

# Istraživanje učeničkog konceptualnog razumijevanja magnetizma

---

**Vulin, Stefan**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2024**

*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:217:332392>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-30**



*Repository / Repozitorij:*

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
PRIRODOSLOVNO-MATEMATIČKI FAKULTET  
FIZIČKI ODSJEK

Stefan Vulin

ISTRAŽIVANJE UČENIČKOG  
KONCEPTUALNOG RAZUMIJEVANJA  
MAGNETIZMA

Diplomski rad

Zagreb, 2024.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
PRIRODOSLOVNO-MATEMATIČKI FAKULTET  
FIZIČKI ODSJEK

INTEGRIRANI PREDDIPLOMSKI I DIPLOMSKI SVEUČILIŠNI STUDIJ  
FIZIKA I INFORMATIKA;  
SMJER: NASTAVNIČKI

**Stefan Vulin**

Diplomski rad

**Istraživanje učeničkog konceptualnog  
razumijevanja magnetizma**

Voditelj diplomskog rada: dr.sc. Karolina Matejak Cvenić,  
v.pred.

Ocjena diplomskog rada: \_\_\_\_\_

Povjerenstvo: 1. \_\_\_\_\_

2. \_\_\_\_\_

3. \_\_\_\_\_

Datum polaganja: \_\_\_\_\_

Zagreb, 2024.

Zahvaljujem dr.sc. Karolini Matejak Cvenić na mentorstvu, posebice na stručnosti, predanosti, ažurnosti, točnosti i, ono što najviše cijenim, **pouzdanosti**. Ne znam za profesoricu, ali meni je bio užitak surađivati. Valjda nisam bio previše tvrdoglav (kao inače).

Zahvaljujem učenicima, čija imena ne smijem spominjati (GDPR), iz dviju gimnazija, čije nazive ne smijem spominjati (GDPR), što su pristali sudjelovati u istraživanju bez kojeg bi ovaj diplomski bio još jedan isprazni tekst prevrtanja iz šupljeg u prazno.

Zahvaljujem roditeljima što me više neće ispitivati kada ću diplomirati, čime su ubijali i ono malo motivacije koje sam imao, ali s druge strane da toga nije bilo, možda bih i ranije diplomirao<sup>1</sup>, što mi svakako nije bio cilj jer ničega što sam napravio, vidio i doživio u to doba ne bi bilo, pa im još jednom moram zahvaliti na tome.

Budući da ostalima nisam pričao gotovo ništa o faksu, mogu im zahvaliti jedino na omogućavanju da studentski život zaista bude studentski i ovim im putem obećavam da nakon obrane idemo u štetu kaznit se. Zadnja studentska srijeda. Na kraju to nekako dođe na isto.

*Ovaj diplomski rad posvećujem svojoj baki Evi.*

---

<sup>1</sup> Ne bih.

## Sažetak

Magnetizam je dio obveznog kurikulumu fizike u gimnazijama, a tu cjelinu učenici tipično obrađuju u trećem razredu gimnazije. U sklopu cjeline Magnetizma učenici susreću i obrađuju razne magnetske pojave. Između ostalog, proučavaju se međudjelovanje dvaju magneta te koncepti magnetskog polja i toka, magnetski učinak električne struje, utjecaj magnetskog polja na vodič kojim teče istosmjerna struja, međudjelovanje dvaju vodiča kojima teče istosmjerna struja te magnetska sila na naboj. Uz objašnjenje navedenih pojava, učenici ih i matematički opisuju.

Ovaj će diplomski rad dati pregled literature na temu postojećih konceptualnih poteškoća koje učenici iskazuju u razumijevanju magneta i magnetskih pojava. Planira se provesti kvalitativno istraživanje konceptualnog razumijevanja učenika trećih razreda gimnazija o ishodima tipičnih pokusa vezanih uz magnetizam. Istraživanje bi se provelo pomoću demonstracijskih polustrukturiranih intervjua s učenicima, a koji bi se proveli nakon što su učenici na redovnoj nastavi obradili gradivo magnetizma. Učenički će se odgovori na pitanja u intervjuu analizirati, kategorizirati te usporediti s rezultatima prethodnih istraživanja.

Pokusi koji će se koristiti u intervjuima su: međudjelovanje dvaju magneta, utjecaj magneta na kompas, utjecaj električne struje na kompas, izgled magnetskog polja zavojnice i utjecaj magnetskog polja na vodič kojim teče struja.

Ključne riječi: magnetizam, magnetsko polje, linije magnetskog polja, Zemljino magnetsko polje, magnetsko polje ravnog vodiča, magnetsko polje zavojnice, Ampereova sila.

# **An Investigation of Students' Conceptual Understanding of Magnetism**

## **Abstract**

Magnetism is part of the mandatory physics curriculum in high schools, typically covered in the third year of secondary education. As part of the unit on magnetism, students encounter and study various magnetic phenomena. Among other things, the interaction between two magnets, as well as the concepts of magnetic field and flux, the magnetic effect of electric current, the influence of a magnetic field on a conductor carrying direct current, the interaction between two conductors carrying direct current, and the magnetic force on a charge are studied. In addition to explaining these phenomena, students also describe them mathematically.

This thesis will provide a literature review on the existing conceptual difficulties that students express in understanding magnets and magnetic phenomena. A qualitative study is planned to investigate the conceptual understanding of third-year high school students regarding the outcomes of typical experiments related to magnetism. The research will be conducted through semi-structured demonstration interviews with students, which will take place after they have covered the magnetism material in regular classes. The students' answers to the interview questions will be analyzed, categorized, and compared with the results of previous research.

The experiments that will be used in the interviews include: the interaction of two magnets, the influence of a magnet on a compass, the effect of electric current on a compass, the appearance of the magnetic field of a solenoid, and the influence of a magnetic field on a conductor carrying current.

**Keywords:** magnetism, magnetic field, magnetic field lines, Earth's magnetic field, magnetic field of a straight conductor, magnetic field of a solenoid, Ampère's force.

## Sadržaj

1	Uvod.....	1
1.1	<i>Povijesni pregled i motivacija</i> .....	1
1.2	<i>Kurikulum</i> .....	3
1.3	<i>Nazivlje u srednjoškolskoj literaturi</i> .....	6
2	Opis postojećih poteškoća (pregled literature).....	8
2.1	<i>Poteškoće u pristupu pri rješavanju problema</i> .....	10
2.2	<i>Općenite konceptualne poteškoće u magnetizmu</i> .....	11
2.3	<i>Poteškoće s linijama magnetskog polja</i> .....	12
2.4	<i>Konfuzija s električnom strujom</i> .....	12
2.5	<i>Poteškoće s pravilom desne ruke</i> .....	13
2.6	<i>Istraživačko pitanje</i> .....	13
3	Metodologija .....	14
3.1	<i>Pokus 1: Međudjelovanje dvaju magneta</i> .....	15
3.2	<i>Pokus 2: Utjecaj magneta na kompas</i> .....	16
3.3	<i>Pokus 3: Utjecaj električne struje na kompas</i> .....	17
3.4	<i>Pokus 4: Utjecaj magnetskog polja zavojnice</i> .....	19
3.5	<i>Pokus 5: Utjecaj magnetskog polja na vodič kojim teče struja</i> .....	21
3.6	<i>Vrednovanje učeničkih odgovora</i> .....	23
3.7	<i>Kodna imena učenika</i> .....	23
3.8	<i>Analiza</i> .....	24
4	Rezultati .....	25
4.1	<i>Pokus 1: Međudjelovanje dvaju magneta</i> .....	25
4.1.1	<i>Predviđanje</i> .....	25
4.1.2	<i>Opažanje</i> .....	26
4.1.3	<i>Objašnjenje</i> .....	27
4.2	<i>Pokus 2: Utjecaj magneta na kompas</i> .....	33
4.2.1	<i>Predviđanje</i> .....	33
4.2.2	<i>Opažanje</i> .....	34
4.2.3	<i>Objašnjenje</i> .....	34
4.3	<i>Pokus 3: Utjecaj električne struje na kompas</i> .....	39
4.3.1	<i>Predviđanje</i> .....	39

4.3.2	<i>Opažanje</i>	40
4.3.3	<i>Objašnjenje</i>	41
4.4	<i>Pokus 4: Utjecaj magnetskog polja zavojnice</i>	48
4.4.1	<i>Predviđanje</i>	48
4.4.2	<i>Opažanje</i>	49
4.4.3	<i>Objašnjenje</i>	49
4.5	<i>Pokus 5: Utjecaj magnetskog polja na vodič kojim teče struja</i>	56
4.5.1	<i>Predviđanje</i>	56
4.5.2	<i>Opažanje</i>	58
4.5.3	<i>Objašnjenje</i>	58
4.6	<i>Pokusi u nastavi fizike</i>	63
5	<i>Diskusija</i>	64
5.1	<i>Pokus 1: Međudjelovanje dvaju magneta</i>	64
5.2	<i>Pokus 2: Utjecaj magneta na kompas</i>	64
5.3	<i>Pokus 3: Utjecaj električne struje na kompas</i>	65
5.4	<i>Pokus 4: Utjecaj magnetskog polja zavojnice</i>	66
5.5	<i>Pokus 5: Utjecaj magnetskog polja na vodič kojim teče struja</i>	67
6	<i>Zaključak</i>	69
7	<i>Literatura</i>	71



## 1. Uvod

### 1.1. Povijesni pregled i motivacija

Magnetizam kao fenomen ljudskoj je civilizaciji poznat još od starih vremena: prva praktična uporaba magnetizma bio je magnetski kompas. Iako je njegovo porijeklo još uvijek nepoznanica, neki povjesničari vjeruju da se koristio u Kini već u 26. st. pr. Kr. Drugi pak tvrde da su ga izumili Talijani ili Arapi i donijeli u Kinu u 13. stoljeću. Stari Grci poznavali su privlačnu silu magnetita i prethodno natrljanog jantara. Magnetit, magnetski oksid željeza, spominje se već oko 800. g. pr. Kr. u starogrčkim tekstovima koji govore o pronalasku ove rude u pokrajini Magneziji u Tesaliji. Prvi Grk koji je proučavao magnetizam i magnetske pojave bio je Tales iz Mileta i izgledno je da je poznao svojstvo magnetita da privlači željezo [1, 2].

Samo porijeklo imena *magnet* ima dvije povijesne teorije. Prema rimskom povjesničaru Lukreciju, autoru filozofske poeme *De rerum natura (O prirodi stvari)*, pojam *magnet* izvedenica je iz imena pokrajine Magnezije. S druge strane, Plinije Stariji tvrdi kako je taj pojam zapravo nastao iz imena pastira Magnesa koji je otkrio mineral magnetit tako što su „čavli njegovih cipela i vrh njegova štapa zapeli u magnetskom polju dok je vodio svoje stado“ [2].

Prva ozbiljnija otkrića magnetskih svojstava pripisuju se francuskom inženjeru i križaru Peteru Peregrinusu od Maricourta koji je 1269. u svojem djelu *Epistola de magnete (Pismo magnetu)* opisao eksperiment u kojem je postavio tanki željezni pravokutnik na različite dijelove sferno oblikovane magnetne rude i označio linije po kojima se pravokutnik kretao. Te su linije formirale meridijane koji su prolazili kroz dvije točke na suprotnim krajevima magnetita, slično kao što se linije geografske dužine sijeku u Zemljinim polovima. Po analogiji, Peregrinus je te točke prozvao *polovima* magneteta. Dodatno, zabilježio je da kada se magnet razdijeli, svaki dio ponovno ima dva pola [2].

Prvi korak ka modernoj znanosti o magnetizmu napravio je William Gilbert koji je 17 godina proučavao magnetizam i svoja otkrića objedinio u raspravi *O magnetu, magnetskim tijelima i velikom magnetu Zemlji (De magnete, Magneticisque Corporibus, et de Magno Magnete Tellure)* iz 1600. Kao što vidimo u naslovu, Gilbert je Zemlju opisao kao „*veliki magnet*“. Uočio je i jednu od fundamentalnih razlika elektriciteta i magnetizma: sila između magnetskih tijela nastoji međusobno poravnati ta tijela, dok je sila između elektrificiranih tijela prvenstveno privlačna ili odbojna [3].

U idućih 220 godina nije bilo značajnijih pomaka na području magnetizma, a onda se 1820. dogodila jedna od najvećih prekretnica ne samo za magnetizam, već i za fiziku kao

znanost. Naime, Oersted je, držeći sat fizike, slučajno otkrio da se magnetska igla kompasa otklanja u blizini žice kojom teče struja, čime je zapravo otkrio da električna struja ima i magnetski učinak. Takvo otkriće izazvalo je val proučavanja novootkrivenog fenomena. Iste godine francuski fizičari François Arago i André-Marie Ampère dolaze do novih otkrića. Arago opaža da električna struja nemagnetizirane željezne strugotine postavlja u krug oko žice, čime zapravo otkriva linije magnetskog polja ravnog vodiča kojim teče struja. Ampère s druge strane kvantitativno opisuje Oerstedova otkrića: pokazao je da će se dvije međusobno paralelne žice kojima teče struja privlačiti ili odbijati, baš kao i magneti. Ako njihove struje teku u istom smjeru, žice se privlače, a ako teku u suprotnom smjeru, žice se odbijaju. Na temelju ovog pokusa Ampère izražava pravilo desne ruke za smjer sile na struju u magnetskom polju [2].

Oerstedovo otkriće za sobom je povuklo suprotno pitanje: ako električna struja stvara magnetski učinak, mogu li i magnetske pojave stvoriti električnu struju u strujnom krugu? Uslijedio je niz eksperimenata u kojima se očekivalo kako će se stacionarna struja inducirati u zavojnici postavljenoj unutar magneta ili u njegovoj blizini. Sve do 1831., kada Michael Faraday radi eksperiment u kojem pomoću magnetskih pojava uspijeva stvoriti električnu struju u zavojnici. U svom pokusu Faraday je namotao dvije žice na suprotne strane željeznog prstena. Prva žica spojena je na bateriju, a druga je žica razvučena do kompasa udaljenog jedan metar od prve zavojnice kako ne bi bilo utjecaja prve zavojnice na taj kompas. Zatvaranjem strujnog kruga Faraday je primijetio trenutni otklon magnetske igle i njezin trenutni povratak u početnu poziciju. Otvaranjem strujnog kruga primijetio je sličan otklon, ali u suprotnu stranu. Tako je pokazao da je zapravo *promjena* magnetskog polja prve zavojnice uzrok induciranja električne struje u drugoj zavojnici. Također, pokazao je da se električna struja može inducirati i pomicanjem magneta, uključivanjem i isključivanjem elektromagneta, pa čak i pomicanjem žice u Zemljinom magnetskom polju. Na temelju tih otkrića kreirao je novi koncept nazvan *magnetski tok*, pomoću kojega je i matematički opisao tu pojavu: napon induciran u zavojnici proporcionalan je broju zavoja i promjeni magnetskog toka u nekom vremenskom intervalu u toj zavojnici [2].

Oerstedova i Faradayeva otkrića bila su temelj za kasniju teoriju elektromagnetizma Jamesa Clerka Maxwella koji je svojim četirima jednadžbama objedinio sve navedene pojave elektromagnetizma u jednu cjelinu [2].

Magnetizam je u današnjem svijetu u širokoj uporabi i s njime se susrećemo u svakodnevnom životu još od najmanje dobi. Frižiderski magneti s putovanja, kompasi, zatvarači na torbicama i futrolama, vrata ormarića i sl. neki su od osnovnih primjena svojstva

magnetizma. Također, magnetizam se koristi i u kompleksnijim sustavima kao što su tvrđi diskovi i uređaji za pohranu podataka u računalu, elektronički i zvučnici uređaji poput zvučnika, slušalica i pametnih telefona, medicinski uređaji poput magnetske rezonance, bankovne kartice i sl.

Iako je magnetizam u širokoj uporabi u našoj svakodnevici, često toga nismo niti svjesni. Većina laika primjenu magnetizma poznaje gotovo isključivo kroz jednostavne primjene poput privlačenja dvaju magneta i privlačenja magneta i željeza, dok ostale primjene (poput indukcijskih kuhala), premda česte u svakodnevici, nisu toliko očite [4]. To nas dovodi do motivacije za ovaj rad: jedan od problema u nastavi magnetizma je taj što se učenici „nemaju za što uhvatiti“, odnosno ne mogu prilagoditi svoj koncept shvaćanja već moraju kreirati novi, što se bitno razlikuje u odnosu na dotadašnje gradivo [5].

To samo po sebi otežava već ionako kompleksan koncept magnetizma kao fenomena, pa učenici često stvaraju svoje, često pogrešne ili nepotpune koncepte koji im onemogućavaju potpuno razumijevanje. Cilj je rada istražiti učenička poimanja magnetskih pojava i prepoznati, uz postojeće, eventualne nove poteškoće u razumijevanju.

## 1.2. Kurikulum

Magnetizam je dio obveznog kurikuluma Fizike u osnovnim školama i gimnazijama, a tu cjelinu učenici tipično obrađuju u osmom razredu osnovne škole i u trećem razredu gimnazije [6]. U sklopu cjeline magnetizma učenici susreću i obrađuju razne magnetske pojave. Godine 2023. predstavljen je *Eksperimentalni kurikulum nastavnog predmeta Prirodoslovlje za osnovne škole* u kojem se kao jedan od ishoda pojavljuje magnetizam [7]. Pogledajmo prvo što kurikulum nastave fizike propisuje kao obavezne ishode u osnovnoj odnosno srednjoj školi za nastavni predmet Fizika.

Međudjelovanje		
Odgojno-obrazovni ishodi	Razrada ishoda	Odgojno-obrazovni ishodi na razini ostvarenosti »dobara« na kraju razreda
FIZ. OŠ B.8.1. Povezuje razdvajanja električnog naboja s električnom strujom i naponom.	Opisuje međudjelovanje električnih naboja. Objašnjava električnu struju u metalima i elektrolitima. Opisuje razdvajanje električnih naboja u bateriji. Opisuje elektromagnetske indukcije.	Objašnjava elektriziranje tijela trljanjem na temelju grade atoma. Povezuje električnu struju s gibanjem naboja. Povezuje električni napon s energijom jediničnog naboja u izvoru. Razlikuje nositelje električne struje u metalima, tekućinama i plinovima.
Sadržaji: električni naboj, električna sila, električna struja, električni napon, elektromagnetska indukcija.		
Preporuka za ostvarivanje odgojno-obrazovnih ishoda Gdje god je moguće električnu struju valja povezati sa stvarnim situacijama (baterije, mobilni, strujni krug u kućanstvu i slično) i učenicima iskustvima jer to podiže motivaciju za učenje i povećava relevantnost sadržaja za učenika. Pokusi trebaju biti dio nastavnog procesa kao sredstvo upoznavanja i istraživanja fizičkih pojava. Izvode se tako da angažiraju učenike i potiču njihovu intelektualnu aktivnost, tražeći od njih da pritom što više samostalno pretpostavljaju, opažaju, opisuju, zaključuju i analiziraju rezultate.		

Slika 1. Pojava elektromagnetizma u domeni „Međudjelovanje“ za osmi razred osnovne škole [6].

Energija		
Odgovorno-obrazovni ishodi	Razrada ishoda	Odgovorno-obrazovni ishodi na razini ostvarenosti »dobar« na kraju razreda
FIZ OŠ D.8.2. Analizira učinke električne struje i magnetizam.	Analizira učinke električne struje u jednostavnom strujnom krugu. Opisuje magnetsko djelovanje električne struje.	Opisuje magnetski učinak električne struje. Objašnjava načelo rada elektromagneta. Opisuje načelo rada kompas.
FIZ OŠ D.8.3. Analizira električnu struju i napon te primjenjuje koncepte rada i snage.	Objašnjava grananje električne struje u paralelnom spoju i dijeljenje električnog napona na pojedinim trošilima serijskoga spoja. Povezuje električnu energiju s radom električne struje. Analizira rad i snagu električne struje.	Analizira rad i snagu električne struje na primjerima. Shematski prikazuje električni strujni krug sa serijskim odnosno paralelnim spojem trošila te pripadnim mjernim instrumentima. Razmatra mogućnosti uštede električne energije u kućanstvu.
Sadržaji: električni strujni krug (jednostavni, serijski spoj trošila i paralelni spoj trošila), električni napon, električna struja, učinci električne struje, magnet, magnetska sila, električna energija.		
Preporuka za ostvarivanje odgovorno-obrazovnih ishoda Potrebno je poznavati i uzeti u obzir učenikove postojeće ideje i znanja jer će oni izravno utjecati na kvalitetu i točnost njegovih mentalnih modela koji će se formirati u tom procesu. Neke učenikove intuitivne ideje o fizičkim pojavama (električna struja, magnetizam, rad) mogu biti u suprotnosti s fizičkim idejama koje treba usvojiti pa će učenje katkad zahtijevati modificiranje ili čak radikalno restrukturiranje postojećih ideja. Opisati magnetsko polje Zemlje. Raspraviti održavanje svojstva trajnih magnet. Spajati električni strujni krug sa serijskim i paralelnim spojem trošila. Može se analizirati potrošnja električne energije u kućanstvu te istražiti promjenu potrošnje električne energije po danima u tjednu i u različito doba dana. Preporuča se koristiti trošila različite snage u serijskom spoju te mjeriti napone na trošilima. Darovitim učenicima se može zadati analiza električne struje i električnog napona u mješovitom spoju trošila.		

Slika 2. Pojava magnetizma u domeni „Energija“ za osmi razred osnovne škole [6].

Primjećujemo da se koncept magnetizma javlja već u osnovnoj školi gdje se u obveznim odgojno-obrazovnim ishodima pojavljuje magnetski učinak električne struje, načelo rada kompas odnosno magnetsko polje Zemlje, a također se stvara i podloga za razumijevanje elektromagnetizma. Primijetiti ćemo i da se u osnovnoj školi magnetske pojave ne opisuju matematički, već isključivo fenomenološki.

Pogledajmo sada što definira kurikulum za gimnazijske programe.

Medudjelovanje		
Odgovorno-obrazovni ishodi	Razrada ishoda	Odgovorno-obrazovni ishodi na razini ostvarenosti »dobar« na kraju razreda
FIZ SŠ B.3.1. Opisuje svojstva magnet a i analizira vezu između električne struje i magnetizma.	Opisuje svojstva magnet a i magnet-sko polje. Opisuje magnetski tok i magnetsku indukciju. Povezuje nastanak magnetskog polja s gibanjem naboja. Uspoređuje permanentne magnet e i elektro-magnet e.	Objašnjava Oerstedov pokus. Objašnjava nastajanje magnetskog polja petlje. Povezuje smjer električne struje i smjer magnetskog polja. Opisuje permanentne magnet e i elektromagnet e. Skicira vektor magnetskog polja u bilo kojoj točki prostora oko magnet a.
FIZ SŠ B.3.2. Analizira magnet-sko medudjelovanje i objašnjava primjene.	Opisuje medudjelovanje magnet a. Povezuje Amperovu i Lorentzovu silu. Analizira gibanje naboja u magnet-skom polju. Analizira medudjelovanje dvaju paralelnih vodiča kojima prolazi električna struja.	Objašnjava putanju nabijene čestice u magnet-skom polju. Objašnjava primjenu Amperove sile.
FIZ SŠ B.3.3. Analizira elektromagnet-sku indukciju i primjene.	Primjenjuje Faradayev zakon. Analizira primjene elektro-magnet-ske indukcije. Uspoređuje svojstva istosmjerne i izmjenične električne struje.	Tumači Faradayev zakon elektromagnet-ske indukcije. Opisuje načelo rada generatora. Tumači prednosti i nedostatke izmjenične i istosmjerne električne struje. Objašnjava elektivnu vrijednost izmjenične električne struje.
Sadržaji: magnet-sko polje magnet a, magnet-ska indukcija i magnet-ski tok, magnet-sko polje povezano s električnom strujom, Amperova sila, Lorentzova sila, gibanje nabijene čestice u magnet-skom polju, magnet-ska sila između dvaju paralelnih vodiča, elektromagnet-ska indukcija, Faradayev zakon, Lenzovo pravilo, međuinukcija i samoindukcija, načelo rada električnog generatora i izmjenična električna struja, električni transformator.		
Preporuka za ostvarivanje odgovorno-obrazovnih ishoda Neke učenikove intuitivne ideje o fizičkim pojavama (magnet-sko polje, izmjenična električna struja) mogu biti u suprotnosti s fizičkim idejama koje treba usvojiti pa će učenje katkad zahtijevati modificiranje ili čak radikalno restrukturiranje postojećih ideja. Tumačiti prednosti i nedostatke izmjenične i istosmjerne električne struje (istražiti rad Nikole Tesle i Tomasa A. Edisona). Objasniti primjenu Amperove sile u uređajima poput DC motora, zvučnika, magnetskog diska i drugih. Objasniti ulogu transformatora pri prijenosu električne energije. Posjetiti obilježja hidroelektrarni termoelektrana kao i muzeje (Tehnički muzej, Park Nikole Tesle i drugi). U odgojno-obrazovnom ishodu FIZ SŠ B.3.3. preporučuje se primjenjivati zadatke srednje i veće složenosti.		

Slika 3. Izvadak iz kurikuluma za četverogodišnje učenje fizike, model 4x2 (4x70 sati) [6].

Međudjelovanje		
Odgojno-obrazovni ishodi	Razrada ishoda	Odgojno-obrazovni ishodi na razini ostvarenosti »dobar« na kraju razreda
FIZ SŠ B.3.1. Opisuje svojstva <b>magneta</b> i analizira vezu između električne struje i <b>magnetizma</b> .	Opisuje svojstva <b>magneta</b> i <b>magnetsko</b> polje. Opisuje <b>magnetski</b> tok i <b>magnetsku</b> indukciju. Povezuje nastanak <b>magnetskog</b> polja s gibanjem naboja. Uspoređuje <b>permanente</b> <b>magnete</b> i <b>elektromagnete</b> .	Objašnjava Oerstedov pokus. Objašnjava nastajanje <b>magnetskog</b> polja petlje. Povezuje smjer električne struje i smjer <b>magnetskog</b> polja. Uspoređuje <b>permanente</b> <b>magnete</b> i <b>elektromagnete</b> . Skicira vektor <b>magnetskog</b> polja u bilo kojoj točki prostora oko <b>magneta</b> .
FIZ SŠ B.3.2. Analizira <b>magnetsko</b> međudjelovanje i objašnjava primjenu.	Opisuje međudjelovanje <b>magneta</b> . Povezuje Amperovu i Lorentzovu silu. Analizira gibanje naboja u <b>magnetskom</b> polju. Analizira međudjelovanje dvaju paralelnih vodiča kojima prolazi električna struja. <i>Analizira rad ciklotrona i masenog spektrometra (izborni).</i>	Objašnjava putanju nabijene čestice u <b>magnetskom</b> polju. Objašnjava primjenu Amperove sile. <i>Opisuje načelo rada ciklotrona i masenog spektrometra te navodi primjene (izborni).</i>
FIZ SŠ B.3.3. Analizira <b>elektromagnetsku</b> indukciju i primjenu.	Primjenjuje Faradayev zakon. Analizira primjenu <b>elektromagnetske</b> indukcije. Uspoređuje svojstva istosmjerne i izmjenične električne struje.	Tumači Faradayev zakon. Opisuje načelo rada generatora. Objašnjava efektivnu vrijednost izmjenične električne struje. <i>Tumači kapacitivni i induktivni otpor (izborni).</i>
Sadržaji: <b>magnetsko</b> polje <b>magneta</b> , <b>magnetska</b> indukcija i <b>magnetski</b> tok, <b>magnetsko</b> polje povezano s električnom strujom, Amperova sila, Lorentzova sila, gibanje nabijene čestice u <b>magnetskom</b> polju, <b>magnetska</b> sila između dvaju paralelnih vodiča, <b>elektromagnetska</b> indukcija i Faradayev zakon, Lenzovo pravilo, međuinukcija i samoindukcija, načelo rada električnog generatora i izmjenična električna struja, električni transformator.		
Preporuka za ostvarivanje odgojno-obrazovnih ishoda Tumačiti prednosti i nedostatke izmjenične i istosmjerne električne struje (Nikola Tesla i Thomas Edison). Analizirati promjenjivost <b>magnetskog</b> polja na konkretnim primjerima poput zvučnika. Objasniti princip dijagnostike <b>magnetske</b> rezonance. Objasniti primjenu Amperove sile u uređajima poput DC motora, <b>magnetskog</b> diska i drugo. Analizirati ulogu transformatora pri prijenosu električne energije. Posjetiti hidroelektranu, termoelektranu i prikladne muzeje (Tehnički muzej, Park N. Tesle i druge). Neke učenikove intuitivne ideje o fizičkim pojavama ( <b>magnetsko</b> polje, izmjenična električna struja) mogu biti u suprotnosti s fizičkim idejama koje treba usvojiti pa će učenje katkad zahijevati modificiranje ili čak radikalno restrukturiranje postojećih ideja. U odgojno-obrazovnim ishodima FIZ SŠ B.3.2. i FIZ SŠ B.3.3. preporučuje se primjenjivati zadatke veće složenosti.		

Slika 4. Izvadak iz kurikuluma za četverogodišnje učenje fizike, model 4x3 (4x105 sati) [6].

Gimnazijski program ima model 4x3 (4x105 sati), po kojem rade matematički i prirodoslovno-matematički smjerovi, te model 4x2 (4x70 sati), po kojem rade opći i jezični smjerovi. Vidimo da je obvezni program koji obrađuje magnetizam jednak obama smjerovima. Jedina se razlika očituje u izbornom dijelu za prirodoslovno-matematički smjer, no ona je u praksi vrlo rijetka.

Kurikulum se zapravo nadovezuje na osnovnoškolsko gradivo, obogaćujući ga detaljnim pregledom magnetskih pojava: uvode se pojmovi magnetskog polja, magnetske indukcije i magnetskog toka i povezuju s gibanjem naboja (FIZ SŠ B.3.1.), istražuje se magnetsko međudjelovanje i uvode pojmovi Lorentzove i Ampèreove sile (FIZ SŠ B.3.2.) i, za kraj, istražuju se elektromagnetska indukcija i izmjenična struja kao dio elektromagnetizma (FIZ SŠ B.3.3.). Ishodi propisani kurikulumom predviđaju da učenik nakon završetka procesa učenja opisuje svojstva magneta i analizira vezu između električne struje i magnetizma te da analizira magnetsko međudjelovanje i objašnjava primjene. Ti se ishodi odnose na međudjelovanje magneta, koncepte magnetskog polja i toka, magnetski učinak električne struje, magnetsku silu na strujnu petlju, magnetsku silu između dvaju vodiča i gibanje nabijene čestice u magnetskom polju. Uz objašnjenje navedenih pojava učenici ih opisuju i matematički.

Dodatno, pogledajmo što je uvršteno u eksperimentalni predmet Prirodoslovlje za osnovne škole.

PRI OŠ B.2.2. Učenik povezuje međudjelovanja u prirodi sa svakodnevnim životom na temelju istraživanja.	– prepoznaje djelovanje sile na neživu i živu prirodu – prepoznaje utjecaj sile teže na tijela u prirodi – opisuje utjecaj sile trenja na gibanje i zagrijavanje tijela – uspoređuje međusobno djelovanje <b>magneta</b> te <b>magneta</b> i tijela izgrađenih od različitih tvari	– prepoznaje međudjelovanja u prirodi na primjerima iz svakodnevnog života
Sadržaji za usvajanje odgojno-obrazovnih ishoda: – sila pokreće i zaustavlja tijela i mijenja njihov oblik.		
Preporuke za usvajanje odgojno-obrazovnih ishoda: – pojam sile upoznati na pojavnj razini bez njezina definiranja – važno je da učenici promatranjem i opažanjem prepoznaju djelovanje sile, pri čemu treba naglasiti da sila nije isto što i snaga – utjecaj sile na tijela objasniti na učenicima poznatim primjerima (npr. oblikovanjem plastelina, rastezanjem gume, bacanjem lopte, povlačenjem užeta, razbijanjem oraha, guranjem autića, padanjem plodova) – silu trenja povezati s tijelima u dodiru te je objasniti na učenicima bliskim primjerima (npr. kotrljanje i klizanje tijela po različitim površinama, kretanje puža sluzavog ili suhog stopala po glatkoj ili hrapavoj površini, spuštanje niz tobogan, hodanje po ledu u cipelama različitih potplata, zagrijavanje ruku pri trljanju dlana o dlan, zagrijavanje kućanskih uređaja) – istraživanjem zapaziti da postoje privlačna i odbojna <b>magnetska</b> sila koja djeluje i na tijela koja nisu u dodiru (npr. <b>magnet</b> i hladnjak / školska ploča se privlače, a dva se <b>magneta</b> privlače ili odbijaju). Predlažu se sljedeća istraživanja: – istraživanja utjecaja sile na tijela – istraživanja sile teže – istraživanja sile trenja – istraživanja djelovanja <b>magneta</b> na različite materijale (npr. drvo, plastiku, željezo, aluminij, bakar) – istraživanja međudjelovanja <b>magneta</b> .		

Slika 5. Izvadak iz eksperimentalnog kurikuluma za nastavni predmet Prirodoslovlje [7].

Primjećujemo da se magnetizam javlja u drugom razredu osnovne škole u kategoriji *Procesi i međudjelovanja* kao dio odgojno-obrazovnog ishoda PRI OŠ B.2.2. Prema Predmetnom kurikulumu učenici se s fenomenom magnetizma upoznaju na spoznajnoj razini, tako što istražuju svojstva magnetiziranih tijela, njihovih međusobnih međudjelovanja i međudjelovanja s ostalim vrstama tvari.

Ovaj će diplomski rad dati pregled literature na temu postojećih konceptualnih poteškoća koje učenici iskazuju u razumijevanju magneta i magnetskih pojava. Provedeno je kvalitativno istraživanje konceptualnog razumijevanja učenika trećih razreda gimnazija o ishodima tipičnih pokusa vezanih uz magnetizam. Istraživanje se provelo s pomoću demonstracijskih polustrukturiranih intervju s učenicima, a koji su se proveli nakon što su učenici na redovnoj nastavi obradili gradivo magnetizma. Učenički će se odgovori na pitanja u intervjuu analizirati, kategorizirati te usporediti s rezultatima prethodnih istraživanja.

### 1.3. Nazivlje u srednjoškolskoj literaturi

U srednjoj školi matematički se opisuju utjecaji magnetskog polja i tu dolazimo do nekonzistentnosti u nazivlju srednjoškolskih udžbenika. Naime, radi jednostavnosti *jakost magnetskog polja*, oznake  $H$  i mjerne jedinice *amper po metru*, i *gustoća magnetskog toka*,

poznata i kao *magnetska indukcija*, oznake  $B$  i mjerne jedinice *tesla*, najčešće se objedinjuju pod jednim pojmom, kompromisno nazvanim *iznos magnetskog polja* ili jednostavnije *magnetsko polje*, oznake  $B$  i mjerne jedinice *tesla*. Takvu praksu možemo vidjeti u udžbenicima *Školske knjige* [8] i *Alfe* [9], dok *Elementov* [10] udžbenik ipak koristi naziv *gustoća magnetskog toka*, pritom ne spominjući jakost magnetskog polja.

Budući da u istraživanju sudjeluju učenici srednjih škola, izraz *magnetsko polje* u daljnjem će tekstu imati isto značenje kao i u srednjoškolskim udžbenicima.

U svim trima udžbenicima [8, 9, 10] linije magnetskog polja nazivaju se *magnetskim silnicama* odnosno *silnicama magnetskog polja*. To možemo objasniti pokušajem analogije s električnim poljem, što se može opravdati lakšim zamišljanjem polja, ali s negativne strane može dovesti i do poistovjećivanja učinka električnog i magnetskog polja. Kod električnog polja te se linije zovu silnicama jer zaista pokazuju smjer električne sile na naboj unutar tog polja, dok je magnetska sila na naboj okomita na smjer magnetskog polja.

## 2. Opis postojećih poteškoća (pregled literature)

U ovom poglavlju cilj je prikazati uobičajene poteškoće s kojima se učenici susreću prilikom usvajanja gradiva magnetizma. Razumijevanje magnetizma često uključuje apstraktne pojmove koji nisu neposredno vidljivi ili intuitivno razumljivi, a također zahtijeva i dobro predznanje iz mehanike. Iako se magnetizam obrađuje već u osnovnoj školi, istraživanja ukazuju na postojanje brojnih pogrešnih koncepcija koje učenici razvijaju o ovom fenomenu. Različite studije fokusirane su na identifikaciju specifičnih učeničkih poteškoća prilikom svladavanja gradiva iz magnetizma.

U ovom pregledu literature bit će razmotreni rezultati prethodnih istraživanja koja su se bavila ovim pitanjima, s posebnim naglaskom na uobičajene pogrešne koncepcije učenika. Predstavit će se tri istraživanja: *Analyzing high school students' reasoning about electromagnetic induction* Katarine Jeličić i suradnika sa sveučilišta u Zagrebu i sveučilišta u Ljubljani [13], *Surveying students' conceptual knowledge of electricity and magnetism* Davida P. Maloneya i suradnika sa sveučilišta u Indiani [14], *Reasons of student difficulties with right-hand rules in electromagnetism* Mustafe Coramika i Erdoğana Özdemira sa sveučilišta u Balikesiru, odnosno sveučilišta Istanbul Okan [15] te članak *Students' conceptual understanding of electricity and magnetism and its implications* Agnesa Mbonzirivuzea i suradnika s ruandskog sveučilišta [16].

Istraživanje K. Jeličić ispituje kako srednjoškolci objašnjavaju i koliko razumiju fenomene magnetizma i elektromagnetske indukcije, s ciljem identificiranja glavnih poteškoća pri razumijevanju osnovnih koncepata. U istraživanju je sudjelovalo devet srednjoškolaca iz triju zagrebačkih gimnazija nakon što su o tom gradivu učili u školi, a koji su se dobrovoljno prijavili za sudjelovanje u istraživanju. Istraživanje je provedeno pomoću polustrukturiranih demonstracijskih intervjuja u kojima su učenici promatrali i objašnjavali šest eksperimenata iz područja elektromagnetizma. Prilikom intervjuja učenike se poticalo da što više razmišljaju naglas (tzv. tehnika „*think-aloud*“) kako bi se što bolje stekao uvid u njihova razmišljanja. Otkriveno je da učenici imaju mnoge konceptualne poteškoće, posebice u prepoznavanju i objašnjavanju magnetskih pojava i elektromagnetske indukcije. Neki od ispitanih učenika smatrali su kako magnetski polovi imaju pozitivnu i negativnu stranu (kao električni naboji) te da mogu privlačiti ili odbijati mirujuće naboje. Uočene su poteškoće sa linijama magnetskog polja (npr. one su otvorene linije), a uočeno je da neki učenici smatraju da zavojnica oko sebe uvijek stvara magnetsko polje, neovisno o tome teče li njome struja. Uočeno je i da su ispitanici učenici razvili različite mentalne modele kojima su objašnjavali viđene eksperimente.



U Maloneyevom članku opisuje se izrada novog dijagnostičkog instrumenta *Conceptual Survey of Electricity and Magnetism* (CSEM), namijenjenog stjecanju uvida u razumijevanje osnovnih koncepata iz elektriciteta i magnetizma kod studenata upisanih na kolegije opće fizike. U razvoju testa studenti su sudjelovali kao ispitanici, a istraživanje je provedeno u akademskim godinama 1995./1996. i 1996./1997. Rezultati dobiveni kvantitativnom analizom pokazali su da studenti imaju značajne poteškoće u razumijevanju pojmova kao što su magnetsko polje, magnetska sila i Faradayev zakon. Uočeno je da studenti očekuju djelovanje magnetske sile na naboj u mirovanju, što sugerira da smatraju kako magnetsko polje djeluje na naboj slično kao i električno, odnosno da poistovjećuju magnetsku i električnu silu. Također, uočeno je da učenici imaju poteškoća s određivanjem smjera magnetskog polja žice/petlje kojom teče struja i s određivanjem smjera magnetske sile na naboj koji se giba. U članku se sugerira kako su poteškoće često rezultat nedostatka hijerarhije ideja u znanju učenika, što sugerira potrebu za poboljšanim metodama poučavanja u ovom području [14].

Istraživanje M. Coramika i E. Özdemira analizira poteškoće koje studenti imaju u primjeni pravila desne ruke u elektromagnetizmu, s ciljem identificiranja čimbenika koji te poteškoće uzrokuju. U istraživanju je sudjelovalo 270 studenata druge godine fizike sa sveučilišta u zapadnoj Turskoj u akademskoj godini 2015./2016. Istraživanje je provedeno korištenjem dijagnostičkog testa otvorenog tipa (RHR-DT) i nestrukturiranih intervjuja, a videozapisi intervjuja korišteni su za analizu. Studenti su pokazali značajne poteškoće u primjeni pravila desne ruke, a te su poteškoće vjerojatno povezane s konceptualnim razumijevanjem magnetizma, poznavanjem vektorske algebre, posebice vektorskog umnoška, i slabo razvijenim prostornim razmišljanjem. Odgovori studenata također su sugerirali da studenti često smatraju kako su magnetska i električna polja vrlo slična po svom djelovanju na naboj, te da su i magnetska i električna sila na naboj sličnih karakteristika. U istraživanju su prepoznali 12 različitih načina na koje su studenti pokušavali primijeniti pravilo desne ruke, od kojih su neki bili i netočni. Uočeno je da studenti imaju problema i s motorikom, pogotovo kada treba prikazati vektor koji ide iz papira ( $\odot$ ) ili u papir ( $\otimes$ ). Istraživanje je pokazalo da su potrebne bolje pedagoške metode za poučavanje tih koncepata [15].

Članak A. Mboniyiryivuzea i suradnika predstavlja pregled postojećih istraživanja na teme elektriciteta i magnetizma, koristi se sekundarnim izvorima informacija i nudi ideje za uspješnije poučavanje ovih dijelova fizike. Rezultati navedenih studija pokazuju da učenici često imaju mnoga pogrešna shvaćanja vezanih uz pojmove elektriciteta i magnetizma, što

ometa njihovo dublje razumijevanje fizike, a tradicionalne metode poučavanja većinom nisu rješenje problema. Stoga se preporučuje aktivno sudjelovanje učenika u procesu učenja kako bi se postiglo dublje konceptualno razumijevanje i poboljšale vještine rješavanja problema [16].

Nakon pregleda navedenih četiriju članaka [13-16], opisane su poteškoće podijeljene su u pet kategorija na temelju njihovih uzroka. Kategorije su: poteškoće u pristupu pri rješavanju problema, općenite konceptualne poteškoće u magnetizmu, poteškoće s linijama magnetskog polja, konfuzija s elektricitetom i poteškoće s pravilom desne ruke. Slijedi njihov popis po navedenim kategorijama.

### 2.1. Poteškoće u pristupu pri rješavanju problema

U Tablici 1 prikazane su učeničke poteškoće koje se javljaju u njihovom pristupu pri rješavanju problema. Ove poteškoće općenito se pojavljuju u svakom gradivu i nisu vezane isključivo za magnetizam.

OPIS POTEŠKOĆE	ŠIFRA POTEŠKOĆE
Pamćenje formula iz fizike bez konkretnog fizikalnog značenja [16].	PR.MATFORM
Fokusiranje na detalje koje onemogućava stvaranje potpune slike problema [13].	PR.DET
Poteškoće u primjeni prostornog razmišljanja [15].	PR.PROS

**Tablica 1.** Popis konceptualnih poteškoća u učeničkom pristupu.

Konkretno, učenici formulama često pristupaju tako da se fokusiraju na pamćenje simbola u formuli bez dubljeg razmišljanja zbog čega je taj simbol uopće dio formule. To je posljedica činjenice da je velik broj testova iz fizike fokusiran samo na računске zadatke [16].

Određivanje smjera i oblika magnetskog polja zavojnice kojom teče struja primjer je poteškoće PR.DET. Učenici unatoč poznavanju pravila desne ruke za zavojnicu nisu uspjeli odrediti izgled magnetskog polja zavojnice jer je sav njihov fokus bio isključivo na znanju pravila desne ruke, što im je onemogućavalo sagledavanje šire slike i primjenu tog pravila na konkretnu situaciju [13].

Primjer nedostatka prostornog razmišljanja primjena je pravila desne ruke kada pravilo uključuje komponente čiji je smjer „u papir“ i „iz papira“. Učenici često nisu svjesni da su ti smjerovi okomiti na ravninu papira [15].

## 2.2. Općenite konceptualne poteškoće u magnetizmu

U Tablici 2 prikazane su osnovne konceptualne poteškoće učenika iz područja magnetizma.

NAZIV POTEŠKOĆE	ŠIFRA POTEŠKOĆE
Određivanje sila koje djeluju između dvaju magneta [14].	MAGN.FMAG
Magnetska sila ima isti smjer kao magnetsko polje koje je stvorilo tu silu [15].	MAGN.F  B
Elektrone privlači magnetsko polje koje su oni sami inducirali [15].	MAGN.ELMP
Određivanje smjera magnetskog polja struje koja teče kroz ravni vodič ili zavojnicu [13, 15].	MAGN.MPSTRUJE
Zavojnica inducira magnetsko polje čak i kada njome ne teče struja [13].	MAGN.MPZAV
Žica kojom teče struja i koja se nalazi u vanjskom magnetskom polju giba se zbog utjecaja magnetskog polja koje inducira električna struja same žice [15].	MAGN.VMPŽ

**Tablica 2.** Popis osnovnih učeničkih poteškoća iz magnetizma.

Budući da se u svakodnevnom životu učenici nemaju prilike izravno susretati s magnetskim pojavama, česte su poteškoće koje nastaju kao posljedica nedostatka intuicije i iskustva. Neke poteškoće posljedica su poteškoća u pristupu navedenih u potpoglavlju 2.1. Primjerice, učenici često miješaju uzrok i posljedicu, pa smatraju da magnetsko polje elektrona u gibanju može privući te iste elektrone. Isto tako, često smatraju da žica kojom teče struja i koja se nalazi u vanjskom magnetskom polju može utjecati sama na sebe magnetskim poljem koje je ona sama stvorila [15].

### 2.3. Poteškoće s linijama magnetskog polja

U Tablici 3 prikazane su učeničke poteškoće koje učenici imaju s linijama magnetskog polja.

OPIS POTEŠKOĆE	ŠIFRA POTEŠKOĆE
Naboji se gibaju po linijama magnetskog polja zbog utjecaja magnetskih polova [15].	LMP.NAB
Linije magnetskog polja linije su toka [14].	LMP.Φ
Linije magnetskog polja stvarne su [14].	LMP.STV
Linije magnetskog polja i magnetska sila koju stvara to polje imaju isti smjer [15].	LMP.Fmag
Linije magnetskog polja počinju i završavaju na ravnom vodiču kojim teče struja i nisu zatvorene krivulje [13].	LMP.OTV

Tablica 3. Popis učeničkih poteškoća s linijama magnetskog polja.

Iako linije magnetskog polja služe samo kako bismo vizualizirali magnetska polja i njihova međudjelovanja, učenici im često pridaju i druga tumačenja. Primjerice, smatraju da su to linije gibanja odnosno toka elektrona, smatraju da su to linije koje pokazuju smjer magnetske sile i sl. [13, 14, 15].

### 2.4. Konfuzija s električitetom

U Tablici 4 prikazane su poteškoće koje se javljaju kada učenici magnetske pojave pokušavaju objasniti koristeći koncepte iz električiteta.

OPIS POTEŠKOĆE	ŠIFRA POTEŠKOĆE
Poistovjećivanje magnetskih polova s pozitivnim i negativnim nabojima [13].	ELMAG.NS+-
Magnetski polovi mogu privlačiti ili odbijati statične električne naboje [13].	ELMAG.NSPRIV+-
Analogna primjena koncepta električnog polja na magnetsko polje [15].	ELMAG.E~B
Brkanje električne i magnetske sile [14].	ELMAG.Fel~Fb

Tablica 4. Popis učeničkih poteškoća zbog kolizije s električitetom.

S obzirom na sličnosti elektriciteta i magnetizma, učenici znanja iz elektriciteta često primjenjuju na magnetske pojave. Primjerice, učenici princip djelovanja električnog polja analogno primjenjuju na magnetsko polje [15], što dovodi do toga da na isti način poistovjećuju električnu i magnetsku silu [13].

### 2.5. Poteškoće s pravilom desne ruke

U Tablici 5 prikazane su dosad identificirane i opisane poteškoće vezane za pravila desne ruke.

NAZIV POTEŠKOĆE	ŠIFRA POTEŠKOĆE
Primjena pravila desne ruke za ravni vodič kojim teče struja [13, 15].	PDRRV
Primjena pravila desne ruke za zavojnicu kojom teče struja [13, 15].	PDRZAV
Primjena pravila desne ruke za ravni vodič kojim teče struja: nemogućnost određivanja smjera magnetske sile koja djeluje na vodič u magnetskom polju kojim teče struja [15].	PDRAMP
Primjena pravila desne ruke za komponente koje imaju smjer „u papir“ i „iz papira“ [15].	PDROX

**Tablica 5.** Popis učeničkih poteškoća u primjeni pravila desne ruke.

Učenici često miješaju pravila desne ruke, nisu sigurni što bi koja komponenta predstavljala, a probleme im stvara i nedostatak prostornog razmišljanja, što se najviše pojavljuje u komponentama okomitim na ravninu papira [15].

### 2.6. Istraživačko pitanje

Na temelju pregleda literature, ustanovljeno je da ovo područje obiluje učeničkim poteškoćama. Pregledom kurikulumu ustanovljeno je da učenici u srednjim školama u Hrvatskoj rade više-manje sve pojave koje su bile predmet navedenih istraživanja. Stoga je postavljeno sljedeće istraživačko pitanje: *Koje konceptualne poteškoće učenici zagrebačkih gimnazija imaju s pokusima iz magnetizma nakon što su to gradivo obradili na redovnoj nastavi?*

Istraživanje provedeno u sklopu ovoga diplomskoga rada nastojat će dati odgovor na to pitanje.

### 3. Metodologija

Ovo je istraživanje provedeno metodom polustrukturiranog intervjua, dvosmjernog dijaloga u kojem istraživač mora održavati ravnotežu između fleksibilnosti i provedbe predviđenog plana ispitivanja, odnosno intervjua u kojem istraživači (diplomant i mentorica) dopuštaju sugovorniku (učeniku) manja tematska udaljavanja od postavljenih pitanja [11]. Intervjui su se provodili na Fizičkom odsjeku PMF-a u Zagrebu i u njima je sudjelovalo šestero učenika trećih razreda gimnazije u školskoj godini 2023./2024. Budući da su učenici bili stariji od 16 i mlađi od 18, samostalno su mogli donijeti odluku o pristupanju ovom istraživanju i dati vlastitu suglasnost, a njihovi su roditelji obaviješteni o pristupanju intervjuiima [12]. Troje je učenika bilo iz klasične i troje iz prirodoslovno-matematičke gimnazije. Iz svakog je smjera intervjuiran po jedan učenik s ocjenom dobar (3), vrlo dobar (4) i odličan (5). Četiri su bile učenice i dva učenika. Učenici koji su pristupili intervjuiima na redovnoj su nastavi već obradili nastavnu cjelinu o magnetizmu.

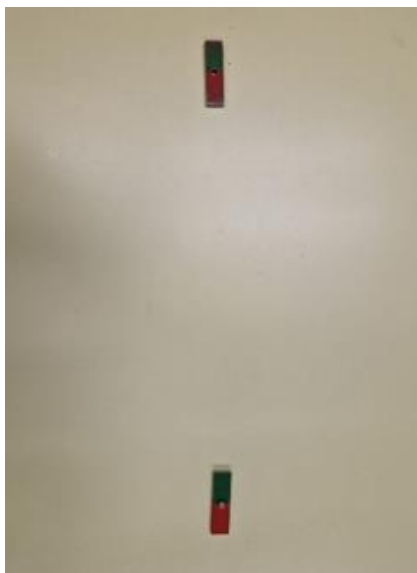
Vjerodostojnost intervjua ostvarena je tako što učenici prije samih intervjua nisu bili upoznati s pitanjima intervjua i tako što su učenici intervjuirani jedan po jedan, bez prisustva drugih učenika.

Struktura intervjua bila je sljedeća: istraživač (diplomant) prikazuje i objašnjava postav pokusa ispitivaniku (učeniku), postavlja mu pitanje o predviđanju ishoda pokusa na koje učenik odgovara. Pokus se zatim izvodi, a diplomant postavlja pitanje o opažanju na koje učenik odgovara. Za kraj, diplomant postavlja pitanja o objašnjenju pokusa na koja učenik odgovara. Po potrebi i ovisno o odgovorima postavljana su i potpitanja, od kojih su neka bila unaprijed definirana, a neka su postavljena „na licu mjesta“, ovisno o povratnoj informaciji. Također, svi su učenici upitani jesu li vidjeli navedeni pokus na nastavi. Postupak se ponavljao za svaki pojedini pokus.

Intervjui su snimani samo snimačem zvuka na pametnom telefonu i kasnije transkribirani, a na temelju prijepisa rađena je analiza. Iz transkripata su izdvojeni dijelovi intervjua u kojima učenik daje odgovore na pitanja, tj. iz kojih proizlazi razina znanja i razumijevanja. Slijedi opis svih pokusa korištenih u intervjuiima.

### 3.1. Pokus 1: Međudjelovanje dvaju magneta

Pokus 1 sastoji se od dvaju magneta koji miruju na suprotnim stranama stola. Pokus se izvodi tako da se jedan magnet približi drugom. Na Slici 6 prikazan je postav pokusa, a u Tablici 6 prikazana su unaprijed definirana pitanja i očekivani točni odgovori za svako pojedino pitanje. Slike u nastavku su autorove.



Slika 6. Postav Pokusa 1.

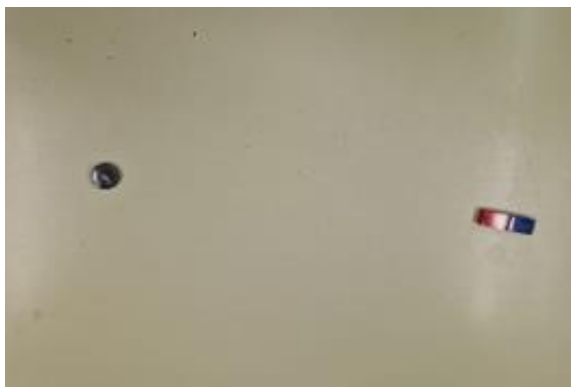
KATEGORIJA PITANJA	PITANJE	OČEKIVANI ODGOVOR
PREDVIĐANJE	Što će se dogoditi kada dva magneta približimo jedan drugome?	Ako približimo suprotne polove magneta, magneti će se privlačiti, a ako približimo iste polove magneta, magneti će se odbijati.
OPAŽANJE	Što se dogodilo kada smo jedan magnet približili drugome?	Kada smo približili suprotne polove dvaju magneta, drugi magnet se primaknuo prema magnetu u našoj ruci. Kada smo približili iste polove magneta, drugi se magnet udaljio od magneta u našoj ruci.

OBJAŠNJENJE	Kako objašnjavaš to da se jedan magnet primaknuo drugome?	Suprotni se polovi magneta privlače. Svaki magnet stvara svoje magnetsko polje kojim djeluje na druge magnete unutar tog polja.
-------------	---	---

Tablica 6. Unaprijed definirana pitanja i očekivani točni odgovori za Pokus 1.

### 3.2. Pokus 2: Utjecaj magneta na kompas

Pokus 2 izvodi se pomoću kompasa i magneta koji miruju na suprotnim stranama stola. Pokus se izvodi tako da se magnet približi kompasu. Na Slici 7 prikazan je postav pokusa, a u Tablici 7 unaprijed su definirana pitanja i očekivani točni odgovori za ovaj pokus.



Slika 7. Postav Pokusa 2.

KATEGORIJA PITANJA	PITANJE	OČEKIVANI ODGOVOR
PREDVIĐANJE	Što će se dogoditi kada magnetskoj igli/kompasu približimo magnet?	Kada kompasu približimo magnet, magnetska igla otklanjat će se prema magnetu. Ovisno o tome koji se magnetski pol približi kompasu, suprotni pol magnetski pol igle usmjerit će se prema magnetu.
OPAŽANJE	Što se dogodilo kada smo magnet približili kompasu?	Kada se magnet približi kompasu, igla se otklanja od početnog položaja prema magnetu.

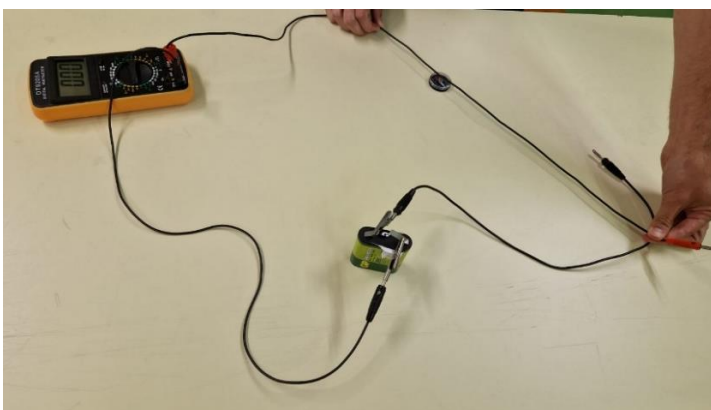


<p style="text-align: center;">OBJAŠNENJE</p>	<p style="text-align: center;">Kako objašnjavaš odklon magnetske igle kompasa kada joj približimo magnet?</p>	<p>Magnetsko polje magneta međudjelovat će s magnetskim poljem igle kompasa i budući da može rotirati, magnetska igla otklanjat će se od početnog položaja. Konačni položaj magnetske igle pokazuje rezultantno magnetsko polje koje čine magnetska polje magneta i Zemlje.</p>
---	---	---

Tablica 7. Unaprijed definirana pitanja i očekivani točni odgovori za Pokus 2.

### 3.3. Pokus 3: Utjecaj električne struje na kompas

Pokus 3 izvodi se pomoću izvora napona (baterije od 4,5 V), prekidača, žice i ampermetra koji čine strujni krug i kompasa. Pokus se izvodi na stolu tako da se kompas stavi ispod žice koju prethodno izravnamo tako da postignemo efekt ravnog vodiča. Za ovaj pokus bitno je da početni položaj magnetske igle i vodič budu što paralelniji. Postav ovog pokusa odgovara postavu Oerstedovog pokusa. Na Slici 8 prikazan je postav pokusa, a u Tablici 8 unaprijed su definirana pitanja i očekivani točni odgovori za ovaj pokus.



Slika 8. Postav Pokusa 3.

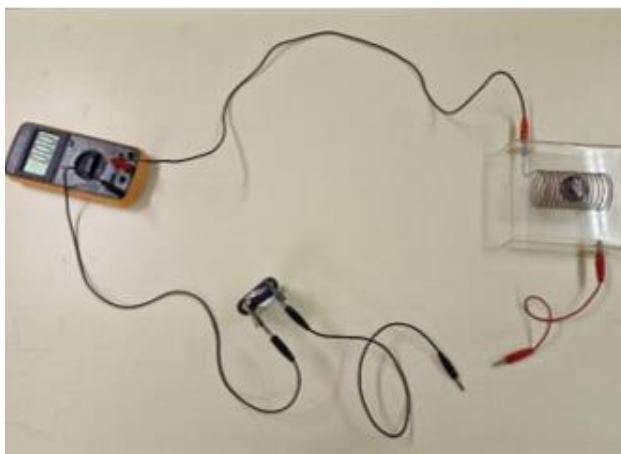
KATEGORIJA PITANJA	PITANJE	OČEKIVANI ODGOVOR
PREDVIĐANJE	Iglu ćemo postaviti ispod žice kojom ne teče struja. Što će se dogoditi s magnetskom iglom u tom slučaju? Što će se dogoditi s iglom kada zatvorimo strujni krug?	Kada žicom ne teče struja, igla će mirovati. Kada zatvorimo strujni krug, igla će se otkloniti od svog početnog položaja i više neće pokazivati Zemljin sjeverni geografski pol.
OPAŽANJE	Što opažaš/što se dogodilo kada je strujni krug bio otvoren/zatvoren?	Kada žicom ne teče struja, igla miruje i pokazuje sjever. Kada zatvorimo strujni krug, igla se otklanja od početnog položaja.
OBJAŠNJENJE	Kako objašnjavaš što se dogodilo?	Kada žicom ne teče struja, magnetska igla postavlja se u smjeru Zemljinog magnetskog polja. Kada zatvorimo strujni krug, struja u prostoru oko vodiča stvara magnetsko polje koje utječe na magnetsku iglu. Magnetska igla tada pokazuje resultantno magnetsko polje nastalo kombinacijom magnetskog polja Zemlje i magnetskog polja oko vodiča kojim teče struja.
	Znaš li matematički opisati magnetsko polje ravnog vodiča kojim teče struja?	$B = \mu_0 \mu_r \frac{I}{2\pi r}$

	Za određivanje smjera magnetskog polja ravnog vodiča kojim teče struja često se koristi pravilo desne ruke. Znaš li ga primijeniti na ovaj slučaj?	Pravilo desne ruke za ravni vodič kaže da ako ispruženi palac pokazuje u smjeru struje, onda zavijeni prsti pokazuju smjer linija magnetskog polja.
--	--	---

**Tablica 8.** Unaprijed definirana pitanja i očekivani točni odgovori za Pokus 3.

### 3.4. Pokus 4: Utjecaj magnetskog polja zavojnice

Pokus 4 izvodi se pomoću izvora napona (baterija od 4,5 V), prekidača, žice, zavojnice i ampermetra koji čine strujni krug i kompasa. Pokus se izvodi na stolu tako da se kompas stavi unutar zavojnice i zatvori strujni krug. Početni položaj magnetske igle (dok zavojnicom ne teče struja) paralelan je navojima zavojnice. Na Slici 9 prikazan je postav pokusa, a u Tablici 9 navedena unaprijed su definirana pitanja i očekivani točni odgovori za ovaj pokus.



**Slika 9.** Postav Pokusa 4.

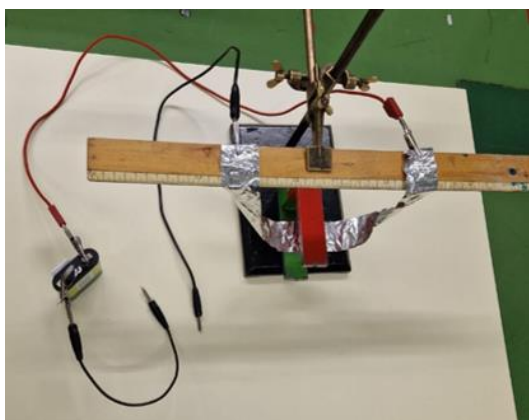
KATEGORIJA PITANJA	PITANJE	OČEKIVANI ODGOVOR
PREDVIĐANJE	Kompas ćemo postaviti unutar zavojnice kojom ne teče struja. Što će se dogoditi s magnetskom iglom u tom slučaju? Što će se dogoditi s magnetskom iglom kada zatvorimo strujni krug?	Kada zavojnicom ne teče struja, igla miruje. Kada zavojnicom potekne struja, magnetska se igla otkloni od početnog položaja.

OPAŽANJE	Što opažaš/što se dogodilo kada je strujni krug bio otvoren/zatvoren?	Igla je mirovala kada je strujni krug bio zatvoren, a otklonila se od svog ravnotežnog položaja kada smo zatvorili strujni krug.
OBJAŠNJENJE	Kako objašnjavaš što se dogodilo?	<p>Kada kroz zavojnicu ne teče struja, igla se postavlja prema magnetskom polju Zemlje.</p> <p>Kada pustimo struju kroz zavojnicu, oko zavojnice se stvara magnetsko polje koje utječe na magnetnu iglu u kompasu zbog čega se igla otklanja.</p>
	Znaš li matematički opisati magnetsko polje zavojnice?	$B = \mu_0 \mu_r \frac{NI}{l}$
	Za određivanje smjera magnetskog polja zavojnice često se koristi pravilo desne ruke. Znaš li ga primijeniti na ovaj slučaj?	Pravilo desne ruke za zavojnicu kaže da ako zavijeni prsti pokazuju smjer struje kroz zavojnicu, tada ispruženi palac pokazuje smjer magnetskog polja zavojnice. Magnetska igla tada pokazuje rezultatno magnetsko polje nastalo kombinacijom magnetskog polja Zemlje i magnetskog polja oko zavojnice kojom teče struja.

Tablica 9. Unaprijed definirana pitanja i očekivani točni odgovori za Pokus 4.

### 3.5. Pokus 5: Utjecaj magnetskog polja na vodič kojim teče struja

Pokus 5 izvodi se pomoću izvora istosmjernog napona (baterije od 4,5 V), žica, krokodil-klema, aluminijske folije, ravnala, stalka i potkovastog magneta. Pokus postavimo tako da izvor istosmjernog napona pomoću žica i krokodil-klema spojimo na aluminijsku foliju koja je pričvršćena na ravnalo, a koje je pričvršćeno na stalak. Magnet postavljamo tako da se aluminijska folija nalazi „unutar“ potkovastog magneta. Pokus izvodimo tako da spojimo žice i time zatvaramo strujni krug. Na Slici 10 prikazan je postav pokusa, a u Tablici 10 unaprijed su definirana pitanja i očekivani točni odgovori za ovaj pokus.



Slika 10. Postav Pokusa 5.

KATEGORIJA PITANJA	PITANJE	OČEKIVANI ODGOVOR
PREDVIĐANJE	Vodič kojim ne teče struja postaviti ćemo unutar potkovastog magneta. Što će se dogoditi u tom slučaju? Što će se dogoditi s vodičem kada zatvorimo strujni krug?	Kada vodičem ne teče struja, vodič miruje. Kada se strujni krug zatvori, vodičem poteče struja i aluminijska folija se otklanja u odnosu na ravnotežni položaj.
OPAŽANJE	Što opažaš/što se dogodilo kada je strujni krug bio otvoren/zatvoren?	Kada je strujni krug otvoren, aluminijska folija je mirovala. Kada se strujni krug zatvori, aluminijska folija otklanja se prema/od magneta.

OBJAŠNENJE	Kako objašnjavaš pomak aluminijske folije unutar magneta kada njome teče struja?	Kada aluminijskom folijom poteče struja, u prostoru oko nje stvara se magnetsko polje koje zatim međudjeluje s magnetskim poljem potkovastog magneta. Kao posljedica toga javlja se sila na aluminijsku foliju koja može biti privlačna ili odbojna.
	Zašto magnet djeluje na vodič kojim teče struja?	Magnet djeluje na vodič kojim teče struja jer struja stvara svoje magnetsko polje, pa se ta dva magnetska polja ponašaju kao dva magneta.
	Znaš li matematički opisati silu na vodič u magnetskom polju?	$F_A = BIl\sin\alpha$
	Za određivanje smjera magnetske sile na vodič kojim teče struja često se koristi pravilo desne ruke. Znaš li ga primijeniti na ovaj slučaj?	Pravilo desne ruke za Ampereovu silu kaže da ako ispruženi palac pokazuje smjer struje u vodiču, a ispruženi prsti vanjsko magnetsko polje, onda sila kojom vanjsko magnetsko polje djeluje na vodič kojim teče struja izlazi okomito iz dlana.

Tablica 10. Unaprijed definirana pitanja i očekivani točni odgovori za Pokus 5.

### 3.6. Vrednovanje učeničkih odgovora

U Tablicama 6-10 strukturirani su točni odgovori za pojedina pitanja svakog pokusa. Naravno, učenici će, budući da se radi o usmenoj komunikaciji, svoje odgovore često produljiti, dodatno objašnjavati ili će se naprosto nespretno izraziti. Iako je važno nemogućnost usmenog izražavanja razlikovati od nerazumijevanja gradiva, nekada je, unatoč analizi, teško zaključiti što su učenici htjeli reći i je li izgovoreno točno. Zato će se odgovori vrednovati opisno i to na sljedeći način: točno, djelomično točno, netočno i nema odgovora. U Tablici 11 opisan je način vrednovanja učeničkih odgovora.

VREDNOVANJE	OPIS
točno	Učenik prepoznaje pojavu/formulu i objašnjava ju.
djelomično točno	Učenik imenuje pojavu, ali je ne razumije ili je ne zna dobro opisati.
	Učenik konceptualno razumije pojavu, ali ne zna ju imenovati.
netočno	Učenik ne prepoznaje pojavu.
	Učenik ne zna formulu.
nema odgovora	Učenik ne daje nikakav konkretan odgovor na pitanje.

Tablica 11. Način vrednovanja učeničkih odgovora.

### 3.7. Kodna imena učenika

Budući da identitet učenika treba ostati tajan, učenici će biti označeni šiframa koja se sastoji od slova i brojke: svaki će svaki učenik imati svoje jedinstveno slovo, a brojka će predstavljati ocjenu koju ima iz Fizike. U Tablici 12 navedeni su osnovni podaci o učenicima: spol, ocjena i šifra pod kojom će se voditi u daljnjem tekstu.

SPOL	OCJENA	ŠIFRA UČENIKA
Ž	3	A3
Ž	4	B4
M	5	C5
Ž	3	D3
M	4	E4
Ž	5	F5

Tablica 12. Spol i ocjena učenika i njihove pripadajuće šifre.

### **3.8. Analiza**

Analiza učeničkih odgovora radila se po etapama: najprije su se gledali samo oni dijelovi svih učeničkih intervjua koji su se odnosili na Pokus 1, potom oni dijelovi učeničkih intervjua koji su se odnosili samo na Pokus 2 i tako sve do Pokusa 5.

Prilikom analize dijelova intervjua za pojedini pokus, u transkriptima su se tražili i označavali učenički odgovori na postavljena pitanja o predviđanju, opažanju i objašnjenju ishoda pokusa. Citati koji su upućivali na učeničke odgovore izdvojeni su u zajedničku tablicu. Nakon što su se u zajedničku tablicu izdvojili citati svih učenika za pojedini pokus, određivala se točnost pojedinog odgovora, uspoređujući učenički odgovor s očekivanim točnim odgovorima navedenim u poglavljima 3.1-3.5, uz dozu fleksibilnosti jer se učenici često ne izražavaju fizikalno precizno. Navedeni je postupak primijenjen na svaki od pet pokusa iz intervjua. Ovakav pristup analizi omogućio je držanje ravnomjernog kriterija pri ocjenjivanju točnosti pojedinih odgovora.

Nakon što je točnost svih odgovora bila utvrđena, kroz navedene se odgovore ponovno prolazilo, ovaj puta tražeći naznake identificiranih učeničkih poteškoća u konceptualnom razumijevanju magnetizma.

Rezultati učeničkih intervjua u idućem poglavlju predstaviti će se pokus po pokus kako bi se lakše pratilo učeničko razmišljanje unutar pokusa. Budući da su pokusi koncipirani i raspoređeni tako da se pokusi nadovezuju jedan na drugog, učenički odgovori bit će prikazani neovisno jedan o drugome, odnosno svaki njihov odgovor unutar pokusa bit će zasebno prikazan.



## 4. Rezultati

U ovom poglavlju prikazani su učenički odgovori na pitanja opisana u prethodnom poglavlju. Analiza je rađena pokus po pokus, a učenički odgovori vrednovani su na način opisan u poglavlju 3.6.

### 4.1. Pokus 1: Međudjelovanje dvaju magneta

#### 4.1.1. Predviđanje

U Tablici 13 prikazana su učenička predviđanja za prvi pokus.

UČENIK/CA	CITAT	TOČNOST
A3	<i>„Pa... ako imaju suprotne polove, a po ovome što vidim imaju, onda će se spojiti, približit će se, spojiti će se. (...) Hmm, moguća je da, ako su isti polovi, onda će se odbijati.“</i>	T
B4	<i>„Kad približimo... ovisno koji je pol magneta okrenut. Ako su polovi isti, onda će se odbijati. Ako su različiti, onda će se privlačiti.“</i>	T
C5	<i>„Suprotni polovi će se spojiti, krenut će se privlačiti jače i spojiti će se. (...) Isti polovi bi se odbijali.“</i>	T
D3	<i>„Vjerojatno će se spojiti zbog suprotnih polova. (...) Ako su isti, onda će se odbacivati.“</i>	T
E4	<i>„Magnet će se početi privlačiti (...) u slučaju kada su dvije suprotne strane okrenute jedna prema drugoj, privlačit će se. Ako su iste strane okrenute jedna prema drugoj, odbijati će se.“</i>	T
F5	<i>„Budući da su različitih polova, prvi će se privlačiti, a da su isti polovi, odbijali bi se.“</i>	T

Tablica 13. Učenička predviđanja za Pokus 1.

Predviđanje prvog pokusa očekivano je bilo uspješno jer se radi o jednostavnom pokusu privlačenja ili odbijanja magneta koji je učenicima poznat i izvan nastave. Svi su učenici dali točna predviđanja, a prilikom izricanja svojih predviđanja, često su spominjali magnetske polove te njihova međudjelovanja.

Budući da je postav pokus bio takav da su magneti najprije međusobno razdvojeni, ali okrenuti jedan prema drugome sa suprotnim polovima (kao što je opisano u poglavlju *Metodologija*), učenici bi najčešće dali predviđanje samo za tu situaciju, a to je istraživaču ostavilo mogućnost postavljanja potpitanja o drugoj varijanti pokusa, kada su magneti okrenuti jedan prema drugome sa istim polovima. No neki su učenici, kao što su B4 i F5, odmah dali oba predviđanja.

#### **4.1.2. Opažanje**

Opažanje je također prošlo uspješno, svih šestero učenika uspjelo je opisati što se dogodilo u pokusu. Neki su učenici, primjerice C5 i D3, prilikom opažanja odmah istaknuli i točnost svoje pretpostavke:

*C5: „Opažanje je ovo upravo sta sam rekao, suprotni polovi se privukli, isti polovi se odbili.“*

*D3: „Pa, za različite polove oni se spajaju, odnosno privlače, a isti se odbijaju.“*

Neki su učenici prilikom izricanja opažanja odmah dali i pokušaj objašnjenja, premda ih se tražilo da navedu samo opažanje ishoda pokusa. Primjer je učenica A3, koja je prilikom izricanja opažanja odmah nastojala i dati objašnjenje viđenog.

*A3: „Pa... u prvom slučaju kad su bili suprotni polovi, onda je, budući da su suprotni, onda su se privlačili, sad, nastala je tu neka... privlačna sila.(...) Kad su bili isti polovi, onda je, hmm... pa... sile su išle, to jest... to polje... mislim odbijalo se.“*

Većina je ispitanih učenika u izricanju opažanja koristila slične izraze kao prilikom izricanja predviđanja, pa su tako kratko naveli da je došlo do privlačenja i/ili odbijanja magneti. Učenik E4 jedini je dao detaljnije opažanje:

*E4: „Znači, vidjeli smo da kada su se magneti okrenuli suprotnim stranama, tj. zelena i crvena strana okrenute jedna prema drugoj, došlo je do privlačenja magneti. Kada smo zelenu stranu približili zelenoj strani, jedan se magnet okrenuo na crvenu stranu i opet je došlo do privlačenja.“*

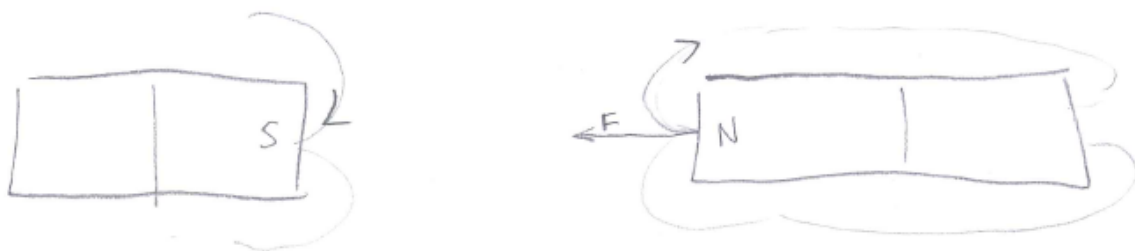
Iako je prvi pokus vrlo jednostavan i za izvesti i za opisati opažanje, čini se da učenicima nije bilo jednostavno fizikalno precizno izraziti svoje opažanje. Najčešće bi kratko rekli kako je došlo do privlačenja ili odbijanja magneti, no ne bi jasno opisali ili naveli po čemu su zaključili da je došlo privlačenja ili odbijanja magneti. Također, ponekad na temelju njihovih rečenica nije bilo sasvim jasno što su mislili, no iz konteksta se moglo zaključiti da su ipak ispravno prepoznali ishod pokusa.

#### 4.1.3. Objašnjenje

Za razliku od predviđanja i opažanja, objašnjenje pokusa ipak je bilo šarolikije. Svi su učenici svoje odgovore temeljili na konceptu magnetskog polja i linijama magnetskog polja.

Učenica A3 već je prilikom opažanja spomenula kako je privlačenje dvaju magneta rezultat neke privlačne sile, a to je ponovila i prilikom svog objašnjenja ovog pokusa. No nije znala imenovati tu silu, već ju je samo vektorski prikazala na svom crtežu (Slika 11).

A3: „Pa... spojili su se, to jest ta neka... a neka sila sigurno.“



**Slika 11.** Crtež učenice A3 uz objašnjenje Pokusa 1 kojim prikazuje privlačenje dvaju magneta. Zaobljene krivulje su linije magnetskog polja, a privlačna sila između magneta naznačena vektorom i slovom F.

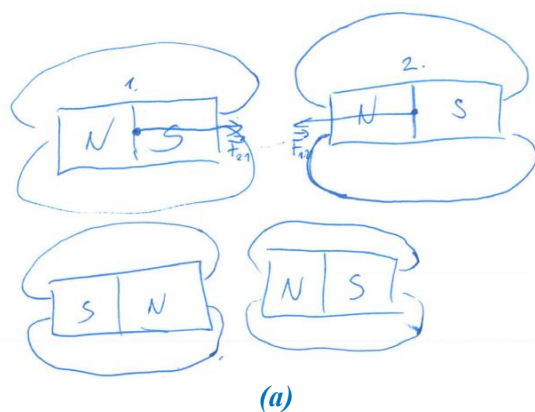
Uz magnete je vezala i pojam magnetskog polja, navela je da je to polje koje nastaje oko magneta i koje se vizualno predočava linijama magnetskog polja, koje naziva silnicama. Točno je navela i njihov smjer.

A3: „Pa... magnetsko polje je polje koje nastaje oko magneta i ima, znači, ajmo sad u ovom štapićastom, ima dva pola i ide iz sjevera prema jugu.“

Iako učenica nije imenovala silu, prepoznala je da se javlja sila među magnetima i opisala magnetsko polje i njegov izgled, iz čega možemo zaključiti da učenica poznaje koncept magnetskog polja i da donekle razumije pojavu, pa će se njezin odgovor vrednovati kao točan.

Učenica B4 također objašnjava pokus pomoću magnetskog polja, opisujući ga kao prostor u kojem neki magnet djeluje i čije se područje djelovanja vizualno predočava linijama magnetskog polja, koje ona naziva silnicama (Slika 12). Na skici možemo primijetiti da nedostaje smjer linija polja i da su na istoj skici prikazane i linije magnetskog polja i sile.

B4: „...ove silnice tog polja se... idu od jednog do drugog pola... (...) Pa, svaki magnet ima to svoje neko polje u kojem djeluje i onda... ovisno o udaljenosti... to se više ili manje osjeti u prostoru.“



**Slika 12. (a)** Crtež učenice B4 uz objašnjenje Pokusa 1. Gornji par magneta predstavlja privlačenje, a donji odbijanje magneta.  
**(b)** Prikaz privlačenja magneta pomoću linija magnetskog polja [17].

Nadalje, učenica prepoznaje djelovanje magneta na daljinu tako što navodi da magneti ne moraju nužno biti u kontaktu da bi nastalo međudjelovanje.

B4: „Imamo neki magnet i drugi magnet ovdje... i ako se privlače, znači da su ovo neke silnice i onda međudjelovanje ta dva polja je privlačno (...) bilo je dovoljno samo ih približiti na neku udaljenost jer onda sila već krene djelovati.“

Ukupno možemo zaključiti da učenica razumije i točno opisuje pojavu. Jedina pogreška bila je to što nije znala nacrtati privlačenje dvaju magneta pomoću linija magnetskog polja. Naime, njezin crtež sadrži dva magneta s pripadajućim magnetskim poljima, no taj crtež ne pokazuje međudjelovanje njihovih magnetskih polja (Slika 12), već je privlačenje magneta prikazano zasebnim vektorima sila u jednoj skici. Ipak, nakon crtanja odbijanja dvaju magneta, učenica je uočila svoju pogrešku:

B4: „Nešto sam zeznula kod silnica... razmišljam sad o tome ovaj... nekako kad se privlače silnice bi trebale ići jedna do druge, a ovo bi trebalo biti slučaj kad se odbijaju.“

Ukupno možemo zaključiti da učenica razumije i točno opisuje pojavu, pa će se njezin odgovor vrednovati kao točan.

Učenik C5 linije magnetskog polja također naziva magnetskim silnicama, a opisuje ih kao zamišljene neprekinute linije koje prikazuju utjecaj magnetskog polja. Smatra da sve točke na jednoj silnici imaju ekvivalentan utjecaj magnetskog polja, odnosno da osjećaju jednaku privlačnu ili odbojnu silu.

C5: „Pa silnice..., to su neke zamišljene linije znači, ali ne što se tiče magnetskog polja zapravo su neprekinute jer idu unutar magneta koje nam... prikazuju kao nekakav... znači jedna silnica... na njoj je jednak... utjecaj magnetskog polja, kao ekvivalentan, znači sve točke na toj silnici imaju ekvivalentan utjecaj i osjećaju jednaku... privlačnu ili odbojnu silu magnetskog polja.“

Pritom gušće silnice znače jaču privlačnu silu između dvaju magneta, a rjeđe slabiju. Učenik C5 opisuje djelovanje sila u slučaju privlačenja magneta. Prepoznaje da dva magneta međudjeluju parom sila jednaka iznosa, ali suprotna smjera.

C5: „I u ovom slučaju bi ovdje bila neka sila  $F_1$ . Ovdje bi sila  $F_2$  i one su, znači, njihov modul je jednak, ali je zapravo  $F_1$  vektorski  $-F_2$ . (...)Znači  $F_2$  je privlačna sila znači koja privlači magnet A na magnet B.“

Ukupno možemo zaključiti da učenik razumije pojavu i točno ju opisuje, pa će se odgovor vrednovati kao točan.

Učenica D3 niti jednom nije spomenula magnetsko polje, no u svojem je objašnjenju ishoda pokusa neprestano spominjala silnice (kako ona naziva linije magnetskog polja). Na početku je navela kako su magnetski polovi međusobno „*možda povezani sa silnicama*“, ali nije znala što bi silnice predstavljale. Uz svoje objašnjenje crta i skicu (Slika 13) te navodi njihov kružni oblik i gustoću:

D3: „Išle bi u krug, znači smanjivale bi se i postajale bi sve gušće i gušće.“

Istraživač: „Što bi onda predstavljale te silnice, i što bi značilo tamo gdje su gušće?“

D3: „Pa, tamo gdje magnet najviše ima magnetizma.“

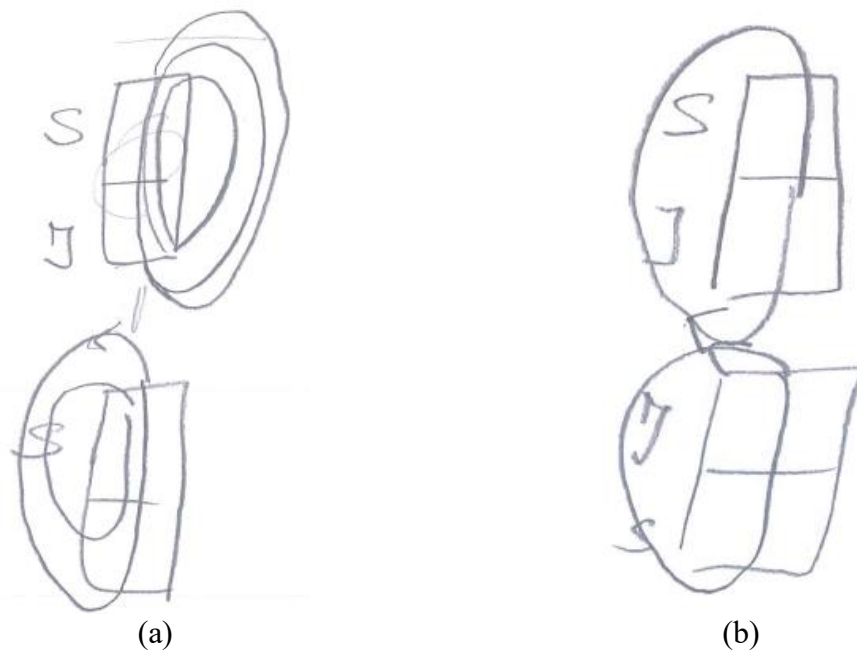
Primjećujemo da učenica ipak ima neku ideju o ovoj pojavi, no ima poteškoća s imenovanjem fizikalnih pojava. Gustoću silnica povezuje s *magnetizmom*, izrazom koji vjerojatno predstavlja jakost magnetskog polja. Privlačenje magneta također pokušava objasniti pomoću silnica koje se privlače.

D3: „Vjerojatno je došlo do silnica gdje su se spojile i onda su se privukle, jer su različiti polovi magneta.“

Istraživač: „A kako su znali da se moraju odbiti?“

D3: „Jer su bili isti polovi istih silnica, znači bile su identične.“

Ovdje vidimo nastavak objašnjenja pomoću silnica: u svojim odgovorima učenica polako slaže svoj koncept i u prijašnje znanje o privlačenju suprotnih polova uklapa silnice, a skicu pokušava uklopiti u svoj model privlačenja i odbijanja magneta.



**Slika 13.** Skica učenice D3 uz objašnjenje Pokusa 1 kojim objašnjava privlačenje dvaju magneta (a) i odbijanje dvaju magneta (b). Strelica kojom prikazuje smjer silnice za učenicu predstavlja smjer gibanja elektrona.

D3: „Znači, ako je ovo jug, onda će ovdje biti sjever i onda silnice idu suprotnim smjerom i onda se privuku... Hmm... ne... idu u suprotnom i onda se privlače.“

Istraživač: „Ovo što si sada nacrtala što bi to predstavljalo, ovu strelicu?“

D3: „Hmm... znači to su negativno nabijeni elektroni.“

Istraživač: „U redu, a kada imaju iste polove, ako imamo odbijanje?“

D3: „Onda negativno nabijeni elektroni idu u istom smjeru i onda se zato odbijaju.“

Ovdje vidimo potvrdu razmišljanja da se magneti međusobno prepoznaju preko silnica, iz čega vidimo da učenica ima neku ideju o magnetskom polju, premda ga ne imenuje. Iako neprestano spominje silnice, učenica ne zna što one predstavljaju, pa ih na temelju asocijacija na prijašnje gradivo pokušava objasniti. S obzirom da se strelicom označavao smjer električne struje u strujnom krugu, učenica strelicu na liniji magnetskog polja vjerojatno poistovjećuje s gibanjem elektrona u žici. Pomoću svojega koncepta učenica objašnjava i odbijanje magneta: negativni elektroni gibaju se u istom smjeru i odbijaju se, što potkrepljuje crtežom na Slici 13.

Ukupno možemo zaključiti kako učenica ima barem neku ideju o magnetskom djelovanju na daljinu i da se on na neki način međusobno *prepoznaju*, no budući da ne zna objasniti pojmove koje navodi i da ih tumači na krivi način koristeći se idejama iz ranijeg gradiva koje nužno nije vezano za magnetizam, odgovor se vrednuje kao netočan.

Učenik E4 također povezuje viđenu pojavu s prethodnim gradivom. On smatra kako su različite strane magneta, tj. njegovi polovi, suprotno nabijeni, pa se dva ista pola ne mogu spojiti, odnosno da bi se dva pola spojila, oni moraju biti suprotnih naboja. Sjever po njemu predstavlja pozitivan, a jug negativan naboj, što je učenik i naznačio na svojem crtežu (Slika 14).

E4: „Magneti funkcioniraju tako da se jedna strana, pozitivna, spaja s drugom, negativnom. Dvije iste strane ne mogu se spojiti i to smo tu vidjeli da moraju biti suprotnih naboja. Jedna strana magneta je pozitivno nabijena, druga negativno. (...)... gornja strana magneta koja će se spojiti s južnom stranom drugog magneta jer su te dvije suprotne.“



**Slika 14.** Crtež učenika E4 kojim predstavlja magnet i njegove polove. Učenik znakom „+“ označava sjeverni pol, a znakom „-“ južni pol.

Učenik navodi kako se magneti *prepoznaju* pomoću magnetskih silnica koje ga asociraju na magnetsko polje. Opisuje ga kao prostor oko magneta u kojem djeluju magnetske silnice:

E4: „Pa magnetsko polje je prostor oko magneta u kojem djeluju magnetske silnice.“

Pojavu privlačenja dvaju magneta objašnjava spajanjem silnica, što ilustrira skicom (Slika 15).

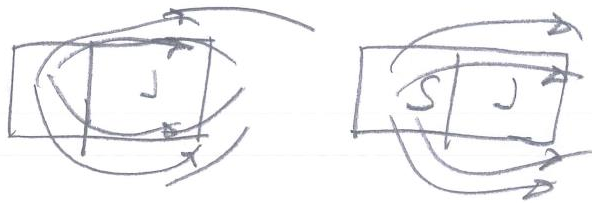
E4: „Samo sekundu... hmmm... ovako... ovako... i sad pošto vidimo jednu stranu, recimo da je tu južna a ovdje na drugom sjeverna, te silnice će ići u jednu stranu, druge će ići u drugu pa će doći do privlačenja.“

E4 [prilikom crtanja linija magnetskog polja]: „Ovako nekako... samo malo duže bi trebale biti... i onda ovako... sjever prema jugu pa se onda ovako spoje.“

Istraživač: „I kad se one spoje?“

E4: „Dolazi do privlačenja magneta.“

U njegovu se objašnjenju daje naslutiti da privlačenje dvaju magneta opisuje pomoću spajanja linijskog polja (slično prikazu na Slici 12.b), no njegov je odgovor nejasan, kao i slika koju je nacrtao. U slučaju odbijanja tvrdi da se silnice neće spojiti.



**Slika 15.** Crtež učenika E4 kojim prikazuje privlačenje dvaju magneta.

Ukupno, učenik u početku polove magneta pogrešno poistovjećuje s nabojima. Tek kasnije spominje magnetsko polje, ali pomoću njega ipak ne uspijeva jasno opisati pojavu pa će se njegov odgovor vrednovati kao netočan.

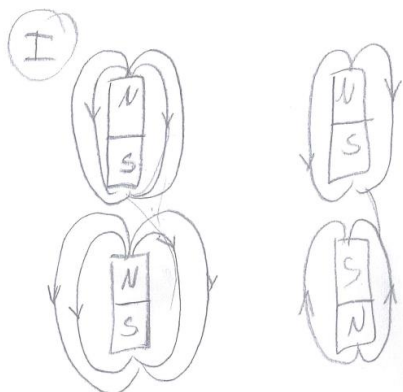
Učenica F5 započinje svoje objašnjenje tvrdnjom da svaki magnet ima svoje magnetsko polje. Kada se dva magnetska polja *sudare*, silnice se privlače ako su suprotni polovi jedan do drugog i odbijaju ako su isti polovi jedan do drugog.

F5: „Kad smo približili različite polove, privlačili su se jer svaki magnet ima svoje magnetsko polje i kad su se stavili da magnetska polja sudare, zapravo su se silnice privlačile. A kad su polovi bili okrenuti da se kao... na isti način, silnice su se, kad su se srele, došle u smjeru kao da su se odbijale, pa su se magneti odbijali.“

Magnetsko polje definira kao prostor koji stvara magnet, a magnetske silnice kao vizualizaciju tog polja (Slika 16) koja nam govori o smjeru magnetskog polja u nekoj točki prostora:

F5: „Magnetsko polje... da, to je prostor... koji stvara magnet, a silnice su naš prikaz tog magnetskog polja. Mi ga ne vidimo, ali smo ga nekako sebi htjeli vizualizirati da nam bude jasnije...“

Iako u svojem objašnjenju spominje privlačenje i odbijanje silnica magnetskog polja, ne prikazuje to na svojem crtežu.



**Slika 16.** Crtež učenice F5 kojim opisuje privlačenje i odbijanje magneta.

Ukupno, učenica je ispravno opisala pojavu i njezin se odgovor vrednuje kao točan.



## 4.2. Pokus 2: Utjecaj magneta na kompas

### 4.2.1. Predviđanje

U Tablici 14 prikazana su učenička predviđanja za drugi pokus.

UČENIK/CA	CITAT	TOČNOST
A3	<i>„Pa krenut će se vrtjeti i npr. ako približimo, ne znam koji je sad koji pol, ali ako približimo tipa sjever, onda će se jug na ovoj igli okrenuti prema tamo, a ako približimo jug, onda će se sjever okrenuti prema tamo.“</i>	T
B4	<i>„Pa, magnetska igla će se usmjeriti prema suprotnom... prema jednom od polova magneta.“</i>	T
C5	<i>„Aha pa... ova jedna od ove dvije strelice, kazaljke, će se okrenuti prema magnetu... i ovisno o tom koji je pol magneta, okrenut će se crvena ili bijela...“</i>	T
D3	<i>„Magnetska igla, odnosno kazaljka će se početi okretati (...) jer su to dva magneta, a i velika je gustoća silnica zajedno.“</i>	T
E4	<i>„To bi utjecalo... na pomak igle... znači da bi je u nekom smjeru pomaknulo. (...) Zato što će dva magneta doći blizu, znači kao što smo vidjeli u onom pokusu, dva magneta će si doći blizu i reagirati jedan s drugim.“</i>	T
F5	<i>„S obzirom da sam radila pokus, znam što će se dogoditi. Da nisam sigurna, rekla bih da se ništa neće dogoditi, ali budući da smo radili, pretpostavljam da će se igla otkloniti. (...) Jer prije... nikad ne bih gledala na magnet da ima magnetsko polje... Saznala sam za magnetsko polje tek u srednjoj i ne bih znala uopće zašto bi se kazaljka pomaknula i mislila bi... znala bi to za magnetsko polje Zemlje i mislila bih da se neće to ništa pomaknuti, Zemlja je ogromna, ona je ipak jača od magneta i ne bi mi nikad palo na pamet da je magnet jači od Zemlje u smislu magnetskog polja.“</i>	T

Tablica 14. Učenička predviđanja za Pokus 2.

Predviđanje ovog pokusa u cjelini je ipak bilo nešto lošije u odnosu na prvi pokus. Iako su svi učenici točno pretpostavili da će se magnetska igla otkloniti, ideje na kojima su temeljili svoje pretpostavke bile su različite.

Primjerice, učenica D3 svoje predviđanje temelji na ideji koju je iskoristila pri objašnjenju prvog pokusa. Smatra da će veća gustoća silnica zbog prisustva dva magneta uzrokovati okretanje magnetske igle.

Učenik E4 također koristi Pokus 1 kao temelj pretpostavke u ovom pokusu, ali pritom ne spominje silnice, već se fokusira na magnetsko međudjelovanje između dvaju magneta.

Zanimljivo je bilo razmišljanje učenice F5 koja je imala točnu pretpostavku, kako sama kaže, zato što je izvela isti takav pokus na nastavi te da bi imala drukčiju (i pogrešnu) pretpostavku da taj pokus nije već vidjela. Ona svoju pretpostavku temelji na djelovanju magnetskog polja magneta na magnetsku iglu u kompasu.

#### **4.2.2. Opažanje**

Kod opažanja pojave također nije bilo problema i učenici su ispravno opazili i opisali pojavu, no s različitom količinom detalja. Učenica A3 opisala je viđeno:

*A3: „Pa... određeni dio igle okrenuo se prema magnetu, ovisi koju smo stranu magneta približili.“*

Za razliku od učenice A3, opažanje koje je navela učenica F5 nije sadržavalo nikakve detalje o tome kako se točno kazaljka otklonila:

*F5: „Kazaljka se otklonila.“*

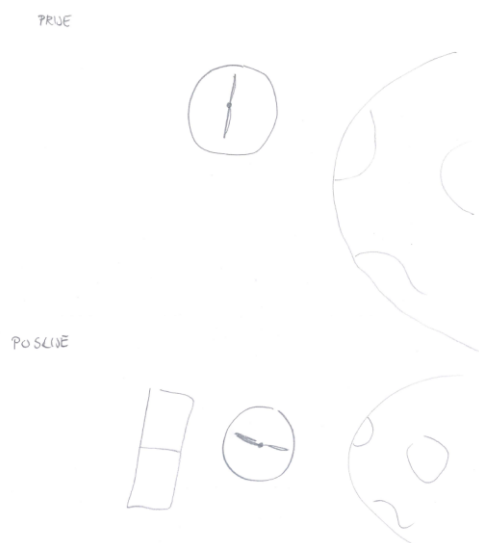
Učenica B4 također je jasno navela svoje opažanje o tome kako se magnetska igla usmjerila, ali je već u svojem opažanju izrekla i dio objašnjenja zašto je to tako.

*B4: „Pa dakle... kad smo približili jedan pol magneta [kompasu], onda se suprotni pol igle usmjerio prema njemu. Odnosno, možemo reći da se cijela igla usmjerila prema silnicama polja magneta...“*

#### **4.2.3. Objašnjenje**

Učenici A3, B4 i C5 točno objašnjavaju princip rada kompasa i uočenu pojavu. Sve troje navode kako magnetska igla, prije nego li joj se magnet približi, prati magnetsko polje Zemlje. Kada joj se približi magnet, magnetska se igla usmjerava prema njemu jer je njegov utjecaj na magnetsku iglu sada jači od utjecaja Zemlje (Slika 17).

A3: „Sad je ta igla u polju Zemlje i ona se okreće prema polju, to jest, da, okreće se prema polju Zemlje, a kad dovedemo drugi magnet, a budući da je taj magnet, ajmo reći, jači u ovom slučaju, onda će se okrenuti prema tamo.“



**Slika 17.** Crtež učenice A3 kojim prikazuje utjecaj magnet na kompas.

Učenici B4 i C5 produbljuju svoje objašnjenje i navode da magnetska igla u tom slučaju (kada joj je magnet blizu) zapravo pokazuje rezultatno magnetsko polje koje čine Zemljino magnetsko polje i magnetsko polje dodanog magnet (Slika 18).

C5: „Aha zanemario sam [Zemljino magnetsko polje] jer je mali učinak, mislim... mali, ali nije... Ali ukupno bi bio vektorski zbroj ovo dvoje i onda bi imali neki ukupni vektor, neki treći. Recimo, ovo je magnetsko polje Zemlje i od ovog tu magnet, a ovaj je puno jači pa će onda biti ovako neka rezultanta.“



**Slika 18.** Skica učenika C5 koja prikazuje rezultatno magnetsko polje koje pokazuje magnetska igla.

Učenice A3 i B4 također su ispravno navele kako se na geografskom sjevernom polu Zemlje nalazi južni magnetski pol.

B4: „Pa, recimo... ovisno kako se označi na igli. Ako sjever igle pokazuje u nekom smjeru, to je onda sjeverni geografski pol, odnosno to je južni magnetski.“

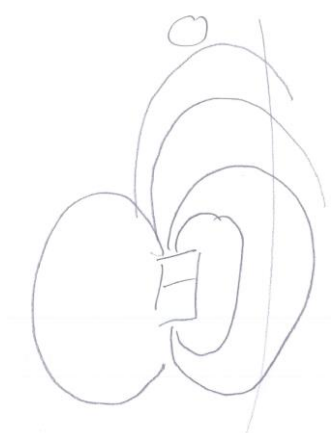
Odgovori učenika A3, B4 i C5 vrednovat će se kao točni.

Učenica D3 ima poteškoće pri objašnjenju pokusa. Otklon magnetske igle u kompasu nakon što joj se približi magnet pokušava objasniti uz pomoć silnica, slično kao u prvom pokusu. Još prilikom davanja predviđanja (Tablica 14) spominje kako će se igla kompasa otkloniti zbog veće gustoće silnica, a tu ideju ponavlja i prilikom objašnjenja, što ilustrira skicom (Slika 19) koju i opisuje.

D3: „Ovdje je kompas... i onda kada se približimo silnice su bile gušće i zato se dogodi odmicanje.“

Istraživač: „Aha, znači silnice magneta su bile gušće kad smo približili?“

D3: „Kad smo približili magnet kompasu.“



**Slika 19.** Skica učenice D3 uz pomoć koje objašnjava ishod Pokusa 2. Skica prikazuje silnice magneta koji se približava kompasu (kružić pri vrhu slike).

Na pitanje o položaju magnetske igle kada magnet nije u blizini najprije ne daje nikakav odgovor, no kasnije navodi da i Zemlja ima utjecaj na magnetsku iglu, a taj utjecaj ponovno naziva magnetizmom.

D3: „Vjerojatno i Zemlja ima magnetizam, odnosno sto posto ima, i ta magnetna igla isto... nekako djeluje, kao ovaj magnet koji smo privlačili, sa Zemljom pa onda znamo odrediti strane svijeta.“

Učenica uz istraživačevo potpitanje uspijeva definirati magnetsko polje koristeći se konceptom silnica iz prvog pokusa.

D3: „To je ono B, tako se označava, to je vjerojatno skup silnica gdje se nešto odvija, ne znam, otprilike.“

*Istraživač: „Što bi onda bilo magnetsko polje ovdje?“*

*D3: „Pa onda ovaj tu dio vjerojatno gdje su silnice, (...) gdje djeluje magnet, područje gdje djeluje, znači od kompasa ovo tu sve ako proširim te silnice, ovo bi bilo magnetsko polje, područje gdje djeluje magnet.“*

Sveukupno, učenica je dala šarolike odgovore. Izjava da su silnice gušće nije posve jasna: učenica nije jasno iskazala smatra li da su silnice magnetskog polja postale gušće same od sebe zbog primicanja magnetu ili se zbog primicanja magnetu kompas nalazi u području gušćih silnica magnetu. Iako izjava sadrži točne elemente, ne možemo do kraja zaključiti što točno učenica misli. Ono što pak možemo zaključiti jest da učenica konceptualno prepoznaje da je primicanjem magnetu njegovo magnetsko polje djelovalo na iglu u kompasu i da je to uzrokovalo otklon igle u kompasu, što je objasnila služeći se objašnjenjem prvog pokusa. Na temelju toga odgovor će se vrednovati kao djelomično točan.

Učenik E4 prepoznaje međudjelovanje magnetu i igle u kompasu i ispravno zaključuje da između njih postoji privlačna sila. On je jedini učenik od ispitanih koji je prepoznao da se između magnetu i magnetske igle javila sila koja je uzrokovala rotaciju igle. Učenik također ispravno prepoznaje da utjecaj magnetskog polja općenito ovisi o udaljenosti od izvora tog polja.

*Istraživač: „A zašto se onda igla okrene kada približimo magnet?“*

*E4: „Možda jer taj magnet ima neku jaču privlačnu silu prema magnetnoj igli nego što je Zemlja u tom slučaju.“*

Učenik je svjestan i djelovanja magnetskog polja Zemlje. Točno zaključuje kako magnetska igla pokazuje u skladu sa Zemljinom orijentacijom magnetskog polja, ali na pitanje o tome zašto igla pokazuje na geografski sjever ponovno poistovjećuje magnetske polove i naboje.

*Istraživač: „Zašto se onda okreće prema sjeveru??“*

*E4: „Možda zato što je... taj sjever valjda privlačan, valjda suprotno od... hmm... tog naboja igle će biti sjever od Zemlje pa će se međusobno privlačiti ili odbijati, ovisi u kojem slučaju.“*

Slično kao i ostali učenici, i učenik E4 uspoređuje jakost magnetskih polja Zemlje i magnetu. Dok su ostali naveli kako je utjecaj magnetu na iglu jači kada je magnet blizu magnetske igle, čini se da učenik E4 uspoređuje to dvoje na temelju mase i veličine predmeta.

*Istraživač: „Znači li to da ovaj magnet ima općenito jače magnetsko polje od Zemlje?“*

*E4: „To nije sigurno haha, samo vjerojatno ovisi o blizini magnetu, odnosno te igle sa tim magnetom.“*

Ako izuzmemo ideju o tome da magnetska igla nosi naboj i poistovjećivanje jakosti magneta s njegovom veličinom, odgovor učenika E4 bio je ispravan, pa će se odgovor vrednovati kao djelomično točan.

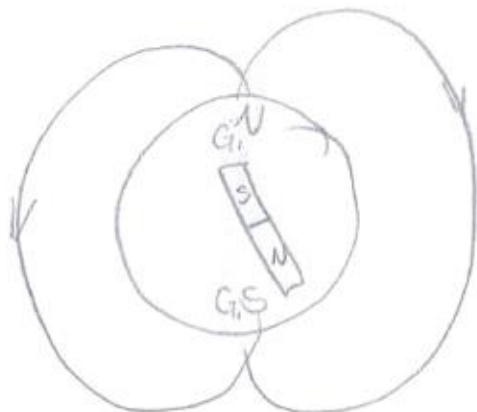
Učenica F5 također je prepoznala pojavu i objasnila ju je pomoću magnetskih polja, a kao temelj iskoristila je svoje objašnjenje prvog pokusa.

*F5: „Pa isto kao i u prošlom pokusu, ona pokazuje magnetsko polje Zemlje, ali kad je došao magnet, on sam po sebi ima magnetsko polje i onda je poremetio magnetsko polje koje ima Zemlja, budući da je on puno... rekla bih bliže... i jače... ima trenutno jače magnetsko polje nego Zemlja koje ovaj kompas može... ovo je dosta slab kompas, pa će prije... njemu je jače magnetsko polje od magneta nego od Zemlje pa kad smo približili magnet, njegovo magnetsko polje je bilo jače i kazaljka se usredotočila više na magnet nego na Zemlju jer je... tom kompasu ovo magnetsko polje jače nego magnetsko polje Zemlje.“*

*Istraživač: „Djeluje li onda još uvijek magnetsko polje Zemlje?“*

*F5: „Da, ali je ovo jače.“*

Učenica također uspoređuje jakost magnetskih polja magneta i Zemlje. Navodi kako je utjecaj magneta na iglu, zbog blizine, jači. Učenica također ispravno navodi razmještaj geografskih i magnetskih polova Zemlje, što prikazuje i crtežom (Slika 20).



**Slika 20.** Skica učenice F5 kojom prikazuje Zemlju kao magnet te razmještaj Zemljinih magnetskih polova (S i N) i geografskih polova (GN i GS).

Objašnjenje učenice jasno je i precizno pa će se ovaj odgovor vrednovati kao točan.

### 4.3. Pokus 3: Utjecaj električne struje na kompas

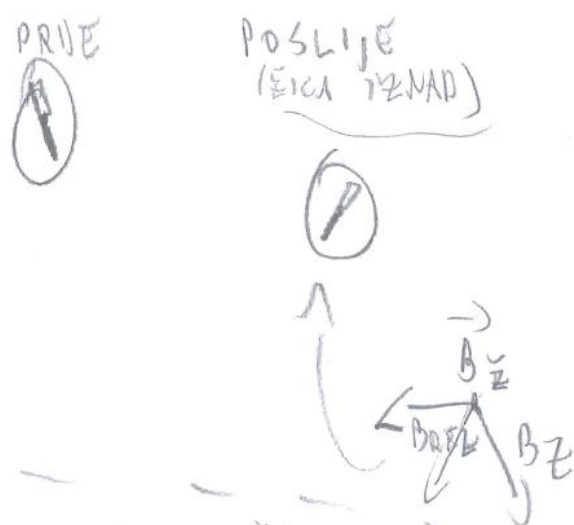
#### 4.3.1. Predviđanje

U Tablici 15 prikazana su učenička predviđanja za treći pokus.

UČENIK/CA	CITAT	TOČNOST
A3	„Kad potekne struja, onda će u vodiču, mislim oko vodiča će nastati magnetsko polje koje će onda utjecati na tu iglu.“	T
B4	„Kad ne teče struja, igla prati normalno Zemljino magnetsko polje. A kada se zatvori strujni krug, onda će kao struja stvoriti i magnetsko polje i igla će pratiti silnice tog polja.“	T
C5	„Dobro, dakle ako se nalazi ispod žice, a magnetsko polje žice ide ovako, onda bi to imalo neki ovakav smjer: smjer Zemlje i neki dodatni doprinos, neki otklon bi bio tu...“	T
D3	„Kompas neće mirovati, odnosno magnetska igla će početi micati. (...) Vjerojatno jer bi struja poremetila taj... kao... slijed negativno nabijenih elektrona... u magnetu.“	N
E4	„Igla će promijeniti svoj položaj jer će struja, odnosno strujno polje, imati utjecaj na magnetsku iglu. (...) Hmm... pa, eto jer struja utječe na magnet. Sad, zašto... možda će strujno polje imati nekakve te... isto kao privlačenje negativnog naboja pa će to utjecati na naboj igle što će doći do pomaka nekog.“	DT
F5	„Jer kad strujnim krugom teče struja, ona stvara svoje vlastito magnetsko polje i opet, to trenutno magnetsko polje je jače na ovaj kompas nego Zemljino magnetsko polje, pa će se kazaljka otklanjati.“	T

Tablica 15. Učenička predviđanja za Pokus 3.

Iako su svi učenici točno pretpostavili da će se uključivanjem struje kazaljka kompasa otkloniti, ideje na kojima su temeljili predviđanje bile su različite. Učenici A3, B4, C5 i F5 imali su ispravnu argumentaciju. Već su u svojem predviđanju spomenuli kako će se oko žice kojom teče struja pojaviti magnetsko polje. Učenik C5 je i nacrtao svoje predviđanje i naznačio smjer rezultantnog magnetskog polja koje će nastati (Slika 21).



Slika 21. Crtež učenika C5 uz predviđanje Pokusa 3.

Učenica D3 točno je predvidjela otklon kazaljke, ali na temelju krive ideje. Iako je njezin koncept pogrešan, konzistentan je s konceptom u prijašnjim pokusima.

Učenik E4 svoju točnu pretpostavku ishoda pokusa temelji na potpuno novom konceptu *strujnog polja* koje povezuje s prvim pokusom u kojem međudjelovanje dvaju magneta objašnjava nabojima.

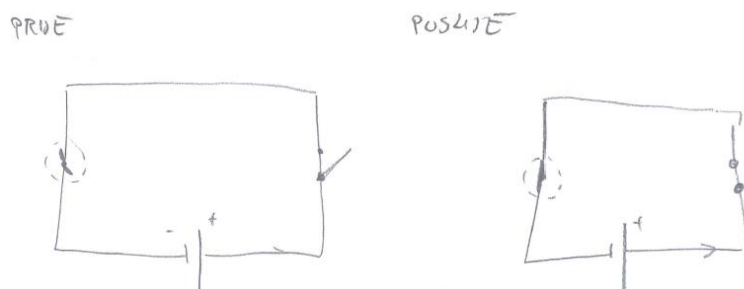
#### 4.3.2. Opažanje

Svih šestero učenika točno je opazilo što se dogodilo zatvaranjem strujnog kruga, no svoje su odgovore dali s različitom količinom detalja. Također, svih šestero primijetilo je i specifičan položaj igle u kompasu kada je strujni krug otvoren. Učenica A3 spomenula je pomak strelice (magnetske igle), no bez skice (Slika 22) i samo na temelju njezinih riječi, nejasno je kako se točno igla pomaknula (translacija ili rotacija).

A3: „Pa pomakla se strelica...u slučaju kad je struja potekla strujnim krugom.“

Istraživač: „U redu, što kad struja nije tekla?“

A3: „Onda je bila inače kako stoji... na Zemlji.“



Slika 22. Crtež učenice A3 uz opažanje ishoda Pokusa 3.



### 4.3.3. Objašnjenje

Budući da već prilikom predviđanja objasnila pojavu, učenica A3 odmah primjenjuje pravilo desne ruke:

A3: „Pa... *palac je smjer struje i onda kako prsti... kako da to objasnim... kako prsti idu... kako se zavijaju, tako ide, u tom smjeru je magnetsko polje... smjer magnetskog polja.*“

Istraživač: „Što pokazuju onda ti prsti?“

A3: „Aha.. *silnice... tako idu silnice... smjer magnetskog polja.*“

Učenica A3 potom skicira linije magnetskog polja u ovisnosti o smjeru struje (Slika 23). Iako pri crtanju skice nije navela što predstavljaju crtkane kružnice, kasnije ih definira kao silnice magnetskog polja.



**Slika 23.** Skica kojom učenica A3 prikazuje linije magnetskog polja oko ravnog vodiča kojim teče struja.

Unatoč točnom objašnjenju uočene pojave, učenica nije uspjela reproducirati formulu za magnetsko polje (Slika 24).

$$B = \mu_0 \mu_r \frac{I}{2\pi r}$$

**Slika 24.** Inačica formule učenice A3 za magnetsko polje B oko ravnog vodiča kojim teče struja.

Učenica se najprije prisjeća oznaka  $\mu_0$  i  $\mu_r$  i imenuje ih kao *permitivnost*. Iz toga možemo zaključiti da učenica ne zna razliku između konstanti električne permitivnosti i magnetske permeabilnosti i da im ne pridaje konkretno fizikalno značenje. Prisjetila se i oznake „r“ u nazivniku, za što je najprije smatrala da je polumjer žice. Uz pomoć svoje skice (Slika 23) došla je do zaključka:

A3: „Da, to[crtkano] je polje, magnetsko polje... I znači, moramo... aaa ne, r nije polumjer žice nego je to udaljenost točke na... te neke na kojoj gledamo to magnetsko polje, to je r.“

Istraživač: „Znači udaljenost točke i čega još?“

A3: „Udaljenost točke od žice, od vodiča.“

Na temelju odgovora i crteža možemo zaključiti da učenica prepoznaje pojavu u pokusu i da konceptualno barata pojmovima. Prepoznala je ovisnost magnetskog polja o udaljenosti od vodiča i sredstvu, ali nije prepoznala ovisnost o struji, pa je formula nepotpuna. Budući da njezin odgovor bez formule ipak nije potpun, njezin odgovor vrednovat će se kao djelomično točan.

Učenica B4 također prepoznaje i objašnjava pojavu u pokusu. Ponovila je ideju iz predviđanja da struja stvara magnetsko polje i da magnetska igla sada pokazuje rezultatno magnetsko polje.

*B4: „Pa, kada je potekla struja, nastalo je novo polje, magnetsko polje koje stvara struja, i onda se igla... se... počela usmjeravati kao rezultatna u odnosu na to magnetsko polje, a na silnice tog polja i Zemljinog, mislim ovisno o tome zanemarujemo li Zemljino ili ne.“*

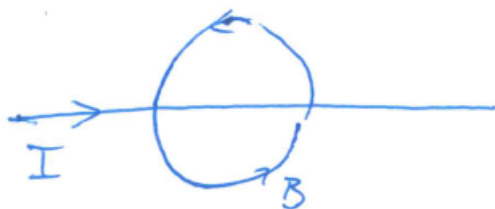
Učenica B4 konstruirala je prilično točnu inačicu formule za magnetsko polje vodiča kojim teče struja (Slika 25), u kojoj su nedostajale samo neke konstante ( $2\pi$  u nazivniku). Sve članove u formuli dobro je imenovala, izuzev permeabilnosti što je za nju „neko svojstvo polja“.

$$B = \mu \cdot \frac{I}{r}$$

**Slika 25.** Inačica formule učenice B4 za magnetsko polje vodiča kojim teče struja.

Učenica poznaje i pravilo desne ruke za ravne vodiče i točno ga primjenjuje na pokus, što potkrepljuje i skicom (Slika 26).

*B4: „Palac usmjerimo u smjeru toka struje, a onda prsti pokazuju... silnice... kružno idu prsti.“*



**Slika 26.** Skica učenice B4 kojom prikazuje smjer struje kroz vodič i smjer magnetskog polja. Strelica pri vrhu kruga izlazi iz papira, dok strelica pri dnu kruga ponire u papir.

Sumirano, učenica je ispravno opisala pojavu, primijenila pravilo desne ruke za određivanje smjera linija magnetskog polja i prepoznala o čemu magnetsko polje ovisi. Iako formula nije

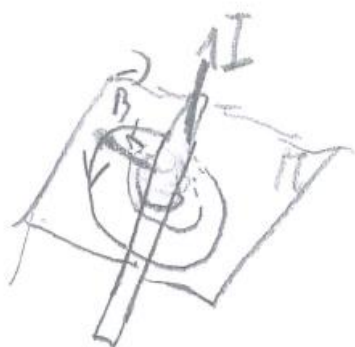
u potpunosti točna, sve veličine o kojima ovisi magnetsko polje točno su navedene u formuli pa će se odgovor učenice B4 sveukupno vrednovati kao točan.

Učenik C5 prepoznaje pojavu i opisuje ju magnetskim poljem koje stvaraju naboji u gibanju unutar vodiča. Pri objašnjenju samostalno primjenjuje pravilo desne ruke za ravne vodiče, a na istraživačevo pitanje ga i pojašnjava. Svoj odgovor potkrepljuje i skicom (Slika 27).

C5: „Ovako uzmem desnu ruku: smjer struje je palac, a onda kako mi se zavijaju ostali prsti, to je smjer polja koje se zavija oko vodiča.“

Učenik samostalno i ispravno konstruira formulu za magnetsko polje ravnog vodiča kojim teče struja (Slika 28).

C5: „...znači  $\mu_0$  je permeabilnost vakuuma a  $\mu_r$  medija u kojem se nalazimo, u nekom drugom mediju. (...) Znači  $I$  je jakost struje a  $r$  je, ajmo reći, okomita udaljenost... te silnice.“



Slika 27. Skica učenika C5 za magnetsko polje  $B$  ravnog vodiča kojim teče struja  $I$ .

$$B = \mu_0 \mu_r \frac{I}{2\pi r}$$

Slika 28. Formula učenika C5 za magnetsko polje  $B$  ravnog vodiča kojim teče struja.

Sveukupno, učenik C5 uspješno je opisao pojavu pa se njegov odgovor vrednuje kao točan.

Učenica D3, iako ne zna samostalno objasniti pojavu, svjesna je da električna struja čini razliku. To objašnjava time što „struja odbaci magnetnu iglu da bi mogla proći“. Činjenicu da nema pomaka igle kada nema električne struje objašnjava time što „ništa ne poremeti rad magnetskog polja“, ali ne definira čije je to magnetsko polje. Na istraživačevo

pitanje o pravilu desne ruke učenica ga izriče, a zatim ispravno i primjenjuje, što potkrepljuje i skicom (Slika 29).

D3: „Znači palac koliko se sjećam pokazuje struju, a [zavinuti] prsti znače magnetsko polje, odnosno  $B$ . (...) Magnetsko polje vjerojatno žice, tj. struje.“



**Slika 29.** Crtež učenice D3 u kojem prikazuje smjer magnetskog polja  $B$  u odnosu na smjer struje  $I$  u ravnom vodiču.

Kako je pravilo desne ruke učenici pomoglo da prepozna magnetsko polje, učenica na kraju ipak, uz potpitanja, donekle uspijeva objasniti pojavu. Formulu ne zna.

Istraživač: „Možeš li povezati struju i magnetsko polje, koja je njihova povezanost, što je uzrok, što je posljedica? Samo na temelju ovog pokusa što si vidjela.“

D3: „Pa mislim da je uzrok magnetskog polja struja.“

Ukupno, učenica je izrekla i iskoristila pravilo desne ruke, zbog kojeg je i bila na tragu točnog odgovora, a na kraju je uspjela i objasniti pojavu. Formulu nije uspjela konstruirati. Ukupno će se njezin odgovor vrednovati kao djelomično točan.

Zanimljivo objašnjenje ponudio je učenik E4. On prepoznaje da električna struja nekako utječe na iglu u kompasu.

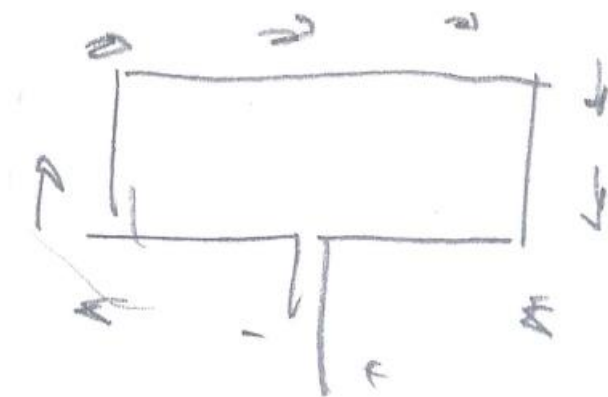
E4: „Pa, došlo je do vanjskog utjecaja jer je struja reagirala, odnosno bilo je tog... kroz ravni vodič je išla struja i došlo je do... nekakvog utjecaja, tj. nekakvog kontakta s iglom, odnosno s magnetskim poljem igle.“

Iako je učenik tijekom predviđanja (Tablica 15) imenovao *strujno polje*, prilikom objašnjenja ga najprije uopće ne spominje. Tek na istraživačeva potpitanja prepoznaje da je u pitanju neko polje kojim električna struja djeluje na iglu iako nema fizičkog kontakta i nadovezuje na svoje predviđanje.

E4: „Pa, valjda je strujno polje došlo u kontakt s magnetskim poljem i onda je došlo do neke promjene u nabojima ili do kontakta nekog između pozitivnih i negativnih naboja. (...) Strujno polje je polje koje nastaje oko vodiča kroz koji prolazi struja.“

Učenik svoj koncept strujnog polja dodatno pojašnjava crtežom (Slika 30). Smatra da struja koja teče dolazi u kontakt s nabojima magnetskog polja te da to rezultira pomakom igle.

E4: „I struja će onda ići ovako, od negativnog pola prema pozitivnom polu... I sad, kako tu imamo te različite naboje, oni dolaze u kontakt s nabojima magnetskog polja i dolazi do nekakvog pomaka igle, jel...“



**Slika 30.** Skica učenika E4 kojom prikazuje smjer struje kroz vodič od negativnog pola baterije prema pozitivnom. Učenik koristi ovu skicu prilikom objašnjenja strujnog polja.

U pokušaju da objasni pokus pomoću *strujnog polja* učenik se koristi onime što je opazio u prethodnim pokusima i kombinira te ideje u jednu. U ranijim je pokusima objašnjavao kako magnet djeluje na drugi magnet pomoću silnica, ali taj princip ovdje nije uspio primijeniti. Predložio je da strujno i magnetsko polje dolaze u kontakt.

E4: „Aha, da magnetsko polje dolazi u kontakt sa strujnim poljem... ili da se nekako spoje međusobno.“

Istraživač: „A strujno polje, je li to onda magnetsko polje ili je to nešto drugo?“

E4: „Ne, strujno polje nije magnetsko polje, iako su povezani. Strujno polje stvaraju naboji koji se kreću kroz vodič, u ovom slučaju negativno nabijeni elektroni. Ti elektroni na neki način dolaze u dodir s pozitivno nabijenom stranom magnetske igle, stvarajući silu koja uzrokuje njeno pomjeranje.“

Učenik navodi razliku između magnetskog i strujnog polja: strujno polje stvaraju naboji koji se kreću kroz vodič i nekako dolaze u kontakt s nabijenom stranom magnetske igle. Ovdje vidimo nastavak učenikove ideje iz objašnjenja prvog pokusa, u kojem je polove magneta poistovjetio s nabojima. Na neki način ovaj je pokus učeniku dao potvrdu te ideje jer je njome uspio objasniti treći pokus i ostvariti poveznicu između električne struje i magneta. Pri konstruiranju formule učenik prvo navodi sve veličine, ali u krivom redosljedju (Slika 31). Iz toga proizlazi da se učenik pokušava sjetiti samo matematičkog izraza, ne dajući mu pritom neko fizikalno značenje.

$$B = I \cdot \frac{2\pi}{r}$$

**Slika 31.** Inačica formule koju učenik E4 piše uz Pokus 3. U brojniku je  $2\pi$ , a u nazivniku  $\mu$ .

Učenik ne percipira formulu kao matematičko objašnjenje pokusa, pa pojedine oznake povezuje s oznakama koje je najčešće koristio, kao što oznaku za udaljenost  $r$  od vodiča naziva polumjerom jer se polumjer najčešće označava slovom  $r$ .

E4: „ $R$  je... a ne, nije  $r$ ... nema tu nikakvog polumjera... nije, onda je  $I \frac{2\pi}{\mu}$  možda. Znači  $B$  je  $I \frac{2\pi}{\mu}$ .“

Nakon što ne primjećuje polumjer,  $r$  potpuno izbacuje iz jednadžbe. To se nastavlja i kod objašnjenja magnetskog polja: učenik zna da je  $B$  oznaka za magnetsko polje, koje je različito od strujnog polja, i to uklapa u svoju ideju tako što  $B$  naziva magnetskim poljem magnetne igle.

E4: „ $B$  je magnetsko polje.[...] Polje magnetna, magnetsko, u ovom slučaju igle.“

Magnetsku permeabilnost ne zna imenovati i ne zna što znači, već samo da se nalazi u kalkulatoru:

E4: „ $\mu$  je neka konstanta o kojoj nismo puno govorili. To je neka konstanta za koju nam je profesorica rekla da ju imamo u kalkulatoru i samo upisujemo u formulu.“

Učenik također prema svojoj ideji da su strujno i magnetsko polje različite pojave prilagođava pravilo desne ruke: palac pokazuje smjer struje, a savijeni prsti pokazuju smjer magnetskog polja igle. Na kraju učenik na ispravan način koristi pravilo desne ruke, što potkrepljuje crtežom (Slika 32). Treba napomenuti kako je učenik pomiješao oznake, pa je  $X$  predstavljao smjer „iz papira“, što vidimo u učenikovu objašnjenju skice.

E4: „Znam otprilike kako ide... znači prsti će pokazivati smjer struje... odnosno palac, on pokazuje smjer struje, dok će prsti koji su savijeni pokazivati smjer magnetskog polja.“

Istraživač: „Kojeg magnetskog polja?“

E4: „Igle, polja koje stvara ova igla.“

(...)

E4: „Ne mogu se sjetiti, ja mislim da je ovako ali nisam siguran,  $X$  pokazuje onda da će smjer magnetskog polja ići van, iz papira.“



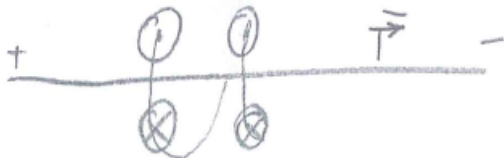
**Slika 32.** Skica kojom učenik E4 prikazuje smjer struje u vodiču i smjer magnetskog polja magnetske igle. Oznaka „X“ predstavlja polje koje izlazi iz papira.

Zaključno, učenik je prepoznao da električna struja nekako djeluje na magnetnu iglu, što je pokušao objasniti svojom novom idejom *strujnog polja*. Matematički izraz nije uspio reproducirati, a nije mu dao ni ispravno fizikalno značenje. Iako je znao izreći pravilo desne ruke, nije ga ispravno primijenio jer je magnetsko polje na koje se to pravilo odnosi nije bilo ono koje je naveo. Budući da je sveukupno bilo previše rupa u zaključivanju, odgovor će se vrednovati kao netočan.

Učenica F5 prepoznaje pojavu i točno ju opisuje.

F5: „Pa, kazaljka je otklanjala jer kada smo pustili da struja teče strujnim krugom, ona je stvorila svoje vlastito magnetsko polje koje je utjecalo na taj kompas.“

Na istraživačevo pitanje o izgledu magnetskog polja, učenica se koristi pravilom desne ruke za ravni vodič i uspješno ga primjenjuje, što potvrđuje i skicom (Slika 33).



**Slika 33.** Prikaz smjera magnetskog polja (kružići s znakom X i točkice) ravnog vodiča u ovisnosti o smjeru struje  $I$  ravnog vodiča.

Iako učenica konstruira naizgled točnu formulu za magnetsko polje ravnog vodiča, pogrešno definira  $2\pi r$  kao opseg strujnog kruga, pri čemu su žice postavljene kružno. Permeabilnost  $\mu$  u formulu dodaje tek na istraživačevo potpitanje. Na dodatna istraživačeva potpitanja o ovisnosti jakosti magnetskog polja o udaljenosti od izvora (vodiča), učenica prepoznaje obrnutu proporcionalnost, ali ju ne uspijeva povezati s oznakom  $r$  u svojoj formuli. Može se primijetiti i da učenica u formuli vektorsku veličinu pogrešno izjednačava sa skalarnom.

$$\vec{B} = \mu \frac{I}{2\pi r}$$

**Slika 34.** Formule učenice F5 za jakost magnetsko polja  $B$  ravnog vodiča kojim teče struja  $I$ .

Ukupno gledano, objašnjenje učenice bilo je točno i pravilo desne ruke ispravno je objasnila i primijenila. Ipak, u formuli pogrešno definira oznaku  $r$  pa će se njezin odgovor vrednovati kao djelomično točan.

#### 4.4. Pokus 4: Utjecaj magnetskog polja zavojnice

##### 4.4.1. Predviđanje

U Tablici 16 prikazana su učenička predviđanja za četvrti pokus.

UČENIK/CA	CITAT	TOČNOST
A3	„Pa dok nema struje bit će kao i inače na Zemlji, a kad zatvorimo strujni krug, onda će se pomaknuti.“	T
B4	„Kad ne teče struja, onda kao dosad... usmjeri se prema silnicama Zemljinog polja. A kada poteče struja, onda će se usmjeriti prema silnicama polja koje stvori zavojnica.“	T
C5	„Dok ne teče struja, ostaje isto kao i prije. A jednom kad poteče struja, unutar zavojnice se stvara magnetsko polje koje u zbroju sa Zemljinim magnetskim poljem daje neku konstantu, odnosno rezultantu.“	T
D3	„Pa vjerojatno ista stvar kao i s paralelnim vodičem jer ako je struja u zavojnici, isto je u žici. (...) Kazaljka kompasa će se odmicati. (...) Vjerojatno isto ulazak u magnetsko polje, elektroni, ne znam.“	DT
E4	„Pa, magnetska igla će promijeniti svoj smjer, odnosno da... promijenit će smjer zbog tog strujnog polja koje reagira s magnetskim.“	DT
F5	„Kazaljka će se otklanjati isto kao i na prijašnjim pokusima jer će ta zavojnica, onaj dio strujnog kruga, stvoriti svoje zasebno magnetsko polje koje će utjecati na kompas.“	T

**Tablica 16.** Učenička predviđanja za Pokus 4.



Svaki učenik točno je predvidio da će se zatvaranjem strujnog kruga igla kompasa otkloniti. To je bilo i očekivano jer je ovaj pokus svojevrsna nadogradnja Pokusa 3.

Učenici A3, B4, C5 i F5 svoju su pretpostavku i argumentirali ispravno spominjući magnetsko polje zavojnice te se često pomažući znanjem iz prethodnih pokusa.

Učenici D3 i E4 također su svoju pretpostavku temeljili na svojim objašnjenjima prijašnjih pokusa, ponavljajući svoje prijašnje ideje. Učenica D3 istaknula je kako prije nije vidjela zavojnicu uživo, već jedino na YouTubeu.

#### 4.4.2. Opažanje

Svi učenici opazili su ishod pokusa. Učenica D3 navela je i da je otklon kazaljke jači nego u prethodnom pokusu:

D3: „Jače se odmiču kazaljke. (...) Zdesna nalijevo.“

Učenik E4 uz svoje je opažanje ponovio i svoje objašnjenje:

E4: „Došlo je do pomaka igle, ona je promijenila svoj položaj kada je bila u reakciji sa strujom. (...) U smjeru kazaljke na satu.“

#### 4.4.3. Objašnjenje

Učenica A3 ishod pokusa objašnjava pojavom magnetskog polja u zavojnici koje stvara struja koja protječe kroz zavojnicu. Magnetsko polje zavojnice prikazuje i skicom (Slika 35).

A3: „Pa kad je potekla struja, opet je bilo... došlo je do pojave... mislim... kad je potekla struja, pojavilo se magnetsko polje u toj zavojnici i to je onda utjecalo na otklon igle.“

Istraživač: „Što bi onda bio izvor magnetskog polja?“

A3: „Pa izvor bi bila ta struja koja je potekla kroz zavojnicu.“

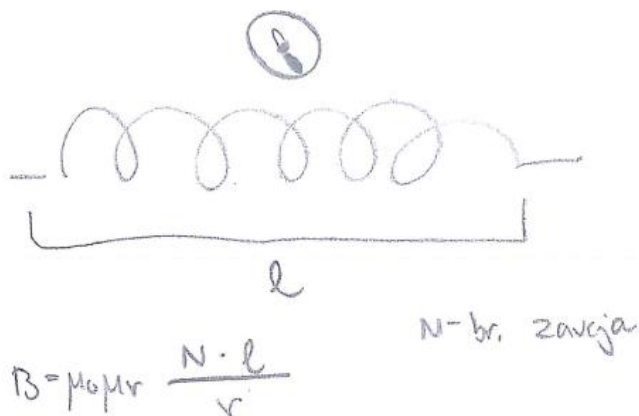


Slika 35. Crtež učenice A3 u kojem prikazuje smjer toka struje i magnetskog polja zavojnice.

Za ovaj pokus također uspješno opisuje pravilo desne ruke za zavojnicu, primjenjuje ga i tako još jednom potvrđuje svoje opažanje.

A3: „Struja su u ovom slučaju ostali prsti, a palac je smjer polja, a budući da struja ide onako kako idu zavoji zavojnice, onda možemo odrediti da je magnetsko polje onako kako bi išao palac...“

Pri konstrukciji formule učenica iznosi više različitih varijanti i ovisnosti, a na kraju se odlučuje za formulu u kojoj je magnetsko polje proporcionalno broju zavoja  $N$ , duljini zavojnice  $l$  i obrnuto proporcionalno promjeru  $r$  jednog prstena zavojnice (Slika 36).



Slika 36. Inačica formule učenice A3 za magnetsko polje zavojnice.

Kao dodatno pitanje, učenicu se pitalo što bi pokazao kompas ako bismo ga stavili pored zavojnice, kao što je prikazan na Slici 36. Učenica predviđa da otklona igle kazaljke neće biti, što je u skladu s njezinom skicom magnetskog polja zavojnice (Slika 35). Kada ipak uoči otklon, ne zna ga objasniti.

Ukupno gledano, učenica je uspješno opisala pojavu otklona igle kompasu unutar zavojnice, no izgled magnetskog polja zavojnice kojom teče struja i formula su samo djelomično točni pa se njezin odgovor ukupno vrednuje kao djelomično točan.

Učenica B4 također navodi da struja stvara magnetsko polje oko zavojnice, zbog čega igla zauzima novi položaj.

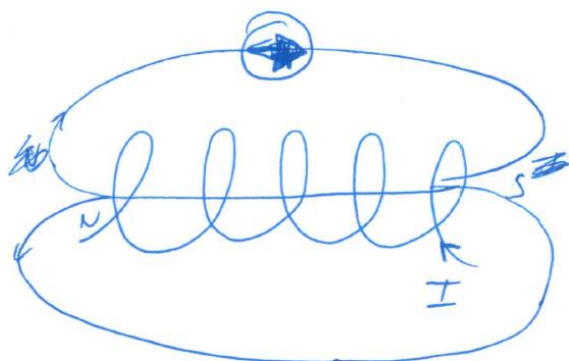
B4: „Pa, kad smo upalili struju... budući da teče struja... nastalo je magnetsko polje zavojnice i igla se usmjerila prema tim silnicama.“

Pri konstrukciji formule učenica prepoznaje sličnost s prošlim pokusom i konstruira sličnu formulu, u koju ubacuje broj navoja zavojnice (Slika 38).

B4: „Pa, struja je isto kao i u prošlom pokusu. Što je veća, to je jače magnetsko polje. I kao, ovisi o broju tih navoja zavojnice.“

S obzirom da je praktički preuzela formulu iz prošlog pokusa, učenica nije sigurna što bi u formuli predstavljao  $r$ . Na kraju ga definira kao udaljenost kompasa od osi zavojnice, gdje je os zavojnice pravac koji prolazi kroz središte zavojnice, odnosno središta navoja.

Učenici B4 također je postavljeno dodatno pitanje o tome što će pokazati kompas ako ga se postavi pored zavojnice. Učenica je dala dobru pretpostavku i potkrijepila ju crtežom (Slika 37).



**Slika 37.** Crtež učenice B4 u kojem prikazuje magnetsko polje zavojnice kojom teče struja, uz naznačen smjer struje (iz papira) i smjer magnetskog polja.

$$B = \mu \cdot \frac{NI}{r}$$

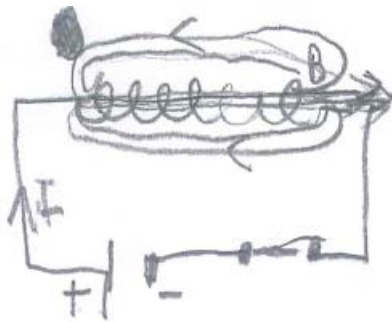
**Slika 38.** Inačica formule učenice B4 za magnetsko polje zavojnice.

Ukupno, učenica je točno opisala pojavu, također je i napisala točnu formulu, u kojoj je prepoznala ovisnost magnetskog polja o električnoj struji kroz zavojnicu i broj namotaja te zavojnice, ali je pogrešno definirala  $r$  pa se ovaj odgovor ukupno vrednuje kao djelomično točan.

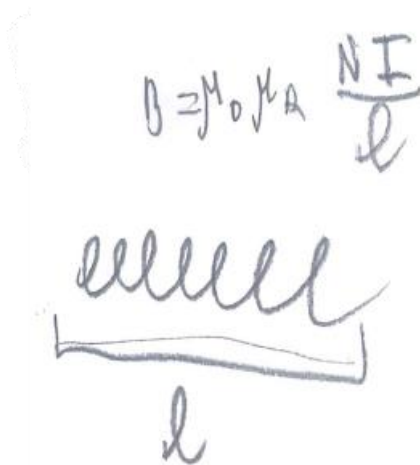
Učenik C5 već je u predviđanju objasnio ishod pokusa. U objašnjenju potvrđuje predviđanje koristeći pravilo desne ruke i vektorski prikazujući ukupno magnetsko polje zavojnice (Slika 39), crtajući linije magnetskog polja zavojnice (Slika 40) i konstruirajući točnu formulu za magnetsko polje zavojnice (Slika 41).



**Slika 39.** Crtež učenika C5 u kojem prikazuje rezultatno magnetsko polje  $B_{REZ}$  koje djeluje na iglu kompasa i koje se sastoji od magnetskog polja zavojnice  $B_{ZAV}$  i magnetskog polja Zemlje  $B_Z$ .



Slika 40. Crtež učenika C5 u kojem prikazuje zavojnicu u strujnom krugu i njezino magnetsko polje  $B$  kada teče struja  $I$ .



Slika 41. Inačica formule učenika C5 za magnetsko polje zavojnice.

Budući da je učenik sve točno opisao, odgovor se vrednuje kao točan.

Učenica D3 i u ovome pokusu slijedi vlastitu ideju koja se temelji na nabojima. Prilikom opažanja uočila je da se magnetska igla jače odklonila u zavojnici u odnosu na ispod ravnog vodiča, pa to pokušava objasniti svojom idejom iz ranijih pokusa u kojoj naboji iz žice utječu na elektrone na silnicama.

D3: „Vjerojatno se jače odmiče zbog toga što je više nabijeno, žica elektronski.“

Učenica ne zna pravilo desne ruke i u početku nema objašnjenje, ali uz potpitanja ipak stvara neki koncept uspoređujući s prošlim pokusom.

Istraživač: „A što je ta struja stvorila?“

D3: „Magnetsko polje... a možda jače magnetsko polje. (...) Gustoća struje, odnosno vodiča utječe na odmicanje, odnosno magnetizam.“

Na pitanje što bi se dogodilo kada bi magnet bio postavljen izvan zavojnice učenica pretpostavlja da neće biti otklona, ali nakon izvođenja pokusa točno objašnjava pojavu i crta linije magnetskog polja (Slika 42).

*D3: „Mislim da se neće otklanjati jer nema doticaja s nekom strujom. (...) Otklanja...vjerojatno onda zbog magnetskog polja koje se širi iz žica. (...) Vjerojatno slično kao i iz magneta... znači ovdje bi bile gušće silnice, a ovako što su dalje to su rjeđe. (...) Na obje strane, simetrično.“*

Na temelju ovog modela učenica točno predviđa usmjerenje igle u različitim položajima u odnosu na zavojnicu i uspijeva objasniti zašto su otkloni različiti.

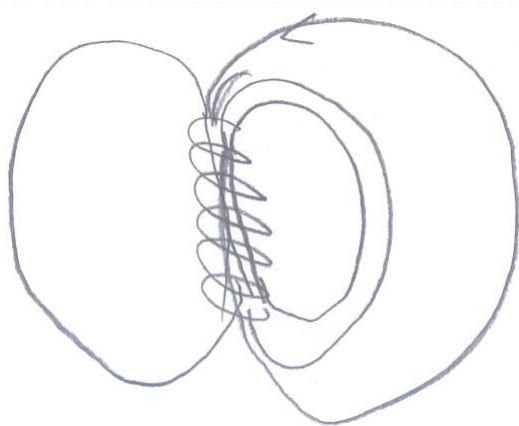
*D3: „Manje se odmiču nego u prvom, a to ima smisla zato što su ovdje kako izlaze silnice gušće dok se ne rascvjetaju.“*

Iako je točno nacrtala linije magnetskog polja, na pitanje o njihovu smjeru učenica gubi nit koju je imala, nagađa da je smjer prema unutra, ne uspijeva povezati taj smjer s otklonom igle i naposljetku odustaje od objašnjenja. Međutim kada joj se postavilo pitanje o smjeru struje u zavojnici, učenica nesvjesno iskorištava pravilo desne ruke za zavojnicu i uspijeva odrediti smjer linija magnetskog polja (Slika 42).

*D3: „Pa ne bi išla ravno, nego bi pratila zavojnicu.“*

*Istraživač: „Sad si pokazala nešto s rukom...“*

*D3: „Onda bi prsti bili struja, a palac bi bio magnetsko polje. (...) Znači smjer struje bi išao iznutra prema van, prema meni... Palac bi pokazivao ravno, moje lijevo... To bi onda bio smjer silnica, odnosno magnetskog polja.“*



**Slika 42.** Crtež učenice D3 u kojem prikazuje izgled magnetskog polja zavojnice kojom teče struja.

Budući da ovaj pokus učenica nije radila u školi, razumljivo je da nije imala ideju o magnetskom učinku zavojnice. Iako u početku nije imala objašnjenje za pokus, dodatna dobro postavljena potpitanja i dodatno izvođenje pokusa bili su dovoljni da učenica prepozna

izgled magnetskog polja, a kasnije i primijeni pravilo desne ruke. Zato će se odgovor ukupno vrednovati kao djelomično točan.

Učenik E4 u svom se objašnjenju pojave oslanja na prethodni pokus u kojemu je opisao postojanje strujnog polja i njegov utjecaj na magnetsko polje. Zanimljivo, pri objašnjenju ovoga pokusa niti jednom ne imenuje strujno polje, ali na temelju njegovih odgovora i objašnjenja jasno je da je riječ o istom razmišljanju kao u prethodnom pokusu.

*E4: „U ovom slučaju je to što je kroz zavojnicu potekla struja i došlo je do tih reakcija između struje i magnetskog polja.“*

*Istraživač: „Dobro, a zašto nema reakcije kada strujni krug nije zatvoren?“*

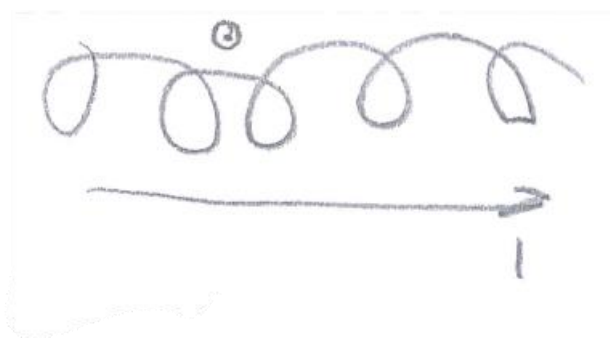
*E4: „Zato što možda struja ne teče pa nema vanjskog faktora koji utječe na promjenu magnetske igle.“*

Na pitanje o pravilu desne ruke za ovaj pokus učenik koristi analogiju s prethodnim pokusom i uspješno ga izražava, ali ga ponovno ne primjenjuje ispravno, što vidimo i na skici (Slika 43). Također ponavlja pogrešku iz prošlog pokusa i magnetsko polje struje miješa s magnetskim poljem igle.

*E4: „A da, onda je obrnuto ovdje, valjda je, ovdje valjda prsti pokazuju struju, a palac magnetsko polje.“*

*Istraživač: „Čije bi to bilo magnetsko polje?“*

*E4: „Magnetsko polje igle. (...) Magnetsko polje bi bilo onda... bit će unutra, znači bit će krug s točkicom da ide prema papiru, u papir.“*



**Slika 43.** Crtež učenika E4 u kojem prikazuje izgled magnetskog polja zavojnice.

Pri konstruiranju formule učenik prepoznaje da je struja proporcionalna magnetskom polju, ali ostale elemente formule ne uspijeva reproducirati, a također u formulu ubacuje i elemente formule iz prošlog pokusa (Slika 44). Slično kao učenica B4, i učenik E4 razmatra dimenziju jednog kružnog namotaja zavojnice kao relevantnu činjenicu.

E4: „A znam da je B, struja mora biti, to je  $I \cdot 2\pi/r$ , pretpostavljam da će biti r jer je zavojnica pa će biti neki radijus. (...) promjer jednog kruga.“

$$B = I \cdot \frac{2\pi}{r}$$

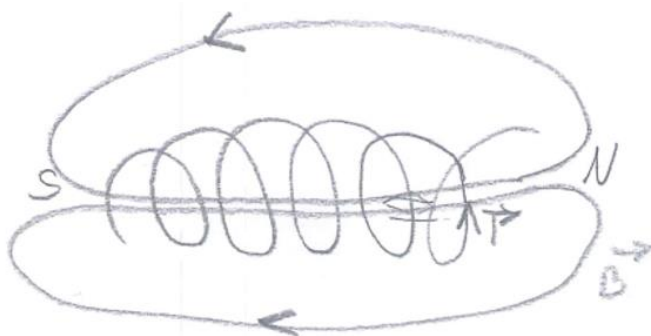
Slika 44. Inačica formule za magnetsko polje zavojnice kojom teče struja.

Učenik je i u ovom pokusu imao poteškoća s prepoznavanjem relevantnog magnetskog polja. U Pokusu 3 imenovao je i opisao novi pojam strujnoga polja, kojega koristi i ovdje (spomenuo ga je prilikom predviđanja – Tablica 16). Na izravan upit o tome ima li zavojnica magnetsko polje kada njome teče ili ne teče struja, nakon nešto promišljanja, odgovara da nema. Po njegovu mišljenju, samo magnetska igla (u ovom pokusu) ima magnetsko polje:

E4: „Aha, pa zavojnica nema magnetsko polje, samo igla ima magnetsko polje.“

Ukupno, učenik je prepoznao da je električna struja uzrok otklona igle, ali nije uspio to u potpunosti objasniti. Iako je dobro definirao pravilo desne ruke za zavojnicu, ponovno je razmatao krivo magnetsko polje, zbog čega ga je krivo primijenio. Nije uspio konstruirati ispravnu formulu: prepoznao je ovisnost magnetskog polja o električnoj struji, no ostale je elemente formule ubacio naslanjajući se na prethodni pokus. No budući da učenik smatra da samo magnet ima magnetsko polje, upitno je značenje formule koju je napisao. Zbog navedenog, odgovor će se vrednovati kao netočan.

Učenica F5 prepoznaje da električna struja u zavojnici stvara magnetsko polje koje utječe na iglu u kompasu. U svojem objašnjenju pojave samostalno koristi pravilo desne ruke koje ispravno primjenjuje. Svoja objašnjenja potkrepljuje i skicom (Slika 45).



Slika 45. Prikaz magnetskog polja B zavojnice kojom teče struja I. Oznake „N“ i „S“ predstavljaju sjeverni odnosno južni pol.

Učenica konstruirala i formulu koju vidimo na Slici 46.

$$B = \frac{\mu N I}{L}$$

Slika 46. Inačica formule učenice F5 za magnetsko polje zavojnice kojom teče struja.

Učenica točno definira  $\mu$  kao permeabilnost,  $N$  kao broj namotaja zavojnice i  $I$  kao električnu struju. Iako  $L$  definira pogrešno, kao udaljenost između dvaju namotaja zavojnice, iz njezinog se objašnjenja može zaključiti kako razumije ovisnost jakosti polja o duljini zavojnice, odnosno gustoći namotaja (F5: „...to će ići u nazivnik jer što je manji broj razmaka, to je polje jače.“).

Ukupno, učenica je točno opisala pojavu, uspješno upotrijebila pravilo desne ruke i u konačnici napisala točnu formulu, uz sitan propust vezan za duljinu zavojnice. Unatoč tome odgovor će se vrednovati kao točan.

#### 4.5. Pokus 5: Utjecaj magnetskog polja na vodič kojim teče struja

##### 4.5.1. Predviđanje

U Tablici 17 prikazana su učenička predviđanja za peti pokus.

UČENIK/CA	CITAT	TOČNOST
A3	„Pa kad ne teče struja neće se dogoditi ništa, a kad potekne struja, onda će se otkloniti, odnosno ne otkloniti nego će se aluminijska folija pomaknuti, e sad ili iza ili naprijed. (...) jer će zbog magnetskog polja koje će nastati i neka sila, magnetska sila neka koja će onda pomaknuti to. (...) izazvano protjecanjem struje.“	T
B4	„Pa... ta aluminijska folija će se otkloniti u jednom smjeru jer će djelovati... znači... kad prođe struja kroz aluminijsku foliju, onda će stvoriti polje koje će međudjelovati s poljem magneta i... onda će taj efekt biti... da se otkloni aluminijska folija.“	T
C5	„Kada ne teče struja, sve je u mirovanju, a kada poteče struja... znači ovako... struja teče u ovom smjeru (...) i onda bi se tu javila sila na tu aluminijsku foliju...“	T



D3	<i>„Možda će se privući sjeveru, podići će se (...) Slično, zapravo nešto kao u prvom pokusu, privlačenje magneteta.“</i>	N
E4	<i>„Znači... hmm... ako se aluminijska folija ponaša kao vodič, znači da kroz nju teče struja i trebalo bi doći do neke reakcije s magnetom, a aluminijska folija bi se mogla pomaknuti prema magnetu. (...) Prema gore ili prema dolje nisam siguran, ali da, struja će sigurno teći kroz foliju i doći će do nekakve reakcije s magnetom jer će doći do reakcije magnetskog i strujnog polja.“</i>	DT
F5	<i>„Pa aluminij... on... uglavnom... kako da to kažem... uglavnom reagirat će na magnetizam. Ali pošto je u ovom potkovastom magnetu, pretpostavljam da će otići van zbog magnetskog polja, a magnetsko polje će utjecati na aluminij, a onda će kao reagirati na njega. (...) Jer je on metal, a metali reagiraju... na magnetsko polje.“</i>	T

**Tablica 17.** Učenička predviđanja za Pokus 5.

Svi učenici u svojim predviđanjima koristili su se prethodnim pokusima. Učenici A3, B4 i C5 ispravno su pretpostavili kako će se aluminijska folija otkloniti (lijevo ili desno od ravnotežnog položaja) i najčešće su svoje odgovore temeljili na pojavi magnetske sile na vodič kojim teče struja.

Učenici D3, E4 i F5 izjavili su da nisu vidjeli ovaj pokus u školi. No na temelju prijašnjih opažanja, zaključili su da će se aluminijska folija podići prema gornjem kraju potkovastog magneteta. Svoja su predviđanja temeljili na svojim prijašnjim zaključcima i opažanjima. Učenica D3 kombinirala je opažanja iz Pokusa 1 (privlačenje magneteta) i vjerojatno Pokusa 3 (gdje je vodič kojim teče struja utjecao na magnetsku iglu). Učenik E4 ponovio je svoju ideju o interakciji strujnog i magnetskog polja, dok je učenica F5 pretpostavila da će aluminij, kao metal, reagirati na magnetsko polje. Predviđanje učenice F5 prilično je zanimljivo jer je postav pokusa već bio složen i pred njom te se jasno vidjelo da je aluminijska folija u magnetskom polju potkovastog magneteta i da miruje.

#### 4.5.2. Opažanje

Svih šestero učenika opazilo je ishod pokusa. Troje učenika u svojem opažanju nije definiralo da se pomak dogodio u trenutku zatvaranja strujnog kruga, ali iz konteksta intervjua može se zaključiti da su svjesni da se upravo tad pojava dogodila.

B4: „Pa, folija se otklonila, odmaknula. (...) Kad smo pustili struju kroz strujni krug.“

D3: „Kao ljuljačka.“

E4: „Pa znači došlo je do pomaka folije i ona se pomaknula udesno, znači u stranu prema magnetu, što znači da je struja tekla kroz foliju jer je zatvoren strujni krug i... došlo je do pomaka.“

#### 4.5.3. Objašnjenje

Učenica A3 još je prilikom predviđanja izjavila kako će magnetska sila djelovati na foliju kojom teče struja. Prepoznaje pojavu i samostalno primjenjuje pravilo desne ruke, ali zamjenjuje smjer magnetskog polja i smjer struje, tj. uzima da je palac smjer magnetskog polja, a palac bi zapravo trebao pokazivati smjer struje.

A3: „Pa budući da je (...) unutar kotve homogeno magnetsko polje i sad (...) palac tu predstavlja smjer magnetskog polja, (...) magnetsko polje je prema dolje, (...) od gornjeg dijela kotve do donjeg (...) usmjerimo palac prema dolje, (...) iz dlana ide sila, to jest smjer sile i to objašnjava zašto se pomiče prema unutarnjem dijelu. (...) Pa, ti ostali prsti (...) pokazuju smjer struje.“

Istraživač: „I ta sila djeluje onda na koga?“

A3: „Pa... djeluje (...) na tu aluminijsku foliju.“

Učenica nije uspjela samostalno konstruirati formulu za Ampereovu silu, ali uz par potpitanja prepoznala je proporcionalnost sile s vanjskim magnetskim poljem i električnom strujom kroz vodič.

Iako učenica nije u početku objasnila pojavu u potpunosti, nakon postavljenog pitanja zašto je struja učinila razliku u pokusu, učenica daje točan odgovor.

A3: „Pa zato što i struja stvara neko magnetsko polje...“

Istraživač: „I to je onda međudjelovanje čega?“

A3: „Međudjelovanje dva magnetska polja.“

Sveukupno, učenica je uspjela objasniti pojavu iz pokusa. Samostalno je iskoristila pravilo desne ruke, ali je zamijenila smjerove magnetskog polja i električne struje. Prepoznala je da je magnetska sila na vodič proporcionalna s magnetskim poljem magneta i električnom

strujom kroz vodič, ali nije uspjela konstruirati formulu. Sveukupno, odgovor će se vrednovati kao djelomično točan.

Učenica B4 povezuje međudjelovanje magnetskog polja magneta s magnetskim poljem struje. Opažanje objašnjava nastankom sile kao posljedice međudjelovanja dvaju magnetskih polja. Ispravno primjenjuje pravilo desne ruke za Ampereovu silu.

*B4: „...znači silu pokazuje srednji prst, a ovo je smjer kojim teče struja i ovo je rezultatno polje: palac je mislim smjer struje, kažiprst polja. (...) mislim kao polja magneta koje onda djeluje na vodič.“*

Formulu konstruira nakon nekoliko potpitanja (Slika 47) i točno definira veličine u njoj:  $I$  predstavlja električnu struju kroz vodič,  $B$  magnetsko polje magneta, a  $l$  duljinu vodiča unutar magnetskog polja magneta.

The image shows a handwritten mathematical formula in blue ink:  $F = BIl$ . The letters are written in a cursive, slightly slanted style. The 'F' is on the left, followed by an equals sign, then 'B', 'I', and 'l' in sequence.

Slika 47. Inačica formule učenice B4 za Ampereovu silu.

Sveukupno, učenica je uz nekoliko potpitanja točno opisala pojavu riječima i formulom i primijenila pravilo desne ruke za Ampereovu silu, pa će se njezin odgovor vrednovati kao točan.

Učenik C5 već je u svom predviđanju dao objašnjenje pokusa koje proširio nakon izvođenja pokusa. Ispravno je primijenio pravilo desne ruke za Ampereovu silu.

*C5: „Kada ne teče struja sve je u mirovanju, a kada poteče struja, (...) onda bi se tu javila sila na tu aluminijsku foliju koja bi se opet odredila pravilom desne ruke.“*

Samostalno konstruira formulu (Slika 48) i imenuje veličine.

*C5: „B je, vektorski je B, B je magnetsko polje, jakost magnetskog polja u kojem se nalazi, dakle ne koje proizvodi, nego u kojem se nalazi. I je jakost struje kroz taj vodič i l je duljina tog vodiča.“*

*Istraživač: „Cijelog vodiča?“*

*C5: „Ne, nego onog dijela koji se nalazi u magnetskom polju.“*

$$F = \vec{B} \times \vec{I} \ell$$

**Slika 48.** Inačica formule učenika C5 za Ampereovu silu.

Sveukupno, učenikovo je objašnjenje pokusa točno, ispravno je primijenio pravilo desne ruke i konstruirao točnu formulu. Doduše, trebalo bi napomenuti da formula koju je učenik napisao sadrži sve točne elemente, no treba uočiti da je učenik stavio vektore samo s jedne strane jednakosti, a sila je također vektorska veličina. Naime, za izračun Ampereove sile potreban je vektorski umnožak duljine vodiča u magnetskom polju i magnetskog polja, a učenikova formula sugerira skalarni produkt. No iako bi učenik trebao znati vektorski interpretirati jednadžbe, uzet ćemo da je formula točna. Njegov odgovor ukupno će se vrednovati kao točan.

Učenica D3 pokus nije radila u školi pa ga samim time nije znala objasniti. Prvi pokušaj naslanjao se na objašnjenja prethodnih pokusa.

*D3: „Pa, elektroni postoje u žicama, a kada se pusti struja iz baterije, onda se nabiju i onda kao neki impuls kreću.“*

*Istraživač: „Znači li to onda da oni sada nemaju naboj?“*

*D3: „Imaju, ali ne dovoljno da bi se pokrenuli.“*

Uz istraživačevo navođenje učenica ipak uspijeva prepoznati pojave koje je vidjela u prijašnjim pokusima.

*D3: „Pa vjerojatno i aluminijska folija ima magnetsko polje, povezana je sa strujom, ako teče struja, a i magnet ima svoje magnetsko polje. (...) Imamo dva magnetska polja, dva različita.“*

*Istraživač: „Što rade magneti kad su u blizini?“*

*D3: „Pa privlače se, to je onaj prvi pokus. (...) I odbijaju ako imamo slučaj onaj drugi.“*

Konačno objašnjenje učenice na tragu je točnog odgovora.

*D3: „Pa vjerojatno kad teče struja, kako smo prvo stavili, su to dva različita pola pa se privuku i alu-folija se podiže naprijed, a kad smo promijenili polove, odbijaju se.“*

Iako je učenica uspjela doći na trag točnog odgovora, na kraju ipak nije uspjela doći do Ampereove sile koja djeluje na vodič kojim teče struja u magnetskom polju. Budući da je učenica za Ampereovu silu samo čula, nisu joj postavljena pitanja za pravilo desne ruke i formulu. Sveukupno, učenica je kroz razgovor dobila osnovnu ideju, ali samostalno nije znala opisati pokus, pa će se njezin odgovor vrednovati kao netočan.

Učenik E4 nije potvrdio svoje predviđanje, pa u objašnjenju „kreće od nule“. On je očekivao primicanje folije prema sjevernom ili južnom polu potkovastog magneta, a opazio je da se folija uvukla u magnet. Pretpostavlja da je tome tako jer je magnetsko polje magneta jače u sredini magneta nego na polovima.

E4: „Možda to znači da je magnetsko polje jače u tom dijelu na toj strani magneta nego na vrhovima pa je on da zato automatski privukao aluminijsku foliju prema sebi.“

Ponovno izražava svoju ideju da magnet i struja utječu jedno na drugo:

E4: „Zato što je kroz aluminijsku foliju prošla struja, a struja i magnet utječu jedno na drugo, pa je došlo do pomaka folije.“

Pokušava razraditi svoju ideju kako magnet točno utječe na foliju kojom teče struja, no njegov je odgovor prilično nejasan za bilo kakvu analizu.

E4: „Hmm... zato što je folijom počela teći struja, pa je opet došlo do tih nabijenih čestica, pa je došlo do reakcije.“

Pri izvođenju pokusa sa zamijenjenim polovima baterije, učenik prepoznaje da smjer struje igra ulogu u smjeru pomaka aluminijske folije i na istraživačevo pitanje o uzroku pomaka prepoznaje da je magnet stvorio silu koja je djelovala na foliju.

E4: „Sila je djelovala na foliju, a silu je valjda u tom slučaju stvorio magnet.“

Istraživač: „Što točno od magneta?“

E4: „Jedan magnetski pol... odnosno ne, silnice potkovastog magneta, ja mislim da da.“

Na pitanje o formuli za Ampereovu silu, učenik konstruira dvije formule (Slika 49) iako ne zna definiciju Ampereove sile. Također, spominje i Lorentzovu silu koju miješa s Ampereovom.

$$F_A = B l e$$
$$F_a = B Q v$$

Slika 49. Inačica formule učenika E4 za Ampereovu silu.

Nakon istraživačevog navođenja da pokuša povezati formule s pokusom, objašnjava oznake u objema formulama, što mu je na kraju dovoljno da se odluči za prvu varijantu.

E4: „B je magnetsko polje magneta, I je struja koja teče kroz alu-foliju, a l nekakva duljina, u ovom slučaju nekakav razmak možda. (...) To će vjerojatno biti onda pomak koji je folija napravila dok je struja tekla.“

Na istraživačevo pitanje o pravilu desne ruke za Ampereovu silu, učenik ima ideju kako bi to pravilo izgledalo, također točno navodi i što je što, ali izrečeno ne može samostalno primijeniti na pokus.

*E4: „Ampereova sila ide okomito iz dlana, ja mislim da palac pokazuje ili smjer magnetskog polja ili smjer struje.“*

Uz istraživačevo navođenje učenik na kraju uspješno primjenjuje pravilo desne ruke.

*E4: „Onda će prsti pokazivati smjer magnetskog polja a palac smjer struje, a onda iz dlana ide Ampereova sila.“*

U svojem konačnom objašnjenju učenik se naslanja na objašnjenja prijašnjih pokusa i ponovno koristi strujno polje kao temelj interakcije električne struje s magnetom.

*E4: „Zato što će kada dođe do kontakta između magnetskog polja i strujnog doći do pomaka, a sama struja se pomiče jer dolaze dva polja u kontakt. (...) Ne, fizički kontakt nije nužan. Dva polja mogu komunicirati i kada se presijecaju, bez da se dodiruju.“*

*Istraživač: „A sada kada struja ne teče?“*

*E4: „Onda nema strujnog polja pa nema interakcije.“*

Iako nije precizirao da električna struja stvara svoje vlastito magnetsko polje, učenik je svjestan da struja preko nekog vlastitog polja, koje učenik naziva *strujnim poljem*, međudjeluje s vanjskim magnetskim poljem. Učenik je također, uz navođenje, konstruirao točnu formulu i ispravno primijenio pravilo desne ruke. Ukupno, njegov će se odgovor vrednovati kao djelomično točan.

Učenica F5, budući da pokus nije prije vidjela, u početku nema ideju kako objasniti viđeno, ali na istraživačevo pitanje o razlici između otvorenog i zatvorenog strujnog kruga povezuje pojavu u pokusu s prijašnjim pokusima.

*F5: „Pa, kad teče struja, onda ima kao... Oke, skužila sam... Znači, kad ne teče struja... Aluminij ima zbog strujnog kruga svoje magnetsko polje, ali samo kad teče struja... Sad onda kada bi ta folija, kada bi kroz nju potekla struja, ona bi napravila svoje magnetsko polje.“*

Razvija svoju ideju da potkovasti magnet i aluminijska foliju međudjeluju samo kada folijom teče struja. U svojem odgovoru pojavu opisuje slikovito: ako se jednom magnetskom polju drugo magnetsko polje ne sviđa, žele se maknuti od njega.

*F5: „Jer magnet prepoznaje kad ima struje samo zato jer aluminij napravi svoje magnetsko polje koje se ajmo reći njemu ne sviđa ili mu se sviđa, ajmo reći da mu se sad ne sviđa pa se*

žele maknuti jedan od drugog, ovisi. A kad ne prolazi struja, aluminij ne proizvodi svoje magnetsko polje i onda samo tu stoji i onda magnet nema problema s njim.“

Istraživač: „A što onda magnet, odnosno njegovo magnetsko polje zapravo prepoznaje?“

F5: „Magnetsko polje aluminija, ali tek kad krene struja, jel to zaključak?“

Učenica zna definiciju Ampereove sile i uz istraživačeva potpitanja uspijeva ju primijeniti na pokus. Na pitanje o formuli za Ampereovu silu učenica ju miješa s Lorentzovom silom i na kraju konstruira formulu koja ima elemente obiju sila (Slika 50).

$$F_A = \sin \alpha \cdot B \cdot l \cdot Q$$

**Slika 50.** Inačica formule učenice F5 za Ampereovu silu.

Učenica je, uz istraživačeva potpitanja, točno opisala pojavu u pokusu. Točno je definirala Ampereovu silu, ali formula za silu nije u potpunosti točna. Sveukupno će se odgovor vrednovati kao djelomično točan.

#### 4.6. Pokusi u nastavi fizike

Na kraju svakog pokusa učenici su upitani jesu li takav ili sličan pokus radili na nastavi. Njihovi odgovori prikazani su u Tablici 18.

Učenik	Pokus 1	Pokus 2	Pokus 3	Pokus 4	Pokus 5
A3	+	+	+	+	+
B4	+	+	+	+	+
C5	+	+	+	+	+
D3	+	+	+	-	-
E4	+	+	+	-	-
F5	+	+	+	+	-

**Tablica 18.** Popis učenika i pokusa koji su ispitivani u intervjuima.

Iz Tablice 18 može se zaključiti da učenici većinom pokuse iz magnetizma rade u nastavi. Budući da su prva tri pokusa osnovni pokusi iz magnetizma, očekivano je da su ih svi učenici radili na nastavi. Četvrti, a posebno peti pokus manje su zastupljeni. Usporedimo li Tablicu 18 s učeničkim predviđanjima pojedinih pokusa, primjećujemo da su točnija predviđanja bila u onim pokusima koje su učenici radili u školi. To se slaže i sa zaključcima pregledane literature [14, 15, 16].

## 5. Diskusija

### 5.1. Pokus 1: Međudjelovanje dvaju magneta

U prvom pokusu učenici su pokazali da uglavnom dobro barataju osnovnim pojmovima, kao što su magnetski polovi, magnetsko polje i linije odnosno silnice magnetskog polja. Ipak, primijećene su i neke poteškoće u njihovom konceptualnom razumijevanju, prvenstveno kod povezivanja osnovnih pojmova s pokusom u smislenu cjelinu.

Očekivano, javila se poteškoća opisivanja međudjelovanja magneta pomoću sila (MAGN.F2M): samo troje učenika pri objašnjenju pojave spomenulo je sile koja se javljaju pri međudjelovanju dvaju magneta, pri čemu je samo dvoje učenika (B4 i C5) uspješno iskoristilo taj koncept u objašnjenju pojave. Ostalih troje učenika silu između dva magneta nije ni spomenulo.

Također, javila se i poteškoća s tumačenjem smjera linija magnetskog polja, konkretno kod učenice D3 koja je, kao što je u prethodnom poglavlju navedeno, strelicu smjera linija magnetskog polja poistovjetila s gibanjem elektrona (LMP.TOK). U njezinim su odgovorima prepoznate i druge poteškoće kao što su poistovjećivanje magnetskih polova s pozitivnim i negativnim nabojima (ELMAG.NS+-) te ideja da magnetski polovi mogu privlačiti ili odbijati električne naboje (ELMAG.NSPRIV+-). Te su poteškoće prepoznate i u odgovorima u učenika E4 koji se u svojem objašnjenju privlačenja dvaju magneta poslužio konceptom iz elektriciteta i poistovjetio naboje s polovima.

Poteškoća uočena u odgovorima većine učenika jest ideja da su linije magnetskog polja stvarne (LMP.STV). Iako ona nigdje nije jasno navedena, primjetno je kako su svi učenici u svojim objašnjenjima često najprije pažnju usmjerili ka linijama odnosno, kako ih oni nazivaju, silnicama magnetskog polja. Zbog toga su učenici u pravilu međudjelovanje dvaju magneta objašnjavali interakcijom linija magnetskog polja. Primjerice, učenik E4 u svojim objašnjenjima tvrdi kako se magneti prepoznaju pomoću silnica, a magnetsko je polje prostor oko magneta u kojem djeluju silnice. Čini se kako je učeniku pojam magnetskih silnica nadređen pojmu magnetskog polja. Na sličan način razmišljala je i učenica D3, a na tragu toga bile su i učenice B4 i F5.

### 5.2. Pokus 2: Utjecaj magneta na kompas

Ovaj pokus polučio je najbolje učeničke odgovore, pet točnih i jedan djelomično točan. S obzirom da se ovaj pokus nadovezuje na prvi pokus, učenici su, što je i bio cilj, iskoristili objašnjenja prvog pokusa da bi objasnili pojavu.



Svih šestero učenika prepoznalo je inicijalni utjecaj Zemljinog magnetskog polja na specifičan položaj magnetne igle u kompasu. Također, svi su učenici prepoznali da magnet ima svoje vlastito magnetsko polje. Učenici su također bili svjesni da se primicanjem magneta magnetsko polje Zemlje ne mijenja, već da primicanjem magneta on svojim magnetskim poljem jače utječe na iglu u odnosu na Zemlju.

U ovom pokusu nisu primijećene neke druge poteškoće, ali su potvrđene neke iz prvog pokusa. Kod učenika E4 ponovno su se pojavile poteškoće s poistovjećivanjem magnetskih polova i naboja (ELMAG.NS+- i ELMAG.NSPRIV+-), iako one nisu na kraju značajno utjecale na njegov odgovor. Iz odgovora učenice D3 ponovno nije posve jasno doživljava li linije magnetskog polja samo kao vizualan prikaz ili smatra da stvarno postoje (LPM.STV).

### **5.3. Pokus 3: Utjecaj električne struje na kompas**

Svih šestero učenika primijetilo je da je protjecanje struje utjecalo na magnetsku iglu kompasa. Četvero je samostalno prepoznalo magnetski učinak struje, a učenica D3 to je uspjela uz istraživačeva potpitanja. Učenik E4 pojavu je objasnio vlastitim pojmom *strujnog polja*, što je nova poteškoća koja nije pronađena u pregledanoj literaturi. Definirao ga je kao polje koje stvaraju naboji koji se gibaju kroz vodič, odnosno kada se zatvori strujni krug. Učenik je pojasnio da strujno polje nije magnetsko, ali je s njime povezano i da u pokusu dolazi do kontakta strujnog i magnetskog polja. Promotrimo li svojstva strujnog polja, možemo primijetiti da je ono na konceptualnoj razini vrlo slično magnetskom polju ravnog vodiča kojim teče struja. Moguće je da učenik pojam magnetskog polja veže isključivo uz permanentne magnete, što i navodi na izravno pitanje. Ipak, u odgovorima učenika E4 ponovno se prepoznaju ranije izražene poteškoće: poteškoće s poistovjećivanjem magnetskih polova i električnih naboja (ELMAG.NS+- i ELMAG.NSPRIV+-). Također, njegovo objašnjenje otklona igle temelji se na tome da elektroni iz žice dolaze u dodir s pozitivno nabijenom stranom igle, što stvara silu koja uzrokuje otklon. U tom se odgovoru može primijetiti poteškoća vezana uz miješanje električne i magnetske sile (ELMAG.Fel~Fb).

Svih je šestero učenika upoznato s pravilom desne ruke za vodič kojim teče struja i znali su ga primijeniti. Budući da je učenik E4 za objašnjenje ovoga pokusa osmislio novi koncept strujnoga polja, njemu su zavinuti prsti desne ruke pogrešno predstavljali magnetsko polje igle. Da bi ostao konzistentan sa svojim objašnjenjem, pravilo desne ruke uklopio je u svoje objašnjenje (PDR.RV).

Pri konstruiranju formula učenici su se uglavnom prisjećali samo matematičkog izraza, ne dajući mu konkretno fizikalno značenje (PR.MATFORM). Učenici su imali problema s imenovanjem i definiranjem magnetske permeabilnosti, često ju brkajući s električnom permitivnošću. Učenica D3 izjavila je da se formula za magnetsko polje ravnog vodiča nalazi u knjižici formula za maturu pa ju zbog toga ne zna, a učenik E4 izjavio je da se konstanta magnetske permeabilnosti nalazi u kalkulatoru pa da ju je zbog toga zanemario.

Probleme je učenicima zadavala i oznaka  $r$  koja je učenike asociirala na polumjer  $i$ , rjeđe, promjer kružnice. Iako je to samo po sebi dobra asocijacija, neki učenici nisu uspjeli povezati što ta oznaka predstavlja u ovom slučaju. Tako bi se učenici fokusirali na pronalazak polumjera odnosno promjera bilo čega, pa im je promakla jednostavna činjenica da  $r$  predstavlja udaljenost točke promatranja od ravnog vodiča (PR.DET). Primjer za to je učenik E4, koji je  $r$  izostavio iz formule jer nije pronašao polumjer u pokusu na koji ga je  $r$  asociirao.

Zanimljiv je odgovor učenice F5 koja je napisala točnu formulu, no nju je izraz  $2\pi r$  u nazivniku asociirao na opseg kružnice, pa je  $r$  definirala kao polumjer kružnice kada se žice stave u oblik kružnice iako je bila svjesna da je jakost magnetskog polja obrnuto proporcionalna udaljenosti od ravnog vodiča.

#### **5.4. Pokus 4: Utjecaj magnetskog polja zavojnice**

Ovaj pokus različit je od prethodnih triju pokusa jer ga učenici D3 i E4 nisu radili na nastavi.

Oni učenici koji su pokus radili u školi točno opisuju pojavu kada je kompas unutar zavojnice i bez problema primjenjuju pravilo desne ruke za zavojnicu kojom teče struja. Jedina poteškoća vezana za pravilo desne ruke javila se kod učenice A3 koja nije znala odrediti magnetske polove induciranog polja (PDR.ZAV), a samim time i nacrtati magnetsko polje zavojnice (MAGN.MPSTRUJE). Zbog toga nije točno odgovorila na pitanje što se događa s magnetskom iglom kada se kompas stavi izvan zavojnice. S druge strane, učenica B4, koja je ispravno odredila izgled i smjer magnetskog polja zavojnice kojom teče struja, točno je pretpostavila odklon igle kada se kompas nalazi izvan zavojnice.

Pri konstruiranju formule sve četvero učenika koji se pokusa sjećaju s nastave imalo je smislene argumente za svaku pojedinu komponentu unutar svoje formule. Sve četvero prepoznalo je izravnu proporcionalnost jakosti magnetskog polja zavojnice s električnom strujom i brojem namotaja zavojnice. No nisu svi uspjeli pronaći ispravan izraz, dijelom zbog utjecaja prijašnjeg pokusa. Primjerice, učenica B4 oslanja se na prijašnji pokus i u

formulu za magnetsko polje ravnog vodiča dodaje broj namotaja zavojnice. Na temelju prošlog pokusa zaključuje i da na jakost magnetskog polja utječe udaljenost od izvora (u ovom slučaju zavojnice). Tu udaljenost definira analogno s prošlim pokusom, pa se tako udaljenost gleda od *osi zavojnice*, pravca koji prolazi središtima svakog navoja. Tu se ponovno prepoznaju poteškoće vezane uz tumačenje formula (PR.MATFORM i PR.DET).

Iako je samo učenik C5 na kraju formulu definirao u potpunosti točno, učenica F5 konstruirala je točnu formulu i za oznaku  $l$  imala konceptualno točnu ideju. Možemo primijetiti u učeničkim odgovorima da se učenici nisu fokusirali samo na prisjećanje matematičkog izraza, nego su na temelju intuicije i znanja iz prethodnog pokusa pokušavali zaključiti što bi moglo utjecati na jakost magnetskog polja zavojnice.

Učenici D3 i E4 pokus nisu radili na nastavi, pa se iz njihovih objašnjenja može pratiti učeničko razmišljanje pri otkrivanju nove pojave. Oboje su svoja objašnjenja temeljili na prethodnom pokusu, što im je pomoglo kao početna točka, ali se javljaju iste poteškoće kao u prethodnom pokusu. Promotrimo li tijekom razmišljanja učenice D3, primjećujemo da učenica uz istraživačeva potpitanja uspijeva definirati pravilo desne ruke za zavojnicu, a zatim ga i primijeniti. Uspijeva i nacrtati linije magnetskog polja zavojnice i pomoću njega točno odgovoriti na dodatno pitanje o gibanju igle kada je kompas izvan zavojnice.

Učenik E4 nije uspio primijeniti pravilo desne ruke na slučaj zavojnice kojom teče struja (PDR.ZAV). Kod konstrukcije formule preuzima formulu iz prethodnog pokusa i pokušava ju uklopiti u ovaj pokus. Oznaku  $r$  povezuje s promjerom namotaja kružnice bez fizikalnog objašnjenja (PR.DET).

### **5.5. Pokus 5: Utjecaj magnetskog polja na vodič kojim teče struja**

Peti pokus na nastavi je radilo troje učenika (A3, B4, C5). Svi su bili upoznati s pravilom desne ruke za Ampereovu silu, no učenica A3 zamijenila je smjer električne struje i vanjskog magnetskog polja pri korištenju pravila desne ruke (PDR.AMP).

Ostalih troje učenika pokus nije radilo u školi, pa će se, kao i u prethodnom pokusu, njihova objašnjenja gledati iz perspektive otkrivanja nove pojave. Učenici su svoja objašnjenja konstruirali pomoću prethodnih pokusa, pritom se najviše služeći prvim i trećim pokusom. S obzirom da su ti pokusi bili temelj objašnjenja, javile su se iste poteškoće kao i u tim pokusima.

Ipak, učenice D3 i F5 uz pomoć istraživača uspijevaju dobiti osnovnu ideju da se dva magnetska polja međusobno privlače. Učenik E4 ponovno je iskoristio svoj koncept *strujnog*

*polja* koje međudjeluje s vanjskim magnetskim poljem. Iako on strujno polje ne definira kao magnetsko, u osnovi pojavu opisuje ispravno.

Budući da su učenici Ampereovu silu na nastavi ipak obrađivali na razini definicije i formule, istraživačeva potpitanja o definiciji Ampereove sile, njezine formule i pravila desne ruke navela su učenike na povezivanje gradiva s viđenim pokusom. Tako su učenici E4 i F5 pravilo desne ruke primijenili ispravno na pokus, a učenik E4 naveo je i točnu formulu.

## 6. Zaključak

U provedenom istraživanju sa šestero učenika potvrđene su neke već poznate učeničke poteškoće s gradivom magnetizma, a otkriven je i jedan novi mentalni model, koji ukazuje na drugačije tumačenje magnetskog polja struje u odnosu na magnetsko polje permanentnih magneta.

Najčešće uočene poteškoće kod ispitanih učenika tiču se linija magnetskog polja. Ispitani učenici bi svoja objašnjenja magnetskih pojava i interakcija najčešće krenuli tumačiti pomoću njih, pa bi tek nakon toga spominjali magnetsko polje. Učenici su rado crtali linije magnetskog polja, što pokazuje kako su vizualni prikazi viđeni na nastavi ili u udžbenicima nešto što lako pamte. Također, čini se kako su učenici na tim vizualnim prikazima često temeljili svoja objašnjenja (npr. *silnice* bi se privlačile ili odbijale, *silnice* predstavljaju smjer gibanja elektrona i sl.). Primjerice, učenica D3 tumačila je linije magnetskog polja kao putanje elektrona na koje utječu drugi magneti (i elektroni u njihovim linijama magnetskog polja). Na temelju toga, njoj smislenog mentalnog modela, objašnjavala je gotovo sve pokuse.

Uočeno je da učenici često ne znaju matematički opisati fizikalne pojave o kojima su učili na nastavi, što je pomalo iznenađujuće s obzirom na to da su računski zadaci najčešće osnova pisanih provjera znanja iz Fizike. Neki su učenici izjavili da ne uče formule koje se nalaze u popisu formula za maturu. Uočena je i česta greška miješanja permitivnosti i permeabilnosti.

Probleme u objašnjenjima ishoda viđenih pokusa učenicima je stvaralo i prethodno naučeno gradivo elektriciteta, čije su koncepte učenici povremeno koristili da bi objasnili magnetske pojave, unatoč tome što nisu analogne. Naime, uočena je pojava miješanja magnetskih polova i električnih naboja te opisivanje interakcije između magneta i nabijenih mirujućih naboja ili naboja u gibanju.

Najmanje problema učenici su imali s primjenom pravila desne ruke koje su uglavnom uspješno primjenjivali. Učenici koji nisu znali primijeniti pravilo desne ruke uz pomoć istraživača uspjeli su ga pravilno konstruirati i primijeniti na zadane primjere. Isto tako, vrlo malo poteškoća uočeno je među osnovnim magnetskim pojmovima, što pokazuje da učenici barataju barem osnovnim pojmovima iz magnetizma.

Učenik E4 osmislio je vlastiti mentalni model *strujnog polja* kojim je objašnjavao magnetsko polje struje. To strujno polje na konceptualnoj je razini zapravo isto što i magnetsko polje struje pa ga je učenik više-manje uspješno primjenjivao kroz različite pokuse. Ipak, nije ga uspio prilagoditi prilikom primjene pravila desne ruke i tumačenja

fizikalnih formula. S druge strane, u svim pokusima s magnetima učenik prepoznaje magnetsko polje magneta. Iz toga možemo zaključiti kako učenik svoj model nije osmislio zbog nepoznavanja magnetskog polja, već zbog toga što, čini se, svojstvo magnetskog polja pridaje samo permanentnim magnetima.

Iako su učenici baratali odgovarajućim fizikalnim nazivljem vezanim uz ovo gradivo fizike, uočeno je da je kod nekih učenika svo to znanje prilično rascjepkano. Na temelju njihovih odgovora čini se kako navedene komadiće znanja nisu povezali u odgovarajuću i smislenu cjelinu. No potrebno je istaknuti kako su učenici bili vrlo suradljivi i spremni odgovarati na mnoga pitanja. Budući da im je postavljeno mnoštvo potpitanja, učenici su spremno obrazlagali svoje ideje.

Sveukupno, ispitani učenici pokazali su relativno dobro predznanje, prvenstveno u pokusima koje su radili u školi. Na temelju svih provedenih intervjua uočeno je da su učenici s boljim ocjenama uglavnom davali i odgovore koji su fizikalno ispravniji. Pritom treba istaknuti suradnju i zalaganje svih učenika. Primjerice, uočeno je kako je učenica D3 na sva postavljena potpitanja vrlo dobro reagirala. Iako bi često na početna pitanja odgovarala da ne zna, na sva naknadna istraživačeva potpitanja davala je dobre odgovore. Često se referirala i pozivala na svoje prethodne odgovore i/ili opažanja između različitih pokusa i pokušavala sastaviti koherentnu sliku magnetizma. Čak i kada je bila suočena s pokusima i pojmovima koje nije znala (npr. pravilo desne ruke za Ampereovu silu), uz pomoć istraživača i samog demonstriranog pokusa uspijevala je doći do točnog odgovora.

Zaključno, rezultati istraživanja jasno pokazuju važnost izvođenja pokusa u nastavi fizike. Prema podacima iz Tablice 18 i analizi učeničkih odgovora, učenici koji su vidjeli ili izvodili pokuse na nastavi pokazali su bolje razumijevanje pojave i veću točnost u predviđanjima i objašnjenjima pokusa u usporedbi s onima koji na nastavi te pokuse nisu radili. To se posebno odnosi na Pokus 5, gdje su učenici koji nisu bili izloženi tom pokusu pokazali manjak povezivanja naučenih teorijskih koncepata s praktičnim primjenama. Razlike u razumijevanju kod učenika koji pokus nisu vidjeli prije i nakon demonstracije i aktivnog sudjelovanja dodatno naglašavaju važnost interaktivnog učenja kroz pokuse.

Stoga, preporučuje se nastavnicima da u nastavu fizike integriraju što više pokusa i pritom aktivno uključuju učenike u proces otkrivanja novih pojava. Ovakav pristup ne samo da potiče dublje razumijevanje gradiva, već i omogućava učenicima da razviju vještinu primjene teorijskog znanja u stvarnim situacijama.

## 7. Reference

- [1] VUKELJA, Tihomir. Problemi, metoda i učenja Milećana (6. st. pr. Kr.), [https://www.pmf.unizg.hr/download/repository/4\\_Problemi%2C\\_metoda\\_i\\_ucenja\\_Milecana\\_2020.1%5B4%5D.pdf](https://www.pmf.unizg.hr/download/repository/4_Problemi%2C_metoda_i_ucenja_Milecana_2020.1%5B4%5D.pdf) (10.6.2024.)
- [2] Enciklopedija Britannica, <https://www.britannica.com/science/electromagnetism/Historical-survey> (10.6.2024.)
- [3] VUKELJA, Tihomir. Renesansa (15. i 16. stoljeće), [https://www.pmf.unizg.hr/download/repository/11\\_Renesansa%5B4%5D.pdf](https://www.pmf.unizg.hr/download/repository/11_Renesansa%5B4%5D.pdf) (10.6.2024.)
- [4] JELIČIĆ, Katarina. An investigation of students' understanding of electromagnetic induction. 2017.
- [5] PRANJIĆ, Marko. Nastavna metodika u riječi i slici. Zagreb: Hrvatski studiji Sveučilišta u Zagrebu, 2013.
- [6] Odluka o donošenju kurikuluma za nastavni predmet Fizika za osnovne škole i gimnazije u Republici Hrvatskoj, [https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2019\\_01\\_10\\_210.html](https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2019_01_10_210.html) (10.6.2024.)
- [7] Eksperimentalni kurikulum nastavnog predmeta Prirodoslovlje za osnovne škole, <https://mzom.gov.hr/UserDocsImages/dokumenti/Obrazovanje/OsnovneSkole/Eksperimentalni-kurikulum-nastavnog-predmeta-Prirodoslovlje-za-osnovne-skole.pdf> (10.6.2024.)
- [8] PAAR, Vladimir; HRLEC, Anica; VADLJA REŠETAR, Karmena; SAMBOLEK, Melita. Fizika oko nas 3, udžbenik fizike u trećem razredu gimnazije. 2. izdanje. Zagreb: *Školska knjiga*, 2021.
- [9] LABOR, Jakov; ZELENKO PADUAN, Jasmina. Fizika 3, udžbenik iz fizike za treći razred gimnazije. 1. izdanje. Zagreb: *Alfa*, 2020.
- [10] HORVAT, Dubravko; HRUPEC, Dario. Fizika 3, udžbenik za 3. razred gimnazije (2 ili 3 sata nastave tjedno). 1. izdanje. Zagreb: *Element*, 2020.
- [11] Polustrukturirani intervju, <http://struna.ihjj.hr/naziv/polustrukturirani-intervju/25250/> (10.6.2024.)
- [12] AJDUKOVIĆ, Marina; KERESTEŠ, Gordana. Etički kodeks istraživanja s djecom. Drugo, revidirano izdanje, lipanj 2020., <https://mrosp.gov.hr/UserDocsImages/dokumenti/Socijalna%20politika/Obitelj%20i%20djeca/Eti%20i%20kodeksi%20istra%20ivanja%20s%20djecom%20i%20integrirani%20tekst%20s%20prilozima.pdf> (10.6.2024.)

- [13] JELIČIĆ, Katarina; PLANINIĆ, Maja; PLANINŠIČ, Gorazd. Analyzing high school students' reasoning about electromagnetic induction. *Physical Review Physics Education Research*, 2017, 13.1: 010112.
- [14] MALONEY, David P., et al. Surveying students' conceptual knowledge of electricity and magnetism. *American Journal of Physics*, 2001, 69.S1: S12-S23.
- [15] ÖZDEMİR, Erdogan; CORAMIK, Mustafa. Reasons of Student Difficulties with Right-Hand Rules in Electromagnetism. *Journal of Baltic Science Education*, 2018, 17.2: 320-330.
- [16] MBONYIRYIVUZE, Agnes; YADAV, Lakhan Lal; AMADALO, Maurice Musasia. Students' conceptual understanding of electricity and magnetism and its implications: A review. *African Journal of Educational Studies in Mathematics and Sciences*, 2019, 15.2: 55-67.
- [17] Slika magneta i njihovog magnetskog polja,  
[https://edutorij-admin-api.carnet.hr/storage/extracted/452e1469-e362-4711-abc6f535c3b5254/html/7578\\_Magneti\\_i\\_magnetsko\\_polje.html](https://edutorij-admin-api.carnet.hr/storage/extracted/452e1469-e362-4711-abc6f535c3b5254/html/7578_Magneti_i_magnetsko_polje.html) (10.6.2024.)