# Učeničke konceptualne poteškoće u hidrostatici

**Basar, Daniela**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2014**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Science / Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:217:297131

*Rights / Prava:* In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-03-29**

*Repository / Repozitorij:*

Repository of the Faculty of Science - University of Zagreb

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
PRIRODOSLOVNO-MATEMATIČKI FAKULTET
FIZIČKI ODSJEK

DANIELA BASAR

# UČENIČKE KONCEPTUALNE POTEŠKOĆE U HIDROSTATICI

Diplomski rad

Zagreb, 2014.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
PRIRODOSLOVNO-MATEMATČKI FAKULTET
FIZIČKI ODSJEK

SMJER: PROFESOR FIZIKE I INFORMATIKE

**Daniela Basar**

Diplomski rad

# Učeničke konceptualne poteškoće u hidrostatici

Voditelj diplomskog rada: V. pred. dr. sc. Planinić Maja

Ocjena diplomskog rada: _____

Povjerenstvo: 1. _____

2. _____

3. _____

4. _____

Datum polaganja: _____

Zagreb, 2014.

***Zahvaljujem svojoj mentorici , prof. dr. sc., Maji Planinić na strpljenju i razumijevanju, stručnoj pomoći i savjetima te potpori prilikom izrade ovog diplomskog rada .***

***Željela bih se zahvaliti prof. Tei Prohaski na pomoći da provedem istraživanje.***

***Zahvaljujem se svim učenicima drugih razreda I. gimnazije u Zagrebu, te svim studentima koji su sudjelovali u istraživanju.***

***Mojoj obitelji,***
***hvala na strpljenju, potpori i poticanju.***

# SADRŽAJ:

**1. UVOD……..…….3**

**2. PREGLED STUDENTSKIH POTEŠKOĆA U HIDROSTATICI……...4**

2.1. Uvid u poteškoće pomoću početnih istraživanja…….....4

2.2. Predviđanje tonjenja i plutanja tijela…….....5

2.3. Povezivanje sile uzgona s volumenom uronjenih tijela…….....8

2.4. Povezivanje sile uzgona na plutajuća tijela s njihovom masom …….....11

2.5. Studentsko razumijevanje povezanih pojmova - istisnuti volumen…….12

*2.5.1. Određivanje istisnutog volumena vode……...12*

*2.5.2. Određivanje istisnutog volumena drugih tekućina…….…..13*

2.6. Studentsko razumijevanje povezanih pojmova - Newtonovi zakoni…..….....14

2.7. Opažene poteškoće……...17

2.8. Razvijanje nastavnih materijala……...18

*2.8.1. Pitanjavezana uz eksperimente (naglasak na gustoći)…….19*

*2.8.2. Tutorijali (naglasak na sili uzgona i njenoj vezi s tlakom)……19*

*2.8.3. Laboratorijski eksperiment……...22*

2.9. Procjena učinkovitosti……..…23

2.9.1. Određivanje sile uzgona za tijela različitih masa……..24

2.9.2. Određivanje sile uzgona za tijela na različitoj dubini……..25

2.9.3. Određivanje sile uzgona za tijela u različitim fluidima…….....26

2.9.4. Predviđanje tonjenja i plutanja tijela …….....26

2.10. Zaključak istraživanja……..…..27

**3. ISTRAŽIVANJE NA UČENICIMA I STUDENTIMA U HRVATSKOJ……29**

3.1. Opis istraživanja ……..…..29

3.2. Predtest sa studentima…….…..29

3.3. Posttest sa studentima…….…..30

3.4. Posttest s učenicima…….....31

3.5. Tutorijal iz hidrostatike……31

3.6. Sastavljanje pitanja……...33

**4. REZULTATI I DISKUSIJA…….....35**

4.1. Rezultati predtesta na studentima…….....35

4.2. Rezultati posttesta na studentima……..39

4.3. Rezultati posttesta na učenicima……43

4.4. Zaključak istraživanja…….....47

**5. IMPLIKACIJE ZA NASTAVU……49**

5.1. Hidrostatika u osnovnoj i srednjoj školi……....49

5.2. Poboljšanje nastave…….....50

5.3. Nastava fizike……...52

5.4. Metodička priprema za izvođenje nastavne jedinice *Uzgon* u srednjoj školi……..……53

5.5. Iskustva s nastave……..61

**6. ZAKLJUČAK……63**

**7. POPIS LITERATURE……..65**

**8. PRILOZI…….66**

# 1. UVOD

Osnovni cilj nastave je obrazovanje i odgoj učenika, no realizacija tog cilja nije jednostavan posao. Uz želju za poboljšanjem nastave u osnovnoškolskom, srednjoškolskom i visokoškolskom sustavu obrazovanja, potrebna su mnogobrojna istraživanja, pa tako i u nastavi fizike. Cilj je ovog diplomskog rada pomoću istraživanja dati pregled studentskih i učeničkih poteškoća u hidrostatici. Kroz povijest razlikujemo dvije strukture nastave fizike, a to su tradicionalna i suvremena nastava. Tradicionalna nastava fizike temelji se na predavanju nastavnika i obično ne daje dobre rezultate te je u učionicama i predavaonicama sve više zamjenjuje interaktivan oblik nastave, odnosno suvremena nastava. To je oblik nastave koji promiče aktivno učenje kroz međusobnu interakciju nastavnika i učenika, te interakciju između učenika međusobno. Kako bi obrazovanje bilo što kvalitetnije, vrši se sve više istraživanja koja proučavaju učeničke poteškoće u određenim područjima fizike. U drugom poglavlju diplomskog rada opisano je istraživanje koje je provela Physics Education Group s University of Washington u SAD-u. Nakon detaljnog istraživanja poteškoća u hidrostatici i obrade rezultata, istraživači su opisali kako pomoću dobivenih rezultata razviti nastavne strategije za poučavanje hidrostatike za različite studentske populacije. Razvijena su tri tipa nastavnih materijala.

U trećem poglavlju opisano je istraživanje koje je provedeno na učenicima drugog razreda gimnazije u Zagrebu, te na studentima Prirodoslovno matematičkog fakulteta u Zagrebu. Opisana su pitanja koja su korištena za ispitivanje njihova znanja iz hidrostatike.

U četvrtom poglavlju obrađeni su učenički i studentski odgovori: navedeni su neki najčešći pogrešni odgovori, te je objašnjeno koje konceptualne poteškoće imaju učenici i studenti.

U posljednjem poglavlju objašnjeno je kada se predaje hidrostatika u školama. Priložena je priprema za nastavni sat na temu uzgona koji je održan učenicima koji su sudjelovali u istraživanju. U ovom poglavlju opisala sam i iskustva koja sam stekla u školi, te problemi s kojima sam se susrela tijekom nastavnog sata. Za kraj, dala sam svoj zaključak o podučavanju fizike, temeljen na istraživanju.

# 2. PREGLED STUDENTSKIH POTEŠKOĆA U HIDROSTATICI

Ovaj pregled studentskih poteškoća u hidrostatici temelji se na istraživanju koje je provela Physics Education Group s University of Washington u SAD-u [1), 2)] , a koje je uključilo više od 2000 studenata. Većina studenata polazila je Sveučilište u Washingtonu (University of Washington), no bila su uključena i druga sveučilišta, poput Sveučilišta u Marylandu, College Park i Sveučilišta u Purdueu. Studenti sa Sveučilišta u Washingtonu bili su testirani dok su slušali predavanja drugog semestra uvodnog kolegija fizike (bez korištenja infinitezimalnog računa), koji uključuju fluide, termodinamiku, elektricitet i magnetizam, a nakon što su odslušali mehaniku. Polovina studenata također je pohađala i pripadni praktikum. Bili su uključeni i studenti koji su slušali kolegij s druge godine, koji uključuje hidrostatiku i termodinamiku, bez pripadnog praktikuma. Studenti sa Sveučilišta u Marylandu pohađali su uvodni kolegij fizike na kojem se nije koristio infinitezimalni račun, a studenti sa Sveučilišta Purdue uvodni kolegij fizike baziran na infinitezimalnom računu.

## 2.1. UVID U STUDENTSKE POTEŠKOĆE POMOĆU POČETNIH ISTRAŽIVANJA

Istraživanje je bilo započeto s pretpostavkom da su svi studenti sposobni dati jednostavno fizičko objašnjenje za svakodnevne pojave kao što su plutanje i tonjenje. Stoga se krenulo istražiti njihovo razumijevanje hidrostatike na zahtjevnijem fenomenu, kao što je ponašanje Kartezijevog ronioca[1]. Provedeni su individualni demonstracijski intervjui sa sedam studenata - volontera s druge godine, nakon što su oni završili svu nastavu o hidrostatici. Intervjuirani su studenti imali ocjene koje su bile prosječne ili iznad prosjeka. Intervjui su video i audio snimljeni zbog kasnije analize. Od ispitanika je traženo da predvide što će se dogoditi s jedva plutajućim Kartezijevim roniocem kada se zatvorena plastična boca s vodom, u kojoj se on nalazi, stisne. Ronilac upotrijebljen u intervjuu bio je

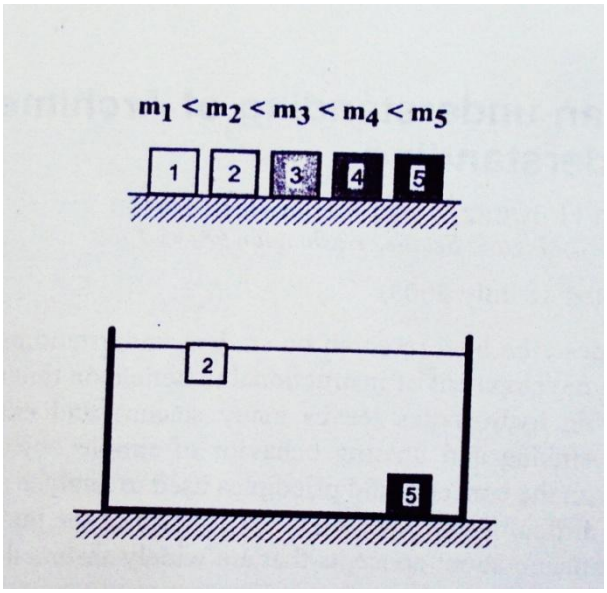
[1] Kartezijev ronilac – tijelo promjenjive gustoće koje može tonuti ili plutati ovisno o promjenama tlaka u fluidu.

načinjen od prozirnog plastičnog balona kapaljke na čiji je otvoreni kraj bio obješen uteg. Balon je stavljen u dvolitrenu plastičnu bocu napunjenu vodom, okrenut vratom prema dolje. Unutar balona nalazila se voda i mjehurić zraka iznad nje. Količina zraka je bila tolika da je ronilac početno jedva plutao. Kada stisnemo bocu, povećanje tlaka u boci vodi do smanjenja volumena zraka u balonu. Voda ulazi kroz vrat balona, čime povećava njegovu gustoću, tako da ronilac tone. Svi su ispitanici uočili da će tlak u spremniku rasti, ali su svi osim dvoje ispitanika predvidjeli da će ronilac krenuti prema gore. Niti jedan od ispitanika nije mogao nakon promatranja pokusa objasniti zašto ronilac tone. Nakon što im je demonstrirano da ronilac tone, neki su studenti krenuli crtati dijagram sila, koji je prema gore pokazivao silu uzgona, a prema dolje pritisnu silu, koju su neki studenti nazivali „težinom vode iznad ronioca“. Nekoliko je studenata predvidjelo da ronilac neće potonuti do dna, odnosno da će mirovati negdje na sredini. Iako je takvo ponašanje moguće, istraživači su pretpostavili da vrlo vjerojatno studenti nisu dobro razumjeli uvjete pod kojima bi se to moglo dogoditi.

Stupanj zbunjenosti studenata tijekom intervjua s Kartezijevim roniocem bio je takav da se nije moglo identificirati prirodu njihovih poteškoća. Kako bi se bolje istražilo njihovo razumijevanje, razvijen je niz pisanih zadataka koji uključuju mnogo jednostavnije situacije. Rezultati indiciraju prisutnost određenih poteškoća i mogu dati smjernice za određivanje prioriteta u nastavi.

### *2.2. PREDVIĐANJE TONJENJA I PLUTANJA TIJELA*

Prvi zadatak koji su istraživači postavili studentima opisivao je 5 kocaka identične veličine i oblika, ali različitih masa, gdje je kocka broj 1 najlakša, a kocka broj 5 najteža. Sve se kocke urone u akvarij s vodom na pola dubine, te puste. Konačan položaj kocaka 2 i 5 prikazan je na slici.




**Slika 1. Problem 5 kocaka (pitanje 1)**

Studentima je postavljeno pitanje da nacrtaju konačne položaje ostalih triju kocaka i obrazlože svoje odgovore.

Točan odgovor leži u danoj informaciji da kocka broj 2 jedva pluta. Jedno od točnih studentskih obrazloženja odgovora je sljedeće:

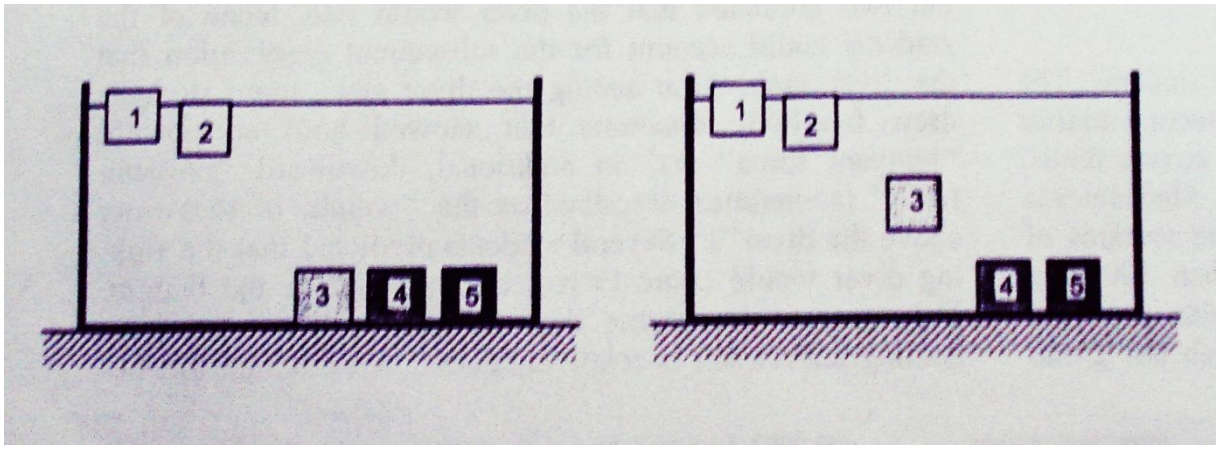
*„Zbog toga jer je $m_1$<$m_2$ i $m_2$ ima gustoću jednaku vodi, $m_1$ mora imati manju gustoću i ta će kocka plutati jače. Gustoća kocke 3 je veća od gustoće vode i ona će tonuti.“*

U zadatku nije točno zadano kako mase kocaka variraju stoga se odgovori u skladu s pretpostavkom da je gustoća kocke 3 veća od gustoće kocke 2, ali i upravo jednaka gustoći vode također smatraju točnima. Jedan od studentskih odgovora koji se smatrao točnim je sljedeći:

*„Ako kocka 2 jedva pluta, tada 3 vjerojatno tone, ali sila uzgona može biti i točno uravnotežena i kocka ostaje na onom mjestu gdje je i puštena“.*

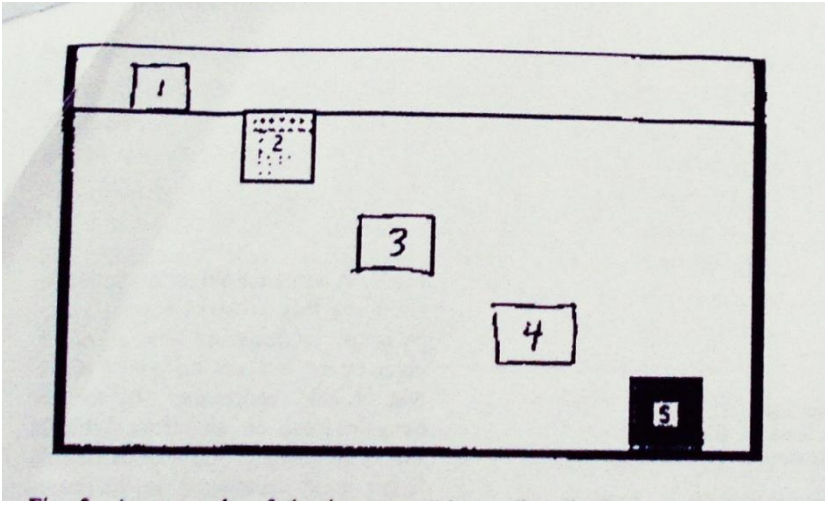
Ovaj zadatak dan je dvjema grupama studenata s uvodnih kolegija gdje još nisu učili uzgon (N=218), te je postotak točnih odgovora 25%. U druge dvije grupe u kojima su odrađena standardna predavanja hidrostatike (N=151) bilo je 10% točnih odgovora. Studenti sa Sveučilišta u Washingtonu, s druge godine nakon standardnih predavanja

N=101), riješili su problem 50% točno, dok su studenti prve godine nakon standardnih predavanja na Sveučilištu u Purdueu (N=765) odgovorili 40% točno.




**Slika 2. Moguća točna rješenja za pitanje 1.**

U svim je grupama ispitanika najčešći netočan odgovor prikazivao kocke 3 i 4 na srednjoj dubini, odnosno svi su im blokovi bilo poredani tako da su tvorili padajuću liniju.




**Slika 3. Najčešći netočan odgovor na pitanje 1.**

Ovaj bi odgovor mogao biti smatran točnim samo uz pretpostavku da gustoća vode varira, pa bi tada predmeti različite gustoće mogli odgovarati prosječnoj gustoći vode na različitim dubinama. Studenti su dosad na svim kolegijima koje su dotad odslušali i koje su trenutno polazili, vodu smatrali nestlačivom tekućinom i unatoč tome što je u tekstu zadataka upozoreno da je voda nestlačiva, to upozorenje nije imalo vidljiv efekt na ishod.

Primijećeno je da neki studenti eksplicitno povezuju silu uzgona na kocku s dubinom uranjanja ili masom kocke. Jedno od takvih obrazloženja odgovora je sljedeće:

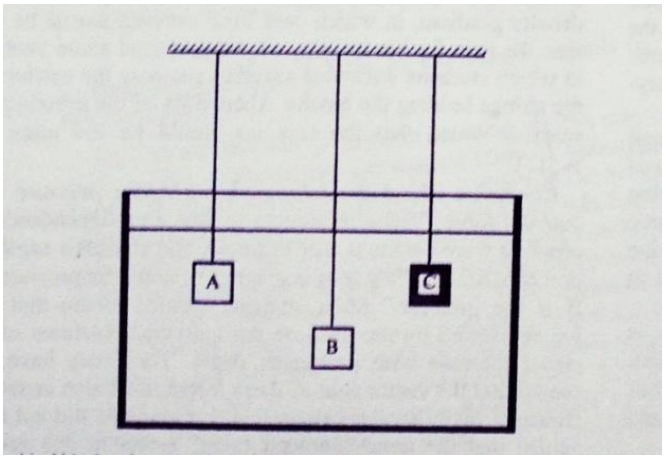
*„Pretpostavljajući da mase kocaka rastu u jednakim intervalima, vjerojatno će i sila uzgona rasti linearno.“*

Kada su studenti upitani da nacrtaju dijagrame sila za kocku 2 i kocku 5 odmah nakon što su puštene, 60% onih studenata koji su imali razumne dijagrame, a pod time se misli na dijagrame gdje nema dodatnih sila ili neke sile nedostaju, nacrtali su da će sile uzgona biti različite. To je postavljeno pitanje trebalo poslužiti kao dodatno pitanje u zadatku u svrhu da studenti lakše dođu do točnog odgovora, no ispostavilo se da nije pomoglo. Najčešći studentski odgovor bio je taj da je sila uzgona veća na lakše tijelo. Na Sveučilištu u Washingtonu 10% - 20% studenata pokušalo je rješavati zadatak pomoću sila dok ih je 20% - 30% spominjalo gustoće kocaka u objašnjenju. Većina je jednostavno govorila o masi ili težini kocaka. Nije uočena povezanost između uspjeha rješavanja zadatka i načina ponuđenog objašnjenja. Ovaj isti zadatak postavljen je u individualnim intervjuima na kojima je sudjelovalo 12 studenata s druge godine nakon svih odslušanih kolegija. Pred studente je stavljeno pet malih kocaka istog volumena, ali načinjenih od različitih materijala te je traženo da ih sortiraju po težini. Nakon njihova rangiranja kocaka po težini, ispitivač je stavio dvije kocke, jednu od najlona, a drugu od željeza, u posudu s vodom. Tražio je od svakog studenta da predvidi poziciju ostalih triju kocaka koje su načinjene od drva, aluminija i pleksiglasa, te da daju svoje objašnjenje. Pola je studenata smjestilo kocke tako da su tvorile padajuću liniju, i objasnili su da će dvije kocke plutati unutar vode iznad dna, ali na različitim dubinama unutar spremnika. Kada je studentima pokazan rezultat pokusa, bili su iznenađeni i u nemogućnosti razriješiti proturječnost između njihovih predviđanja iopažanja.

### *2.3. POVEZIVANJE SILE UZGONA S VOLUMENOM URONJENIH TIJELA*

Prethodni zadatak s pet kocaka doveo je do toga da su istraživači razvili niz pitanja koja ispituju sposobnost studenata da povežu silu uzgona na uronjene objekte s njihovim volumenom. Jedno od njih odnosi se na situaciju prikazanu na Slici 4.

Tri kocke istog volumena obješene su na nitima i potpuno uronjene u posudu s vodom. U tekstu zadatka stoji da sve kocke tonu. Dvije kocke različitih masa nalaze se na istoj dubini (A i C), dok se dvije kocke koje imaju istu masu (A i B), nalaze na različitim dubinama. Od studenata je traženo da rangiraju veličine sila uzgona na kocke. Da bi došli do točnog odgovora studenti su morali uočiti da su kocke potpuno uronjene, te da zauzimaju isti volumen, što znači da je i sila uzgona na njih jednaka.




**Slika 4. Povezivanje sile uzgona i volumena uronjenih tijela (pitanje 2)**

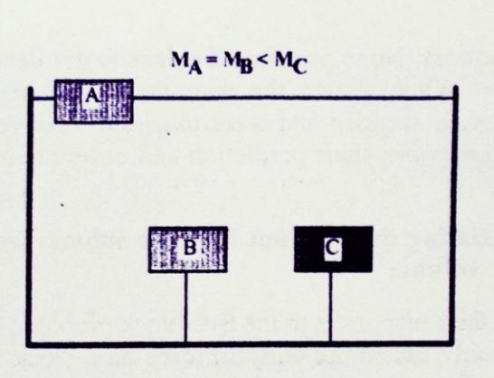
Nakon nastave tek je 21% studenata na prvoj godini i 60% studenata na drugoj godini ponudilo točan odgovor. Pogreške koje su činili studenti u jednoj i drugoj skupini slične su prirode. Za kocke različitih masa koje se nalaze na istoj dubini, 35% studenata prve godine odgovorilo je točno, dok je postotak točnih odgovora kod studenata druge godine bio 65%. Najčešći netočan odgovor (45% studenata prve godine i 20% studenata druge godine) bio je da će na težu kocku djelovati veća sila uzgona. Problem je bio u tome što su studenti povezivali masu kocaka sa silom uzgona. Jedan od primjera takvih odgovora je sljedeći:

*„Sila uzgona na tijelo C je manja nego na A i B, jer ono istiskuje manje vode zbog svoje manje mase.“.*

Drugi je problem bio što su studenti upotrebljavali na netočan način formulu za silu težine tako da podupru svoju ideju da teži objekt ima veću silu uzgona. Upotrebljavali su formulu koja vrijedi samo za plutajuće objekte, odnosno $F_U = m \cdot g$ .Također bilo je i studenata koji su tvrdili da lakša kocka (C) osjeća veću silu uzgona. Kada su studenti

uspoređivali kocke koje imaju iste mase, ali se nalaze na različitim dubinama, njih 55% s prve godine i 80% s druge godine odgovorilo je točno, odnosno odgovorilo je to da će sila uzgona biti jednaka na identične kocke uronjene na različite dubine. Oko 30% studenata prve godine i 15% studenata druge godine tvrdi da je veća sila uzgona na kocku koja je uronjena na veću dubinu. Nejasnoća o povezanosti dubine i tlaka sa silom uzgona bilo je mnogo. Studenti su prepoznali da sile kojima fluid djeluje na površine kocke uronjene u fluid rastu s porastom dubine uranjanja, no odgovori su pokazali da mnogo studenata nije prepoznalo da izraz za silu uzgona zahtijeva njihovu vektorsku sumu. To se moglo očitati iz njihovih dijagrama koji su se sastojali od sile uzgona i dodatne sile na tijelo koja nastaje zbog djelovanja okolnog fluida. Upravo su ti odgovori pokazali da je problem porijekla uzgona ozbiljniji nego zabluda o stlačivosti vode.

U drugoj verziji ovog pitanja dvije kocke koje promatramo vezane su nitima za dno posude, dok se treća kocka slobodno giba u fluidu. Također, kao i u prethodnom primjeru, dvije kocke različitih masa nalaze se na istoj dubini, dok se kocke koje imaju istu masu nalaze na različitim dubinama.




**Slika 5. Povezivanje sile uzgona i volumena uronjenih objekata ,**

**druga verzija(pitanje 3)**

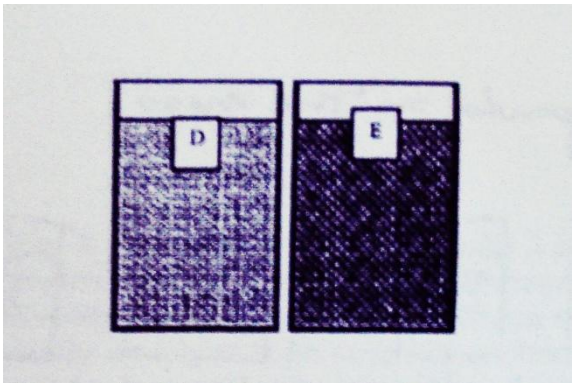
Promatrajući kocke iste mase, od kojih je jedna potpuno uronjena u vodu, a druga samo djelomično uronjena, 60% studenata prve godine (N=792) i 80% studenata druge godine (N=49) odgovorilo je točno, odnosno da je sila uzgona na plutajuću kocku manja nego na kocku koja je potpuno uronjena u vodu. Neki studenti, koji su tvrdili da su sile uzgona jednake, smatrali su da kocke zbog iste mase imaju istu težinu, te su im i sile uzgona jednake, dok su drugi studenti, koji su dali netočne odgovore primijetili da je volumen kocaka isti, pa su zaključili da je zato i sila uzgona ista. Zabrinjavajuće je bilo to

da studenti nisu primijetili da je bitni dio volumena tijela onaj volumen koji se nalazi unutar fluida, a ne cjelokupni volumen objekta.

U izmijenjenoj verziji ovog pitanja, umjesto u vodi, kocke se nalaze u nekom drugom fluidu. Studenti su upitani da usporede sile uzgona na kocke u vodi i u drugom fluidu. Ovaj problem postavljen je studentima prve godine nakon svih odslušanih predavanja, gdje ih je 75% odgovorilo točno (N=164), odnosno da je sila uzgona veća u gušćoj tekućini. U ovom je pitanju primijećena tendencija povezivanja sile uzgona s time na kojoj se dubini nalazi kocka, pa je zbog toga oko 20% studenata odgovorilo da su sile uzgona iste u različitim tekućinama, jer se tijela nalaze na istoj dubini.

## *2.4. POVEZIVANJE SILE UZGONA NA PLUTAJUĆA TIJELA S NJIHOVOM MASOM*

Mnogi studenti primjenjuju formulu $F_g = m \cdot g$ na uronjena tijela, dok je drugi ne primjenjuju ondje gdje bi to bilo prikladno. Istraživači su dizajnirali pitanje koje mjeri sposobnost studenata da povežu silu uzgona na plutajuća tijela s njihovom težinom. Dvije identične kocke plutaju u različitim tekućinama u dva različita spremnika (Slika 6.) . Zadatak od studenata traži da odrede da li je sila uzgona na kocku D veća, manja ili jednaka sili uzgona na kocku E.




**Slika 6. Povezivanje sile uzgona s težinom plutajućih tijela (pitanje 4)**

Pomoću II. Newtonovog zakona studenti bi lakše došli do točnog odgovora. Primjereno je primijeniti Newtonov II. zakon zato jer su kocke identične i u mirovanju, te pomoću toga studenti mogu zaključiti da su sile uzgona na njih jednake. Točan odgovor na ovo pitanje na Sveučilištu u Washingtonu dalo je 40% studenata s prve godine (N=424), a na Sveučilištu u Marylandu tek 20% studenata prve godine (N= 161). Primjećuje se neuspjeh studenata da u obzir uzmu sve varijable. Dio studenata spominjao je da na kocku D djeluje veća sila uzgona, jer je kocka istisnula više tekućine, dok je drugi dio studenata u obzir uzimao samo gustoću tekućine, te su donijeli zaključak da je sila uzgona veća na kocku u gušćoj tekućini. Najčešći netočan odgovor bio je da je sila uzgona koja djeluje na kocku E veća, jer ona pluta na višoj razini. Tipično objašnjenje takvog pravca razmišljanja je sljedeće:

*„ S obzirom da je težina kocki ista, i da se kocka E nalazi više od kocke D, znači da je gurnuta većom silom prema gore, što povlači da je sila uzgona veća.“*

Neki studenti, koji su odgovorili točno, smatrali su da je istisnuti volumen veći u jednom slučaju, dok je u drugom slučaju veća gustoća fluida, te su zaključili da su sile uzgona jednake („kompenzacijsko“ zaključivanje). Jedan od studentskih odgovora glasi:

*„Sila uzgona ovisi o gustoći tekućine. Budući da je kocka E manje potopljena od kocke D, znači da je kocka E istisnula manju količinu tekućine, no uz pretpostavku da je tekućina u posudi gdje se nalazi kocka E gušća, razlike se trebaju međusobno poništavati kako bi nastala jednaka sila uzgona.“*

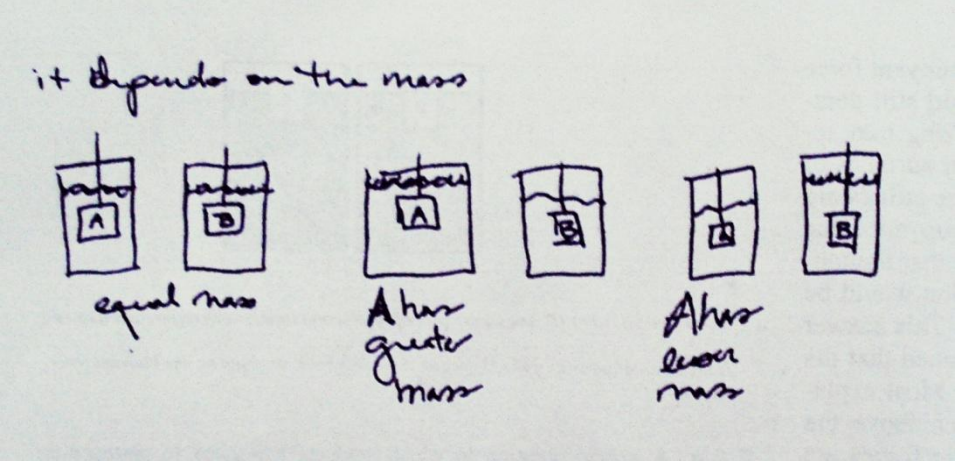
Ovakav način razmišljanja zasniva se na pretpostavci da su dvije varijable (gustoća tekućine i istisnuti volumen tekućine) obrnuto proporcionalne i na taj će se način nadoknaditi, kako bi se osiguralo da umnožak ostane konstantan.

## *2.5. STUDENTSKO RAZUMIJEVANJE POVEZANIH POJMOVA: ISTISNUTI VOLUMEN TEKUĆINE*

### *2.5.1. ODREĐIVANJE ISTISNUTOG VOLUMENA VODE*

U dosadašnjem se istraživanju pokazalo da određeni broj studenata izričito povezuje količinu istisnute tekućine i masu tijela, stoga su istraživači stavili pred studente

novi zadatak. Dvije su kocke iste veličine i oblika uronjene u iste posude cilindričnog oblika u kojima se na početku nalazi ista količina vode. Jedna od kocaka načinjena je od aluminija, dok je druga načinjena od mjeda. Također je u opisu zadatka slikom prikazano kolika se razina vode nalazi u prvoj posudi kada je u nju uronjena kocka od aluminija. Studenti su upitani da tu razinu usporede s razinom vode u drugom spremniku kada u njega uronimo kocku od mesinga. Na Sveučilištu u Washingtonu (N=395) 75% studenata odgovorilo je da će razina u spremnicima biti jednaka, što je točan odgovor, dok je na Sveučilištu Purudeu (N=250) 65% dalo isti odgovor. Oko 20% studenata na oba Sveučilišta tvrdilo je da će razina vode u drugom spremniku biti viša, jer se u njemu nalazi kocka od mesinga koja ima veću masu (Slika 7). Kod tih se studenata očituje poteškoća u razumijevanju koncepata mase, volumena i gustoće.




**Slika 7. Studentsko rješenje zadatka u kojem su kocke istog volumena ali različitih masa uronjene u cilindrične posude napunjene vodom**

### *2.5.2. ODREĐIVANJE ISTISNUTOG VOLUMENA DRUGIH TEKUĆINA*

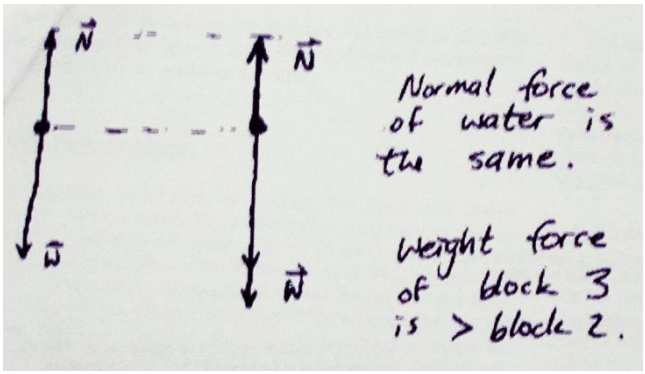
Zadatak postavljen studentima opisuje dvije posude cilindričnog oblika, gdje se u jednom cilindru nalazi voda, a u drugom ulje. U njih će se uroniti dvije identične kocke. Pitanje za studente sastoji se od dva dijela. Prvi dio pitanja traži od studenata da usporede razinu tekućine u dva identična cilindra, ako oba sadrže u početku po 500 mL tekućine. Drugi dio pitanja traži da usporede konačnu razinu tekućine, ako su kocke uronjene u cilindre do iste dubine. Prvi dio pitanja bio je postavljen studentima prve godine, te ih je oko 85% odgovorilo točno. Ostatak studenata imao je problema s različitim gustoćama

tekućina. Od studenata koji su u prvom dijelu pitanja tvrdili da je početna razina tekućina jednaka, 60% je u drugom dijelu pitanja odgovorilo također točno, odnosno da je razina nakon uranjanja kocaka u cilindre jednaka. Većina netočnih odgovora bila je ponuđena uz objašnjenje da će više tekućine biti istisnuto u manje gustoj tekućini.

## *2.6. STUDENTSKO RAZUMIJEVANJE POVEZANIH POJMOVA: NEWTONOVI ZAKONI*

Svi studenti koji su sudjelovali u istraživanju odslušali su kolegij koji je uključivao mehaniku, no unatoč tome primijećeno je da većina nije uspjela točno primijeniti Newtonove zakone.

Kod početnog problema gdje smo imali 5 kocaka različitih masa, ali istog volumena, mnogo je studenata prepoznalo da na sve kocke djeluje ista sila uzgona, no nisu uspjeli zaključiti da će neke kocke ubrzavati prema gore, dok će neke ubrzavati prema dolje. Jedno od postavljenih pitanja u tom zadatku bilo je da studenti nacrtaju dijagrame sila za kocku 2 i kocku 3 na njihovim konačnim položajima. Nekoliko studenata koji su predvidjeli da će kocka 3 ostati lebdjeti ispod površine, ali iznad dna, u svojim dijagramima naznačuje ukupnu silu različitu od nule.

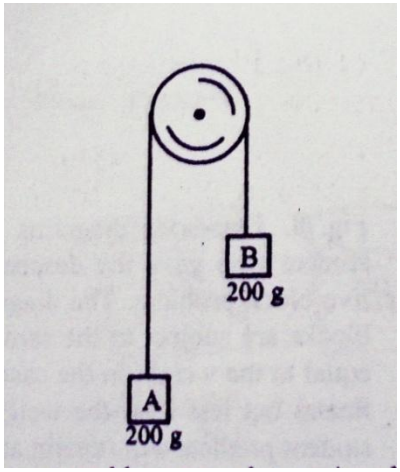



**Slika 8. Dijagram sila za kocku 2 i kocku 3**

Kocka 2, koja jedva pluta, prikazana je kao da na nju djeluju jednake sile prema gore i prema dolje. Kocka 3 koja se nalazi u mirovanju, prikazana je s jasnom

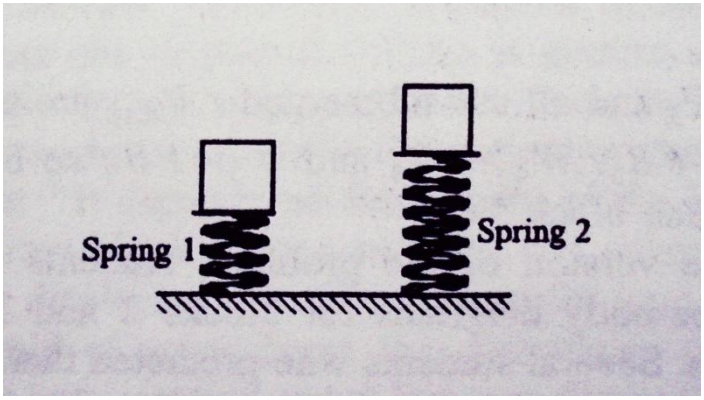
rezultantnom silom različitom od nule. Studenti objašnjavaju da je sila koja djeluje na obje kocke prema gore jednakog iznosa. Sila koja djeluje prema dolje je sila težine i ona je veća kod kocke 3, jer kocka 3 ima veću masu od kocke 2. Razlika je u tome što je ukupna sila kod kocke 2 jednaka nuli, što je točno prema II. Newtonovom zakonu, dok je ukupna sila na kocku 3 usmjerena prema dolje, što se nikako ne slaže s II. Newtonovim zakonom, jer tijelo miruje. Dijagram sila pokazuje da su razine na kojima se nalaze kocke povezane s neravnotežom između sile težine i sile uzgona. Mnogi studenti koji su koristili formulu za uzgon, nisu je povezali s gibanjem kocaka ili položajem na kojem se kocke nalaze. Dio je studenata zaključio da su različiti položaji kocaka unutar spremnika s vodom povezani s različitim silama. Što se kocka nalazila bliže površini to je za njih značilo veću silu prema gore. Nesposobnost rješavanja ove vrste problema potaknula je niz drugih pitanja.

Odgovori koje su studenti davali na dosad postavljene probleme, reflektirali su slabo razumijevanje Newtonovih zakona. U nastojanju da se odredi da li će isti problemi nastati i izvanhidrostatike, istraživači su odlučili dodati probleme mehaničke ravnoteže analogne gore opisanim problemima. Dvije identične kocke povezane su preko niti zanemarive mase koja prolazi preko idealnog kolotura, što znači da zanemarujemo trenje i masu kolutura. (Slika 9.) Kocku B u početku držimo tako da je iznad kocke A i kocke miruju kao što je prikazano na slici. Studenti su upitani što će se dogoditi kada kocke pustimo. Ono što studenti moraju prepoznati jest to da kocke imaju istu masu, te zbog iste težine koju imaju, neće biti akceleracije, niti će se kocke gibati.




**Slika 9. Dvije identične kocke na koloturu**

Drugi zadatak koji je stavljen pred studente prikazivao je identične kocke na različitim oprugama (Slika 10). Tražilo se od studenata da usporede sile kojima opruge djeluju na kocke. S obzirom da su kocke identične i miruju, sile opruga moraju biti jednake.




**Slika 10. Dvije identične kocke na oprugama**

Oba su problema dana nekoliko skupina studenata s prve godine na Sveučilištu u Washingtonu i jednoj skupini studenata s druge godine. Svi su studenti prethodno odslušali mehaniku. Oba su zadatka riješena točno od 45% studenata na prvoj godini i 65% na drugoj godini. Netočni odgovor kod kolutura, koji se ponavljao, bio je taj da će se kocke gibati dok ne dođu do iste visine. Što se tiče opruga najčešći netočan odgovor bio je da na kocku na višoj opruzi djeluje veća sila od sile koja djeluje na kocku koja se nalazi na nižoj opruzi. Prvi je problem za donošenje točnog zaključka bio taj da su studenti pretpostavljali da tijela iste težine moraju biti na istoj razini. Također se primjećuje pogrešna pretpostavka da su potrebne različite sile da drže tijela na različitim visinama. Posebice u problemu s oprugama mnogi studenti pripisuju to tome da na različitim visinama na kocke djeluju različite sile. Zamijećen je neuspjeh da se u obzir uzmu sve varijable. Kod opruga je najizraženije to da su studenti primijetili da su opruge na kojima se nalaze identične kocke različito sabijene, no nisu u obzir uzeli različite konstante opruge.

## *2.7. OPAŽENE POTEŠKOĆE*

Standardni način predavanja hidrostatike ostavlja mnoge studente u nemogućnosti da predvide i objasne tonjenje i plutanje jednostavnih tijela. Posebno, mnogi studenti nisu bili sposobni identificirati sile kojima fluid djeluje na tijela i prepoznati čimbenike o kojima ovise te sile. Bilo je jasno da su studenti uspjeli naučiti formule $F = m \cdot g$ i $F = \rho \cdot g \cdot V$ , no kada u zadatku nisu bili dani brojevi često koriste ove formule neprikladno, netočno ili ih uopće ne koriste.

Mnogo studenata nije prepoznalo ulogu istisnutog volumena u određivanju sile uzgona. Pretpostavka da sila uzgona na uronjene objekte ovisi o masi tijela bila je česta. Za neke studente to uvjerenje interpretirano je kao nemogućnost razlikovanja koncepta mase i volumena. Mnogi su studenti dodali da sila uzgona ovisi o dubini, čime se zaključuje da postoji zabuna o vezi između tlaka, koji raste linearno s porastom dubine, i sile uzgona, koja raste s dubinom isključivo ako gradijent tlaka nije linearan.

Svaki pokušaj rješavanja problema pet kocaka pomoću sila zahtijeva razumijevanje Newtonove dinamike. Obilje dokaza pokazuje da su mnogi studenti uspješno završili uvod u fiziku bez da imaju razvijen takav način razumijevanja. Studenti su u izjavama, u kojima su davali objašnjenja za rješenje u kojem predviđaju padajuću liniju kocaka, pokazali da nisu uspjeli primijeniti drugi Newtonov zakon. Prethodne studijepokazale su da studenti često pretpostavljaju da je na tijelo koje ima trenutnu brzinu nula i ukupna sila jednaka nuli. Ovdje se naišlo na predviđanje da će objekt ostati u mirovanju unatoč sili koja djeluje na njega i različita je od nule. Mnogim napisanim objašnjenjima rješenja problema s pet kocaka nedostajalo je logičke povezanosti između izraženih ideja, bilo točnih ili pogrešnih, i predviđanja. U nekim su slučajevima napisane izjave bile kontradiktorne predviđanjima. Povrh toga, sve netočne ideje bile su povezane s istim predviđanjem. Moguće je da su mnoga objašnjenja bila tek pokušaj da se opravda predviđanje bazirano na intuiciji. Većina studenata prve godine u ovom istraživanju nije uspjela prikazati da posjeduje razumijevanje koncepata koje je potrebno za točna i dosljedna objašnjenja.

Kada bismo željeli istaknuti neke od studentskih poteškoća, svakako bismo trebali istaknuti sljedeće:

- Nemogućnost identifikacije sila koje djeluju na tijelo uronjen u fluid.
- Netočna primjena Newtonove dinamike.

- Povezivanje sile uzgona s masom – ponegdje se može uočiti nerazlikovanje koncepata mase i volumena.
- Povezivanje sile uzgona s dubinom – ispitanici su prepoznali da sila koja djeluje na površinu uronjenog tijela raste s porastom dubine, no nisu prepoznali da sila uzgona zahtijeva vektorsku sumu tih sila.
- Nemogućnost uočavanja bitnog volumena za silu uzgona – ne uočava se da je za silu uzgona bitan volumen tijela onaj koji se nalazi unutar fluida, a ne cjelokupan volumen.
- Povezivanje količine istisnute tekućine i mase – donose se pogrešni zaključci da tijelo veće mase istiskuje više tekućine

## *2.8. RAZVIJANJE NASTAVNIH MATERIJALA*

Nakon detaljnog istraživanja i obrade rezultata, istraživači su opisali kako pomoću dobivenih rezultata razviti nastavne strategije za poučavanje hidrostatike za različite studentske populacije. Razvijena su tri tipa nastavnih materijala: kurikulum utemeljen na eksperimentima koji priprema nastavnike osnovne i srednje škole za izvođenje istraživački usmjerene nastave fizike, tutorijali (materijali koji služe kao nadopuna predavanjima u standardnim uvodnim kolegijima fizike na fakultetima), te jedan eksperiment za primjenu u pripadnom praktikumu. Iako se materijali razlikuju u konačnim ciljevima, nastavnom okruženju, te strategijama, svi oni pokušavaju pažljivo strukturiranim ispitivanjem voditi studente do razvijanja zaključivanja potrebnog da razumiju uvjete plivanja jednostavnih tijela. Studenti Sveučilišta u Washingtonu koji su bili uključeni u ovo istraživanje većinom su u tom trenutku bili u drugom kvartalu prve godine, što znači da su mehaniku već odslušali. Predavanja iz hidrostatike slušana su u rasponu od nekoliko dana do dva tjedna. Otprilike oko pola studenata pohađalo je povezane praktikume jednom tjedno po tri sata.

Također su u ovom istraživanju sudjelovali i nastavnici srednjih i osnovnih škola od kojih je tek mali broj imao značajno prijašnje znanstveno obrazovanje. Autori istraživanja vode niz radionica i tečajeva za nastavnike fizike u školama, te su za njih razvili i skup modula nazvanih „Physics by Inquiry“[3]) i „Physical Science by Inquiry“[4]), koji ih vode do boljeg razumijevanja temeljnih fizikalnih koncepata.

### *2.8.1. PITANJA VEZANA UZ EKSPERIMENTE (NAGLASAK NA GUSTOĆI)*

S obzirom da je u istraživanju bilo primijećeno da studenti imaju problema u osnovnim konceptima kao što su masa, volumen i gustoća, nastavni materijali kreću od tih osnovnih pojmova. Studenti počinju operativno definirati masu objekata te nakon toga definiraju volumen kao broj standardnih kockica koji ispunjava neki određeni objekt ili pomoću istisnute vode kada se to tijelo uroni u vodu. Sljedeće je smišljanje operativne definicije gustoće koja pruža kontekst za razvoj proporcionalnog rasuđivanja i grafičkih vještina. Kako bi studentima još zornije objasnili ove osnovne koncepte, istraživači predstavljaju nekoliko primjera u kojima su koncepti mase i volumena često pomiješani. Studentima su dane kugla od željeza i jedna od aluminija koje su iste veličine. Zadatak traži da predvide razinu vode kada se svaka posebno smjeste u posude napunjene vodom. To pitanje postavljeno je i nastavnicima osnovnih škola, i oko pola nastavnika tvrdilo je da će razina vode biti viša u posudi u koju je uronjena teža kugla. Rasprava nastavnika s osobljem koje je održavalo radionicu, te također mogućnost da se ovi koncepti primjene u drugim situacijama, pomoglo je nastavnicima da riješe ovaj problem.

Nakon solidne konceptualne osnove, studenti počinju promatrati kako se ponašaju različita tijela nakon što su uronjeni u vodu i pušteni. Nakon toga dizajniraju, izvode i interpretiraju eksperimente da bi uspjeli otkriti varijable koje određuju da li će tijela tonuti ili plutati. Studenti opažaju da se tijela istog volumena, ali različite mase mogu ponašati različito. Također zaključuju da se i tijela iste mase, ali različitog volumena mogu ponašati različito. Zaključuju da su i masa i volumen varijable koje utječu na to da li će tijelo plutati ili tonuti. Nakon toga, studenti promatraju tijela koji imaju istu gustoću i koji se ponašaju isto bez obzira na njihov volumen ili masu. Studenti dolaze do zaključka da gustoća objekata određuje hoće li objekt tonuti ili plutati. Provedeni su eksperimenti s alkoholom i slanom vodom te su pomoću njih studenti zaključili da će objekt plutati, ako je njegova gustoća manja nego gustoća fluida, a da će tonuti ako je gustoća objekta veća od gustoće fluida.

### *2.8.2.TUTORIJALI : NAGLASAK NA SILI UZGONA I NJENOJ VEZI S TLAKOM*

Nakon istraživanja razvijena je skupina materijala, tutorijala, kao dodatak udžbenicima i standardnim predavanjima na sveučilišnim uvodnim kolegijima fizike. Nastavni materijali vode studente kroz zaključivanje, integraciju i primjenu koncepata i

principa. Materijali su namijenjeni primjeni u malim skupinama od troje ili četvero studenata. Studenti rade na radnim listovima s nizom pažljivo odabranih pitanja. Dodatna pitanja kojima se pomaže studentima da dođu do točnih odgovora postavljaju asistenti. Domaće zadaće koje se zadaju pomažu ojačati i proširiti ono što su studenti naučili tijekom sata. Tako se radilo na Sveučilištu u Washingtonu na kolegiju baziranom na infinitezimalnom računu na kojem se nije radila hidrostatika. No na istom Sveučilištu, na kolegiju baziranom na algebri, nije bilo moguće podijeliti razred na manje skupine, pa su se ti dodatni materijali morali malo prilagoditi za interaktivno predavanje. Studenti su surađivali samo sa svojim susjedom u klupi da bi odgovorili na pitanja postavljena u radnim listićima. Na satu je bio prisutan jedan ili više asistenata koji su obilazili što je više studenata moguće. Također je studentima bila dana uputa u kojoj se naglašava da se na određenim mjestima u radnim listićima zaustave i pričekaju na raspravu s ostatkom razreda. Na tim kontrolnim točkama često se izvode i demonstracijski pokusi za koje su studenti prethodno dali svoja predviđanja. Iskustvo istraživača govori da ovakav načina rada može pomoći studentima da lakše uče, ali općenito nije tako učinkovit kao rad s manjom grupom studenata.

Vrlo je važno da dodatni materijali za neku temu budu kompatibilni s načinom na koji studenti razmišljaju na uvodnoj razini. Tipično tretiranje sile uzgona u uvodima u fiziku počinje s konceptom tlaka, dok koncept gustoće obično ulazi u udžbenike i lekcije kroz račun sile uzgona na tijelo u fluidu. Mnoge studentske poteškoće sa silom uzgona nastaju zbog toga što ne prepoznaju da je sila uzgona ona vektorska suma svih sila kojima okolni fluid djeluje na tijelo i da se ta sila ne mora povećati ako se sile koje djeluju na pojedinačne površine povećaju. Istraživanje studentskog razumijevanja hidrostatskog tlaka otkrilo je jaku tendenciju studenata da točkama fluida koje su na istoj razini pripišu različite tlakove. Mnogi studenti nisu shvatili da se tlak u nestlačivim stacionarnim tekućinama mijenja linearno s dubinom. Stoga se odlučilo razviti dodatne materijale o hidrostatskom tlaku koji bi prethodili dodatnim materijalima o sili uzgona. Istraživači su došli do zaključka da se trebaju zasebno obraditi slučajevi kada su objekti potpuno uronjeni, te kada slobodno plutaju. U oba je slučaja sila uzgona jednaka težini istisnute tekućine, no kod potpuno uronjenog tijela, volumen tog tijela određuje koliki je istisnuti volumen tekućine. Kada tijelo slobodno pluta, težina tijela određuje silu uzgona, koja pak određuje istisnuti volumen tekućine. Naglašavajući ovu razliku istraživači su mislili da će pomoći studentima da izbjegnu upotrebljavati ideje koje su relevantne samo u jednoj

situaciji. Nakon prvog pokušaja izrade dodatnih materijala, primijećena je tendencija studenata da silu uzgona povezuju i s masom uronjenih tijela, te su istraživači materijale prilagodili i tome.

#### *2.8.2.1.Tutorijal za hidrostatski tlak*

Dodatni materijali za tlak u tekućinama nastoje pomoći studentima da shvate kako se tlak mijenja u nestlačivim tekućinama. Studenti imaju zadatak da nacrtaju dijagram sila za tri jednaka volumena vode odvojene zamišljenom horizontalnom linijom unutar jednog spremnika. Koristeći Newtonove zakone i činjenicu da ti slojevi vode miruju studenti rangiraju sve vertikalne sile po relativnim iznosima. Da bi došli do formule za ukupni tlak u spremniku s vodom, upotrebljavaju vezu između sile i tlaka, te povezuju kontaktne sile s tlakom na različitim nivoima fluida. Pita ih se da li je njihov rezultat konzistentan s izrazom $p = p_0 + \rho gh$. Ako postoje neke poteškoće ili nejasnoće među studentima rezultati se diskutiraju te jednadžbu za ukupni tlak u vodi moraju primijeniti na niz različitih situacija. Istraživači zaključuju da većina studenata razvije dovoljno razumijevanje gradijenta tlaka da mogu nastaviti sa sljedećim tutorijalom, a to je tutorijal za uzgon.

#### *2.8.2.2. Tutorijal za uzgon*

Prvi dio tutorijala započinje tako da vodi studente od pretpostavke da se tlak linearno mijenja s dubinom do zaključka da fluid djeluje na uronjena tijela silom uzgona koja ne ovisi o dubini. Studenti tada povezuju silu uzgona s težinom istisnute tekućine. Tutorijal zahtijeva od studenata da konstruiraju argumente i istraže implikacije svojih zaključaka. Prvi je zadatak s kojim se studenti susreću kocka za koju znaju da pluta na vodi. Objašnjeno im je da se kocka nalazi na sredini spremnika s vodom te je puštena. Od studenata je traženo da nacrtaju dijagram sila za tijelo odmah nakon puštanja. Studenti su upućeni da najprije nacrtaju sile kojima voda djeluje na pojedinačne površine kocke i nakon toga su vođeni da upotrijebe svoje prijašnje znanje o ovisnosti tlaka o dubini te da zaključe da je sila na donju površinu kocke veća od sile koja djeluje na gornju stranu kocke. Traži se od njih da odrede smjer vektorske sume tih sila i da je usporede s težinom kocke. Nakon uspješnog svladavanja ovog problema, studenti su vođeni da upotrijebe sličnu analizu za kocku istog volumena i oblika, samo što u ovom slučaju kocka tone. Studenti zaključuju da su sile kojima voda djeluje na površine kocke iste kao i u

prethodnom primjeru, ali da se kocke u konačnici različito ponašaju. Zatim slijedi razmatranje kako bi dijagram sila na tijelo izgledao da je kocka puštena s mnogo veće dubine u gibanje te se od studenata očekuje da prepoznaju da će sve sile kojima voda djeluje na tijelo biti veće. Traži se od njih da primijete što se događa s razlikom između sila kojima voda djeluje na gornju i donju površinu, a kao pomoć im se sugerira da pogledaju kolika je razlika tlakova. U tom trenutku uvodi se pojam sile uzgona kao vektorske sume svih sila kojima fluid djeluje na tijelo uronjeno u njega. Tutorijal od studenata dalje zahtijeva da sumiraju svoje zaključke, odnosno da zaključe ovisi li sila uzgona o dubini uranjanja, težini tijela ili volumenu uronjenog tijela, te se njihovi odgovori provjeravaju prije nastavka. Drugi dio tutorijala odnosi se na istisnuti volumen tekućine, dok treći dio započinje s Arhimedovim zakonom. Četvrti dio tutorijala obrađuje plutanje i tonjenje. Studenti su upitani da razmotre situaciju s početka tutorijala Razmatraju sile na kocku koja je uronjena u vodu odmah nakon njenog puštanja, te sile kada to tijelo pluta slobodno, i uspoređuju silu uzgona i težinu u oba slučaja. Na kraju su upitani da li se njihov odgovor slaže s Arhimedovim zakonom. Očekuje se da prepoznaju da veća sila uzgona djeluje dok je tijelo potopljeno (zbog čega i dolazi do ubrzavanja tijela prema površini) i da je više volumena istisnuto dok je cijela kocka potopljena. U posljednjoj vježbi studenti promatraju kocku koja ima malo veću masu. Studentima je dan dijalog u kojemu dva izmišljena studenta raspravljaju oko toga da li će se zbog veće težine kocke nego u prethodnom slučaju kocka gibati prema gore, ali ne do površine vode. Traženo je od studenata da utvrde što nije dobro u tom argumentu.

### *2.8.3.LABORATORIJSKI EKSPERIMENT*

Glavni cilj laboratorijskih eksperimenata jest taj da studenti načine eksperimentalna opažanja potrebna za identifikaciju varijabli koje utječu na silu uzgona kod uronjenih i plutajućih objekata. Od studenata se očekuje da uspostave jednakost veličina sile uzgona i težine istisnutog volumena tekućine za uronjene i plutajuća tijela. To je predviđeno kako bi mogli analizirati tonjenje i plutanje u smislu usporedbe sile uzgona i težine tijela. Iz iskustva su istraživači zaključili da bi bilo učinkovitije da se počne s plutajućim tijelima te da se ne uvodi koncept tlaka. Naglasak u prvoj verziji ovog eksperimenta bio je na tome da studenti prepoznaju da sila uzgona ovisi o volumenu tijela, a ne o njegovoj masi. Napravljen je napredak što se tiče tog cilja, no na post-testu je uočeno samo minimalno poboljšanje što se tiče tonjenja i plutanja. Primijećeno je da je većina studenata svjesna da

bi se mogla upotrijebiti usporedba gustoća da se predvidi da li će objekt tonuti ili plutati, pa je bilo odlučeno iskoristiti prednost tog načina razmišljanja i promijeniti malo verzijueksperimenta (eksperiment 2).

Nastavni slijed eksperimenta sastoji se od niza pitanja koja zahtijevaju verbalna objašnjenja. Eksperiment počinje tako da studenti sami odrede postupke za utvrđivanje volumena objekta pomoću istisnute vode, nakon toga mjere mase tijela, volumene i gustoću tijela. Nakon toga ih uranjaju u vodu i bilježe koji tonu a koji plutaju, a zatim postupak ponavljaju tako da ih uranjaju u alkohol. Studenti zaključuju da je njihovo opažanje sukladno ideji da tijelo tone ako je njegova gustoća veća od gustoće fluida u koji je uronjen, dok se u suprotnom giba prema površini fluida. Od studenata se nakon toga tražilo da nacrtaju dijagram sila za drveno tijelo koje pluta na vodi. Nakon toga su objesili aluminijsku kocku na dinamometar i uronili je u vodu, a zatim nacrtali dijagram sila za kocku. Od studenata se tražilo da upotrijebe II. Newtonov zakon i da povežu očitanje dinamometra i silu uzgona. Očekuje se da mogu, kada očitaju koliko pokazuje dinamometar kada se kocka nalazi u zraku i kada je kocka u vodi, shvatiti da je ta razlika jednaka sili uzgona. Upotrebljavajući taj postupak mogu odrediti kolika je sila uzgona u vodi, a kolika u alkoholu. Iz volumena kocke i zadane gustoće fluida oni mogu odrediti težinu istisnute tekućine za oba slučaja Tada se iskazuje Arhimedov zakon, te se studente pita da li su njihovi zaključci konzistentni s njime.

Studenti se ponovo vraćaju na slučaj s plutanjem, odnosno drveni blok smještaju u vodu, pa zatim u alkohol. Mjere volumen istisnute tekućine, kako bi izračunali odgovarajuće težine. Izmjere težine kocaka vagom, te koriste tu veličinu da odrede silu uzgona kojom svaki fluid mora djelovati na kocku, da bi kocke mogle plutati.

## *2.9. PROCJENA UČINKOVITOSTI*

Nakon razvijanja tutorijala i eksperimenata, istraživači su odlučili sastaviti pitanja koja se poklapaju s ciljevima obrazovnih materijala koje su razvili, a na koja se ne može odgovoriti samo na temelju pamćenja. Pitanja koja su istraživači sastavili za studente uvodnih smjerova uključivala su usporedbu sila uzgona koje djeluju na različite objekte pod različitim uvjetima, te pitanja koja su uključivala predviđanje tonjenja i plutanja. Pitanja postavljena nastavnicima osnovnih škola nisu uključivala eksplicitnu raspravu o

silama. Nikome od studenata nije bilo postavljeno isto pitanje više od jednom. Istraživači su odlučili usporediti rezultate studenata koji su imali različite načine predavanja. Primarna varijabla koju su istraživači uzeli u obzir je način na koji je lekcija prenesena studentima. Razmatrali su je li lekcija održana na tradicionalan predavački način ili pomoću interaktivnih dodatnih materijala. Druga varijabla koju su uzimali u obzir bio je praktikum, odnosno vježbe u laboratorijima. Neki od studenata nisu imali vježbe, dok su ih neki imali. Neki su studenti u okviru praktikuma imali laboratorijski eksperiment 1 ili 2. Razlika između eksperimenata 1 i 2 bila je u tome što je u eksperimentu 2 bio više naglašen koncept gustoće pri razmatranju plutanja ili tonjenja tijela. Činjenica da je pola studenata u određenom dijelu predavanja bila upisana u laboratorij, uvodi dodatne komplikacije, jer postoje dokazi da će ti studenti biti nešto bolji na određenim pitanjima. Stoga studente koji su slušali i upisali praktikume moramo razmotriti zasebno.

### *2.9.1. ODREĐIVANJE SILE UZGONA ZA TIJELA RAZLIČITIH MASA*

Studentima je postavljeno pitanje koje od njih zahtijeva da usporede sile uzgona koje djeluju na tijela istoga volumena, ali različitih masa, te koja su uronjena na istoj dubini. Rezultati su prikazani u Tablici 1.

| NASTAVA U LABORATORIJU | NAČIN PREDAVANJA | POSTOTAK TOČNIH ODGOVORA | N (broj ispitanika) |
|---|---|---|---|
| Nema | tradicionalni | 35% | 198 |
| Nema | interaktivni tutorijal (verzija 1) | 55% | 112 |
| Nema | interaktivni tutorijal (verzija 2) | 80% | 198 |
| Bez eksperimenta 1 i 2 | interaktivni tutorijal (verzija 1) | 65% | 89 |
| Bez eksperimenta 1 i 2 | interaktivni tutorijal (verzija 2) | 85% | 62 |
| Eksperiment 1 | tradicionalni | 60% | 808 |
| Eksperiment 1 | interaktivni tutorijal (verzija 2) | 80% | 69 |

**Tablica 1. Rezultati sa Sveučilišta UW na pitanje u kojem studenti uspoređuju silu uzgona na tijela istih volumena, ali različitih masa**

U drugom stupcu prikazani su studenti koji nisu polazili nastavu u laboratoriju (Nema); studenti koji su polazili nastavu laboratorija prije razvoja eksperimenata vezanih za uzgon (Bez eksperimenta 1 i 2); te studenti koji su u okviru praktikuma radili laboratorijski eksperiment 1 ili 2. U trećem stupcu prikazano je jesu li studenti imali tradicionalan način predavanja ili predavanje održano pomoću interaktivnih dodatnih materijala. Postotak točnih odgovora bio je viši kod studenata koji su prisustvovali interaktivnom predavanju, nego kod studenata koji su slušali predavanje na tradicionalni način. Također se primjećuje razlika između postotka točnih odgovora kod studenata koji su na predavanju radili s tutorijalom verzije 1 ili onih studenata koji su radili s tutorijalom verzije 2. Dodatak s istisnutim volumenom, koji je dodan tutorijalu prve verzije, očito je imao očekivani učinak da pomogne studentima zaključiti da sila uzgona na uronjene objekte ne ovisi o njihovoj masi.

### *2.9.2. ODREĐIVANJE SILE UZGONA ZA TIJELA NA RAZLIČITOJ DUBINI*

Drugo pitanje postavljeno studentima bilo je uspoređivanje sile uzgona na identična tijela koja su uronjena na različite dubine. Rezultati su prikazani u tablici.

| NASTAVA U LABORATORIJU | NAČIN PREDAVANJA | POSTOTAK TOČNIH ODGOVORA | N (broj ispitanika) |
|---|---|---|---|
| Nema | tradicionalni | 55% | 198 |
| Nema | interaktivni tutorijal (verzije 1 ili 2) | 80% | 181 |
| Bez eksperimenta 1 i 2 | interaktivni tutorijal (verzija 1 ili 2) | 90% | 152 |
| Eksperiment 1 ili 2 | tradicionalni | 75% | 533 |

**Tablica 2. Rezultati sa Sveučilišta UW na pitanje u kojem studenti uspoređuju silu uzgona na iste tijela uronjena na različite dubine**

Studenti koji su sudjelovali u bilo kojoj verziji interaktivne nastave bolje su riješili zadatak od studenata koji su slušali tradicionalan način predavanja. Rezultati obje verzije materijala za interaktivno izvođenje lekcije dali su iste rezultate. U nekoliko slučajeva

studenti su upitani da usporede napetosti niti na kojima se nalaze kocke. Ovo pitanje pomoglo je razlikovati krivu upotrebu termina sila uzgona i nerazumijevanja sila koje djeluju na uronjeno tijelo. Odgovor na to pitanje također je bio bolji kod studenata koji su polazili interaktivan oblik nastave, bez obzira koju verziju materijala su upotrebljavali. Također studenti koji su prisustvovali popratnim praktikumima, ostvarili su bolje rezultate od studenata koji su slušali samo tradicionalna predavanja.

### *2.9.3. ODREĐIVANJE SILE UZGONA ZA TIJELA U RAZLIČITIM FLUIDIMA*

Pitanje traži da studenti usporede sile uzgona koje djeluju na identična tijela koja plutaju u različitim fluidima. Ovo pitanje testira da li studenti prepoznaju da na slobodno plutajuće tijelo djeluje sila uzgona jednaka težini tijela. Za razliku od prethodnih pitanja, rezultati su bili isti u svim okolnostima, neovisno o tipu nastave. Postotak točnih odgovora bio je oko 40%. Tendencija da se različite razine na kojima se nalaze kocke povežu s različitim silama koje djeluju na kocke vrlo je postojana. Kako bi istraživači riješili ovaj problem, tražili su studente da nacrtaju dijagram sila za kocku koja pluta i da usporede iznose sila. U izvješću iz praktikuma jedan od studenata spomenuo je da je ukupna sila koja djeluje na tijelo jednaka nuli, odnosno da postoje dvije sile, od kojih je jedna sila uzgona koja je usmjerena prema gore i težina kocke koja je suprotnog smjera i istog iznosa. Nakon toga su studenti upitani da odrede jedno mjerenje pomoću kojeg bi mogli odrediti silu uzgona, te je isti student, koji je prethodno nacrtao točno, odgovorio točno da treba izmjeriti težinu objekta. Dva tjedna kasnije, kada je taj isti student upitan da usporedi silu uzgona na dvije identične kocke koje se nalaze u različitim tekućinama, student je odgovorio da su sile uzgona različite uz argument da plutaju na različitim razinama. Ovaj je tip odgovora tipičan, jer studenti ne prepoznaju kontradiktornost odgovora Newtonovim zakonima, iako su promatrali sličnu situaciju u laboratoriju.

### *2.9.4. PREDVIĐANJE TONJENJA I PLUTANJA*

U prvom problemu studenti moraju predvidjeti što će se dogoditi s pet kocaka istog volumena, ali različitih masa, unutar akvarija s vodom, kada se kocke puste u gibanje. Zadan je konačni položaj dviju kocaka, a studenti moraju dati svoja predviđanja konačnih položaja preostalih triju kockaka iz zadanih informacija u zadatku. Ovom se problemu može pristupiti preko gustoće ili preko sile uzgona i Newtonovih zakona. Rješivost

zadataka prije dodatnih učenja bila je 35%, dok je taj postotak nakon učenja cijele hidrostatike narastao na 85%. Rezultati istraživanja prikazani su u tablici.

| NASTAVA U LABORATORIJU | NAČIN PREDAVANJA | POSTOTAK TOČNIH ODGOVORA | N (broj ispitanika) |
|---|---|---|---|
| Nema | tradicionalni | 10% | 151 |
| Nema | interaktivni tutorijal (verzija 2) | 40% | 82 |
| Eksperiment 1 | interaktivni tutorijal (verzija 2) | 50% | 74 |
| Eksperiment 2 | tradicionalni | 45% | 238 |
| Eksperiment 2 | interaktivni tutorijal (verzija 2) | 85% | 69 |

**Tablica 3. Rezultati rješavanja problema pet kocaka na Sveučilištu u Washingtonu**

Stopa uspjeha studenata koji su sudjelovali na interaktivnoj nastavi, baziranoj na materijalima verzije 2, bila je veća nego kod studenata koji su slušali predavanje na tradicionalan način. Studenti koji su slušali interaktivnu nastavu te još sudjelovali na popratnom praktikumu s materijalima verzije 1, nisu bili puno uspješniji od studenata koji su samo prisustvovali interaktivnoj nastavi. Znatna stopa uspjeha zabilježena je kod studenata koji su uz interaktivnu nastavu imali i popratni praktikum u kojem se radilo po materijalima u kojima je dan naglasak na gustoću. Modifikacije koje su učinjene s materijalima za praktikum dovele su do poboljšanja mogućnosti studenata da predvide tonjenje i plutanje.

## *2.10. ZAKLJUČAK ISTRAŽIVANJA*

Istraživanje koje je provela Physics Education Group s University of Washington u SAD-u medu studentima, otkrilo je značajne očekivane poteškoće s idejama koje su preduvjet za učenje sile uzgona. Otkrili su da pojedini studenti trebaju pomoć na vrlo osnovnim razinama, kao što je razlikovati koncepte mase i volumena. Jedna od strategija koju su otkrili kao učinkovitu je da se studentima prezentira nekoliko objekata različite mase, ali istog volumena, te ih se traži da predvide iznos istisnute tekućine u svakom

slučaju. Nakon promatranja što će se dogoditi, studenti su bili vođeni da riješe odstupanja između predviđanja i promatranja. Ozbiljne konceptualne poteškoće s Newtonovim zakonima se čine kao daljnji izvor poteškoća za studente u pokušaju dinamičkog analiziranja tonjenja i plutanja. Studenti koji su sudjelovali u ovom istraživanju nisu radili mehaniku pomoću dodatnih materijala. Ako su i koristili dodatne materijale, nerealno je pretpostaviti da će studenti steći dovoljno vještine tijekom učenja dinamike i moći primijeniti znanje o silama u kompliciranijem okruženju kao što su tekućine. Suočavanje studenata s pokusima o tonjenju i plutanju u praktikumima bilo je od pomoći, jer su morali razmišljati iz perspektive gustoće prije uvođenja koncepta sile uzgona. Učenje uzgona iz dinamičke perspektive, kako je inače uobičajeno na uvodima u fiziku, teže je nego pristup pomoću mase, volumena i gustoće.

# 3. ISTRAŽIVANJE NA UČENICIMA I STUDENTIMA U HRVATSKOJ

## *3.1. OPIS ISTRAŽIVANJA*

Istraživanje koje sam radila provedeno je na Fizičkom odsjeku Prirodoslovno - matematičkog fakulteta u Zagrebu. Studenti koji su sudjelovali u ovom istraživanju studenti su svih profesorskih smjerova, koji uključuju studente smjera profesor fizike, fizike i informatike, fizike i kemije, te također studente fizike i matematike, koji kolegije koji uključuju fiziku slušaju na Fizičkom odsjeku. Svi su studenti na petoj godini svog smjera, te slušaju kolegij Metodika nastave fizike 2, što znači da su studenti položili Osnove fizike na prvoj i drugoj godini, položili kolegije u kojima je obrađena hidrostatika, te su odslušali i položili sve kolegije pratećih praktikuma u kojima je bila uključena hidrostatika.

Osim na studentima istraživanje je provedeno i na učenicima srednjih škola. Testirani su učenici drugog razreda I. gimnazije u Zagrebu. Testiranje je izvršeno 08. travnja 2014. godine. Gradivo hidrostatike učenici su obrađivali krajem listopada te početkom studenog u tekućoj akademskoj godini. S hidrostatikom su se susreli i u osnovnoj školi, gdje je hidrostatika izborni sadržaj kojeg nastavnik može, ali i ne mora obraditi s učenicima.

## *3.2. PREDTEST SA STUDENTIMA*

Test koji su rješavali studenti imao je za cilj provjeru njihovog znanja o sili uzgona. Studenti su test dobili na samom početku kolegija Metodike nastave fizike 2 kada su se održavali studentski seminari (Prilog A). U istraživanju je sudjelovalo 23 ispitanika. Predtest koji su studenti rješavali, sastojao se od dva pitanja koja su korištena u istraživanju na studentima na Sveučilištu u Washingtonu. Na predtestu je bilo ukupno 23 ispitanika sa svih profesorskih smjerova. Prvo pitanje u testu tražilo je od njih da predvide

ponašanje tijela u vodi, odnosno hoće li tijela tonuti ili plutati. Pitanje se sastojalo od tekstualnog dijela, u kojem je objašnjeno riječima što se od studenata traži, te od popratne slike. Na slici se nalazilo pet kocki različitih masa te im je zadan konačan položaj kocke 2 i kocke 5. Studenti su morali nacrtati konačne položaje ostale tri kocke i objasniti zašto se njihove kocke nalaze na tim položajima koje su nacrtali. Drugo pitanje predtesta odnosilo se na povezanost sila uzgona i težina kocaka. Pitanje se također sastoji od tekstualnog dijela i popratne slike i traži se od studenata da odrede u kakvim su odnosima sile uzgona na kocku D i E, s obzirom da su kocke iste, ali se nalaze u različitim fluidima.

### *3.3. POSTTEST SA STUDENTIMA*

Test, kojim su mjereni rezultati studenata nakon učenja hidrostatike pomoću tutorijala i individualnog učenja, obavljen je na kolokviju iz kolegija „Metodika nastave fizike 2“. Na kolokviju su sudjelovali studenti svih profesorskih smjerova. S obzirom da je ovo bio prvi rok kolokvija, pristupilo mu je 35 studenata koji su odgovorili na pitanje koje se uzelo u obzir za istraživanje. U sklopu kolokvija studentima je postavljeno pitanje kojim se mjeri njihova sposobnost da povežu silu uzgona na uronjena tijela s volumenom tih tijela (Prilog B). Pitanje se sastojalo od dva dijela. U prvom dijelu zadatka prikazana su tri tijela jednakih volumena i oblika uronjena u vodu, pri čemu tijelo A pliva na površini a tijela B i C su nitima pričvršćena za dno posude. Zadatak za studente glasio je da poredaju sile uzgona na tijela A, B i C od najveće do najmanje i u opisu zadatka dano je opažanje da kada su slobodna, tijela plutaju na površini vode. Tijela A i B imaju jednake mase, dok je masa tijela C veća od masa tijela A i B.

Drugi dio zadatka također se odnosio na tri tijela iz prvog dijela zadatka, no sada su tijela bila smještena u posudu ispunjenu drugim fluidom. Opaženo je da tijelo A i dalje pluta, ali mu se sada veći dio volumena nalazi unutar tekućine. Tijela B i C su i dalje pričvršćena nitima za dno posude. Zadatak od studenata traži da navedu kako se promijenila sila uzgona na svako pojedino tijelo, te da obrazlože svoj odgovor.

### *3.4. POSTTEST S UČENICIMA*

Test koji su rješavali učenici jednak je predtestu kojeg su rješavali studenti (Prilog A). U istraživanju su sudjelovala dva odjela drugih razreda I. gimnazije u Zagrebu: u jednom razredu sudjelovalo je 26-ero učenika, dok ih je u drugom razredu bilo 27, što znači da je ukupno 53 učenika riješilo posttest. Istraživanje je provedeno na početku satova fizike.

### *3.5. TUTORIJAL IZ HIDROSTATIKE*

Nakon održanog testa, studenti su taj dan na seminaru obrađivali gradivo iz hidrostatike. Seminar je držalo troje studenata, uključujući i mene. Studentima su bili podijeljeni radni listići koji su bili prilagođeni prematutorijalu razvijenom na UW (Prilog C). Materijali su se sastojali od sedam strana, od kojih su se na šest strana nalazili konceptualni primjeri i zadaci u kojima je trebalo dati svoje predviđanje te objasniti svoje odgovore i određene pojave, dok su se na sedmoj strani nalazili numerički zadaci. Studenti su tijekom sata bili podijeljeni u grupe od četiri do pet studenata, te je svatko od njih dobio svoj radni listić, no do rješenja su dolazili diskusijom u svojoj grupi.

Tutorijal je započeo tako da je pravokutni spremnik ispunjen vodom podijeljen pomoću dvije zamišljene horizontalne linije na tri dijela jednakih volumena. Studenti moraju nacrtati dijagram sila za svaki od slojeva te označiti svaku od sila. Nakon toga potrebno je rangirati iznose svih vertikalnih sila od najveće do najmanje. Zatim slijedi eksperiment u kojem pri dnu svakog sloja na spremniku izbušimo malu rupicu. Prije nego studenti koji vode ovaj sat izvrše pokus, traži se od studenata da zapišu svoje predviđanje, te svoje predviđanje provjeravaju tako da promotre eksperiment i zapišu i skiciraju svoja opažanja. Studenti su bili pitani o tome što im ovaj eksperiment govori o postojanju horizontalnih sila na svaki od slojeva vode, te da promotre svoje dijagrame sila i ukoliko je potrebno, dopune ih. Nakon svakog ovog pitanja studenti koji vode ovaj seminar obilaze grupe studenata, te pomoću potpitanja provjeravaju njihove odgovore. Nakon što su svi studenti nacrtali dijagrame sila, te ih studenti-asistenti obišli, studenti su pozorno promatrali izvođenje eksperimenta kako bi dalje mogli odgovarati na pitanja.

Tutorijal je dalje nastavljao sa silom i tlakom gdje su studenti imali interaktivni izvod i najprije su se prisjetili veze između sile i tlaka. Cilj cijelog interaktivnog izvoda bio je da se preko tlaka i sile, te izraza za masu i volumen dođe do konačnog izraza za ukupni tlak koji djeluje na dno prvog sloja. Nakon interaktivnog izvoda u tutorijalu slijedi primjena izraza za tlak, tako što studenti moraju na primjeru spremnika u obliku slova L, napunjenog vodom, odgovoriti na određena pitanja. Pitanja istražuju primjenu Newtonovih zakona na hidrostatiku tako što se od studenata traži skiciranje dijagrama sila, uspoređivanje iznosa sila, određivanje tlakova u zadanim točkama unutar spremnika te njihovo rangiraju po veličini. U tutorijalu je obrađen i tlak u U-cijevi. Primijećeno je da u ovom primjeru studenti imaju velikih poteškoća s određivanjem tlaka unutar U-cijevi. Tutorijal započinje najjednostavnijim primjerom, kada je U-cijev napunjena vodom i oba kraja cijevi su otvorena, a traži se od studenata da rangiraju tlakove od točaka A-F i objasne zašto su ih rangirali tako. Većina studenata nije imala problema prilikom rješavanja ovog primjera. Zatim slijedi dio tutorijala u kojem je jedan kraj U-cijevi zatvoren čepom te je od studenata traženo da odrede je li se tlak u dijelu cijevi koja je otvorena promijenio, zatim da odrede odnose između tlakova u različitim točkama. U ovom primjeru javile su se mnoge poteškoće pri dolasku do točnog odgovora. U posljednjem primjeru s U-cijevi, kojoj je jedan kraj zatvoren čepom, te se dio vode izvuče sisaljkom, prikazan je studentski razgovor. Tri studenta raspravljaju o tlakovima u točkama unutar cijevi, a zadatak ostalih studenata je da razaznaju točan odgovor i da odluče s kojim se studentom slažu.

Tutorijal dalje nastavlja s uzgonom i pred studentima se izvodi pokus, gdje kocku potopimo u sredinu spremnika s vodom te je pustimo. Od studenata se traži da opišu gibanje tijela i skiciraju dijagram sila na tijelo. Zatim moraju poredati iznose svih vertikalnih sila koje su nacrtali i odrediti zbroj svih sila kojima voda djeluje na tijelo te nacrtati rezultantnu silu. Donose zaključak kakav je zbroj svih sila kojima voda djeluje na tijelo u odnosu na silu kojom Zemlja djeluje na tijelo. U B dijelu zadatka ponovimo eksperiment, samo što se sada promatra kocka koja tone u vodi. Zadatak za studente je sličan, crtaju dijagram sila te ga uspoređuju sa dijagramom sila za kocku koja pluta. Traži se da usporede koje sile iz oba primjera imaju iste iznose, a koje različite, te postoje li sile koje se pojavljuju u jednom primjeru, a u drugom ne. Također moraju nacrtati vektorski zbroj svih sila kojima voda djeluje na tijelo. S obzirom da je vektorski zbroj svih sila koje djeluju na tijelo u oba primjera istog iznosa i smjera, došlo je do velike zbunjenosti kod

studenata, jer jedno tijelo pluta, a drugo tone. U nastavku se traži studente da zamisle da smo tijelo iz prethodnog primjera pustili da se giba s mnogo veće dubine. Navedene su sile koje djeluju na tijelo te je studentima bio zadatak da odrede jesu li te sile u ovom primjeru veće, manje ili jednake od sila u B zadatku. Kod uspoređivanja sila kojom voda djeluje na donju površinu i sila kojom voda djeluje na gornju površinu nije bilo problema. Studenti su se složili da se obje sile povećaju, jer smo na većoj dubini i tamo djeluje veći tlak, pa se i sile povećaju. Kod donošenja zaključka za zbroj svih sila kojima voda djeluje na tijelo, naišlo se na različite odgovore. Neki su studenti smatrali da će se, s obzirom da su se obje sile povećale, povećati i ukupni zbroj svih sila. Nisu u obzir uzeli to da je tijelo isto, te da je visinska razlika između gornje površine kocke i donje površine kocke uvijek ista. Studenti izvode formulu za uzgon gdje imaju kao pomoć navedeno da uzmu u obzir zbroj svih sila kojima voda djeluje na tijelo, te da razmisle kako je sila, kojom voda djeluje na tijelo, povezana s tlakom. Nakon izvođenja formule uzgona, studente se traži da odrede o čemu ovisi sila uzgona na tijelo koje je potpuno uronjeno u tekućinu. Pojmovi koji su navedeni su: masa tijela, dubina na kojoj se tijelo nalazi, volumen tijela, gustoća tekućine. Nakon toga studenti provjeravaju svoje odgovore s nastavnikom, odnosno studentom koji taj sat održava seminar, te raspravljaju kako pojedina veličina utječe na silu uzgona. E dio zadataka sadrži sliku na kojoj su prikazane tri posude s vodom. Jedno se tijelo nalazi na dnu prve posude potpuno uronjeno u vodi, u drugoj je posudi tijelo koje pluta tako da je i dalje potpuno u vodi i u trećoj se posudi nalazi tijelo koje pliva i koje se samo djelomično nalazi u vodi. Studentima je zadatak da nacrtaju dijagrame sila za svako tijelo te da usporede iznose sile uzgona i gravitacijske sile. Na temelju svojih odgovora moraju napisati uvjete kada tijelo pluta, kada lebdi, a kada tone. Sljedeći se primjer odnosi samo na tijelo koje je djelomično uronjeno u vodu, te je zadatak studentima nacrtati dijagram sila koje djeluju na tijelo i izračunati koliki je postotak tijela uronjen u vodu. Pomoć pri rješavanju zadatka dana je uputom da volumen cijele kocke označimo velikim slovom V, dok volumen uronjenog dijela kocke označimo s $V_x$. Također kao pomoć studenti su pitani koje sve sile djeluju na tijelo u vertikalnom smjeru te čemu je jednak njihov zbroj.

Tutorijal završava primjenom naučenih pojmova na zadatke.

### *3.6. SASTAVLJANJE PITANJA*

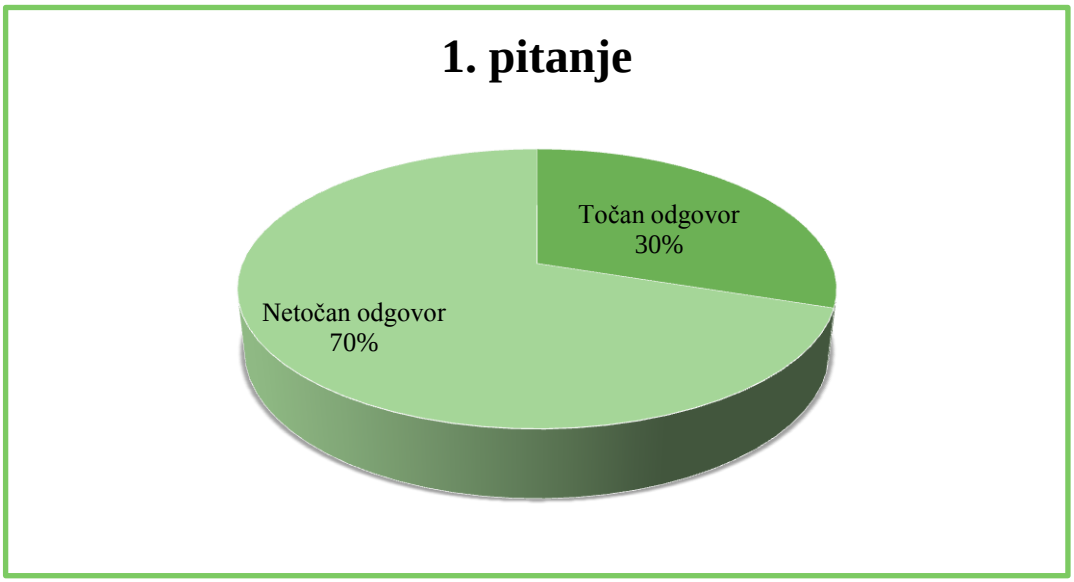
Pitanja koja su upotrijebljena za ispitivanje znanja u predtestu na studentima i posttestu na učenicima bila su ista. Postavljena su im pitanja koja su korištena za

istraživanje na Sveučilištu u Washingtonu koju je provodila Physics Education Group. Pitanja su prevedena s engleskog jezika na hrvatski jezik te je uz svako pitanje priložena popratna slika koja je ispitanicima pomogla predočiti određeni problem. Također u post-testu sa studentima, koji je izvršen na kolokviju iz kolegija Metodika nastave fizike 2, korišteno je pitanje iz prethodno navedenog pitanja. Uz pitanje se također nalazila i popratna slika.

# 4. REZULTATI I DISKUSIJA

## *4.1. REZULTATI PREDTESTA NA STUDENTIMA*

Na predtestu koji je održan prije održavanja seminara iz kolegija Metodika nastave fizike 2 sudjelovalo je 23 studenata. U prvom pitanju (Prilog A) gdje je trebalo predvidjeti ponašanje kocaka u vodi, odnosno hoće li tijela tonuti ili plutati samo 7 studenata (30 %) točno je odredilo konačan položaj kocaka u akvariju, a ostatak studenata (70%) odgovorio je netočno. Svi ispitanici koji su odgovorili netočno kocke su smjestili u padajuću liniju.




**Grafikon 1. Postotak točnih i netočnih odgovora na prvo pitanje na predtestu**

Primijećeno je da su svi ispitanici točno odredili položaj kocke 1, te su je smjestili tako da se nalazi malo više iznad kocke 2. Kod većine studenata nailazimo na objašnjenja za kocku 1 poput ovog:

> *„Na kocku 1 djeluje manja sila teža nego na kocku 2, a isti uzgon, tako da ona zbog manje sile teže više ispliva na površinu.“*

Kod studenata koji su nacrtali pogrešne konačne položaje kocaka u objašnjenjima nalazimo dobar tijek zaključivanja, te većina studenata zaključuje da je sila uzgona koja djeluje na sve kocke jednaka.

*„Na sve kocke djeluje jednaki uzgon, ali različita sila teže (zbog mase). U trenutku kada sve kocke stavimo u sredinu akvarija na kocke 1 i 2 djeluje veća sila uzgona od sile teže i one otplutaju na površinu, za kocku 5 je veća sila teža od sile uzgona pa ona potone…“*

No, nakon ovog dobrog pravca razmišljanja studenti donose pogrešne zaključke, te na slici crtaju padajuću liniju kocaka.

*„… a za kocke 3 i 4 ne znamo točno u kojim su omjerima bile sile uzgona i sila teže, ali znamo da se nalaze negdje između kocaka 2 i 5“*

Također studenti zaključuju da su kocke istog volumena, a s obzirom da su im mase različite, različita im je i gustoća, te preko nje zaključuju o konačnim položajima kocaka, no međutim i dalje crtaju kocke u padajućoj liniji.

*„Isti su nam volumeni kocaka, ali uvjet plivanja kocke je da je sila uzgona jednaka težini tijela, pa tijelo s manjom masom će više plutati (1), dok će tijelo s najvećom masom potonuti. Također ova tijela imaju različite gustoće pa ono tijelo koje ima veću gustoću od vode će potonuti, dok tijelo s manjom gustoćom od vode će plivati.“*

Kod točnih odgovora nailazimo na 4 rješenja u kojima kocka 3 i kocka 4 leže na dnu akvarija, te na 3 odgovora u kojima je kocka 4 na dnu akvarija, a kocka 3 se nalazi negdje na sredini akvarija, odnosno približno kod položaja s kojeg je puštena da se giba. Studenti pokušavaju preko izjednačavanja sile uzgona i sile teže riješiti ovaj problem.

*„S obzirom da tijelo $m_5$ ima najveću masu, znači da je težina $m_5$ veća od uzgona i tijelo pada na dno. Tijelo 1 ima manju težinu od sile uzgona te pluta na površini vode. Tijela 3 i 4 također imaju veću težinu od uzgona te padaju na dno.“*

Student koji je ponudio točan odgovor, zaključio je da je gustoća kocke 3 jednaka gustoći vode, te da ta kocka ostaje na sredini akvarija, a za kocku 4 je zaključio da je rezultanta svih sila koje djeluju na nju, a to su sila uzgona i sila teža, usmjerena prema

dolje te se zato nalaze na dnu akvarija. Za kocku 1 student je napisao da ona ima manju gustoću od kocke 2, te je potreban manji dio uronjenog volumena da bi se ona izjednačila s težinom. Kod tog studenta vidimo dobro razumijevanje koncepta sile uzgona, te on u ovom zadatku za dolazak do točnog rješenja primjenjuje pristup pomoću izjednačavanja sila i korištenja koncepta gustoće. Sličan način zaključivanja primijećen je i kod drugog studenta.

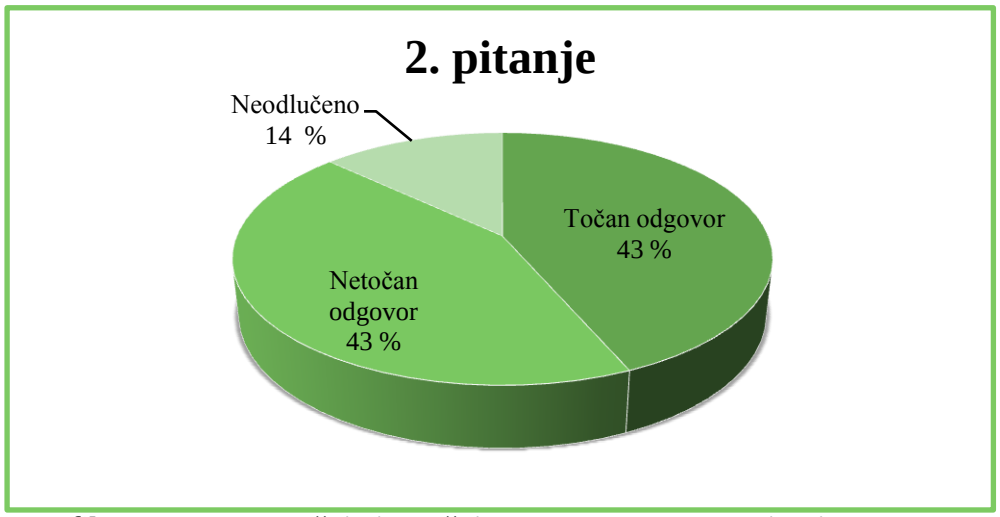
*„Kocka 1 ima najmanju gustoću i zato je većim dijelom vani.* $F_{uzgona} > F_{g1}$

*Kocka 3 ima srednju gustoću i zbog toga pliva u tekućini.* $F_{uzgona} = F_{g3}$

*Kocka 4 će potonuti jer je* $F_{uzgona} < F_{g4}$ *i ima veću gustoću od tijela 3.“*

Različito u tijeku zaključivanja je to što je student promatrao ponašanje tijela netom nakon puštanja, prije nego tijela dođu u svoj konačan položaj, te je pomoću omjera sila mogao zaključiti u kojem smjeru će se tijelo gibati. Zaključio je da u tom trenutku je sila uzgona veća od težine kocke 1 te da će se zbog toga ona početi kretati prema površini vode sve dok se te dvije sile na izjednače i kocka počne mirovati.

Drugo pitanje u predtestu ispitivalo je studentsko razumijevanje odnosa sile uzgona i težine kocaka. Od studenata se tražilo da odrede u kakvim su odnosima sile uzgona na kocku D i E, s obzirom da su kocke iste, ali se nalaze u različitim fluidima. Od 23 studenata koji su pristupili testu, 10 studenata (43 % ) odgovorilo je točno na ovo pitanje, 10 studenata (43 % ) je odgovorilo netočno, dok su 3 studenta (14 % ) zaključila da im u zadatku nije dano dovoljno informacija da bi mogli doći do točnog odgovora.




**Grafikon 2. Postotak točnih i netočnih odgovora na drugo pitanje na predtestu**

Kao netočan odgovor studenti su ponudili dva rješenja. Prvo rješenje bilo je da je sila uzgona veća u posudi u kojoj se nalazi kocka D. Nailazimo na dva tipa objašnjenja odgovora.

*„Sila uzgona na D je veća, jer sila uzgona ovisi o uronjenom dijelu tijela.“*

*„Na kocku D djeluje veći uzgon, jer je gustoća tekućine manja. Na kocku E je obrnuto.“*

U ovim je primjerima jasno vidljivo da studenti ne uzimaju u obzir sve varijable o kojima ovisi sila uzgona, te da promatraju utjecaj samo jedne varijable na promjenu sile uzgona. Iz studentskih rješenja možemo iščitati i nerazumijevanje koncepta sile uzgona, jer je jasno vidljivo da drugi student misli da što se gustoća fluida smanjuje, to sila uzgona raste. Zaključujemo da student silu uzgona i gustoću tekućine stavlja u obrnuto proporcionalan odnos. Drugo pogrešno rješenje koje su studenti ponudili bilo je to da je sila uzgona na kocku E veća od sile uzgona na kocku D. Studenti donose zaključke uzimajući u obzir samo jednu varijablu koja utječe na silu uzgona. 10 studenata odgovorilo je da sila uzgona ovisi o gustoći tekućine.

*„Sila uzgona na kocku D je manja, jer sila uzgona ovisi o gustoći tekućine na sljedeći način : $F_{uzgona} \sim \rho_{tek}$ . Stoga kada je manja gustoća tekućine onda će i sila uzgona na tijelo biti manja.“*

Također se javljaju i odgovori u kojima se spominje uronjeni dio volumena.

*„Sila uzgona na tijelo E je veća, jer je tijelo E manje uronjeno nego tijelo D.“*

Možemo primijetiti da studenti uzimaju u obzir samo jednu varijablu, te za silu uzgona smatraju da je to veća što je manji dio volumena uronjen. .

Određeni dio studenata, njih 14 % u ovom je zadatku napisalo da ne mogu odrediti odnose sila uzgona, jer ne znaju kolika je razlika u gustoći tih tekućina.

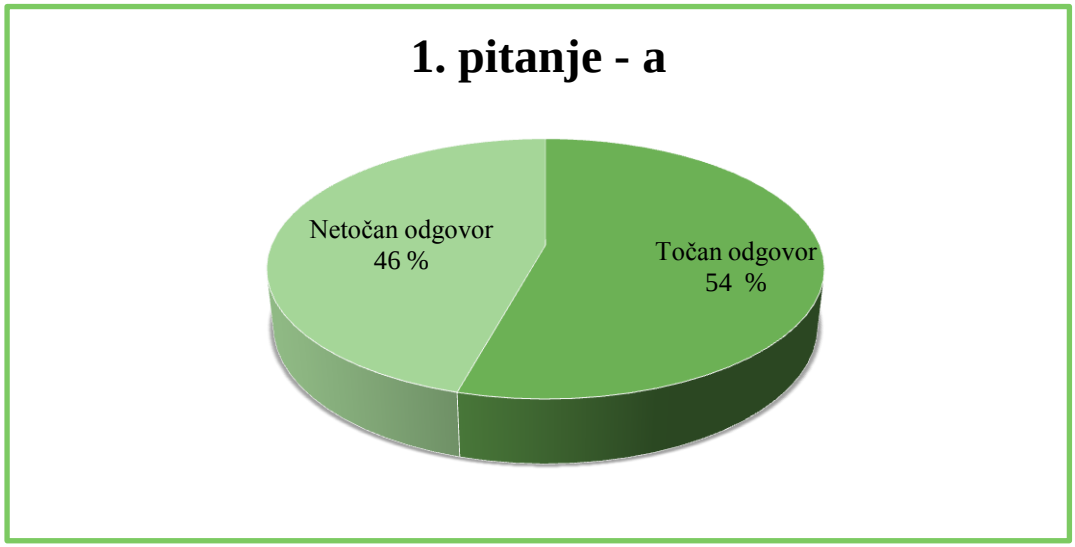
Studenti koji su točno odgovorili na ovo pitanje većinom su imali slične odgovore. Većina studenata primijetila je da kocke miruju, što znači da je ukupan zbroj sila koje djeluju na tijelo jednak nuli, te pomoću toga dolaze do točnog rješenja.

*„Da su oba tijela uronjena u potpunosti, sila uzgona bila bi veća na tijelo E jer je tekućina u kojoj se nalazi gušća. Ovdje oba tijela plutaju i miruju, dakle težina i sile uzgona su jednake, jer je tijelo E manje uronjeno. Budući imaju jednake težine, analogno zaključujem da su sile uzgona jednake.“*

### *4.2. REZULTATI POSTTESTA NA STUDENTIMA*

Posttest je riješilo ukupno 35 studenata. Posttest se sastojao od jednog pitanja koje je bilo podijeljeno na dva dijela (Prilog B). Na slici su bila prikazana tri tijela jednakih oblika i jednakih volumena uronjena u vodu. Tijela A i B su jednakih masa, a masa tijela C je veća od mase tijela A i B. Tijelo A pluta na površini vode, a tijela B i C su nitima privezana za dno posude. U pitanju je dan podatak da sva tri tijela, kada su slobodna, plutaju na površini vode. U prvom dijelu zadatka traži se od studenata da poredaju sile uzgona od najveće do najmanje. U drugom se dijelu zadatka sva tri tijela nalaze u nekoj drugoj tekućini manje gustoće, te je opaženo, i slikom prikazano, da je tijelo A sada više uronjeno u tekućinu nego prije. Tijela B i C su i dalje nitima pričvršćena za dno posude. Studenti moraju za svako tijelo navesti kako se promijenila sila uzgona na njega u odnosu na prethodnu situaciju, te obrazložiti svoj odgovor.

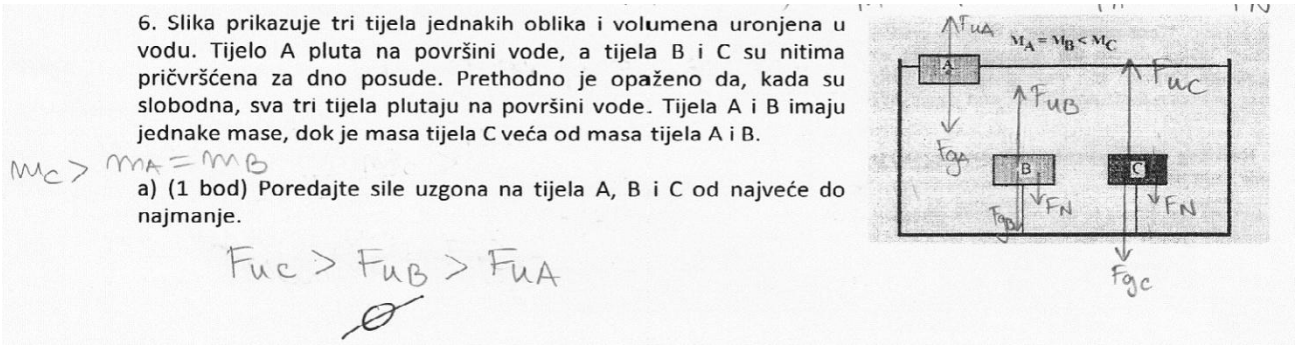
Na prvi je dio zadatka 19 (54 %) studenata odgovorilo točno, dok je 16 (46 %) studenata odgovorilo netočno.




**Grafikon 3. Postotak točnih i netočnih odgovora na prvi dio pitanja na posttestu**

Svi studenti koji su odgovorili točno napisali su da je sila uzgona na tijelo A najmanja te da su sile uzgona na tijelo B i tijelo C međusobno jednake, ali veće od sile uzgona na tijelo A. Studenti su to bilježili pomoću znakova jednakosti i nejednakosti odnosno kao $F_{uA} < F_{uB} = F_{uC}$ .

Većina netočnih odgovora sadržavala je rješenje u kojem studenti tvrde da je sila uzgona na tijelo C najveća, zatim po veličini slijedi sila uzgona na tijelo B, te je najmanja sila uzgona na tijelo A.




**Slika 11. Najčešći netočan odgovor na prvi dio pitanja u posttestu**

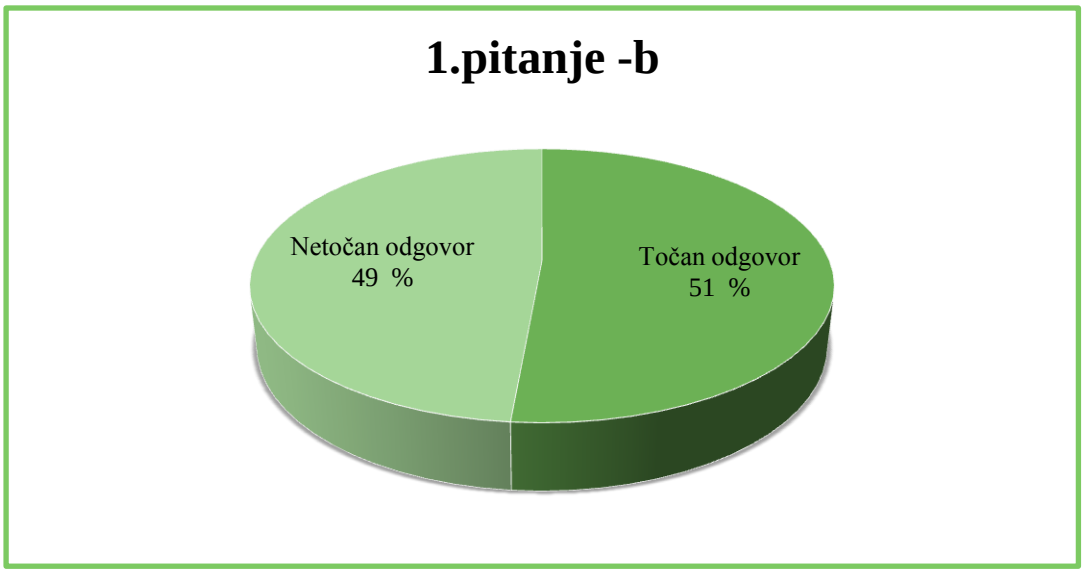
Također pojavljuju se i odgovori u kojima studenti tvrde da je sila uzgona na tijelo B i C jednaka, dok je sila uzgona na tijelo A manja.

„$F_{uB} = F_{uC} > F_{uA}$

*Da su tijela na istim dubinama, uzgon bi bio jednak. “*

Pomoću ovog primjera možemo zaključiti da ovaj student još uvijek nije savladao koncept sile uzgona i da ga vjerojatno miješa s konceptom hidrostatskog tlaka koji ovisi o dubini. Nailazimo i na rješenja u kojima studenti navode da su sile uzgona na sva tri tijela jednake.

U drugom dijelu pitanja (b-dio) 18 studenata odgovorilo je točno (51 % ) dok je ostatak studenata (49 %) odgovorilo netočno ili samo djelomično točno.

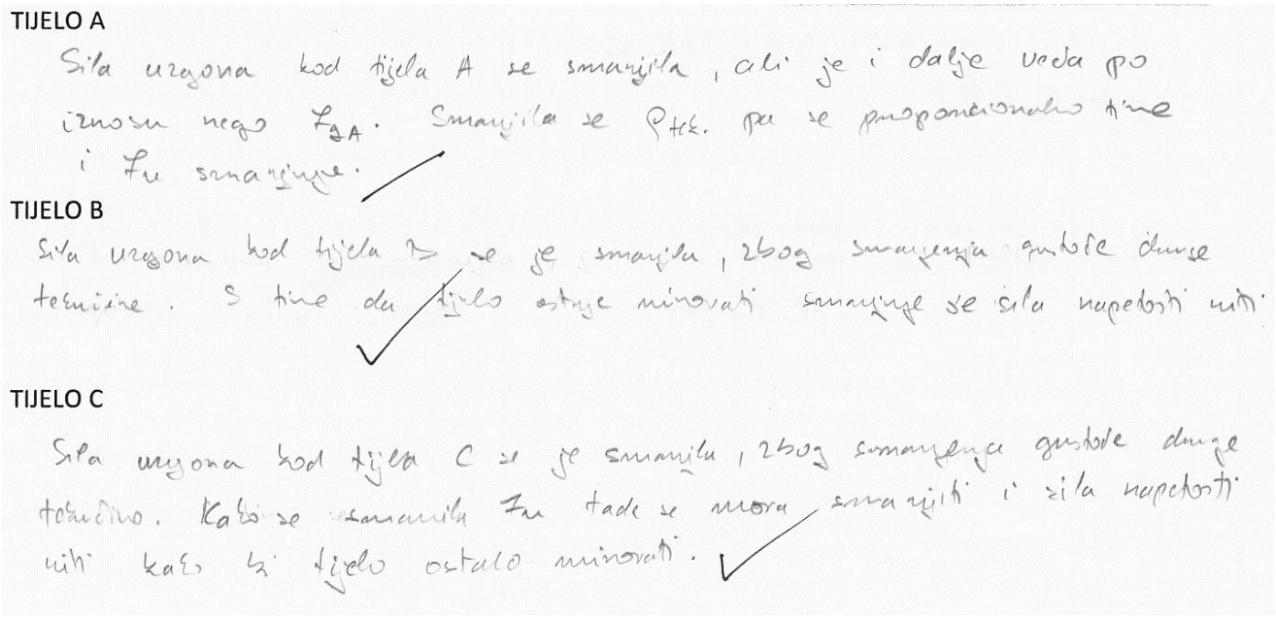



**Grafikon 4. Postotak točnih i netočnih odgovora na drugi dio pitanja na posttestu**

Odgovor da sila uzgona na tijelo A ostaje ista, dok se sile uzgona na tijelo B i tijelo C smanje u odnosu na svoju vrijednost iz prethodnog primjera, smatra se točnim. Studenti su na različite načine dolazili do tih zaključaka. Zaključci za tijelo B i C bili su u većini slučajeva isti. Studenti su u svojim objašnjenjima navodili kako su oba tijela u potpunosti uronjena u tekućinu, ali je to sada tekućina manje gustoće pa se sila uzgona na ta tijela smanjila. Za tijelo A postoji više načina objašnjenja, no najčešći je primjer kada su studenti, njih 13, zaključivali na temelju sila.

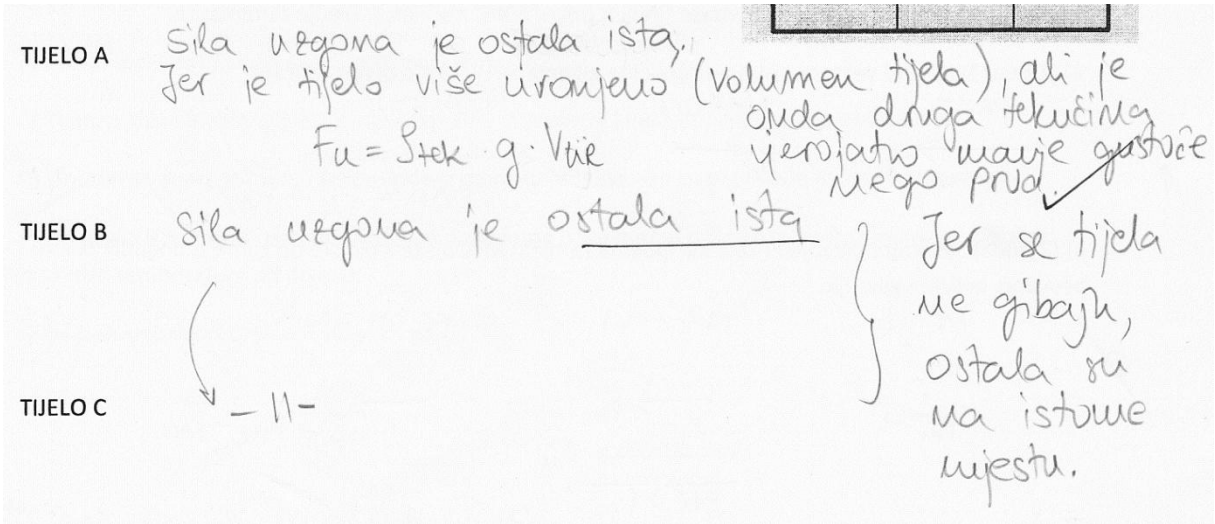
„*Tijelo i dalje pluta što znači da je* $F_u = m \cdot g$. *Masa tijela A se nije promijenila što znači da je* $F_u$ *ostala ista. Veći uronjeni dio je kompenziran promjenom (smanjenjem)* $\rho_{tekućine}$“

Najčešći netočni odgovori bili su da se sila uzgona na tijelo A smanjila, a da je sila uzgona na tijela B i C ostala ista. Javlja se 10 studentskih odgovora, koji su točno odgovorili za tijela B i C, a nisu točno odgovorili za tijelo A.




**Slika 12. Primjer rješenja u kojem student točno daje objašnjenja za tijelo b i tijelo C, ali ne i za tijelo A**

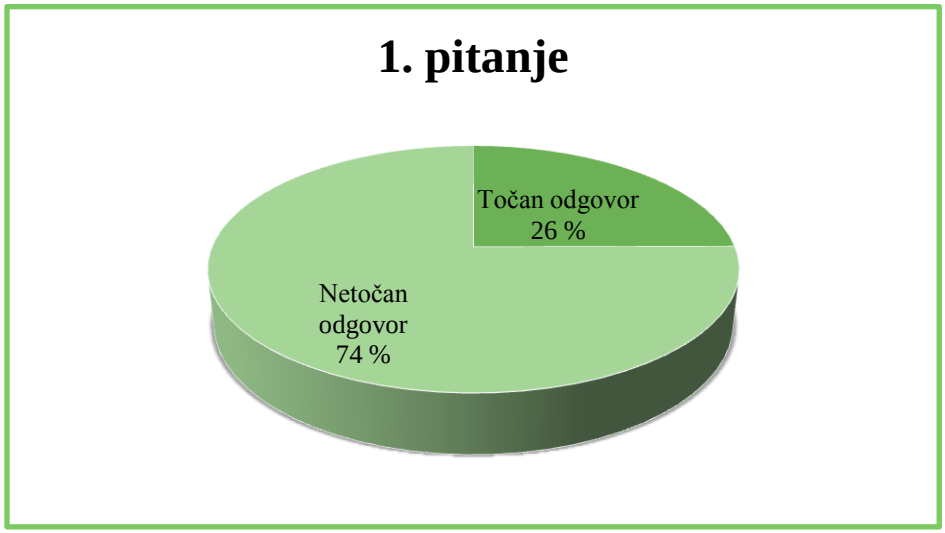
Javlja se i obrnuta situacija u kojoj studenti daju točan odgovor za tijelo A ali zato za tijelo B i tijelo C daju pogrešan.




**Slika 13. Primjer rješenja u kojem student točno daje objašnjenja za tijelo A, ali ne i za tijela B i C**

### *4.3. REZULTATI POSTTESTA NA UČENICIMA*

U istraživanju su sudjelovala 53 učenika. U prvom pitanju, gdje je trebalo predvidjeti ponašanje tijela u vodi, odnosno hoće li tijela tonuti ili plutati, od 53 učenika, njih 14 (26 %) je odgovorilo točno na prvo pitanje, dok je ostatak učenika ponudio netočna rješenja.




**Grafikon 5. Postotak rješenja prvog pitanja na posttestu**

Svi ispitanici zaključili su da se kocka 1 nalazi na malo višoj razini nego kocka 2, odnosno da je veći dio volumena kocke 1 izvan vode nego kod kocke 2. Netočan odgovor ponudilo je 74 % učenika. Većina učenika koji su odgovorili netočno, kocke su postavili u padajuću liniju. Učenici zaključuju da što je veća masa kocaka, to one više tonu. S obzirom da kocka 5 ima najveću masu i nalazi se na dnu akvarija, učenici zaključuju da kocka 4 pluta u akvariju kao i kocka 3, ali niže, no između kocaka 3 i 5. Primjer objašnjenja ovakvog načina razmišljanja javlja se kod većine učenika:

*„Što je veća masa kocaka, to će kocke biti dublje uronjene. “*

Također u objašnjenjima se moglo naći i pokušaj povezivanja položaja kocaka s uzgonom, no većinom to nije dobro završilo. Pojavili su se odgovori u kojima učenici navode da uzgon ovisi o gustoći tvari i masi. Primjer takvog objašnjenja:

„ $U = \rho g V$

*Volumen je jednak kod svih kocaka, a mase su različite, ako uvrštavamo u formulu za uzgon možemo zaključiti da kocka s najvećom masom ima i najveću gustoću te su kocke poredane po iznosu mase, tj. gustoće. „*

Postoje i odgovori gdje su učenici formulu za uzgon zamijenili s formulom za hidrostatski tlak : $p = \rho\, g\, h$ pa su samo umjesto oznake za tlak stavili oznaku za uzgon. Mislim da ih je na to navelo pitanje koje traži da nacrtaju položaje kocaka, jer su razmišljali o tome gdje, odnosno na koju dubinu, da smjeste kocke 1, 3, i 4 te tako povezali dosad naučeno gradivo iz hidrostatike u jednu formulu. Kod jednog učenika nailazimo na rješenje koje počinje dobrom pretpostavkom, odnosno zaključivanjem da su kocke istih volumena i da su uronjene u tekućinu iste gustoće, te da je jedini faktor koji odlučuje o njihovom položaju masa. Nakon toga, ne uzimajući u obzir sve sile koje djeluju na tijelo, zaključuju da tijelo manje mase tone manje od tijela veće mase.

*„Ako su ima volumeni / oplošje isti te su uronjeni u istu tekućinu, zaključujem da je jedini promjenjivi faktor masa. Tijela s većom masom tonu dublje, dok su ona lakša smještena više ili čak i plutaju“*

Kod jednog netočnog odgovora uočeno je na skici i u objašnjenju da na kocke s većom masom djeluje veća gravitacijska sila koja je u istom smjeru kao i uzgon. S obzirom da je kod svih učenika koncept gravitacijske sile na neko tijelo poprilično dobro usvojen, tu silu crta prema dolje, no problem nastaje kada učenik i silu uzgona nacrta prema dolje. Ovdje se jasno očituje poimanje uzgona kao sile, samo što je taj učenik uzgon shvatio kao silu koja djeluje u istom smjeru kao i sila gravitacije.

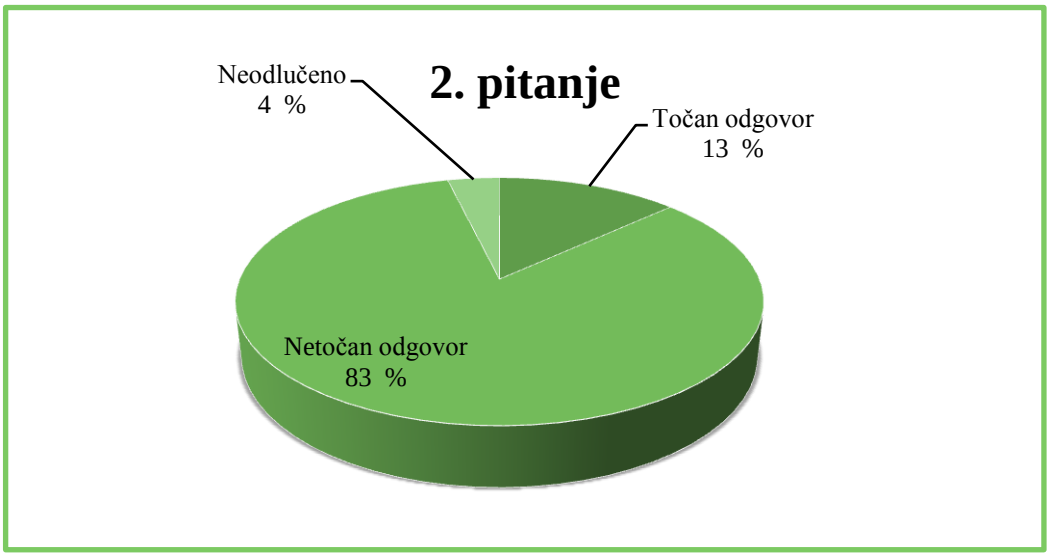
*„Kocka 5 je na najvećoj dubini zbog toga što ima veću masu, tj. veću mg silu koja ide u istom smjeru kao i uzgon, dok kocka mase 1 pluta.“*

Kao točan odgovor pojavljivala su se dva odgovora. Jedan u kojem su kocka 3 i kocka 4 bile nacrtane na skici kao da se obje nalaze na dnu, te odgovor u kojem se kocka 3 nalazi negdje na sredini akvarija. Kod učenika koji je odgovorio točno te je na skici nacrtao kocku 3 i kocku 4 na dnu akvarija, u svojem objašnjenju razmišljao je i o drugom točnom rješenju.

*„Kocka 1 ostat će plutati zbog manje mase i toga što je veći uzgon od gravitacijske sile. Kocke 3, 4, i 5 će potonuti jer je manji uzgon od gravitacijske sile. Jedino ako su uzgon i gravitacijska sila za kocku 3 isti, u tom slučaju crtamo kocku 3 kako pluta na nekom položaju u akvariju.“*

Ovaj odgovor sam obradila kao točan odgovor s razlogom što je učenik imao pravilno nacrtanu skicu. U objašnjenju učenik spominje da će kocka 1 plutati jer je uzgon koji djeluje na tu kocku veći od gravitacijske sile. Ako promatramo konačan položaj kocaka, ta tvrdnja nije točna. No ako promatram trenutak netom nakon puštanja kocaka, tvrdnja je ispravna. Jer u tom trenutku sila uzgona koja djeluje na kocku 1 veća je od njene težine te se kocka iz tog razloga počinje gibaati prema površini vode sve dok se sile ne izjednače i kocka počne mirovati. Isti tijek razmišljanja učenik ima za ostale kocke.

U drugom pitanju od učenika se traži da odrede u kakvim su odnosima sile uzgona na kocke D i E, s obzirom da su kocke iste, ali se nalaze u različitim fluidima. Od 53 učenika koji su riješili test, samo 7 učenika (13 %) je odgovorilo točno, dvoje učenika (4 %) bili su neodlučni i iz njihovih se objašnjenja nije moglo iščitati za koji su se odgovor opredijelili, dok je ostatak studenata (83 %) odgovorio pogrešno.




**Grafikon 6. Postotak točnih i netočnih odgovora na drugo pitanje na posttestu**

U većini netočnih odgovora tvrdilo se da je sila uzgona veća na kocku E. Objašnjenja koja su se pojavila većinom su bila bazirana na gustoći tekućina, odnosno na

to da je veća gustoća u posudi gdje se nalazi kocka E, pa je i zbog toga sila uzgona veća. Ponegdje se pojavilo objašnjenje u kojem spominju volumen uronjenog tijela.

*„Sila uzgona na kocku D je manja od sile uzgona na kocku E zato što je gustoća druge tekućine veća.“*

*„Sila uzgona na kocku D je manja od sile uzgona na kocku E jer je kocka D dublje uronjena u tekućinu. “*

U jednom obrazloženju učenik je napisao da uzgon ovisi o gustoći fluida i volumenu tijela te nakon toga navodi rečenicu u kojoj spominje da ako je gustoća fluida veća, to je uzgon veći te na temelju toga donosi zaključak da je sila uzgona na kocku E veća, ne obazirući se na prvu rečenicu svog zaključivanja gdje je naveo sve varijable koje utječu na silu uzgona. Pojavili su se i odgovori u kojima se je tvrdilo da je sila uzgona veća na kocku D. U većini tih objašnjenja jasno je uočeno da učenici nisu svladali koncept sile uzgona, ni o čemu sila uzgona ovisi, niti kako promjena tih varijabli utječe na konačan iznos sile uzgona. Učenicima je predstavljalo problem to što se kocke ne nalaze na istoj razini, odnosno što je kocka E više izronila iz tekućine nego kocka D, pa se to očituje i u njihovim objašnjenjima.

*„Sila uzgona na kocku D je veća od sile uzgona na kocku E, jer je kocka E isplivala više nego kocka D. “*

Kod učenika iz čijih se objašnjenja nije dalo zaključiti za koji su se odgovor točno opredijelili, dalo se naslutiti dobar tijek zaključivanja.

„ $V_E < V_D$

$m_E = m_D$

$\rho_E > \rho_D$

*Ovisi o točnim gustoćama i uronjenom volumenu“*

Kod ovog učenika vidimo da je zaključio da je masa kocaka ista, gustoća tekućina veća u posudi gdje se nalazi kocka E, te da je dio volumena koji je uronjen u tekućinu veći kod kocke D. No na kraju, kada je učenik sve ovo dobro zaključio, izostalo je opredjeljenje za jedan od odgovora.

Učenici koji su zaključili da su sile uzgona iste zaključak su opravdali pomoću različitih objašnjenja.

*„Sila uzgona će biti ista zato jer su oba tijela iste mase i istog oblika. Zbog različite gustoće nalazit će se na različitim visinama. “*

Drugi je učenik naveo to da je uzgon jednak umnošku gustoće fluida (za koji je zaključio da je veći u posudi gdje se nalazi kocka E) i uronjenog dijela volumena tijela, te je u konačnici pomoću opažanja da oba tijela miruju, došao do rješenja da su iznosi sila uzgona jednaki na obje kocke.

### *4.4. ZAKLJUČAK ISTRAŽIVANJA*

Nakon obrade rezultata predtestova sa studentima te posttestovima s učenicima i studentima, otkrivene su značajne poteškoće. U prvom pitanju preddtesta sa studentima i posttesta s učenicima, u pitanju koje opisuje problem s 5 kocaka, kao netočan odgovor prevladalo je stavljanje kocaka u padajuću liniju. Takav način zaključivanja pojavljivao se i u istraživanju koje je provela Physics Education Group s University of Washington u SAD-u [1), 2)] , kao najčešći netočan odgovor. Postotci riješenosti prvog pitanja na predtestu sa studentima i posttestu s učenicima podudaraju se, iako su se studenti na kojima je vršeno istraživanje susreli nakon srednjoškolskog obrazovanja s temom hidrostatike na uvodima u fiziku na prvoj godini. Poteškoće koje pokazuju hrvatski studenti i učenici podudaraju se s poteškoćama američkih studenata, a kao jedna od većih poteškoća pokazala se pretpostavka da sila uzgona raste s masom tijela.

Postotci riješenosti drugog pitanja uvelike se razlikuju kod učenika i studenata. Studenti su na to pitanje ponudili podjednako točnih i netočnih odgovora, dok je kod učenika samo mali dio njih točno odgovorio na pitanje. I studenti i učenici kao najčešći netočan odgovor spominjali su da je uzgon na kocku E veći zato jer se u toj posudi nalazi tekućina veće gustoće. Postoje i odgovori gdje obje skupine ispitanika tvrde da je uzgon na kocku D veči jer je veći dio volumena kocke D uronjen u tekućinu. Iz ovog jasno možemo očitati da, čak i studenti, a posebno učenici, imaju problema s uzimanjem u obzir više varijabli čija promjena utječe na konačnu pojavu. Uglavnom su pogrešne zaključke

donosili na temelju promatranja samo različitih gustoća tekućina ili samo različitih uronjenih volumena kocaka.

Kada usporedimo predttest i posttest sa studentima možemo vidjeti napredak. Na posttestu postotci točnih odgovora na prvi i drugi dio pitanja prelazili su 50 %. No u netočnim odgovorima u prvom dijelu možemo očitati poteškoće gdje studenti povezuju silu uzgona s masom i dubinom, pa daju odgovore u kojima tvrde da je sila uzgona na tijelo C najveća, zatim sila uzgona na tijelo B i najmanja sila je sila na tijelo A. U drugom dijelu pitanja, većina netočnih odgovora bila je da se sila uzgona na tijelo A smanjila. Da je gustoća tekućine manja, studenti to zaključuju prema tome što je sada veći volumen tijela A uronjen u tekućinu. Iako imaju dobar tijek zaključivanja studenti kada dođu do zaključka kakva je gustoća fluida u ovom slučaju s obzirom na prethodni, odmah zaključuju da je zbog manje gustoće fluida i sila uzgona manja, bez obzira što su zaključili da je sada veći dio volumena kocke A uronjenjen u fluid. Studenti koji su dobro odgovorili za tijela B i C i zaključili da im se sila uzgona smanjila, većinom nisu dobro odgovorili za tijelo A, jer su se prilikom zaključivanja za tijela B i C usredotočili samo na smanjenje gustoće koje u tom slučaju uzrokuje i smanjenje sile uzgona te kod tijela A nisu uzeli u obzir veći dio volumena uronjenog u fluid, odnosno nisu zaključivali na temelju ravnoteže sila, nego samo na temelju formule za uzgon.

# 5. IMPLIKACIJE ZA NASTAVU

## 5.1. HIDROSTATIKA U OSNOVNOJ I SREDNJOJ ŠKOLI

Osnovna škola u Republici Hrvatskoj predstavlja obveznu razinu obrazovanja i s općim obrazovanjem, koje se stječe u osnovnoj školi, učenici dobivaju temeljna znanja te im se otvara mogućnost za daljnje školovanje. Cilj je osnovnoškolskog obrazovanja pripremiti učenika za razumijevanje i otkrivanje svijeta u kojem živi, razumijevanje čovjekova odnosa prema prirodi i društvu te razumijevanje međuljudskih odnosa. Nastavna cjelina koja uključuje teme vezane za hidrostatiku obično se naziva „Međudjelovanje tijela“ gdje učenici obrađuju teme poput elastične sile, sile trenja, sile teže, ravnoteže tijela, poluge i njenu primjenu te tlaka. Zatim se unutar te nastavne cjeline nalaze izborne teme među kojima se osim tema iz hidrostatike nalazi i kolutur. Izborna tema iz hidrostatike povezana je s nastavnom temom tlaka. Ključni pojmovi koje učenici svladavaju su hidrostatski i hidraulički tlak. Novo stručno nazivlje koje učenici moraju savladati su hidrostatski tlak, hidraulički tlak, hidraulički tijesak i uzgon. Također prema HNOS-u postoje navedene i moguće daljnje teme i sadržaji prikladni za daljnji samostalni rad učenika, a to su u ovom slučaju atmosferski tlak i Arhimedov zakon.

Srednjoškolskim se obrazovanjem svakome pod jednakim uvjetima i prema njegovim sposobnostima nakon završetka osnovnog školovanja, omogućava stjecanje znanja i sposobnosti za rad i nastavak školovanja. Srednjoškolsko obrazovanje obavljaju srednjoškolske ustanove i druge pravne osobe te obuhvaća različite vrste i oblike odgoja i obrazovanja, osposobljavanja i usavršavanja.[8])

Gradivo hidrostatike učenici uče u prvom polugodištu drugog razreda srednje škole. Cjelina koja obuhvaća hidrostatiku većinom se naziva „Mehanika fluida“. Cjelina započinje temom tlaka. Nakon svladavanja općeg pojma tlaka učenici uče pojam tlaka u fluidima odnosno hidraulički tlak na fluid, hidrostatski tlak te ukupni tlak u fluidu. U tom trenutku učenicima se spominje i pojam atmosferskog tlaka. S temom tlaka u fluidima veže se i tema o Arhimedovom zakonu, te pojmu sile uzgona i uvjetima plivanja. Nakon

hidrostatike slijedi hidrodinamika u kojoj se učenici bave proučavanjem tlakova u fluidima koji se gibaju te primjenom jednadžbe kontinuiteta i Bernoullijeve jednadžbe.

### *5.2. POBOLJŠANJE NASTAVE*

Učenicima koji su sudjelovali u istraživanju, nastavnu jedinicu uzgona sam predavala u studenom. Nastavu sam održavala u dva razredna odjela. Razredi su se vrlo razlikovali te sam s jednim razrednim odjelom uspjela doći do kraja pripreme i pomoću projektora pokazati im i snimljeni pokus, dok s drugim razredom nisam uspjela doći do konceptualnih pitanja. Iako su oba razreda polaznici I. gimnazije, postojala je velika razlika umeđu njima. S prvim razredom sam išla ubrzanije kroz gradivo jer je postojala određena aktivnost u razredu i zainteresiranost za izvođenje pokusa i davanje pretpostavki. Rješavanje problema s crtanjem dijagrama sila kojima voda djeluje na tijelo prošli smo dosta brzo. U razredu je postojalo par pojedinaca koji su bili najaktivniji, zainteresirani za nastavni sat i fiziku općenito, te su se dobrovoljno javili da to riješe. Kada sam upitala postoje li u razredu još neka različita rješenja od onih zabilježenih na ploči, nitko se nije javljao, te sam krenula objašnjavati dana rješenja, te uz učeničku pomoć došli smo do točnog rješenja i djela sata kada smo definirali uzgon. Kod drugog razreda tu smo pomalo zapeli. Učenicima sam zadala da u svoje bilješke nacrtaju sile kojima voda djeluje na tijelo, te nakon nekog vremena prozvala učenike koji su se dobrovoljno javili da iziđu na ploču nacrtati svoja rješenja. Riješenja koji su učenici bilježili na ploču bila su pogrešna. Da bismo došli do točnog riješenja obrazložili smo svaku silu koju su učenici nacrtali da dijeluje na tijelo zasebno te objasnili na koga ona djeluje. Pažnju smo davali samo silama kojima je voda djelovala na tijelo, dok smo druge sile brisali s našeg crteža, objasnivši zašto im na ovome dijagramu trenutno nije mjesto. Učenici koji su na ovome satu bili aktivni više su postavljali pitanja zašto je nešto tako i kako koja sila djeluje na tijelo u vodi i bili su više spremni za interakciju nego prethodni razred te je to potrajalo i oduzelo dosta vremena. Kada usporedim rezultate koje su ti učenici ostvarili na posttestu, također postoji razlika. Razred kod kojeg je brže teko nastavni sat lošije je riješio posttest. U prvom pitanju u tom razredu 92 % učenika (N = 24) odgovorilo je netočno a na drugo pitanje njih 88 % (N = 23) odgovorilo je netočno. Kod drugog razrednog odjela je 55 % (N = 15 ) odgovorilo netočno na prvo pitanje, a na drugo pitanje bilo je 78 % (N = 21) netočnih odgovora. Nakon obrade rezultata i spoznaje da postoji razlika u postotcima između dva razredna

odjela kojima je ista osoba držala istu nastavnu jedinicu, zamislila sam na što je sve potrebno pripaziti tijekom nastavnog sata.

Danas se u školama sve više pokušava uvesti interaktivan oblik nastave, posebno u nastavu fizike. Interaktivna nastava promiče aktivno učenje i uključuje interakciju nastavnika i učenika te učenika međusobno. No ona je i skup različitih metoda. Kako bi nastavnik postavio komunikaciju s učenicima važno je da im postavlja niz pitanja i problema, odnosno vodi ih u istraživanju novih pojmova i pojava. Bitno je da nastavnik daje pitanja koja potiču učenika na razmišljanje, a ne da pritom koristi pitanja koja traže samo neke činjenice, ili da postavlja retorička pitanja i traži da učenici nadopunjuju njegove rečenice. Iako se može u školama susresti i takav simulirani oblik interakcije. U interaktivnoj nastavi pitanja imaju veliku ulogu, jer nam ona vode tijek sata, odnosno usmjeravaju nastavni sat njegovom cilju. Postoje važni preduvjeti za postizanje intelektualne aktivnosti učenika. Važan je nastavnikov odnos prema učenicima, odnosno da on bude pozitivan, te se tako lakše uspostavi međusobna komunikacija. Kod komunikacije bitno je da se jasno i razgovjetno govori. A najvažniji preduvjet je da se nastavnik dobro pripremi za nastavni sat.

Metode koje bi poboljšale nastavu fizike u razredu:

- otvaranje problema zanimljivim pitanjem ili pričom koja privlači pažnju učenika
- kada se postavi pitanje treba pričekati određeno vrijeme da učenici odgovore, a ne ih ubrzavati ili odgovarati umjesto njih
- prilikom izvođenja pokusa tražiti njihova predviđanja i opažanja
- paziti da pitanja ne bi bila sugestivna
- ponoviti učeničke odgovore i međusobno ih povezivati
- pohvaliti promišljene odgovore, čak i ako nisu točni
- potaknuti potpitanjima učenike da dođu do zaključka
- pokušati angažirati sve učenike
- i važna stvar, u koju sam se uvjerila iz vlastitog iskustva, da je bolje ići polako kroz nastavnu jedinicu

Poboljšanju nastave mislim da bi uvelike pridonijelo korištenje konceptualnih pitanja. Ne samo da odgovori na ta pitanja pomoću kartica daju uvid koliko su učenici gradiva savadali i razmijeli, nego kartice onogućuju aktivno sudjelovanje svih učenika u

razredu. Ova metoda ne mora nužno povlačiti upotrebu računala u nastavi, no svakako lakše je nastavniku pripremiti sat gdje pitanja samo projicira pomoću projektora, nego da ih zapisuje na ploču. Računala su u nastavi sve popularnija, no korištenje samo računala nije posebno učinkovita metoda, i bitno je da se kombinira s drugim metodama. U nastavi fizike bitno je izvoditi pokuse i pri njihovom izvođenju tražiti učenička predviđanja i opažanja.

### *5.3. NASTAVA FIZIKE*

Način predavanja fizike razlikuje se između osnovne i srednje škole. U osnovnoj školi fizika više je bazirana na konceptima i pokusima dok se srednjoškolska nastava fizike najčešće fokusira na numeričke zadatke, uz pretpostavku da su osnovni koncepti savladani. Također, srednju školu polaze dvije potpuno različite populacije učenika, oni koji polaze gimnazije i oni koji polaze strukovne škole. Većina nastave u školama ima svoj tradicionalni oblik, odnosno predavačkog je karaktera. Glavno je obilježje takve nastave to da je nastavnik u središtu pozornosti dok su učenici većinom pasivni. Učinkovitost takve nastave je ograničena. Predavačka nastava je prilično neučinkovita u razvijanju sposobnosti razmišljanja i razumijevanja. Da bismo postigli kod učenika aktivno razmišljanje i razumijevanje, potrebno je primjenjivati interaktivan oblik nastave. Većina učenika i studenata nisu sposobni sami sebi postavljati pitanja i testirati svoje znanje te uočiti probleme u svome razumijevanju, stoga im je potrebno vođenje od strane nastavnika. Da bi nastavnik postigao intelektualnu aktivnost kod učenika i aktivno učenje na satu, važno je da je nastavnik dobro pripremljen za sat i da uspostavi kontakt s učenicima. Važno je da nastavnik nakon što otvori problem pokuša angažirati sve učenike i pomaže učenicima da dođu do zaključka tako da im ne daje točne odgovore nego im odgovara pitanjima koja vode dalje. Također je bitno da nastavnik pohvaljuje odgovore i to ne samo točne, nego da diskutira odgovore koji nisu u potpunosti točni ili koji su netočni. Važno je kakav se tip pitanja postavlja učenicima, bitno je da pitanja kod učenika potiču razvoj razumijevanja, te da nisu prejednostavna niti preteška. Ukoliko na pitanja imamo ponuđene odgovore, bitno je da ti odgovori sadrže neke tipične pogreške u razmišljanju.

## *5.4. METODIČKA PRIPREMA ZA IZVOĐENJE NASTAVNE JEDINICE UZGON U SREDNJOJ ŠKOLI*

*NASTAVNI PREDMET* – Fizika

*NASTAVNA JEDINICA* - Uzgon

*OČEKIVANI ISHODI(UČENIČKA POSTIGNUĆA):*

*1. OBRAZOVNI* (kognitivni, spoznajni - što će učenici znati/moći napraviti nakon sata)

- objasniti što je uzgon, zašto se javlja u fluidima te kako i o čemu ovisi
- matematički opisati uzgon
- donositi zaključke o uzgonu na primjerima
- predvidjeti rezultate eksperimenata vezenih za uzgon

*2. FUNKCIONALNI* (psihomotorni, djelatni – koje će sposobnosti učenici razvijati na satu)

- razvijati sposobnost uočavanja određenih pojava te logičkog mišljenja i zaključivanja
- razvijati sposobnost promatranja i kontrole varijabli

*3. ODGOJNI* (afektivni, doživljajni - koje će odgojne vrijednosti učenici usvajati tijekom sata)

- razvijanje samopouzdanja
- uvažavanje tuđih mišljenja i odgovora – razvoj kolegijalnosti
- stvaranje radnih navika
- urednost u vođenju bilješki

- sistematičnost u radu i razmišljanju

## ARTIKULACIJA SATA

### UVODNI DIO (UPOZNAVANJE POJAVE, OTVARANJE PROBLEMA)

Zašto nam je lakše podignuti osobu ili predmet u vodi nego u zraku?

→ Prikupljanje ideja .

Pokus: Uteg ovješen na dinamometar uronimo u vodu

Učenici iznose svoja zapažanja i skiciraju u bilježnice

Uvodi se naziv uzgon za silu kojom fluid djeluje na uronjeno tijelo prema gore.

### GLAVNI DIO (KONSTRUIRANJE MODELA, MATEMATIČKI OPIS)

O čemu ovisi uzgon?

→ Učenici predlažu moguće varijable o kojima ovisi uzgon i sami osmišljavaju pokuse kojima bismo provjerili ovisnost.

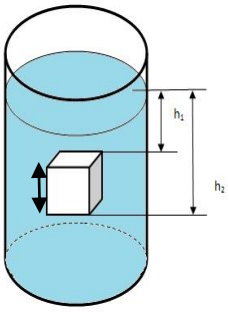
Izvodi se niz pokusa.

Dolazi se do zaključka:

→ Uzgon ovisi o gustoći tekućine i o obujmu uronjenog tijela.

Interaktivni izvod:

**U kakvom su odnosu sile koje djeluju na bočne stranice kocke na istoj dubini?**




→ Sile su jednake jer su na istoj dubini te je ukupna sila na tijelo jednaka nuli

**Kako su usmjerene sile na gornju i donju stranicu kocke?**

→ Sila na gornju plohu usmjerena je prema dolje, a na donju plohu prema gore.

**Kako je usmjerena ukupna sila na kocku i koliko iznosi?**

→ Ukupna sila usmjerena je prema gore ; $F_u = \rho g V$

## ZAVRŠNI DIO (PRIMJENA MODELA)

Odgovori na konceptualna pitanja pomoću kartica.

*OBLIK RADA*: Frontalni

*NASTAVNE METODE*:

- demonstracija pokusa
- metode razgovora- usmjerena rasprava
- konceptualna pitanja s karticama

*NASTAVNA POMAGALA:*

- ploča i kreda
- projektor
- navedeni pribor za pokus
- kartice za konceptualna pitanja

*TIJEK NASTAVNOG SATA*

→ *Poticanje učenika na aktivnost tako da sat započnem pričom o ljetovanju nizom pitanja,kao na primjer:*

**Gdje ste boravili tijekom svojih ljetnih praznika?**

**Jeste li se kupali u moru, rijekama ili bazenima ?**

**Kakvo je vaše iskustvo s podizanjem osoba u vodi ?**

→ Otvaranje problema i prikupljanje učeničkih ideja.

**POKUS:**

PRIBOR: dinamometar, kada napunjena vodom, uteg

**Uteg na dinamometru uronit ćemo u vodu. Što očekujete da će dinamometar pokazivati?**

→ Učenici daju svoja predviđanja.

(Pozivam dvoje učenika da dođu izvesti pokus) **Što ste opazili?**

→ Dinamometar pokazuje manju težinu tijela.

**Zašto nam dinamometar pokazuje manju silu?**

→ Postoji sila kojom voda djeluje na uteg.

**Kamo je usmjerena ta sila kojom voda djeluje na uteg ?**

→ Prema gore.

**Na temelju čega ste zaključili da ta sila djeluje prema gore ?**

→Sila koju pokazuje dinamometar se smanjila

Uvodimo naziv UZGON

**Kako biste opisali što je uzgon ?**

→ Učenici bilježe u svoje bilježnice definiciju uzgona.

**Uzgon je sila kojim tekućina (fluidi ) djeluju na sva tijela koja su uronjena u tekućinu,odnosno fluide vertikalno prema gore. Ta sila nastoji tijelo uzdići iz vode pa je zato zovemo sila uzgona.**

**Očemu uzgon ovisi ?**

→ Prikupljanje učeničkih ideja : gustoća tekućine, obujam tijela, dubina uranjanja…

*Izvodim pokuse, dok učenici opažaju i daju svoja predviđanja te zaključuju.*

**POKUS : Ovisnost uzgona o gustoći tekućine**

PRIBOR : dvije menzure s vodom, jaje, sol

→ U jednu menzuru nalijemo vode i u nju stavimo jaje.

**Što će se dogoditi s jajetom kada ga pustim u vodi?**

→ Potonut će.

**Što ste još primijetili da se promijenilo?**

→ Razina vode u čaši se podignula

U drugoj menzuri stavimo u vodu soli i promiješamo. Zatim tu slanu vodu ulijemo u drugu menzuru s jajetom. **Što očekujete da će se dogoditi?**

→ Jaje će isplivati na površinu.

**Zašto se to dogodilo ?**

→ Jer smo povećali gustoću tekućine → uzgon je veći u slanoj vodi →

ako je gustoća fluida veća, onda je uzgon veći

**POKUS : Ovisnost uzgona o volumenu tijela**

→ PRIBOR: kada s vodom, plastelin

→ Oblikujemo komad plastelina u kuglu.

**Što očekujete da će se dogoditi kad plastelin spustim u vodu?**

→ Potonut će.

Preoblikujemo taj isti komad plastelina u malenu lađicu. **Hoće li lađica potonuti?**

→ Ona će plivati.

**Zašto se to dogodilo ?**

→ Volumen plastelina se nije povećao, nego je volumen lađice veći, jer uključuje i volumen zraka kojeg obuhvaća lađica u svojoj šupljini.

→ Uzgon je veći na tijelo većeg obujma.

**POKUS : Ovisnost uzgona o dubini uranjanja**

→ PRIBOR: menzura, uteg, dimamometar

→ Uteg na dinamometu uronimo u menzuru s vodom.

Što pokazuje dinamometar?

→ Težinu tijela u zraku umanjenu za silu uzgona

**Hoće li dinamometar pokazivati isto, ako ga uronimo na veću dubinu?**

→ Da →uzgon se ne mijenja → uzgon ne ovisi o dubini uranjanja

**Nakon izvedenih pokusa što zaključujete, o čemu ovisi uzgon ?**

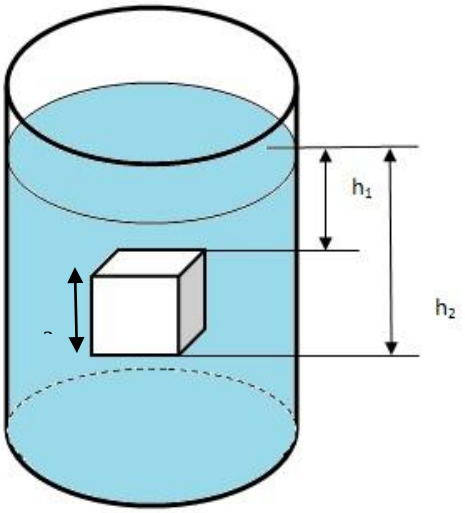
→ Ovisi o gustoći tekućine i obujmu uronjenog tijela

**Zašto se javlja uzgon ?**

Tijelo oblika kocke uronimo u posudu napunjenu vodom.

Učenici skiciraju to u svoje bilježnice, obilazim razred te potom skiciram istu situaciju na ploču.

Vodeći učenike pitanjima, učenici samostalno provode korake izvoda. (interaktivni izvod)




**Kada je tijelo uronjeno u vodu, kako voda djeluje na tijelo?**

→Pritišće ga sa svih strana

**U kakvom su odnosu sile koje djeluju na bočne stranice kocke ?**

→ Sile su jednake.

**Kolika je ukupna sila na tijelo u horizontalnom smjeru ?**

→Ukupna sila na tijelo u horizontalnom smjeru jednaka je nuli.

**Kako su usmjerene sile fluida na gornju i donju stranicu kocke?**

→ Sila na gornju stranicu usmjerena je prema dolje, a na donju plohu prema gore

**Kako se odnose te dvije sile ? Napišite izraz za silu preko tlaka.**

→ $F = pA$

→ Površine gornje i donje stranice kocke su jednake, ali je tlak na donju stranicu veći, jer je veća dubina na kojoj se nalazi donja stranica, pa je i sila na donju stranicu veća nego na gornju.

**Koliki je tlak na gornju stranu kocke ?**

→ $p_1 = \rho g h_1$

**Koliki je tlak na donju stranu kocke ?**

→ $p_2 = \rho g h_2$

**Koji je od tih tlakova veći ?**

→ Veći je tlak na donju stranu kocke.

**Koja je sila veća ?**

→ Sila koja djeluje na donju stranu kocke.

**Kako je usmjerena ukupna sila na kocku ?**

→ Ukupna sila usmjerena je prema gore.

**Koliki je njen iznos?**

→ $F_u = F_2 - F_1$

$F_u = A\,(p_2 - p_1)$

$F_u = A\,(\rho g h_2 - \rho g h_1)$

$F_u = A\rho g\,((h_1 + a) - h_1)$

$F_u = \rho g A a$

$F_u = \rho g V$

*Komentira se dobiveni izraz i njegovo značenje i povezuje ga se s prethodno viđenim pokusima.*

**Nakon svega viđenog i naučenog, možete li sada objasniti zašto nam je lakše podignuti osobu ili predmet u vodi nego u zraku?**

→ Ako podižemo osobu ili premet u vodi moramo savladati manju silu. Ako tu osobu podižemo u zraku sila koju moramo savladati jednaka je težini te osobe (Fg = mg), no ako tu istu osobu podižemo u vodi sila koju moramo svladati jednaka je ukupnoj težini te osobe umanjenu za iznos uzgona koji djeluje na tijelo u vodu ($Fg' = Fg - F_u$)

**Što nam govori ovaj izraz? Prepoznajete li tu jednadžbu?**

→ Ovaj izraz nam govori kolika je težina tijela u vodi i prepoznajemo ovo kao Arhimedov zakon

*PRIČA O ARHIMEDU*

*Arhimed je bio učenjak koji je ušao u povijest znanosti kao osnivač mehanike. No postoji jedna anegdota iz doba kada je na vlasti bio kralj Hieron II. Kada je zlatna kruna u obliku lovorovog vijenca napravljena za kralja Hierona, zanimalo ga je da li je kruna napravljena od čistog zlata ili je nečasni zlatar umiješao*

*i jeftino srebro. Od Arhimeda je zatražio da odredi od čega se sastoji njegova kruna, ali pritom nije smio oštetiti krunu. Rješenje je došlo za vrijeme kupanja. Primjetio je da se ulaskom u kadu podigao nivo vode. Shvatio je da je to način kojim bi se mogao izračunati i obujam krune. Našavši rješenje problema, bio je toliko uzbuđen da je, zaboravivši se obući, istrčao iz kade na ulicu, vičući Heureka! (grč. εὕρηκα!) - Našao sam!*

**Imate li ideju kako je Arhimed to učinio ?**

→ Krunu je uronio u vodu i mjerenjem količine istisnute vode doznao obujam krune. Kad bi nabavio jednak obujam čistog zlata, te izvagao čisto zlato i krunu, usporedbom dobivenih rezultata doznao bi odgovor na kraljevo pitanje

Postoji li još neki način?

→ Arhimed je izvagao krunu u zraku i u vodi. Tako je dobio težinu krune u zraku i težinu u vodi. Postavljajući te dvije jednadžbe došao je do rješenja.

**Što mislite djeluje li i zrak uzgonom na tijela? Možete li navesti neki primjer?**

→da,djeluje. Primjer su zračni baloni. Oni su punjeni plinom koji je rjeđi od zraka, npr helijem ili vodikom ili se zrak grije plamenikom.

Učenici pomoću kartica odgovaraju na konceptualna pitanja

1. Uzgon na tijelo koje je uronjeno u tekućinu ovisi o :

A) masi tijela

B) volumenu tijela

C) gustoći tijela

[B → *uzgon ovisi o volumenu tijela]*

2. U posudu s vodom uronimo dvije kocke jednakih obujama, jednu od željeza,a drugu od aluminija. U kakvom su odnosu sile uzgona na te kocke ?

A) Na kocku od željeza djeluje veća sila uzgona.

B) Na kocku od aluminija djeluje veća sila uzgona.

C) Na oba tijela djeluje jednaka sila uzgona.

*[C → volumen je isti → uzgon je isti]*

3. U posudu s vodom uronimo dvije kocke jednakih masa, jednu od željeza, a drugu od aluminija. U kakvom su odnosu sile uzgona na te kocke ?

A) Na kocku od željeza djeluje veća sila uzgona

B) Na kocku od aluminija djeluje veća sila uzgona

C) Na obje kocke djeluje jednaka sila uzgona

*[B →tijelo manje gustoće ima veći volumen pod uvjetom da su im mase jednake.]*

### *5.5. ISKUSTVA S NASTAVE*

Priložena metodička priprema namijenjena je za držanje sata u srednjim školama. Održana je učenicima drugih razreda I. gimnazije u Zagrebu. Istu nastavnu jedinicu držala sam u dva razredna odjela drugih razreda. Iako je ista priprema bila namijenjena za oba razreda, nastavni sat kod svakog odjela tekao je drugačijim tokom. U jednom odjelu učenici su bili puno aktivniji, više su davali svojih predviđanja za pokuse koje je trebalo izvesti, bilježili bilješke te sami osmislili definiciju uzgona, dok je kod drugog razrednog odjela bilo istaknuto nekoliko pojedinaca koji su aktivno sudjelovali na nastavi. Ostatak razreda pažljivo je zapisivao i pratio sat, ali nisu bili skloni javnom davanju svojih predviđanja i odgovora. Kada sam zadala tijekom sata da sami nešto zabilježe u svoje bilješke, prošetala bih se kroz razred te bih te manje aktivne učenike prozvala da iznesu svoja predviđanja. Ako bilješke tih učenika i ne bi bile u potpunosti točne, otvorila bih raspravu u razredu da vidimo što i zašto je točno odgovoreno, a što se ne uklapa u dosad naučene koncepte. Trudila sam se da učenike koji su dali netočne odgovore ne obeshrabrim time da im odmah kažem da su odgovori netočni, nego smo pomoću potpitanja koje sam postavljala tim učenicima, a ujedno i cijelom razredu nastojala dovesti ih do točnog odgovora.

Najveći problem na satu nastao je kada su morali crtati sile kojima voda djeluju na tijelo koje je uronjeno u vodu. Učenicima sam dala nekoliko minuta da nacrtaju to u svoje bilježnice. Kada sam se prošetala razredom, nailazila sam na sva moguća rješenja, i točna i netočna. Bilo je učenika koji su se dobrovoljno javljali da na ploči nacrtaju ono što su zabilježili u svoje bilježnice. Bilo je više netočnih rješenja. Jedan učenik nacrtao je silu težu prema dolje i jednu silu prema gore za koju nije znao kako se zove, ali je znao da djeluje prema gore. Zatim se javio drugi učenik koji je rekao da je to sila uzgona. Zabilježila sam to na crtežu. Nakon toga se javila učenica koja je imala drugačiji odgovor.

Ona je nacrtala da na sve stranice kocke djeluje sila i još dodala silu težu. Tražila sam da se javi još netko sa svojim rješenjem, ukoliko se rješenje razlikuje od ovih ponuđenih. No, većina je učenika imala jedan od tih odgovora u svojim bilješkama. Najprije sam im ponovila ono što se tražilo od njih, a to je da nacrtaju samo sile kojima voda djeluje na tijelo. Kada sam ih upitala da objasne što je sila teža i tko na koga djeluje, složili su se da je to sila kojom Zemlja djeluje na tijela, pa smo tu silu uklonili iz naših crteža. Zatim smo razgovarali o silama kojima voda djeluje na sve stranice kocke. Došli smo do zaključka da su sile koje djeluju na bočne stranice kocke jednake i suprotnog smjera te da se one poništavaju. Ostale su nam sile koje djeluju na gornju i donju stranu kocke. Nakon toga bilo je puno lakše. Većina njih je dobro svladala pojam hidrostatskog tlaka i shvatili su da se on razlikuje na gornju i donju stranu kocke te da su zbog toga i sile koje djeluju na gornju i donju plohu kocke različite. Nakon toga samo se vratili na uvodno pitanje i zaključili zašto nam je osobu lakše podići u vodi nego u zraku. Ispričala sam im priču o Arhimedu i o tome da je dobio zadatak da odredi sastav krune za kralja Hierona II. Kada sam ih pitala imaju li ideju kako je to on učinio, učenici su postali vrlo aktivni s davanjem svojih ideja, od kojih je mnoštvo bilo vrlo kreativno i zanimljivo. Nakon toga smo spominjali uzgon u zraku te primjere u kojima se on primjećuje. S obzirom da su se u jednom razrednom odjelu učenici duže zadržali na crtanju sila koje djeluju na kocku uronjenu u vodi, s njima nisam radila konceptualna pitanja jer više nije bilo vremena, dok sam s drugim odjelom to uspjela odraditi. Razred koji je odgovarao na konceptualna pitanja bio je oduševljen idejom da oni pomoću kartica odgovaraju na pitanja koja sam pomoću projektora projicirala na platnu. Također sam u oba odjela sat završila pitanjem: „Što je teže, kilogram željeza ili kilogram perja? “ Učenici su kolektivno odgovarali da je isto, no kada sam ih samo upitala jesu li sigurni, pokolebali su se u svom odgovoru. Da prouče odgovor na ovo pitanje bio im je zadatak za sljedeći sat.

Kada subjektivno pogledam nastavni sat, mislim da je bilo zanimljivo. Posebno sam bila ponosna na to što sam uspjela s učenike koji su na početku sata bili šutljiviji i manje aktivni, potaknuti da se uključe u sat, daju svoje odgovore i predviđanja. Nisam imala problema s disciplinom u razredu. S obzirom da se u toj školi odrađuje praksa za kolegija „Metodička praksa iz fizike“ učenici su naviknuti da im studenti sjede na satu ili da im studenti drže satove. Koliko god nama studentima to iskustvo držanja sata bude uzbudljivo, novo i korisno, toliko i učenicima svaki od nas studenata donosi novi način predavanja i karakter sata.

# 6. ZAKLJUČAK

Ovim diplomskim radom željela sam pokazati koliko problema uzrokuju učeničke pretkoncepcije i pojednostavljeno zaključivanje u hidrostatici. Termin pretkoncepcije odnosi se na učeničke ideje o nekom fenomenu prije formalnog učenja. Najviše istraživane pretkoncepcije su one u mehanici i pokazalo se da su one toliko tvrdokorne da ih se većina zadržava i nakon učenja. U istraživanju koje sam provela s učenicima drugog razreda srednje škole i studentima Prirodoslovno matematičkog fakulteta, pokazalo se da osim problema s pretkoncepcijama postoji i mnogo problema s pogrešnim ili nepotpunim zaključivanjem o uzgonu.

Razlog tome je što formalno obrazovanje fizike započinje kasnije i dio problema koji se javlja u učenju fizike nastaje zbog toga što učenici već imaju formirana tumačenja određenih fenomena na temelju svakodnevnog iskustva. Također, za izražavanje ideja učenici rabe neprecizan jezik, te nisu uvijek u stanju potpuno formulirati i svoje ideje i pretpostavke. Iako se danas nastavnici u razredima trude postići aktivno sudjelovanje učenika u nastavi te pokušavaju provoditi što više interaktivnih metoda unutar nastavnog sata, pretkoncepcije su tvrdokorne i često ih nije lako promijeniti. Poseban problem čini učeničko nepotpuno ili pojednostavljeno zaključivanje, poput tendencije da se fokusiraju samo na promjenu jedne varijable u situacijama kad ih se mijenja više ili nepotpuno korištenje proporcionalnog zaključivanja ili kontrole varijabli.

I studenti zadržavaju mnoge pretkoncepcije i mnoge probleme pojednostavljenog zaključivanja. U većini slučajeva kada se studenti i učenici suoče s tradicionalno formuliranim zadatkom, primijenit će formulu za računanje. No, kada je zadatak konceptualne prirode, bez zadanih brojeva, priklanjaju se intuiciji i često griješe u pristupu.

Važno je da se pogrešni koncepti koje učenici posjeduju podvrgnu procesu konceptualne promjene, a kompleksnije zaključivanje neprestano izgrađuje i uvježbava. Za oboje je važno da cijeli proces nastave bude interaktivan. Također na nastavi treba učenike postaviti pred niz problemskih situacija. Važno je da koncepte koji nisu u skladu s znanstvenim stajalištima kroz proces konceptualne promjene zamijenimo novim i znanstveno točnim konceptima, te da razvijamo učeničku sposobnost kompleksnijeg znanstvenog zaključivanja.

Na temelju svojih istraživanja zaključila sam da unatoč nastavi hidrostatike u srednjim školama i na fakultetu mnogi učenici i studenti i dalje imaju značajnih poteškoća sa zaključivanjem o osnovnim konceptima hidrostatike, kao što su hidrostatski tlak ili uzgon. Često svoje zaključke donose na temelju intuicije, te u objašnjenjima koriste neprecizne izraze ili nisu u stanju formulirati i izraziti svoje ideje. Istraživanje je također pokazalo da učenici i studenti pojednostavljuju svoje zaključivanje, odnosno da ne uzimaju u obzir sve potrebne varijable koje utječu na neku pojavu.

Da bi se smanjile učeničke i studentske konceptualne poteškoće, osim angažmana nastavnika i profesora bitno je da i učenici i studenti postanu svjesni svojih problema i prepreka u svladavanju koncepata. Jedino zajedničkim angažmanom nastavnika i učenika, profesora i studenata, postići će se željeni cilj i ostvariti bolje razumijevanje hidrostatike i fizike uopće kod učenika i studenata.

# 7. POPIS LITERATURE


1) Loverude, M. E. ; Kautz, C. H. ; Heron, P. R. L. ; *Helping students develop an understanding of Archimedes' principle. I. Research on student understanding* American Journal of Physics **71** (11), 2003., 1178-1187.
2) Heron, P. R. L. ; Loverude, M. E. ; Shaffer, P. S. ; McDermott, L. C. ; *Helping students develop an understanding of Archimedes' principle. II. Development of research-based instructional materials* American Journal of Physics **71** (11), 2003., 1188-1195
3) McDermott, L. C. and the Physics Education Group at the University of Washington ; *Physics by Inquiry* (Wiley, New York, 1996.)
4) McDermott, L. C. and the Physics Education Group at the University of Washington ; *Physical Science by Inquiry*
5) Krsnik, R. **;** *Suvremene ideje u metodici nastave fizike* ; Zagreb, Školska knjiga, 2008.
6) Andreis, T. ; Plavčić, M. ; Simić, N. ; *Fizika 1* ; Zagreb, Profil International , 2004.
7) Djaković, T. ; Kurtović, R. ; Ratkaj, B. ; Krnjaić, Z. ; *Fizika 7* ; Zagreb, Profil Internatuional, 2010.

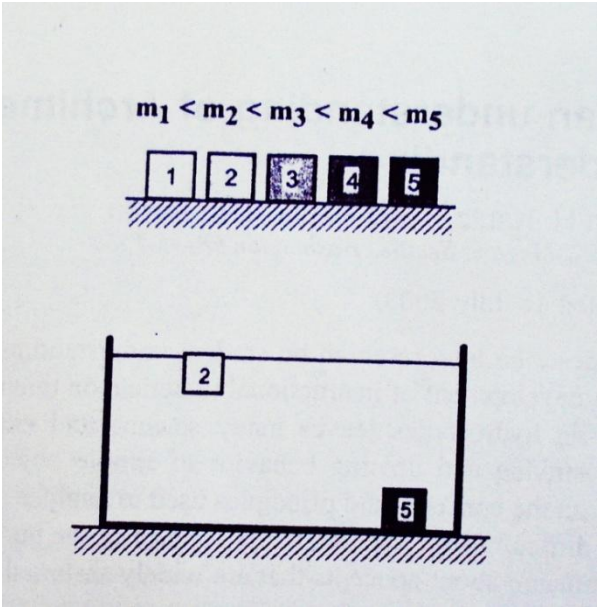
Izvor s interneta :

8) http://public.mzos.hr/Default.aspx?sec=2239 **(Pregledano : 26.06.2014.)**
9) http://www.skole.hr/nastavnici/podrska?news_id=42 **(Pregledano : 26.06.2014.)**
10) http://www.scribd.com/doc/78608786/HNOS **(Pregledano : 26.06.2014.)**

# 8. PRILOZI

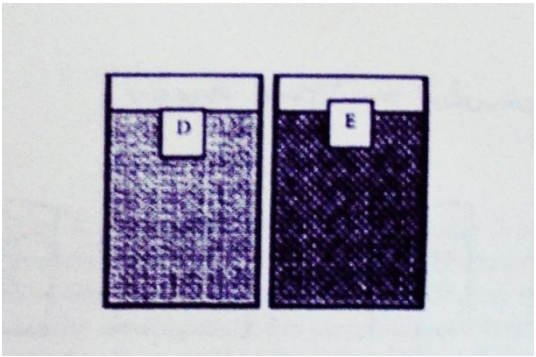
***PRILOG A***

1. Pet kocki istog oblika i veličine, ali različitih masa prikazano je na slici . Kocke su poredane po masama – od kocke najmanje mase, do one s najvećom masom. Sve kocke uronimo u vodu na pola dubine akvarija koji je napunjen vodom te i ih pustimo. Konačni položaj kocki 2 i 5 prikazan je na slici.



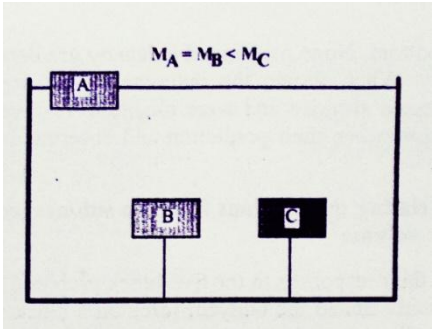

Nacrtajte konačne položaje kocke 1, 3 i 4. Obrazložite svoj odgovor.

2. Dvije identične kocke (D i E) smještene su u tekućine različitih gustoća. Je li je sila uzgona na kocku D veća, manja ili jednaka sili uzgona na kocku E ? Obrazložite svoj odgovor.



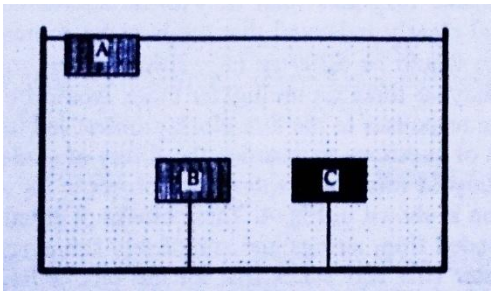
***PRILOG B***

Slika prikazuje tri tijela jednakih oblika i volumena uronjena u vodu. tijelo A pluta na površini vode, a tijela B i C su nitima pričvršćena za dno posude. Prethodno je opaženo da, kada su slobodna, sva tri tijela plutaju na površini vode. Tijela A i B imaju jednake mase, dok je masa tijela C veća od masa tijela A i B.




a) Poredajte sile uzgona na tijelima A, B i C od najveće do najmanje..

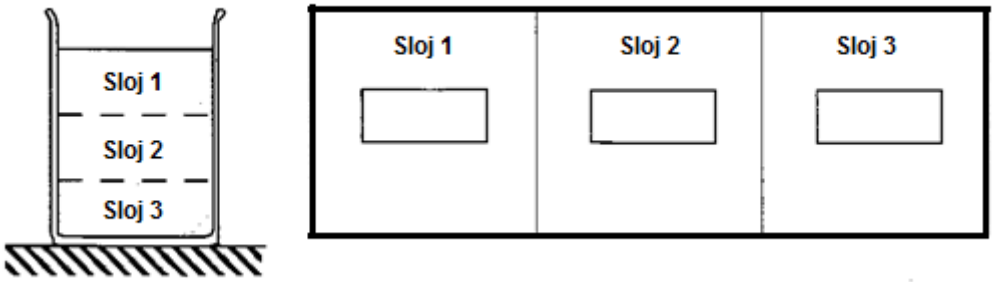
b) Sva tri tijela su smještena u posudu ispunjenu **drugom tekućinom**. Opaženo je da tijelo A i dallje pluta, ali je više uronjeno nego prije. Tijela B i c i dalje su pričvršćena nitima za dno posude. Za savako tijelo navedite kako se promijenila sila uzgona na njega u odnosu na prethodnu situaciju. Obrazložite svoj odgovor.



***PRILOG C***

## I. DIJAGRAMI SILA U TEKUĆINI

Pravokutni spremnik ispunjen je vodom i miruje kao što prikazuje slika. Na slici su nacrtane dvije zamišljene granice (crtkano) koje dijele tekućinu na tri dijela jednakih volumena. Ne postoje nikakve prepreke između slojeva vode.




**A.** Skicirajte dijagram sila za svaki od slojeva vode. Označite svaku od sila na svom dijagramu i napišite koje tijelo djeluje silom i na koje tijelo sila djeluje.

**B.** Rangirajte iznose svih vertikalnih sila koje ste nacrtali na svojim dijagramima od najveće do najmanje.

**C**. Zamislite da se pri dnu svakog od slojeva otvori mala rupa na spremniku.

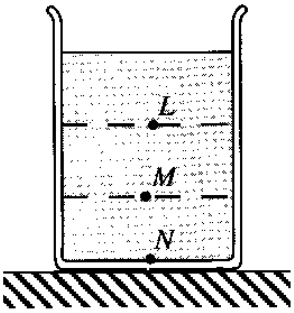
a) Što predviđate da će se dogoditi u tom slučaju?

b) Provjerite svoje predviđanje tako da promotrite eksperiment. Zapišite i skicirajte svoja opažanja.

Što vam opažanja govore o postojanju horizontalnih sila na svaki od slojeva vode? Ukoliko je potrebno dopunite dijagrame sila koje ste nacrtali u A zadatku.

## II. SILA I TLAK

**A.** Prisjetite se veze između sile i tlaka. U sljedećim ćete zadacima primijeniti tu vezu na slojeve vode koje smo promatrali u prvom zadatku.




(INTERAKTIVNI IZVOD)

**B.** Kolika je ukupna sila prema dolje na dno sloja 1? (Vratite se po potrebi na svoj dijagram sila).

Koristeći definiciju tlaka izrazite tlak na dno sloja 1.

Napišite kako možete izraziti masu tekućine.

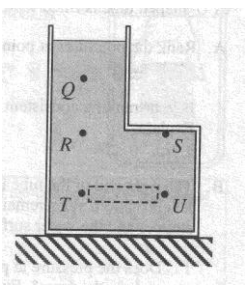
Izrazite volumen sloja 1.

Napišite konačni izraz za ukupni tlak na dno sloja 1.

C. Rangirajte tlakove u točkama L, M i N. Objasnite kako je vaš odgovor u skladu s rangiranjem sila iz prvog zadatka.

## III. Primjena tlaka

Spremnik na slici desno napunjen je vodom i miruje na stolu. Zamišljena granica na slici (crtkano) označava mali volumen vode. Tretirajte taj mali volumen vode kao zaseban objekt.




A. U slobodnom prostoru skicirajte dijagram sila za taj mali volumen vode .

B. Usporedite iznose horizontalnih sila koje ste nacrtali.

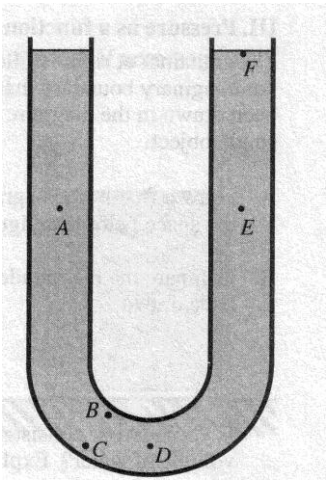
Je li vaš odgovor u skladu sa stanjem gibanja tog malog volumena vode?

C. Iskoristite svoj odgovor na pitanje pod B da biste usporedili tlakove u točkama T i U.

D. Rangirajte tlakove u točkama Q, R, S, T i U. Objasnite.

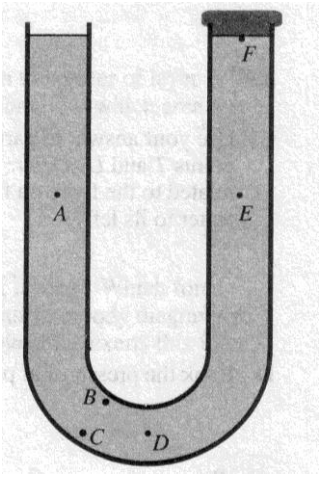
**TLAK U U-CIJEVI**

U-cijev je napunjena vodom kao što prikazuje slika.




A. Rangirajte tlakove u točkama A do F. Objasnite.

B. Desni kraj cijevi je sada zatvoren čepom. Razina vode na obje strane ostala je jednaka. Nema zraka između čepa i površine vode.




1. Da li se tlak u točkama A do D povećao, smanjio ili ostao isti? Objasnite.

2. Je li tlak u točki E prema tlaku u točki D veći, manji ili jednak?

Da li se razlika tlakova $\Delta p_{DE}$ između točaka D i E promijenila

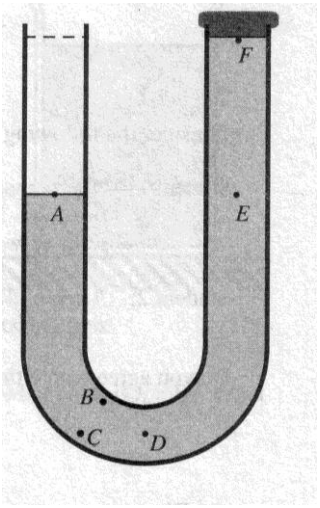
kada je dodan čep? Objasnite.

3. Je li tlak u točki F prema atmosferskom tlaku veći, manji ili jednak?

C. Sisaljkom je izvučen dio vode iz lijeve strane U-cijevi.

Razina vode s lijeve srane se smanjila, ali je

razina vode na desnoj strani ostala ista.




Razmotrite sljedeći razgovor između studenata:

Student 1: *„Tlak u točki F sada treba biti veći od atmosferskog*

*tlaka, jer je voda na desnoj strani pritisnuta o čep.“*

Student 2: *„Ja mislim da tlak u točki E treba biti jednak tlaku u točki*

*A, jer su obje točke na istoj razini. Tlak u točkama A i E jednak je atmosferskom tlaku. Zato je tlak u točki F manji od atmosferskog*

*tlaka , jer znamo da se tlak smanjuje kako idemo prema gore.“*

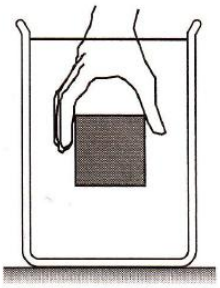
Student 3: *„Ali voda je mnogo gušća od zraka i zato tlak u točki*

*F ne može biti manji od atmosferskog tlaka.“*

S kojim se studentom, ako i s jednim, slažete?

UZGON

I. SILA UZGONA



**A**. Drveno tijelo u obliku kocke potopimo u vodu kao što prikazuje slika i nakon toga pustimo.

1. Opišite gibanje tijela nakon što je pušteno.

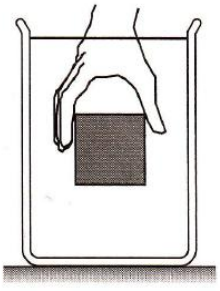
2. U prostoru s desne strane skicirajte dijagram sila na tijelo nakon što je pušteno. Svaku od sila kojima voda djeluje na kocku skicirajte posebno. Sve sile pažljivo označite i napišite koje tijelo djeluje silom i na koje tijelo sila djeluje.

3. Poredajte po veličini iznose vertikalnih sila koje ste nacrtali na dijagramu. Ukoliko ne možete usporediti iznose svih sila, objasnite zašto.

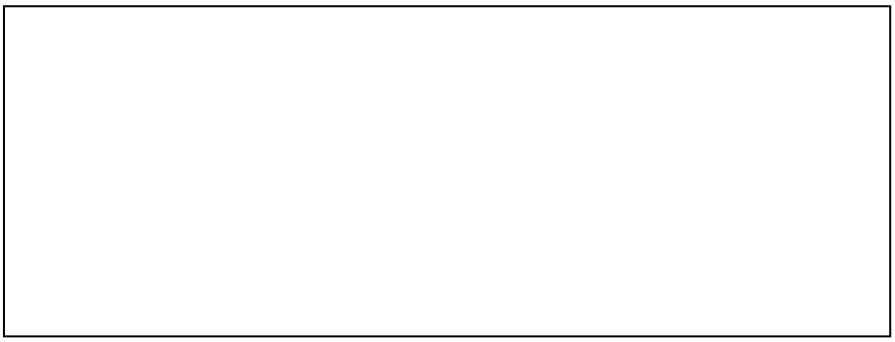
4. Odredite zbroj svih sila kojima **voda** djeluje na tijelo. U slobodnom prostoru s desne strane skicirajte strelicu koja prikazuje taj zbroj.

Usporedite zbroj svih sila kojima **voda** djeluje na tijelo sa silom kojom Zemlja djeluje na tijelo. Objasnite svoj odgovor.

**B**. Eksperiment opisan u A dijelu ponovljen je s drugim tijelom jednakog volumena i oblika kao što je prvo tijelo. Drugo tijelo tone u vodi.



1. U slobodnom prostoru skicirajte dijagram sila na tijelo odmah nakon što je pušteno. Kao i u A zadatku skicirajte sve sile kojima voda djeluje na tijelo.

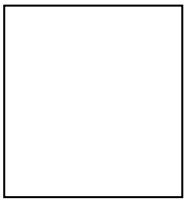


Usporedite dijagram sila koji ste nacrtali za kocku koja tone s onim nacrtanim za kocku koja pluta.

Koje sile imaju jednake iznose, a koje različite? (*Pomoć*: *Kakav je tlak na pojedinu plohu kocke u A slučaju u usporedbi s tlakom na istu plohu kocke u B slučaju?*)

Postoje li sile koje se pojavljuju na jednom dijagramu, a ne postoje na drugom?

3. U slobodnom prostoru s desne strane skicirajte strelicu koja prikazuje vektorski zbroj svih sila kojima **voda** djeluje na tijelo. Kakav je taj vektor u usporedbi s vektorom koji ste skicirali u A zadatku? (Usporedite iznos i smjer vektora.)



**C.** 1. Zamislite da ste tijelo iz B zadatka ispustili s mnogo veće dubine. Za svaku od sljedećih sila koje djeluju na tijelo navedite da li bi bila veća, manja ili jednaka sili u B zadatku:

- sila kojom voda djeluje na donju površinu tijela

- sila kojom voda djeluje na gornju površinu tijela

- zbroj svih sila kojima voda djeluje na tijelo

*Zbroj svih sila kojima tekućina djeluje na tijelo koje okružuje nazivamo uzgonom.*

2. Pokušajte izvesti formulu za silu uzgona. (INTERAKTIVNI IZVOD)

Izrazite preko tlaka silu kojom voda djeluje **prema dolje** na tijelo.

Izrazite preko tlaka silu kojom voda djeluje **prema gore** na tijelo.

Izrazite rezultantu tih dviju sila. Prepoznajete li negdje u izrazu volumen tijela?

Navedite konačni izraz za silu uzgona:

**D.** Ovisi li sila uzgona na tijelo koje je potpuno uronjeno u tekućinu o:

- masi tijela?

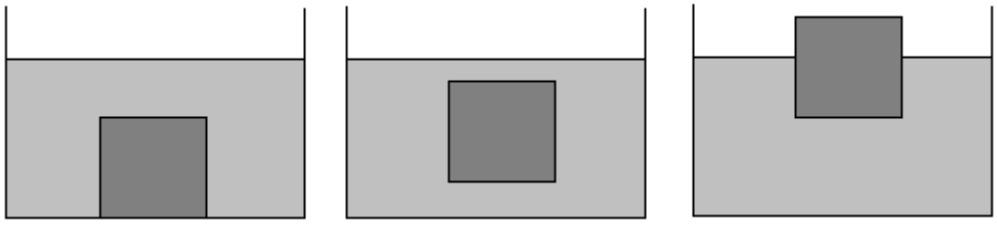
- dubini na kojoj se tijelo nalazi?

- volumenu tijela?

- gustoći tekućine?

→ Provjerite svoje odgovore s nastavnikom

**E.** Tri tijela u tri posude s vodom miruju kao što prikazuje slika.

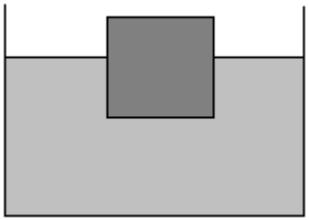


Skicirajte dijagram sila za svako od tijela.

Za svaki od crteža usporedite silu uzgona i gravitacijsku silu na tijelo. Provjerite je li vaš odgovor u skladu s činjenicom da tijela miruju.

Možete li na temelju svojih odgovora napisati uvjete da tijelo pluta, lebdi ili tone?

**F.** Sljedeća slika prikazuje tijelo koje miruje u vodi.



Skicirajte dijagram sila koje djeluju na tijelo.

Odredite koliki je postotak tijela uronjen u vodu. (*Pomoć: Volumen uronjenog dijela označit ćemo sa x·V, gdje je V volumen cijelog tijela. Koje sve sile djeluju na tijelo u vertikalnom smjeru? Čemu je jednak njihov zbroj?)*