

Newtonovi zakoni i dijagrami sila u nastavi fizike

Šumiga, Tamara

Master's thesis / Diplomski rad

2023

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://um.nsk.hr/um:nbn:hr:217:146700>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-05-12**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the Faculty of Science - University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
PRIRODOSLOVNO–MATEMATIČKI FAKULTET
MATEMATIČKI ODSJEK

Tamara Šumiga

NEWTONOVI ZAKONI I DIJAGRAMI
SILA U NASTAVI FIZIKE

Diplomski rad

Voditelj rada:
izv. prof. dr. sc. Maja Planinić

Zagreb, 2023.

Ovaj diplomski rad obranjen je dana _____ pred ispitnim povjerenstvom
u sastavu:

1. _____, predsjednik
2. _____, član
3. _____, član

Povjerenstvo je rad ocijenilo ocjenom _____.

Potpisi članova povjerenstva:

1. _____
2. _____
3. _____

Želim se iskreno zahvaliti svojoj mentorici na izuzetnoj podršci, posvećenom vremenu i profesionalnom vođenju tokom procesa pisanja ovog diplomskog rada. Vaši konstruktivni savjeti i povratne informacije pomogli su mi da unaprijedim svoj rad, i zato sam vrlo zahvala na Vašem doprinosu na mom akademskom putovanju.

Najveće hvala mojoj obitelji, posebno mami, tati i bratu na bezgraničnoj podršci, ljubavi, motivaciji i vjeri u mene i moj uspjeh. S vama je svaki pad bezbolniji, a svaki uspjeh ima veću vrijednost.

Hvala bakama i rodbini na lijepim željama pred ispit i držanju palčeva za dobar ishod. Hvala ti Filipe na svojoj ljubavi i pažnji. Tvoje razumijevanje i ohrabrenje bili su mi vjetar u leđa na ovom putovanju.

Hvala svim prijateljima koji su bili uz mene, pružajući mi podršku, ohrabrenje i smijeh u teškim trenucima.

Hvala Vam od srca što sam uz vas neustrašivo koračala prema ostvarenju svojih snova!

Sadržaj

Sadržaj	iv
Uvod	3
1 Pregled literature	5
2 Metodologija istraživanja	11
3 Rezultati i diskusija	15
3.1 Ukupni rezultati	15
3.2 Rezultati po zadacima	21
4 Zaključak i implikacije na nastavu	37
5 Dodatak	39
Bibliografija	49

Uvod

Fizika, kao temeljna prirodna znanost, igra ključnu ulogu u razumijevanju svijeta oko nas. Učenje fizike uključuje upoznavanje učenika s fundamentalnim zakonima prirode, među kojima Newtonovi zakoni zauzimaju posebno mjesto. Ovi zakoni opisuju osnovne principe gibanja i interakcije tijela, a njihovo razumijevanje ključno je za razvoj i razumijevanje same Newtonove mehanike, kao i ostalih tema iz fizike.

Prvi Newtonov zakon može se izreći ovako: Ako je rezultanta svih sila koje djeluju na tijelo jednaka nuli, tijelo zadržava svoje stanje mirovanja ili jednolikog pravocrtnog gibanja. Može se uočiti da I. Newtonov zakon sadrži određena pravila za mirovanje i za gibanje (Planinić, 2023). Učenici razumiju da ako je rezultanta svih sila na tijelo jednaka nuli da tada tijelo može mirovati. Važno je naglasiti da obrat tvrdnje učenicima ne slijedi automatski. Učenici često smatraju da tijelo može mirovati i kada ukupna sila na njega nije jednaka nuli. S druge strane, jedna od alternativnih koncepcija učenika pri tumačenju I. Newtonovog zakona kao zakona gibanja jest ta da gibanje stalnom brzinom traži održavanje pomoću stalne rezultatne sile u smjeru gibanja, te teško prihvaćaju ideju da je jednoliko gibanje po pravcu povezano s rezultatnom silom jednakom nuli. Također, I. Newtonov zakon definira ravnopravne referentne sustave, koje nazivamo inercijalnim, a to su sustavi u kojima vrijedi zakon inercije. Stoga, ako tijelo miruje u odnosu na jedan takav sustav, uvijek je moguće pronaći neki drugi sustav s obzirom na koji će se to tijelo gibati jednoliko pravocrtno, te su stanja mirovanja i jednolikog gibanja po pravcu time fizikalno ekvivalentna. Učestala učenička miskoncepcija je da smatraju gibanje i mirovanje apsolutnim kategorijama.

Drugi Newtonov zakon glasi: Ako na tijelo djeluje rezultatna sila različita od nule, ono će dobiti akceleraciju u smjeru djelovanja te sile. Važno je obratiti pažnju na to kako rezultatna sila nije povezana s brzinom tijela već s promjenom brzine tijela. Smjerom rezultatne sile određen je smjer akceleracije, a ne brzine. Učenička alternativna koncepcija jest da se tijelo uvijek giba u smjeru rezultatne sile (Planinić, 2023).

Treći Newtonov zakon kaže: Sile kojima dva tijela djeluju jedno na drugo uvijek su međusobno jednakoga iznosa, ali suprotnoga smjera. Ovdje je važno rastumačiti učenicima da sile uvijek dolaze u parovima i uključuju dva tijela, da su sila i protusila iste prirode te da ne djeluju na isto tijelo. Uočeno je da učenici bilo koje dvije sile jednakih iznosa i

suprotnih smjerova tretiraju kao silu i protusilu po III. Newtonovom zakonu. Važno je posvijestiti učenicima da sile jednakih iznosa mogu proizvesti jako različite učinke na tijela različitih masa (Planinić, 2023). U simetričnim situacijama učenici očekuju da se sila i protusila ponište, dok u nesimetričnim situacijama učenici primjenjuju „princip dominacije“, odnosno da „veće“ tijelo (npr. tijelo veće mase) djeluje većom silom.

S obzirom na sve gore navedeno, može se primijetiti da učenici imaju brojne konceptualne poteškoće koje im otežavaju razumijevanje i korektnu primjenu Newtonovih zakona. Uz konceptualne poteškoće, javljaju se i proceduralne, odnosno matematičke poteškoće. Učenici slabo barataju vektorima, te ne znaju razliku između vektorske i skalarne jednadžbe. Zatim, većinom ne znaju nacrtati dijagrame sila, a ako i znaju, većina njih ne zna se poslužiti njima kako bi se napisala jednadžba.

Proteklih tridesetak godina, veliki broj fizičara istraživao je na koje sve načine pristupiti poučavanju apstraktnih koncepata (Larkin & Simon, 1987, van Heuvelen 1991, Heller & Reif, 1984, Gautreau & Novemsky, 1997, De Leone & Gire, 2005, Rosengrant, van Heuvelen & Etkina, 2009). Istraživanja govore o novom pristupu poučavanju složenih, apstraktnih koncepata putem višestrukih reprezentacija kao što su matematička, verbalna, dijagramska, slikovna ili grafička reprezentacija (van Heuvelen, 1991). Rezultati pokazuju kako učenici koriste veliki broj reprezentacija kako bi problem učinili sebi razumljivim. Van Heuvelen i Zou naglašavaju kako se razumijevanje učenika poboljšava kada se uspiju kretati naprijed-natrag između različitih reprezentacija (Rosengrant, Van Heuvelen & Etkina, 2009).

U primjeni Newtonovih zakona najvažnija reprezentacija su dijagrami sila. S obzirom da su Newtonovi zakoni formulirani za materijalne točke, kod translatorskih gibanja tijelo se predstavlja jednom točkom i sve sile koje djeluju na tijelo crtaju se iz te točke (Rosengrant, van Heuvelen & Etkina, 2009; Planinić 2023). Duljine vektora prikazuju relevantne veličine sila koje trebaju biti pravilno označene. Adekvatan dijagram sila najbolja je poveznica između apstraktno zadanog problema i matematičkog zapisa jednadžbi. Zato, učenike treba poučavati i inzistirati na konstrukciji i razumijevanju dijagrama sila kako bi ih počeli samostalno koristiti svjesni njihove važnosti u primjeni Newtonovih zakona.

Rosengrant, van Heuvelen i Etkina (Rosengrant, van Heuvelen & Etkina, 2009) navode da je konceptualni sadržaj na nastavi fizike prezentiran najčešće apstraktnim simbolima koji imaju precizna značenja i kombinirani su s određenim pravilima. Suprotno tome, najviše ljudi je vizualni tip, čiji um dobro reagira na slikovne prikaze s kvalitativnim značajkama. Zato je fokus ove studije na dijagramskoj reprezentaciji, koja pruža vizualne smjernice učenicima, čineći apstraktne fizikalne koncepte konkretnijima.

U ovome diplomskom radu istražuje se primjena Newtonovih zakona i dijagrama sila u nastavi fizike prvih razreda srednje škole. Ovom studijom traži se odgovor na dva pitanja:

1. Jesu li učenici koji crtaju dijagrame sila uspješniji u rješavanju standardnih zadataka

iz fizike od učenika koji ih ne crtaju?

2. Utječe li kvaliteta učeničkih dijagrama sila na uspješnost rješavanja zadataka?

Ovom analizom nastoji se pridonijeti suvremenijem pristupu poučavanja Newtonovih zakona, koji promiče njihovo bolje razumijevanje i primjenu.

Sljedeće poglavlje, Pregled literature, donosi analizu relevantnih članaka na kojima se zasniva istraživanje, dok će poglavlje Metodologija istraživanja obuhvatiti pristup, prikupljanje i obradu tj. analizu podataka. Poglavlje Rezultati i diskusija prikazuje analizu rezultata istraživanja te njihovu usporedbu s prethodnim spoznajama. Na kraju, rad završava sažetkom glavnih zaključaka te njihovim implikacijama za nastavu fizike.

Kroz ovaj se rad nastoji osvijestiti važnost Newtonovih zakona i dijagrama sila kao jedne od reprezentacija koju treba koristiti i poticati u nastavi fizike, kako bi se primjena Newtonovih zakona što više pojednostavnila i približila učenicima.

Poglavlje 1

Pregled literature

Ovo poglavlje pruža pregled relevantne literature koja se bavi učeničkim i studentskim alternativnim koncepcijama u području Newtonove dinamike, u kojoj se istražuje zašto i kada učenici koriste dijagrame sila te jesu li oni učenici koji ih koriste uspješniji u primjeni Newtonovih zakona. Ova analiza ima za cilj dublje razumijevanje konteksta istraživanja i usmjeravanje našeg istraživanja prema novim spoznajama. Posebno ćemo se usredotočiti na dva članka, relevantna za ovu temu, i identificirati ključne uočene studentske i učeničke poteškoće.

Edukacijska istraživanja u fizici u svijetu ukazala su na postojanje i rasprostranjenost raznih konceptualnih poteškoća vezanih uz njutnovsku dinamiku kod učenika i studenata (Champagne, Klopfer i Anderson, 1980, Driver, Guesne i Tiberghien, 1985, McDermott, 1997). U počecima edukacijskih istraživanja iz fizike, upravo je u mehanici prvi puta uočeno da učenici imaju jake alternativne ideje u vezi s mnogim fizičkim konceptima. Glavni nenjutnovski trend razmišljanja karakterizira ideja „gibanje implicira silu“ (uključujući i ideje o utisnutoj sili, tkz. impetusu), povezivanje konstantne sile s konstantnom brzinom, snažno nepovjerenje u III. Newtonov zakon i nerazumijevanje gravitacije (Halloun & Hestenes, 1985). Ove ideje prisutne su kod velikog broja učenika te im stvaraju znatne poteškoće s razumijevanjem i primjenom Newtonovih zakona. Stoga ih zovemo osnovnim alternativnim koncepcijama u Newtonovoj mehanici, što ne isključuje postojanje drugih, manje ukorijenjenih. No, za nas je važno znati kakva je situacija među hrvatskim učenicima.

Istraživanje koje je provedeno na hrvatskim gimnazijalcima prvog i trećeg razreda (Planić et al., 2005), daje neke odgovore na to. U ovom istraživanju istražena je prisutnost najčešćih alternativnih koncepcija kod ispitivanih učenika, a evaluaciju njihove čvrstoće omogućila je samoprocjena učenika o razini njihove sigurnosti u odgovore. Hasan i suradnici (Hasan et al., 1999) sugeriraju da su samo netočni odgovori s visokom razinom

sigurnosti oni koji mogu odražavati čvrste alternativne koncepcije učenika, dok netočni odgovori s niskom razinom sigurnosti učenika vjerojatno odražavaju nedostatak znanja.

Provedena studija pokušala je otkriti i usporediti čvrstoću osnovnih alternativnih koncepcija iz Newtonove mehanike kod učenika na dva različita stupnja učenja fizike. Sudjelovalo je 170 učenika prvih i trećih razreda iz tri različite srednje škole u Zagrebu. Učenici prvog razreda, njih 88, u vrijeme testiranja učili su fiziku 3 godine, dok su učenici trećeg razreda, njih 82, u vrijeme testiranja učili fiziku 5 godina. Test se sastojao od osam tvrdnji koje su učenici trebali označiti točnima ili netočnima. Polovica tvrdnji bila je točna, a polovica netočna. Ako je neka od tvrdnji označena netočnom, učenici su trebali dati obrazloženje zašto odbacuju tvrdnju, dok tvrdnje koje su označene točnima nije bilo potrebno obrazlagati. Za svaku ponuđenu tvrdnju, učenici su trebali naznačiti koliko su sigurni u svoj odgovor zaokruživanjem jedne od četiri predložene razine sigurnosti: 1 (samo nagađanje), 2 (nije sigurno), 3 (prilično sigurno), 4 (potpuno sigurno). Prikupljeni podaci analizirani su probabilističkim Raschovim modelom. Odnos učeničkog iskazanog stupnja sigurnosti i težine zadataka može pomoći u određivanju koliko su učenici uvjereni u određene ideje i u prepoznavanju čvrstih alternativnih koncepcija. Uočeno je da je težina zadataka bila podjednaka za obje grupe učenika tj. za učenike prvih i trećih razreda, te da su obje skupine učenika najviše netočnih odgovora davale na tri ista konceptualna pitanja. Kako su to konceptualna pitanja koja karakterizira najviše netočnih odgovora i visok stupanj pouzdanosti učenika, što upućuje na čvrste alternativne koncepcije, valja ih prokomentirati.

Prvo takvo pitanje nudilo je učenicima ideju da stalna rezultatna sila uzrokuje stalnu brzinu gibanja tijela. S tom konstatacijom složilo se 55% učenika prvih razreda i 67% učenika trećih razreda. Ovdje je uočeno da se učenici, nakon izvjesnog vremena, koje je prošlo od poučavanja tog gradiva na nastavi, vraćaju svojim alternativnim koncepcijama, što objašnjava činjenicu da se više učenika trećih nego prvih razreda složilo s ponuđenom idejom. Međutim, uočavamo i da je više od polovice učenika prvih razreda odgovorilo pogrešno, iako je njima ova tema svježija.

Iduće pitanje ponudilo je ideju da na tijelo koje miruje ne djeluje nijedna sila. Rezultati pokazuju da se većina učenika obje skupine nije složila s navedenom tvrdnjom, no kao obrazloženje su navodili postojanje samo gravitacijske sile, dok je manjina učenika, oko 40% u obje skupine, navela postojanje i gravitacijske sile i sile reakcije podloge. Autori navode kako odgovori na ovo pitanje upućuju na dva važna problema: učenici ne primjenjuju prvi Newtonov zakon i ne razumiju koncept sile reakcije podloge.

Treće pitanje nudi tvrdnju da teža tijela brže padaju. Analizom je utvrđeno da se 69% učenika prvih razreda i 65% učenika trećih razreda složilo s tom konstatacijom. U članku se navodi da su neki od pristaša ove teze obrazlagali da na masivnije tilo djeluje veća gravitacijska sila, koja uzrokuje njegov brži pad, dok su izjave onih koji se nisu slagali bile „sva tijela padaju jednako brzo u vakuumu“ ili „gravitacija je ista za sva tijela“. Na temelju

analize i velikog postotka učenika koji se s visokom sigurnošću slažu s ovom tvrdnjom zaključeno je da je ovo teza koja je vrlo logična i intuitivna učenicima te da će tu alternativnu koncepciju biti vrlo teško iskorijeniti.

Također, spominju se dva konceptualna pitanja koja su povezana s razumijevanjem III. Newtonovog zakona. U jednome od njih konstatira se da pri sudaru dvaju automobila oni djeluju silama jednakoga iznosa jedan na drugoga. Više od polovice učenika iz obje skupine odbacilo je tvrdnju uz obrazloženja da sile ovise o masi i brzini automobila, ili o masama i ubrzanjima. U idućem zadatku ponuđena je ideja da Zemlja gravitacijski privlači jabuku jednakom silom kao i jabuka Zemlju. Mnogi učenici davali su obrazloženja iskazujući očekivanu alternativnu koncepciju, poput: „To nije moguće. Sila jabuke na Zemlju mora biti puno manja od sile Zemlje na jabuku.“ tj. učenici su svoje zaključke donosili uspoređujući mase promatranih objekata.

Ovim istraživanjem analizirana je učenička sigurnost u netočne odgovore u području Newtonove mehanike. Rezultati su pružili uvid u postojanje čvrstih alternativnih koncepcija, od kojih su tri posebno izdvojene, zbog najučestalijih pogrešnih odgovora s visokom razinom sigurnosti u obje skupine. Ove alternativne koncepcije odražavaju sljedeća čvrsta uvjerenja učenika: a) stalna rezultantna sila uzrokuje stalnu brzinu, b) na tijelo koje miruje ne djeluje nijedna sila, c) teža tijela brže padaju. Provedena studija upućuje na to da svakodnevna iskustva učenicima pružaju podlogu da razvijaju intuitivne ideje o različitim situacijama u dinamici, kao što su sudari tijela, padanje tijela i sl. Takva bliskost Newtonove mehanike s učeničkim iskustvima rezultira stvaranjem čvrstih alternativnih koncepcija koje se kasnije teže mijenjaju. Stoga autori navode kako je potrebno da učenici postanu svjesni svojih ideja, a zatim se suoče s njima kroz razne eksperimente i/ili simulacije i u konačnici kroz raspravu i istraživanja odbace alternativne koncepcije i prihvate Newtonove ideje. Važnost ovog rada za naše istraživanje je u tome što je pokazalo da naši gimnazijalci imaju značajnih problema s razumijevanjem Newtonovih zakona, a to će vjerojatno voditi i do problema u njihovoj primjeni.

Za primjenu Newtonovih zakona često se kao pomoćno sredstvo koriste dijagrami sila. Dijagrami sila pružaju vizualnu reprezentaciju svih sila koje djeluju na objekt od interesa. Ovakav prikaz zorno prikazuje koje su sile prisutne i u kojim smjerovima djeluju na tijelo. Također, dijagrami pomažu pri prijelazu na matematičku reprezentaciju, odnosno pri zapisivanju vektorskih i skalarnih jednadžbi. U konačnici, dijagram sila koristan je i za evaluaciju računskog postupka i dobivenog rješenja.

Idući članak, relevantan za naše istraživanje, je rad autora D. Rosengranta, A. van Heuvelena i E. Etkine (Rosengrant, van Heuvelen & Etkina, 2009), koji se bavio problematikom koriste li i razumiju li studenti dijagrame sila. Iza članka stoji dvogodišnja studija koja se provodila kvantitativno i kvalitativno u dvosemestralnom kolegiju fizike, gdje je godišnje na kolegiju oko 500 studenata. Studija je tražila odgovor na tri pitanja:

- a) Hoće li studenti koji uče fiziku u okruženju bogatom reprezentacijama, posebno dijagramima sila, samostalno koristiti dijagrame sila kako bi im pomogli u rješavanju problema?
- b) Jesu li studenti koji koriste dijagrame sila za rješavanje problema na ispitima uspješniji od onih koji to ne čine?
- c) Kako studenti koriste dijagrame sila pri rješavanju problema?

U članku se navodi da postoje razni načini crtanja dijagrama sila. Metoda koju nastavnik koristi u ovoj studiji razvijena je od strane Eugenie Etkine i Alana van Heuvelena. Autori (Rosengrant, van Heuvelen & Etkina, 2009) navode da je nastavnik u studiji poučavao studente crtanju dijagrama sila sljedećim koracima:

- 1) Skicirajte situaciju opisanu u zadatku.
- 2) Zaokružite objekt od interesa na skici – nazovite ovo sustavom.
- 3) Modelirajte sustav kao točkasti objekt.
- 4) Potražite objekte izvan sustava koji su u interakciji sa sustavom.
- 5) Nacrtajte strelice koje predstavljaju vanjske interakcije koje utječu na objekt. Nacrtajte repove tih strelica počevši od točke koja predstavlja sustav. Nacrtajte duljine strelica tako da kvalitativno predstavljaju odnos relevantnih veličina.
- 6) Označite sile u dijagramu s dva indeksa koji identificiraju dva objekta u interakciji.

U članku se naglašava da je nastavnik koristio oblik istraživački usmjerenog poučavanja, poznat kao ISLE (Investigative Science Learning Environment), te je cijeli kolegij bio orijentiran interaktivnim predavanjima, korištenju raznih reprezentacija (verbalne, matematičke, grafičke, dijagramske...), pri čemu su studenti bili poučavani kako iz jednog prikaza doći do drugog, radu u manjim skupinama te su studenti za svoj rad dobivali povratne informacije. S druge strane, provela se i dodatna studija na istom kolegiju, koja je služila kao kontrola. Ovaj je kolegij predavao i drugi nastavnik, koji nije slijedio ISLE pristup i aktivno učenje fizike. Iako su njegova predavanja bila zanimljiva i interaktivna, nije se obrađivao dijagram sila, niti je nastavnik poučavao studente raznim reprezentacijama te prijelazu iz jednog prikaza u drugi.

Kvantitativni podaci za istraživanje proizašli su od studentskih radova na odabranim zadacima višestrukog izbora. Zadaci su birani tako da ih je bilo teško riješiti bez primjene dijagrama sila. Ispitivanju je pristupilo 125 nasumično odabranih studenata prve godine te 120 studenata druge godine, pri čemu je upotrijebljen Kruskal-Wallaceov test, te se utvrdilo da je odabrani uzorak ispitanika reprezentativan za cijelu studentsku populaciju s

tih godina studija. Studenti prve godine rješavali su pet zadataka, studenti druge godine sedam zadataka, a studenti iz kontrolne skupine dobili su dva ista zadatka kao i studenti prve godine. Kako se za kontrolnu skupinu koristio manji broj problema analizirani su radovi svih 479 učenika u kontrolnoj skupini. Kod analize prikupljenih podataka, kodirali su se dijagrami sila s četiri moguća koda: „0“ - ne postoji, „1“ - neadekvatan, „2“ - potrebno poboljšanje, „3“ - adekvatan. Rezultati pokazuju da je u prosjeku 58% studenata, koji su učili fiziku u okruženju bogatom reprezentacijama (ISLE), crtalo dijagrame sila kao pomoć pri rješavanju svih 12 zadataka. Usporedbom rezultata za dva problema za koje je postojala kontrolna skupina, 17% studenata iz kontrolne skupine je konstruiralo dijagram sila, dok je 68% studenata iz ISLE programa crtalo dijagram sila. Ograničenje ove studije je to što nije moguće usporediti svih 12 zadataka nego samo dva. Autori izdvajaju jedan problem s prve godine studija, gdje je najveći broj polaznika ISLE programa konstruirao dijagram sila (80.8%). S druge strane, tek 22.5% studenata kontrolne skupine je crtalo dijagram sila na istom zadatku. Također, ovih 22.5% je niži udio crtanja dijagrama sila od bilo kojeg za 12 problema koje su postigli studenti poučavani primjeni dijagrama sila.

Kako bi saznali jesu li studenti koji crtaju dijagrame sila uspješniji od onih koji to ne čine, autori uvode mjeru koju nazivaju „stopa uspješnosti“. Stopa uspješnosti skupine je postotak studenata koji su točno riješili zadatak unutar četiri skupine formirane na temelju kvalitete njihovog dijagrama sila. Daljnjom analizom pronađeni su neki trendovi. Studenti koji su konstruirali adekvatan dijagram sila vrlo su često (85%) točno riješili zadatak. Studenti koji su imali najmanju vjerojatnost da će točno riješiti zadatak (njih 38%), pripadali su skupini neadekvatnih dijagrama sila. Uočeno je da se ovaj trend nastavlja i u kontrolnoj skupini, samo s manjim postotkom studenata koji su konstruirali dijagram sila. Za utvrđivanje postoji li značajna statistička razlika u stopama uspjeha jednih i drugih studenata koristila se hi-kvadrat analiza. Utvrđeno je da uistinu postoji razlika, odnosno da su studenti koji crtaju adekvatne dijagrame sila uspješniji od studenata koji crtaju neadekvatne dijagrama ili ih uopće ne crtaju.

Odgovor na pitanje kako studenti koriste dijagrame sila autori su tražili kvalitativnom studijom. U istraživanju je sudjelovalo šest studenata s druge godine studija. Odabrani su studenti različitih profila tj. dva studenta s visokim uspjehom (jedan je crtao mnogo dijagrama sila, a drugi nije) i dva studenta s niskim uspjehom (jedan koji je crtao mnogo dijagrama sila, a drugi nije) te dva studenta koji su u prvom semestru imali drugog nastavnika i položili kolegij s odličnim uspjehom. Podaci za kvantitativnu studiju prikupljeni su iz kvantitativnih ispita sudionika te iz dva intervjua. U prvom intervjuu sudionici su rješavali zadatak otvorenog tipa sličan zadatku višestrukog izbora na kvantitativnom istraživanju. Od sudionika se tražilo da opisuju sve o čemu razmišljaju i što rade kada rješavaju zadatak. Svaki intervju je snimljen i transkribiran. Preslušavanjem intervjua autori su napravili popis studentskih komentara i te komentare podijelili u četiri kategorije:

- 1) studentski komentari koji se odnose na korištenje dijagrama sila za razumijevanje

problema/ koncepta

- 2) komentari koji se odnose na korištenje dijagrama sila za rješavanje problema
- 3) komentari koji se odnose na korištenje dijagrama sila za vrednovanje vlastitog rada i/ ili odgovora
- 4) komentari koji se odnose na korištenje dijagrama sila za provjeru konzistencije s drugim prikazima.

Uočeno je da je dvoje studenata s najvišim uspjehom, koji su i ispravno riješili zadatak, dalo najviše komentara u sve četiri kategorije. Jedna od studentica s niskim uspjehom jedina je komentirala kako joj je dijagram sila pomogao riješiti problem, iako je bio netočan, dok su ostali studenti rekli da su koristili dijagram samo kako bi razumjeli problem. Također, uočeno je da su svi sudionici nacrtali skicu na početku zadatka, no samo oni iz ISLE programa nastavili su modelirati isti proces rješavanja kao što su naučili na kolegiju. Međutim, kod studenata s niskim uspjehom uočeno je da crtaju dijagram sila mehanički. Od preostalo dvoje studenata jedan je nacrtao neke strelice da si razjasni situaciju i nakon što je shvatio što se događa, prestao je crtati, dok je druga studentica komentirala da ne želi crtati dijagrame sila, jer ih ne razumije.

Sumirajmo ono najvažnije što je otkriveno ovim istraživanjem. Iz kvantitativnih podataka uočeno je da 58% studenata koji su poučavani u okruženju bogatom reprezentacijama (ISLE) crta dijagrame sila rješavajući problem. Također, u 8 od 12 zadataka više je studenata crtalo dijagrame sila nego što nije. Isto tako, uočeno je da studenti iz ISLE programa primjenjuju dijagrame i izvan područja mehanike. Zatim, uočeno je da su svi studenti s kvalitetnim dijagramom sila imali veću vjerojatnost da će točno riješiti problem. S druge strane, studenti s neadekvatnim dijagramima imali su veću vjerojatnost da će netočno riješiti problem, veću od studenata kod kojih nije pronađen konstruiran dijagram sila. Oba gornja rezultata statistički su značajna. Kvalitativna studija produbila je kvantitativnu dodavanjem argumenata zašto studenti koriste dijagrame sila. Utvrđeno je da je svih šest intervjuiranih studenata spontano nacrtalo skicu kada su počeli rješavati zadatak. No, samo oni studenti, koji su ranije poučavani primjeni dijagrama sila, nacrtali su i njega za konstruiranje matematičkog zapisa. Samo studenti s odličnim uspjehom koristili su dijagram sila za evaluaciju svog rada. Još jedna zanimljiva činjenica otkrivena je kvalitativnom studijom: podaci sugeriraju da će studenti koji koriste dijagrame sila poboljšati svoje ocjene na kolegiju.

Poglavlje 2

Metodologija istraživanja

Ovo poglavlje sadrži pregled metodologije korištene u svrhu provođenja istraživanja. Cilj ove studije je istražiti jesu li učenici koji crtaju dijagrame sila uspješniji u primjeni Newtonovih zakona u mehanici od učenika koji ih ne crtaju. Također, želi se utvrditi utječe li kvaliteta dijagrama sila na uspješnost rješavanja testa.

Istraživanje je provedeno kvantitativno u pet prvih razreda jedne gimnazije iz okolice Zagreba, odnosno na 111 učenika, poučavanih od dviju nastavnica fizike. Kvantitativni pristup omogućava prikupljanje većeg broja podataka o općim tendencijama pri primjeni dijagramske reprezentacije. Istraživanje je provedeno nakon obrade gradiva o Newtonovim zakonima i sumativnog vrednovanja učenika u redovnoj nastavi. Prikupljeni podaci dobiveni su iz učeničkih radova na zadacima otvorenog tipa. Zadaci su odabrani tako da ih je bilo teško riješiti bez dijagrama sila. Nakon odabira zadataka, provjereno je koliko je vremena nama potrebno za rješavanje. Kako je naše vrijeme rješavanja manje od 20 minuta, test je pogodan da ga učenici srednje škole riješe u jednom školskom satu. Učenici su rješavali dvije različite verzije testa. Obje verzije testa sadržavale su šest istih zadataka, posloženih prema rastućoj težini. U verziji A eksplicitno se tražilo od učenika crtanje dijagrama sila, a u verziji B ne. Svaki razred koji je pristupio testiranju rješavao je obje varijante, pola-pola, zbog kontrole varijable profesora. Kako bi se pridržavali etičkih smjernica tj. osigurali anonimnost učenika, testove su rješavali pod šifrom. Na početku svakog testa traženi su osnovni podatci (šifra, razred, datum), koje su učenici trebali upisati, i dane su kratke upute za rješavanje.

Dobivena rješenja bodovana su prema unaprijed napravljenom modelu točnog odgovora (vidi Dodatak) po principu da jedan bod ide za konačan rezultat s ispravnom mjernom jedinicom, dok po jedan bod ide za svaki korak u postavljanju. Dodatno, kvalitetu dijagrama sila evaluirali smo kodovima preuzetih iz članka (Rosengrant, Van Heuvelen & Etkina, 2009).

KODOVI			
0 Ne postoji	1 Neadekvatan	2 Potrebno je poboljšanje	3 Adekvatan
Nije konstruiran dijagram sila.	Dijagram sila je konstruiran, ali sadrži velike pogreške kao što su manjak ili višak sila. Sile mogu biti usmjerene u pogrešnom smjeru.	Dijagram sila ne sadrži pogreške kao što su nepostojeće ili dodatne sile, ali nedostaje ključna značajka, kao što su oznake ili je sila krivo označena. Duljine strelica mogu biti netočne.	Dijagram ne sadrži pogreške što se tiče broja sila, smjera i duljina vektora sila. Svaka sila je označena tako da je jasno o čemu se radi i što predstavlja.

Tablica 2.1: Rubrike za kodiranje dijagrama sila (prilagođeno prema članku (Rosengrant, Van Heuvelen & Etkina, 2009))

Kako se u verziji A tražilo crtanje dijagrama sila, dijagrami sila bodovani su tako da je oznaka koda ujedno bila i broj bodova. U verziji B dijagrami sila kodirani su za kasniju analizu, ali nisu bodovani učenicima. Potrebno je komentirati kodiranje dijagrama sila u B varijanti testa, koji su označeni kodom 0 - "Ne postoji". Ovaj nulti kod ne mora nužno značiti da učenici nisu konstruirali dijagram sila u svojoj glavi ili na nekom pomoćnom papiru, to samo znači da nisu pronađeni nikakvi dokazi o konstrukciji.

Nakon bodovanja zadataka i evaluacije dijagrama sila, kvantitativni podaci unijeti su u Excel za daljnje analize. Najprije su analizirani podaci po razredima. Rezultati učenika iz svakog razreda unijeti su na poseban radni list, a zatim je izračunat postotak riješenosti testa za svakog od njih (pod šifrom) te postotak riješenosti pojedinog zadatka. Postotak riješenosti računao se tako da se broj osvojenih bodova podijelio s brojem mogućih bodova. Ovi izračuni, uz komentar o uočenim poteškoćama i implikacijama za nastavu poslani su nastavnicama kao povratna informacija.

Za dobivanje odgovora na postavljena istraživačka pitanja, važno je bilo usporediti rezultate grupa A i B. Ovaj put podaci su unijeti u Excel, svaka grupa na svoj radni list. Grupu A rješavalo je 57, a grupu B 54 ispitanika. Za svaku od grupa ponovno je izračunat postotak riješenosti testa po ispitaniku, postotak riješenosti svakog zadatka te prosječan broj bodova na dijagramima sila. Također, za potrebe analize grafova izračunata je standardna devi-

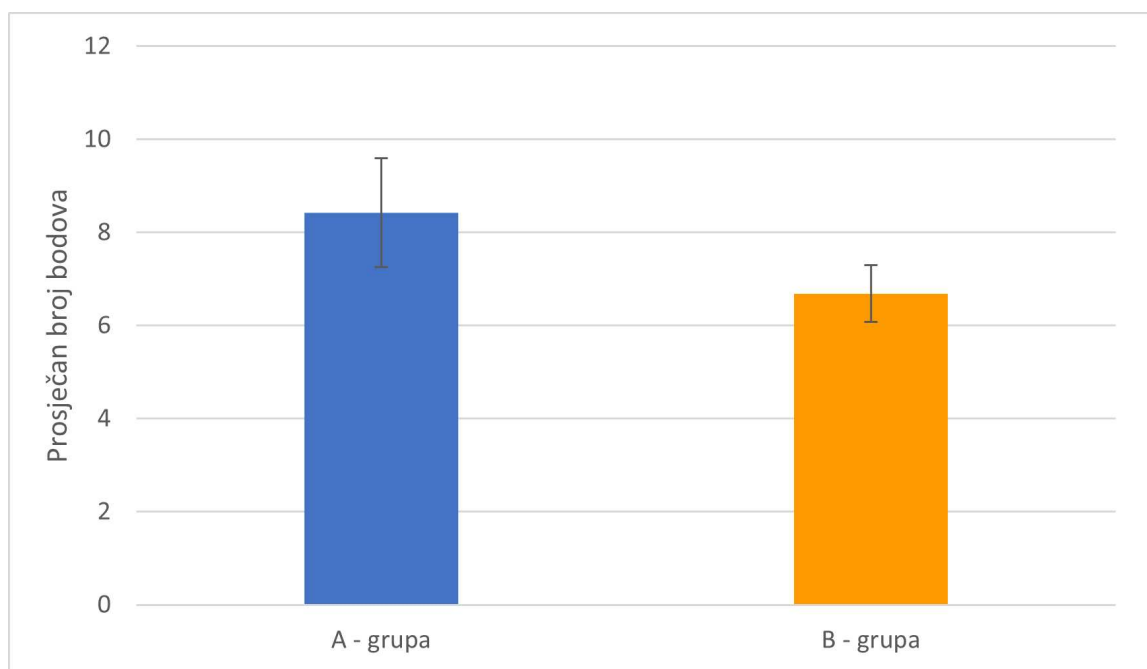
jacija svakog skupa podataka te iz nje standardna pogreška srednje vrijednosti. Zatim je napravljen graf osvojenih bodova po zadatku, s uključenim standardnim pogreškama srednje vrijednosti, (bez bodova za dijagrame sila) za grupu A i B, kako bismo usporedili imali razlike između grupa po uspjehu. Za svaki zadatak proveden je t-test zbog utvrđivanja jesu li uočene razlike statistički značajne. T-test proveden je uz pomoću online t-test kalkulatora (<https://www.graphpad.com/quickcalcs/ttest1/?format=SEM>). Korišten je neupareni t-test i unijeti su podaci srednje vrijednosti, standardne pogreške srednje vrijednosti te broj ispitanika za svaki zadatak. Napravljeni su histogrami za ukupni rezultat grupe A (bez uključenih bodova za dijagrame sila) i grupe B, sa standardnim pogreškama srednje vrijednosti. Isto tako, za svaku je grupu napravljen graf ovisnosti postotka riješenosti testa o prosječnom broju bodova na dijagramima sila tj. scatterplot, gdje je svaki učenik predstavljen jednom točkom. U tim dijagramima promatraju se trendovi u podacima.

Poglavlje 3

Rezultati i diskusija

3.1 Ukupni rezultati

Slika 3.1 prikazuje prosječan broj postignutih bodova obje grupa.



Slika 3.1: Prosječan broj bodova grupa A i B s pripadnim pogreškama srednje vrijednosti

Promatrajući prosječan broj postignutih bodova na testu, uočeno je da su ispitanici grupe A, od kojih se tražilo crtanje dijagrama sila, postigli prosječno veći broj bodova, od ispi-

tanika u grupi B. Kako bi se utvrdilo je li razlika u prosječnom broju bodova statistički značajna, napravljen je t-test.

Skupina	A	B
Srednja vrijednost	8.42	6.69
Standardna devijacija	5.07	4.50
Standardna pogreška srednje vrijednosti	0.67	0.61
Broj ispitanika - N	57	54

Tablica 3.1: Podaci potrebni za provedbu t-testa

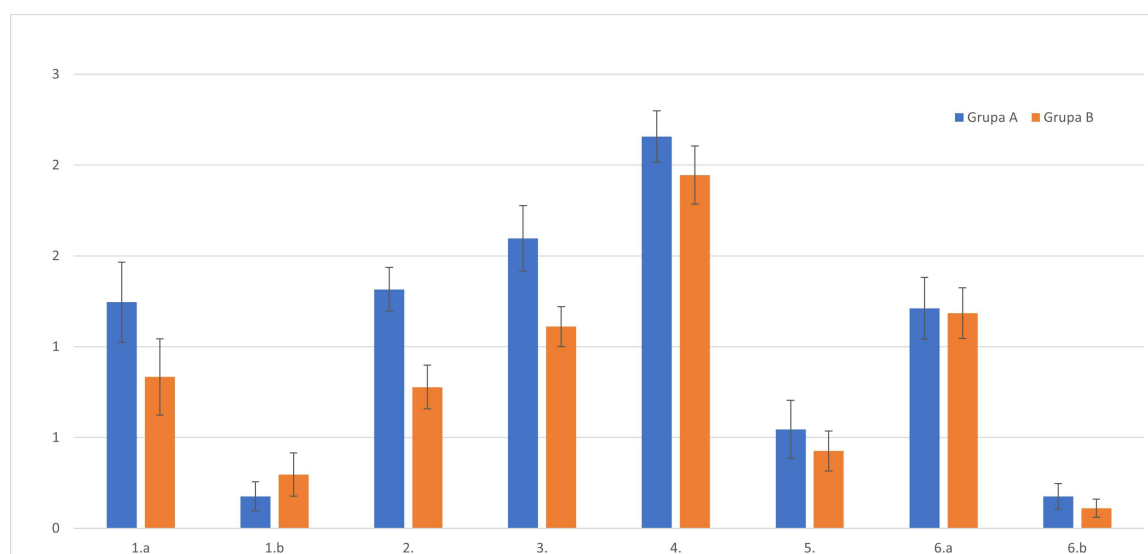
Provedbom t-testa dobivena je vrijednost $p = 0.0594$. Kako statistički značajne razlike postoje za $p < 0.05$ ovaj rezultat interpretira se kao ne sasvim statistički značajan. Istraživanje bi valjalo ponoviti na većem broju ispitanika.

Slijedi analiza po zadatcima.

Broj zadatka	Prosječan broj bodova-grupa A	Standardna devijacija-grupa A	Standardna pogreška srednje vrijednosti-grupa A	Prosječan broj bodova-grupa B	Standardna devijacija-grupa B	Standardna pogreška srednje vrijednosti-grupa B
1.a	1.25	1.69	0.22	0.83	1.53	0.21
1.b	0.18	0.60	0.08	0.30	0.88	0.12
2.	1.32	1.34	0.12	0.78	0.86	0.12
3.	1.60	1.37	0.18	1.11	0.82	0.11
4.	2.16	1.05	0.14	1.94	1.19	0.16
5.	0.54	1.20	0.16	0.43	0.82	0.11
6.a	1.21	1.29	0.17	1.19	1.03	0.14
6.b	0.18	0.84	0.07	0.11	0.347	0.05

Tablica 3.2: Prosječan broj bodova po zadatku sa standardnim devijacijama i standardnim pogreškama srednje vrijednosti uz $N_A = 57$ i $N_B = 54$

Može se uočiti da su učenici u grupi A postigli prosječno više bodova u rješavanju svih zadataka, osim 1.b, u usporedbi s grupom B.



Slika 3.2: Prosječan broj bodova po zadatku

Iz slike 3.2 je uočeno da se na nekim zadacima intervali standardnih pogrešaka srednje vrijednosti obje grupe preklapaju, dok su na nekim zadacima intervali standardnih pogrešaka potpuno odvojeni. Očekuje se da će statistički značajna razlika postojati u onim zadacima u kojima nema preklapanja intervala standardnih pogrešaka srednje vrijednosti tj. u 2. i 3. zadatku. Kako bi se potvrdila očekivanja, proveden je t-test za svaki zadatak.

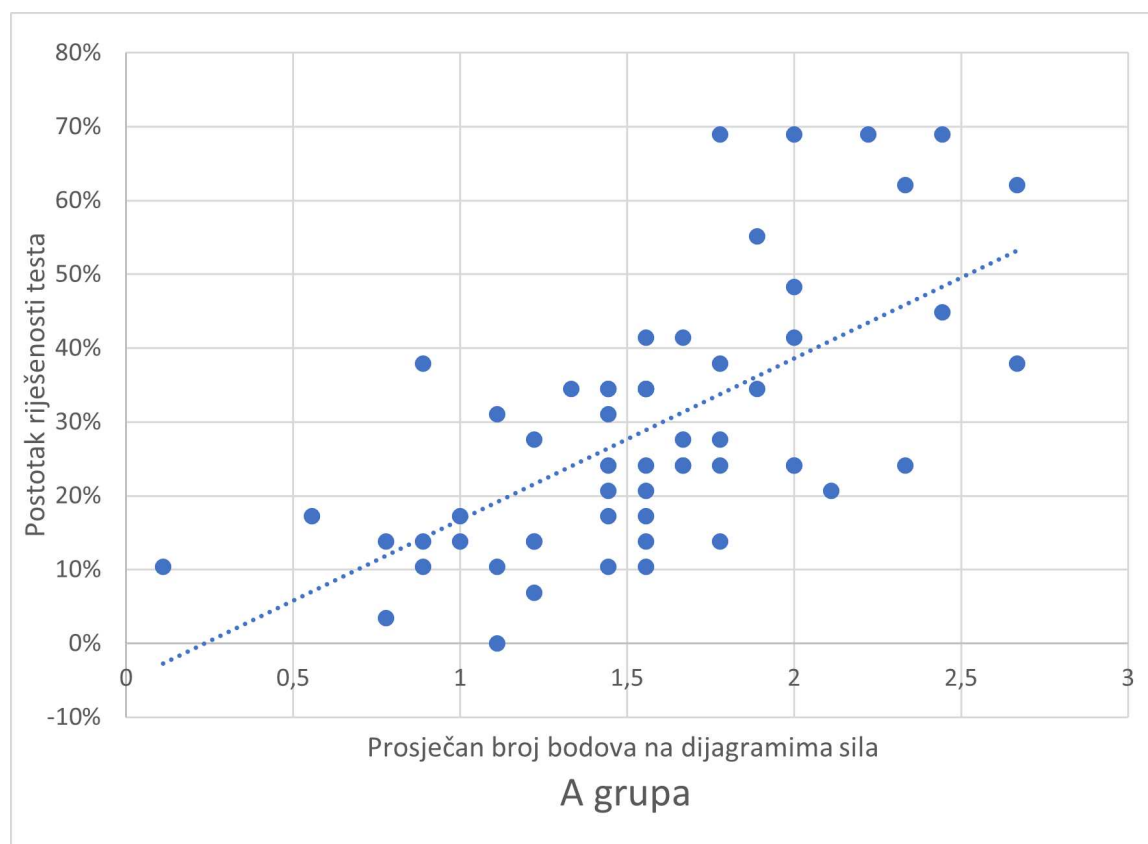
Broj zadatka	p -vrijednost	Statistički značajno
1.a	0.1814	NE
1.b	0.3986	NE
2.	0.0138	DA
3.	0.0267	DA
4.	0.3171	NE
5.	0.5471	NE
6.a	0.9097	NE
6.b	0.4679	NE

Tablica 3.3: Rezultati t-testa za usporedbu uspješnosti grupa A i B na svakom od zadataka

U tablici 3.3 prikazani su rezultati t-testa. Utvrđeno je pomoću t-testa da postoji statistički značajna razlika između skupine A ($M = 1.32$, $SD = 0.18$) i skupine B ($M = 0.78$, $SD = 0.12$), uz $p = 0.01$, $t = 2.5$ i $df = 109$, na drugim zadatku. Također, statistički

značajna razlika između skupine A ($M = 1.6$, $SD = 0.18$) i skupine B ($M = 1.11$, $SD = 0.11$), postoji na trećem zadatku uz $p = 0.03$, $t = 2.25$ i $df = 109$. Stoga se može tvrditi da razlika koja je nađena, bez obzira na njenu veličinu, nije slučajna, već da crtanje dijagrama sila utječe na uspješnost rješavanja 2. i 3. zadatka. S druge strane, vezano uz zadatke u kojima razlika nije statistički značajna, postoje dva moguća tumačenja. Ili je razlika dobivena mjerenjem slučajna posljedica variranja uzorka ili među populacijama kojima ti uzorci pripadaju stvarno nema nikakvih razlika. Za statistički neznačajan ishod može se dati obrazloženje za neke od zadataka. Kako su zadaci u testu bili posloženi prema pretpostavljenoj rastućoj težini, u samom startu očekivala se slabija riješenost najtežih dvaju zadataka, 5. i 6.b. Očekivanje se potvrdilo, pa se za njihove rezultate može reći da su ti zadaci na višoj kognitivnoj razini zahtjevnosti, kakve u toj dobi rješava vrlo mali broj učenika, pa im niti dijagram sila tu puno ne pomaže. Što se tiče 4. zadatka, u razgovoru s nastavnicama koje su poučavale učenike došlo se do saznanja da se taj zadatak rješavao na nastavi. Možemo primijetiti da je na tom zadatku postignuto prosječno najviše bodova u obje grupe. Zbog toga što su učenici od ranije upoznati s tim zadatkom ne postoji statistički značajna razlika između grupa.

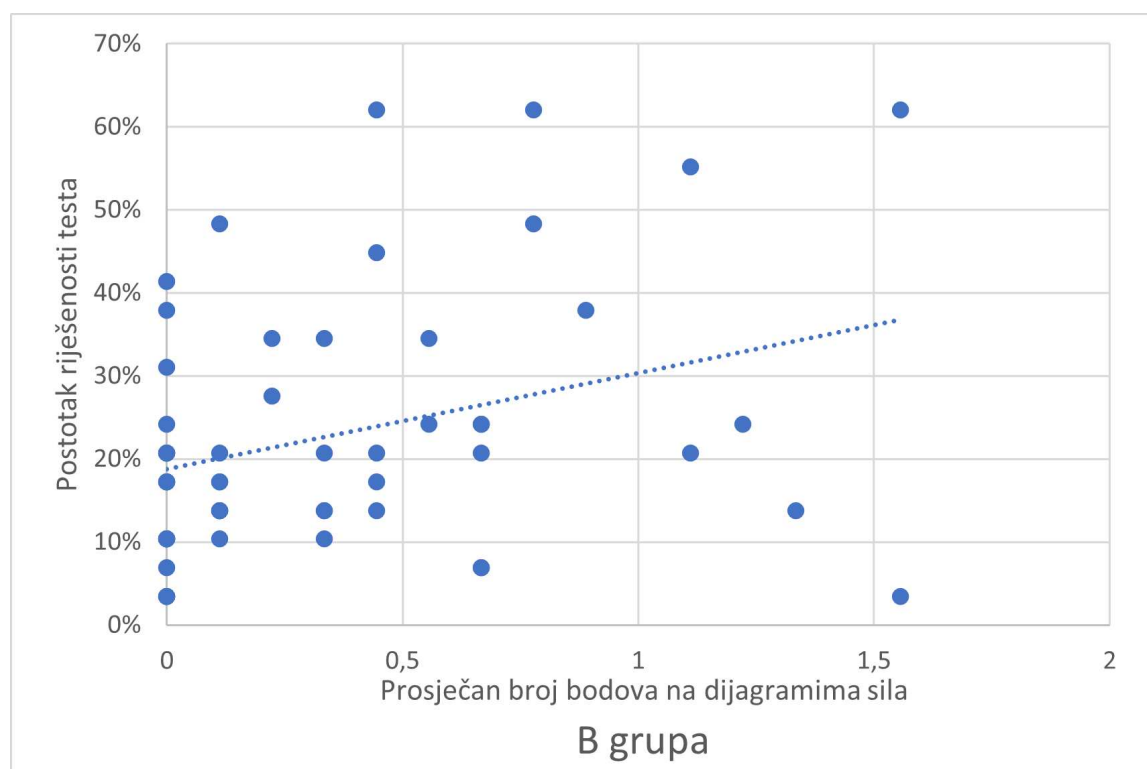
Iduće pitanje, na koje se tražio odgovor, jest utječe li kvaliteta dijagrama sila na uspješnost rješavanja testa. Pretpostavka je da će postojati neka pravilnost za ispitanike grupe A, dok će za ispitanike grupe B biti slabija ili uopće neće postojati. U iduća dva grafa (slike 3.3 i 3.4), za svaku je grupu prikazana ovisnost postotka riješenosti testa o prosjeku bodova na dijagramima sila, gdje je rezultat svakog učenika predstavljen jednom točkom.



Slika 3.3: Ovisnost riješenosti testa grupe A o kvaliteti dijagrama sila

Može se uočiti da se na slici 3.3 nazire lijepi trend. Dakle, moglo bi se reći da uistinu postoji pozitivna veza između kvalitete dijagrama sila i postotka riješenosti ispita. Rezultati su u skladu s pretpostavkom da je, ako se traži od učenika da nacrtaju dijagram sila i taj dijagram je adekvatan, tada velika vjerojatnost da će oni iz dijagramske reprezentacije prijeći na ispravnu matematičku reprezentaciju. Provjerom napisanoga, utvrđeno je da su se učenici grupe A služili svojim dijagramima sila kod prijelaza na matematičku reprezentaciju, stoga su učenici s neadekvatnim dijagramima sila, gdje je nedostajala neka od sila ili je sila bila nacrtana u pogrešnom smjeru, zapisivali neadekvatne jednačbe. Dakle, na temelju svega navedenoga, slijedi zaključak da su učenici, koji su crtali kvalitetne dijagrame sila, postizali veći broj bodova na testu.

Na slici 3.4 prikazani su rezultate za ispitanike grupe B.



Slika 3.4: Ovisnost riješenosti testa grupe B o kvaliteti dijagrama sila

Uočava se puno slabiji trend nego za grupu A. Usporedbom tri testa s najboljim rezultatima može se uočiti da jedan od tih ispitanika ima prosječan broj bodova na dijagramima sila ispod 0.5, drugi malo iznad 0.5, a treći ispitanik iznad 1.5 bodova. Isto tako učenici koji su imali 0 bodova na dijagramima sila postizali su rezultate od 0% do 50%. Dakle, postoji neki trend, ali je on znatno slabiji nego kod grupe A. Ovakav slabiji rezultat bio je za očekivati, jer u grupi B nismo inzistirali na crtanju dijagrama sila, pa mali rezultat u bodovima na dijagramima sila ne znači nužno da ti učenici nisu na neki način te dijagrame ipak konstruirali (npr. u glavi).

3.2 Rezultati po zadatcima

Slijedi pregled rezultata i analiza najčešćih pogrešaka učenika po zadatcima. Po pretpostavci najjednostavniji, zadatak 1, ipak se pokazao učenicima kao jedan od kompliciranijih. Ovo je jedini zadatak u testu vezan uz I. Newtonov zakon tj. uz tijelo koje miruje.

Zadatak 1.a: Učenik pritišće knjigu mase 2 kg o stol, vertikalnom silom od 30 N. Knjiga miruje. Kolikom silom djeluje stol na knjigu?

Postotak riješenosti po grupama prikazan je u sljedećoj tablici:

	Postotak riješenosti
A grupa	31%
B grupa	21%

Tablica 3.4: Postotak riješenosti 1.a zadatka

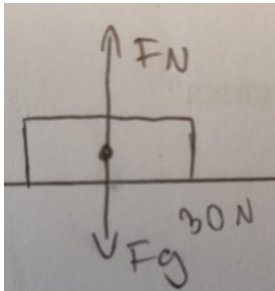
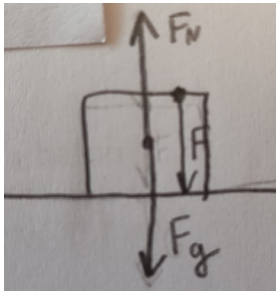
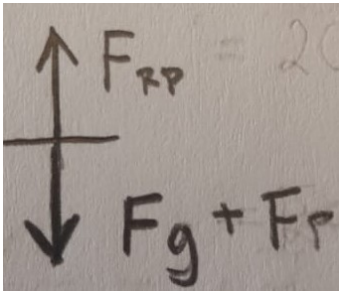
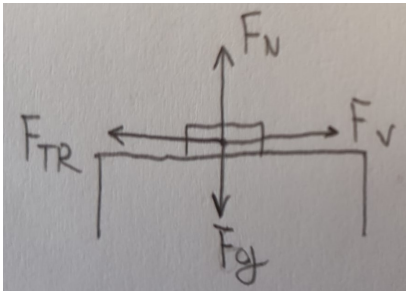
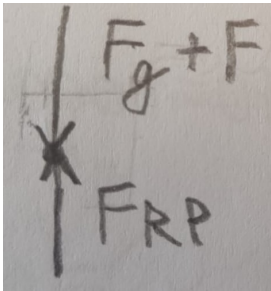
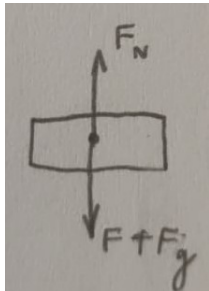
Ovo je zadatak višestrukog izbora s državne mature 2011/12. godine s postotkom riješenosti od 51%. Rezultati ispitanika u studiji su slabiji, ali treba uzeti u obzir da je u studiji bio zadatak otvorenog tipa, a na državnoj maturi zadatak višestrukog izbora što olakšava mogućnost pogađanja odgovora. Uočeno je da je čak 33% ispitanika pri rješavanju primijenilo III. Newtonov zakon pogrešno. Učenici su ispravno formulirali III. Newtonov zakon kod obrazlaganja odgovora, no svi su oni zaboravili na gravitacijsku silu, te tako zaključili da stol djeluje na knjigu silom jednakog iznosa sili kojom pritišćemo knjigu o stol. Većina tih učenika na svojim je dijagramima sila nacrtala i gravitacijsku silu, što govori da učenici nisu razvili vještinu povezivanja dijagramske reprezentacije s matematičkom.

	Udio učenika koji su crtali dijagram sila	Udio dijagrama sila s kodom 0	Udio dijagrama sila s kodom 1	Udio dijagrama sila s kodom 2	Udio dijagrama sila s kodom 3
A grupa	98%	2%	72%	11%	16%
B grupa	35%	65%	33%	4%	0%

Tablica 3.5: Udio na dijagramima sila 1.a zadatka ¹

¹Zbroj udjela dijagrama sila s kodovima 0, 1, 2 i 3 ne iznosi 100% zbog zaokruživanja. Ova napomena odnosi se na sve tablice koje sadrže podatke o udjelima.

Iz tablice 3.5 vidi se da je 35% učenika grupe B samoinicijativno crtalo dijagrame sila. Od tih 19 učenika samo je njih petero riješilo zadatak. Petero učenika grupe B je bez dijagramske reprezentacije ispravno riješilo zadatak. Primjer dijagrama sila koje su učenici crtali u ovom zadatku i njihovi kodovi prikazani su na slici ispod.

Neadekvatan	Potrebno poboljšanje	Adekvatan
		
		

Slika 3.5: Primjeri dijagrama sila na 1.a zadatku

Cjelokupno gledajući, neadekvatnih dijagrama sila bilo je najviše. Najčešći primjeri neadekvatnih dijagrama sila bili su oni koji su imali manjak sila, odnosno nisu sadržavali silu pritiska ili gravitacijsku silu. Primjer prvog neadekvatnog dijagrama na slici 3.5 je primjer dijagrama sila kod kojega postoji višak sila. Ovakav dijagram je viđen nekoliko puta u cijelom uzorku ispitanika. Može se primijetiti da se ovdje javilo učeničko nerazumijevanje i postavljene situacije u zadatku i samog crtanja dijagrama sila, jer su ovime učenici pokušali dijagram sila, koji je prikladan za neku drugu situaciju, samo uklopiti u traženu situaciju, bez razmišljanja postoje li sve te sile koje su oni nacrtali. Kod dijagrama sila kod kojih je potrebno poboljšanje najveći je problem bilo hvatište sile, kao što se vidi na slici 3.5. Isto tako, duljine vektora nisu kvalitativno odgovarale iznosima sila koje predstavljaju, dok je adekvatnih dijagrama bilo vrlo malo. Krenulo se od pretpostavke da će ovo

učenicima biti najjednostavniji zadatak no rezultati su pokazali suprotno. Nedostatak razumijevanja teorije, izostavljanje bitnih sila u zadatku te slaba dijagramska reprezentacija dovela je i do loše riješenosti, pa je tako riješenost ovog zadatka zauzela treće mjesto od začelja.

Za razliku od 1.a zadatka, očekivanja za 1.b zadatak bila su niža.

Zadatak 1.b: Učenik sada pritišće istu knjigu o strop, vertikalnom silom od 30 N. Knjiga miruje. Kolikom silom strop djeluje na knjigu?

Rezultati na ovom zadatku potvrdili su očekivanja.

	Postotak riješenosti
A grupa	6%
B grupa	10%

Tablica 3.6: Postotak riješenosti 1.b zadatka

Analizom radova uočeno je da ukupno 10 ispitanika, 5 iz grupe A i 5 iz grupe B, uspjelo doći do točnog rješenja. Samo je jedan učenik grupe A postupkom došao do rješenja, dok su ostali učenici te grupe zapisali konačan odgovor na crtu, zaključujući iz dijagrama sila koje su nacrtali ili drugačije. Od pet učenika grupe B, njih dvoje nije koristilo dijagram sila kao pomoć pri rješavanju, no svi učenici koji su došli do točnog odgovora potkrijepili su svoja zaključivanja matematičkim postupkom. Ovoga puta 57% učenika, kao i u a) podzadatku, pogrešno upotrebljava III. Newtonov zakon. Tako su svi oni zaključili da je sila kojom strop djeluje na knjigu jednaka sili kojom se knjiga pritišće o strop.

	Udio učenika koji su crtali dijagram sila	Udio dijagrama sila s kodom 0	Udio dijagrama sila s kodom 1	Udio dijagrama sila s kodom 2	Udio dijagrama sila s kodom 3
A grupa	98%	2%	81%	9%	9%
B grupa	30%	70%	30%	0%	0%

Tablica 3.7: Udio na dijagramima sila 1.b zadatka

Primijećeno je da je 30% učenika grupe B crtalo dijagram sila kao pomoć pri rješavanju, što je za 5% manje njego u a) dijelu zadatka. Ovo je jedan od zadataka u kojima učenici nisu pokušali zapisati svoje razmišljanje na papir, nego su samo zapisivali konačan odgovor na crtu. To otežava donošenje zaključka, jer ne postoji uvid u proces rješavanja i poteškoće koje su se javljale. Neki učenički dijagrami sila na ovom zadatku dani su na slici 3.6.

Neadekvatan	Potrebno poboljšanje	Adekvatan

Slika 3.6: Primjeri dijagrama sila na 1.b zadatku

Kao i ranije, neadekvatni dijagrami sila čine većinu učeničkih radova u ovom zadatku. Uočeno je da je dio učenika prikazivao silu reakcije podloge u pogrešnom smjeru tj. crtali su vektor sile reakcije podloge kao da je tijelo na podlozi, a ne ispod podloge. Naravno, ovo nije neočekivan ishod, jer su učenici navikli da se tijelo nalazi na podlozi, a ovo je za njih bila potpuno nova situacija, u kojoj se neki od njih nisu snašli.

Zaključno, za 1.b zadatak može se reći da je pravi primjer dovoljno jednostavnog, a opet situacijski drugačijeg zadatka, u kojemu se može testirati učeničko razumijevanje i snalažljivost. Kako je više od 90% radova sadržavalo samo konačan odgovor zapisan na crtu, može se konstatirati da je većina učenika prerano odustala ili brzopleto primijenila III. Newtonov zakon bez smislenog promišljanja o dobivenom rješenju.

Zadatak 2. Vatrogasac, mase 100 kg s opremom, kreće iz stanja mirovanja i klizi niz okomit stup konstantom akceleracijom, usmjerenom prema dolje, iznosa $4 \frac{m}{s^2}$. Kolika je sila trenja između stupa i vatrogasca?

Najprije je prikazan postotak riješenosti u tablici 3.8.

	Postotak riješenosti
A grupa	33%
B grupa	19%

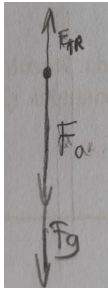
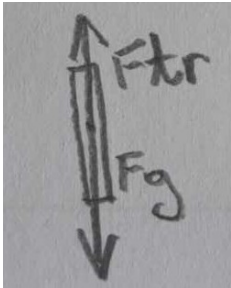
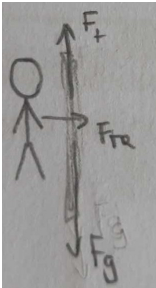
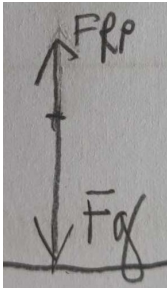
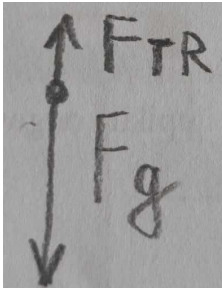
Tablica 3.8: Postotak riješenosti 2. zadatka

Postotak riješenosti od 71% preuzet je iz literature (Rosengrant, Van Heuvelen & Et-kina, 2009), a dobiven je od populacije studenata 1. i 2. godine studija, zato moramo napomenuti da taj postotak ne može biti u potpunosti usporediv s petnaestogodišnjacima, koji se prvi puta susreću s Newtonovim zakonima i njihovom primjenom. Razlika bi svakako trebala postojati, no mišljenja smo da je ovdje ipak prevelika. U ovome se zadatku očekivalo da učenici prepoznaju da se radi o II. Newtonovom zakonu te da shodno tome napišu jednadžbu koja uključuje sve sile u zadatku. Uočeno je da je 33% ispitanika zaključilo da je rezultanta svih sila jednaka sili trenja, njih čak 18% pokušalo je izračunati silu trenja pomoću ranije naučene formule $F_{tr} = \mu mg$, a samo je 19% svih učenika pokušalo zapisati jednadžbu. Od učenika koji su zapisivali jednadžbu, njih 62% ju je točno zapisalo, dok su ostali učenici griješili u predznacima sila.

	Udio učenika koji su crtali dijagram sila	Udio dijagrama sila s kodom 0	Udio dijagrama sila s kodom 1	Udio dijagrama sila s kodom 2	Udio dijagrama sila s kodom 3
A grupa	82%	18%	42%	14%	26%
B grupa	17%	83%	13%	4%	0%

Tablica 3.9: Udio na dijagramima sila 2. zadatka

Primijećeno je da je samo 17% učenika grupe B nacrtalo dijagram sila, dok je veliki dio te grupe skicirao vatrogasca na stupu i označio smjer akceleracije. Neki od primjera dijagrama sila dani su slikom 3.7, niže u tekstu. Kako su najviše od interesa neadekvatni dijagrami sila, jer se iz njih saznaju najčešće učeničke poteškoće, uočeno je da učenici imaju problema s vertikalnim prikazom sila. Neki su učenici silu trenja, vertikalnu silu prema gore, označavali kao silu reakcije podloge, a silu trenja su pokušali označiti horizontalno, dok su drugi označavali resultantnu silu na dijagramu sila oznakama F ili F_a .

Neadekvatan	Potrebno poboljšanje	Adekvatan
		
		

Slika 3.7: Primjeri dijagrama sila na 2. zadatku

Rezultati pokazuju da je ovaj zadatak treći po postotku osvojenih bodova, no analizom radova uočeno je da je najveći dio učenika dobio bodove samo za odabir II. Newtonovog zakona kao modela situacije. Praćenjem daljnjeg postupka rješavanja primijećeno je da je veliki dio tih učenika srećom iskoristio dobar model kao posljedicu proceduralnog znanja tj. poznavanja formule $F = ma$, a zbog nedostatka konceptualnog razumijevanja učenici nisu dovršili zadatak ili su dolazili do pogrešnih zaključaka.

Dijagrami sila pokazuju da učenici pokušavaju kombinirati sile iz horizontalnog prikaza s vertikalnim prikazom, pa dolazi do pogrešnih oznaka i miješanja pojmova.

Treći zadatak je primjer zadatka s državne mature [10] 2010/2011. godine čiji je postotak riješenosti bio 27%.

Zadatak 3. Balon mase 90 kg pada kroz zrak. Na balon djeluje sila otpora zraka od 300 N i sila uzgona od 60 N. Kolikom akceleracijom pada balon?

Postotak riješenosti po grupama nalazi se u tablici 3.10 ispod. Ovaj podatak iz literature može se uspoređivati s podacima dobivenim na istraživanju, jer se zapravo uspoređuju učenici sa srednjoškolskim znanjem. Rezultati grupe B podjednaki su kao rezultati maturanata, dok je grupa A postigla puno veći postotak riješenosti.

	Postotak riješenosti
A grupa	40%
B grupa	28%

Tablica 3.10: Postotak riješenosti 3. zadatka

Pregledom radova uočene su dvije podjednako velike skupine učenika s istim alternativnim koncepcijama. Prva skupina učenika, njih 33%, iznos rezultatne sile računa kao zbroj iznosa sile uzgona i sile otpora zraka, dok ga drugih 33% računa kao razliku iznosa sile uzgona i sile otpora zraka. Dok je 16% svih učenika točno riješilo zadatak i za izračun rezultatne sile koristilo sve tri sile: silu otpora zraka, silu uzgona i gravitacijsku silu, ostalih 84% učenika zanemarilo je postojanje gravitacijske sile u zadatku. U ovom zadatku predviđalo se da će učenici griješiti u postavljanju jednadžbi s obzirom na predznak sila, ali brojka od 84% učenika koji su zaboravili na postojanje gravitacijske sile je iznenađujuća. Tako je opet, kao i u prethodnom zadatku, najčešće bodovan samo odabir II. Newtonovog zakona kao modela situacije.

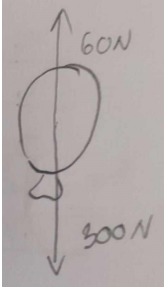
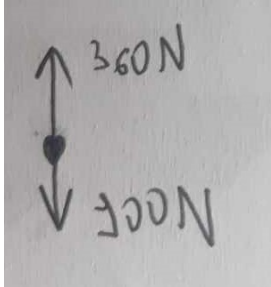
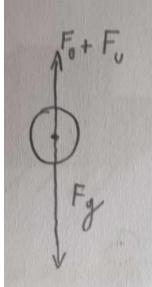
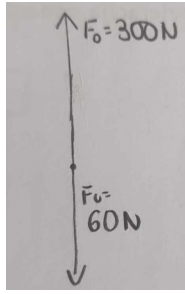
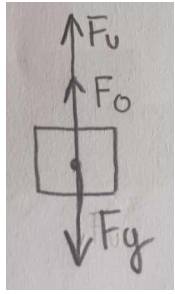
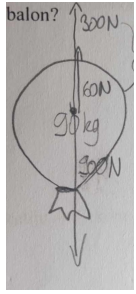
Čak su 23 učenika grupe B, što je 43%, crtali dijagram sila u ovom zadatku. Ovo je primjer zadatka u kojem je najviše učenika grupe B crtalo dijagrame sila.

	Udio učenika koji su crtali dijagram sila	Udio dijagrama sila s kodom 0	Udio dijagrama sila s kodom 1	Udio dijagrama sila s kodom 2	Udio dijagrama sila s kodom 3
A grupa	95%	5%	59%	9%	28%
B grupa	43%	57%	39%	2%	2%

Tablica 3.11: Udio na dijagramima sila 3. zadatka

Ostali udjeli dijagrama sila s kodovima prikazani su tablicom 3.11.

Primjeri kodiranih dijagrama sila nalaze se na slici 3.8.

Neadekvatan	Potrebno poboljšanje	Adekvatan
		
		

Slika 3.8: Primjeri dijagrama sila na 3. zadatku

Analizom dijagrama sila, uočeno je da od svih ispitanika njih 23% crta silu otpora zraka u smjeru padanja balona, dok 10% učenika crta silu uzgona prema dolje. I ovo je neočekivani podatak, pretpostavljalo se da će smjer sile uzgona biti lošije označavan nego smjer sile otpora zraka. Pretpostavka je proizašla iz činjenice da je sila otpora zraka poznatija učenicima iz svakodnevnih životnih situacija, npr. vožnje biciklom i sl., te da će logički zaključiti da sila otpora zraka djeluje suprotno od smjera gibanja, dok možda nisu razmišljali o uzgonu kao o sili koja ne djeluje samo u tekućinama, već i u plinovima.

Zadatak 4. Dva čovjeka guraju ormar mase 85 kg, po horizontalnoj podlozi, tako da djeluju paralelnim silama iste orijentacije. Jedan djeluje silom 27.5 N, a drugi silom od 39.5 N na ormar. Sila trenja između podloge i ormara iznosi 56 N. Ormar se giba jednoliko ubrzano. Koliko iznosi akceleracija ormara?

Rezultati ispitanika uspoređeni su s rezultatima gotovo identičnog zadatka koji se pojavio jedne godine na državnoj maturi [10]. Postotak riješenosti zadatka s državne mature bio je 69%.

	Postotak riješenosti
A grupa	72%
B grupa	65%

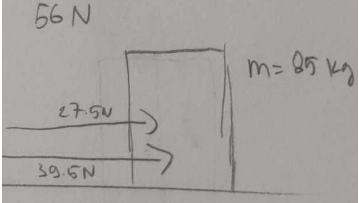
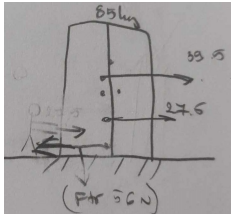
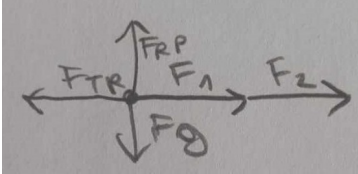
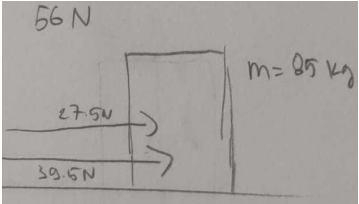
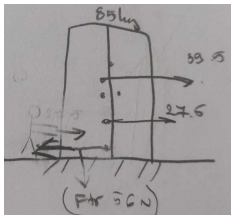
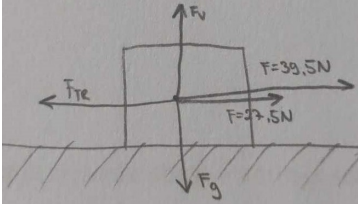
Tablica 3.12: Postotak riješenosti 4. zadatka

Uočeno je da su svi postoci riješenosti ispitanika približno jednaki, a učenici grupe A ponovno su prosječno bolje napisali nego maturanti. Kako je ranije u tekstu spomenuto, na samom testiranju nastavnice, koje su poučavale učenike, spomenule su da su ovaj zadatak rješavale na nastavi. Stoga su za ovaj zadatak postavljena visoka očekivanja. Nakon obrade rezultata potvrđeno je da je ovo najbolje riješen zadatak na cijelom testu.

	Udio učenika koji su crtali dijagram sila	Udio dijagrama sila s kodom 0	Udio dijagrama sila s kodom 1	Udio dijagrama sila s kodom 2	Udio dijagrama sila s kodom 3
A grupa	98%	2%	26%	47%	26%
B grupa	41%	59%	15%	26%	0%

Tablica 3.13: Udio na dijagramima sila 4. zadatka

Također, 41% učenika grupe B crtalo je dijagram sila na ovom zadatku. Primjeri dijagrama sila nalaze se na slici 3.9.

Neadekvatan	Potrebno poboljšanje	Adekvatan
		
		

Slika 3.9: Primjeri dijagrama sila na 4. zadatku

Može se reći da u ovom zadatku postoji najmanje neadekvatnih dijagrama sila, što znači da su na većini dijagrama nacrtane sve potrebne sile u dobrim smjerovima. U ovim dijagramima sila najviše pogrešaka bilo je zbog toga što učenici ne crtaju sve sile iz jedne točke, tj. tijelo ne predstavljaju materijalnom točkom.

Konačno, postotak ovog zadatka je zadovoljavajući, vjerojatno zato što se rješavao na nastavi. No, sama činjenica da su učenici uspjeli reproducirati naučeno, ne govori nužno i da su konceptualno razumjeli danu situaciju.

Slijede najteži zadaci na testu.

Zadatak 5. Kutija A mase, $m_A = 2$ kg, i kutija B, mase $m_B = 3$ kg, leže na horizontalnoj podlozi prislonjene jedna o drugu, kao što je prikazano na slici. Sila kojom guramo tijela iznosi $F_{ruke} = 10$ N. Kutije se gibaju. Trenje između kutija i podloge je zanemarivo. Kolikom silom djeluje kutija B na kutiju A tijekom gibanja?

Kako je zadatak sam po sebi vrlo kompleksan, jer se radi o sustavu dvaju tijela, gdje je za svako tijelo potrebno odrediti koje sve sile djeluju na njega i u kojim smjerovima, kako bismo znali napisati jednadžbe i doći do traženoga odgovora, očekivanja su bila niska. Prema danim postotcima riješenosti u tablici 3.14 utvrđeno je da su rezultati u obje grupe podjednaki, tj. moglo bi se reći da ne postoje razlike između grupa, odnosno da u ovom zadatku crtanje dijagrama sila nije znatno utjecalo na uspješnost rješavanja testa.

	Postotak riješenosti
A grupa	11%
B grupa	9%

Tablica 3.14: Postotak riješenosti 5. zadatka

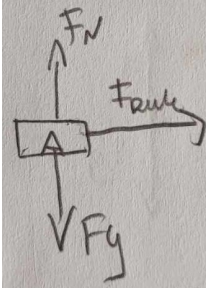
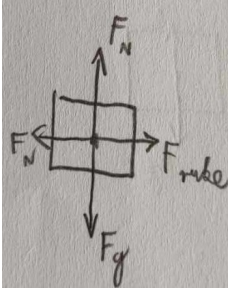
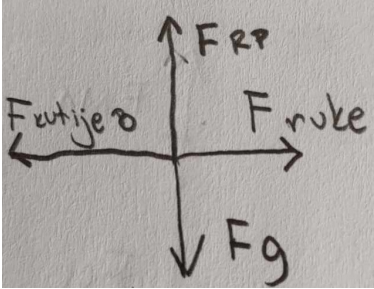
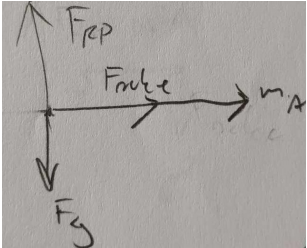
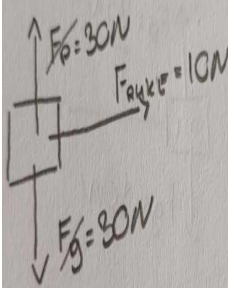
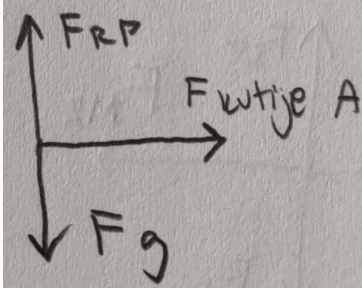
Pregledom radova uočeno je da 28 učenika grupe A, odnosno 49% grupe ovaj zadatak nije ni počelo rješavati, dok je samo 20% učenika grupe B ovaj zadatak ostavilo prazno. Dvoje učenika grupe A uspjelo je riješiti cijeli zadatak s time da je jedan od tih učenika nacrtao krivo oba dijagrama sila, dok je drugi učenik pogriješio samo u dijagramu sila za tijelo B. Jedini učenik, koji ima oba dijagrama sila adekvatno nacrtana, nije uspio riješiti zadatak. U grupi B, dvoje najboljih učenika uspjelo je izračunati akceleraciju kojom se kutije gibaju, ali nisu uspjeli doći do sile kojom jedna kutija djeluje na drugu. Također, kod nekolicine ispitanika grupe A uočeno je da pokušavaju napisati skalarnu jednadžbu koja sadrži sile i u horizontalnom i u vertikalnom smjeru. Razlog tome mogao bi biti taj da su učenici, promatrajući dijagram sila, pokušali iskoristiti sve poznato što znaju izračunati. U grupi B primijećena je druga situaciju: 20% ispitanika primjenjivalo je III. Newtonov zakon, ali pogrešno. Učenici su više manje nudili sljedeća obrazloženja: "Ruka djeluje na tijelo A silom od 10 N, znači da tijelo A istom tom silom djeluje na tijelo B (i tako B na A)."

	Udio učenika koji su crtali dijagram sila	Udio dijagrama sila s kodom 0	Udio dijagrama sila s kodom 1	Udio dijagrama sila s kodom 2	Udio dijagrama sila s kodom 3
Dijagrami sila za kutiju A - grupa A	93%	7%	56%	30%	7%
Dijagrami sila za kutiju A - grupa B	11%	89%	9%	2%	0%
Dijagrami sila za kutiju B - grupa A	82%	18%	60%	21%	2%
Dijagrami sila za kutiju B - grupa B	11%	89%	8%	4%	0%

Tablica 3.15: Udio na dijagramima sila 5. zadatka

Rezultati dijagrama sila potvrdili su očekivanja. Kako je samo 11% učenika grupe B crtalo dijagrame sila, sve miskoncepcije određene su iz A grupe. Učenici su najviše griješili u tome što su prikazivali silu kojom guramo kutiju i za kutiju B, te su zaboravljali na međudjelovanje kutija.

Slika 3.10 prikazuje najčešće crtane dijagrame sila:

	Neadekvatan	Potrebno poboljšanje	Adekvatan
Dijagrami sila za kutiju A			
Dijagrami sila za kutiju B			

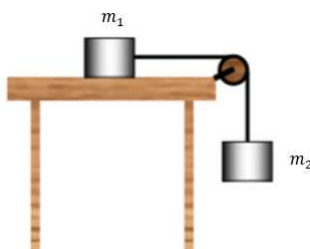
Slika 3.10: Primjeri dijagrama sila na 5. zadatku

Nakon cjelokupne analize zaključeno je da je ovakav tip zadatka vjerojatno prezahtjevan za većinu učenika, zbog čega je bilo najviše praznih papira, a kod onih učenika koji su pokušavali nešto riješiti primijećene su brojne konceptualne poteškoće, koje ih koče da započnu i provedu zadatak do kraja.

Posljednji zadatak ovog testiranja klasičan je primjer složenijeg zadatka, koji se obrađuje na redovnoj nastavi.

Zadatak 6. Slika 3.11 prikazuje tijela 1 i 2, povezana nerastezljivom niti zanemarljive mase, koja je obješena preko koloture. Masa tijela 1 iznosi 3 kg, a masa tijela 2 iznosi 2 kg. Sustav se giba prema dolje. Trenje između tijela 1 i podloge je zanemarljivo.

- a) Kolika je akceleracija gibanja sustava?
- b) Kolika je sila napetosti niti kojom su povezana tijela?



Slika 3.11: Slika iz šestog zadatka

Ponovno se radi o sustavu dvaju tijela, što znači da je zadatak kognitivno zahtjevniji. Očekivanja su ispod prosjeka u odnosu na očekivanja ostalih zadataka na ispitu, no ovo je klasičan primjer „težeg“ zadatka koji se obrađuje na nastavi stoga je pretpostavka bila da će biti bolje riješen nego prethodni, peti zadatak. U Tablici 3.16 može se primijetiti da su ukupni rezultati slabi, no ipak je A grupa bolje riješila zadatak. Iako su postoci riješenosti

	Postotak riješenosti 6.a	Postotak riješenosti 6.b
A grupa	30%	9%
B grupa	30%	6%

Tablica 3.16: Postotak riješenosti 6. zadatka

jednaki za obje grupe u a) dijelu zadatka, uočeno je da je četvero učenika grupe A u cijelosti riješilo zadatak, dok je u grupe B samo jedan učenik točno riješio zadatak, u čijem su radu uočeni korektni dijagrami sila. Isto tako, 28% učenika grupe A zadatak je pokušalo riješiti postavljanjem jednadžbi, dok je samo 13% grupe B radilo isto. Najčešće bodove u a) dijelu zadatka svi su ispitanici skupili na zapisu formule $a = \frac{F}{m}$, tj. na prepoznavanju II.

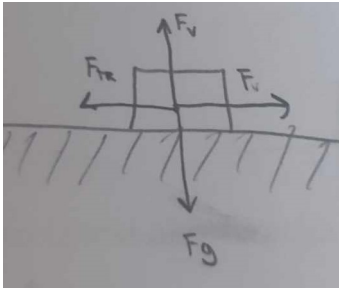
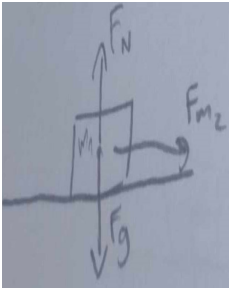
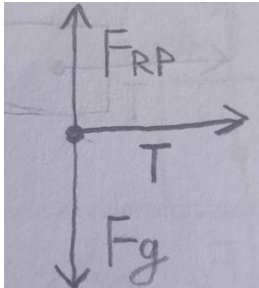
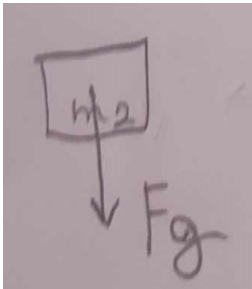
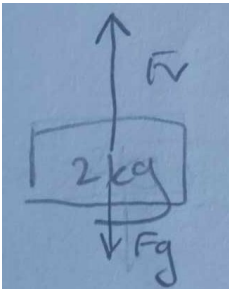
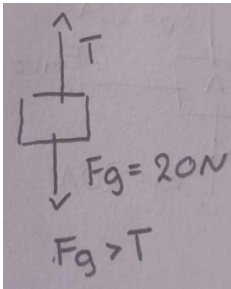
Newtonovog zakona kao modela, točnije, 33% učenika grupe A i 54% grupe B. Podzadatak b) znatno je slabije riješen, jer veliki dio učenika nije znao zapisati jednadžbu iz koje bi pomoću ranije izračunate akceleracije izračunali silu napetosti niti. Iz tablici 3.17 može se

	Udio učenika koji su crtali dijagram sila	Udio dijagrama sila s kodom 0	Udio dijagrama sila s kodom 1	Udio dijagrama sila s kodom 2	Udio dijagrama sila s kodom 3
Dijagrami sila za tijelo A - grupa A	91%	9%	26%	25%	40%
Dijagrami sila za tijelo A - grupa B	20%	80%	6%	11%	4%
Dijagrami sila za tijelo B - grupa A	89%	11%	25%	21%	44%
Dijagrami sila za tijelo B - grupa B	24%	76%	2%	4%	19%

Tablica 3.17: Udio na dijagramima sila 6. zadatku

primijetiti da je najveći broj nacrtanih dijagrama sila u grupi A bio označen kodom 3. Za grupu B vrijedi isto za dijagrame na tijelo B, dok su dijagrami na tijelo A najviše označeni kodom 2. Primjeri dijagrama sila nalaze se na slici 3.12 ispod. Također, uočeno je da je da su ispitanici grupe B najviše dijagram sila crtali na onim zadacima koji su bili rješavani na nastavi. Uz veliki broj dijagrama sila kodiranih kodom 3, primijećeno je nekoliko pogrešaka, koje su se ponovile dovoljan broj puta, pa ih je vrijedno spomenuti. Usporedbom dijagrama sila na oba tijela, primijećeno je da učenici ne razumiju da su dijagrami povezani te da sila napetosti niti postoji i u jednom i u drugom dijagramu sila. Učenici su često tu silu napetosti niti na jednom dijagramu označavali jednom oznakom, a na drugom drugačijom oznakom, a po tome je zaključeno da nisu povezali da se radi o istoj sili, bez obzira kako je označena tj. imenovana.

Uočeno je da, kao i u svim horizontalnim gibanjima u testu, neki od učenika stalno crtaju isti dijagram sila na tijelo, bez obzira što u uputama zadatka stoji napomena da je trenje

	Neadekvatan	Potrebno poboljšanje	Adekvatan
Dijagrami sila za tijelo A			
Dijagrami sila za tijelo B			

Slika 3.12: Primjeri dijagrama sila na 6. zadatku

između tijela i podloge zanemarivo. Usporedbom 5. i 6. zadatka, koji su podjednako složeni, može se uočiti da su učenici uspješniji u 6. zadatku. Razlog tome može biti od ranije poznata situacija, koja je diskutirana na nastavi. Iako je ovaj zadatak bilo mnogo teže reproducirati nego 4., učenici su barem nešto pokušali zapisati i samostalno povezati, za razliku od 5. zadatka, gdje u nepoznatoj situaciji nisu znali ni početi. Uočeno je da je veći broj učenika grupe A nego grupe B, ispravno pristupio rješavanju ovoga zadatka tj. pokušao postaviti jednadžbe gibanja. Razlog tome mogao bi ležati baš u konceptu testa, odnosno učenici, koji su danu situaciju najprije prikazali dijagramima sila, krenuli su zapisivati jednadžbe na temelju tih dijagrama. Dakako, od svih ispitanika ovdje se govori o jednoj petini, što nije iznenađujuća brojka s obzirom na količinu konceptata koje treba povezivati i koraka koje treba provesti.

Poglavlje 4

Zaključak i implikacije na nastavu

U ovom istraživanju, usmjerenom na promatranje primjene Newtonovih zakona u nastavi fizike prvog razreda srednje škole, uočeno je da crtanje dijagrama sila kao pomoć pri rješavanju pozitivno utječe na uspješnost rješavanja problema, što može sugerirati i njihov pozitivan utjecaj na razumijevanje Newtonovih zakona kod učenika.

Skupina kojoj je bilo eksplicitno zadano da konstruiraju dijagram sila postigla je bolje rezultate (iako ne statistički značajno) gledajući prosječan broj postignutih bodova, od skupine u kojoj se nije tražilo učenike da konstruiraju dijagram sila. U 7 od 8 zadataka učenici grupe A postigli su nominalno bolje rezultate od učenika grupe B. Statistički značajne razlike postoje samo u 2. i 3. zadatku.

Uočen je lijepi pozitivan trend kod promatranja ovisnosti kvalitete dijagrama sila o uspješnosti rješavanja testa za grupu A, dok je za B grupu bio znatno slabiji. Važno je napomenuti da dijagram označen kodom 0 – „nema dokaza“ ne znači da ga učenik nije koristio. Učenici su mogli konstruirati dijagram sila u svojoj glavi ili na nekom starom papiru i sl.

S konceptualne strane, najveća učenička poteškoća, koja se protezala kroz sve zadatke, bila je matematički zapis konkretne situacije. Pregledom radova vidi se da su učenici uspjeli prepoznati model, ali problem se javlja kod određivanja rezultante svih sila. Također, uočeno je da velik broj učenika griješi u primjenama II. i III. Newtonovog zakona, jer ne uzima u obzir sve relevantne sile.

Gledajući konstruirane dijagrame sila, može se konstatirati da je prosječan broj bodova grupe A za njih bio 1.56, što je po kodovima između neadekvatnog dijagrama i dijagrama u kojem je potrebno poboljšanje. Prosječan broj bodova grupe B nema smisla prikazivati, jer nije moguće usporediti grupe. Analizom konstruiranih dijagrama sila uočeno je da učenici imaju problem s konstrukcijom dijagrama sila koji prikazuju vertikalne situacije. Dosta njih vertikalnu situaciju pokušava prilagoditi standardnoj horizontalnoj, pa takvi dijagrami većinom prikazuju sile koje uopće ne postoje tj. neadekvatni su. Dijagrami koji

su prikazivali sustav tijela upućuju na to da učenici ne razumiju da su zasebni dijagrami tijela povezani.

Rezultati istraživanja podržali su hipotezu da bi upotreba dijagrama sila mogla poboljšati razumijevanje Newtonovih zakona i utjecati na uspješnost njihove primjene i rješavanja testa. Također, za rezultate grupe A podržana je i pretpostavka da je uspješnost rješavanja testa pozitivno povezana s kvalitetom dijagrama sila. Kako se za grupu B očekivao slabiji trend i to se očekivanje poklapa s ranijom pretpostavkom. Rezultati kodiranja dijagrama sila srušili su početnu pretpostavku u kojoj se očekivalo da će prosječan učenik crtati dijagrame sila koji su kodirani kodom 2, odnosno dijagrame na kojima ne nedostaje ili nema viška sila, a sve nacrtane sile usmjerene su u dobrim smjerovima.

Poznato je da je mehanika „kolijevka“ alternativnih koncepcija u fizici. Upravo zbog mnogih čvrstih alternativnih koncepcija koje se javljaju u području Newtonove mehanike i zbog same kompleksnosti primjene koncepta Newtonovih zakona javlja se potreba za istraživanjem najučinkovitijeg pristupa toj temi. Nalazi istraživanja ukazuju na važnost višestrukih reprezentacija u nastavi fizike i njihovu ulogu u primjeni složenih koncepata i zakona. Rezultati sugeriraju nastavnicima fizike da dosljedno koriste i potiču konstrukciju dijagrama sila kao sredstvo za vizualizaciju Newtonovih zakona. Dijagrami sila prvenstveno apstraktnu situaciju prevode na konkretnu, a zatim omogućuju učenicima da bolje razumiju koje sile i u kojim smjerovima djeluju na tijelo te kako prikazane sile povezati s matematičkim zapisom rezultante svih sila. Primjena dijagrama sila može pomoći učenicima u rješavanju problema i daje im dodatni alat za uspješno reprezentiranje fizikalne situacije.

Poglavlje 5

Dodatak

MODEL RJEŠENJA

Zadatak 1. a) Učenik pritišće knjigu mase 2 kg o stol, vertikalnom silom od 30 N. Knjiga miruje. Kolikom silom djeluje stol na knjigu?

b) Učenik sada pritišće istu knjigu o strop, vertikalnom silom od 30 N. Knjiga miruje. Kolikom silom strop djeluje na knjigu?

Rješenje:

a) Dijagram sila za knjigu na stolu:



Primijenimo II. Newtonov zakon za knjigu na stolu:

$$F_{REZ} = 0 \quad \mathbf{1 \text{ bod}}$$

$$0 = F_g + F - F_p \quad \mathbf{1 \text{ bod}}$$

ili

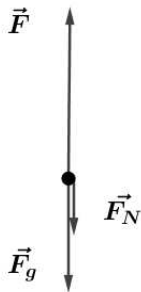
$$F_p = F_g + F \quad \mathbf{2 \text{ bod}}$$

$$F_p = 2 \cdot 10 + 30 \quad \mathbf{1 \text{ bod}}$$

$$F_p = 50 \text{ N} \quad \mathbf{1 \text{ bod}}$$

Odgovor: Stol na knjigu djeluje silom od $F_p = 50 \text{ N}$.

b) Dijagram sila za knjigu na stropu:



Primijenimo II. Newtonov zakon za knjigu na stropu:

$$F_{REZ} = 0 \quad \mathbf{1 \text{ bod}}$$

$$0 = F_g + F_N - F \quad \mathbf{1 \text{ bod}}$$

ili

$$F = F_g + F_N \quad \mathbf{2 \text{ bod}}$$

$$F_N = F - F_g$$

$$F_N = 30 - 20$$

$$F_N = 10 \text{ N} \quad \mathbf{1 \text{ bod}}$$

Odgovor: Strop djeluje na knjigu silom od $F_N = 10 \text{ N}$

p=0.51

Zadatak 2. Vatrogasac, mase 100 kg s opremom, kreće iz stanja mirovanja i klizi niz okomit stup konstantom akceleracijom, usmjerenom prema dolje, iznosa $4 \frac{m}{s^2}$. Kolika je sila trenja između stupa i vatrogasca?

Rješenje:

$$m = 100 \text{ kg}$$

$$a = 4 \text{ m/s}^2$$

$$F_{tr} = ?$$

Dijagram sila za vatrogasca:



Primijenimo II. Newtonov zakon za vatrogasca. Slijedi:

$$F_{REZ} = ma \quad \mathbf{1 \text{ bod}}$$

$$F_{REZ} = F_g - F_{tr} \quad \mathbf{1 \text{ bod}}$$

ili

$$ma = F_g - F_{tr} \quad \mathbf{2 \text{ bod}}$$

$$F_{tr} = mg - ma \quad \mathbf{1 \text{ bod}}$$

$$F_{tr} = 100 \cdot (10 - 4)$$

$$F_{tr} = 600 \text{ N} \quad \mathbf{1 \text{ bod}}$$

Odgovor: Sila trenja između stupa i vatrogasca iznosi $F_{tr} = 600 \text{ N}$.

p=0.71

Zadatak 3. Balon mase 90 kg pada kroz zrak. Na balon djeluje sila otpora zraka od 300 N i sila uzgona od 60 N. Kolikom akceleracijom pada balon?

Rješenje:

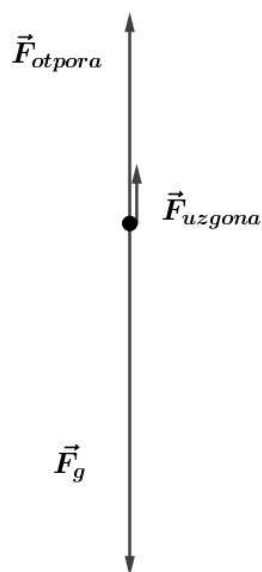
$$m = 90 \text{ kg}$$

$$F_{\text{otpora}} = 300 \text{ N}$$

$$F_{\text{uzgona}} = 60 \text{ N}$$

$$a = ?$$

Dijagram sila za balon:



Primijenimo II Newtonov zakon. Slijedi:

$$F_{\text{REZ}} = ma \quad \mathbf{1 \text{ bod}}$$

$$F_{\text{REZ}} = F_g - F_{\text{otpora}} - F_{\text{uzgona}} \quad \mathbf{1 \text{ bod}}$$

ili

$$ma = F_g - F_{\text{otpora}} - F_{\text{uzgona}} \quad \mathbf{2 \text{ boda}}$$

$$ma = mg - F_{\text{otpora}} - F_{\text{uzgona}}$$

$$a = \frac{90 \cdot 10 - 300 - 60}{90} \quad \mathbf{1 \text{ bod}}$$
$$a = 6 \text{ m/s}^2$$

Odgovor: Balon pada akceleracijom od $a = 6 \text{ m/s}^2$.

p=0.27

Zadatak 4. Dva čovjeka guraju ormar mase 85 kg, po horizontalnoj podlozi, tako da djeluju paralelnim silama iste orijentacije. Jedan djeluje silom 27.5 N, a drugi silom od 39.5 N na ormar. Sila trenja između podloge i ormara iznosi 56 N. Ormar se giba jednoliko ubrzano. Koliko iznosi akceleracija ormara?

Rješenje:

$$m = 85 \text{ kg}$$

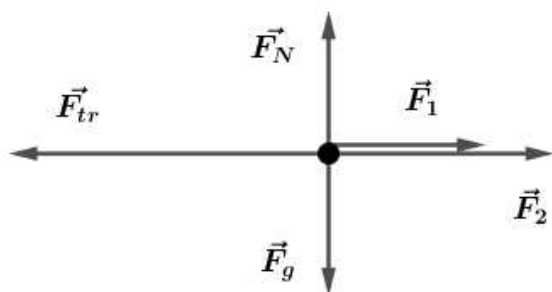
$$F_1 = 27.5 \text{ N}$$

$$F_2 = 39.5 \text{ N}$$

$$F_{tr} = 56 \text{ N}$$

$$a = ?$$

Dijagram sila za ormar:



Primijenimo II Newtonov zakon. U y – smjeru sile se poništavaju. U x smjeru vrijedi:

$$F_{REZ} = ma \quad \mathbf{1 \text{ bod}}$$

$$F_{REZ} = F_1 + F_2 - F_{tr} \quad \mathbf{1 \text{ bod}}$$

ili

$$ma = F_1 + F_2 - F_{tr} \quad \mathbf{2 \text{ boda}}$$

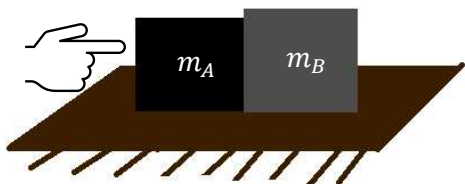
$$a = \frac{F_1 + F_2 - F_{tr}}{m}$$

$$a = \frac{27.5 + 39.5 - 56}{85}$$

$$a = 0.13 \text{ m/s}^2 \quad \mathbf{1 \text{ bod}}$$

Odgovor: Akceleracija ormara iznosi $a = 0.13 \text{ m/s}^2$.

Zadatak 5. Kutija A mase, $m_A = 2$ kg, i kutija B, mase $m_B = 3$ kg, leže na horizontalnoj podlozi prislunjene jedna o drugu, kao što je prikazano na slici. Sila kojom guramo tijela iznosi $F_{ruke} = 10$ N. Kutije se gibaju. Trenje između kutija i podloge je zanemarivo.



Kolikom silom djeluje kutija B na kutiju A tijekom gibanja?

Rješenje:

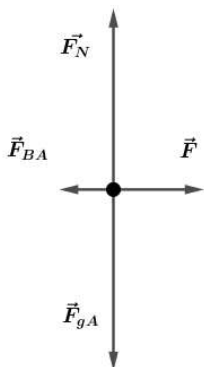
$$m_A = 2 \text{ kg}$$

$$m_B = 3 \text{ kg}$$

$$F_{gu} = 10 \text{ N}$$

$$F_{BA} = ?$$

Dijagram sila za oba tijela:



Prvi način:

Primijenimo II Newtonov zakon na sustav tijela :

$$a = \frac{F_{ruke}}{m} \quad \mathbf{1 \text{ bod}}$$

$$m = m_A + m_B \quad \mathbf{1 \text{ bod}}$$

$$a = \frac{F_{gu}}{m_A + m_B} = \frac{10}{2+3} = 2 \text{ m/s}^2 \quad \mathbf{1 \text{ bod}}$$

Zatim primijenimo II Newtonov zakon za neku od kutija, npr. za kutiju A

$$m_A a = F_{ruke} - F_{BA} \quad \mathbf{1 \text{ bod}}$$

$$F_{BA} = F_{ruke} - m_A a$$

$$F_{BA} = 10 - 2 \cdot 2 = 6 \text{ N} \quad \mathbf{1 \text{ bod}}$$

Drugi način:

Primijenimo II. Newtonov zakon za svako od tijela. Slijedi:

tijelo A: $F_{REZ} = F - F_{BA} \Rightarrow m_A a = F_{gu} - F_{BA}$ **1 bod**

tijelo B: $F_{REZ} = F_{AB} \Rightarrow m_B a = F_{AB}$ **1 bod**

Zbrajanjem obje jednačbe dobivamo:

$$a(m_A + m_B) = F_{gu} - F_{BA} + F_{AB} \quad \mathbf{1 \text{ bod}}$$

Znamo da po III. Newtonovom zakonu vrijedi: $F_{AB} = F_{BA}$. **1 bod**

Tada imamo:

$$\begin{aligned} a(m_A + m_B) &= F_{gu} \\ a &= \frac{F_{gu}}{m_A + m_B} \\ a &= 2 \text{ m/s}^2 \end{aligned} \quad \mathbf{1 \text{ bod}}$$

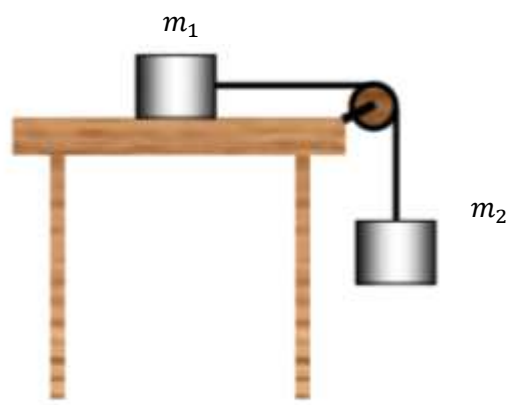
$$\begin{aligned} F_{AB} &= m_B a = F_{BA} \\ F_{BA} &= m_B a = 3 \cdot 2 = 6 \text{ N} \end{aligned} \quad \mathbf{1 \text{ bod}}$$

Odgovor: $F_{BA} = 6 \text{ N}$

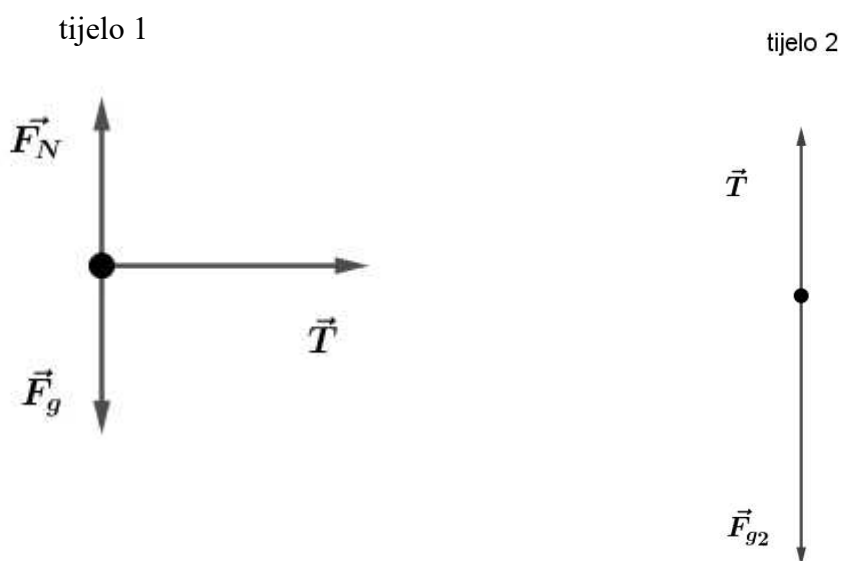
Zadatak. 6. Slika prikazuje tijela 1 i 2, povezana nerastezljivom niti zanemarive mase, koja je obješena preko koloture. Masa tijela 1 iznosi 3 kg, a masa tijela 2 iznosi 2 kg. Sustav se giba prema dolje.

Trenje između tijela 1 i podloge je zanemarivo.

- a) Kolika je akceleracija gibanja sustava?
b) Kolika je sila napetosti niti kojom su povezana tijela?



Dijagrami sila za svako tijelo:



a)

Primijenimo II Newtonov zakon za oba tijela.

$$\text{tijelo 1 : } F_{\text{REZ}} = T \Rightarrow m_1 a = T \quad (1) \quad \mathbf{1 \text{ bod}}$$

$$\text{tijelo 2 : } F_{\text{REZ}} = F_{g2} - T \Rightarrow m_2 a = F_{g2} - T \quad (2) \quad \mathbf{1 \text{ bod}}$$

Zbrajanjem obje jednačbe dobivamo:

$$a(m_1 + m_2) = T + F_{g2} - T \quad \mathbf{1 \text{ bod}}$$

$$a = \frac{F_{g2}}{m_1 + m_2}$$

$$a = \frac{m_2 g}{m_1 + m_2} \quad \mathbf{1 \text{ bod}}$$

$$a = \frac{2 \cdot 10}{3 + 2} = 4 \text{ m/s}^2 \quad \mathbf{1 \text{ bod}}$$

Odgovor: Akceleracija sustava je $a = 4 \text{ m/s}^2$.

b) Silu napetosti niti T izračunamo tako da iznos akceleracije uvrstimo u jednačbu (1). Slijedi:

$$T = m_1 a$$

$$T = 3 \cdot 4$$

$$T = 12 \text{ N} \quad \mathbf{1 \text{ bod}}$$

Odgovor: Sila napetosti niti iznosi $T = 12 \text{ N}$.

Bibliografija

- [1] C. McDermott, L. Students' conceptions and problem solving in mechanics.
- [2] Champagne, A., Klopfer, L., and Anderson, J. Factors influencing the learning of classical mechanics. *Am. J. Phys.* 48, 12 (November 1980), 1074–1079.
- [3] De Leone, C., and Gire, E. Is instructional emphasis on the use of non-mathematical representations worth the effort?
- [4] Driver, R., Guesne, E., and Tiberghien, A. Children's ideas in science.
- [5] Gautreaue, R., and Novemsky, E. A small group approach to physics learning. 418–428.
- [6] Halloun, I., and Hestenes, D. Common sense concepts about motion. *Am. J. Phys.* 53 (11 1985), 1056–1065.
- [7] Hasan, S., Bagayoko, D., and Kelley, E. Misconceptions and the certainty of response index (cri). *Physics Education* 34 (09 1999), 294–299.
- [8] Heller, J., and Reif, F. Prescribing effective human problem-solving processes: Problem description in physics. *Cogn. Instruct.* 1 (03 1984), 177–216.
- [9] Larkin, J. H., and Simon, H. A. Why a diagram is (sometimes) worth ten thousand words. *Cognitive Science* (1987), 65–100.
- [10] . Nacionalni centar za vanjsko vrednovanje obrazovanja. <https://www.ncvvo.hr/>, (ožujak 2023.).
- [11] Planinic, M., Boone, W., Krsnik, R., and Beilfuss, M. Exploring alternative conceptions from newtonian dynamics and simple dc circuits: Links between item difficulty and item confidence. *Journal of Research in Science Teaching* 43 (02 2006), 150 – 171.

- [12] Planinić, M. Skripta iz metodike nastave fizike 1. <https://metodika.phy.hr/claroline/claroline/course/index.php?cid=MET1N>, (kolovoz 2023.).
- [13] Rosengrant, D., van Heuvelen, A., and Etkina, E. Do students use and understand free-body diagrams? *Phys. Rev. ST Phys. Educ. Res.* 5 (Jun 2009), 010108.
- [14] van Heuvelen, A. Learning to think like a physicist: A review of research-based instructional strategies. *Am. J. Phys.* 59 (October 1991), 891–897.

Sažetak

Nastavnici fizike na temelju višegodišnjih istraživanja preporučuju upotrebu višestrukih reprezentacija kod poučavanja učenika apstraktnim fizikalnim sadržajima. Za razumijevanje i razvoj Newtonove mehanike jako je važna dijagramska reprezentacija, odnosno dijagrami sila. Ova studija istražuje jesu li učenici koji crtaju dijagrame sila uspješniji od učenika koji ih ne crtaju u rješavanju standardnih školskih zadataka iz fizike te kako kvaliteta učeničkih dijagrama sila utječe na uspješnost rješavanja zadataka. Studija je provedena u pet prvih razreda jedne gimnazije iz okolice Zagreba ($N = 111$), a podaci su dobiveni iz učeničkih radova na šest zadataka otvorenoga tipa. Postojale su dvije verzije testa: u verziji A eksplicitno se tražilo od učenika crtanje dijagrama sila, a u verziji B ne. Pronađeno je da su ispitanici grupe A postigli prosječno veći broj bodova od ispitanika grupe B. Analizom po zadacima, grupa A je postigla prosječno više bodova u sedam od osam zadataka. Također, uočeno je da su učenici, koji su crtali kvalitetne dijagrame sila, postizali veći broj bodova na A verziji testa, dok za verziju B postoji također pozitivan trend između kvalitete dijagrama i uspješnosti rješavanja, ali znatno slabiji. Nalazi istraživanja ukazuju na važnost višestrukih reprezentacija u nastavi fizike i sugeriraju nastavnicima fizike da dosljedno koriste i potiču konstrukciju dijagrama sila kao pomoćno sredstvo u primjeni Newtonovih zakona.

Summary

Physics teachers recommend use of multiple representations while teaching students abstract physical contents based on perennial research. Diagrammatic representation and free body diagrams are very important to understand and for development of Newton's mechanics. This study researches if students who draw free body diagrams are more successful than students who don't while solving standard school exercises in Physics, as well as how the quality of their free body diagrams affects their success on problem solving. The study was carried out among first year high school students near Zagreb ($N = 111$), and the data was obtained from students' results on solving six open ended tasks. There were two exam versions: version A explicitly required drawing of free body diagrams, version B didn't. Results showed that, on average, respondents in group A got better results than those in the group B. When analyzing results by tasks it was observed that group A scored higher than group B in seven out of eight tasks. Likewise, students who drew quality free body diagrams, got more points in the test version A, while in version B a positive, but much weaker trend between quality of the diagram and successful solving, was also observed. The results of the research indicate the importance of multiple representations in Physics lessons and suggest Physics teachers to use them consistently and encourage construction of free body diagrams as a tool in application of Newtons' laws.

Životopis

Rođena sam 29. kolovoza 1997. godine u Koprivnici. Pohađala sam Osnovnu školu Ludbreg koju sam završila 2012. godine. Srednjoškolsko obrazovanje nastavila sam u Varaždinu na Prvoj gimnaziji Varaždin gdje sam pohađala prirodoslovno-matematički smjer. Obrazovanje sam nastavila 2016. godine upisom na integriranom preddiplomskom i diplomskom studiju matematike i fizike na Prirodoslovno-matematičkom fakultetu u Zagrebu.