

# Konceptualni pouk fizike v srednji šoli

## *Conceptual teaching of physics in secondary schools*

Simon Ülen<sup>1,\*</sup>, Mitja Slavinec<sup>2</sup>, Ivan Gerlič<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Gimnazija Franca Miklošiča Ljutomer, Prešernova c. 34, 9240 Ljutomer

<sup>2</sup>Univerza v Mariboru, Fakulteta za naravoslovje in matematiko, Koroška c. 160, 2000 Maribor

E-mail: simon.ulen@gfml.si ; Mitja.Slavinec@um.si ; Ivan.Gerlic@guest.um.si

\*Avtor za korespondenco

---

**Povzetek:** V zadnjih dveh desetletjih številni raziskovalci na področju izobraževanja iščejo nove metode s ciljem izboljšati izobraževalni proces. Projekt COLOS (Conceptual Learning Of Science) spodbuja izrabo didaktičnega potenciala sodobne tehnologije za učenje in poučevanje fizike ter naravoslovja na sploh. Z empirično raziskavo, predstavljeno v tem prispevku, želimo dognati, ali je konceptualno učenje in poučevanje fizike učinkovitejše v primerjavi s tradicionalnim frontalnim poukom fizike. Poglavitni cilj študije je bil raziskati učinek konceptualnega učenja in poučevanja fizike na področju Elektrike in Magnetizma v srednji šoli. Ključna ugotovitev raziskave je, da so dijaki, ki so bili deležni konceptualnega načina poučevanja, dosegli boljše rezultate kot dijaki, ki so bili deležni tradicionalnega pouka.

**Ključne besede:** tradicionalni frontalni pouk, konceptualni pouk, informacijska in komunikacijska tehnologija (IKT), javanski programi – fizleti, pedagoški eksperiment.

**Abstract:** In last two decades many educational researchers have been searching for new appropriate methods of improving the educational process. Project COLOS (Conceptual Learning of Science) stimulates the exploitation of the didactical potential of modern technology for learning and teaching of science and physics in particular. Experimental investigation presented in this article tries to determine whether the conceptual learning and teaching of physics is more effective in comparison with traditional frontal teaching of physics. The main goal of our study was to examine the effects of conceptual learning and teaching of physics in the field of Electricity and Magnetism in the secondary school. The key finding of research was that the students, who were taught through the conceptual way, achieved better results than those who were taught traditionally.

**Key words:** traditional frontal teaching, conceptual teaching, information and communication technology (ICT), Java programs - Physlets, pedagogical experiment.

---

## 1. Uvod

Temeljni problem tradicionalnih učnih pristopov pri poučevanju fizike, kjer je učenec bolj ali manj postavljen le v vlogo slušatelja, je neaktivnost in s tem nemotiviranost učencev. Zhou [1] zelo nazorno povzema problematiko tradicionalnega pouka fizike: *»Od dijakov zahtevamo, da kupijo učbenike enciklopedijskih dimenzij, in nato porabimo čas, namenjen učnim uram fizike, za predstavitev tega, kar je zapisano v učbeniku. Učno snov zapisujemo na tablo in dijaki jo prepisujejo v zvezek. Če imamo srečo, dijaki sledijo prvih 15 minut učne ure. Če nekje izgubijo sled – in to se zgodi prej ali slej – dijaki snov, brez da bi jo razumeli, prepisujejo v zvezek, pri čemer se držijo ustaljenega vzorca, češ da bodo o tem razmislili pozneje. Žal se ta razmislek ne zgodi vedno, in veliko dijakov učenje fizike razume kot zapomnitev enačb in postopkov, zapisanih v njihovih zvezkih«.*

V zadnjih dvajsetih letih so se preučevanja sodobnih pristopov poučevanja lotevali mnogi raziskovalci. Nekateri izmed njih so raziskave sistematično zbrali in uredili po posameznih področjih, pri čemer izpostavljamo dve študiji: izčrpen pregled dosedanjih raziskav avtorjev McDermott in Redish [2] in celovit ter podroben pregled o dosedanjih raziskavah sodobnih učnih pristopov pri poučevanju fizike, avtorice Thacker [3]. V obeh člankih avtorji predstavljajo skupno več kot 600 raziskav, namenjenih preučevanju novih, inovativnih učnih pristopov, tudi na področju fizike. Ti podatki kažejo, da se raziskovalci po svetu zavedajo nujnosti sprememb v poučevanju fizike.

Von Glaserfeld, eden izmed vidnejših teoretikov konstruktivizma, izpostavlja temeljni problem tradicionalnega pristopa – posredovanje znanja pasivnim učencem – saj, kot poudarja, znanja ni mogoče posredovati, ampak si ga mora posameznik konstruirati sam z lastno aktivnostjo [4]. Ameriška raziskovalka McDermott [5] opozarja na dejstvo, kako tradicionalni pristopi pogosto ignorirajo možnost, da je percepcija dijakov lahko bistveno drugačna od učiteljeve. Zelo odmevna raziskava je bila izvedena l. 1992, imenovana *»Force Concept Inventory«* [6]. Raziskava je potekala v treh fazah. V prvem delu so avtorji s pred-testi preverjali predznanje učencev o silah in gibanju. Ugotovili so, da imajo učenci veliko napačnih predstav s tega področja. Osrednji del raziskave je bil namenjen obravnavi učne snovi, v zadnjem delu raziskave so učenci pisali po-teste. Rezultati so pokazali, da tradicionalni pristop poučevanja ni, vsaj ne v večji meri, odpravil napačnih predstav. Raziskava je šokirala mnoge ameriške učitelje fizike, bila deležna številnih polemik, in posledično spodbudila marsikoga izmed njih k iskanju novih pristopov poučevanja. Naloga za preverjanje znanja s področja sil in gibanja iz te raziskave, je uporabil tudi Hake [7], ki je v obsežni študiji primerjal sodobni interaktivni pouk fizike s tradicionalnim pristopom.

Rezultati po-testov študentov, ki so bili deležni sodobnega, inovativnega pristopa, so bili boljši od dosežkov študentov, deležnih tradicionalnega pouka fizike. Kozielska [8] izpostavlja bistvene veščine, katere bi dijaki morali pridobiti tekom izobraževanja za poznejše uspešno delovanje v sodobni družbi: kreativnost, aktivnost, samoiniciativnost, fleksibilnost in sposobnost sprejemanja odločitev. Tradicionalni pouk, kjer so dijaki bolj ali manj pasivni poslušalci, gotovo ne spodbuja razvoj omenjenih lastnosti. Zhou [1] opozarja na negativne posledice tradicionalnega pouka fizike: negativen odnos dijakov do fizike, skromno razumevanje fizikalnih konceptov, težave dijakov pri problemsko zastavljenih nalogah. Avtor predlaga nekaj možnih pristopov, ki bi lahko nadomestili tradicionalni pouk, pri čemer izpostavlja uporabo sodobne informacijske tehnologije kot pomemben pripomoček pri učenju in poučevanju fizike. Chang s sodelavci [9] navaja številne študije, ki so potrdile učinkovitost pouka, podprtega z računalniškimi simulacijami. Tudi v svoji raziskavi je primerjal uspešnost računalniško podprtega pouka s tradicionalnim pristopom pri poučevanju fizike. Pri preverjanju doseženega znanja je bila uspešnejša skupina učencev, ki je obravnavala izbrano snov ob podpori računalniških simulacij. Tako so avtorji potrdili rezultate predhodnih študij o učinkovitosti pouka fizike, podprtega s sodobno tehnologijo.

Tudi visoko šolstvo se srečuje z izzivi današnje družbe, pri čemer se vedno bolj uveljavlja zahteva, da naj učni proces vsebuje elemente, v okviru katerih študenti razvijajo veščine kritičnega mišljenja, analiziranja, sintetiziranja in povezovanja usvojenega znanja [10]. V veliko pomoč pri doseganju omenjenih ciljev je lahko sodobna informacijsko komunikacijska tehnologija (IKT), zato vključitev le-te v učni proces, ni več predmet izbire posameznega učitelja, ampak nuja v sodobnem izobraževalnem procesu [11]. Uporaba sodobne informacijsko komunikacijske tehnologije, s ciljem izboljšati poučevanje in pripomoči h globljemu razumevanju osnovnih konceptov v znanosti, je temeljni cilj projekta CoLoS (Conceptual Learning of Science), zasnovanega že daljnega l. 1988 [12]. Z nenehnim napredkom računalniške tehnologije je konceptualni pristop še danes zelo aktualen in obetaven učni pristop na področju poučevanja fizike.

## 2. CoLoS (Conceptual Learning of Science)

Začetnik projekta, v katerega so vključeni raziskovalci iz 11 univerz iz ZDA in 12 univerz iz Evrope, je bil profesor fizike na stanfordski univerzi, Zvonko Fazarinc [13]. Projekt ColoS je še danes mednarodni projekt s področja konceptualnega poučevanja naravoslovnih predmetov. Glavni cilji projekta so:

- izboljšati poučevanje s pomočjo sodobne,

interaktivne programske opreme,

- poiskati nove možnosti uporabe računalnika oz. IKT pri poučevanju,
- izboljšati razumevanje snovi.

Prav izraba ogromnega potenciala, ki ga nudi sodobna IKT, z namenom izboljšati učinkovitost učnega procesa, je temeljni cilj projekta ColoS [12]. Aplikacije in programi, ki jih razvijajo, so namenjeni predvsem za pomoč učiteljem pri njihovem poučevanju. Pri pouku fizike so se v zadnjem desetletju še posebej uveljavili t. i. konceptualni modeli – fizleti [14].

### 2.1. Fizleti

Računalnik oz. IKT je lahko bistveni učni pripomoček pri konceptualnem pouku, saj nam omogoča uporabo modelov, animacij in simulacij. Velik korak za vključitev simulacij v pouk je bil storjen z apleti, programi, zapisanimi v spletnem jeziku (JAVA), in zato široko dostopnimi na spletu. Če je aplet orientiran na ožje fizikalno področje oz. fizikalni problem, govorimo o fizletih [14]. Fizleti so torej majhni, prilagodljivi javanski apleti, uporabni kot simulacijski modeli v številnih učnih spletnih aplikacijah. Ob spoznavanju izbranega fizikalnega pojava ali zakonitosti, lahko spreminjamo relevantne parametre in takoj vidimo posledico naših sprememb. Delimo jih v tri skupine: fizleti, s katerimi predstavimo problem (predstavitev), fizleti za raziskavo problematike (raziskava) in fizleti za preverjanje usvojenega znanja (problem). Slika 1 prikazuje primer fizleta za raziskavo enakomerno pospešenega gibanja. Simulacija omogoča raziskavo odvisnosti pospeška telesa od njegove mase.

Fizlete lahko uporabljamo kot gradnike pri skoraj vseh oblikah poučevanja, nepogrešljivi pa so pri konceptualnem pouku fizike. Lahko jih uporabljamo pri klasičnih demonstracijah in podpori demonstracijskih eksperimentov, obravnavi nove učne snovi, preverjanju znanja, domačih nalogah itd.

### 2.2. Konceptualni pouk fizike

Osnovno vodilo konceptualnega pouka je izkustveno doživeti določen naravoslovni pojav pred njegovo kvantitativno obravnavo in na ta način omogočiti učencem globlje razumevanje osnovnih konceptov.

Osnovne komponente konceptualnega pouka fizike so: problemska zasnovanost, eksperimentalno delo in uporaba IKT oz. računalnika [15]. V didaktičnem smislu je poudarjena vodilna učna pot: najprej spoznavanje določenega problema oz. zakonitosti, šele nato sledi prehod na teorijsko in matematično obravnavo. Problemska zasnovanost, in s tem aktivnost dijakov, je ena izmed temeljnih lastnosti konceptualnega pristopa. Gerlič [15] poudarja, da spoznavanje fizikalnih pojavov in zakonitosti na ta način bistveno pripomore k razvoju miselnih procesov, gradnji in izgradnji spoznavnih struktur, pridobivanju učinkovitih metod, strategij in postopkov, zaradi katerih se učenci lažje znajdejo v novih razmerah. Posledično si učenci pri pouku fizike oblikujejo pozitiven odnos do učenja, pridobijo zaupanje v reševanje problemov in krepijo zaupanje vase.

Cheng [16] opozarja, da ni uniformnega modela, ki bi podpiral konceptualni pouk, lahko pa prepoznamo štiri bistvene komponente konceptualnega pristopa:

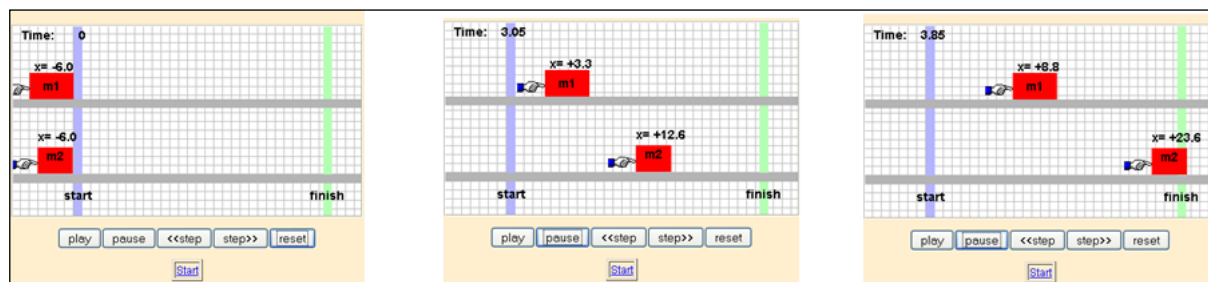
- *preučevanje pojava* - preverba izrazov, ki opisujejo pojav,
- *modeliranje* - generiranje novih izrazov,
- *pridobivanje* - konstrukcija novih konceptov,
- *integracija* - vključitev novega koncepta v obstoječo mrežo konceptov ali modifikacija obstoječe mreže konceptov.

## 3. Pedagoški eksperiment

Za empirično preverjanje učinkovitosti konceptualnega pristopa v primerjavi s tradicionalnim pristopom smo uporabili pedagoški eksperiment, pri tem pa vključili tudi raziskovalno pomembno ozadje strategije presoje [18].

### 3.1. Namen raziskave

Glavni cilj raziskave je bil preveriti učinkovitost uporabe konceptualnega pouka fizike v slovenski srednji šoli na primeru poglavij iz Elektrike in Magnetizma (3. letnik splošne gimnazije). S strategijami presoje smo v skrbno pripravljene meritve ugotavljali stanje znanja posameznika glede izbrane fizikalne vsebine z ozirom na dosežene nivoje v posameznih kategorijah znanj. Še posebej nas je



Slika 1. Simulacija pospešenega gibanja [14].

zanimala učinkovitost konceptualnega pristopa v primeru poznavanja in, z ozirom na strategije presoje, v primeru višje-taksonomskih nivojih znanja: analizi, primerjavi, sklepanju in vrednotenju [18]. Analiza, primerjava, sklepanje in vrednotenje, torej višji taksonomski nivoji znanja, vključujejo višje miselne procese, ki jih v okviru tradicionalnega pouka težje razvijamo.

Posnetek stanja smo napravili pred in po (pred-test in po-test) obravnavi izbranih fizikalnih vsebin.

### 3.2. Metodologija

#### 3.2.1. Raziskovalna metoda

Za proučevanje učinkov učnih enot v tematskih sklopih Elektrike in Magnetizma smo uporabili eksperimentalno metodo empirično-analitičnega pedagoškega raziskovanja. Pri tem smo izvedli enofaktorski eksperiment z oddelki kot primerjalnimi skupinami z analizo kovariance kot metodo zagotavljanja notranje veljavnosti eksperimenta [17].

#### 3.2.2. Raziskovalni vzorec

V raziskavi so sodelovali dijaki 3. letnika splošne gimnazije. Dva razreda sta sestavljala eksperimentalno skupino in prav tako dva razreda kontrolno skupino. Vsaka skupina (eksperimentalna, kontrolna) je imela enako število dijakov (40 dijakov). Izbrana skupina dijakov ( $n = 40$ ) predstavlja v okviru statističnega preizkušanja hipotez enostavni slučajnostni vzorec iz hipotetične populacije.

#### 3.2.3. Eksperimentalni model

Pedagoški eksperiment smo izvedli na naslednji način: vsaka učna enota je bila izvedena na dva načina, v kontrolni skupini s tradicionalnim pristopom in v eksperimentalni skupini s konceptualnim pristopom. Učiteljica, ki je poučevala v kontrolni skupini, ima več kot 30 let delovnih izkušenj, učitelj, ki je poučeval v eksperimentalni skupini ima 10 let delovnih izkušenj. Učni gradivi, ki smo jih uporabili pri urah s tradicionalnim pristopom, sta bili učbenik in zbirka nalog, medtem ko smo za pouk s konceptualnim pristopom uporabili izdelana e-gradiva, ob podpori učnih ter delovnih listov. Obravnavali smo 8 različnih učnih enot, štiri v okviru 1. sklopa (Elektrika) in štiri v okviru 2. sklopa (Magnetizem). S pred-testom in po-testom smo primerjali nivo znanja pred obravnavo in nivo znanja po obravnavi snovi.

#### 3.2.4. Tradicionalni in konceptualni pristop v poučevanju fizike

Tradicionalni pouk fizike temelji na učitelju kot izvoru in nosilcu informacij, ki vodi in usmerja učni proces. V raziskavi je sodelovala učiteljica, ki jo lahko uvrstimo med eksperte prakse tradicionalnega načina

poučevanja fizike. Tipična učna ura je potekala po naslednjih etapah:

- *uvodna mobilizacija in motivacija učencev;*
- *obravnava nove učne snovi po učnih korakih;*
- *utrjevanje in preverjanje znanja z nalogami iz učbenika.*

Pouk pri vseh učnih urah je potekal v frontalni obliki, kjer je učiteljica podajala učno snov, dijaki pa prepisovali tabelsko sliko v zvezek. Pri učnih urah je učiteljica uporabljala metodo razlage, podprto z demonstracijskimi eksperimenti. Ključni poudarek je bil na teoretično-matematični obravnavi učne snovi, kar v praksi pomeni, da je učiteljica fizikalni pojav oz. zakonitost največkrat predstavila z ustrezno enačbo.

Pri konceptualnem načinu poučevanja fizike se učitelj pojavi v drugačni vlogi, kot pri tradicionalnem pouku. Ni več avtoritativen podajalec znanja, ampak je predvsem pobudnik, organizator, svetovalec in povezovalac dela. Pouk večinoma poteka v stalnih in fleksibilnih skupinah, največkrat v dvojicah. Komunikacija je vertikalna in horizontalna, poudarek je na razumevanju snovi. Sprotno je upoštevana pobuda dijakov, reševanje problemov, sprejemanje in dajanje povratnih informacij.

Učne ure so vsebovale naslednje bistvene didaktične komponente:

- *preverjanje predznanja in izkušenj (mobilizacija)*
- *problematizacija vsebine, izpostavitve problema (motivacija),*
- *postopno reševanje problema s pomočjo konceptualnih, računalniško zasnovanih interaktivnih učnih listov (obravnava snovi),*
- *teoretična obravnava učne snovi z metodo razlage,*
- *preverjanje "globine" poznavanja oz. razumevanja zakonov, načel, pojmov, postopkov itd. v novih problemskih situacijah s pomočjo interaktivnih učnih listov (preverjanje usvojenega).*

Konceptualni pouk je usmerjen na izbrane učne cilje, pri čemer je na prvem mestu vedno vprašanje: kaj naj dijak po končani učni uri zna, naredi, uporabi, napiše, razčleni, ovrednoti itd., česar pred učno uro ni bil sposoben.

### 3.3. Dejavniki stanja pred eksperimentom, vezani na dijake kot posameznike

Da smo zagotovili notranjo veljavnost eksperimenta, torej možnosti pripisovanja ugotovljenih razlik učinkovitosti obeh didaktičnih pristopov in ne obstoječim inicialnim razlikam med primerjalnima skupinama, smo preučevali učinke v pogojih upoštevanja sledečih dejavnikov stanja pred uvedbo eksperimenta, vezanih na dijake kot posameznike:

- spol dijakov
- znanje iz elektrike pred eksperimentom
- znanje iz magnetizma pred eksperimentom.

### 3.4. Dejavniki, vezani na skupino (razred) kot celoto

Ker je notranja veljavnost odvisna od dejavnikov, vezanih na oddelke kot celoto, smo kontrolirali tudi te, in sicer:

- oba, tako učitelj kot učiteljica, sta bila enako seznanjena z vsebinsko – metodološkimi značilnostmi eksperimenta (namen raziskave, model eksperimenta, cilji tematskega sklopa oz. priprave na pouk, preizkusi znanja pred in po eksperimentu),
- v eksperimentalni in kontrolni skupini je v skladu s predpisanim učnim načrtom za splošne gimnazije [19], potekala obravnava izbranih učnih enot iz dveh sklopov (Elektrika, Magnetizem),
- pouk v eksperimentalni in kontrolni skupini sta učiteljica in učitelj izvajala po pripravah, ki smo jih v ta namen posebej izdelali na osnovi modela eksperimenta ter ob upoštevanju veljavnih standardov znanj.

### 3.5. Priprava učnih gradiv

Za izvedbo empiričnega dela raziskave smo pripravili naslednja učna gradiva:

- pred-test
- učne priprave za posamezno učno uro s tradicionalnim frontalnim poukom
- učne priprave za posamezno učno uro s konceptualnim pristopom
- interaktivna učna gradiva za model konceptualnega pouka (fizleti, apleti,...)
- učne liste za izvedbo konceptualnega pristopa
- po-test

### 3.6. Strategije presoje

Rast in razvoj učenčevih miselnih sposobnosti, na temelju problemsko zasnovanega pouka, ki je bistvena komponenta konceptualnega pristopa, smo preverjali s t. i. **strategijami presoje**. Strategije presoje združujejo raziskovalno utemeljene, na reševanje problemov naravnane, kognitivne in metakognitivne procese, ki so uveljavljeni v psiholoških raziskavah in pa konceptualne analize formalnega in neformalnega logičnega presojanja, ki so ga predlagali filozofi v vzorcih kritičnega mišljenja [18]. Po eni strani raziskave kognitivne psihologije poudarjajo ciljno reševanje izbranih problemov, ki omogočajo kritično presojo dejstev, po drugi strani pa modeli filozofov prispevajo kriterije za vrednotenje, ali je presojanje veljavno in

dobro opravljeno [20]. Najpogostejše so naslednje strategije presoje: *analiza, primerjava, sklep in interpretacija ter vrednotenje* [18].

*Analiza* vključuje razdelitev celote na razpoznavne dele in razumevanje odnosov med temi posameznimi deli ter celoto. Ocenjevanje presojanja od učencev zahteva, da razmislijo o novih problemih in situacijah, ki v sklopu pridobivanja učne snovi niso bili v celoti podani. Pri fiziki pogosto uporabljamo za analizo in s tem prepoznavanje in obravnavo ključnih pojmov, pojavov, procesov in zakonitosti, grafične predstavitve: skice, sheme, tabele, grafe itd.

*Primerjava* vključuje prepoznavanje podobnosti in razlik ter razumevanje njihovega pomena. Pri fiziki in naravoslovju nasploh se tudi tukaj pogosto poslužujemo grafičnih predstavitev.

*Sklep in interpretacija* vključujeta uporabo različnih oblik induktivnega in deduktivnega presojanja. Strategije sklepanja in interpretacije zahtevajo od učencev, da na osnovi zbranih informacij in dokazov vedo razložiti, kako bistvo dokaza podpira zaključek. Pri fiziki lahko zasledujemo ta cilj s primernim problemom oz. nalogo, ki zahteva od učencev, da:

- a) postavijo hipotezo,
- b) zberejo, uredijo in interpretirajo podatke,
- c) izpeljejo in zagovarjajo zaključke.

*Vrednotenje* vključuje, glede na jasno določene kriterije in dokaze, izrekanje sodb o vrednosti posameznih idej, argumentov, eksperimentalnih rešitev itd. Vrednotenje vključuje tudi ostale strategije presojanja, saj učenci na osnovi analiziranja dokazov, primerjanja ugotovitev, upoštevanja kriterijev, oblikujejo odločitve.

## 4. Rezultati in diskusija

### 4.1. Analiza razlik v posameznih nivojih znanja nalog preizkusa znanja iz fizike pred eksperimentom

Pred-test je bil sestavljen iz dvanajstih nalog objektivnega tipa. Prve štiri naloge so vključevale faktografsko poznavanje podatkov, nato so dijaki na vsakem višje-taksonomskem nivoju (analizi, primerjavi, sklepanju in vrednotenju) reševali po dve nalogi. Naloge so bile ciljno orientirane tako, da so od učencev pri določenem taksonomskem nivoju zahtevale uporabo miselnih procesov, ki opredeljujejo posamezni nivo. Pri nalogah na višje-taksonomski nivojih, je bilo uporabljeno veliko slikovnega gradiva – fizikalnih shem, skic, grafov itd.

#### 4.1.1. Analiza skupnega rezultata preizkusa znanja iz fizike pred eksperimentom

V tabeli 1 prikazujemo skupni rezultat dijakov na predtestu znanja v vseh taksonomskih nivojih skupaj iz obeh učnih tem, *Elektrike* in *Magnetizma*.

**Tabela 1.** Izid t-preizkusa razlik v skupnem rezultatu med dijaki eksperimentalne in kontrolne skupine pred eksperimentom.

				Preizkus homogenosti varianc		Preizkus razlik aritmetičnih sredin	
Skupina (1 - eksperimentalna, 2 - kontrolna)	N	Aritmetična sredina	Std. odklon	F	P	t	P
<b>Elektrika</b>							
1	40	6,75	2,295	2,225	0,140	-0,439	0,662
2	40	6,95	1,739				
<b>Magnetizem</b>							
1	40	4,65	1,718	0,165	0,686	-0,069	0,945
2	40	4,68	1,526				

Predpostavka o homogenosti varianc, na kateri temelji uporaba t-preizkusa, je pri učni temi *Elektrika* upravičena ( $F=2,225$ ,  $P=0,140$ ). Prav tako je predpostavka o homogenosti varianc upravičena pri učni temi *Magnetizem* ( $F=0,165$ ,  $P=0,686$ ). To pomeni, da sta primerjalna vzorca iz iste populacije in s tem je upravičena primerjava njunih aritmetičnih sredin, ki kaže, da tako pri *Elektriki* kot pri *Magnetizmu* ni statistično značilne razlike med aritmetičnima sredinama ( $t=-0,439$ ,  $P=0,662$  in  $t=-0,069$ ,  $P=0,945$ ).

#### 4.1.2. Analiza rezultatov na posameznih taksonomskih nivojih znanja pred eksperimentom

V nadaljevanju smo analizirali rezultate dijakov na

posameznih taksonomskih nivojih znanja, posebej za učno temo *Elektrika* (1. sklop) in posebej za učno temo *Magnetizem* (2. sklop). V tabeli 2 prikazujemo rezultate iz Elektrike.

Iz tabele 2 je razvidno, da je predpostavka o homogenosti varianc na vseh nivojih upravičena ( $P>0,05$ ) in s tem upravičena primerjava aritmetičnih sredin z običajnim t-preizkusom. Ti izidi kažejo, da na nobenem taksonomskem nivoju znanja ni statistično značilnih razlik med skupinama ( $P>0,05$ ).

V tabeli 3 prikazujemo rezultate iz Magnetizma.

**Tabela 2.** Izid t-preizkusa razlik v dosežkih na preizkusu za preverjanje znanja fizike pred eksperimentom med dijaki eksperimentalne in kontrolne skupine pri nalogah iz faktografije, analize, primerjave, sklepanja in vrednotenja (1. sklop).

#### *Predtest Elektrika - posamezni nivoji*

					Preizkus homogenosti varianc		Preizkus razlik aritmetičnih sredin	
Skupina (1-eksperimentalna, 2-kontrolna)	N	Aritmetična sredina	Std. odklon	F	P	t	P	
faktografija	1	40	2,58	3,124	0,081	-1,080	0,283	
	2	40	2,83					0,958
analiza	1	40	0,83	0,231	0,632	0,000	1,000	
	2	40	0,83					0,594
primerjava	1	40	1,63	0,667	0,416	0,198	0,844	
	2	40	1,60					0,496
sklepanje	1	40	1,25	0,221	0,640	0,000	1,000	
	2	40	1,25					0,670
vrednotenje	1	40	0,48	0,014	0,905	0,187	0,852	
	2	40	0,45					0,597

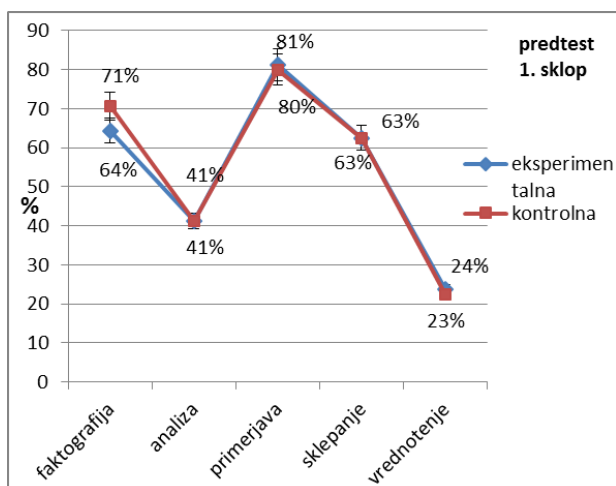
**Tabela 3.** Izid t-preizkusa razlik v dosežkih na preizkusu za preverjanje znanja fizike pred eksperimentom med dijaki eksperimentalne in kontrolne skupine pri nalogah iz faktografije, analize, primerjave, sklepanja in vrednotenja (2. sklop).

*Predtest Magnetizem - posamezni nivoji*

skupina (1-eksperimentalna, 2-kontrolna)	N	Aritmetična sredina	Std. odklon	Preizkus homogenosti varianc		Preizkus razlik aritmetičnih sredin	
				F	P	t	P
faktografija	40	2,08	0,859	1,653	0,202	-0,735	0,465
analiza	40	2,20	0,648	0,395	0,531	0,714	0,477
primerjava	40	0,75	0,670	0,897	0,347	0,693	0,490
sklepanje	40	0,65	0,580	3,126	0,081	-0,159	0,874
vrednotenje	40	0,63	0,628	1,629	0,206	-0,288	0,774
	40	0,65	0,770				
	40	0,88	0,723				
	40	0,93	0,829				

Iz tabele 3 je razvidno, da je predpostavka o homogenosti varianc v vseh nivojih upravičena ( $P > 0,05$ ) in s tem upravičena primerjava aritmetičnih sredin z običajnim t-preizkusom. Tudi pri Magnetizmu izidi kažejo, da na nobenem taksonomskem nivoju znanja ni statistično značilnih razlik med skupinama ( $P > 0,05$ ).

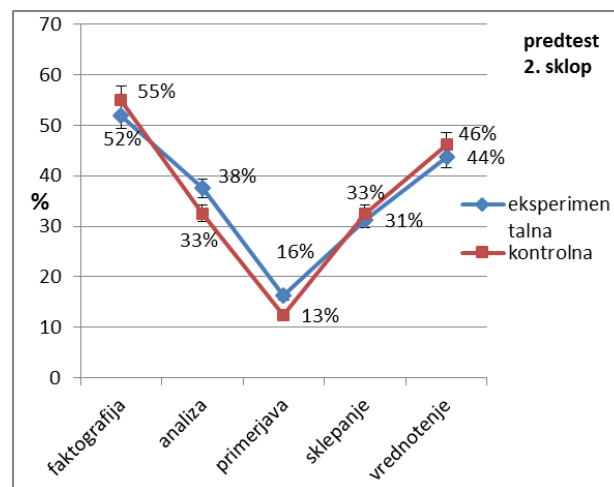
V nadaljevanju grafično predstavljamo distribucije doseženih odstotkov točk na posameznih taksonomskih nivojih znanja, ki so jih dijaki dosegli pri preizkusu znanja iz fizike za 1. sklop (Elektrika) in 2. sklop (Magnetizem), pred eksperimentom.



**Slika 2.** Odstotek doseženih točk dijakov eksperimentalne in kontrolne skupine na posameznih taksonomskih nivojih znanja nalog preizkusa znanja iz Elektrike, pred eksperimentom (1. sklop).

Iz grafičnega prikaza je vidno tesno prekrivanje linij eksperimentalne in kontrolne skupine, pri vrednotenju je

razlika manj kot 1%, pri analizi in sklepanju pa sta obe skupini dosegli identični rezultat. V primeru faktografije opazimo rahlo prednost kontrolne skupine (7%), pri čemer ne gre za občutno razliko. Na osnovi dobljenih rezultatov ocenjujemo, da sta skupini po predznanju prvega sklopa dovolj primerljivi med seboj.



**Slika 3.** Odstotek doseženih točk dijakov eksperimentalne in kontrolne skupine na posameznih taksonomskih nivojih znanja nalog preizkusa znanja iz Magnetizma, pred eksperimentom (2. sklop).

Iz grafičnega prikaza na sliki 3 razberemo obstoj manjših razlik na posameznem taksonomskem nivoju in s tem rahlo odstopanje med linijama eksperimentalne in kontrolne skupine. V primeru analize in primerjave so nekoliko uspešnejši dijaki eksperimentalne skupine in sicer za 5% oz. 3%. Pri ostalih treh taksonomskih nivojih (faktografija, sklepanje, vrednotenje) so rezultati kontrolne skupine nekoliko boljši od eksperimentalne

skupine, vendar je v vseh treh primerih razlika manjša od 3%. Na tej osnovi ocenjujemo, da sta skupini tudi po predznanju drugega sklopa dovolj primerljivi med seboj.

Rezultati obeh pred-testov dokazujejo, da smo za pedagoški eksperiment izbrali skupini, primerljivi po predznanju in zato relevantni za primerjavo izbranih učnih pristopov.

#### 4.2. Analiza razlik v posameznih nivojih znanja nalog preizkusa znanja iz fizike po eksperimentu

Po-test je bil podobno konstruiran kot pred-test, sestavljen iz dvanajstih nalog objektivnega tipa. V okviru prvih štirih nalog smo preverjali najnižji taksonomski cilj – faktografsko znanje, kjer so dijaki morali le reproducirati pridobljeno znanje. Sledile so naloge na višjih taksonomski nivojih. Dijaki so na vsakem nivoju reševali dve nalogi. Tudi naloge v po-testu so bile skrbno načrtovane, s ciljem, da so na določenem taksonomskem nivoju zahtevale uporabo miselnih procesov, ki opredeljujejo posamezni taksonomski nivo znanja.

##### 4.2.1. Analiza skupnega rezultata preizkusa znanja iz fizike po eksperimentu

Tabela 4 prikazuje skupni rezultat potesta iz obeh učnih tem, *Elektrike* in *Magnetizma*.

Pri *Elektriki* izid enofaktorske analize kovariance kaže, da je predpostavka o homogenosti varianc ( $F=0,968$ ,  $P=0,328$ ) upravičena. To pomeni, da sta

primerjalni skupini iz iste populacije, torej je primerjava njunih aritmetičnih sredin upravičena. Pomembno je tudi, kot kažejo izidi preizkusa homogenosti regresijskih koeficientov ( $F=0,005$ ,  $P=0,945$ ), da ni statistično značilne interakcije med eksperimentalnim faktorjem in sopspremenljivkama. To pomeni, da je predznanje enako koristilo obema skupinama. Izid splošnega F-preizkusa kaže, da obstaja med aritmetičnima sredinama statistično značilna razlika ( $F=18,489$ ,  $P=0,000$ ). Na tej osnovi lahko zaključimo, da so bili dijaki eksperimentalne skupine uspešnejši na skupnem testu znanja iz *Elektrike*.

Iz tabele 4 je razvidno, da je tudi v primeru *Magnetizma* predpostavka o homogenosti varianc ( $F=0,269$ ,  $P=0,605$ ) in homogenosti regresijskih koeficientov ( $F=0,096$ ,  $P=0,757$ ) upravičena in s tem upravičena primerjava njunih aritmetičnih sredin. Izid splošnega F-preizkusa kaže, da obstaja med aritmetičnima sredinama statistično značilna razlika ( $F=15,936$ ,  $P=0,000$ ). Uspešnejši so bili dijaki eksperimentalne skupine. Na tej osnovi **lahko zaključimo**, da so dijaki eksperimentalne skupine bili uspešnejši tudi na skupnem testu znanja iz *Magnetizma*.

##### 4.2.2. Analiza rezultatov na posameznih taksonomskih nivojih znanja po eksperimentu

Tabela 5 prikazuje rezultate potesta na posameznih taksonomskih nivojih znanja iz *Elektrike*.

**Tabela 4.** Izid enofaktorske analize kovariance z dvema sopspremenljivkama preverjanja razlik v dosežkih na testu znanja med dijaki eksperimentalne in kontrolne skupine po eksperimentu.

				Preizkus homogenosti varianc		Preizkus homogenosti regresijskih koeficientov		Preizkus razlik aritmetičnih sredin	
Skupina (1-eksperimentalna, 2-kontrolna)	N	Aritmetična sredina	Std. odklon	F	P	F	P	F	P
<b>Elektrika</b>									
1	40	6,68	1,716	0,968	0,328	0,005	0,945	18,489	0,000
2	40	5,20	1,814						
<b>Magnetizem</b>									
1	40	7,45	1,811	0,269	0,605	0,096	0,757	15,936	0,000
2	40	5,68	2,177						



**Tabela 5.** Izid enofaktorske analize kovariance dosežkov na testu znanja med dijaki eksperimentalne in kontrolne skupine po eksperimentu pri nalogah faktografije, analize, primerjave, sklepanja in vrednotenja (1. sklop).**Potest Elektriika - posamezni nivoji**

	Skupina (1-eksperimentalna, 2-kontrolna)	N	Aritmetična sredina	Std. odklon	Preizkus homogenosti varianc		Preizkus homogenosti regresijskih koeficientov		Preizkus razlik aritmetičnih sredin	
					F	P	F	P	F	P
faktografija	1	40	1,80	0,966	3,957	0,050	0,986	0,378	2,724	0,103
	2	40	1,48	0,751						
analiza	1	40	1,53	0,640	3,659	0,059	1,533	0,223	7,492	0,008
	2	40	1,08	0,829						
primerjava	1	40	1,83	0,385	5,670	0,020	3,171	0,048	/	/
	2	40	1,55	0,639						
sklepanje	1	40	0,75	0,707	0,056	0,813	0,716	0,492	4,572	0,036
	2	40	0,48	0,554						
vrednotenje	1	40	0,75	0,439	14,492	0,000	0,067	0,936	0,942	0,335
	2	40	0,63	0,540						

Izid enofaktorske analize kovariance kaže, da predpostavka o homogenosti varianc v primeru primerjave in vrednotenja sicer ni upravičena ( $P < 0,05$ ), ker pa sta skupini izenačeni po številu, pomembnega vpliva na izid ne predvidevamo. Predpostavka o homogenosti nivojskih regresijskih koeficientov pa ni upravičena v primeru rezultatov primerjave ( $P = 0,048$ ). Vpričo tega dejstva se odrekamo pri slednjem nivoju statističnemu preverjanju razlik med skupinskimi aritmetičnimi sredinami (splošni prilagojeni F-test).

Splošni prilagojeni F-test kaže ( $P > 0,05$ ), da ne obstaja statistično značilna razlika v primeru faktografskega znanja, vendar povprečja kažejo v prid eksperimentalne skupine. Na nivoju analize rezultati

kažejo, da obstaja statistično značilna razlika ( $P < 0,05$ ) med skupinama, boljša je eksperimentalna skupina. Na nivoju primerjave, kjer se spričo že omenjenega odstopanja od homogenosti regresijskih koeficientov izidu splošnega F-testa odrekamo, povprečja kažejo prednost eksperimentalne skupine. Na nivoju sklepanja rezultati kažejo, da obstaja statistično značilna razlika ( $P < 0,05$ ) med skupinama, boljša je eksperimentalna skupina. V primeru vrednotenja razlika ni statistično značilna, povprečja pa kažejo prednost eksperimentalne skupine.

Tabela 6 prikazuje rezultate potesta na posameznih taksonomskih nivojih znanja iz *Magnetizma*.

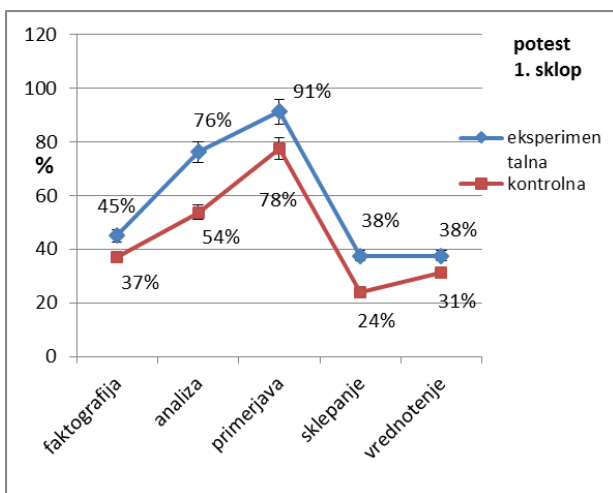
**Tabela 6.** Izid enofaktorske analize kovariance dosežkov na testu znanja med dijaki eksperimentalne in kontrolne skupine po eksperimentu pri nalogah faktografije, analize, primerjave, sklepanja in vrednotenja (2. sklop).**Potest Magnetizem - posamezni nivoji**

	Skupina (1-eksperimentalna, 2-kontrolna)	N	Aritmetična sredina	Std. odklon	Preizkus homogenosti varianc		Preizkus homogenosti regresijskih koeficientov		Preizkus razlik aritmetičnih sredin	
					F	P	F	P	F	P
faktografija	1	40	2,68	0,764	5,740	0,019	0,787	0,459	0,809	0,371
	2	40	2,50	1,177						
analiza	1	40	1,73	0,452	5,142	0,026	3,684	0,030	/	/
	2	40	1,30	0,608						
primerjava	1	40	1,25	0,670	0,321	0,573	0,754	0,474	7,565	0,008
	2	40	0,83	0,712						
sklepanje	1	40	1,05	0,552	6,476	0,013	0,778	0,463	18,382	0,000
	2	40	0,50	0,641						
vrednotenje	1	40	0,75	0,670	0,554	0,459	2,263	0,111	2,279	0,135
	2	40	0,55	0,714						

Izid enofaktorske analize kovariance kaže, da predpostavka o homogenosti varianc v primeru poznavanja, analize in sklepanja sicer ni upravičena ( $P < 0,05$ ), ker pa sta skupini izenačeni po številu, pomembnega vpliva na izid ne predvidevamo. Predpostavka o homogenosti nivojskih regresijskih koeficientov pa ni upravičena v primeru rezultatov analize ( $P < 0,05$ ). V pričo tega dejstva se odrekamo pri slednjem nivoju statističnemu preverjanju razlik med skupinskimi aritmetičnimi sredinami (splošni prilagojeni F-test).

Splošni prilagojeni F-test kaže ( $P > 0,05$ ), da ne obstaja statistično značilna razlika v primeru faktografskega znanja, vendar povprečja kažejo v prid eksperimentalne skupine. Na nivoju analize, kjer se spričo že omenjenega odstopanja od homogenosti regresijskih koeficientov izidu splošnega F-testa odrekamo, povprečja kažejo prednost eksperimentalne skupine. Na nivoju primerjave rezultati kažejo, da obstaja statistično značilna razlika ( $P < 0,05$ ) med skupinama, boljša je eksperimentalna skupina. Na nivoju sklepanja rezultati kažejo, da obstaja statistično značilna razlika ( $P < 0,05$ ) med skupinama, boljša je eksperimentalna skupina. V primeru vrednotenja razlika ni statistično značilna, povprečja pa kažejo prednost eksperimentalne skupine.

V nadaljevanju grafično predstavljamo distribucije doseženih odstotkov točk pri posameznih taksonomskih nivojih znanja, ki so jih dijaki dosegli pri preizkusu znanja iz fizike za 1. sklop (Elektrika) in 2. sklop (Magnetizem), po eksperimentu.

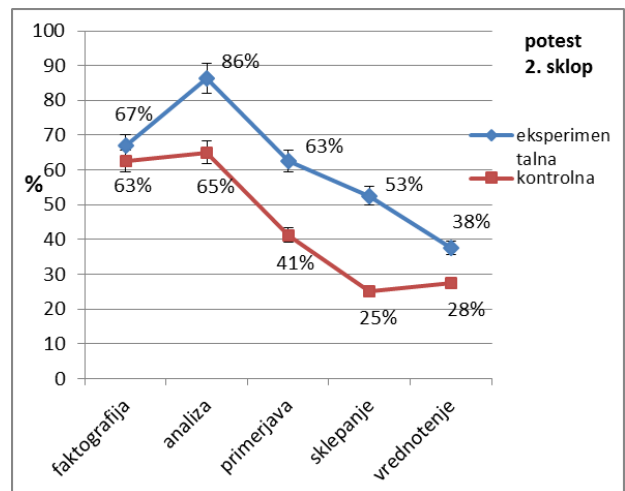


**Slika 4.** Odstotek doseženih točk dijakov eksperimentalne in kontrolne skupine na posameznih taksonomskih nivojih znanja nalog preizkusa znanja iz Elektrike, po eksperimentu (1. sklop).

Iz grafičnega prikaza je razvidno, da so po obravnavi snovi rezultati eksperimentalne skupine občutno boljši od rezultatov kontrolne skupine. Predvsem nas je zanimala uspešnost reševanja nalog na višje-taksonomskih nivojih znanja, vendar lahko že v primeru faktografskega znanja opazimo prednost

eksperimentalne skupine. Razloge lahko iščemo v večji motiviranosti dijakov, ki so v okviru konceptualnega pouka aktivno soustvarjali učni proces. Pri naslednji taksonomski stopnji, analizi, so rezultati eksperimentalne skupine za več kot 20% boljši od rezultatov kontrolne skupine. Podobno ugotovljamo višji odstotek doseženih točk in s tem prednost eksperimentalne skupine pri primerjavi (13%) in sklepanju (14%). V primeru vrednotenja gre za manjšo prednost eksperimentalne skupine (7%). Z rezultati 1. sklopa (Elektrika) potrjujemo, da je konceptualni pouk učinkovitejši pri doseganju višjih taksonomskih nivojev znanja.

Na sliki 5 predstavljamo rezultate 2. sklopa.



**Slika 5.** Odstotek doseženih točk dijakov eksperimentalne in kontrolne skupine na posameznih taksonomskih nivojih znanja nalog preizkusa znanja iz Magnetizma, po eksperimentu (2. sklop).

Tudi iz grafičnega prikaza 2. sklopa je razvidno, da so po obravnavi snovi rezultati eksperimentalne skupine občutno boljši od rezultatov kontrolne skupine. Že na prvem taksonomskem nivoju, faktografiji, opazimo rahlo prednost eksperimentalne skupine. Na prvem višje-taksonomskem nivoju: analizi, so rezultati eksperimentalne skupine za več kot 20% boljši od rezultatov kontrolne skupine. Tudi pri naslednjih dveh višje-taksonomskih nivojih: primerjavi in sklepanju, so rezultati eksperimentalne skupine, v primerjavi s kontrolno skupino, znatno boljši, saj je razlika v odstotkih doseženih točk 22% oz. 28%. Vrednotenje je najvišji taksonomski nivo znanja, in tudi v tem primeru so rezultati eksperimentalne skupine boljši (za 10%). Tudi z rezultati 2. sklopa (Magnetizem) potrjujemo, da je konceptualni pouk učinkovitejši pri doseganju višjih taksonomskih nivojev znanja.

## 5. Zaključki

Konceptualni pouk fizike je učni pristop, v okviru katerega dijaki ob problemsko zasnovanih učnih listih aktivno in samostojno raziskujejo izbrani pojav oz.

fizikalno zakonitost. Učitelj se z metodo razlage vključi v učni proces po samostojnem delu dijakov, pri teoretični obravnavi izbrane zakonitosti. Tak učni pristop sledi osnovnemu postulatu konceptualnega pouka: dijaki morajo najprej izbrani pojav oz. zakonitost spoznati izkustveno, šele nato sledi matematično-teoretična obravnava zakonitosti. Sklepamo, da so razlogi za boljše rezultate eksperimentalne skupine naslednji: (1) aktivnejša vloga dijakov eksperimentalne skupine v primerjavi z dijaki kontrolne skupine; (2) večja motiviranosti dijakov v eksperimentalni skupini zaradi dela z računalniki; (3) v okviru konceptualnega pouka so dijaki eksperimentalne skupine bolje razumeli osnovne fizikalne koncepte in na ta način imeli trdnejše temelje za nadaljnjo teoretično obravnavo učne snovi.

V okviru raziskave smo preverili učinkovitost konceptualnega pouka fizike v srednji šoli. Primerjali smo rezultate eksperimentalne skupine, ki je bila deležna konceptualnega pristopa s poudarkoma na uporabi interaktivnih gradiv (e-učni listi) in samostojnega raziskovanja, z rezultati kontrolne skupine, ki je bila deležna obstoječega tradicionalnega frontalnega pouka fizike. Zanimala nas je učinkovitost konceptualnega pristopa z vidika doseganja višjetaksonomskih nivojev znanja: *analize, primerjave, sklepanja in vrednotenja*.

Iz rezultatov raziskave lahko izvlečemo naslednje poglobitve zaključke:

- a) rezultati eksperimentalne skupine so pri vseh višje-taksonomskih nivojih znanja boljši od rezultatov kontrolne skupine,
- b) konceptualni pouk fizike, s poudarkom na uporabi računalniških simulacij, je učinkovitejši učni pristop v primerjavi s tradicionalnim - frontalnim poukom fizike,
- c) z uporabo IKT tehnologije oz. računalnika, se ne odrekamo fizikalnemu eksperimentu kot temelju spoznavanja naravnih pojavov, hkrati pa opozarjamo, da IKT tehnologija nudi številne možnosti za njeno vključevanje pri oblikovanju sodobnega učnega procesa,
- d) računalnik oz. IKT vključimo v vzgojno-izobraževalnem procesu tam, kjer je to mogoče in smiselno,
- e) konceptualni pouk fizike je možna alternativa obstoječemu tradicionalnemu pristopu poučevanja fizike, predvsem na področjih, katera vključujejo številne abstraktne pojme, kot sta npr. Električna in Magnetizem.

Pričujoča raziskava potrjuje izsledke številnih avtorjev, ki so v zadnjih dveh desetletjih dokazali učinkovitost sodobnih učnih pristopov in obenem opozorili na nezadostnost tradicionalnega pouka v luči izzivov sodobne družbe [7, 9, 15, 18]. Obenem gre za

preliminarno raziskavo o pozitivni korelaciji uporabe fizetov pri konceptualnem pouku fizike in učinkovitostjo tega učnega pristopa v srednji šoli.

V prihodnjih raziskavah kaže preučiti: (1) učinkovitost konceptualnega pouka na ostalih področjih fizike, kot so npr. termodinamika, moderna fizika ali astronomija; (2) učinkovitost konceptualnega pouka fizike v srednji šoli v primerjavi z učinkovitostjo tega pristopa v osnovni šoli; (3) učinkovitost novejših računalniških simulacije, kot so npr. PhET simulacije [22], pri podpori konceptualnega pouka fizike.

Ob izrednem napredku sodobne družbe in posledično hitrim spremembam, tudi na področju vzgoje in izobraževanja, je področje tovrstnih raziskav še toliko bolj pomembno.

## Zahvala

Avtorji se zahvaljujemo Gimnaziji Franca Miklošiča Ljutomer, kjer je potekal empirični del raziskave.

## Literatura

1. Zhou, G. G. Disadvantages of Traditional Physics Teaching and a New Way to Teach Problem Solving for Conceptual Understanding. *Alberta Science Education Journal* **2004**, 36 (2).
2. McDermott, C. L.; Redish, E. F. Resource letter: PER-1: Physics Education Research. *American Journal of Physics* **1999**, 67 (9), 755 – 767.
3. Thacker, B. A. Recent advances in classroom physics. *Rep. Prog. Phys.* **2003**, 66, 1833–1864.
4. Von Glasersfeld, E. *An Exposition of Constructivism: Why Some Like it Radical*. Monographs of Journal for Research in Mathematics Education **1990**, #4. Reston, VA: National Council of Teachers of Mathematics, 19 – 29.
5. McDermott, C. L. *What we teach and what is learned-Closing the gap*. *American Journal of Physics* **1991**, 59 (4), April.
6. Hestenes, D.; Wells, M.; Swackhamer, G. Force Concept Inventory. *The Physics Teacher* **1992**, Vol. 30, 141-158
7. Hake, R. R. Interactive-engagement vs traditional methods: A six-thousandstudent survey of mechanics test data for introductory physics courses. *American Journal of Physics* **1998**, 66, pp. 64-74.
8. Kozielska, M. Developing creativity of students in a computer-assisted learning process. *European Journal of Physics* **2004**, 25: 279-285.
9. Chang, K.-E.; Chen, Y.-L.; Lin, H.-Y.; Sung, Y.-T. *Effect of learning support in simulation-based*

- physics learning*. Computer & Education **2008**, 51.
10. Gijbels, D.; Coertjens, L.; Vanthournout, G.; Struyf, E.; Petegem, Van P. Changing students' approaches to learning: a two-year study within a university teacher training course, Educational Studies **2009**, 35: 5, 503 — 513.
  11. Bruce, B.C.; Reynolds, A. *Tehnology in Docklands education: using scenarios as guides for teaching and research*, Educational Studies **2009**, 35, no. 5: 561 – 574.
  12. Härtel, H. CoLoS: Conceptual Learning of Science. IPN – Institute for Science Education at the University KIEL **1995**.
  13. Muller, D.; Mariaux, L.; Nicolas, A. The Colos Project - Applications in the domain of Electrical Engineering. Proc. of IEEE-APS Symp., Newport-Beach **1995**.
  14. Christian, W.; Belloni, M.; Divjak, S. Fizika s fizleti. *Interaktivne predstavitve in raziskave za uvod v fiziko*, Zavod Republike Slovenije za šolstvo, Ljubljana **2006**.
  15. Gerlič, I. Konceptualno učenje in interaktivna gradiva. INFORMACIJSKA DRUŽBA – IS **2006**.
  16. Cheng, C-H. P. Unlocking conceptual learning in mathematics and science with representational systems. Computers & Education **1999**, 33, 109 – 130.
  17. Ülen, S. Učinkovitost konceptualnega pouka fizike v srednji šoli, Doktorsko delo, Univerza v Mariboru, Fakulteta za naravoslovje in matematiko **2014**.
  18. Phe, G.D. Handbook of Classroom Assessment: Learning, Adjustment and Achievement, Academic press **1997**, ZDA.
  19. Ministrstvo za šolstvo in šport. Učni načrt. Gimnazija. Fizika **2008**. [http://portal.mss.edus.si/msswww/programi2008/programi/media/pdf/un\\_gimnazija/un\\_fizika\\_strok\\_gimn.pdf](http://portal.mss.edus.si/msswww/programi2008/programi/media/pdf/un_gimnazija/un_fizika_strok_gimn.pdf) (pridobljen 5. septembra, 2009).
  20. Gerlič, I.; Udir, V.. Problemski pouk fizike v osnovni šoli, ZRSŠ **2006**.
  21. <http://www.colos.org/>
  22. <https://phet.colorado.edu/en/simulations/category/physics>