капиларну цевчицу и посматрати шта се дешава. Услед дејства адхезионих сила међу молекулима стакла и воде и површинског напона долази до пењања воде у капиларној цевчици све док се тежина стуба течности не изједначи са силом површинског напона. Мерењем висине воденог стуба може се израчунати коефицијент површинског напона воде.

Други експеримент који су ученици радили се састојао од две спојене плочице које граде мали угао стављене у посуду са водом (слика 3).

*Потребан материјал:*

-две стаклене танке плочице

-ексер

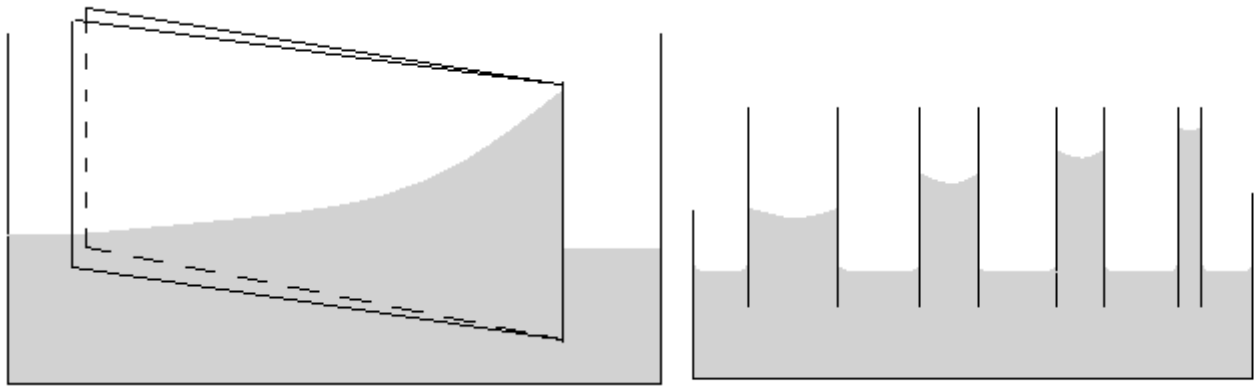
-гумица за тегле

-чаша

-вода.

*Извођење експеримента:*

Две стаклене плочице ставити једну поред друге и уз једну ивицу ставити ексер. Стакла са ексером учврстити гумицом и заронити доњу ивицу у посуду са водом. Услед тежње система да дође до изједначавања притисака, ниво течности између плочица ће се повисити. Различити нивои висине стуба течности зависе од размака између плочица. Добијени резултат се може симулирати низом капилара у којима ће се остварити дато подизање течности.



Слика 3 – Експеримент капиларне појаве

Како је напред речено, са појмом капиларности ученици су се сусрели приликом објашњења узимање воде из земље од стране биљака. На овом примеру се може уочити да је ученицима тешко да повежу две гране природних наука.

*Завршни део часа:*

Питање: Шта је капилара?

Очекивани одговор: Капилара је уска стаклена цевчица.

Питање: Где се у природи могу наћи примери капиларних појава?

Очекивани одговор: Када биљке узимају воду из земље преко коренчића.

Питање: До које висине се течност (која кваси зидове стакла) попне?

Очекивани одговор: Течност која кваси зидове цевчице ће се пењати све док се не изједначе силе површинског напона и тежина стуба течности или док се не изједначе притисци изнад течности и у течности.

## Сценарио за наставни час реализован у Експерименталној групи Е<sub>2</sub>

### 1.

*Наставни предмет:* Физика

*Разред:* II разред гимназије, природно-математички смер

*Наставна тема:* Особине течности

*Наставна јединица:* Вискозност у течностима. Њутнов и Стоксов закон

*Наставни облик рада:* фронтални

*Наставне методе:* вербално-текстуална, илустративно-демонстративне

*Циљ часа:* Оспособљавање ученика да решавају проблеме и задатке у новим и непознатим ситуацијама. Упознавање ученика са појмом вискозности флуида. Оспособљавање ученика за уочавање и распознавање појава везаних за вискозност, као и за активно стицање знања путем мултимедијалних садржаја.

*Образовни задаци:*

- Дефинисати и окарактерисати силе унутрашњег трења у течностима као појаву вискозности, услед које долази до успоравања протицања течности и успореног кретања тела кроз исте.
- Формулисати Њутнов закон вискозности.
- Именовати коефицијент вискозности и извести мерну јединицу за поменути коефицијент.
- Навести зависност коефицијента вискозности од температуре.
- Сликвито описати и приказати кретање течности кроз цеви, утврђивањем и анализирањем чињенице да највећу брзину имају делови течности дуж осе цеви, а најмању делови уз зидове цеви.
- Формулисати Поазејев закон.
- Теоријски размотрити, анализирати и илустровати кретање сферног тела у флуидима.
- Формулисати Стоксов закон вискозности.

*Функционални задаци:*

Оспособљавање ученика за разумевање појаве вискозности; неговање имагинативних способности; оспособљавање ученика за уочавање проблема и увиђање битних детаља и неговање способности критичког мишљења.

*Васпитни задаци:* Стицање радних навика и навике посматрања физичких појава применом мултимедијалних садржаја.

*Наставна средства:* видео бим, компјутер.

*Артикулација часа:*

- уводни део часа: 5-10 минута
- главни део часа: 25-30 минута
- завршни део часа: 5-10 минута

*Уводни део часа:*

Питање: По чему су течности сличне гасовима?

Очекивани одговор: Течности и гасови заузимају облик суда у којем се налазе.

Питање: По чему су течности сличне чврстим телима?

Очекивани одговор: Течности, као и чврста тела, заузимају сталну запремину и опирају се истезању и сабијању.

Питање: Кроз шта се теже крећете: кроз воду (базен или море) или кроз ваздух?

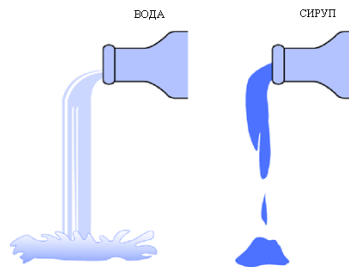
Очекивани одговор: Теже је кретати се кроз воду јер пружа већи «отпор».

Главни део часа:

## Вискозност у течностима. Њутнов и Стоксов закон

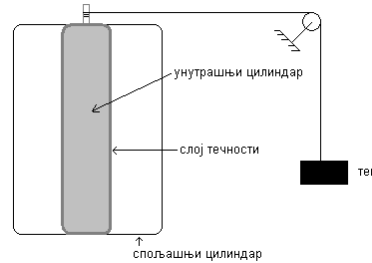
### Вискозност течности

- **Вискозност** представља отпор којим се слојеви течности супростављају кретању једног у односу на други, односно то је врста унутрашњег трења која доводи до протока флуида константном брзином.
- Која сустанца има већу вискозност (вода или сируп)?



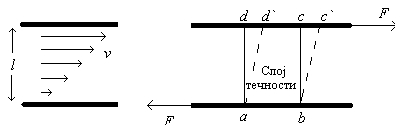
# Вискозност течности

- Како се може мерити коефицијент вискозности?



Слика 1 – Принципијелан приказ рада инструмента за мерење вискозности

# Вискозност течности



Слика 2 – Ламинарни ток вискозног флуида

Коефицијент вискозности флуида дефинисан је количником тангентног напона  $F/S$  и брзине промене тангентне деформације:

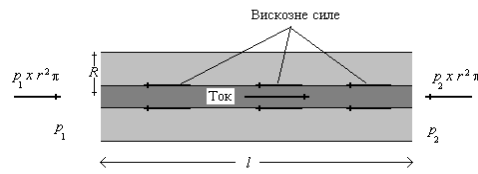
$$\eta = \frac{F}{S} \cdot \frac{\ell}{v}$$

Јединица за коефицијент вискозности је  $kg/m \cdot s$ .

Добијена релација важи за случај када се брзина равномерно повећава са повећањем растојања од доње плоче.

## Поазејев закон

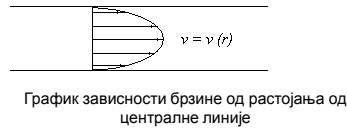
- Посматра се део цеви унутрашњег полупречника  $R$  и дужине, кроз коју ламинарно тече флуид вискозности  $\eta$  (слика 12) и у оквиру тог дела цеви издвоји се мали цилиндар полупречника  $r$  који се налази у равнотежи, односно креће се константном брзином иако постоји деловање сила.



$$F = (p_1 - p_2) \pi r^2$$

$$F = \eta 2r \pi \ell \cdot \frac{\Delta v}{\Delta r}$$

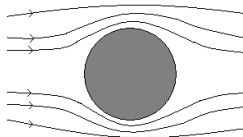
$$v = \frac{p_1 - p_2}{4\eta \ell} (R^2 - r^2)$$



Запремински проток  $q$  флуида, који представља колико флуида прође кроз произвољни пресек цеви у јединици времена, одређује се следећом формулом:

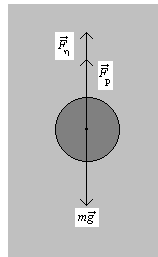
$$q = \frac{p_1 - p_2}{8\eta \ell} \pi \cdot R^4$$

## Стоксов закон



Слика 3 – Приказ тока струјних линија идеалног флуида око сфере

$$F = 6\pi\eta r v$$



Слика 4 – Приказ дејства сила на сферу која пада кроз вискозан флуид

$$\frac{4}{3} r^3 \pi \rho g = \frac{4}{3} r^3 \pi \rho_0 g + 6\pi\eta r v$$

$$v = \frac{2}{9} \cdot \frac{r^2 g}{\eta} (\rho - \rho_0) \quad v = \frac{\ell}{t}$$

$$\eta = \frac{2}{9} \cdot \frac{r^2 g}{\ell} (\rho - \rho_0) t$$

Коришћени видео записи:

1. Falling ball: measuring the viscosity of milk (<http://www.youtube.com/watch?v=PCYszq3Fl18>)
2. VISCOSITY- What is viscosity?..a measure of the resistance of a fluid (<http://www.youtube.com/watch?v=x0Y9XJvHwD0>)
3. How Temperature Affects the Viscosity of Honey - A Science Fair Project (<http://www.youtube.com/watch?v=5te9X4sNrU>)



*Завршни део часа:*

Питање: Да ли се при протицању течности кроз неполичну цев, сви њени делови крећу једнаком брзином?

Очекивани одговор: Не. Најбрже се креће средишњи део течности, а слојеви течности уз зид цеви практично се не померају.

Питање: Шта је вискозности и од чега зависи коефицијент вискозности?

Очекивани одговор: Вискозност је унутрашње трење у течностима, а коефицијент вискозности зависи од силе која делује, површине на коју се делује, брине кретања слојева течности, дебљине слоја и температуре.

Питање: Да ли ће камен пасти брже на дно језера зими – када је вода хладнија или лети – када је вода топлија?

Очекивани одговор: Камен ће брже пасти када је вода топлија јер је тада мањи коефицијент вискозности – мањи је отпор.

Питање: За тела каквог облика важи Стоксов закон?

Очекивани одговор: Стоксов закон важи за тела сферног облика чији је полупречник релативно мали како би се одржало ламинарно кретање.

## 2.

*Наставни предмет:* Физика

*Разред:* II разред гимназије, природно-математички смер

*Наставна тема:* Особине течности

*Наставна јединица:* Енергија површинског слоја и површински напон течности

*Наставни облик рада:* фронтални

*Наставне методе:* вербално-текстуалне методе

*Циљ часа:* Оспособљавање ученика да решавају проблеме и задатке у новим и непознатим ситуацијама. Упознавање ученика са појмом површинског напона течности. Оспособљавање ученика за уочавање и распознавање појава везаних за површински напон течности, као и за активно стицање знања путем мултимедијалних садржаја.

*Образовни задаци:*

- Сликвито објаснити да на граници између воде и ваздуха постоји уређен слој молекула воде, који су водоничним везама међусобно повезани, али и са молекулима у унутрашњости течности.
- Анализирати и разликовати молекул који се налази у унутрашњости течности и његове интеракције, од молекула који се налази у површинском слоју течности.
- Дефинисати површински напон течности.
- Дефинисати и формулисати коефицијент површинског напона  $\gamma$ , а потом извести његову мерну јединицу.
- Дефинисати коефицијент површинског напона  $\gamma$  преко рада.
- Одредити разлику притисака испод закривљене површине течности - примеру сферне површине преко коефицијента површинског напона.
- Дефинисати угао квашења и према којим вредностима угла квашења течност (не) кваси зидове суда у коме се налази.

*Функционални задаци:*

Оспособљавање ученика за разумевање појаве површинског напона; неговање имагинативних способности; оспособљавање ученика за уочавање проблема и увиђање битних детаља и неговање способности критичког мишљења.

*Васпитни задаци:* Стицање радних навика и навике посматрања физичких појава применом мултимедијалних садржаја.

*Наставна средства:* видео бим, компјутер.

*Артикулација часа:*

- уводни део часа: 5-10 минута
- главни део часа: 25-30 минута
- завршни део часа: 5-10 минута

*Уводни део часа:*

**Питање:** Зашто мали инсекти могу да стоје на води?

**Одговор:** На граници између воде и ваздуха постоји уређен слој молекула воде повезаних међусобно и са молекулима у унутрашњости водоничним везама. Због тога се површина воде понаша као опна која је отпорна на развлачење и кидање.

**Површински напон** је мера тешкоће да се површина течности развуче или скида. Инсекти попут комарца имају релативно малу масу која се равномерно распореди по великој површини, па је сила притиска мала у односу на силу површинског напона, односно недовољна да би се опна покидала.



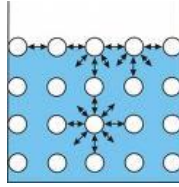
**Питање:** Да ли је могуће да игла стоји на површини воде?

**Одговор:** Мали предмети ће тонути у воду ако је маса сконцентрисана на малу површину, односно када је притисак тако велики да водоничне везе на површини воде не могу да га надвладају.

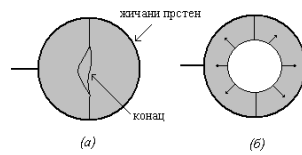


*Главни део часа:*

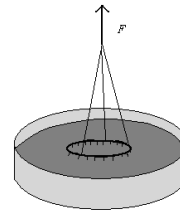
## Енергија површинског слоја и површински напон течности



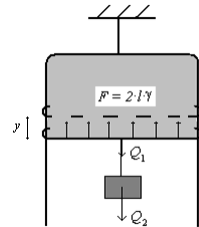
Слика 1 – Приказ интеракција молекула течности који се налазе на њеној површини и у њеној унутрашњости



Слика 2 – Жичани прстен са омчом од конца зароњен у сапуницу, (а) пре и (б) после бушења опне у омчи



Слика 4 – Приказ експеримента за одређивање површинског напона



Слика 3 – Приказ експеримента за одређивање површинског напона

$$\frac{A}{\Delta S} = \frac{F \cdot y}{2l \cdot y} = \frac{F}{2l}$$

$$\gamma = \frac{F}{2l}$$

Јединица површинског напона је N/m.

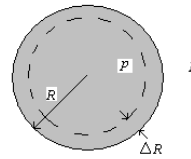
Притисак испод закривљене површине  
течности – пример сферне површине

$$A = \gamma \cdot \Delta S$$

$$A = (p - p_0) \Delta V$$

$$(p - p_0) \frac{4}{3} \pi [R^3 - (R - \Delta R)^3] = \gamma \cdot 4\pi [R^2 - (R - \Delta R)^2]$$

$$p - p_0 = \frac{2\gamma}{R}$$



Базилиск гуштери могу да трче по води. Наиме, количник њихове тежине и површине којом стају на воду је много мањи него коефицијент површинског напона те се на тај начин одржавају на површини воде.



Слика 5 – Базилиск гуштер

Коришћени видео записи:

1. 2 28 Површински напон (<http://www.youtube.com/watch?v=JVqDa4DkpAE>)

2. Surface Tension ([http://www.youtube.com/watch?v=1Z\\_JqcHjJss](http://www.youtube.com/watch?v=1Z_JqcHjJss))

### 3. 7.2 Surfactants and Surface Tension (<http://www.youtube.com/watch?v=Pe12NedfYC0>)

*Завршни део часа:*

Питање: Чему је једнака резултујућа сила молекула који се налази у унутрашњости течности?

Очекивани одговор: Резултујућа сила је у том случају једнака нули.

Питање: Од чега зависи коефицијент површинског напона?

Очекивани одговор: Коефицијент површинског напона зависи од силе и обима на који она делује  $\gamma = \frac{F}{2\ell}$ .

Питање: Која је јединица за коефицијент површинског напона?

Очекивани одговор: Јединица површинског напона је N/m.

Питање: Ако је угао квашења  $\theta$  мањи од  $90^\circ$  да ли течност кваси стакло?

Очекивани одговор: Када је угао квашења  $\theta$  мањи од  $90^\circ$  течност кваси стакло.

### 3.

*Наставни предмет:* Физика

*Разред:* II разред гимназије, природно-математички смер

*Наставна тема:* Особине течности

*Наставна јединица:* Капиларне појаве

*Наставни облик рада:* фронтални

*Наставне методе:* вербално-текстуалне методе

*Циљ часа:* Оспособљавање ученика да решавају проблеме и задатке у новим и непознатим ситуацијама и упознавање ученика са специфичним случајем површинског напона течности изражен кроз капиларне појаве.

*Образовни задаци:*

- Сликвито описати појаве капиларног подизања и спуштања.
- Дефинисати појаву капиларности.
- Навести и окарактеристисати узроке капиларних појава - површински напон и квашење.
- Објаснити дејство сила површинског напона које се јављају дуж граничне линије између зида капиларе и слободне површине течности.
- Теоријски размотрити и анализирати појаву капиларног подизања воде у капилари до висине  $h$ , када се тежина стуба изједначи са резултантом вертикалних компоненти сила површинског напона.
- Изводити образац за максималну висину пењања стуба течности у капилари, односно висину на којој су  $F_V$  и  $Q$  у равнотежи.
- Навести значај и примере капиларних појава у свакодневном животу.

*Функционални задаци:*

Оспособљавање ученика за разумевање појаве капиларности; неговање имагинативних способности; оспособљавање ученика за уочавање проблема и увиђање битних детаља и неговање способности критичког мишљења.

*Васпитни задаци:* Стицање радних навика и навике посматрања физичких појава применом мултимедијалних садржаја.

*Наставна средства:* видео бим, компјутер.

*Артикулација часа:*

- уводни део часа: 5-10 минута
- главни део часа: 25-30 минута
- завршни део часа: 5-10 минута



*Уводни део часа:*

Питање: Како биљке из земље упијају воду?

Очекивани одговор: Помоћу танких кранчица корена које личе на капиларне севчице.

Питање: Шта је мениск?

Очекивани одговор: Мениск је слободна површина течности у уској цевчици.

Питање: Шта су адхезионе, а шта су кохезионе силе?

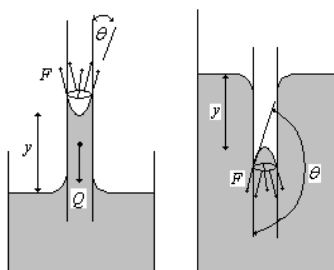
Очекивани одговор: Адхезионе силе су привлачне међумолекулске силе између молекула различите врсте, а кохезионе силе су привлачне међумолекулске силе између молекула исте врсте.

Питање: Када течност кваси материјал преовадају које међумолекулске силе?

Очекивани одговор: Када течност кваси материјал израженије су адхезионе силе.

*Главни део часа:*

## Капиларне појаве



Слика 1 – Приказ капиларности (а) течност која кваси зидове капиларе;  
(б) течност која не кваси зидове капиларе

$$F = 2r\pi \cdot \gamma_{lv} \cdot \cos\theta$$

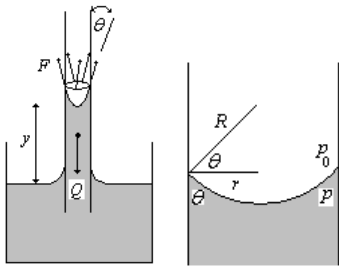
$$Q = \rho g \cdot r^2 \pi y$$

---


$$y = \frac{2\gamma_{lv} \cdot \cos\theta}{\rho g r}$$

Разлика притисака кроз површину износи:

$$\frac{2\gamma_{lv}}{R}$$



$$p = p_0 - \frac{2\gamma_{lv} \cdot \cos\theta}{r}$$

$$p = p_0 - \rho g y$$

Слика 2 – Приказ врха стуба течности која кваси зидове капиларе

$$y = \frac{2\gamma_{lv} \cdot \cos\theta}{\rho g r}$$

$$R = \frac{r}{\cos\theta}$$

Коришћени видео записи:

1. ThermoPore-Surface Energy & Capillary Forces, Part 4  
(<http://www.youtube.com/watch?v=sLIJKNYXVU>)

2. Capillary action is the ability of a liquid to flow in narrow spaces without the assistan  
(<http://www.youtube.com/watch?v=d78OidfEqAs>)

*Завршни део часа:*

Питање: Шта је капилара?

Очекивани одговор: Капилара је уска стаклена цевчица.

Питање: Где се у природи могу наћи примери капиларних појава?

Очекивани одговор: Када биљке узимају воду из земље преко коренчића.

Питање: До које висине се течност (која кваси зидове стакла) попне?

Очекивани одговор: Течност која кваси зидове цевчице ће се пењати све док се не изједначе силе површинског напона и тежина стуба течности или док се не изједначе притисци изнад течности и у течности.

Коришћена литература:

1. Чалуковић, Н. (2011) *Физика 2, за други разред математичке гимназије*, Круг, Београд
2. Чалуковић, Н., Каделбург, Н. (2009) *Физика 2: збирка задатака и тестова за други разред гимназије*, Круг, Београд
3. Распоповић, М., Божин, С., Даниловић, Е. (1996) *Физика за други разред гимназије*, Завод за уџбенике и наставна средства, Београд
4. Falling ball: measuring the viscosity of milk (<http://www.youtube.com/watch?v=PCYszq3FII8>)
5. VISCOSITY- What is viscosity??..a measure of the resistance of a fluid (<http://www.youtube.com/watch?v=x0Y9XJvHwD0>)
6. How Temperature Affects the Viscosity of Honey - A Science Fair Project (<http://www.youtube.com/watch?v=5te9X4sNrU>)
7. 2 28 Површински напон (<http://www.youtube.com/watch?v=JVqDa4DkpAE>)
8. Surface Tension ([http://www.youtube.com/watch?v=1Z\\_JqcHjJss](http://www.youtube.com/watch?v=1Z_JqcHjJss))
9. 7.2 Surfactants and Surface Tension (<http://www.youtube.com/watch?v=Pe12NedfYC0>)
10. ThermoPore-Surface Energy & Capillary Forces, Part 4 ([http://www.youtube.com/watch?v=sLI\\_JKNYXVU](http://www.youtube.com/watch?v=sLI_JKNYXVU))
11. Capillary action is the ability of a liquid to flow in narrow spaces without the assistance of any other forces (<http://www.youtube.com/watch?v=d78OidfEqAs>)

## 7.4. Садржаји програма за наставни предмет Физика за други разред средњег образовања и васпитања за гимназије

### II разред гимназија природно-математичког смера (3 часа недељно, 108 часова годишње)

#### САДРЖАЈИ ПРОГРАМА

##### I Молекулско-кинетичка теорија гасова (15+2)

1. Увод (молекули, кретање молекула). Расподела молекула гаса по брзинама. Дифузија (квалитативно). (P)

Мерење највероватније брзине молекула гаса. Средњи слободни пут молекула гаса. (O)

2. Модел идеалног гаса. Притисак гаса. Температура. (II)

3. Једначина стања идеалног гаса. Изопроцеси и гасни закони. (II)

Гасни термометар. (O)

##### *Демонстрациони огледи:*

– Топлотно кретање молекула (модел Брауновог кретања).

– Рејлијев оглед.

– Изотермски процеси.

##### **Лабораторијска вежба**

– Провера Бојл-Мариотовог закона.

##### II Термодинамика (16+0)

1. Унутрашња енергија. Топлотна размена и количина топлоте. Први принцип термодинамике (II).

2. Рад при ширењу гаса. Примена I принципа термодинамике на изопроцесе у идеалном гасу. Топлотне капацитативности. Адијабатски процес. (II)

3. Повратни и неповратни процеси. (P)

Други принцип термодинамике. Статистички смисао II принципа. (P)

Ентропија. (O)

4. Основни принцип топлотних мотора и уређаја за хлађење. Коефицијент корисног дејства. Карноов циклус. (II)

##### *Демонстрациони огледи:*

– Адијабатски процеси (компресија, експанзија).

– Статистичка расподела (Галтонова даска).

##### III Основи динамике флуида (7+2)

1. Физички параметри идеалног флуида при кретању. Једначина континуитета. (II)

2. Бернулијева једначина. Примене Бернулијеве једначине. (II)

##### *Демонстрациони огледи:*

– Бернулијева једначина (Вертикална сонда, Питоова цев, Прантлова цев, Бернулијева цев).

– Магнусов ефекат.

##### **Лабораторијска вежба**

– Вентуријева цев.

#### **IV Молекулске силе и агрегатна стања (14+4)**

1. Молекулске силе. (P)

Топлотно ширење чврстих тела и течности. (П)

2. Структура чврстих тела (кристали). (P)

Еластичност чврстих тела, Хуков закон. (П)

3. Вискозност у течности, Њутнов и Стоксов закон. Површински напон течности и капиларност. (П)

4. Испаравање и кондензовање, засићена пара, кључање. Топљење и очвршћавање. Испаравање кристала и сублимација. Дијаграми прелаза. (P)

5. Промене унутрашње енергије при фазним прелазима. Једначина топлотног баланса. (П)

*Демонстрациони огледи:*

– Топлотно ширење метала и гасова.

– Врсте еластичности, пластичност.

– Капиларне појаве. Површински напон (рамови са опном од сапунице и други начини).

– Кључање на сниженом притиску.

– Модели кристалних решетки.

– Испаравање и кондензација.

– Дифузија гасова.

**Лабораторијске вежбе**

– Одређивање модула еластичности жице.

– Мерење коефицијента површинског напона.

#### **V Електростатика (22+0)**

1. Кулонов закон. Јачина електричног поља. Линије силе. Електрични флукс. (П)

2. Потенцијална енергија електростатичке интеракције. Рад у електричном пољу. Потенцијал поља и електрични напон. (П)

Еквипотенцијалне површи. Веза јачине поља и потенцијала. (P)

3. Проводник у електричном пољу. Електростатичка заштита. (П)

4. Електрични дипол, деловање електричног поља на дипол. Диелектрик у електричном пољу. (P)

Јачина поља у диелектрику. (П)

5. Електрична капацитативност. Кондензатори и њихово везивање. Енергија електричног поља у кондензатору. (П)

Запреминска густина енергије електричног поља. (P)

*Демонстрациони огледи:*

– Наелектрисавање тела.

– Линије сила код електростатичког поља.

– Линије електричног поља (електролитичка када).

– Еквипотенцијалност металне површине, електрични ветар.

– Фарадејев кавез.

– Електрична капацитативност проводника (зависност од величине и присуства других тела).

– Зависност капацитативности од растојања плоча кондензатора и од диелектрика (електрометар, расклопни кондензатор).

## **VI Стална електрична струја (22+4)**

- 1.Извори електричне струје и електромоторна сила. Јачина и густина струје. (П)
  - 2.Омов закон за проводник. Електрична отпорност проводника, везивање отпорника. (П)
  - 3.Џул-Ленцов закон. Омов закон за коло. Кирхофова правила. (П)
  - 4.Електрична проводљивост метала. Омов и Џулов закон на основу електронске теорије проводљивости метала. (Р)  
Контактни потенцијали. Термоелектричне појаве. (О)
  - 5.Електрична струја у електролитима. Омов закон и проводљивост електролита. Фарадејеви закони електролизе. (Р)
  - 6.Термоелектронска емисија. Катодна цев. (Р)
  - 7.Електрична струја у гасовима. Врсте пражњења у гасовима. (Р)  
Плазма (О).
- Демонстрациони огледи:*
- Омов закон за део и за цело струјно коло.
  - Електрична проводљивост електролита.
  - Џулов закон.
  - Струја у течности и гасу.
  - Електрична отпорност проводника.
  - Пражњење у гасу при снижавању притиска гаса.
- Лабораторијске вежбе:**
- Провера Омовог закона.
  - Мерење отпора Витстоновим мостом.

## **II разред**

**гимназија општег типа и гимназија друштвено-језичког смера**  
(2 часа недељно, 70 часова годишње)

### **САДРЖАЈИ ПРОГРАМА**

#### **I Молекулско-кинетичка теорија гасова (10+0)**

- 1.Увод. Топлотно кретање молекула. Расподела молекула по брзинама. (Р)
  - 2.Модел идеалног гаса. Притисак гаса. Температура. (Р)
  - 3.Једначина стања идеалног гаса. Изопроцеси и гасни закони. (П)
- Демонстрациони огледи:*
- Хаотично кретање молекула (модел Брауновог кретања).
  - Изотермски процес.

#### **II Термодинамика (13+0)**

- 1.Унутрашња енергија и њена промена. Количина топлоте. Први принцип термодинамике. (П)
- 2.Рада при ширењу гаса. Топлотне капацитативности. (П)  
Адијабатски процес. (О)
- 3.Повратни и неповратни процеси. II принцип термодинамике. (Р)  
Појам ентропије. (О)
- 4.Основни принцип рада топлотних мотора. Коефицијент корисног дејства. (П)

Карноов циклус. (О)

### III Основи динамике флуида (6+0)

1. Увод. Једначина континуитета. (П)

2. Бернулијева једначина. Торичелијева теорема. (П)

*Демонстрациони огледи:*

- Струјна када.
- Торичелијева теорема.
- Бернулијева једначина (Питоова, Прантлова и Вентуријева цев).

### IV Молекулске силе и агрегатна стања (8+4)

1. Основне карактеристике молекулских сила. Топлотно ширење чврстих тела и течности. (П)

2. Еластичност чврстих тела. Хуков закон. (П)

3. Вискозност течности. Површински напон. Капиларне појаве. (Р)

4. Промена агрегатног стања и унутрашње енергије. (П)

*Демонстрациони огледи:*

- Топлотно ширење метала.
- Врсте еластичности.
- Капиларне појаве. Површински напон (рамови са опном од сапунице).
- Вискозне појаве.

#### Лабораторијске вежбе

- Одређивање модула еластичности жице.
- Мерење коефицијента површинског напона.

### V Електростатика (11+0)

1. Кулонов закон. Јачина електричног поља. (П)

Потенцијал, рад, напон. (П)

2. Проводник у електричном пољу. Електрична капацитивност. Кондензатори. Енергија електричног поља. (Р)

*Демонстрациони огледи:*

- Наелектрисавање тела.
- Линије сила електростатичког поља.
- Еквипотенцијалност металне површине, електрични ветар.
- Електростатичка заштита (Фарадејев кавез).
- Електрични капацитет проводника (зависност од величине и присуства других тела).
- Зависност капацитивности од растојања плоча кондензатора и од диелектрика (електрометар, расклопни кондензатор).

### VI Стална електрична струја (14+4)

1. Извори струје и електромоторна сила. Јачина и густина струје. (П)  
Омов закон за део кола и електрична отпорност проводника. (П)

2. Џулов закон. Омов закон за струјно коло. Кирхофова правила. (П)

3. Проводљивост електролита. Фарадејев закон електролизе. (Р)

4. Проводљивост гасова. Пажњење у гасовима. Појам плазме. (Р)

*Демонстрациони огледи:*

- Омов закон за део струјног кола.



- Електрична отпорност проводника (зависност од  $\rho$ ,  $l$ ,  $S$ )
- Омов закон за цело струјно коло.
- Електрична проводљивост електролита.
- Џулов закон.

#### **Лабораторијске вежбе**

- Провера Омовог закона.
- Мерење електричне отпорности.

#### ***Нивои образовно-васпитног рада***

*Први ниво:* обавештеност (О)

*Други ниво:* разумевање (Р)

*Трећи ниво:* примена (П)

## **Биографија**



Бранка Радуловић рођена 22.06.1985. године у Суботици, од оца Николе Радуловић и мајке Данице Радуловић. Основну школу „Вук Караџић“ завршила је у Бајмоку, 2000. године као вуковац, а Гимназију „Светозар Марковић“ завршила је у Суботици, 2004. године.

Школске 2004/05. године уписује Природно-математички факултет у Новом Саду, смер професор физике на Департману за физику које је завршила 04. јула 2008. године са просечном оценом 8,86 и одбравивши дипломски рад под називом: „Примена и обрада наставне јединице «х-зрачење» у средњим школама“ и тако стекла стручно звање професор физике. Школске 2008/09. године уписује дипломске академске студије – мастер на Природно-математичком факултету у Новом Саду на Департману за физику, модул наставни. Студије је завршила 01. јула 2009. године са просечном оценом 9,50 одбравивши мастер рада „Образовни и социо-економски аспекти успеха на студијама физике на ПМФ-у у Новом Саду“, под менторством проф. др Агнеш Капор и стекла стручно звање дипломирани физичар – мастер (модул: наставни). Школске 2009/10. године на Природно-математичком факултету у Новом Саду на Департману за физику, уписала докторске академске студије Методике наставе природних наука (физике), у оквиру којих је положила све испите предвиђене планом и програмом са просечном оценом 10,00 (десет). Од школске 2009/10. године ангажована је у настави у оквиру следећих предмета: Механика, Осцилације и таласи, Термодинамика и Кинетичка теорија гасова.

Током студирања била стипендиста Министарства просвете и спорта (школске 2005/06. године; студентски кредит школске 2006/07.; 2007/08; 2008/09). Школске 2004/05. године била је награђена посебном наградом Универзитета у Новом Саду за постигнут успех.

Школске 2009/10. године радила са специјалним - математичким огледним одељењима у Гимназији „Јован Јовановић Змај“ у Новом Саду. Истовремено је била запослена и у ОШ „Соња Маринковић“ у Суботици до 01.02.2011. године када је запослена на Департману за физику Природно-математичког факултета као истраживач приправник, на пројекту „Квалитет образовног система Србије у европској перспективи“, Но. 179010, одобреном од стране Министарства просвете и науке Републике Србије за период 2011-2014.

Марта 2012. године добила уверење да је положила државни испит.

Члан Друштва физичара Србије и члан Друштва предметних дидактичара Србије.

Била ангажована као волонтер у реализацији I, II, III, IV, V-тог Фестивала науке у Новом Саду“ (фебруар 2009., мај 2010., мај 2011., мај 2012. године и мај 2013. године), радионице за децу одржане у Америчком кутку у Новом Саду (март, 2010.), I, II, III и IV Ноћи истраживача у Новом Саду (септембар, 2010, септембар, 2011, септембар, 2012 и септембар 2013).

Учествовала на следећим семинарима и курсевима:

- на XXVII Републичком семинару о настави физике за основну и средње школе у Врњачкој Бањи, 2009. године учествовала са радом и освојила трећу награду
- на XXVIII Републичком семинару о настави физике за основну и средње школе у Врњачкој Бањи, 2010. године учествовала са радом и освојила шесту награду
- на XXIX Републички семинар о настави физике за основну и средње школе у Врњачкој Бањи, 2011. године учествовала као демонстратор у оквиру Радионице за експерименте типа „Уради сам“
- на XXX Републичком семинару о настави физике за основну и средње школе у Београду, 2012. године учествовала са радом
- на XXXI Републичком семинару о настави физике за основну и средње школе у Врњачкој Бањи, 2013. године
- на XXXII Републичком семинару о настави физике за основну и средње школе у Вршцу, 2014. године
- *Академске вештине* – предавач: Dr Steve A. Quagrie, семинар је одржан у марту 2011. године у Београду
- *Обука младих наставника и сарадника у техникама предавања и учења* – семинар је одржан у март 2011. године у Београду
- *Joint ICTP-TWAS Science Communication in Developing Countries: Bridging the Gap between Science, Policy and the General Public*, семинар је одржан у октобру 2011. године у *International Centre for Theoretical Physics* у Трсту

- *2nd International Summer School and Workshop on Brain Dynamics: Connectivity & Cognition*, летња школа је одржана 1-6 јула 2013. године у Institute of Theoretical and Applied Physics (ITAP) in Turunç/Marmaris
- *Радионица из области научне комуникације*, радионица је одржана од 30. 11. до 01. 12. 2013. године на Природно-математичком факултету у Новом Саду, презентовала популарно предавање

Аутор или коаутор је једног рада у међународном часопису, неколико радова у часопису (водећег) националног значаја, неколико радова у тематском зборнику водећег националног значаја, неколико саопштења са међународног скупа штампано у целини и у изводу, као и неколико стручних радова.

## Кључна документација

УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ

ПРИРОДНО - МАТЕМАТИЧКИ ФАКУЛТЕТ, ДЕПАРТМАН ЗА ФИЗИКУ

### КЉУЧНА ДОКУМЕНТАЦИЈСКА ИНФОРМАЦИЈА

Редни број: РБР	
Идентификациони број: ИБР	
Тип документације: ТД	Монографска документација
Тип записа:	Текстуални штампани материјал

ТЗ	
Врста рада (дипл., маг., докт.): ВР	докторски рад
Име и презиме аутора: АУ	Бранка Радуловић
Ментор (титула, има, презиме, звање): МН	проф. др Маја Стојановић
Наслов рада: НР	Когнитивно оптерећење ученика другог разред гимназије у настави физике
Језик публикације: ЈП	српски
Језик извода: ЈИ	српски
Земља публикавања: ЗП	Република Србија
Уже географско подручје: УГП	Војводина
Година: ГО	2014
Издавач:	autorski reprint

ИЗ	
Место и адреса: МА	Природно-математички факултет, Трг Доситеја Обрадовића 4, Нови Сад
Физички опис рада: ФО	7/195/147/12/14/6/26/4
Научна област: НО	Физика
Научна дисциплина: НД	Методика наставе физике
Предметна одредница, кључне речи: ПО	когнитивно оптерећење, ученици другог разреда гимназије, настава физике
UDK	
Чува се: ЧУ	Библиотека департмана за физику, ПМФ-а у Новом Саду
Важна напомена: ВН	нема
Извод: ИЗ	У раду је испитано когнитивно оптерећење ученика при различитим наставним методама које се најчешће примењују у настави физике (традиционални, мултимедијални метод и метод коришћења експеримента) и како когнитивно оптерећење утиче на постигнуће ученика. Да би испитао тражени утицај, примењен је педагошки експеримент са паралелним групама. У овом истраживању је учествовало 187 ученика другог разреда гимназија природно-математичког смера (четири одељења гимназије „Ј.Ј.Змај“ и два одељења гимназије „Исидора Секулић“) у Новом

	<p>Саду. Ученици су, на основу постигнућа на иницијалном тестирању, подељени у три групе. Једну групу, контролну, чинили су ученици са којима је реализован традиционалан метод. Другу групу, експерименталну <math>E_1</math>, чинили су ученици са којима је реализован метод коришћења експеримента. Трећу групу, експерименталну <math>E_2</math>, чинили су ученици са којима је реализован мултимедијални метод.</p> <p>Резултати су показали да су ученици експерименталних група постигли веће постигнуће на финалном тесту него ученици контролне групе. Ученици <math>E_1</math> групе су остварили веће постигнуће на финалном тестирању него ученици <math>E_2</math> групе.</p> <p>Ученици експерименталних група су перципирали мање когнитивно оптерећење него ученици контролне групе. Ученици <math>E_1</math> групе су перципирали мање когнитивно оптерећење него ученици <math>E_2</math> групе.</p> <p>У ово истраживању је, такође, добијено да су ученици који су перципирали мање оптерећење одговорили тачно на питања финалног теста.</p> <p>Графичким одређивањем ефикасности наставне методе, добијено је да је метод коришћења експеримента ефикаснији од друга два испитивана метода. Такође је добијено да је мултимедијални метод ефикаснији од традиционалног метода.</p> <p>Резултати овог истраживања су од значаја наставницима физике јер дају потпунији увид у ефикасност примењеног наставног метода, али и методици наставе физике јер даје објективну слику и смернице развоја средњошколског образовања са посебним акцентом на когнитивно оптерећење.</p>
<p>Датум прихватања теме од стране НН већа:</p> <p>ДП</p>	
<p>Датум одбране:</p> <p>ДО</p>	

<p>Чланови комисије:</p> <p>(ime i prezime / titula / zvanje / naziv organizacije / status)</p> <p>КО</p>	<p>председник: др Агнеш Капор, редовни професор ПМФ, Нови Сад</p> <p>члан: др Мирјана Сегединац, редовни професор ПМФ, Нови Сад</p> <p>члан: др Оливера Гајић, редовни професор Филозофског факултета, Нови Сад</p> <p>члан: др Душанка Ж. Обадовић, редовни професор ПМФ, Нови Сад, Педагошки факултет у Сомбору, Сомбор</p> <p>члан: др Маја Стојановић, ванредни професор ПМФ, Нови Сад (ментор)</p>
---	---

University of Novi Sad

Faculty of Science, Department of Physics

Key word documentation

<p>Accession number:</p> <p>ANO</p>	
<p>Identification number:</p> <p>INO</p>	
<p>Document type:</p> <p>DT</p>	<p>Monograph documentation</p>
<p>Type of record:</p> <p>TR</p>	<p>Textual printed material</p>
<p>Contents code:</p>	

CC	
Author: AU	mrs Branka Radulović
Mentor: MN	dr Maja Stojanović
Title: TI	Cognitive load of the second grade physics students at high school
Language of text: LT	serbian
Language of abstract: LA	eng. / srp.
Country of publication: CP	Republic of Serbia
Locality of publication: LP	Vojvodina
Publication year: PY	2014
Publisher: PU	Author's reprint
Publication place:	Faculty of Science, Trg Dositeja Obradovića 4, Novi Sad



PP	
Physical description: PD	7/195/147/12/14/6/26/4
Scientific field SF	Physics
Scientific discipline SD	Didactics of physics
Subject, Key words SKW	cognitive load, the students of the second grade, teaching physics
UC	
Holding data: HD	
Note: N	none
Abstract: AB	The paper examines the cognitive load of students at different methods continue to be commonly used in physics (traditional, multimedia method and the method of using the experiment), and how cognitive load affects student achievement. To investigate the desired effect, applied a pedagogical experiment with parallel groups. This study included 187 second grade students in high school sciences and mathematics course (four classes of high school "J.J.Zmaj" and two classes of high school, "Isidora Sekulic") in Novi Sad. Students, based on the achievement of the initial testing, divided into three groups. One group, the control,

	<p>consisted of students with whom he realized the traditional method. The second group, the experimental E<sub>1</sub>, made the students with whom he realized the method of using the experiment. The third group, the experimental E<sub>2</sub>, consisted of students with whom implemented multimedia method.</p> <p>The results showed that the students of the experimental group achieved higher achievement on the final test than students of the control group. Students E<sub>1</sub> group have achieved major achievement in the final test than students E<sub>2</sub> group.</p> <p>Students in the experimental groups were perceived less cognitive load than the control group students. Students E<sub>1</sub> groups are perceived less cognitive load than students E<sub>2</sub> group.</p> <p>In this study, also obtained that students who perceive less load answer correctly questions the final test.</p> <p>Graphing the determination of the efficiency of the teaching methods, it is obtained by a method more efficient than the use of experiments examined the other two methods. It is also obtained that the method of multimedia efficient than the traditional method.</p> <p>The results of this study are important because they give physics teachers a better insight into the effectiveness of the applied teaching methods, but also the methodology of teaching physics because it provides an objective picture and guidelines for the development of secondary education with an emphasis on cognitive load.</p>
Accepted on Scientific Board on:  AS	
Defended:	

DE	
Thesis Defend Board: DB	<p>president: Ph.D. Agneš Kapor, full prof.</p> <p>member: Ph.D. Mirjana Segedinac, full prof.</p> <p>member: Ph.D. Olivera Gajić, full prof.</p> <p>member: Ph.D. Dušanka Obadović, full prof.</p> <p>member: Ph.D. Maja Stojanović, associate prof.</p>