

# Vodiči, poluvodiči i izolatori

---

**Grabovac, Matea**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2018**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Department of Chemistry / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Odjel za kemiju**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:182:487513>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-14**

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of the Department of Chemistry, Osijek](#)



Sveučilište J.J.Strossmayera u Osijeku  
Odjel za kemiju  
Preddiplomski studij kemije

Matea Grabovac

**Vodiči, poluvodiči i izolatori**

Završni rad

Mentorica: doc.dr.sc. Martina Medvidović-Kosanović

Osijek, 2018.

## SAŽETAK

U ovom radu bit će riječi o vodičima, poluvodičima te izolatorima odnosno tvarima koje se razlikuju prema sposobnosti provođenja električne struje. Zbog same strukture tvari, vodiči će izuzetno dobro provoditi električnu struju, poluvodiči ovisno o eksperimentalnim uvjetima mogu, a i ne moraju provoditi električnu struju, dok će izolatori pružati izuzetno visok otpor prolasku električne struje. U samom radu će biti i nešto više riječi o primjeni ovih skupina materijala.

**Ključne riječi:** električna provodnost, supravodljivost, vodič, poluvodič, izolator

## ABSTRACT

In this thesis conductors, semiconductors and insulators will be discussed. These materials differ in electrical conductivity. Because of the structure of the materials, the conductors will show very high electrical conductivity, semiconductors, depending on the experimental conditions, may or may not conduct electric current, while the insulators provide exceptionally high resistance to the conductivity of electric current. In this thesis, there will be more words about the application of these groups of materials.

**Key words:** electrical conductivity, superconductivity, conductor, semiconductor, insulator

## Contents

<b>1. UVOD</b> .....	<b>1</b>
<b>2. TEORIJA MOLEKULSKIH OBITALA, ELEKTRONSKIH VRPCI I ELEKTRIČNA PROVODNOST</b> .....	<b>2</b>
<b>3. SUPRAVODIČI</b> .....	<b>5</b>
<b>4. VODIČI</b> .....	<b>7</b>
4.1. Srebro .....	9
4.2. Bakar.....	10
4.3. Zlato.....	11
4.4. Aluminij.....	12
<b>5. POLUVODIČI</b> .....	<b>13</b>
5.1. Silicij.....	15
5.2. Germanij .....	16
<b>6. IZOLATORI</b> .....	<b>17</b>
6.1. Dijamant .....	17
<b>7. PRIMJENA U SVAKODNEVNOM ŽIVOTU</b> .....	<b>18</b>
<b>8. ZAKLJUČAK</b> .....	<b>21</b>
<b>9. LITERATURA</b> .....	<b>22</b>

## 1. Uvod

U ovom će radu biti riječi o teoriji molekularnih orbitala, elektronskih vrpca te o samoj električnoj provodnosti. Ovi pojmovi će nam pomoći kako bi shvatili princip rada vodiča, poluvodiča te izolatora, materijala koje pronalazimo u svakodnevnom životu. Iste možemo pronaći u građevinarstvu, metalurgiji i strojogradnji. Navedeni materijali koriste se pri izradi zrakoplova ili svemirskih letjelica, kod izrade posuđa ili pak nakita. O samoj primjeni će biti nešto više riječi u završnim poglavljima ovog rada. Na početku ćemo definirati vodiče, poluvodiče te izolatore i navesti koja je osnovna razlika između navedenih materijala.

Vodiči su tvari koje dobro provode električnu struju. Karakteristično dobro provođenje električne struje proizlazi iz strukture materijala, koja će pobliže biti objašnjena u nastavku ovog rada. U skupinu vodiča najčešće ubrajamo metale poput aluminija, zlata, žive i sl. Metale možemo razlikovati po stupnju njihove provodljivosti. Osim metala, u skupinu vodiča ubrajamo otopine soli, kiselina i lužina koje zajedničkim nazivom zovemo elektroliti.

Poluvodiči su tvari koje se pri određenim uvjetima mogu ponašati kao izolatori ili pak kao vodiči zbog karakteristične strukture u kojoj je moguć slobodan prijelaz nesparenih elektrona. Sam prijelaz elektrona je ograničen i ovisi o temperaturi pri kojoj se sama tvar nalazi. Ukoliko se poluvodič nalazi pri vrlo niskim temperaturama on postaje izolator. Nadalje, ukoliko se nalazi pri sobnoj temperaturi postaje vodič, no ipak ne provodi električnu struju toliko dobro poput pravih vodiča. Neki od najpoznatijih predstavnika ove skupine su silicij i germanij.

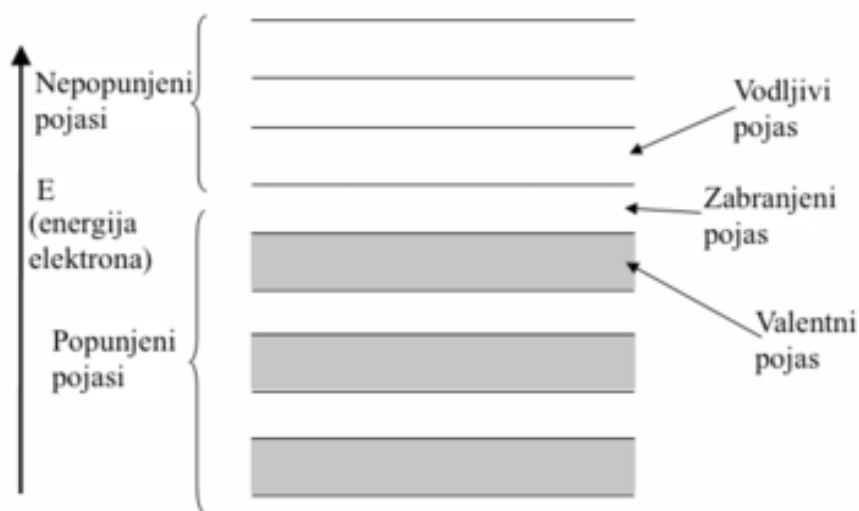
Izolatori su tvari za koje je karakteristično da pružaju veliki otpor prolasku električne struje. Slobodni elektroni nemaju mogućnosti prelaska iz vanjskih elektronskih ljusaka u unutarnje. Neki od poznatijih predstavnika ove skupine su: dijamant, suhi zrak, parafin, staklo i porculan [1].

## 2. Teorija molekulskih orbitala, elektronskih vrpca i električna provodnost

Kako bi shvatili kako funkcioniraju vodiči, poluvodiči te izolatori pokušat ćemo pobliže objasniti teoriju molekulskih orbitala te teoriju elektronskih vrpca.

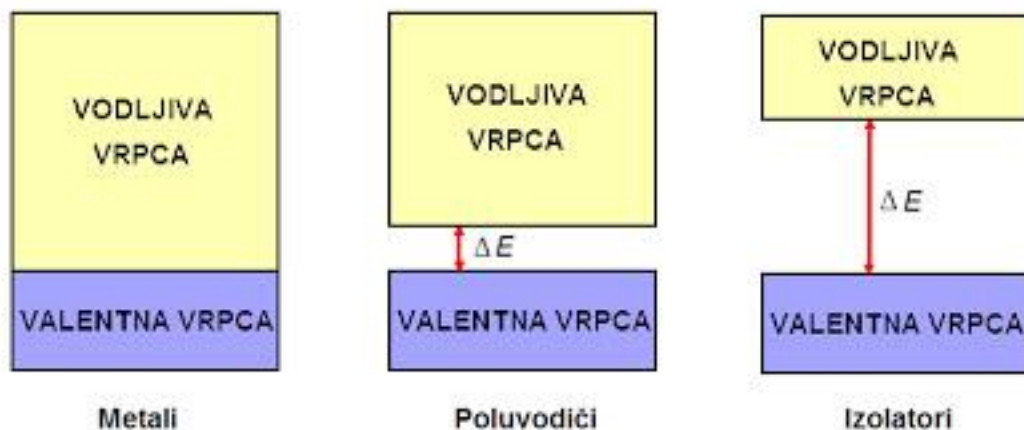
Samoj teoriji elektronskih vrpca prethodila je teorija molekulskih orbitala koje nastaju preklapanjem sličnih atomskih orbitala pri čemu nastaje isti broj molekulskih orbitala. Prilikom nastajanja molekulskih orbitala polovica novonastalih orbitala su stabilnije odnosno energetski niže energije od početnih atomskih orbitala (vezne molekulske orbitale), dok je druga polovica novonastalih orbitala energetski više energije odnosno manje stabilna u odnosu na atomske orbitale (protuvezne molekulske orbitale). Sam broj novonastalih molekulskih orbitala ovisi o broju atoma te o broju atomskih orbitala u atomu. Ukoliko se u kristalnoj rešetci nalazi  $N$  atoma s jednom orbitalom u atomu, nastaje  $N$  veznih molekulskih orbitala odnosno za  $N$  atoma sa  $Z$  atomskih orbitala u atomu nastaje  $ZN$  veznih molekulskih orbitala. Svaka nastala orbitala može primiti po dva elektrona koji će imati različite spinove. Tako  $N$  orbitala može primiti  $2N$  elektrona, a  $ZN$  orbitala  $2ZN$  elektrona.

Formiranjem molekulskih orbitala u kristalnoj rešetci neke tvari dolazi do nastanka nekoliko zona odnosno iz pojedinih vrsta atomskih orbitala nastaju elektronske vrpce. S obzirom da se unutar elektronske vrpce nalazi nekoliko molekulskih orbitala koje se razlikuju po samoj energiji, elektronske vrpce će se odijeliti zonom koju nazivamo zabranjena zona. Za zabranjene zone je karakteristično da ne sadrže dopuštene energetske nivoe te elektroni ne mogu pronaći svoje mjesto u ovoj zoni. Energija zabranjene zone je dostatna da uspješno sprječava slobodan prijelaz elektrona iz energijski niže u energijski višu vrpca. Druga karakteristična zona naziva se valentna vrpca. Ona je u potpunosti ili djelomično popunjena valentnim elektronima. Treća zona odnosno prazna vrpca, naziva se vodljivom vrpcom (u toj zoni nema elektrona). Navedene zone koje nastaju u kristalnoj rešetci prikazane su na slici 1.



Slika 1. Prikaz elektronskih vrpce u kristalnoj rešetci [2].

Na slici 2 prikazan je odnos valentnih, vodljivih te zabranjenih zona za vodič, poluvodič te izolator. Iz slike je vidljivo da vodiči imaju najmanji razmak između valentne i vodljive vrpce odnosno najmanju zabranjenu zonu, poluvodiči imaju nešto veći razmak između vrpce odnosno veću zabranjenu zonu, dok izolatori imaju najveći razmak između navedenih vrpce odnosno najveću zabranjenu zonu [3].



Slika 2. Odnos valentne i vodljive vrpce za vodiče, poluvodiče i izolatore [4].



Nakon što smo definirali teoriju molekularnih orbitala i teoriju elektronskih vrpca, reći ćemo nešto više i o električnoj provodnosti. Električna provodnost je fizikalna veličina koja nam govori nešto više o sposobnosti same tvari da vodi električnu struju. Električnu provodnost možemo određivati mjerenjem električne vodljivosti  $G$ , ploštine poprečnog presjeka vodiča,  $P$  te duljine električnog vodiča,  $l$  u smjeru električne struje. Električnu provodnost ( $\kappa$ ) tako definirao kao:

$$\kappa = \frac{Gl}{P}$$

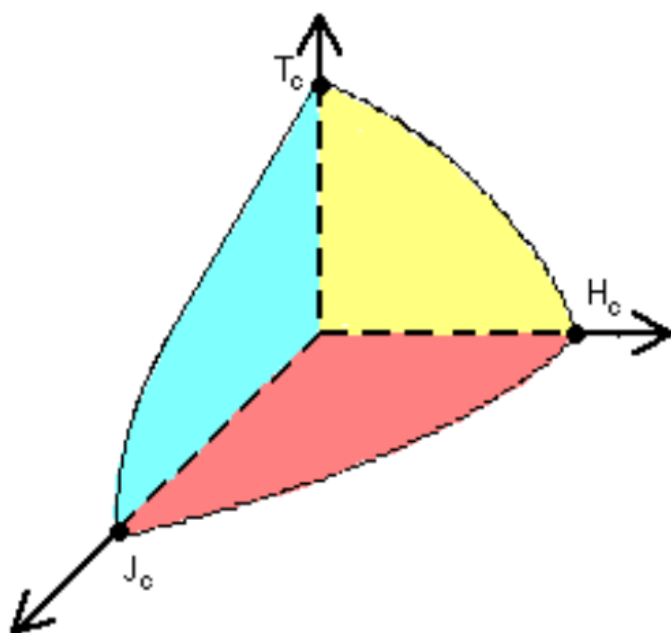
Mjerna jedinica električne provodnosti je Simens po metru (S/m).

Sama električna provodnost ovisi o nekoliko čimbenika. Najvažniji čimbenik je vrsta tvari te njezina struktura, no na električnu provodnost utječu i primjese koje mogu biti prisutne u tvari te temperatura pri kojoj se tvar nalazi. Ukoliko u vodi otopimo određenu količinu soli doći će do promjene električne provodnosti u odnosu na čistu vodu (čisto otapalo). Materijale tako s obzirom na njihove karakteristike možemo podijeliti u nekoliko skupina s obzirom na električnu provodnost. Najvišu električnu provodnost tako pokazuju supravodiči, potom vodiči, poluvodiči i elektroliti te na kraju izolatori.

Nakon što smo se upoznali sa električnom provodnosti te skupinama materijala različitih električnih provodnosti, sada ćemo reći nešto više o svakoj od navedenih skupina (supravodičima, vodičima, elektrolitima, poluvodičima te izolatorima ) te o odnosu pojedinih vrpca u svakoj od navedenih skupina materijala te ćemo navesti najvažnije predstavnike svake skupine [5].

### 3. Supravodiči

Supravodiči su tvari koje pri niskim temperaturama u potpunosti „gube“ svoj električni otpor odnosno električna struja može prolaziti kroz tanku izolatorsku barijeru bez električnog otpora. Samo supravodljivo stanje možemo definirati pomoću tri parametra: kritične temperature,  $T_c$ , kritičnog magnetskog polja,  $H_c$  te kritične gustoće,  $J_c$ ; što je prikazano na slici 3. Da bi određena tvar poprimila karakteristike supravodljive tvari sva se tri parametra moraju nalaziti ispod kritičnih vrijednosti za određeni materijal.



Slika 3. Prikaz tri parametra supravodljivosti: kritične temperature,  $T_c$ , kritične jakosti polja,  $H_c$  te kritične gustoće,  $J_c$  [6].

Supravodljive materijale možemo podijeliti u tri vrste koje se razlikuju po objašnjenima pojave supravodljivosti. Objašnjenje supravodiča prve vrste odnosno supravodljivosti prve vrste donosi kvantno mehanička teorija koja pretpostavlja da se pri vrlo niskim temperaturama, nižim od  $-200\text{ }^\circ\text{C}$ , elektroni gibaju u parovima te da privlačno međudjelovanje elektron-rešetka-elektron prevladava Coulombovo odbojno međudjelovanje te se zato svaki par elektrona može gibati kroz kristalnu rešetku bez ikakvog gubitka energije, čak i prolaziti kroz izolatorsku barijeru. Ukoliko dolazi do

porasta temperature jačaju vibracije rešetke, koje nakon kritične temperature razdvajaju spomenute parove elektrona. Objašnjenje supravodiča druge vrste odnosno supravodljivosti druge vrste donosi kvantno mehanička teorija koja opisuje kako dolazi do povećanja broja magnetskih vrtloga kada dolazi do pojačavanja magnetskog polja te kada se jezgre vrtloga počnu preklapati supravodljivost prestaje. Treća vrsta supravodljivih materijala razlikuje se od prve dvije zbog djelomične ireverzibilnosti indukcijskih svojstava koje su uzrok pojave magnetske histereze. Kao posljedica magnetske histereze, ova vrsta supravodiča ima veću kritičnu gustoću električne struje te veću kritičnu jakost magnetskog polja u odnosu na prve dvije skupine.

Što znamo sa samim svojstvima supravodiča? Poznato je da kod supravodiča pri vrlo niskim temperatura dolazi do promjene karaktera ovisnosti električnog otpora o temperaturi. Ukoliko se temperaturu postepeno snižava te kada ista dosegne kritičnu temperaturu doći će do naglog pada električnog otpora, odnosno električni otpor će gotovo biti na nuli. Ovisno je li pad temperature jako skokovit ili ipak malo blaži, govorimo o supravodičima S1 tipa ili pak supravodičima S2 tipa. Za tip S1 karakteristična su dva stabilna stanja, a to su: normalno vodljivo te supravodljivo stanje, dok su za tip S2 karakteristična tri stabilna stanja, a to su: normalno vodljivo i supravodljivo stanje te miješano stanje zbog odsutnosti magnetskog polja.

Kritične temperature supravodljivosti nekih tvari nalaze se vrlo blizu apsolutne nule tako primjerice za volfram kritična temperatura iznosi 0,01 K. U tablici 1 dane su vrijednosti kritičnih temperatura za različite materijale koji se koriste za izradu supravodiča. Vidljivo je da vrijednosti kritične temperature za supravodljive metale ne prelaze granicu od 10 K, dok primjerice ukoliko se radi o legurama gotovo je sigurno da će vrijednost kritične temperature prelaziti 10 K. Tako za leguru koja se sastoji od niobija, aluminijske i germanijske legure vrijednost kritične temperature iznosi 20,7 K. Osim parametra kritične temperature,  $T_c$  na supravodljivost utječe i kritična jakost polja,  $H_c$ . Tako će u jačem magnetskom polju doći do većeg sniženja kritične temperature. Ukoliko dođe do prekoračenja kritične jakosti električnog polja pri nekoj kritičnoj temperaturi, supravodljivost takvog materijala sasvim nestaje te on postaje normalno vodljiv. Što se tiče same praktične primjene supravodljivih materijala vrlo je važna temperatura pri kojoj oni postaju supravodljivi. Ukoliko je kritična temperatura niža od 20 K, što je slučaj kod većine čistih metala, sustav se mora hladiti ukapljenim helijem. Ukoliko je kritična temperatura 100 K ili pak viša, hladiti se može pomoću ukapljenog dušika čija je upotreba

znatno jeftinija. Zanimljivo je da je prvi supravodič u obliku žice proizveden 1961. godine. Njegova kritična temperatura iznosila je 23 K, kritična jakost električnog polja 20 T dok je kritična gustoća iznosila  $105 \text{ A/cm}^2$ . Danas je poznato 29 kemijskih elementa koji su supravodljivi u svom „prirodnom“ obliku dok njih 17 postaju supravodljivi materijali ukoliko su izloženi visokom tlaku. Gdje možemo iskoristiti ovu pojavu? Svoju primjenu pronalazi u snažnim magnetima akcelatora čestica ili pak kod uređaja za dobivanje snimaka ljudskog tijela pomoću nuklearne magnetske rezonancije [7].

Tablica 1. Vrijednosti kritične temperature,  $T_c$  za neke supravodljive materijale [6].

<b>MATERIJAL</b>	<b><math>T_c / \text{K}</math></b>
Volfram	0,01
Kadmij	0,56
Cink	0,88
Aluminij	1,19
Indij	3,41
Kositar	3,72
Živa	4,17
Olovo	7,18

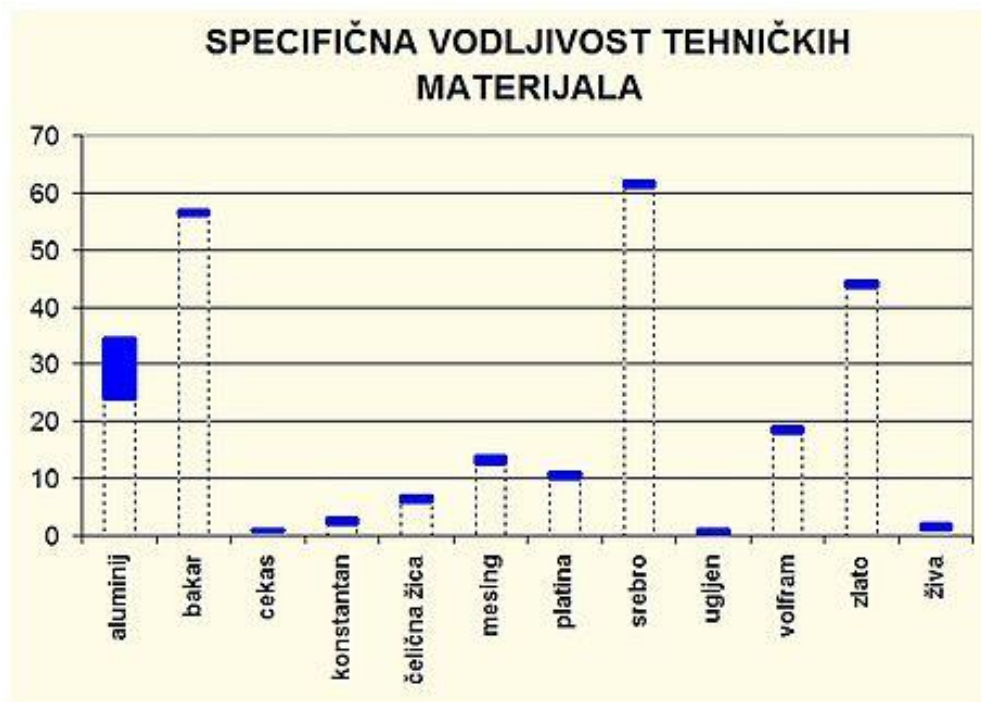
#### 4. Vodiči

Električni vodič možemo definirati kao električki vodljivu tvar. Za takve tvari je karakteristično da električna struja može neometano protjecati kroz samu tvar. Protok električne struje kroz vodič definiran je električnom provodnošću. Tvari koje spadaju u skupinu električnih vodiča imaju električnu provodnost veću od  $10^7 \text{ S/m}$ . Takva specifična električna vodljivost posljedica je same građe takvih tvari. Za vodiče je karakteristično da elektronske vrpce nisu potpuno popunjene. Sama širina elektronske vrpce ovisit će o količini preklapanja atomskih orbitala koje stvaraju vrpcu molekularnih orbitala. Budući da se energetske vrpce viših energija prostiru dalje od atomskih jezgri nego one niže energije doći će do jačih preklapanja vrpce viših energija. Kao posljedica dolazi do širenja elektronskih vrpce, a zabranjene zone se sužavaju. Uslijed toga može doći do preklapanja

valentnih i vodljivih elektronskih vrpca te se na taj način povećava slobodno kretanje elektrona između vrpca pod utjecajem električnog polja. Taj proces općenito ukazuje na veću električnu vodljivost.

Same vodiče možemo podijeliti u dvije skupine. Prva skupina su vodiči prvog reda u kojoj tvari električnu struju provode pomoću elektrona, a druga skupina su vodiči drugog reda u kojoj tvari provode električnu struju pomoću iona. Karakteristični predstavnici vodiča prvog reda su metali poput srebra, bakra, aluminija, zlata, žive i sl. Metale možemo razlikovati i po stupnju same provodljivosti. Na slici 4 prikazana je električna vodljivosti vodiča prvog reda. Iz slike je vidljivo kako srebro ima najveću električnu provodnost od navedenih tvari, potom slijede bakar, zlato pa aluminij. O svakom od njih će biti nešto više riječi u nastavku ovog rada. Karakteristični predstavnici vodiča drugog reda su vodene otopine soli, kiseline ili pak lužine (takve otopine se nazivaju elektroliti). Elektroliti mogu postojati u obliku otopine ili taline, pri čemu dolazi do stvaranja pokretljivih iona koji imaju sposobnost prenošenja električnog naboja. Ukoliko se radi o elektrolitima u čvrstom, kristalnom stanju, oni će prenositi električni naboj kroz šupljine u kristalnim rešetkama. Za razliku od njih poznajemo i elektrolite koji postaju vodiči tek kada su otopljeni ili pak rastaljeni procesom disocijacije. Navedene elektrolite možemo podijeliti u dvije karakteristične skupine: prave elektrolite i potencijalne elektrolite.

Pravim elektrolitima se nazivaju oni koji se i prije disocijacije sastoje od iona primjerice soli u obliku ionskih kristala, pa se rastavljaju na ione samo procesom otapanja. Potencijalnim elektrolitima se nazivaju oni koji se prije disocijacije ne sastoje od iona, nego isti nastaju tek nakon reakcije s molekulama otapala. Elektrolite prema njihovoj jakosti, također možemo klasificirati u dvije skupine. Tako razlikujemo jake elektrolite te slabe elektrolite. Jaki elektroliti su oni koji su u otopini potpuno ili gotovo potpuno disocirani na ione. U ovu skupinu ubrajamo soli, jake kiseline te jake baze. Slabi elektroliti su oni koji su u otopini samo djelomično disocirani na ione. U ovu skupinu ubrajamo slabe kiseline te slabe baze [3].



Slika 4. Prikaz specifičnih vodljivosti različitih tvari [8].

#### 4.1. Srebro

Srebro (Slika 5) je kemijski element iz skupine plemenitih metala kemijskog simbola Ag. Atomski broj mu je 47, dok mu je relativna atomska masa 107,868. Elementarno srebro je sjajan, kovak i vrlo rastezljiv metal. Razlikujemo dva stabilna izotopa te nekolicinu radioizotopa. Gustoća mu je  $10,5 \text{ g/cm}^3$ . Tali se pri temperaturi od  $961,8 \text{ }^\circ\text{C}$ , a vrije pri  $2162 \text{ }^\circ\text{C}$ . Od svih metala upravo srebro najbolje provodi toplinu i električnu struju. Srebro je postojano na zraku, no može doći do gubitka sjaja i tamnjenja zbog stvaranja crnoga sulfida. Može se otapati u dušičnoj i vreloj sumpornoj kiselini. Pokazuje izuzetnu otpornost prema rastaljenim lužinama. Najčešće se primjenjuje u obliku slitina od kojih se ističu one s cinkom, niklom te bakrom. Prednost slitine srebra je jeftinija cijena te veća čvrstoća i otpornost na trošenje u odnosu na čisto srebro [9].



Slika 5. Srebro [10].

## 4.2. Bakar

Bakar (Slika 6) kemijski je element karakteristične crvenkaste boje, kemijskog simbola Cu. Atomski broj mu je 29, dok mu je relativna atomska masa 63,546. Radi se o mekanom, teškom metalu koji je nakon srebra najbolji vodič elektriciteta i topline. Gustoća mu je  $8,92 \text{ g/cm}^3$ , tali se pri temperaturi od  $1083 \text{ }^\circ\text{C}$ , a vrije pri temperaturi od  $2562 \text{ }^\circ\text{C}$ . Otporan je prema koroziji, lako se prerađuje i stvara slitine. Duljim stajanjem dolazi do tamnjenja. Ukoliko je pod duljim utjecajem atmosfere dolazi do stvaranja zaštitnog sloja odnosno do stvaranja bazičnog karbonata ili sulfata. Ne otapa se u razrijeđenim kiselinama, no nagriza ga dušična kiselina. U prirodi se rijetko pronalazi u elementarnom stanju, najčešće se može naći raspršen u stijenama u vrlo čistom stanju ili uz nešto srebra ili pak bizmuta. Također razlikujemo i nekoliko stotina bakrenih ruda. Neke od najčešćih su sulfidne, oksidne ili pak karbonatne rude koje se u prirodi mogu pronaći s različitim primjesama. Kada se radi o spojevima bakra tada je isti uglavnom jednovalentan ili pak dvovalentan. Takvi spojevi su vrlo otrovni za niže organizme poput bakterija, gljivica, algi ili kukaca. Za ljude su takvi topljivi bakreni spojevi slabo toksični. Zanimljivo je da je bakar poznat još iz prapovijesnih vremena. Prije otprilike 8000 godina prije Krista bakar je korišten za izradu oruđa i oružja [11].



Slika 6. Bakar [12].

### 4.3. Zlato

Zlato (Slika 7) je kemijski element kemijskog simbola Au, atomskog broja 79, a relativne atomske mase 196,966. Zlato se tali pri temperaturi od 1337,58 °C, a vrije pri temperaturi od 3080 °C. Radi se o izuzetno mekanom, rastezljivom metalu poznatom po svojem karakterističnom žutom sjaju. Izuzetno otporan na utjecaje zraka, vode, sumpora i sumporovodika. Otapa se u klornoj vodi kao i u smjesama klorovodične kiseline koje sadrže jaka oksidacijska sredstva poput kalijevog permanganata ili nitratne kiseline. Budući da je čisto zlato premekano, često se koriste legure zlata sa srebrom ili bakrom kako bi mu se poboljšala svojstva. Količina zlata u takvim legurama se izražava u karatima. Osim u karatima čistoća zlata se može izražavati i u promilima mase zlata. U svojim spojevima može biti jednovalentno, dvovalentno, trovalentno ili pak peterovalentno. Kako zlato tako i njegovi spojevi imaju nisku toksičnost za ljudski organizam. Ljudsko tijelo slabo apsorbira zlato te je upravo iz toga razloga trovanje zlatom vrlo rijetka pojava. Zanimljivo je da je zlato bilo poznato još u prehistorijsko doba budući da se u prirodi pojavljuje kao samorodno. Zlato je nakon aluminijska, bakra i srebra, metal s najboljom električnom provodnošću [13].





Slika 7. Zlato [14].

#### 4.4. Aluminij

Aluminij (Slika 8) element je 13. skupine periodnog sustava elemenata čiji je kemijski simbol Al. Atomski broj aluminija iznosi 13, a relativna atomska masa 26,98. Jedan je od glavnih predstavnika električnih vodiča. Radi se o lakom metalu koji dobro provodi toplinu. Nalazimo ga u Zemljinoj kori. Gustoća mu je  $2,70 \text{ g/cm}^3$ , tali se pri temperaturi od  $660,32 \text{ }^\circ\text{C}$ , a vrije pri temperaturi od  $2\ 519 \text{ }^\circ\text{C}$ . Postojan je i na zraku i u vodi zbog stabilnog površinskog oksidnog sloja. Reagira i s kiselinama i s lužinama pri čemu dolazi do razvijanja vodika. Reakcijom s kiselinama nastaje trovalentni aluminijev kation, dok u reakciji s lužinama nastaje aluminijev anion. Za samu vodljivost je važno da je aluminij što čišći, budući da je takav otporniji prema kemijskim utjecajima. No čisti aluminij je vrlo mekan stoga su češće u upotrebi razne slitine aluminija. Najčešće su u upotrebi slitine aluminija s bakrom, manganom, silicijem, cinkom ili pak magnezijem. Najpoznatiji aluminijev spoj je aluminijev oksid koji se odlikuje tvrdoćom te teškom taljivošću. Iako je aluminijev oksid bezbojan u prirodi se pronalazi kao obojen budući da se uz njega nalaze i drugi metali. Aluminijev oksid topljiv je kako u lužinama tako i u kiselinama pri čemu nastaju karakteristični spojevi vrlo široke primjene [15].



Slika 8. Aluminij [16].

## 5. Poluvodiči

Poluvodiče možemo definirati kao tvari koje se pri određenim uvjetima mogu ponašati ili kao vodiči ili kao izolatori. Ponašanje same tvari ovisi primjerice o temperaturi. Neke čvrste tvari poput kristaliziranog silicija ili germanija imaju malu električnu vodljivosti pri niskim temperaturama prilikom čega se navedene tvari ponašaju kao izolatori. Objašnjenje male vodljivosti pri niskim temperaturama pronalazimo u činjenici da elektroni pri niskim temperaturama imaju malu toplinsku energiju te je ista nedostatna za prijelaz elektrona iz potpuno popunjene valentne vrpce u vodljivu vrpcu odnosno niska toplinska energija elektrona onemogućava prelazak zabranjene zone. Porastom temperature dolazi do porasta električne vodljivosti te se tada iste tvari ponašaju poput vodiča. Poluvodiči imaju praznu vodljivu vrpcu poput izolatora. No ista je od potpuno popunjene valentne vrpce odijeljena užom zabranjenom zonom. Objašnjenje povećanja električne vodljivosti prilikom povećanja temperature nalazimo u činjenici da povećanjem temperature dolazi do povećanja toplinske energije elektrona te je ona sada dostatna da elektroni prijeđu iz popunjene valentne vrpce u vodljivu vrpcu, odnosno energija elektrona je dostatna za prijelaz zabranjene zone. Prilikom prelaska elektrona iz valentne vrpce u vodljivu dolazi do pražnjenja energetske nivoa u valentnoj vrpci. Ispražnjene nivoe popunit će elektroni iz nižih popunjenih nivoa valentne vrpce. Navedeni proces utječe na

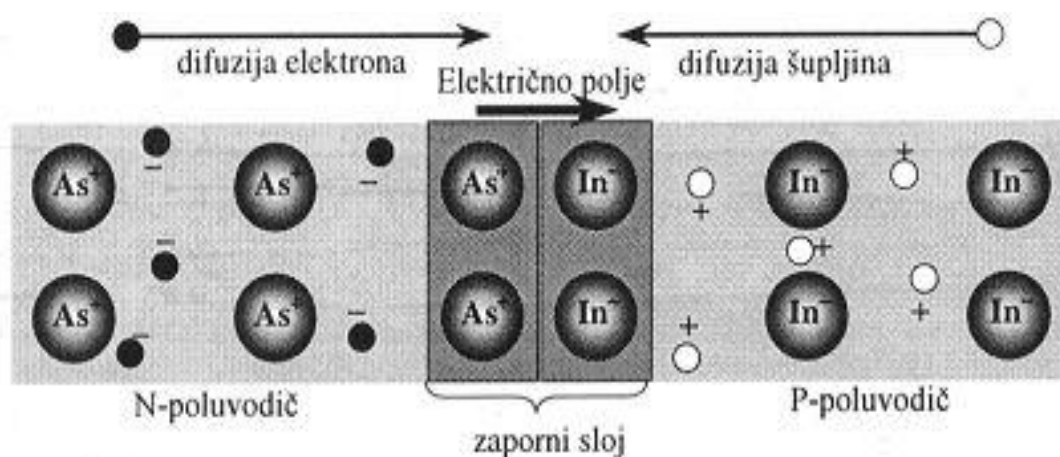
povećanje električne vodljivosti. Također je važno napomenuti da tijekom procesa pražnjenja valentnih vrpca dovodi do stvaranja šupljina. U tom slučaju govorimo o putovanju pozitivnih šupljina. Sam smjer gibanja šupljina je suprotan od smjera gibanja elektrona. No ne mora samo toplinska energija elektrona biti odgovorna za prijelaz elektrona iz valentne u vodljivu vrpcu odnosno za prijelaz zabranjene zone. Prijelaz je moguće postići i pomoću fotona. U tom slučaju se električna vodljivost naziva fotovodljivost [3].

Razlikujemo dvije vrste poluvodiča. Jedna vrsta su unutarnji poluvodiči, dok su druga vrsta vanjski poluvodiči. Unutarnji poluvodiči se sastoje od iste vrste atoma primjerice od atoma germanija ili pak silicija. Vanjski poluvodiči osim elektrona germanija ili silicija posjeduju i „nečistoće“ (dopante) odnosno određenu količinu stranih atoma s kojima su zamijenjeni atomi germanija ili silicija u kristalnoj rešetki prilikom čega ne dolazi do promjena same kristalne rešetke. Kao dopanti se obično koriste atomi poput fosfora, arsena, antimona, bora, aluminijski ili galij. Već male koncentracije dopanata uzrokuju znatan porast električne vodljivosti poluvodiča. S obzirom na mehanizam smanjenja zabranjene zone te omogućavanja lakšeg prijelaza elektrona preko zabranjene zone razlikujemo dva tipa poluvodiča, a to su poluvodiči n-tipa te poluvodiči p-tipa (Slika 9).

„Nečistoće“ (dopanti) koje mijenjaju električnu vodljivost elektrona su elementi s valencijom za jedan većom ili manjom od atoma od kojih se sastoji poluvodič. Za silicij budući da je četverovalentan takve „nečistoće“ odnosno strani atomi su elementi koji su peterovalentni ili trovalentni.

Ukoliko se u strukturu unutarnjeg poluvodiča ugrade peterovalentni elementi primjerice fosfor ili arsen dolazi do kovalentnog povezivanja njihova četiri valentna elektrona sa četiri susjedna silicijeva atoma. Peti valentni elektron je slabo povezan te se pri sobnoj temperaturi oslobađa i ulazi u vodljivi dio. Budući da se u ovom slučaju radi o davanju elektrona ovakvi peterovalentni elementi se nazivaju donori. Poluvodiči u kojima su ugrađeni elementi koji doniraju elektrone imaju puno elektrona (njihova koncentracija odgovara koncentraciji donora), a vrlo malo pozitivnih šupljina. Ova vrsta poluvodiča u kojima su većinski nositelji naboja elektroni nazivaju se poluvodiči n – tipa.

Ukoliko se u strukturu unutarnjeg poluvodiča ugrade trovalentni elementi primjerice bor dolazi do kovalentnog povezivanja njihova tri valentna elektrona sa četiri susjedna silicijeva atoma, dok veza sa četvrtim silicijevim atomom ostaje nepromijenjena. Nju popunjava elektron susjednog atoma što uzrokuje nastanak pozitivnih šupljina. Budući da se u ovom slučaju radi o prihvaćanju elektrona, ovakvi trovalentni atomi se nazivaju akseptori. Poluvodiči u kojima su ugrađeni elementi koji prihvaćaju (akceptiraju) elektrone imaju malo elektrona (njihova koncentracija odgovara koncentraciji akseptora), a imaju puno pozitivnih šupljina. Ova vrsta poluvodiča u kojima su većinski nositelji naboja pozitivne šupljine nazivaju se poluvodiči p – tipa [17].



Slika 9. Prikaz poluvodiča n – tipa i p – tipa [18].

## 5.1. Silicij

Silicij (Slika 10) je kemijski element 14. skupine periodnog sustava elemenata, kemijskog simbola Si, odnosno pripadnik ugljikove skupine elemenata. Atomski broj mu iznosi 14, a relativna atomska masa 28,086. U prirodi se mogu pronaći tri stabilna izotopa. Uz prirodne za silicij su specifični i umjetni radioaktivni izotopi. Element se javlja u dvije alotropske modifikacije: amorfnoj (karakteristične smeđe boje) te kristalnoj (karakteristične sive boje). Nije ga moguće pronaći kao samorodni element već je sastojak mnogobrojnih stijena, minerala te pijeska. Kemijski je prilično inertan. Ne reagira s kiselinama, dok s lužinama reagira izuzetno sporo pri čemu dolazi do nastanka vodika. Pri

sobnoj temperaturi postojan je na zraku dok se zagrijavanjem prevlači slojem oksida koji spriječava daljnju oksidaciju. Silicij s vodikom može tvoriti niz hidrata koji su otporni na djelovanje vode [19].



Slika 10. Silicij [20].

## 5.2. Germanij

Germanij (Slika 11) je kemijski element, koji također pripada u 14. skupinu periodnog sustava elemenata, kemijskog simbola Ge. Atomski broj germanija iznosi 32, a relativna atomska masa iznosi 72,59. Ovaj element je vrlo lomljiv, karakteristične sivo bijele boje i sjajan. Radi se o neotrovnom polumetalu gustoće  $5,32 \text{ g/cm}^3$  čija je temperatura tališta oko  $938 \text{ }^\circ\text{C}$ , dok temperatura pri kojoj ovaj element vrije iznosi  $2\ 833 \text{ }^\circ\text{C}$ . U prirodi se rijetko pronalazi, a najviše je prisutan u sulfidnim rudama. Germanij je sporedni proizvod pri proizvodnji cinka iz sfalerita. Zanimljivo je da je to prvi poluvodič pomoću kojega je 1947. godine u SAD-u otkrivena primjena poluvodiča u elektronici [21].



Slika 11. Germanij [22].

## 6. Izolatori

Izolatore definiramo kao čvrste tvari koje ne vode električnu struju. Slaba električna vodljivosti posljedica je izuzetno velike zabranjene zone odnosno nemogućnosti prelaska elektrona iz valentne vrpce u vodljivu vrpcu. Dakle, u izolatorima ne dolazi do toka elektrona pod utjecajem električnog polja. No ipak pod utjecajem izuzetno jakog električnog polja dolazi do međusobnog pomaka atomskih jezgara i elektrona odnosno induciraju se dipoli (proces polarizacije) [3].

### 6.1. Dijamant

Kao jedan od najvažnijih predstavnika skupine izolatora ističe se dijamant (Slika 12). Dijamant je mineral karakteristične kubične simetrije. Radi se o kristaliziranoj modifikaciji kemijskog elementa ugljika. Svaki prisutni ugljik je tetraedarski okružen sa četiri ugljikova atoma. Karakteristična svojstva dijamanta su njegova tvrdoća te jaka refleksija. Većinom je bezbojan, no ukoliko su prisutne primjese, njegova boja može varirati. Nastaje kristalizacijom magme u uvjetima visokog tlaka i temperature pri velikim dubinama. Dijamanti se mjere u karatima. Vrijednost će im rasti što je veća prozirnost i veličina. Zanimljivo je da se od 1955. godine dijamanti proizvode i umjetnim putem iz grafita pri čemu se upotrebljavaju visoki tlakovi i temperatura. Čak 70 posto ukupne proizvodnje dijamanta pronalazi svoju primjenu u industriji [23].



Slika 12. Dijamant [24].

## 7. Primjena u svakodnevnom životu

Do sada smo se upoznali sa supravodičima, vodičima, poluvodičima te izolatorima, načinom na koji provode odnosno ne provode električnu struju te glavnim predstavnicima svake skupine materijala. No gdje mi te materijale pronalazimo u svakodnevnom životu?

Vodiči čiji su glavni predstavnici aluminij, srebro te zlato imaju široku primjenu. Primjerice aluminij se koristi u građevinarstvu, metalurgiji i strojogradnji. Obično se u tim djelatnostima aluminij koristi pomiješan sa drugim metalima. Radi se o višekomponentnim legurama u kojima su drugi metali prisutni u malim postotcima, a tvore čvrstu otopinu s aluminijem ili pak mogu biti „ugrađeni“ u aluminij kao sitne čestice.

Razlikujemo dvije vrste legura aluminijske: ljevnice i kovne. Ljevnice legure u kojima uz aluminij pronalazimo bakar, magnezij ili silicij pokazuju vrlo dobra mehanička svojstva i lagane su, pa se koriste kod izgradnje strojnih dijelova zrakoplova i svemirskih letjelica. Što se tiče kovnih legura u kojima uz aluminij pronalazimo bakar, magnezij ili mangan, one se zbog svoje čvrstoće koriste prilikom prešanja ili izvlačenja.

Elementarni aluminij nema tako široku primjenu budući da je mekan. Ipak ga možemo naći u vanjskim slojevima teleskopskih zrcala i drugih reflektirajućim ploha

budući da elementarni aluminij tvori gotovo idealno zrcalo. Velike količine aluminija pronaći ćemo i prilikom izrade industrijske ambalaže. Takvu ambalažu pronalazimo u našem kućanstvu. Radi se o folijama, zatvaračima, spremnicima hrane, kuhinjskom priboru i sl. U građevinarstvu se koristi za oblaganje zidova i fasada zgrada, za izradu potkrovlja, prozora i vrata. U elektrotehnici se koristi za izradu telefonskih i dalekovodnih vodova, kao zaštita za kablove te prilikom izrade električnih žarulja.

Srebro se koristi prilikom izrade akumulatora i primarnih izvora struje. Isto tako koristi se u medicini za pripremu lijekova i u kirurgiji. Ukoliko je prerađeno, može biti korišteno za dezinfekciju i sterilizaciju vode za piće ili pak za izradu posuđa. Također se koristi za posrebljivanje manje plemenitih metala ili pak za izradu nakita i kovanog novca. Može se upotrebljavati i za lemljenje ugljičnih i legiranih čelika, bara, nikla te titanija, a široku primjenu je našao i u elektronici. U elektrotehnici se koristi za oblaganje raznih površina korištenih za strujne krugove. Može nam poslužiti i za izradu baterija, no zbog visoke cijene i kratkog vijeka trajanja nije pronašao širu primjenu prilikom izrade istih. Spojevi srebra su gotovo pa nezamjenjivi prilikom izrade fotografskog materijala.

Pri spomenu riječi zlato, većina odmah pomisli na nakit ili razne ukrase. Iako je upravo kod takvih proizvoda i najveća primjena zlata, ono nam ne služi samo za te svrhe. Zlato se može upotrebljavati i za bojenje stakla i porculana, važan je sastojak industrijskih lemila te legura. U elektrotehnici se koristi prilikom izrade električnih vodova ili kod izrade električnih uređaja. Iz navedenog možemo zaključiti da je primjena vodiča uistinu široka. S nekim oblicima se susrećemo i svaki dan, dok nekima ipak nismo svakodnevno izloženi [25].

Kakav je slučaj s poluvodičima? Iako možda nismo ni svjesni, bez razvitka poluvodiča sigurno ne bismo imali toliki napredak informacijske tehnologije. Budući da se u današnje vrijeme nastoji sve minimalizirati silicij se pokazao kao vrlo dobar materijal za izradu čipova malih dimenzija. Dok germanij koristimo za izradu optičkih elemenata leća ili pak zaslona, on svoju primjenu pronalazi i pri izradi svjetlosnih kablova. Isto tako već male količine germanija mogu bitno poboljšati svojstva drugih metala. Tako primjerice dodatkom vrlo male količine germanija dolazi do udvostručenja tvrdoće kositra. Također se velika pažnja pridaje i primjeni germanija kod izrade termodinamičkih generatora [21].

Što znamo o primjeni izolatora? Izolatori se koriste kao višenaponski izolatori za vodovode te za presvlačenje električnih vodiča. Također se koriste kao materijali za



kućišta električnih uređaja i alata, za izolaciju rastavljača u rasklopnim uređajima jake struje i kao izolirajuća folija za izradu kondenzatora. Za što se konkretno upotrebljava glavni predstavnik izolatora dijamant? Iako je prva asocijacija na dijamant nakit, isti se koristi i u industrijske svrhe. Primjenjuje se prilikom izrade „glave“ za bušilice i kod izrade raznih vrsta sjekača. Pronašao je također primjenu i u rudarstvu, u automobilskoj izradi alata, u preciznoj mehanici, naftnoj industriji te za izradu svemirske tehnologije [23].

## 8. Zaključak

U ovom radu opisani su: teorija molekularnih orbitala, atomskih orbitala te definicije električne provodnosti, kako bi se lakše definirali supravodiči (tvari koje pri niskim temperaturama gotovo ne pružaju nikakav otpor prolasku električne struje), vodiči (tvari koje provode električnu struju uz pružanje neznatnog otpora), poluvodiči (tvari koje ovisno o uvjetima mogu, ali ne moraju provoditi struju) te izolatori (tvari koje pokazuju izuzetan otpor prolasku električne struje te nemaju mogućnost provođenja električne struje). Također je opisana izuzetno široka primjena navedenih grupa materijala. Isti se upotrebljavaju u građevini, prilikom izrade svemirskih letjelica, te čak i kod izrade nakita ili pak posuđa. Također, sve je veća primjena ovih materijala za izradu dijelova informacijskih uređaja odnosno za izradu minimaliziranih dijelova u elektroničkim uređajima. Zbog svega navedenog možemo očekivati sve širu i širu upotrebu ovih materijala te sve veća ulaganja u istraživanja ovih materijala kroz godine koje dolaze.

## 9. Literatura

1. [https://prezi.com/hlp7frq\\_njax/vodicipoluvodici-i-izolatori/](https://prezi.com/hlp7frq_njax/vodicipoluvodici-i-izolatori/) (21.3.2018)
2. [https://hr.wikipedia.org/wiki/Metalna\\_veza](https://hr.wikipedia.org/wiki/Metalna_veza) (10.4.2018.)
3. I. Filipović, S. Lipanović, Opća i anorganska kemija, Školska knjiga, Zagreb, 1973.
4. <https://www.instrukcije-poduka.com/instrukcije-iz-kemije-metalna-veza.html> (10.4.2018.)
5. <http://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=69718> (22.3.2018)
6. <http://www.ho-cired.hr/3savjetovanje/SO1-03.pdf> (10.4.2018.)
7. <http://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=58849> (5.4.2018.)
8. [https://sh.wikipedia.org/wiki/Elektri%C4%8Dni\\_vodi%C4%8D](https://sh.wikipedia.org/wiki/Elektri%C4%8Dni_vodi%C4%8D) (10.4.2018.)
9. <http://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=57588> (22.3.2018)
10. <http://gemhouse.pl/srebro-rodzime-samorodek-srebra-p-2246.html> (10.4.2018.)
11. <http://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?id=5344> (22.3.2018)
12. [https://hr.wikipedia.org/wiki/Bakar\\_\(element\)](https://hr.wikipedia.org/wiki/Bakar_(element)) (10.4.2018.)
13. [http://www.pse.pbf.hr/hrvatski/elementi/au/kemijski\\_podaci.html](http://www.pse.pbf.hr/hrvatski/elementi/au/kemijski_podaci.html) (24.3.2018.)
14. [https://www.emuskarac.com/razonoda/zlato\\_iz\\_kanalizacije](https://www.emuskarac.com/razonoda/zlato_iz_kanalizacije) (10.4.2018.)
15. <http://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=2044> (27.3.2018.)
16. <https://bs.wikipedia.org/wiki/Aluminij> (10.4.2018.)
17. <http://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=49299> (24.3.2018.)
18. [https://www.pmf.unizg.hr/download/repository/materijali\\_poluvodici.pdf](https://www.pmf.unizg.hr/download/repository/materijali_poluvodici.pdf) (10.4.2018.)
19. <http://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=55955> (10.4.2018.)
20. [https://www.google.hr/search?q=silicij&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=0ahUKEwje\\_tcntv\\_ncAhUqJpoKHbhmCj0Q\\_AUICigB&biw=1280&bih=666#imgrc=Slo1B22Ysq6ha\\_M](https://www.google.hr/search?q=silicij&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=0ahUKEwje_tcntv_ncAhUqJpoKHbhmCj0Q_AUICigB&biw=1280&bih=666#imgrc=Slo1B22Ysq6ha_M) (10.4.2018.)
21. <http://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=21795> (27.3.2018.)
22. <http://alternativa-za-vas.com/index.php/clanak/article/germanij> (10.4.2018.)
23. <http://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?id=15103> (28.3.2018.)
24. [https://www.google.hr/search?q=dijamant&dcr=0&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjev3lafibPaAhVCbFAKHfxBCrUQ\\_AUICigB&biw=1280&bih=686#imgrc=8Wuq02TY0V-uM](https://www.google.hr/search?q=dijamant&dcr=0&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjev3lafibPaAhVCbFAKHfxBCrUQ_AUICigB&biw=1280&bih=686#imgrc=8Wuq02TY0V-uM): (28.3.2018.)
25. [https://hr.wikipedia.org/wiki/Elektri%C4%8Dni\\_vodi%C4%8D](https://hr.wikipedia.org/wiki/Elektri%C4%8Dni_vodi%C4%8D) (28.3.2018.)