

# Plemeniti metali

---

Šošić, Stjepan

Undergraduate thesis / Završni rad

2024

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:235:152817>

*Rights / Prava:* [Attribution 4.0 International](#)/[Imenovanje 4.0 međunarodna](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-08**

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# ZAVRŠNI RAD

Stjepan Šošić

Zagreb, 2024.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# PLEMENITI METALI

Mentor:

Prof. dr. sc. Danko Čorić, dipl. ing.

Student:

Stjepan Šošić

Zagreb, 2024.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći znanja stečena tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem se mentoru, prof. dr. sc. Danku Ćoriću i asistentu Tomislavu Rodingeru za pruženu literaturu i pomoć pri izradi rada, te obitelji i prijateljima za pruženu potporu.

Stjepan Šošić



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite  
Povjerenstvo za završne i diplomske ispite studija strojarstva za smjerove:  
proizvodno inženjerstvo, računalno inženjerstvo, industrijsko inženjerstvo i menadžment, inženjerstvo  
materijala i mehatronika i robotika

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa: 602 – 04 / 24 – 06 / 1	
Ur.broj: 15 – 24 –	

## ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **Stjepan Šošić**

JMBAG: **0035234628**

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Plemeniti metali**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Noble metals**

Opis zadatka:

Plemeniti metali su rijetki, prirodni metalni kemijski elementi visoke ekonomske vrijednosti. Kemijski gledano, plemeniti metali manje su reaktivni od većine elemenata. Obično su duktilni i imaju visoki sjaj. Najpoznatiji plemeniti metali su zlato i srebro. Ostali plemeniti metali uključuju metale platinske skupine: rutenij, rodij, paladij, osmij, iridij i platinu.

U radu je potrebno detaljno opisati povijesni razvoj ovih metala, njihova karakteristična svojstva, ekonomsku vrijednost te navesti područja i primjere primjene.

U radu je potrebno navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:

30. 11. 2023.


Datum predaje rada:

1. rok: 22. i 23. 2. 2024.  
2. rok (izvanredni): 11. 7. 2024.  
3. rok: 19. i 20. 9. 2024.

Predviđeni datumi obrane:

1. rok: 26. 2. – 1. 3. 2024.  
2. rok (izvanredni): 15. 7. 2024.  
3. rok: 23. 9. – 27. 9. 2024.

Zadatak zadao:

  
Prof. dr. sc. Danko Čorić

Predsjednik Povjerenstva:

  
Prof. dr. sc. Damir Godec

## SADRŽAJ

SADRŽAJ .....	I
POPIS SLIKA .....	III
POPIS TABLICA.....	IV
POPIS KRATICA .....	V
SAŽETAK.....	VI
SUMMARY .....	VII
1. UVOD.....	1
2. RUTENIJ .....	2
2.1. Povijest.....	2
2.2. Svojstva.....	2
2.3. Primjena .....	3
3. RODIJ.....	5
3.1. Povijest.....	5
3.2. Svojstva.....	6
3.3. Primjena .....	6
4. PALADIJ .....	8
4.1. Povijest.....	8
4.2. Svojstva.....	9
4.3. Primjena .....	9
5. SREBRO.....	11
5.1. Povijest.....	11
5.2. Svojstva.....	12
5.3. Primjena .....	13
6. OSMIJ.....	15
6.1. Povijest.....	15
6.2. Svojstva.....	16
6.3. Primjena .....	16
7. IRIDIJ .....	18
7.1. Povijest.....	18
7.2. Svojstva.....	19
7.3. Primjena .....	20
8. PLATINA .....	22
8.1. Povijest.....	22
8.2. Svojstva.....	23
8.3. Primjena .....	24
9. ZLATO .....	26
9.1. Povijest.....	26
9.2. Svojstva.....	27

---

9.3. Primjena .....	28
10. OSTALA SVOJSTVA PLEMENITIH METALA .....	30
11. ZAKLJUČAK.....	32
LITERATURA.....	33

**POPIS SLIKA**

Slika 1 Prah rutenija [3] .....	3
Slika 2 Ogrlica od rutenija [22].....	4
Slika 3 Rodij [5] .....	5
Slika 4 Rodijski katalizator [23].....	7
Slika 5 Paladij [7].....	9
Slika 6 Prsten izrađen od paladija 950 [8].....	10
Slika 7 Čisti srebro dendritične građe [11].....	12
Slika 8 Primjena srebra u SAD-u 2013. godine [13].....	14
Slika 9 Kristal osmija, čistoće $\geq 99,99\%$ [15].....	16
Slika 10 Vrh nalivpera od osmijeve slitine [24].....	17
Slika 11 Komadi čistog iridija [17] .....	19
Slika 12 Svjećica od iridija [25] .....	21
Slika 13 Utjecaj hladnog oblikovanja na tvrdoću metala platinske skupine [26] .....	22
Slika 14 Dva iznimno čista kristala platine, veličine oko 1 cm[18].....	23
Slika 15 Međunarodni prototip kilograma [18].....	25
Slika 16 Grumen zlata iz Australije [20].....	26
Slika 17 Zlatna pogrebna maska egipatskog faraona Tutankamona [19] .....	27
Slika 18 Globalna primjena zlata u 2022. godini [21] .....	29



---

**POPIS TABLICA**

Tablica 1 Odabrana svojstva plemenitih metala, I. dio [2] ..... 30  
Tablica 2 Odabrana svojstva plemenitih metala, II. dio [2] ..... 31

---

## POPIS KRATICA

<b>Kratika</b>	<b>Opis</b>
FCC	Plošno centrirana kubična kristalna rešetka (engl. <i>Face Centered Cubic</i> )
HCP	Gusto slagana heksagonska kristalna rešetka (engl. <i>Hexagonal Close Packed</i> )

**SAŽETAK**

U ovom radu je detaljno opisan povijesni razvoj rutenija, rodija, paladija, srebra, osmija, iridija, platine i zlata. Opisana su njihova karakteristična svojstva, ekonomska vrijednost i područja primjene. Tih osam metala je, zbog svojih karakterističnih svojstava, svrstano u posebnu skupinu pod nazivom plemeniti metali. Uvodno se navode neke općenite karakteristike koje vrijede za sve elemente ove skupine, a dalje se svaki element zasebno razmatra. Opisana je povijest svakog elementa i njegovo otkriće, te jedinstvena svojstva poput otpornosti na koroziju, toplinske i električne vodljivosti i slično. Ta svojstva dopuštaju plemenitim metalima da se koriste za različite primjene u brojnim i raznolikim industrijama (tekstilna, elektronska, industrija nakita...). U radu je posebno naznačeno u kojoj mjeri su plemeniti metali postali dio svakodnevnog ljudskog života i koliko raširenu, te bitnu svrhu imaju od primjene u katalitičkim pretvornicima za smanjenje onečišćenja okoliša do upotrebe kod lijekova za liječenja tumora. Zaključno je dan osvrt na važnost plemenitih metala i ogromnu ulogu koju su imali na ljudsku civilizaciju i njezin razvoj.

Ključne riječi: plemeniti metali, povijesni razvoj, svojstva, ekonomska vrijednost, primjena

---

**SUMMARY**

This paper describes in detail the historical development of ruthenium, rhodium, palladium, silver, osmium, iridium, platinum and gold . Their characteristic properties, economic value and areas of application are also described. Due to their characteristic properties, these eight metals are classified in a special group called precious metals. In the beginning, some general characteristics that apply to all elements of this group are stated, and then each element is observed separately. The history of the creation of each element and its discovery are described as well as its unique properties, such as resistance to corrosion, thermal and electrical conductivity, and the like. These properties allow noble metals to be used for a variety of applications in many and varied industries (textile, electronic, jewelry industry...). The paper specifically indicates the extent to which precious metals have become a part of everyday human life and how widespread and important their purpose is, from being used in catalytic converters to reduce environmental pollution to being used in drugs for the treatment of tumors. In the end, a review is given of the importance of noble metals and the huge role they played in human civilization and its development.

Key words: noble metals, historical development, properties, economic value, application

## **1. UVOD**

Plemeniti metali su metali visokootporni na oksidaciju i koroziju pri izlaganju visokim temperaturama ili vlazi i netopivi su u mineralnim kiselinama [1]. Ovi metali imaju specifična svojstva i rijetki su u prirodi, te su neizostavan dio današnjeg svijeta. Poznato je osam plemenitih metala a to su (poredani po svojim atomskim brojevima): rutenij, rodij, paladij, srebro, osmij, iridij, platina i zlato. Ti metali su manje kemijski reaktivni od većine elemenata, imaju visok sjaj, kovkiji su i mekši, te imaju više talište od drugih tradicionalnih metala. Njihova korist i važnost u industriji nakita, novca i kao katalizatora je već dobro poznata ali plemeniti metali i njihove legure imaju važnu ulogu i u mnogim drugim, manje očitim područjima. Koriste se u dentalnoj medicini pri restauraciji zubi i zubnim ispunama te u elektroničkoj industriji za formiranje elektroničkih krugova. Imaju ulogu i u tekstilnoj industriji jer se plemeniti metali koriste u predilicama koje proizvode sintetička vlakna. Svoju svrhu nalaze čak i u medicini jer određeni lijekovi za tretiranje tumora u sebi moraju sadržavati platinu [2]. Povijest plemenitih metala je također fascinantna jer dok su neki metali poput zlata i srebra odavnina bili poznati i koristili se kao simboli moći i bogatstva, drugi plemeniti metali, poput onih iz platinske skupine, su relativno nedavno izdvojeni iz ruda i kemijskih spojeva, te se svakodnevno razvijaju nove ideje i proizvodi koji zahtijevaju kombinaciju njihovih specifičnih svojstava.

U ovome radu će se obraditi povijest i razvoj svakog od plemenitih metala, njihova svojstva, ekonomska vrijednost, te navesti područja i primjeri primjene.

## 2. RUTENIJ

Rutenij pripada skupini platinskih metala (zajednički naziv za rutenij, rodij, paladij, osmij, iridij i platinu). Atomski broj mu je 44, a atomska masa 101,07. Otkrio ga je ruski kemičar Karl Karlovich Klaus 1884. godine i dao mu ime po latinskom nazivu za Rusiju (lat. Ruthenia) [3].

### 2.1. Povijest

Premda se otkriće rutenija općenito se pripisuje Karlu Ernstu Klausu, još 20-tih godina XIX stoljeća Jöns Berzelius i Gottfried Osann naišli su na njegov nečisti oblik. Godine 1827. ispitivali su ostatke preostale nakon otapanja platinske rude iz ruskih Urala u smjesi dušične i klorovodične kiseline poznatoj kao zlatotopki (jako oksidacijsko otapalo u kojem se otapaju zlato, platina i paladij) pri čemu se Osannu učinilo da je naišao na tri nova metala. Jednog od njih je nazvao rutenij. Godine 1844. Klaus je dokazao da je Ossanov rutenijev oksid vrlo nečist i da je novi metal zapravo sadržan u oksidu. Iz platinske rude Klaus je izdvojio 6 grama rutenija [3].

### 2.2. Svojstva

Rutenij je izrazito čvrst materijal i ima vrlo visok modul elastičnosti od 414 GPa. Rutenij ima iznimno visoku kemijsku otpornost i zajedno s osmijem je najplemenitiji metal platinske skupine. On ne tamni na zraku pri uobičajenim temperaturama i otporan je na jake kiseline poput zlatotopke [3].

U slučaju rutenija, toplo oblikovanje se ostvaruje pri temperaturama od 1150 do 1500 °C, iako se valjanje u šipke može provoditi već na temperaturama u rasponu od 1050 do 1250 °C kako bi se minimizirao rast zrna i lom rubova zbog velike veličine kristala. Zbog brzog otvrdnjavanja, ovakav postupak oblikovanja zahtijeva česta međužarenja [4].

Obrađeni oblici rutenija su ograničeni, a oni dostupni općenito se proizvode tehnologijom metalurgije praha, odnosno praškaste metalurgije. Rutenij u prahu (slika 1) se dobiva procesom rafiniranja [4].



**Slika 1 Prah rutenija [3]**

Rutenij ima gusto slaganu heksagonsku (HCP) kristalnu rešetku i njegova tvrdoća uvelike ovisi o orijentaciji kristalne rešetke. Tvrdoća šipke toplo oblikovane pri 1150 °C i naknadno žarene pri ovoj temperaturi iznosi između 400 i 450 HV na uzdužnom presjeku te 250 do 300 HV na poprečnom presjeku [4].

Već je spomenuto da rutenij ne tamni pri izloženosti zraku na uobičajenim temperaturama, no kada ga se zagrije u prisustvu kisika ili na zraku na temperaturu blizu 800 °C, on oksidira i stvara površinski film rutenijevog dioksida koji se koristi kao katalizator u različitim procesima. Između ove temperature i 1150 °C dolazi do istovremenog stvaranja hlapljivog oksida, odnosno rutenijevog monoksida i rutenijevog dioksida. Pri višim temperaturama formira se samo rutenijev monoksid [4].

### **2.3. Primjena**

Zbog svoje visoke temperature tališta koja iznosi 2250 °C nije ga lako lijevati, pa je njegova primjena ograničena na legiranje platine i metala platinske skupine. Rutenij je iznimno krhak, što ga čini nepogodnim za valjanje i vučenje u žice, no njegova je prednost što očvršćuje platinu, dok u kombinaciji s rodijem očvršćuje paladij.

Legure platine i paladija koje su očvrsnute rutenijem su superiornije od čistih metala kod izrade finog nakita i električnih kontakata koji moraju biti otporni na trošenje [3].

Rutenij i njegove legure imaju i praktičnu primjenu u svakodnevnom svijetu gdje se koriste za izradu vrhova nalivpera, koriste se kao električni kontakti, te u primjenama gdje je potrebno osigurati visoku otpornost na trošenje i kemijsku otpornost [4]. Slika 2 prikazuje ogrlicu od rutenija.



**Slika 2 Ogrlica od rutenija [22]**



### 3. RODIJ

Rodij je tvrdi bijeli metal visoke refleksije. Poprilično je duktilan kada je vruć i on je najbjeliji metal platinske skupine metala, te ostaje iste svijetle boje pri svim atmosferskim uvjetima na uobičajenim temperaturama. Otporan je na vruću zlatotopku (kao i rutenij), a visoka otpornost na oksidaciju i visoka točka tališta omogućuju da se rodij primjenjuje pri visokim temperaturama. Atomski broj rodija je 45, a atomska masa 102,905 [2].

#### 3.1. Povijest

Otkrio ga je engleski kemičar William Hyde Wollaston 1803. godine iz uzorka rude platine. Wollastona je, na mogućnost postojanja novog elementa u rudi platine, prvi upozorio francuski kemičar Hippolyte-Victor Collet-Descotils koji je vjerovao da je crvena boja nekih spojeva platine posljedica prisutnosti neidentificiranog metala. Nakon niza kemijskih reakcija, Wollaston je uspio ukloniti platinu i paladij iz uzorka platinske rude. Ostao mu je tamnocrveni prah za koji se pokazalo da je natrij-rodij klorid. To je povezano s podrijetlom njegova imena koje dolazi od grčke riječi *rhodion* što znači ruža, zbog crvenkaste boje spojeva koje formira [5]. Slika 3 prikazuje čvrsti uzorak rodija (srebrnasto-bijele metalne boje) oblikovanog u kocku.



Slika 3 Rodij [5]

Rodij u prahu se može dobiti praškastom metalurgijom ili taljenjem, a kompaktirani dijelovi izrađeni od praha rodija se naknadno sinteriraju na zraku, u inertnoj atmosferi, vodiku ili

vakuumu na oko 1200 °C. Rodij može biti i u obliku malih ingota dobivenih taljenjem elektronskim snopom ili elektrolučno pod zaštitom argona. [4].

### 3.2. Svojstva

Svojstva koja karakteriziraju rodij su [4]:

- Visoka zrcalna refleksija,
- Najveća električna vodljivost od svih metala platinske skupine,
- Najveća toplinska vodljivost od svih metala platinske skupine,
- Visoka temperatura tališta koja iznosi 1963 °C,
- Gustoća od 12,41 g/cm<sup>3</sup>, što je otprilike 58% gustoće platine,
- Vrijednost tvrdoće u žarenom stanju 130 HV, dakle ima veću tvrdoću nego platina ili paladij.

Neka od općih svojstava koja dijeli sa ostalim elementima platinske skupine metala su da je odličan katalizator, otporan na koroziju, trošenje, oksidaciju i utjecaj kemikalija. Rodij se pojavljuje u Zemljinoj kori u količini od oko 0,000037 ppm što ga čini najrjeđim plemenitim metalom, a time i najskupljim. Dakle, rodij je višestruko rjeđi i skuplji od elemenata kao što su zlato i srebro [5].

### 3.3. Primjena

Rodij se uglavnom koristi kao legirajući element u kombinaciji s platinom i paladijem. Legure platine koje sadrže rodij koriste se uglavnom za talionike, električne zavojnice za peći, cijevi za proizvodnju staklenih vlakana, termoelemente, kao obloge mlaznica za ekstruziju stakla i mlaznica za predilice, kao katalizatori za stvaranje dušične kiseline (HNO<sub>3</sub>) iz amonijaka itd.. Rodij se također galvanizira za brojne dekorativne i nepotamnjujuće namjene, uključujući nakit i reflektirajuća ogledala. Rodij se može vakuumski taložiti na staklo kako bi se proizvela zrcalna površina visoke reflektivnosti i kemijske stabilnosti. Tanki slojevi rodija na staklu čine izvrstan sivi filter [4].

Glavna upotreba rodija je u katalizatorima (slika 4) za smanjenje emisije štetnih plinova u vozilima s unutarnjim izgaranjem. Rodij koji može biti u kombinaciji s paladijem i platinom smanjuje količinu dušikovog oksida u ispušnim plinovima. Bez rodijskih katalizatora zrak u gradovima bi bio puno zagađeniji zbog štetnih plinova iz vozila. Legura rodija i platine se

koristi za plinske turbinske zrakoplovnih motora i u elektrostimulatorima srca [5]. Glavni nedostatak rodija je njegova vrlo visoka cijena (jedan od najskupljih metala na svijetu) kao rezultat ograničene i male dostupnosti [5].



**Slika 4 Rodijski katalizator [23]**

## 4. PALADIJ

Paladij je bijel, vrlo duktilan metal sa svojstvima sličnim u mnogim aspektima onima platine. Paladij ima atomski broj 46 i atomsku masu od 106,4 te plošno centriranu kubičnu (FCC) kristalnu rešetku [2].

### 4.1. Povijest

Otkrio ga je 1802. godine već spomenuti kemičar William Hyde Wollaston koji je također otkrio i rodij. Wollaston je otkrio paladij otapanjem sirove rude platine u mješavini dušične i klorovodične kiseline, te je primijetio da je još jedan element ostao neotopljen. Taj element je imao neke sličnosti s platinom ali je također pokazivao i jasne razlike. Određenim postupcima uspio je izolirati paladij i provesti brojne eksperimente kako bi karakterizirao njegova svojstva. Godine 1805. opisao je paladij Kraljevskom društvu u Londonu prezentirajući se kao njegov otkrivač. Paladij je dobio ime po asteroidu *2 Pallasu*, trećem po veličini u asteroidnom pojasu, koji je otkriven dva mjeseca ranije. Sam asteroid je dobio ime po epitetu *Pallas* za starogrčku božicu Atenu povezanu s mudrošću, ratovanjem i rukotvorinama [6].

Paladij (slika 5) je otporan na tamnjenje u uobičajenoj atmosferi, ali neznatno potamni nakon vanjskog izlaganja okolišu koji je onečišćen sumporom. Kada se paladij zagrijava na zraku na 400 do 800 °C, formira se tanki oksidni sloj koji se na višim temperaturama razgrađuje ostavljajući metal sjajnog izgleda [2]. Kao i drugi metali s FCC kristalnom rešetkom, paladij je duktilan i može ga se lako toplo ili hladno oblikovati. Paladij može izdržati velike stupnjeve deformacije kod oblikovanja tako da se poput zlata može se preraditi u tanke folije (listove). Mnogi kovani i obrađeni oblici paladija i njegovih legura su lako dostupni, uključujući limove, trake, šipke, žice i ekstrudirane dijelove. Paladij i neke njegove legure se lako mogu galvanizirati [4]. Wollastonovo otkriće Paladija doprinijelo je rastućem razumijevanju metala platinske skupine. Tijekom vremena, paladijeva jedinstvena svojstva, a posebno njegove katalitičke sposobnosti, omogućila su korištenje paladija u širokom rasponu industrijskih primjena, učvršćujući njegovu važnost u raznim područjima.



Slika 5 Paladij [7]

## 4.2. Svojstva

Paladij posjeduje sljedeća svojstva i karakteristike [2]:

- Gustoću od  $12,02 \text{ g/cm}^3$ , što je otprilike 56% gustoće platine i 63% gustoće zlata. Može se koristiti umjesto jeftinijih legura zlata, bez žrtvovanja dobre otpornosti na koroziju koje zlato pruža,
- Visoka temperatura tališta od  $1554 \text{ }^\circ\text{C}$ ,
- Odlična duktilnost,
- Izvanredna mogućnost stvaranja čvrstih otopina s drugim metalima,
- Može se galvanizirati, elektro-formirati i taložiti neelektričnim metodama,
- Učinkovit izbjeljivač zlata,
- Dobar katalizator,
- Otporan na koroziju.

Najnevjerovatnija sposobnost paladija je da može apsorbirati do 900 puta više vodika od svog volumena. Zbog ovog svojstva paladij se koristi za pohranjivanje i filtraciju vodika [6].

## 4.3. Primjena

Čisti kovani ili galvanizirani paladij se koristi za električne kontakte i velike količine se trenutno koriste u relejima. Paladij ne mijenja niti mrlja boju porculana, pa se legure bogate paladijem

koriste kao potpora u porculanskim prevlakama za zube. U području nakita, paladij otvrdnut s nekoliko postotaka rutenija ili rodija pruža svijetlu, bijelu boju koja je postojana i time pogodna za kućišta satova, prstene, broševe i kutije za drago kamenje [4]. Na slici 6 se može vidjeti boja i sjaj prstena izrađenog od paladija.



**Slika 6 Prsten izrađen od paladija 950 [8]**

Legure paladija vrlo su prikladne za konstrukciju žičanih otpornika zbog svoje duktilnosti, korozijske postojanosti i raspona električnih otpornosti. Paladijeve legure za lemljenje pokazale su se korisnim u postupcima spajanja različitih metala ili metala i keramike. Također se koriste za izradu iznimno tankih limova i za sklopove koji moraju izdržati ekstremne radne temperature. Time dobivaju važno mjesto u razvoju plinskih turbina mlaznih motora, raketnoj tehnici, nuklearnim i elektroničkim primjenama [4]. Ipak, od 1989. glavna upotreba paladija, kao i rodija, je u katalizatorima za smanjenje količine štetnih ispušnih plinova. Paladij veže čestice štetnih plinova i neutralizira ih [6].

Što se tiče ekonomke strane, paladij je rjeđi od zlata i srebra pa se to odražava i na njegovoj cijeni. 2022. godine cijena paladija je dosegla 111,3 eura po gramu, što je razina koju zlato još nije dostiglo. Od tada je cijena paladija nešto pala na vrijednost od 32,73 eura po gramu, što je dvostruko manje od trenutne vrijednosti zlata. Dakle cijena paladija je u posljednjih nekoliko godina imala ogromne poraste, ali i padove [9].

## 5. SREBRO

Srebro je jedan od metala koji se najlakše prerađuju. Njegov atomski broj je 47, atomska masa 107,8682, a pri sobnoj temperaturi se nalazi u čvrstom stanju. Vrlo je mekano i duktilno u žarenom stanju. Srebro je dostupno u velikoj raznolikosti oblika poluproizvoda poput ploča, traka, folija, šipki, žica i ekstrudata [4]. Kemijski simbol srebra u periodnom sustavu je Ag, koji naizgled nema veze s imenom elementa, ali kratica dolazi iz latinskog naziva za srebro, *argentum* [10].

### 5.1. Povijest

Srebro ima dugačku povijest. Prvi tragovi iskapanja srebra datiraju još iz 3000 godine prije Krista na području današnje Turske i Grčke. Zagrijana srebrna ruda se propuhivala zrakom u procesu poznatom kao kupelacija kako bi se oksidacijom izdvojili olovo i bakar te ostalo čisto srebro. Srebro je jedan od elemenata koji nastaje u eksplozijama zvijezda koje se nazivaju supernove. Otkriveno je da manje zvijezde koje eksplodiraju stvaraju srebro, a veće zlato. Srebro je dobilo novu dimenziju i važnost kada su se Europljani, 1492. godine, iskrcali u Ameriku. Španjolski osvajači otkrili su da je Južna Amerika bogata žilama srebra i srebrne rude koju su počeli masovno iskapati. Prema Institutu za srebro, 85% srebra proizvedenog u svijetu između 1500. i 1800. godine je došlo iz Bolivije, Perua i Meksika. Srebro je igralo važnu ulogu u otkriću i nastanku najranijih fotografija. Srebrov nitrat koristio se razvijanje fotografskih ploča u prvim, nezgrapnim fotoaparatima jer reagira na svjetlost tako da tamni, što omogućuje stvaranje fotografije [10]. Na slici 7 može se vidjeti čisti (>99,95%) kristal srebra s vidljivim strukturama dendrita koji teži  $\approx 11$  g.



Slika 7 Čisti srebro dendritične građe [11]

## 5.2. Svojstva

Srebro posjeduje velik broj korisnih i posebnih svojstava, a to su [4]:

- Najmanja gustoća od svih plemenitih metala,
- Ima najnižu temperaturu tališta od svih plemenitih metala (961,8 °C),
- Toplinska vodljivost srebra pri sobnoj temperaturi najveća je od svih metala,
- Električna otpornost srebra pri sobnoj temperaturi je najmanja od svih metala i time posjeduje najveću električnu vodljivost.

Srebro ima relativno nisku granicu razvlačenja i vlačnu čvrstoću, ali se one mogu povećati hladnim oblikovanjem. Na taj način vlačna čvrstoća od 124 MPa do 186 MPa za žareno stanje može porasti do približno 319 MPa nakon hladnog oblikovanja. Srebro brzo gubi čvrstoću iznad sobne temperature o čemu je potrebno voditi računa u primjenama pri povišenim temperaturama. Stoga se oblaže se materijalima otpornima na visoke temperature kako bi se povećala toplinska stabilnost i povisilo temperaturno područje primjene kako čistog srebra tako i njegovih legura. Srebro je otporno na oksidaciju na suhom i vlažnom zraku pri normalnim temperaturama. Pri malo povišenim temperaturama na površini srebra se može formirati tanki sloj srebrovog oksida [4].

Srebro ima odličan metalni sjaj i može se polirati s ciljem postizanja visokog sjaja. Sjaj srebra je toliko prepoznatljiv da se naziva i srebrnastom bojom). Kako posjeduje najveću električnu vodljivost često se koristi u elektroindustriji. U uvodnom dijelu poglavlja već je spomenuto da je srebro iznimno rastezljivo i duktilno, te se zbog toga može vrlo dobro oblikovati. Srebro je prilično nereaktivan element, ali reagira sa sumporom i njegovim spojevima što dovodi do



tamnjenja. Kao i ostali plemeniti metali, srebro ima dobru otpornost na koroziju, što ga čini dugovječnim i atraktivnim [12].

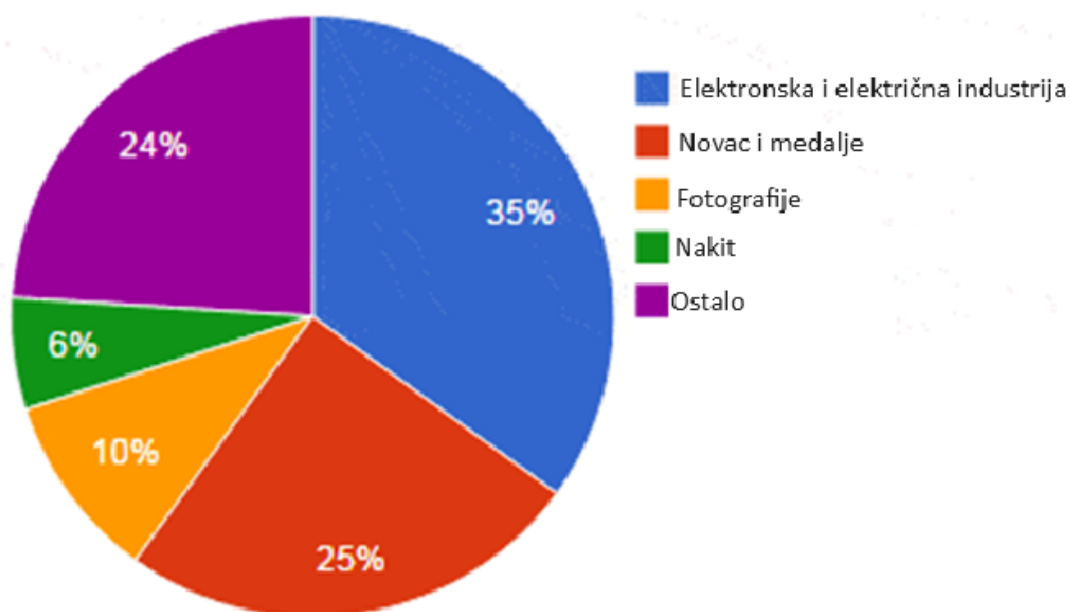
### 5.3. Primjena

Zahvaljujući posebnim kemijskim i fizikalnim svojstvima poput vrhunske toplinske i električne vodljivosti, visoke refleksivnosti, mekoće i duktilnosti te korozijske postojanosti srebro ima veliku primjenu unatoč visokoj cijeni. Svoju primjenu srebro nalazi na raznovrsnim područjima kao što su fotografija, tvrdo lemljenje, baterije, medicina i stomatologija, podloge za ogledala (s potencijalnom mogućnosti široke primjene razvojem novih tehnologija solarnih panela), ležajevima, katalizatorima, kovnom novcu itd. [2].

Srebro koje sadrži određene količine kadmijevog oksida ( $\leq 20\%$  CdO) se rabi u električnim kontaktima. U ovom kompozitnom materijalu srebro je jamac dobre električne i toplinske vodljivosti i niske kontaktne otpornosti, a disperzirani kadmijev oksid poboljšava otpornost na mikrozavarivanje, te pruža visoku tribološku otpornost na eroziju električnim lukom. Općenito se ovaj kompozit ne bi trebao koristiti pri naponima manjim od 10 V ili u situacijama gdje će pad napona biti veći od 0,2 V. Također nije pogodan za korištenje u određenim audio sklopovima zbog električnog šuma koji izaziva [2].

Srebro se koristi u ležajevima motora jer ima dobra svojstva podmazivanja, kao i umjerenu tvrdoću, dobru toplinsku vodljivost i nisku topljivost u željezu [2].

Sterling srebro (legura srebra i bakra) već dugo svoju primjenu nalazi u izradi nakita gdje je elegantan izgled od presudne važnosti. Visoka refleksija srebra ga čini posebno zanimljivim u izradi raznovrsnog nakita, ali i posuđa. Mnogo se nade polagalo u razvoj potpuno netamnećeg srebra, ali takva legura još uvijek nije proizvedena. Razni tanki zaštitni premazi, poput rodija, koriste se za srebrne predmete kojima ne prijeti opasnost od grebanja [2]. Slika 8 prikazuje područja primjene srebra u SAD-u za 2013. godinu.



Slika 8 Primjena srebra u SAD-u 2013. godine [13]

Posrebreni bakar, nikal, mjed i željezo se proizvode za različite namjene; od primjene za električne vodiče i kontakte do komponenti za kemijsku opremu. Srebro se također koristi u raznim kemijskim procesima uključujući i neke katalitičke primjene kao što je stvaranje formaldehida ili oksidacija etilena [2].

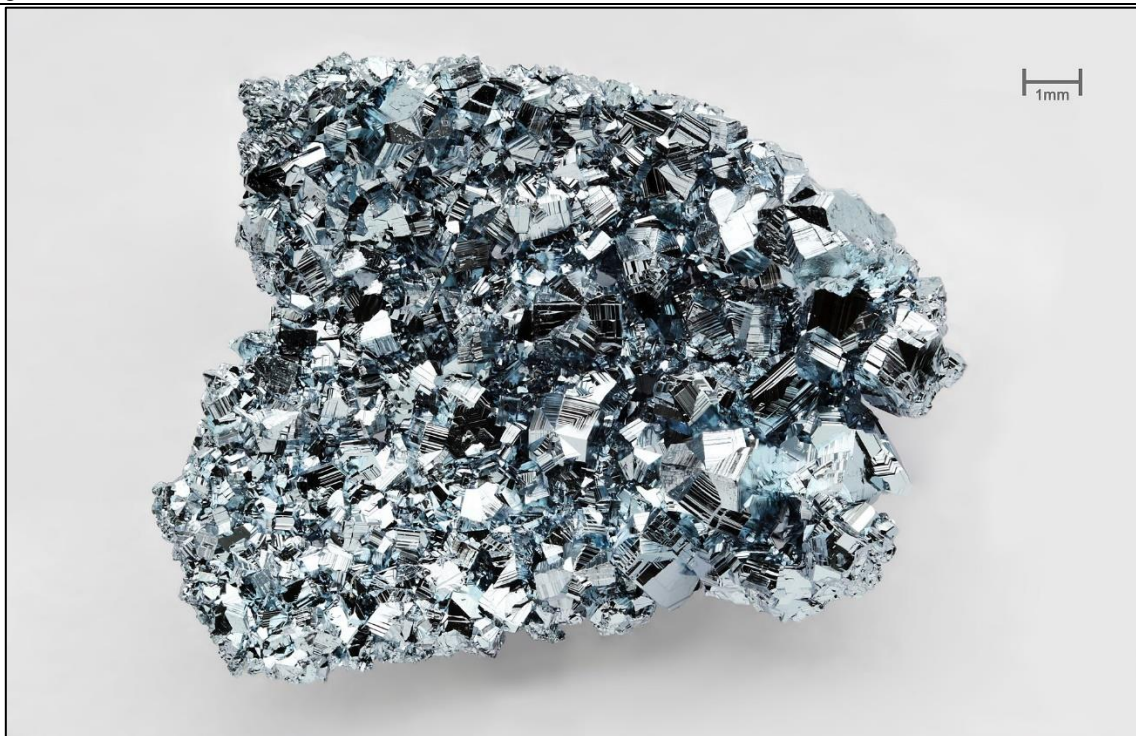
Srebrni premazi se nanose na staklo i keramiku nanošenjem posebne srebrne paste na materijal i zagrijavanjem na visoku temperaturu. Ovi premazi se često koriste u elektroničkim uređajima i u automobilskoj industriji. Organometalni spojevi koji sadržavaju srebro se primjenjuju u proizvodnji vodiča, električnih uzemljenja, terminala i elemenata za galvanizaciju [2].

## 6. OSMIJ

Osmij je bijeli, tvrd, ali krt metal koji ostaje sjajan čak i na visokim temperaturama. Ima vrlo nisku stlačivost. Njegov atomski broj je 76, a atomska masa mu iznosi 190,23. Koristi se kao legirajući element koji pruža ostalim plemenitim metalima iznimnu tvrdoću i otpornost na koroziju. Osmij na sobnoj temperaturi može formirati otrovan oksid poznat kao osmijev tetroksid ( $\text{OsO}_4$ ) [2]. Praktično jedini način za njegovu preradu je metalurgijom praha, ali čak i kod ove tehnologije potreban je izniman oprez i pažnja [4].

### 6.1. Povijest

Britanski kemičar Smithson Tennant otkrio je osmij 1803. godine u talogu ostalom nakon otapanja rude platine u jakoj kiselini zlatotopki. Ime mu potječe od grčkog termina *osme* što u prijevodu znači miris, zbog jakog i karakterističnog mirisa koji nastaje pri stvaranju osmijevog tetroksida. Osim iz platinske rode osmij se dana dobiva i preradom ruda nikla. Pojavljuje se u prirodnim legurama kao iridosmij (slitina osmija i iridija s primjesom rutenija, platine i rodija), a najveće poznate prirodne rezerve nalaze se u južnoj Africi. Iako se iz prirodnih legura ne može preraditi puno osmija, on se lako može dobiti iz ruda nikla [14]. Slika 9 prikazuje kristal osmija mase 2,2 grama i čistoće  $\geq 99,99\%$ .



**Slika 9** Kristal osmija, čistoće  $\geq 99,99\%$  [15]

## 6.2. Svojstva

Osmij ima najvišu temperaturu tališta od svih platinskih metala od čak  $3045\text{ }^{\circ}\text{C}$  i najveću gustoću od  $22,57\text{ g/cm}^3$ . Po mnogim svojstvima sličan je ruteniju, te kao i rutenij ima gusto slagano heksagonsku kristalnu rešetku [4]. Ima sjajnu plavkasto svijetlu boju i može biti krhak pri visokim temperaturama [14]. Informacije o mehaničkim svojstvima osmija su oskudne, ali poznato je da njegova tvrdoća u žarenom stanju između  $300\text{ HV}$  do  $670\text{ HV}$ . To ga čini najtvrdim elementom iz platinske skupine metala [4].

Što se tiče korozijske postojanosti, u usporedbi s ostalim elementima platinske skupine metala, osmij ima relativno skromnu otpornost. Nagrizaju ga zlatotopka i oksidirajuće kiseline, ali je otporan na klorovodičnu i sumpornu kiselinu. Osmij također nagrizaju halogeni elementi (fluor, krom, brom, jod, astat, tenesin) pri sobnoj temperaturi, a nagrizanje progresivno raste s porastom temperature. Osmijev prah polako oksidira čak i na sobnoj temperaturi i stvara osmijev tetroksid koji vrije na temperaturi od  $130\text{ }^{\circ}\text{C}$  i izrazito je toksičan [4].

## 6.3. Primjena

Zbog svoje gustoće, osmij se uglavnom legira s ostalim plemenitim metalima kako bi se dobili proizvodi poput igli za fonografe i električnih kontakata. U kombinaciji s iridijem koristi se za

vrhove nalivpera. Osmijev tetroksid, dobiven iz praškastog ili spužvastog oblika metala, može se koristiti za otkrivanje otisaka prstiju i bojanje masnog tkiva za potrebe mikroskopije [14]. Osmij je najrjeđi element iz platinske skupine metala i njegova godišnja proizvodnja iznosi samo nekoliko desetaka kilograma i zbog toga ima visoku ekonomsku vrijednost, a velik dio ove proizvodnje odlazi na medicinsku primjenu [4]. Može se koristiti i kao abraziv ili za poliranje stakla, porculana i metala. Osmij nalazi primjenu i u industriji nakita gdje je popularan zbog svoje boje, tvrdoće i otpornosti na koroziju. Najčešće se koristi za izradu naušnica i ogrlica. Istraživači sa Sveučilišta Warwick po prvi su put uspjeli pratiti osmij u jednoj stanici tumora na skali od 100 nm, dajući metalu obećavajuću potencijalnu primjenu u liječenju ove bolesti [16]. Slika 10 prikazuje vrh nalivpera izrađenog od legure osmija.

Što se tiče ekonomske vrijednosti, od travnja 2017. godine cijena osmija je porasla sa 797 €/g na razinu od 1501 €/g u svibnju 2021. godine. Zbog svoje rijetkosti, pomalo ograničene primjene i čestih fluktuacija cijene ovog metala teško je odrediti njegovu trenutnu vrijednost, ali sudeći po potencijalu i dostupnosti, ona bi trebala ostati visoka i u bliskoj budućnosti [16].



**Slika 10** Vrh nalivpera od osmijeve slitine [24]

## 7. IRIDIJ

Iridij je sjajan srebrno bijeli metal koji ima ograničenu oblikovljivost pri sobnoj temperaturi, međutim može se obrađivati na povišenim temperaturama [2]. Iridij je element koji je najotporniji na koroziju od svih poznatih elemenata i posjeduje izrazito visoku gustoću ( $22,56 \text{ g/cm}^3$ ) kao i osmij. Zbog svoje otpornosti na koroziju koristi se za etalone mase i duljine. Budući da je vrlo gust i krhak, teško ga je strojno obraditi ili oblikovati bez da se zagrije na ekstremno visoke temperature [17].

### 7.1. Povijest

Povijesni izvori govore o nekoliko kemičara koji su moguće otkrili iridij, otprilike u isto vrijeme, 1803. godine. Engleski kemičar Smithson Tennant, francuski kemičari H.V. Collet-Descotils, A.F. Fourcroy i N.L. Vauquelin, svi tvrde da su pronašli iridij u ostacima platinskih ruda koje nisu bile topive u kiselini. Danas se zasluge uglavnom pripisuju Tennantu. On je otkrio iridij otapanjem sirove platine u razrijeđenoj zlatotopki, te tretiranjem crnog ostatka koji je nastao alkalijima i kiselinama. Nakon ovog tretmana, crni ostatak se istaložio na dva nova elementa. U Kraljevskom Institutu u Londonu Tennant je objavio svoja otkrića i jedan element nazvao iridij, a drugi osmij. Ime iridija dolazi od latinske riječi *iris*, što znači duga jer su mu spojevi jako obojeni. [17].

Danas se iridij komercijalno dobiva kao nusprodukt rudarenja bakra i nikla. Rude koje sadrže iridij nalaze se u Brazilu, Sjedinjenim Američkim Državama, Mianmaru, Južnoj Africi, Rusiji i Australiji. Čisti iridij je toliko rijedak u Zemljinoj kori da ga ima samo oko 0,001 ppm [17]. Na slici 11 su prikazani mali komadi čistog iridija.



**Slika 11 Komadi čistog iridija [17]**

Što se tiče obrade, čisti iridij nije pogodan za konvencionalnu obradu i općenito se koristi kao legirni element. Međutim, prah iridija može se konsolidirati tehnologijom praškaste metalurgije ili taljenjem. Poželjno je da se kompaktirani prah sinterira u vakuumu na 1500 °C prije kovanja, valjanja, prešanja ili drugih postupaka vruće obrade radi konsolidacije. Taljenje se može provoditi u peći pod zaštitom argona ili indukcijskim zagrijavanjem, također u argonskoj atmosferi. [4].

## 7.2. Svojstva

Iridij posjeduje velik broj zanimljivih i posebnih svojstava a neka od njih su [4]:

- Modul elastičnosti iridija je jedan od najvećih i iznosi 517 GPa,
- Pored osmija, ima najveću temperaturu tališta od platinskih metala čak 2447 °C,
- Atomski broj mu je 77, a masa 192,217.

Iridij pokazuje visok stupanj otvrdnuća u usporedbi s drugim plemenitim metalima plošno centrirane kubične (FCC) strukture. Tvrdoća žarenog iridija može se povećati za 250 HV u usporedbi s porastom od samo 30 HV kod čiste platine obrađene na istovjetan način. Jako mali udio nečistoća segregiranih na granicama zrna može biti razlog velike sposobnosti otvrdnuća iridija [4].

Iridij je najviše korozijski otporan metal koji poznajemo. Potpuno je netopiv od strane uobičajenih mineralnih kiselina pri normalnim ili povišenim temperaturama i što je najvažnije, otporan je na hladnu i vrelu zlatotopku. Najotporniji je od platinskih metala na halogene

elemente. Iridij je otporan na anodnu koroziju u vodenim elektrolitima, ali može reagirati s vodenim otopinama kalijevog cijanida, klorovodične kiseline i amonijeva karbonata pod djelovanjem izmjenične struje [4].

Iridij je otporan na oksidaciju i ne tamni pri sobnoj temperaturi, ali zagrijavanje na zraku pri temperaturama iznad 600 °C stvara se tanki sloj oksida koji uzrokuje tamnjenje. Na temperaturama višim od 1000 °C iridij gubi masu zbog stvaranja hlapljivog oksida. Iako je gubitak težine na zraku za iridij dosta veći nego za platinu, iridij je jedini metal sa dovoljno visokim talištem da se može nezaštićen koristiti na zraku pri temperaturama do 2300 °C [4].

### 7.3. Primjena

Iridijeva primarna primjena je za legiranje i otvrdnuće platine i paladija. Koristi se za proizvodnju dijelova namijenjenih za rad na visokim temperaturama, proizvodnju svjećica i električnih kontakata. Može se koristiti na optičkim lećama kako bi se smanjio odsjaj. Spoj osmija i iridija nazvan osmiridij se koristi za vrhove nalivpera i dijelove kompasa. Posebno tvrdi i čvrst nakit se također izrađuje od iridija [17]. Slika 12 prikazuje svjećicu napravljenu od iridija.

Osim što očvršćuje platinu, iridij uvelike povećava njezinu otpornost na koroziju, osobito u okolišu koji sadrži klor, zlatotopku i slične korozivne agense. Zbog svoje iznimne otpornosti na koroziju i tamnjenje, legure platine i iridija (koje sadržavaju do 30% iridija) se koriste u [4]:

- Kemijskim postrojenjima s izrazito korozivnom okolinom,
- Električnim kontaktima izloženim ekstremnim okolišnim uvjetima,
- Industrijii nakita, kirurških alata i medicinskih implantata (kateteri, elektrode, dijelovi za elektrostimulatore srca),
- Primarnim etalonima za duljinu i masu.

Legure iridija i volframa su razvijene za opruge za rad na povišenim temperaturama. Ove opruge imaju izvrsnu otpornost prema popuštanju na temperaturama do 800 °C [4].

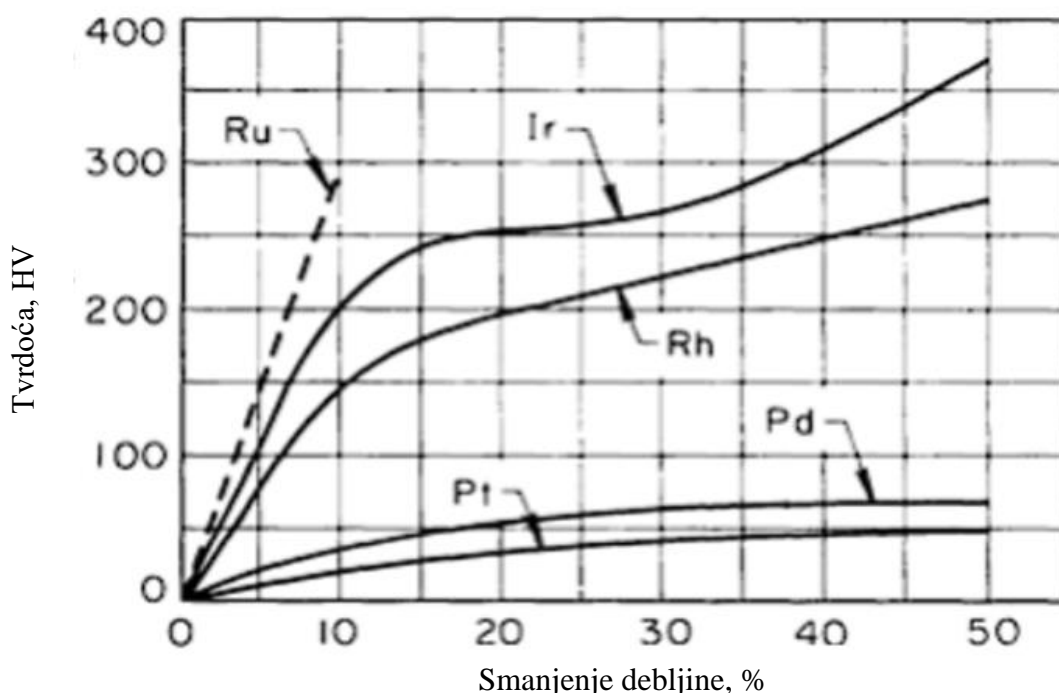




**Slika 12 Svjećica od iridija [25]**

## 8. PLATINA

Platina je srebrnasto bijeli metal poznat i kao bijelo zlato koji ima široku primjenu. Njezin atomski broj je 78, a atomska masa 195,1. Zbog svoje rijetkosti u Zemljinoj kori i koncentraciji od samo 0,005 ppm visoke je ekonomske vrijednosti [18]. Platina je prilično duktilan materijal i ne tamni pri povišenim temperaturama sve do točke tališta, te kao i ostali metali s plošno centriranom kubičnom (FCC) kristalnom rešetkom, može se toplo ili hladno oblikovati [2]. Na slici 13 je prikazano povećanje tvrdoće različitih metala platinske skupine s obzirom na stupanj deformacije tijekom hladnog oblikovanja.



Slika 13 Utjecaj hladnog oblikovanja na tvrdoću metala platinske skupine [26]

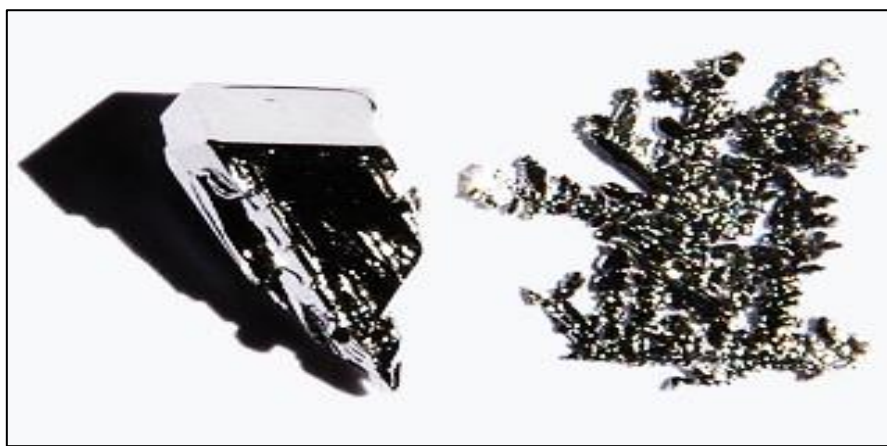
### 8.1. Povijest

U davna vremena, u Egiptu i Americi platina se koristila za izradu nakita i ukrasnih predmeta, često pomiješana sa zlatom. Prvo zabilježeno spominjanje platine bilo je 1557. godine kada je Julius Scaliger, talijanski liječnik, opisao metal pronađen u Srednjoj Americi koji se nije mogao topiti i nazvao ga "platinom", što bi u prijevodu bilo "malo srebro" [18].

Godine 1741. britanski metalurg Charles Wood objavio je studiju u kojoj je platina predstavljena kao novi metal i opisao neke od njezinih svojstava i moguće komercijalne primjene. Zatim je 1748. španjolski znanstvenik i mornarički časnik Antonio de Ulloa objavio opis metala koji je bio neobradiv i netopiv. Ovaj opis izvorno datira iz 1735. godine, no

britanska mornarica ga je zaplijenila. Još u 18. stoljeću platina je bila osmi poznati metal i bila je poznata kao "bijelo zlato", a ostali poznati metali bili su željezo, bakar, srebro, kositar, zlato, živa i olovo [18]. Slika 14 prikazuje dva oblika kristala platine.

Početkom 1800-ih, prijatelji i kolege William Hyde Wollaston i Smithson Tennant, obojica britanski kemičari, proizvodili su i prodavali pročišćenu platinu koju su izolirali pomoću tehnike koju je razvio Wollaston. Ova tehnika uključuje otapanje rude platine u mješavini dušične i klorovodične kiseline (poznatoj kao zlatotopka). Nakon što je platina odvojena od ostatka otopine, u otpadu su otkriveni paladij, rodij, osmij, iridij, a kasnije i rutenij [18].



**Slika 14 Dva iznimno čista kristala platine, veličine oko 1 cm[18]**

Danas se platina još uvijek ekstrahira koristeći tehniku sličnu onoj koju je razvio Wollaston. Uzorci koji sadrže platinu otapaju se u zlatotopki, odvajaju se od ostatka otopine i nusproizvoda i tale se pri vrlo visokim temperaturama [18].

## **8.2. Svojstva**

Platina ima sljedeća inženjerska svojstva [2]:

- Visoka temperatura tališta od 1769 °C,
- Sklona očvrnuću legiranjem s plemenitim metalima,
- Gotovo ne oksidira,
- Otporna na rastaljeno staklo i rastaljene soli u oksidirajućim atmosferama,
- Ima nizak tlak pare,
- Visok temperaturni koeficijent električne otpornosti što je čini iznimno prikladnim za mjerne elemente u termoparovima,

- Stabilno termoelektrično ponašanje,
- Posebna magnetna svojstva kada se legira s kobaltom,
- Visoka toplinska provodljivost,
- Visoka otpornost na koroziju iskrenjem zbog čega se i koristi u svjećicama,
- Izvrstan katalizator,
- Koeficijent toplinskog rastezanja je sličan onom običnog stakla.

Platina je otporna na praktički sve kemijske reagense i topiva je samo u kiselinama koje stvaraju slobodni klor, poput zlatotopke [2]. Tvrdoća i vlačna čvrstoća platine su u rasponu od 37 do 42 HV, odnosno 124 do 165 MPa za žareni materijal [4].

### 8.3. Primjena

Platina ima široku primjenu u području nakita, katalizatora, električnih kontakata, srčanih stimulatora, medicine i magneta. Platina se koristi u nekoliko lijekova protiv tumora zbog vrlo niske razine reaktivnosti. Oko 50% pacijenata na terapiji za tumore trenutno koristi lijekove koji sadrže platinu. Neki od tih lijekova, poput cisplatina, također se koriste za liječenje tumora kod životinja. Koristi se u zubnim krunicama i implantatima zbog svoje otpornosti na koroziju od tjelesnih tekućina i slabe reakcije na tjelesno tkivo [18].

Gotovo polovica platine koja se iskopa koristi se u katalitičkim pretvornicima, dijelu automobila koji reducira otrovne plinove u manje toksične emisije. Prednost je platine i drugih metala platinske skupine da mogu izdržati visoke temperature potrebne za oksidacijske reakcije u katalizatorima. Platina u kombinaciji s kobaltom stvara snažne trajne magnetne, koji imaju značajnu primjenu u medicinskim instrumentima, motorima i satovima. Često se koristi kao katalizator u proizvodnji otopina i nusproizvoda koji završavaju u tvarima, kao što su gnojiva, plastika, benzin i gorivi članci, povećavajući njihovu učinkovitost [18].

Mnogi ulagači kupuju i prodaju platinu, iako cijena može jako oscilirati tijekom gospodarskog rasta i pada, čak i više od cijena drugih plemenitih metala (zbog brojnih primjena). Otprilike 30% platine se koristi za izradu nakita. Većina poznatih dijamanta u svijetu, poput dijamanta Hope (prema Famous Diamonds) i mnogih predmeta u kolekciji Elizabeth Taylor (prema Bulgariju), sadrže platinu [18].

Cilindrični komadi platine i platinske legure koriste se kao međunarodni etaloni za masu. U 1880-ima, oko četrdeset ovih cilindara, koji su težili 1 kilogram, distribuirani su diljem svijeta.

Na slici 15 može prikazan je cilindar od platinske legure s iridijem koji služi kao međunarodni prototip kilograma i čuva se u Međunarodnom uredu za utege i mjere u Parizu [18].



**Slika 15 Međunarodni prototip kilograma [18]**

## 9. ZLATO

Zlato je svijetao, žut, mekan i vrlo oblikovljiv element, dostupan za industrijsku upotrebu u mnogim oblicima uključujući tanke trake, folije, cijevi i tanku žicu. Lako se oblikuje u gotove proizvode. Uobičajena jedinica koja predstavlja sadržaj zlata u leguri naziva se karat, odnosno udio zlata u leguri u dvadeset-četvrtinama [4]. Zlato ima atomski broj 79 i atomsku masu od 196,9665. Zlato je rijedak element, a razlog za njegovu rijetkost leži u iznimno ogromnoj količini energije koja je potrebna za njegovu preradu. Ono se formira u zvijezdama, ali samo u onima koje eksplodiraju u divovskim supernovama, ili u izrazito gustim zvijezdama koje su se spojile u snažnim kolizijama. Zbog velike energije koja se stvara u ovim procesima nastaju teži elementi, uključujući i zlato [19]. Na slici 16 je prikazan grumen zlata pronaden u Australiji koji teži 1,8 kg.



Slika 16 Grumen zlata iz Australije [20]

### 9.1. Povijest

Prije 5000 godina rijeka Nil je zbog potrebe za navodnjavanjem žita bila ključ rasta i razvoja Egipatskog carstva, ali u njoj su se tada nalazili i mali, sjajni komadići zlata. Egipćani su spremno prihvatili ovaj vizualno privlačan metal i otkrili da zahtijeva malo dorade da bi se pretvorio u očaravajuće ukrase [19]. Slika 17 prikazuje pogrebnu masku egipatskog faraona Tutankamona, izrađenu od zlata, koja je ostala očuvana tisućama godina.



**Slika 17 Zlatna pogrebna maska egipatskog faraona Tutankamona [19]**

Zlato kao ukras se nije koristilo samo u starom Egiptu, naime, žena iz kraja kamenog doba pronađena pokopana izvan današnjeg Londona nosila je zlatni lančić oko vrata. Kelti su u trećem stoljeću prije Krista nosili zlatne zubne implantate, a kineski kralj koji je umro 128. godine prije Krista bio je pokopan sa zlatom pozlaćenim kolima i tisućama drugih dragocjenih predmeta [19].

Zlato je ubrzo postalo simbol i jedinica bogatstva, a tu je privlačnost diljem svijeta i danas zadržalo. Nekoliko tisućljeća nakon egipatskih faraona i njihovih zlatnih grobnica, zlatna bogatstva Asteškog Carstva opljačkali su Konkvistadori koji su taj vrijedni metal tražili za svoje potrebe. Još kasnije, velik broj ljudi pohrlilo je na zapadnu obalu Sjedinjenih Država kako bi sudjelovali u kalifornijskoj "zlatnoj groznici", tražeći vlastito bogatstvo. Dakle, zlato je ljude tjerovalo na diplomaciju, masovne migracije, pa čak i na ratove. Bez ovog metala ljudska bi povijest bila mnogo drukčija [19].

## **9.2. Svojstva**

Svojstva zlata uključuju [2]:

- otpornost na koroziju zbog čega ima dugotrajan sjaj,
- dobru refleksiju,

- relativno nisku temperaturu tališta (1064,18 °C) što ga čini pogodnim za metalurške procese,
- otpornost na sulfidaciju i oksidaciju zbog koje ne tamni pri višim temperaturama,
- mogućnost legiranja s drugima metalima za postizanje posebnih svojstava,
- visoku električnu i toplinsku vodljivost.

Zlato ima visoku gustoću od 19,3 g/cm<sup>3</sup>. Već je spomenuto da je oblikovljiv i sjajan metal što ga čini izvrsnim i jednostavnim za obradu [2].

Žareno zlato je izuzetno mekano na sobnoj temperaturi (25 do 27 HV) i ima relativno nisku vlačnu čvrstoću (124 do 138 MPa). Zbog niske čvrstoće zlata, uobičajena je uporaba pozlaćenih obloga na metalnim supstratima veće čvrstoće. Zlato se ne može koristiti kao konstrukcijski materijal na povišenim temperaturama zbog pojave puzanja materijala [4].

Čisto zlato svoju otpornost na koroziju uglavnom duguje niskom kemijskom afinitetu prema ostalim elementima. Pasivna zaštita filmom, karakteristična za srebro u halogenim sredinama, kod zlata je vrlo rijetka. Zlato je iznimno otporno na sumpornu kiselinu do temperature 250 °C, a na koncentriranu klorovodičnu kiselinu i dušičnu kiselinu je otporno sve do temperature vrenja (2850 °C). Međutim, vruće smjese dušične i sumporne kiseline će brzo nagrizati zlato kao i zlatotopka i cijanovodična kiselina (u prisutnosti kisika). Na većinu ostalih kiselina zlato je uglavnom otporno [4].

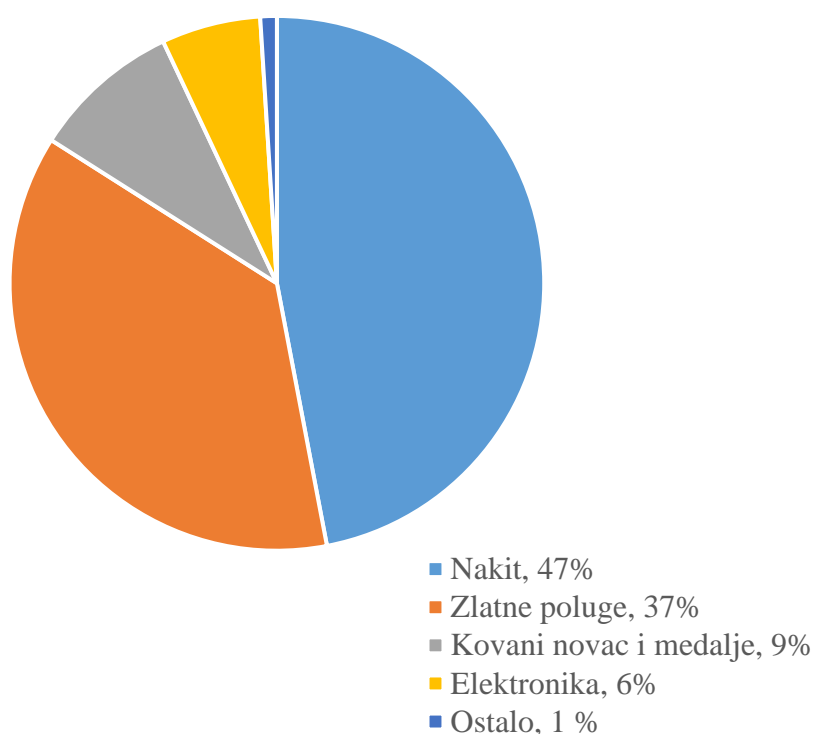
### 9.3. Primjena

Budući da je zlato lako oblikovati, ima lijepi sjaj, nije alergeno i ne tamni tijekom vremena, intenzivno se koristi u izradi nakita. Iz istih razloga se rabi i u stomatologiji za krunice, mostove te u ortodontskim aparatima. Zlato se u znatnoj mjeri koristi u elektroničkim uređajima, osobito u tiskanim pločicama, konektorima, tipkovnicama i minijaturnim sklopovima. Budući da elektronički uređaji koriste niske napone i struje, važno je da zlatom obložene komponente ostanu potpuno čiste, te kemijski i metalurški stabilne tijekom životnog vijeka opreme [2].

Zlato je dobar reflektor infracrvenog zračenja; zbog toga se zlatne folije koriste u uređajima za grijanje i sušenje zračenjem, kao i u prozorima s toplinskom barijerom kod velikih zgrada. Također, veliki naponi se ulažu u razvoj zlatnih reflektirajućih premaza za zaštitu komponenti svemirskih vozila i svemirskih odijela od prekomjernog sunčevog zračenja i posljedično velikog porasta temperature [2].



Organometalni spojevi zlata se koriste za ukrašavanje porculanskog i staklenog posuđa. Zlato se također koristi u drugim industrijskim primjenama, kao što su to klizni električni kontakti, zlatni konektori s finom žicom u industriji poluvodiča, filmovi nanaseni vakuumom i raspršivanjem ili premazi za međusobno povezivanje tankoslojnih integriranih krugova. Legure zlata se koriste za spajanje komponenti mlaznih motora i za uporabu u termočlancima do temperature tekućeg helija i uporabe na visokim temperaturama od čak 1300 °C [2]. Slika 18 prikazuje dijagram primarnih upotreba zlata tijekom 2022. godine. To su bile: proizvodnja nakita (47%); poluge (zlatne poluge, odnosno ingoti; 37%); proizvodnja zlatnika i medalja (9%); i ostale potrebe (1%) [21].



**Slika 18 Globalna primjena zlata u 2022. godini [21]**

Čisto zlato se koristi za površinsku obradu određenih visokofrekventnih vodiča za rad u okruženjima gdje srebro korodira. Legure zlata također se elektrotalože na nakit i druge predmete kod kojih je izgled važan. Na neke se dijelove uzastopno taloži nekoliko slojeva zlata i drugih metala, a predmet se potom zagrijava da bi se difuzijom dobila legura [2].

Čisto zlato ima visoku refleksiju u crvenom i infracrvenom spektralnom području i stoga se ponekad koristi za oblaganje infracrvenih reflektora [2]. Zlato se također koristi u medicini. Radioaktivni izotop zlata Au-198 može se ubrizgati izravno na mjesto tumora, gdje njegovo zračenje može uništiti stanice tumora bez da zahvati ostatak zdravog tkiva [19].

**10. OSTALA SVOJSTVA PLEMENITIH METALA**

U tablici 1 navedena su najvažnija svojstva plemenitih metala [2].

**Tablica 1** Odabrana svojstva plemenitih metala, I. dio [2]

Svojstvo	Platina	Paladij	Iridij	Rodij	Osmij	Rutenij	Zlato	Srebro
<b>Atomski broj</b>	78	46	77	45	76	44	79	47
<b>Atomska masa</b>	195,09	106,4	192,2	102,905	190,2	101,07	196,967	107,87
<b>Kristalna rešetka</b>	fcc	fcc	fcc	fcc	hcp	hcp	fcc	fcc
<b>Elektronska konfiguracija</b>	$5d^9 6s$	$4d^{10}$	$5d^7 6s^2$	$4d^8 5s$	$5d^6 6s^2$	$4d^7 5s$	$5d^{10} 6s$	$4d^9 5s^2$
<b>Valencije</b>	2, 4	2, 4	3, 4	3	4, 6, 8	3, 4, 6, 8	1, 3	1, 2, 3
<b>Gustoća pri sobnoj temperaturi (g/cm<sup>3</sup>)</b>	21,45	12,02	22,65	12,41	22,61	12,45	19,32	10,49
<b>Temperatura tališta (°C)</b>	1769	1554	2447	1963	3045	2310	1064,4	961,9
<b>Temperatura vrelišta (°C)</b>	3800	2900	4500	3700	5020±100	4080±100	2808	2210
<b>Električna otpornost pri 0 °C (μΩ·cm)</b>	9,85	9,93	4,71	4,33	8,12	6,80	2,06	1,59
<b>Linearni koeficijent toplinskog istezanja μm/(m·K)</b>	9,1	11,1	6,8	8,3	6,1	9,1	14,16	19,68

Tablica 2 Odabrana svojstva plemenitih metala, II. dio [2]

Svojstvo	Platina	Paladij	Iridij	Rodij	Osmij	Rutenij	Zlato	Srebro
<b>Elektromotorna sila u odnosu na Pt-67 elektrodu pri 1000 °C (mV)</b>	...	11,457	12,736	14,10	...	9,744	12,34	10,70
<b>Vlačna čvrstoća (MPa) gnječene žice</b>	207-241	324-414	2070-2480	1379-1586	...	496	207-221	290
žarene žice	124-165	145-228	1103-1241	827-896	...	...	124-138	125-186
<b>Istezanje (%) gnječene žice</b>	1-3	1,5-2,5	15-18	2	...	3	4	3-5
žarene žice	30-40	29-34	20-22	30-35	...	...	39-45	43-50
<b>Tvrdoća (HV) gnječene žice</b>	90-95	105-110	600-700	...	...	...	55-60	...
žarene žice	37-42	37-44	200-240	120-140	300-670	200-350	25-27	25-30
lijevano stanje	43	44	210-240	...	800	170-450	33-35	...
<b>Youngov modul elastičnosti pri 20 °C (GPa) Statički</b>	171	115	517	319	558	414	77	74
Dinamički	169	121	527	378	...	476	...	...
<b>Poissonov koeficijent</b>	0,39	0,39	0,26	0,26	...	...	0,42	0,37

---

## **11. ZAKLJUČAK**

Zaključno, u ovom rad je dan povijesni pregled otkrića plemenitih metala, istaknuta su njihova jedinstvena svojstva i primjeri primjene. Plemeniti metali su imali bogatu povijest i različite namjene; od simbola moći i statusa u drevnim civilizacijama, do upotrebe u modernim uređajima i tehnologijama. Time se dokazuje njihova dugovječnost, važnost i neizostavnost u našoj civilizaciji, prošloj i budućoj. U području znanosti i tehnologije, ovi metali pokazuju jedinstvena svojstva koja pokreću napredak. Njihova sposobnost da kataliziraju reakcije, korozijska otpornost, električna i toplinska vodljivost i dobro funkcioniranje s biološkim sustavima dovela je do otkrića u medicini, elektronici i mnogim drugim važnim poljima i industrijama. Gledajući unaprijed, recentna istraživanja obećavaju još više spoznaja, a time i primjena plemenitih metala, osiguravajući njihovu stalnu važnost u našem svijetu.

---

**LITERATURA**

- [1] Hrvatska tehnička enciklopedija, Plemeniti metali. Preuzeto 19. siječnja 2024., izvor: <https://tehnika.lzmk.hr/plemeniti-metali/>
- [2] A.R. Robertson, Precious Metals and Their Uses ASM Handbook, Volume 2: Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Special-Purpose Materials, 1997.
- [3] Britannica, The Editors of Encyclopaedia. "ruthenium". Encyclopedia Britannica, Preuzeto 20. siječnja 2024., izvor: <https://www.britannica.com/science/ruthenium>
- [4] G.D. Smith, E. Zysk, Corrosion of the Noble Metals, ASM Handbook, Volume 13: Corrosion, 1997.
- [5] Facts About Rhodium | Live Science. Preuzeto 21. siječnja 2024., izvor: <https://www.livescience.com/36988-rhodium.html>
- [6] Facts About Palladium | Live Science. Preuzeto 21. siječnja 2024., izvor: <https://www.livescience.com/36991-palladium.html>
- [7] Britannica, The Editors of Encyclopaedia. "palladium". Encyclopedia Britannica, Preuzeto 21. siječnja 2024., izvor: <https://www.britannica.com/science/palladium-chemical-element>
- [8] Palladium 950 Heavy Court 4mm Wedding Ring. Preuzeto 21. siječnja 2024., izvor: <https://www.starweddingring.co.uk/palladium-rings-c45/palladium-950-court-shape-c52/star-wedding-rings-palladium-950-heavy-court-4mm-wedding-ring-p552>
- [9] Palladium vs. Gold: Which Is Better? – Goldco. Preuzeto 22. siječnja 2024., izvor: <https://goldco.com/palladium-vs-gold-prices/>
- [10] Facts About Silver | Live Science. Preuzeto 22 siječnja 2024., izvor: <https://www.livescience.com/37040-silver.html>
- [11] Britannica, The Editors of Encyclopaedia. "silver". Encyclopedia Britannica, Preuzeto 21. siječnja 2024., izvor: <https://www.britannica.com/science/silver>
- [12] Silver Element Properties and Information - Chemical Engineering World. Preuzeto 1. veljače 2024., izvor: <https://chemicalengineeringworld.com/silver-element-properties-and-information/>

- [13] Uses of Silver in Electronics, Coins, Jewelry, Medicine. Preuzeto 1. veljače 2024., izvor: <https://geology.com/articles/uses-of-silver/>
- [14] Facts About Osmium | Live Science. (n.d.). Preuzeto 1. veljače 2024., izvor: <https://www.livescience.com/39142-osmium.html>
- [15] Britannica, The Editors of Encyclopaedia. "osmium". Encyclopedia Britannica, Preuzeto 1. veljače 2024., izvor: <https://www.britannica.com/science/osmium>
- [16] Osmium | TM2 | Technology Metals Market. Preuzeto 1. veljače 2024., izvor: <https://tm2.com/tm2-network/technology-metals-pipeline/osmium/>
- [17] Facts About Iridium | Live Science. Preuzeto 2. veljače 2024., izvor: <https://www.livescience.com/39143-iridium.html>
- [18] Facts About Platinum | Live Science. Preuzeto 2. veljače 2024., izvor: <https://www.livescience.com/39144-platinum.html>
- [19] Gold: Facts, history and uses of the most malleable chemical element | Live Science. Preuzeto 3. veljače 2024., izvor: <https://www.livescience.com/39187-facts-about-gold.html>
- [20] Britannica, The Editors of Encyclopaedia. "gold". Encyclopedia Britannica, Preuzeto 3. veljače 2024., izvor: <https://www.britannica.com/science/gold-chemical-element>
- [21] Uses of Gold in Industry, Medicine, Computers, Electronics, Jewelry. Preuzeto 3. veljače 2024., izvor: <https://geology.com/minerals/gold/uses-of-gold.shtml>
- [22] How much rhodium is in a catalytic converter? | Preuzeto 7. veljače 2024., izvor: <https://langleycyclingkc.com/how-much-rhodium-is-in-a-catalytic-converter/>
- [23] Osmium: Properties, Uses, Effects & Solved Questions. Preuzeto 7. veljače 2024., izvor: <https://collegedunia.com/exams/osmium-chemistry-articleid-6243>
- [24] Iridium Spark Plugs: Uses, Benefits, Lifespan - Bike Restart. Preuzeto 7. veljače 2024., izvor: <https://bikerestart.com/iridium-spark-plugs-uses-benefits-lifespan/>
- [25] Ruthenium Facts, Symbol, Discovery, Properties, Uses. Preuzeto 7. veljače 2024., izvor: <https://www.chemistrylearner.com/ruthenium.html>
- [26] Joseph R. Davies, S. L. Semiatin, Corrosion of the Noble Metals, ASM Handbook, Volume 14: Forming and Forging: Working of Platinum Group Metals, 1997.