

# Zelena sinteza nanočestica iz ekstrakata imele (*Viscum album* L.)

---

**Begić, Ante**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2023**

*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://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:182:232654>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-11-30**

*Repository / Repozitorij:*

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



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

**Ante Begić**

**ZELENA SINTEZA NANOČESTICA IZ EKSTRAKTA IMELE**  
**(*Viscum album L.*)**

**Završni rad**

**Mentor:**  
**izv. prof. dr. sc. Vlatka Gvozdić**

**Osijek, 2023.**

## SAŽETAK

Biljni su ekstrakti bogat izvor biomolekula koje su korisne ne samo kao antioksidansi, lijekovi ili dodatci prehrani već i kao složeni reagensi za sintezu metalnih nanočestica. U ovom radu provedena je zelena sinteza nanočestica srebra iz metanolnog ekstrakta biljke imele (*Viscum album L.*) i vodene otopine AgNO<sub>3</sub>. Sintetizirane nanočestice okarakterizirane su UV-VIS spektrometrijom, FT-IR analizom i rendgenskom difrakcijom na prahu. Katalitička aktivnost dobivenih nanočestica procijenjena je pomoću metilenskog modrila. Utvrđeno je da do potpune razgradnje boje došlo nakon 24 sata. Rezultati karakterizacije sintetiziranih nanočestica ukazuju na uspješnu sintezu nanočestica iz ekstrakta *Viscum album* s UV-VIS apsorpcijskim maksimumom na 441 nm. Rezultat PXRD analize pokazuje da je prosječna veličina kristalita 21 nm.

*Ključne riječi: zelena sinteza, ekstrakt imele, nanočestice srebra*

## ABSTRACT

Plant extracts are a rich source of biomolecules that are valuable not only as antioxidants, medicines or dietary supplements but also as complex reagents for the synthesis of metal nanoparticles. In this study, green synthesis of silver nanoparticles was performed using methanolic extract of the mistletoe plant (*Viscum album L.*) and an aqueous solution of  $\text{AgNO}_3$ . The synthesized nanoparticles were characterized using UV-VIS spectrometry, FT-IR analysis, and powder X-ray diffraction (PXRD). The catalytic activity of the obtained nanoparticles was assessed using methylene blue. It was found that complete color degradation occurred after 24 hours. The results indicate the successful synthesis of nanoparticles from *Viscum album* extract with a UV-VIS absorption maximum at 441 nm. The PXRD analysis result shows that the average crystallite size is 21 nm.

*Key words: green synthesis, mistletoe extract, silver nanoparticles*

# SADRŽAJ

UVOD.....	1
1. BIJELA IMELA ( <i>Viscum album</i> L.).....	3
1.1. Karakteristike bijele imele.....	4
1.2. Rasprostranjenost i stanište.....	4
1.3. Sastav i aktivne tvari.....	4
1.4. Načini primjene.....	5
2. MATERIJALI I METODE.....	6
2.1. Prikupljanje uzoraka.....	6
2.2. Ekstrakcija i sinteza nanočestica srebra (eng. silver nanoparticles (AgNPs)) ...	6
2.3. UV-Vis spektroskopija.....	7
2.4. FT-IR spektroskopija (eng. <i>Fourier – transform infrared spectroscopy</i> ).....	9
2.5. Rendgenska difrakcija na prahu (eng. <i>Powder X-ray diffraction</i> , PXRD) .....	11
3. REZULTATI I RASPRAVA.....	13
ZAKLJUČAK.....	19
POPIS LITERATURE.....	20
POPIS SLIKA.....	23

## UVOD

U posljednjim desetljećima svjedočimo brzom napretku koji je donio brojne inovacije i promjene na području znanosti i tehnologije. Među tim inovacijama, nanotehnologija se ističe kao jedno od najperspektivnijih područja istraživanja, s obećavajućim mogućnostima primjene u različitim vrstama industrije i znanstvenim disciplinama. Jedan od ključnih aspekata istraživanja u području nanotehnologije je razvoj efikasnih i održivih metoda sinteze nanočestica.

Imela (*Viscum album*) je poluparazitska biljka koja raste na drveću i ima dugu povijest upotrebe u tradicionalnoj medicini. Istraživanja su pokazala da ekstrakt imele sadrži različite biološki aktivne spojeve koji pokazuju antioksidativna, protuupalna, antitumorska i antivirusna svojstva. [1] Ovi spojevi mogu poslužiti kao potencijalni izvor za sintezu nanočestica. Nanočestice imaju različite namjene u raznim medicinskim, farmaceutskim i poljoprivrednim primjenama. Nanobiotehnologija u kombinaciji sa zelenom sintezom ima veliki potencijal za razvoj novih i bitnih proizvoda koje koriste ljudskom zdravlju, okolišu i industriji. Zelena sinteza igra važnu ulogu jer olakšava nekonvencionalnu metodu sintetiziranja nanočestica zlata i srebra iz biljnih ekstrakata, koji su, između ostalih izvanrednih svojstava, pokazali i antibakterijski potencijal. [1] Sinteza srebrnih nanočestica temeljito je proučavana primjenom kemijskih i fizičkih metoda, no razvoj pouzdane tehnologije za proizvodnju nanočestica važan je aspekt nanotehnologije. Potrebno je istaknuti da sinteza nanočestica fizičkim i kemijskim metodama može imati znatne ekološke nedostatke, biti tehnički zahtjevna i ekonomski skupa. [2]

Imela (*Viscum album*) od davnih dana se koristi kako bi se ublažili simptomi raznih bolesti, a brojna istraživanja potvrdila su njena antioksidativna i protuupalna svojstva. Koristi se i za liječenje zloćudnih bolesti, a i danas je najčešće korišteni biljni pripravak kao nadopuna klasičnim tretmanima poput kemoterapije i zračenja. [3]

Sve veći interes za održivost i ekološku osviještenost potiče istraživače da se fokusiraju na razvoj „zelene sinteze“ nanočestica, koja koristi prirodne izvore i

ekstrakte biljaka kao osnovu za dobivanje nanočestica. Ekstrakti biljaka mogu djelovati na dva načina, kao reducens i kao stabilizirajući agensi pri čemu se redukcija srebrnog iona ( $\text{Ag}^+$ ) odvija uz pomoć kombinacije raznih biomolekula ekstrakta (enzimi, polifenoli, lipidi, vitamini itd.) koji daju elektron potreban za njegovu redukciju u  $\text{Ag}^0$ . U tom kontekstu, jedna od prirodnih tvari koja privlači pažnju znanstvenika je među ostalim biljkama i ekstrakt biljke imele. [4]

Srebro je netoksičan, siguran anorganski antibakterijski agens koji je sposoban ubiti oko 650 vrsta mikroorganizama koji uzrokuju bolesti. Postoji sve veći interes za srebrnim nanočesticama zbog antimikrobnih svojstava koja pokazuju, pa se čak predstavljaju kao antimikrobni agensi budućih generacija. Nanočestice srebra posjeduju jedinstvene električne, optičke i biološke karakteristike te se stoga primjenjuju u katalizi, slikovnom prikazu, dostavi lijekova, izradi nanouređaja i u medicini. [2]

Istraživanja u području sinteze nanočestica u različitim ekstraktima imele nedostaju u suvremenim istraživanjima, točnije, vrlo su rijetka, a u Republici Hrvatskoj gotovo i ne postoje. Dosadašnji rezultati iz područja nanočestica dobivenih uz pomoć vodenih ekstrakata listova i plodova imele ukazali su na uspješnu sintezu i dobra antibakterijska svojstva nanočestica srebra i zlata. [5, 6, 7]

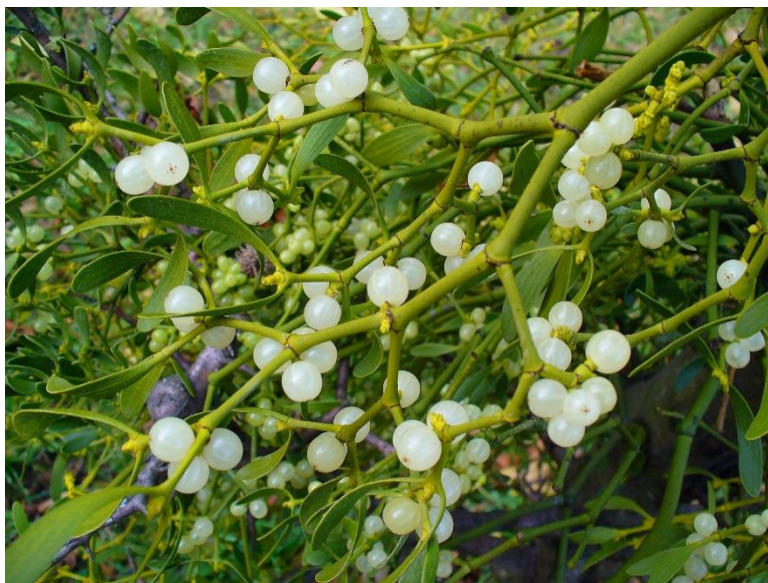
Cilj i svrha ovog završnog rada je sinteza nanočestica iz metanolnog ekstrakta listova imele i vodene otopine  $\text{AgNO}_3$  i njihova karakterizacija metodama UV-Vis spektroskopije, FT-IR analizom i metodom rendgenske difrakcije na prahu (eng. *Powder X-ray diffraction*, PXRD). Ujedno će biti istražena njihova sposobnost u degradaciji boje vodene otopine berlinskog modrila.

Očekuje se da će rezultati ovog istraživanja pružiti nova saznanja o potencijalnoj primjeni imele kao izvora za sintezu nanočestica te doprinijeti razvoju održivih i ekološki prihvatljivih metoda sinteze. Također, ovo istraživanje može otvoriti vrata za daljnja istraživanja na drugim dijelovima ove biljke, a i različitim vrstama ekstrakata koji bi također mogli imati potencijal za što uspješniju i bržu sintezu nanočestica.

## 1. BIJELA IMELA (*Viscum album* L.)

Bijela imela je zimzeleni grm koji najčešće živi na vrhu grana bjelogoričnih stabala – topole, hrasta, lipe, breze, jasena, vrbe, jabuke ili kruške. Imela je poluparazit jer fotosintezom sama proizvodi hranu te upija vodu i otopljene minerale od domaćina, pa njezin kemijski sastav ovisi o vrsti drveća na kojem živi. Grm imele je okruglog oblika s rašljastim granama, a listovi žutozeleni do tamnozeleni, kožasti, bez peteljke i ostaju na granama i zimi.

Cvate od veljače do travnja sitnim žutozelenim cvjetićima. Bobičasti prozirno bijeli plod dozrijeva u prosincu. Plod sadrži 1 do 3 sjemenke obavijene ljepljivom tvari koja održava sjemenke svježima i nakon dugotrajnih suša. Sjemenke imele ne kličaju ni u zemlji ni u vodi, a ljepljivi omotač olakšava da se pričvrste i počnu kličati na stablu. Ptice su također zaslužne za širenje imele. [1]



**Slika 1:** Bijela imela (*Viscum album* L.)

*Izvor: Monaco Nature Encyclopedia*

Postoje i druge vrste imele, ali one se ni približno ne koriste u liječenju kao bijela imela. Bijela imela ima tri podvrste: bjelogorična bijela imela (*Viscum album* L. ssp. *Album*), jelina imela (*Viscum album* L. ssp. *abietis* (Wiesb.) Abrom.) i borova



imela (*Viscum album* ssp. *austriacum* (Wiesb.)). Podvrste bijele imele razlikujemo prema vrstama domaćina na kojima žive kao poluparaziti. [8]

### **1.1. Karakteristike bijele imele**

Imela raste u obliku okruglastog grma visoko na stablima. Grmovi su razgranati, veliki do 100 cm, kora je tanka, žutozelena i glatka. Listovi su duguljasti, svjetlo zelene boje, kožasti, goli. Cvjetovi su jednospolni i dvodomni, maleni i žuti, a cvatu krajem zime, od kraja siječnja do travnja. Plodovi izgledaju kao bijele, okrugle i sočne bobice veličine zrna graška, a dozrijevaju zimi. Bobice su vrlo ljepljive što im omogućava da se lako zalijepe za koru stabla i na taj način i prokljaju. Sadrže jednu do tri zelenkasto bijele sjemenke. [9]

### **1.2. Rasprostranjenost i stanište**

Imela raste na drveću diljem Europe, Azije i sjeverne Afrike. Najčešće je nalazimo na listopadnom drveću meke kore (kroz koju najlakše prolaze njezini pipci), a to znači na voćkama (jabuke i kruške), lipi, brezi i vrbi. Na hrastu je pojava imele vrlo rijetka, a na bukvi je uopće i ne moramo tražiti jer je tamo nema. Kemijski sastav imele ovisi o vrsti drveta na kojem raste. Naša tradicija i tradicija naših istočnih susjeda najviše cijeni imelu ubranu s kruške ili topole. [10]

### **1.3. Sastav i aktivne tvari**

Kemijski sastav imele najviše ovisi o vrsti drveta na kojem biljka raste, ali se u njoj nalaze uglavnom sljedeći bioaktivni spojevi: tanini, lecitin, kolin, flavonoidi, polisaharidi, histamin, fenolne kiseline, biogeni amini, triterpeni, fitosteroli, saponini i organske kiseline. [11]

#### **1.4. Načini primjene**

Imela ima ljekovita djelovanja koja su poznata još od najstarijih vremena. U današnje vrijeme sve se više istražuje njeno antikancerogeno djelovanje.

U novije vrijeme bijela imela je rekorder po broju modernih znanstvenih istraživanja vezanih uz rak. Sve se počelo događati u 1920. godinama. Tada je jedna od najvećih ličnosti 20. stoljeća, zagonetni Rudolf Steiner, +uvedo lijek za oboljele od raka u obliku ekstrakta imele: injekcije (Iscador). Pripreme se rade miješanjem zimskog i ljetnog soka biljke, branjem biljaka u određeno vrijeme prema detaljnim pravilima i odabirom domaćina imele na temelju vrste raka. Steinerov antropozofski pogled identificirao je dvostruki život imele sa ljudskim životom. Zimi, u doba kada ništa drugo ne cvjeta osim imele, smatra se da je koncentrirana sva njena snaga, koja je po toj teoriji sadržana i u ekstraktu koji se koristi u liječenju kancerogenih oboljenja. [12]

U imeli je otkriven velik broj ljekovitih tvari od kojih je svakako najvažniji lecitin koji potiče stvaranje imuniteta, ali je pokazao i antikancerogeno djelovanje. Korištenje ove biljke u velikoj mjeri pomaže kod nepoželjnih posljedica radioterapije ili prilikom liječenja citostaticima i to prilikom mučnina, nesаница, gubitka apetita, prilikom ispadanja kose, ali i kod općeg stanja stanica krvi i organa. Takva terapija imelom zna trajati godinama. [12]

## 2. MATERIJALI I METODE

### 2.1. Prikupljanje uzoraka

U ovom eksperimentu, prikupljeni su uzorci imele s jedne lokacije u Republici Hrvatskoj. Lokacija na kojoj su prikupljeni uzorci je Aljmaš (45 31'44"N 18 57'04"E). Područje Aljmaša karakterizira umjereno topla i vlažna klima s toplim ljetom. Svježi uzorci prikupljeni su u kolovozu i rujnu 2021. godine.

Ubrani listovi su sušeni na sobnoj temperaturi na sjenovitom mjestu i potom samljeveni u prah.

U obradi podataka korišteni su programi Excel i „TIBCO Statistica® 14.1.0.0.15.“.

### 2.2. Ekstrakcija i sinteza nanočestica srebra (eng. silver nanoparticles (AgNPs))

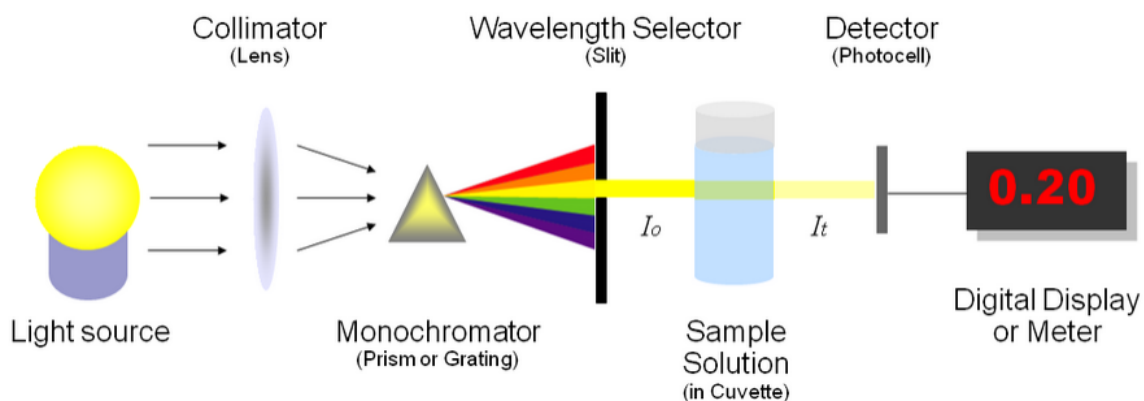
Na 25 g usitnjenih listova imele dodano je 180 ml metanola. Smjesa metanola i usitnjene biljke ostavljena je da stoji 72 sata, potom je profiltrirana (Whatman No.1), a dobiveni filtrat je ostavljen u digestoru sve dok sav metanol nije ispario. Na metanolni ekstrakt je pri temperaturi od 25 °C dodano 40 ml 0.01 mol dm<sup>-3</sup> AgNO<sub>3</sub> nakon čega je dodatkom 0.2 mol dm<sup>-3</sup> otopine NaOH pH vrijednost korigirana s početnog pH= 6,5 na pH=8,5. Priređena su dva uzorka, jedan pH=6,5 i drugi pH=8,5.

U cilju dobivanja veće količine nanočestica (AgNPs, eng. *Silver Nanoparticles*), postupak je ponovljen pri čemu je nastali talog nakon dodatka AgNO<sub>3</sub> i stvaranja nanočestica centrifugiran, nekoliko puta ispran deioniziranom vodom, osušen na zraku, a potom podvrgnut daljnjim analizama (FT-IR, PXRD). Ispitana je i sposobnost razlaganja boje dobivenih čestica na vodenoj otopini metilenskog modrila.

### 2.3. UV-Vis spektroskopija

Praćenje razgradnje ultraljubičastog i vidljivog zračenja u proučavanom uzorku (UV/VIS spektroskopija) je nerijetko upotrebljavana spektrofotometrijska tehnika za mjerenje koncentracije otopljenih tvari koje su uzrok obojenja otopina. Spektrofotometrija je metoda kojom se mjeri koliko kemijska tvar apsorbira svjetlost mjerenjem intenziteta svjetlosti dok snop svjetlosti prolazi kroz otopinu uzorka. Osnovno načelo je da svaki spoj apsorbira ili propušta svjetlost u određenom rasponu valnih duljina. Ovo se mjerenje također može koristiti za mjerenje količine poznate kemijske tvari. Spektrofotometrija je jedna od najkorisnijih metoda kvantitativne analize u raznim područjima kao što su kemija, fizika, biokemija, materijalno i kemijsko inženjerstvo te kliničke primjene. U biokemiji se, primjerice, koristi za određivanje reakcija kataliziranih enzimima. [13]. Spektrofotometar je instrument koji mjeri količinu fotona (intenzitet svjetlosti) razgrađenih nakon prolaska kroz otopinu uzorka. Sa spektrofotometrom se isto tako može odrediti količina poznate kemijske tvari mjerenjem intenziteta detektirane svjetlosti.

Na slici 2 su prikazani osnovni dijelovi spektrofotometra. Sastoji se od izvora svjetlosti, kolimatora, monokromatora, selektora valne duljine, spremnika za uzorke, detektora zračenja i pretvornika i procesora signala i uređaja za njegovo očitavanje.



**Slika 2:** Osnovni dijelovi UV-Vis spektrofotometra

*Izvor: [10]*

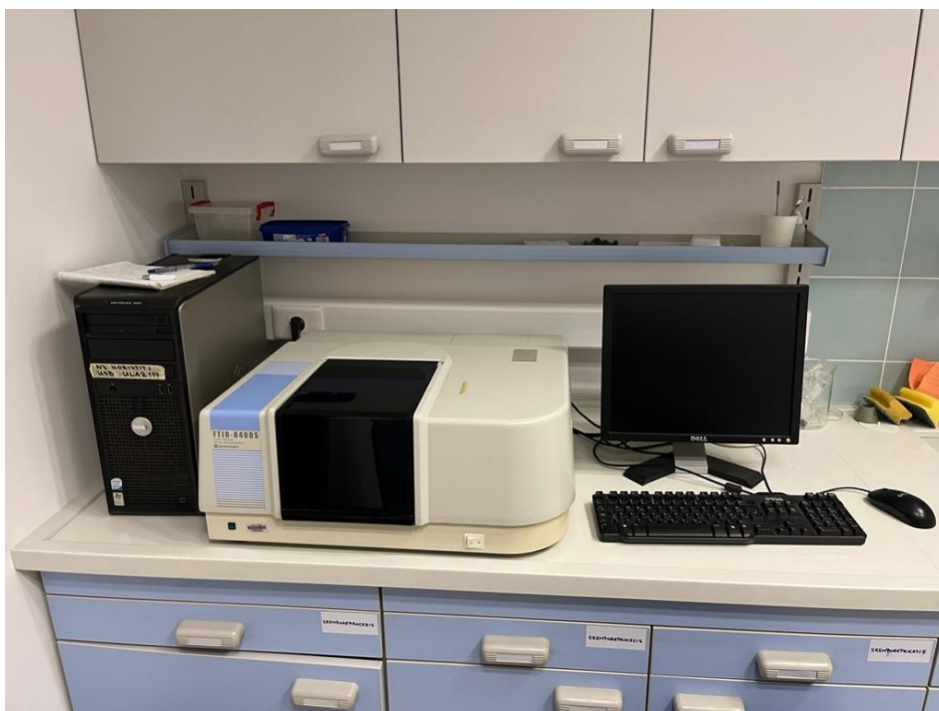


**Slika 3:** UV-Vis spektrofotometar

*Izvor: Privatna arhiva autora*

#### 2.4. FT-IR spektroskopija (eng. *Fourier – transform infrared spectroscopy*)

Infracrvena spektroskopija s Furierovom transformacijom (FT-IR) predstavlja brzu i neinvazivnu metodu koja omogućava određivanje kemijskih značajki istraživanih uzoraka. Ujedno, omogućava identifikaciju funkcionalnih skupina pružajući nam važne informacije o spojevima prisutnim u uzorku. Metoda FTIR (eng. *Fourier transform infrared spectroscopy*) nastala je kombinacijom IR spektroskopije i metodom Fourier-ovih matematičkih transformacija koje se koriste u obradi podataka. Apsorpcijom infracrvenog zračenja može doći do vibracije i/ili rotacije molekule. Unutar područja funkcionalnih skupina ( $4000 - 400 \text{ cm}^{-1}$ ) nalazi se za svaku molekulu specifično područje otiska prsta (eng. *Fingerprint region*) ( $1400 - 400 \text{ cm}^{-1}$ ). Rezultate mjerenja moguće je grafički prikazati kao ovisnost apsorbancije ili transmitancije o valnom broju. Interpretacijom dobivenih spektara moguće je potvrditi prisustvo funkcionalnih skupina u uzorcima i procijeniti kvalitetu uzorka npr., u smislu njegove ljekovitosti. U ovome radu uzorci su analizirani u rasponu od  $400$  do  $4000 \text{ cm}^{-1}$ . Za snimanje spektara  $3 \text{ mg}$  uzorka metanolnog ekstrakta imele, a potom i dobivenih nanočestica pomiješano je s  $100 \text{ mg}$  kalijeva bromida (KBr). Snimanje se izvodilo na sobnoj temperaturi, korak je iznosio  $2 \text{ cm}$ , a praćena je apsorbancija. Napravljena je korekcija bazne linije. Podatci su prikupljeni i obrađeni računalnim programom IR Solution 5. [14]



**Slika 4:** FTIR-8400s Shimadzu

*Izvor: Privatna arhiva autora*

## 2.5. Rendgenska difrakcija na prahu (eng. *Powder X-ray diffraction, PXRD*)

$x$  -zrakama pripada područje elektromagnetskog spektra od  $10^{-3}$  do 10 nm. Otkrivene su 1895. godine i zbog izrazito dobrog prodiranja u materijal neprekidno se koriste u svrhu istraživanja različitih materijala. Metoda se zasniva na Braggovom zakonu:

$$n\lambda = 2d\sin\theta \quad (1)$$

$\theta$ - kut između upadne i kristalografske ravnine

$\lambda$ -valna duljina

$d$ -udaljenost među ravninama

PXRD (eng. Powder X-ray diffraction) metoda je koja služi za proučavanje kristaliničnih prahova na temelju njegovog međudjelovanja s rendgenskim zrakama.

Temelji se na fenomenu difrakcije rendgenskih zraka na periodično raspoređenim atomima u kristalu. Kada snop rendgenskih zraka prolazi kroz kristal, dolazi do interferencije između zraka koji se odbijaju od atomskih ravni unutar kristala. Ova interferencija rezultira difrakcijskim uzorcima koji se detektiraju kao serija intenziteta difraktiranih zraka pod određenim kutovima.

PXRD je posebno koristan za identifikaciju i karakterizaciju nepoznatih kristalnih materijala, kao i za praćenje promjena u kristalnoj strukturi uzorka pod utjecajem različitih uvjeta, kao što su temperatura, tlak ili vlaga. Također se koristi za kontrolu kvalitete materijala u industriji, kao i u razvoju novih materijala s određenim svojstvima.

Ovo je važna tehnika koja omogućava detaljno proučavanje kristalne strukture materijala. Njezina sposobnost brze analize i visoke rezolucije čini je nezamjenjivim alatom u mnogim područjima znanosti i tehnologije. [15]



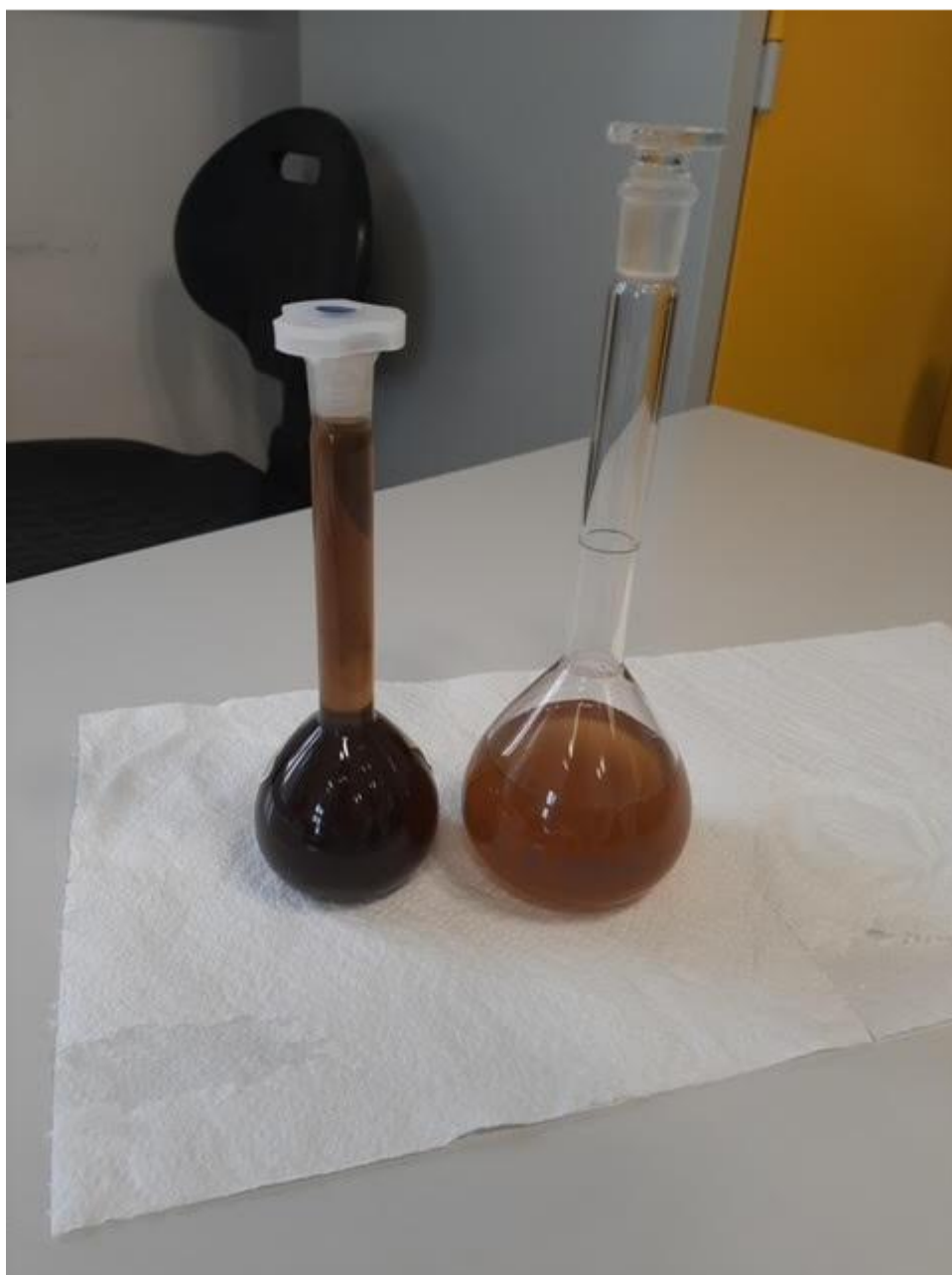


**Slika 5:** PXRD spektrofotometar

*Izvor: Privatna arhiva autora*

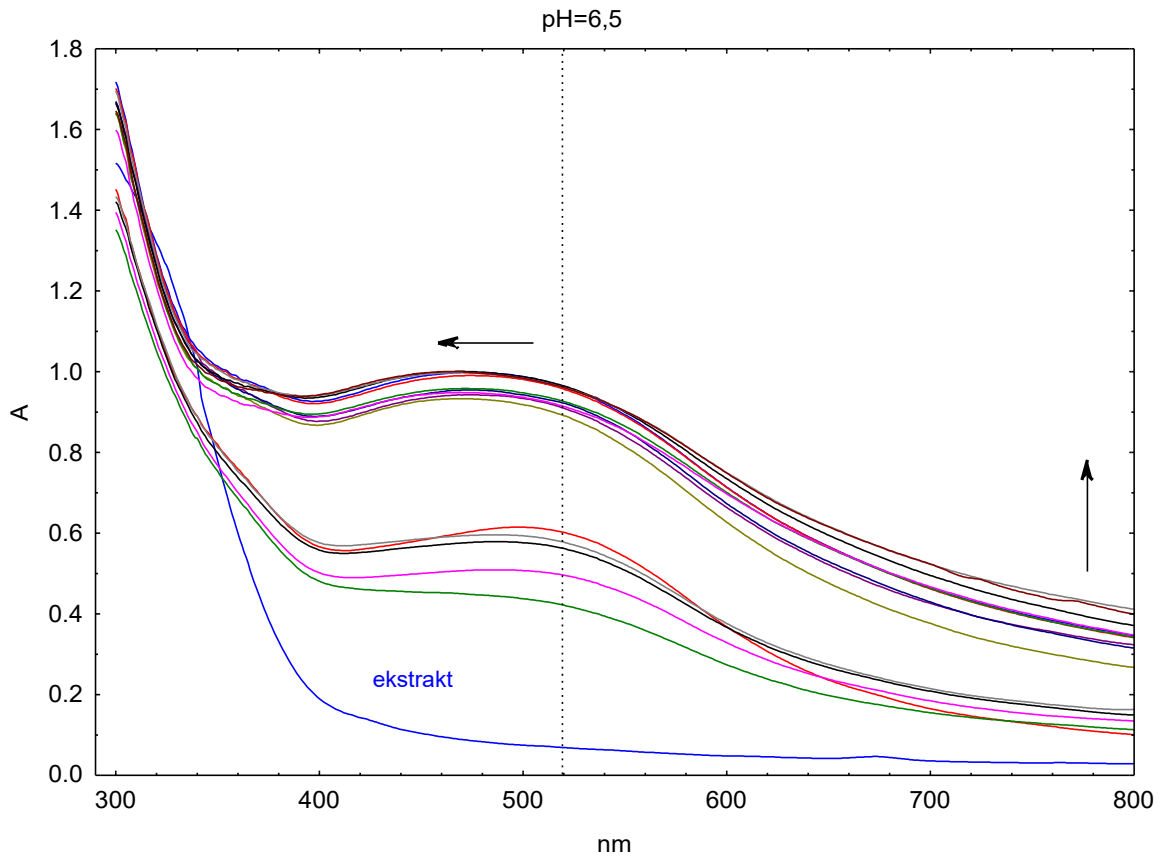
### 3. REZULTATI I RASPRAVA

Na slici 6 prikazana je otopina ekstrakta neposredno nakon dodatka  $\text{AgNO}_3$  (desno) i nakon 60 minuta (lijevo). Sinteza nanočestica potvrđena je pojavom promjene boje iz žućkaste u tamno smeđu. Pojava tamno smeđe boje u do tada žućkastoj otopini pokazatelj je pojave nanočestica srebra, a javlja se kao rezultat fenomena SPR (eng. *Surface plasmon resonance*). [16]



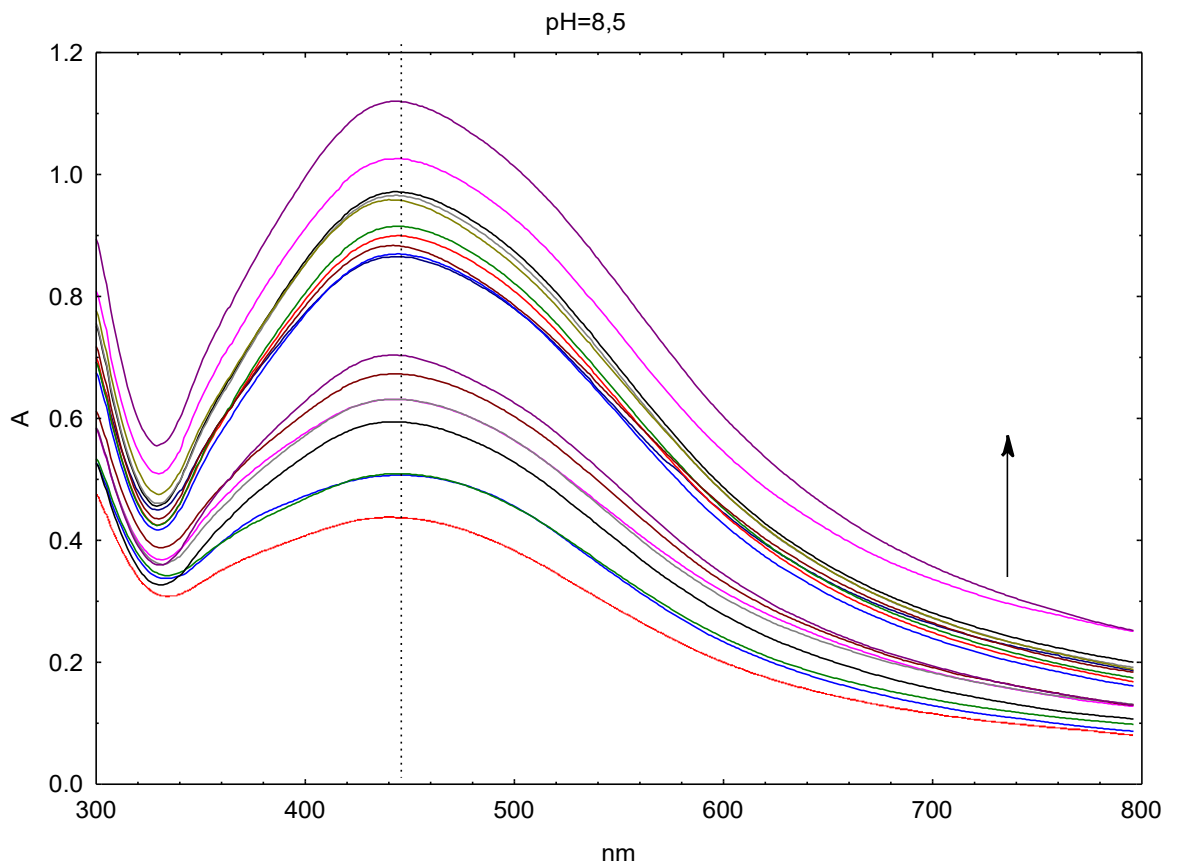
**Slika 6:** Otopina ekstrakta imele odmah nakon dodatka  $\text{AgNO}_3$  (na slici desno) i nakon 60 minuta (na slici lijevo)

Na slici 7 prikazani su UV-Vis spektri nanočestica srebra pri pH=6,5. Vidljivi su slabo izraženi apsorpcijski maksimumi (pri cca  $\lambda = 520$  ) kod kojih iako se s protekom vremena pomiču prema manjim valnim duljinama (hipsokromni pomak), ne dolazi do promjene oblika u jasnije izražene. Radi usporedbe prikazan je i apsorpcijski spektar ekstrakta imele na kojem nije vidljiv karakteristični SPR maksimum.



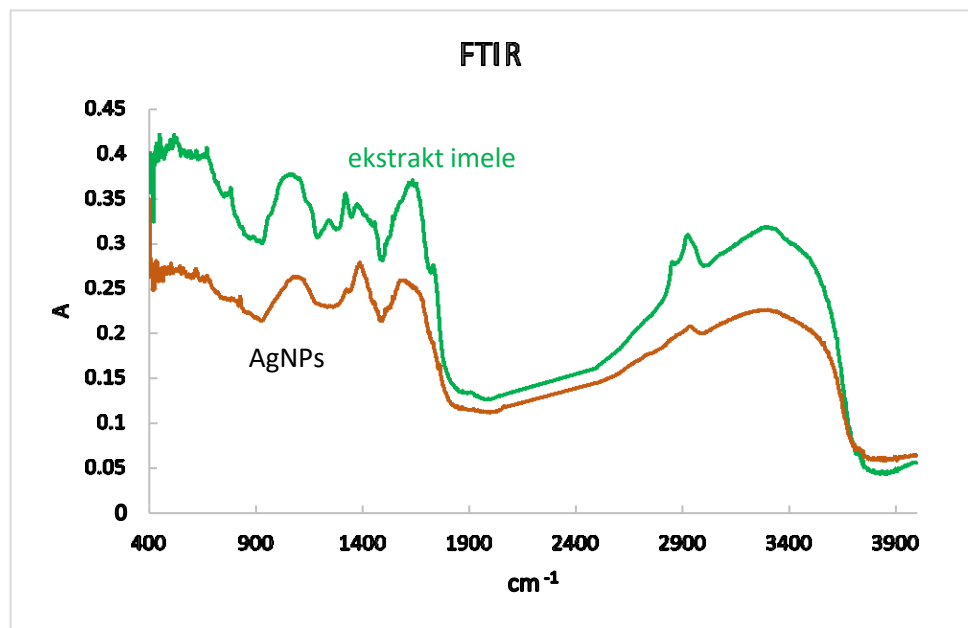
**Slika 7:** Rezultat UV/VIS spektroskopije (pH=6,5)

Maksimumi , veličina i oblik nanočestica u ovom slučaju, znatno su ovisili o pH vrijednosti Na slici 8 prikazani su UV-Vis spektri pri pH=8,6. Jasno izraženi apsorpcijski maksimum koji se na početku reakcije pojavljuje pri cca.  $\lambda = 440$  nm, pomiče se protekom vremena prema kraćim valnim duljinama (plavi pomak) što ukazuje na nastanak manjih nanočestica srebra. Rezultati UV-Vis spektroskopije ukazuju na činjenicu da pH vrijednosti manje od 7 imaju nepovoljan utjecaj na biogenu sintezu nanočestica srebra. Moguće je da do smanjenja brzine redukcije u kiselom mediju dolazi zbog denaturacije i/ili degradacije bioaktivnih komponenata prisutnim u biljnom ekstraktu. Lužnati uvjeti imaju povoljniji utjecaj na sintezu nanočestica što je moguće objasniti boljom raspoloživošću bio-reducensa do koje dolazi uslijed promjene vrijednosti konstante disocijacije funkcionalnih skupina prisutnih u biomolekulama koje sudjeluju u redukciji  $\text{Ag}^+$  iona. [17,18]



**Slika 8:** Rezultat UV/VIS spektroskopije pri pH=8,5

Rezultati FT-IR spektroskopije prikazani su na slici 9. Snimana je apsorbancija u području od 500 do 4000  $\text{cm}^{-1}$ . Na spektru je vidljiv velik broj vrpca što ukazuje na kompleksnu prirodu biološkog materijala i raznolikost komponenata u uzorku (polisaharidi, amidi, lipidi, proteini). Maksimumi vrpca pri 3300  $\text{cm}^{-1}$ , 2939  $\text{cm}^{-1}$ , 2854  $\text{cm}^{-1}$ , 1732  $\text{cm}^{-1}$ , 1630  $\text{cm}^{-1}$ , 1325  $\text{cm}^{-1}$ , 1251  $\text{cm}^{-1}$ , 1060  $\text{cm}^{-1}$  i 780  $\text{cm}^{-1}$  (koji odgovaraju vibracijama istezanja O-H veza alkohola ili N-H amina, C-H veza alkana, C=O skupina karboksilnih kiselina ili estera, N-C=O amida i proteinskih veza, CH<sub>2</sub> veza alkana karboksilnih kiselina estera ili etera, C-N veza alifatskih amina ili alkohola i deformacija N-H veza amina), po položaju i intenzitetima razlikuju se od onih snimljenih nakon reakcije s AgNO<sub>3</sub>. Iz slike br. 9 vidljivo je da dolazi do pomaka, smanjenja intenziteta i nestajanja vrpca, što upućuje na to da bi u procesu sinteze nanočestica učešće mogle imati karboksilne, hidroksilne i amidne skupine.



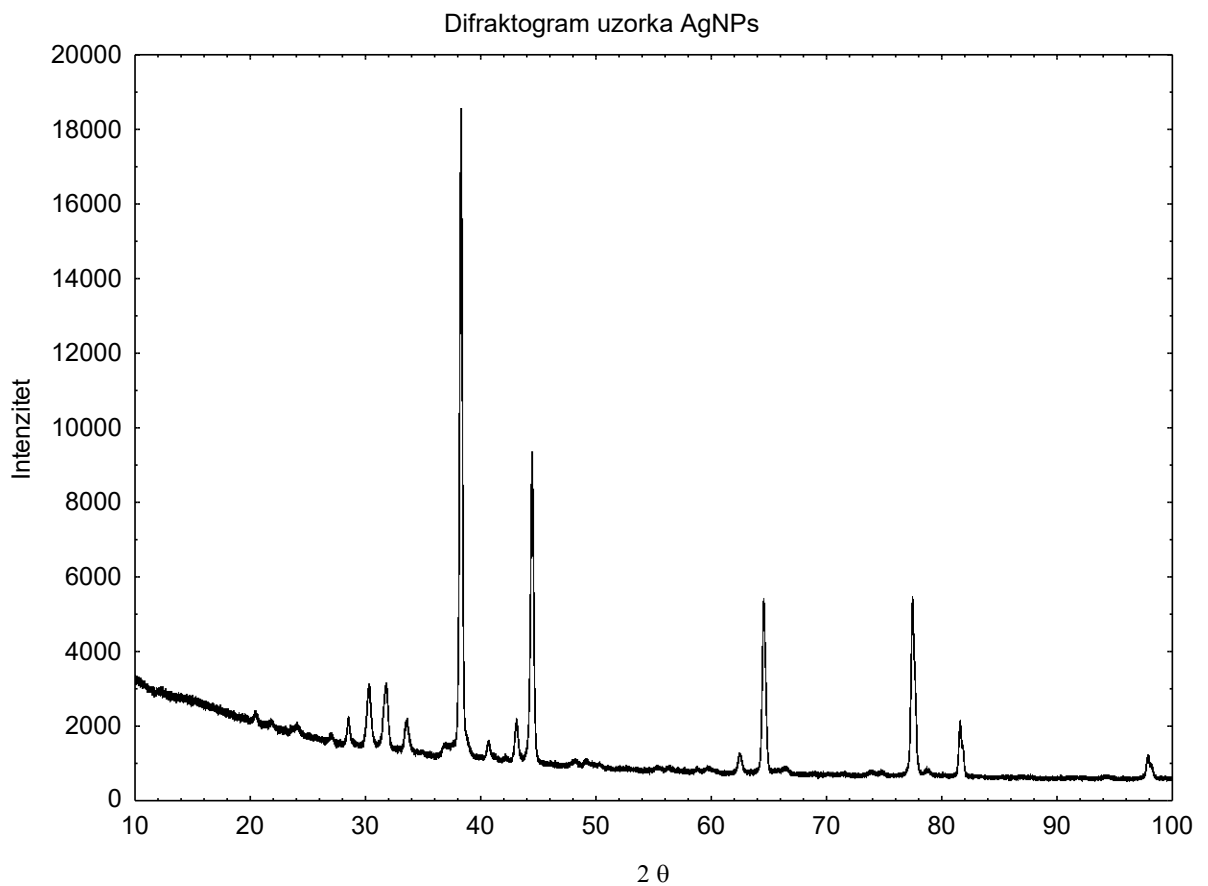
**Slika 9:** Rezultat FT-IR spektroskopije ekstrakta imele i sintetiziranih nanočestica (AgNPs)

Kristalinična struktura nanočestica potvrđena je rendgenskom analizom na prahu (slika 10). Četiri jasno izražena difrakcijska maksimuma pri vrijednostima  $2\theta \approx 38^\circ$ ,  $44^\circ$ ,  $64^\circ$  i  $77^\circ$  indeksirani su kao (111), (200), (220) i (311) kristalografske

ravnine plošno centrirane kubične strukture (fcc) srebra. Pomoću Sherrer-ove jednačbe (2) izračunata je prosječna veličina kristalita:

$$L = \frac{K\lambda}{\beta \cos(\theta)} \quad (2)$$

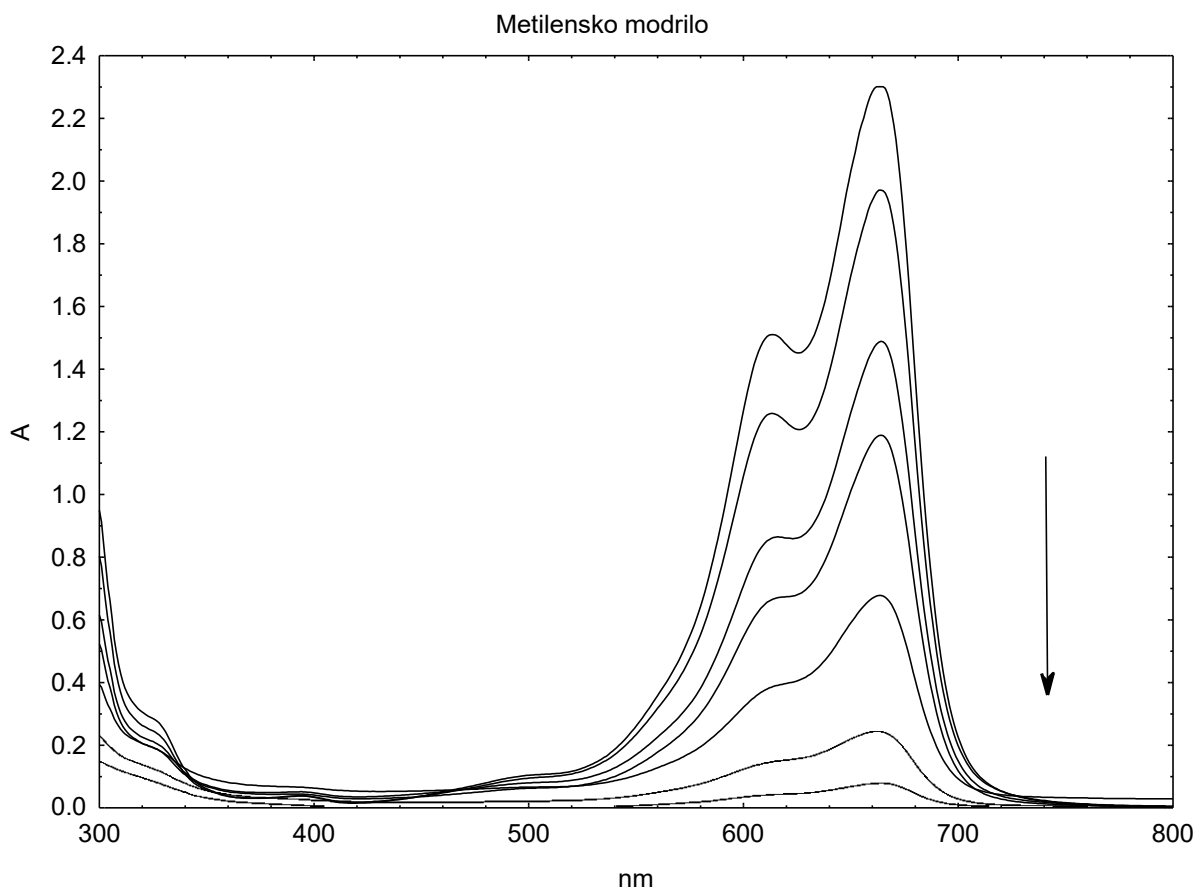
gdje L označava veličinu kristalita (nm),  $K$  je faktor oblika,  $\lambda$  je 1,5406 nm, a kut  $\theta$  i širina na polovici visine vrha ( $\beta$ ) očitane su iz difraktograma (slika 10).



**Slika 10:** Difraktogram uzorka AgNPs

Prosječna veličina kristalita izračunata uz pomoć Sherrer-ove formule (2) iznosila je 21 nm.

Katalitička aktivnost sintetiziranih nanočestica srebra ( $c=1.5$  mg/L) ispitana je u vodenoj otopini metilenskog modrila pod utjecajem sunčeve svjetlosti u periodu između 10 h i 14 h tijekom srpnja 2022. godine. (Slika 11).



**Slika 11:** Katalitička aktivnost nanočestica srebra na otopini metilenskog modrila

Rezultat eksperimenta ukazuje na dobru katalitičku aktivnost nanočestica srebra. Do potpunog smanjenja intenziteta praćenog maksimuma (pri 662 nm) došlo je nakon 240 minuta praćenja.

U ovome radu u sintezi nanočestica srebra korišteni su listovi ubrani na području Aljmaša iz razloga jer su (slično onima s područja Huma, Pazina i Petrijevac) pokazali visoku antioksidacijsku aktivnost, a sadržavali su i veće koncentracije polifenola, karotinoida i ukupnog klorofila u odnosu na uzorke s područja Kopačkog Rita, Voćina, Karlovca i Bjelovara. [19] Stoga smo između uzoraka iz Petrijevac i Aljmaša, odabrali radi lakše dostupnosti, ove druge. Uz dodatne tehnike mjerenja (TEM, SEM itd.) u nastavku istraživanja nanočestica dobivenih

iz ekstrakata biljke imele, bilo bi potrebno ispitati i njihova antibakterijska svojstva.

## ZAKLJUČAK

U ovom je radu uspješno provedena metoda zelene sinteze nanočestica srebra iz metanolonog ekstrakta imele kao reducirajućeg i stabilizirajućeg agensa pri  $T=25\text{ }^{\circ}\text{C}$  i  $\text{pH}=8,5$ . Isti postupak sinteze, ali učinjen pri izvornoj vrijednosti  $\text{pH}$  ekstrakta imele ( $\text{pH}=6,5$ ) nije se pokazao dovoljno uspješan. Na temelju rezultata FT-IR spektroskopije moguće je zaključiti da u procesu sinteze nanočestica srebra iz ekstrakta imele učestvuju karboksilne, hidroksilne i amino skupine ekstrakta. Sintetizirane nanočestice pokazale su dobru katalitičku aktivnost u procesu razgradnje berlinskog modrila, a veličina kristalita iznosila je 21 nm. Potrebna su daljnja istraživanja na području sinteze nanočestica iz različitih ekstrakata i različitih dijelova biljke imele, kao i istraživanja njihovih antibakterijskih svojstava.



## POPIS LITERATURE

- [1] Singh, B. N., Saha, C., Galun, D., Upreti, D.K., Bayry, J., Kaveri, S. V. (2016.): European *Viscum album*: a potent phytotherapeutic agent with multifarious phytochemicals, pharmacological properties and clinical evidence. *RSC Adv.* 6, 23837 – 23857.
- [2] Haytham M. M. Ibrahim (2015.): Green synthesis and characterization of silver nanoparticles using banana peel extract and their antimicrobial activity against representative microorganisms. *Journal of Radiation Research and Applied Sciences.* Vol. 8, 265 – 275.
- [3] Marvibaigi, M., Supriyanto, E., Amini, N., Abdul Majid, F. A., Jaganathan, S. K. (2014.): Preclinical and clinical effects of mistletoe against breast cancer. *Biomed. Res. Int.* 2014.
- [4] Galinović, T. (2017.): Zelena sinteza nanočestica srebra i njihovo antibakterijsko djelovanje. Završni rad. Sveučilište J. J. Strossmayera u Osijeku. Dostupno na: <https://zir.nsk.hr/islandora/object/bioos:221/preview>
- [5] Shah, S. (2021.): Comparative study of silver and gold nanoparticles of *Viscum album* and its antimicrobial activity. *Journal of Engineering and technology.* Vol. 10. Bacha Khan University Charsadda, Pakistan.
- [6] Flieger, J., Franus, W., Panek, R., [Szymańska-Chargot](#), M., Flieger, W., Flieger, M., [Kołodziej](#), P. (2021.): Green Synthesis of Silver Nanoparticles Using Natural Extracts with Proven Antioxidant Activity. 26 (16): 4986. National Library of Medicine.
- [7] Tahmasebi Zade Damirchi, B., Rostami Charati, F., Akbari, R., Daneshvar, A. (2020.): Green synthesis of silver nanoparticles using the aqueous extract of *Viscum album* Fruit. *Nanochem Res.* 5 (1):104 – 110.
- [8] Idžojić, M., Glavaš, M., Zebec, M., Pernar, M., Bradić, R., Husak, D. (2006.): „Žuta imela (*Loranthus europaeus* Jacq.) i bijela imela (*Viscum album* L.) na području uprave šuma podružnice Bjelovar“, *Šumarski list* br. 3 – 4, 101 – 111.
- [9] Gelenčir, J., Gelenčir, J. (1991.): Atlas ljekovitog bilja. Prosvjeta, Zagreb.

[10] Bajt, P. (2018.): Lambert – Beerov zakon. Završni rad. Sveučilište J. J. Strossmayera u Osijeku.

Dostupno:

<https://repositorij.kemija.unios.hr/islandora/object/kemos%3A260/datastream/PDF/view>

[11] Saleh, I., Maigandi, S. A., Muhammad, I. H., Abubakar, M. I., Ahehu, A. U. (2015.): Uses and Chemical Composition of Mistletoe (*Viscum album*) Obtained From Different Species of Trees. Research Gate. Vol. 2, 8 – 12.

[12] Steiner, R., Wegman, I. (2018.): Umijeće liječenja – pomicanje granica: temelj za pomicanje granica umijeća liječenja prema duhovno – znanstvenim spoznajama. Antropozofsko društvo „Marija Sofija“. Zagreb.

[13] Sabo, N. (2021.): Primjena spektrofotometrije u učenju Biologije i ostalih predmeta prirodoslovnog područja. *Educatio biologiae*, (7.), 70-81. Odjel za biologiju, Sveučilište J. J. Strossmayera u Osijeku.

[14] Günzler, H., Gremlich, H. U. (2006): Uvod u infracrvenu spektroskopiju. Školska knjiga, Zagreb.

[15] Kurajica, S. (2020.): Rendgenska difrakcija na prahu. Hrvatsko društvo kemijskih inženjera i tehnologa i Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.

[16] Sharma, K, Guleria, S i Razdan, V. K. (2019.): Green synthesis of silver nanoparticles using *Ocimum gratissimum* leaf extract: characterization, antimicrobial activity and toxicity analysis. [\*Journal of Plant Biochemistry and Biotechnology\*](#). Vol. 29, 213 – 224.

[17] Tripathy, A., Raichur, A., Chandrasekaran, N., Prathna, T. C. i Mukherjee, A. (2010.): Process variables in biomimetic synthesis of silver nanoparticles by aqueous extract of *Azadirachta indica* (Neem) leaves. [\*Journal of Nanoparticle Research\*](#) 12(1), 237 – 246.

[18] Sangaonkar, G. M., Pawar, K. D. (2018.): *Garcinia indica* mediated biogenic synthesis of silver nanoparticles with antibacterial and antioxidant activities. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*. Vol. 164, 210 – 217.

[19] Lujanac, J.(2021) Procjena biokemijskih parametara fiziološkog stanja imele (Viscum Album), Diplomski rad. Sveučilište J. J. Strossmayera u Osijeku

Dostupno na: <https://repositorij.kemija.unios.hr/islandora/object/kemos:481>

## POPIS SLIKA

<b>Slika 1:</b> Bijela imela ( <i>Viscum album L.</i> ) .....	3
<b>Slika 2:</b> Osnovni dijelovi UV-Vis sprektrofotometra .....	7
<b>Slika 3:</b> UV-Vis spektrofotometar .....	8
<b>Slika 4:</b> FTIR-8400s Shimadzu.....	10
<b>Slika 5:</b> PXRD spektrofotometar .....	12
<b>Slika 6:</b> Otopina ekstrakta imele odmah nakon dodatka $\text{AgNO}_3$ (na slici desno) i nakon 60 minuta (na slici lijevo) .....	13
<b>Slika 7:</b> Rezultat UV/VIS spektroskopije (pH=6,5) .....	14
<b>Slika 8:</b> Rezultat UV/VIS spektroskopije pri pH=8,5 .....	15
<b>Slika 9:</b> Rezultat FT-IR spektroskopije ekstrakta imele i sintetiziranih nanočestica (AgNPs) .....	16
<b>Slika 10:</b> Difraktogram uzorka AgNPs .....	17
<b>Slika 11:</b> Katalitička aktivnost nanočestica srebra na otopini metilenskog modrila.....	22