

Izveštaj

Zadatak br. 10: Provodna linija

Linija nacrtana grafitnom olovkom na papiru može da provodi električnu struju. Ispitati osobine ovakve provodne linije.

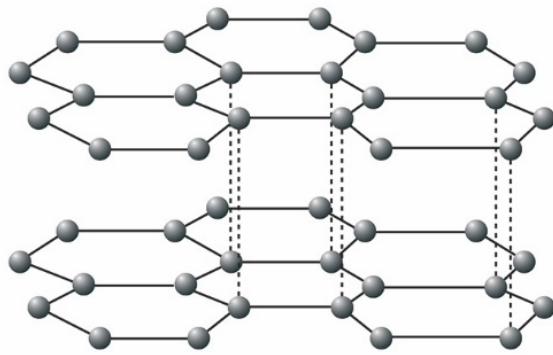
Uvod

Grafitna olovka, poznata još od 16. veka, svima nam je vrlo poznat i koristan predmet. Prvobitno je bio korišćen samo od strane umetnika i učenih ljudi kojima je trebalo da zapišu svoje misli ili prenesu svoju maštu na papir. Međutim, njegova rasprostranjena i raznolika svojstva privukla su pažnju kako naučnicima, tako i inženjerima, pa je tako danas uloga grafita našla mesto u raznim disciplinama. On je, između ostalog, i ključni materijal za razvoj savremenih tehnologija. Osim svojih interesantnih svojstava, velika prednost mu je široka rasprostranjenost, kao i laka i jeftina dostupnost.

Za sva svojstva je odgovorna njegova struktura. Grafit, alotropska modifikacija ugljenika, formira heksagonalne rešetke. Sastoje se od mnogo slojeva koji se nazivaju listovi (Slika 1). Atomi u grafitu vezani su kovalentnim vezama sa tri susedna C atoma. Listovi su međusobno povezani slabim Van der Valsovim silama, zbog čega vrlo lako klize jedan preko drugog. To mu omogućava da vrlo lako ostavlja trag, po čemu je dobio ime od grčke reči $\gamma\rho\alpha\varphi\epsilon\nu$ što znači pisati.

On je član 4. grupe Periodnog sistema elemenata, što znači da ima 4 valentna elektrona. U vezama sa susednim C atomima učestvuju samo tri elektrona, dok preostali četvrti elektron ostaje slobodan tj. delokalizovan. Zbog delokalizovanih elektrona grafit može da provodi struju. Pošto je on jedini nemetal sa pomenutim svojstvima, to ga čini vrlo jedinstvenim.

Istraživanjem grafita, otkriven je samo jedan njegov sloj-grafen, 2004. godine od strane naučnika iz Mančestera. Ta forma, iako predstavlja najtanji 2D materijal, je 200 puta jači od čelika i materijal najveće provodljivosti. To otkriće još više je povećalo pažnju njegovom istraživanju.

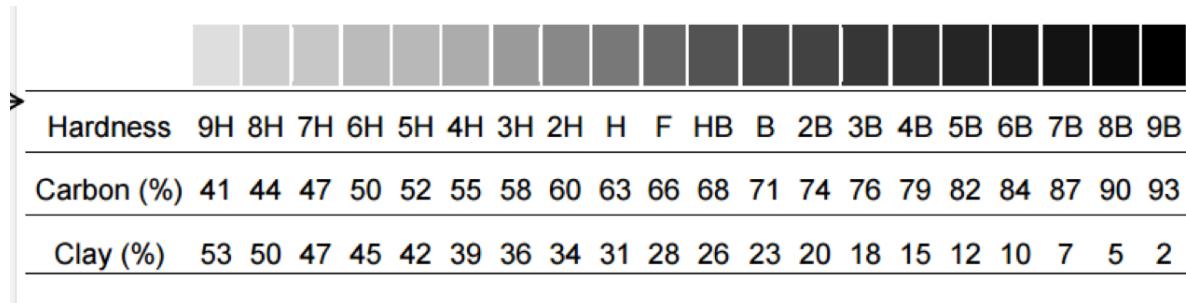


Slika 1:

U ovom istraživanju, posvetićemo se svojstvima šire dostupnog oblika grafita, olovci. Iako na prvi pogled deluje da ima krajnje jednostavnu i primitivnu svrhu, zbog pomenutih svojstava može se primeniti u pravljenju elektronskih kola na još jednom vrlo jednostavnom i široko dostupnom materijalu, na papiru. Treba imati u vidu da grafit ne može ostavljati trag ako je podloga (papir) suviše glatka. Sigurno ste nekada probali da napišete nešto na selotejp traci ili nekoj foliji, i pokušaj je bio neuspešan ili je vrlo lako moglo da se obriše.

Grafit zahteva minimalnu hrapavost 1-5 µm. Tokom eksperimenta i demonstracija biće korišćen običan A4 beli papir, za koji iz iskustva znamo da ima zadovoljavajuću hrapavost i da je vrlo pogodan za crtanje.

Olovke se klasificuju po procentualnom sastavu grafita, jer pored njega sadrže i primeće gline i još drugih aditiva, ali u jako malim količinama. Tako postoje olovke sa oznakom H što označava tvrdoću (hardness) jer imaju više gline, i olovke sa oznakom B (blackness) koje su mekše jer imaju više grafita. Na prelazu postoje i HB olovke koje imaju oko 60-70% grafita (Slika2).



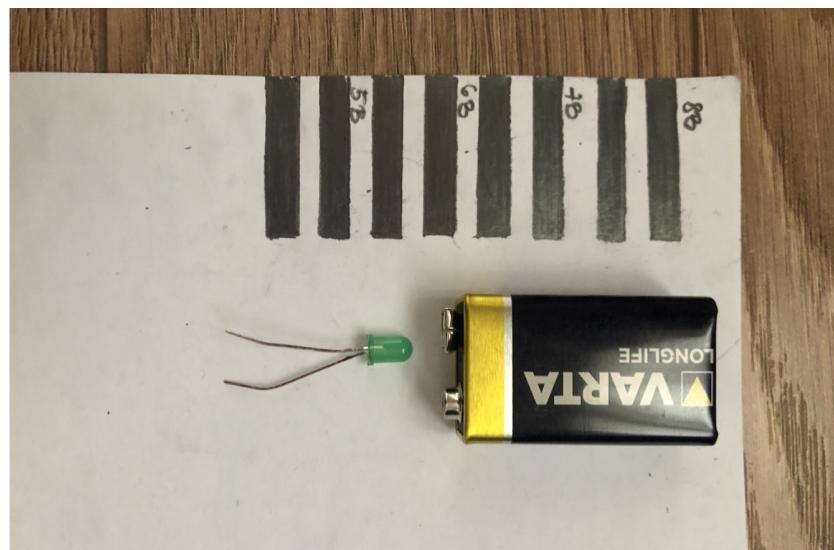
Slika 2:

“Otpor” nekog materijala se u fizici vezuje za gubitke energije. Otpornik je sve što sprečava protok struje, tj. usmerenih elektrona. Otpornici se uglavnom koriste za kontrolu ili snižavanje napona u kolu. Pri sudarima, elektroni gube kinetičku energiju

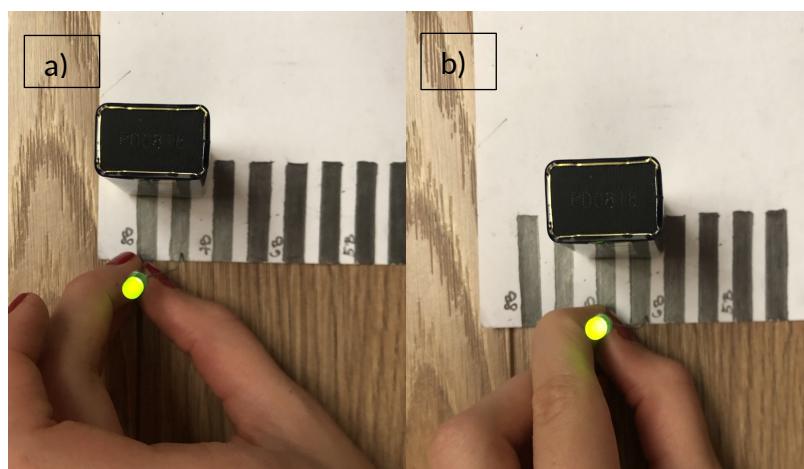
predajući je jonima u rešetkama. Kada su gubici veći, veća je otpornost. Zato ona zavisi od dimenzija provodnika i njegove strukture. Struktura se kao uticajan faktor na otpornost može videti na primeru dijamanta i grafita. Iako oba materijala sačinjena samo od atoma ugljenika, ne samo da se razlikuju u tvrdoći i izgledu, već se jedan ponaša kao provodnik, a drugi ne. Izolatori ili dielektrici su materijali koju pružaju jako veliki otpor.

S obzirom da je grafit provodnik, a glina izolator, očekujemo da će olovke koje sadrže veći procenat grafita, a manji procenat gline, biti bolji provodnici jer je grafit onaj koji je ključan za električnu provodljivost.

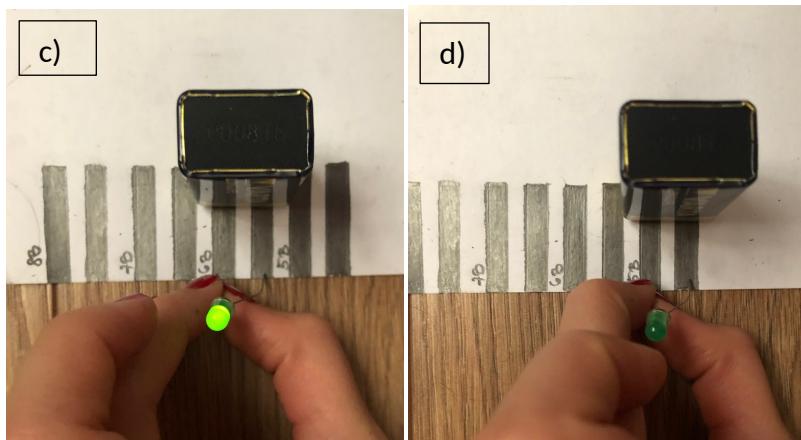
Hipoteza je grubo demonstrirana pomoću linija koje su nacrtane istih širina i dužina. Jedina razlika je u olovci koja je korišćena. Za demonstraciju 1 (Slika 3) korišćena je baterija od 9V i mala sijalica. Primećujemo na slikama 4 a) i b) da sijalica najjače svetli kada je za elektronsko kolo korišćena linija nacrtana olovkom mekoće 8B, a jedva primetno kada je u pitanju linija nacrtana olovkom mekoće 5B.



Slika 3: Demonstracija 1

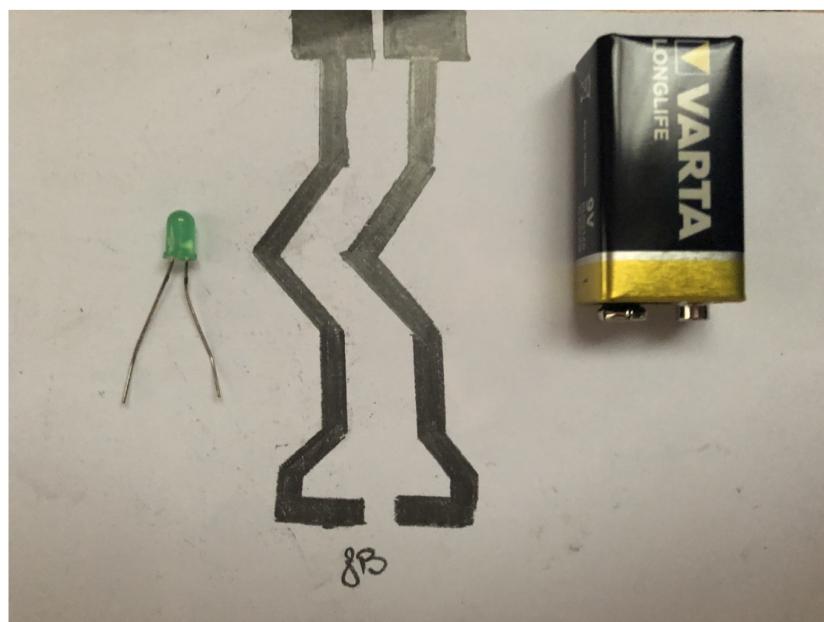


Slika 4: a) Svetlo na liniji olovke 8B, b) Svetlo na liniji olovke 7B

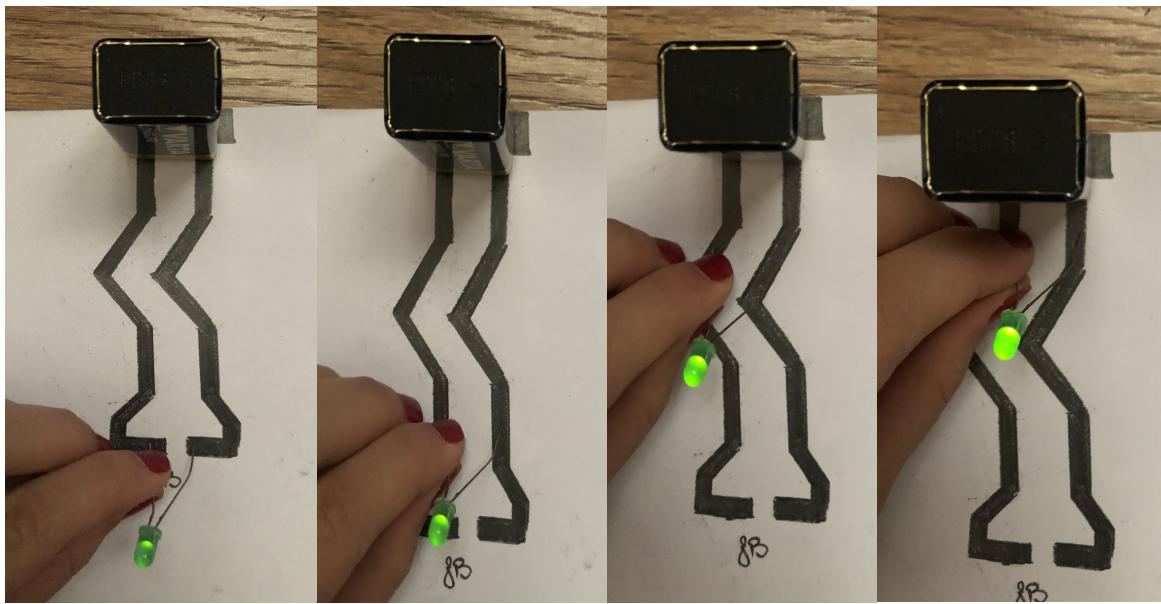


Slika 5: c) Svetlo na liniji olovke 6B, d) Svetlo na liniji olovke 5B

Gubici energije su veći kada elektroni imaju duži put, odnosno kada je nacrtana linija duža. To potvrđuje demonstracija 2 (Slika 6 i Slika 7), gde je takođe korišćena baterija od 9V i mala sijalica. Vidna je razlika u jačini svetljenja, u zavisnosti da li je bliža ili dalja izvoru.



Demonstracija 2



Slika 7: Različiti intenziteti svetla u zavisnosti od udaljenosti od izvora

Formula po kojoj se računa otpor:

$$R = \rho \frac{L}{S}$$

gde je R – otpor linije (Ω), ρ – specifični otpor materijala (Ωm); L – dužina provodnika tj. linije (m); S - površina poprečnog preseka (m^2). Otpor, teorijski, očigledno zavisi od dužine kao i poprečnog preseka provodnika. U ovom eksperimentu linije koje budemo crtali biće istih dimenzija i poprečnih preseka, pa očekujemo da će otpor biti u linearnoj zavisnosti od dužine linije. Takođe, očekujemo da će vrednosti otpora opadati porastom mekoće olovke, zbog porasta procenta ugljenika u njoj. Pošto otpor zavisi i od hemijske strukture. Upotrebom olovki sa različito procentualno zastupljenim grafitom će nam omogućiti da uočimo kako njihov sastav utiče na provodljivost.

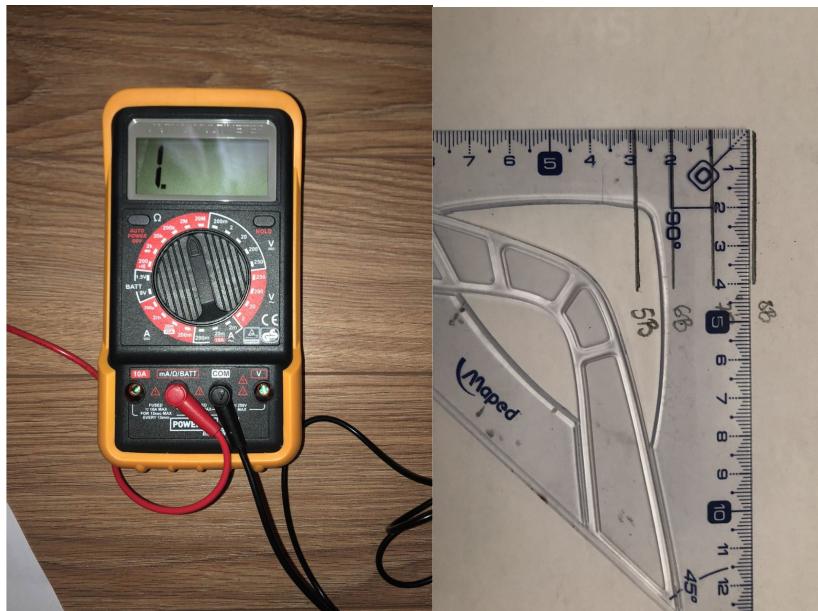
Cilj ovog istraživanja je proveravanje kako procenat grafita utiče na električnu otpornost. Srce olovke se ne sastoji iz čistog grafita već još nekih primesa, koje se ponašaju kao izolatori (glina). Znajući pomenuta svojstva grafita očekujemo da će viši procenat grafita dovesti do snižene otpornosti linije nacrtane na papiru.

Aparatura

Za izvođenje eksperimenta korišćene su 4 olovke mekoća: 8B, 7B, 6B, 5B. Za merenje otpora korišćen je digitalni multimetar. Probom je uočeno da veliki preklopnik treba biti podešen da prikazuje otpor do $200\text{k}\Omega$. Najmanji podeok je $0,1\text{k}\Omega$. Digitalni multimetar prvično pokazuje $1\text{k}\Omega$, jer se merni kablovi nalaze u vazduhu koji je izlator,

pa je između njih beskonačan otpor, prikazan jedinicom koja se nalazi sa leve strane (Slika 8).

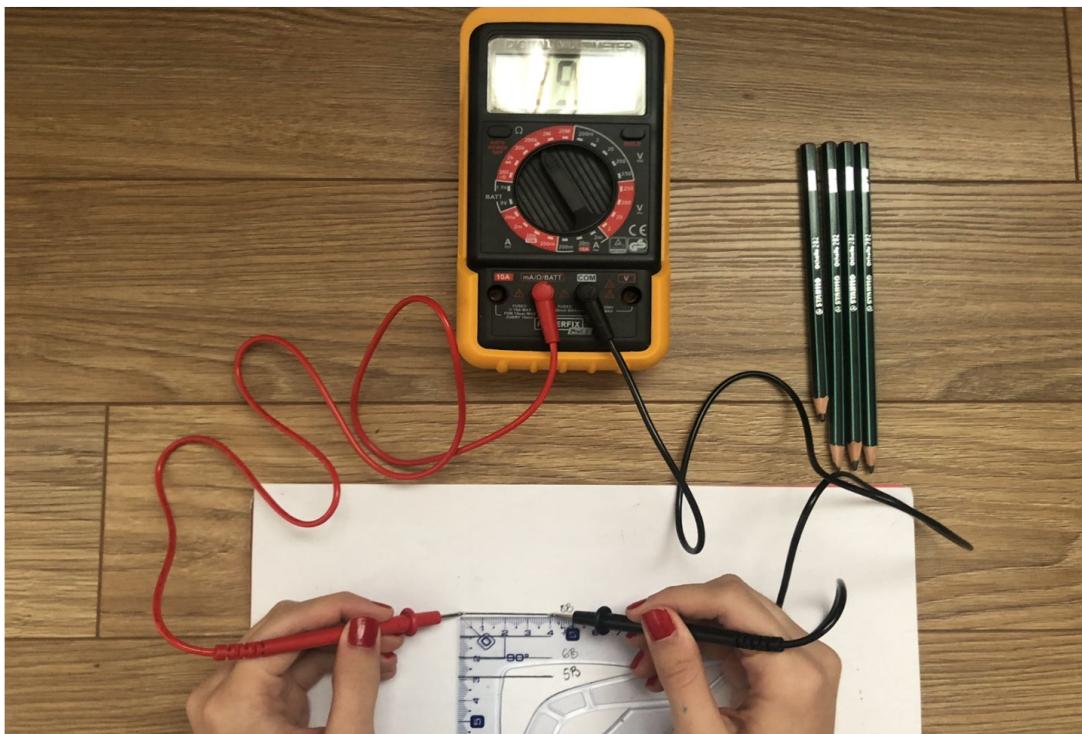
Nacrtane linije su duzine 4cm I debljine 0.1cm.Merenje duzine I sirine linija odradjeno je lenjirom sa najmanjim podeokom 0,1 cm.Da bi jacine nacrtanih linija bile pribлизно jednake, svaka linija je predjena 6 puta (Slika8).



Slika 8: Korišćeni merni uređaji

Metod rada

- 1) Veliki preklopnik digitalnog multimetra postaviti da meri otpor u intervalu od 200Ω do $200k \Omega$;
- 2) 4 linije dužine 4cm, debljine 0,1cm;
- 3) Meriti otpor linije na rastojanjima: 4cm, 3cm, 2 cm, 1 cm za svaku nacrtanu liniju i dobijene vrednosti unositi u tabelu;
- 4) Ponavljamo četiri puta za svaku liniju nacrtanu olovkom mekoće: 8B, 7B, 6B i 5B.



Slika 9: Metod rada

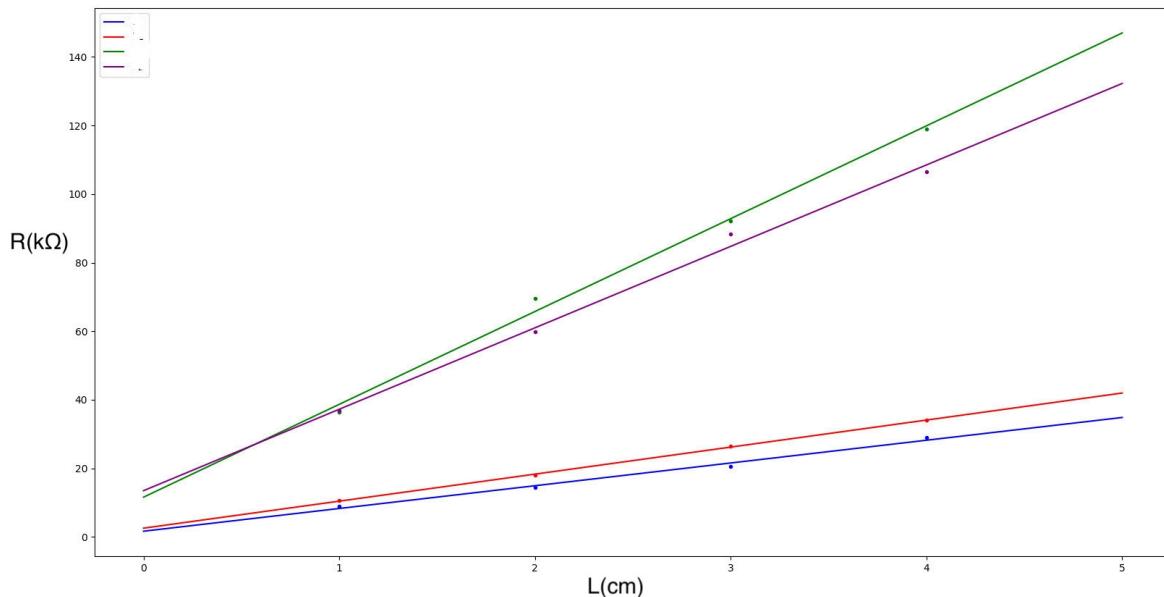
Rezultati

U Tabeli 1 prikazani su rezultati merenja otpora linije. Prikazana je jedna serija merenja, dok je ostatak u dodatku A. Rezultati merenja za sve četiri linije prikazane su na grafiku (Slika 10).

Na grafiku je prikazana zavisnost otpora od dužine. Primećujemo da je otpor linije 8B manji od otpora linije 7B, linija mekoće 7B manjeg otpora od linije 6B i linija 6B manjeg otpora od linije 5B. Primetno je i da otpor svake linije linearno raste.

Tabela1: Jedna serija merenja za merenje otpora linije različitih dužina

L(cm)	R(k Ω)				R_{sr} (k Ω)	ΔR_{sr} (k Ω)
	1.meren je	2.meren je	3.meren je	4.meren je		
4	29.00	28.80	29.10	29.50	29,10	0,40
3	20.50	20.60	20.40	20.30	20,45	0.10
2	15.40	15.40	15.30	15.50	15,40	0.10
1	8.80	8.60	9.40	9.20	9,0	0.40



Slika 10: Grafik zavisnosti otpora od dužine linije (Plava boja označava funkciju olovke mekoće 8B, Crvena boja označava funkciju olovke mekoće 7B, Ljubičasta boja označava funkciju olovke mekoće 6B i Zelena boja označava funkciju olovke mekoće 5B)

Fizički smisao koeficijenata, koji se dobija linearnim fitom pravih na Slici 10, predstavlja količnik specifičnog otpora linije nacrtane olovkom odgovarajuće mekoće i poprečnog preseka.

Poprečan presek je konstantan. Izračunat je kao proizvod debljine linije na papiru i njene širine. Iz merenja pomoću elektronskih mikrografija se zna da je debljina linije na papiru reda 10^{-3} cm. Kako je širina linije 0.1cm, poprečni presek iznosi 10^{-4} cm^2 .

Greška merenja debljine linije na papiru je zanemarljivo mala, dok je greška merenja lenjirom 0.05cm, dakle $\Delta S = 0.05 \text{ cm}^2$.

Rezultati specifičnog otpora su prikazani u Tabeli 2.

Tabela 2: Vrednosti specifičnog otpora za različite mekoće olovki

Mekoća olovke	8B	7B	6B	5B
$\rho \pm \Delta \rho (\Omega \text{cm})$	0.66 ± 0.11	0.79 ± 0.20	2.37 ± 1.30	2.708 ± 1.10

Diskusija

Menjanjem dužine na kojom se otpor svake linije meri, vidimo da otpor ne ostaje isti. Menjanjem vrednosti dužine, po teorijskoj formuli očekujemo da grafik pokazuje

linearnu zavisnost. Dobijeni grafik pokazuje linearu zavisnost otpora od dužine provodnika. Primetno se vidi rast otpora kod linija nacrtanih olovkama manjih mekoća. Specifičan otpor jedinstven je za svaki materijal. Po teoriji očekujemo da više grafita, kao provodnika smanjuje otpor, kao i da linije nacrtane olovkama manjih mekoća imaju manji specifični otpor. Iz Tabele 2 vidimo da specifičan otpor raste porastom procenta gline u olovci tj. povećanjem procenta grafita. Hipoteza je potvrđena.

Prilikom crtanja linije na papiru možemo približno da ih nacrtamo istom jačinom. Da prelazimo liniju isti broj puta. Međutim ta kontrola je gruba. Poboljšanje merenja zavisnosti otpora grafita u olovci bilo bi stavljanjem same olovke u kolo sa oba zarezana kraja. Još preciznije bilo bi stavljanje grafitne mine. Grafitna mina se sastoji samo od grafita. Otpor mine bio bi računat po omovom zakonu. Puštali bi određenu i kontrolisanu voltažu. Kao instrument za merenje jačine struje bio bi korišćen digitalni multimeter. Poteškoće prilikom ovakvog merenja su to što je mina dosta tanka pa lako puca, i na očitavanje vrednosti struje mogu da utiču spoljna magnetna i električna kola u vazduhu i od drugih objekata.

Merenje otpora se vrši pomoću digitalnog multimetara. Granice korišćenog multimetra bile su: 200Ω - $2k \Omega$, 200Ω - $20k \Omega$, 200Ω - $200k \Omega$, 200Ω - $2M \Omega$ i 200Ω - $20 M\Omega$. Tako je otpor izmedju $200k \Omega$ i $2M \Omega$ moguće izmeriti ali sa manjom preciznošću jer je najmenji podeok u intervalu $(200 \Omega, 200k \Omega)$ - $0.3k \Omega$ a u interval $(200 \Omega, 2M \Omega)$ najmanji podeok je $0.007M \Omega = 7k \Omega$, što bi doprinelo greškama prilikom merenja otpora dužih linija.

Papir korišćen kao podloga, se sastoji od celuloznih vlakana sa trodimenzionalnom hijerarhijskom organizacijom, što za posledicu daje razliku među papirima zbog razlike u neravninama na sebi. Hrapavost i sitne šupljine mogu da utiču na performanse provodnih linija grafita. Istraživanje o vrsti papira koja najviše odgovara tehnologiji crtanja električnih kola na papiru bilo bi od značajne koristi, s obzirom da se ovaj jednostavan način pravljenja nekih električnih uredjaja sve više koristi. A performans uređaja jedan je od njegovih najbitnijih karakteristika.

Zaključak potvrđuje našu prvobitnu hipotezu. Više grafita rezultuje manju otpornost linije. Nedavno otkriveni izuzetak – grafen, na neki način je kontradiktoran sa ovim tvrdjenjem jer predstavlja samo jedan sloj grafita, a dosta izraženija i bolja svojstva (Dodatak B).

Napor današnjih naučnika i inženjera da se svojstva grafita, lako dostupnog i jeftinog materijala, iskoriste su veliki, zbog čega danas grafit pronalazi ulogu u mnogim poljima, preko elektroindustrije, elektrohemije, pa do medicine i ljudskog zdravlja (Dodatak C).

Reference:

- 1) J.Best , **EEI-Resistance of graphite**, dostupno na:
https://jacksonbest.weebly.com/uploads/4/1/3/9/41394725/eei-own_choice_prac - journal.pdf
- 2) C.France , **GCSE science** , dostupno na:
<http://www.focusgraphite.com/technology/graphite/>
- 3) **Physics.online** dostupno na: <https://aziza-physics.com/elektricni-otpor-provdnika/>
- 4) **Electrical resistance** , dostupno na:
<https://www.rapidtables.com/electric/Resistance.html>
- 5) N.Kurra , G.U.Kulkarni , Pencil-on-paper:electronic devices (2013), dostupno na:https://www.academia.edu/22478592/Pencil-on-paper_electronic_devices
- 6) Lawrence.D. Woolf , Holger H. Streckert , **Graphite pencil line for exploring resistance** , The Physics Teacher(1998) , dostupno na :<https://aapt.scitation.org/doi/abs/10.1119/1.2344515?journalCode=pte>
- 7) W.Nicol, **Emerging Tech** , dostupno na:<https://www.digitaltrends.com/cool-tech/what-is-graphene/>
- 8) A.Jones , **How does length affect resistance and resistivity?** , University of Wisconsin dostupno na:<http://carbon.chem.wisc.edu/Files/LineOfResistance.pdf>
- 9) Pencil Resistors and their working , dostupno na: <https://www.efxkits.us/pencil-resistors-working-with-simple-project/>

Dodatak A:

Ostale serije merenja:

Tabela 3: Serija merenja otpora linije mekoce 7B

L(cm)	1.merenje	2.merenje	3.merenje	4.merenje	R _{sr} (k Ω)	R _{sr}
4	33.90	34.30	34.00	33.90	34.03	0.27
3	26.20	26.10	26.70	26.60	26.4	0.30
2	18.20	18.10	17.90	17.80	18.00	0.20
1	10.60	10.5	10.4	10.7	10.55	0.15

Tabela 4: Serija merenja otpora linije mekoce 6Bs

L(cm)	1.meren je	2.meren je	3.meren je	4.meren je	R _{sr} (k Ω)	R _{sr}
4	106.30	106.70	106.40	106.30	106.43	0.27
3	88.40	88.50	88.30	88.30	88.37	0.13
2	59.90	59.40	60.20	60.20	59.93	0.53
1	36.50	36.40	36.40	36.20	36.37	0.17

Tabela 5: Serija merenja otpora linije mekoce 5B

L(cm)	1.meren je	2.meren je	3.meren je	4.meren je	R _{sr} (k Ω)	R _{sr}
4	119.00	119.20	119.10	119.00	119.07	0.13
3	92.10	92.20	92.20	92.30	92.20	0.10
2	69.20	69.00	69.20	68.90	69.07	0.17
1	36.60	37.00	36.60	36.70	36.73	0.27

Dodatak B:

Ako bismo hteli da napravimo superprovodnike, umesto posmatranog grafita, trebalo bi obratiti pažnju na samo jedan njegov delić. Grafen može da se ponaša kao superprovodnik u dva slučaja, otkrivena od strane naučnika sa Kembridža i MIT-ja. Zajedno sa oksidom bakra, ali i izolovan, pod određenim uslovima pokazuje svojstva superprovodnika. Sa moćnim svojstvima u okviru elektronike, svojstvo koje mu takođe daje prednost, jeste njegova lakoća i fleksibilnost. Upotreba grafena znatno bi olakšala mnoge uređaje današnjice.

Osim u inženjerstvu, izuzetno je koristan i u svakodnevničkoj pogotovu leti. Grafen na koži ne samo da sprečava komarce da nas ujedaju, već zbog grafena uopšte ne sleću na kožu. Mogući razlog za to je što ih sprečava da namirišu krv kojom žele da se hrane.

Grafen, iako dosta bolji za upotrebu, ima visoku cenu za razliku od grafita. Što je trenutni razlog zašto nije toliko zastupljen.

Dodatak C:

Naučnici Santhiago i Kubota iskoristili su tehnologiju zasnovanu na papiru i, uz pomoć grafitnih elektroda, napravili su spravu sa jednostavnim pristupom stanju šećera u krvi, što je dijabetičarima od značajne pomoći. Olovka im je poslužila za izradu elektrode koja elektrohemski detektuje glukozu.