

PRIDOBIVANJE ČISTEGA ZLATA IZ ČIPOV ODPADNIH KARTUŠ

Aplikativni inovacijski predlogi in projekti

Avtorica: Špela Vnuk, K4a

Mentorica: Mihela Jug, uni. dip. inž. kem. tehnologije

Mestna občina Celje, Mladi za Celje
Celje, januar 2025

IZJAVA*

Mentorica Mihela Jug v skladu z 20. členom Pravilnika o organizaciji mladinske raziskovalne dejavnosti »Mladi za Celje« Mestne občine Celje, zagotavljam, da je v raziskovalni nalogi z naslovom Pridobivanje etanola iz odpadne žagovine, katere avtorica je Špela Vnuk:

- besedilo v tiskani in elektronski obliki istovetno,
- pri raziskovanju uporabljeno gradivo navedeno v seznamu uporabljene literature,
- da je za objavo fotografij v nalogi pridobljeno avtorjevo dovoljenje in je hranjeno v šolskem arhivu,
- da sme Osrednja knjižnica Celje objaviti raziskovalno nalogo v polnem besedilu na knjižničnih portalih z navedbo, da je raziskovalna naloga nastala v okviru projekta Mladi za Celje,
- da je raziskovalno nalogo dovoljeno uporabiti za izobraževalne in raziskovalne namene s povzemanjem misli, idej, konceptov oziroma besedil iz naloge ob upoštevanju avtorstva in korektnem citiranju,
- da smo seznanjeni z razpisni pogoji projekta Mladi za Celje.

Celje, 2. 4. 2025



Podpis mentorja

Podpis odgovorne osebe

*

POJASNILO

V skladu z 20. členom Pravilnika raziskovalne dejavnosti »Mladi za Celje« Mestne občine Celje je potrebno podpisano izjavo mentorja (-ice) in odgovorne osebe šole vključiti v izvod za knjižnico, dovoljenje za objavo avtorja (-ice) fotografskega gradiva, katerega ni avtor (-ica) raziskovalne naloge, pa hrani šola v svojem arhivu.

KAZALO

KAZALO	3
KAZALO SLIK	4
KAZALO TABEL	5
ZAHVALA	6
POVZETEK	7
ABSTRACT	7
1 UVOD	8
2 TEORETIČNI DEL	9
2.1 TEORETIČNE OSNOVE VZORCA IN PRODUKTA	9
2.2 TEORETIČNE OSNOVE METODE DELA	13
2.2.1 MERJENJE pH:	13
2.2.2 NUČIRANJE POD ZNIŽANIM TLAKOM	13
2.2.3 NEVTRALIZACIJA ali DELNA NEVTRALIZACIJA	14
2.2.4 REDUKCIJA	15
2.2.5 X-RF SPEKTOFOTOMETER	15
2.2.6 KUPELACIJA	16
2.2.7 KARATI	16
3 PRAKTIČNI DEL	17
3.1 INVENTAR IN KEMIKALIJE	17
3.2 VARNOST PRI DELU IN SKRB ZA OKOLJE	18
3.3 POSTOPKI DELA PO DNEVIH	19
3.3.1 PRVI DAN	19
3.3.2 DRUGI DAN	23
3.3.3 TRETJI DAN	25
3.3.4 ČETRTEI DAN	27
3.4 ANALIZA ZLATA S KUPELACIJO	29
4 STROŠKI	31
5 MERITVE IN REZULTATI	32
6 ZAKLJUČEK	33
7 LITERATURA VSEBINE IN LITERATURA SLIK	34
8 PRILOGE	35

KAZALO SLIK

Slika 1: Kartuše (Vir: lasten, 2024)	19
Slika 2: Čipi (Vir: lasten, 2024)	19
Slika 3: Plinska žarilna peč (Vir: lasten, 2024)	19
Slika 4: Čipi v žarilni peči (Vir: lasten, 2024)	19
Slika 5: Čipi v žarilnem lončku (Vir: lasten, 2024)	19
Slika 6: Gorenje z dokazom prisotnosti bakra (Vir: lasten, 2024)	19
Slika 7: Dokaz prisotnosti litija ali stroncija (Vir: lasten, 2024)	20
Slika 8: Konec žarjenja (Vir: lasten, 2024)	20
Slika 9: Vsebnost čipa (Vir: lasten, 2024)	20
Slika 10: Čipi v čaši (Vir: lasten, 2024)	20
Slika 11: Čipi, voda in dušikova (V) kislina (Vir: lasten, 2024)	20
Slika 12: Čipi med vretjem (Vir: lasten, 2024)	20
Slika 13: Nučiranje pod znižanim tlakom (Vir: lasten, 2024)	21
Slika 14: Bakrov nitrat (Vir: lasten, 2024)	21
Slika 15: Trdni delci na filter papirju (Vir: lasten, 2024)	21
Slika 16: X-RF spektrofotometer (Vir: lasten, 2024)	22
Slika 17: Izpisek iz spektrofotometra (Vir: lasten, 2024)	22
Slika 18: Čipi, HCl, dušikova (V) kislina (Vir: lasten, 2024)	23
Slika 19: Barvna tekočina (Vir: lasten, 2024)	23
Slika 20: Med vrenjem (Vir: lasten, 2024)	23
Slika 21: Nučiranje pod znižanim tlakom št. 2 (Vir: lasten, 2024)	24
Slika 22: Trdni delci na filter papirju (Vir: lasten, 2024)	24
Slika 23: Filtrat (Vir: lasten, 2024)	24
Slika 24: Zlatotopka (Vir: lasten, 2024)	25
Slika 25: pH meter (Vir: lasten, 2024)	25
Slika 26: pH lističi (Vir: lasten, 2024)	25
Slika 27: Redukcija (Vir: lasten, 2024)	26
Slika 28: Spreminjanje barve (Vir: lasten, 2024)	26
Slika 29: Usedlina (Vir: lasten, 2024)	26
Slika 30: Številka žarilnega lončka (Vir: lasten, 2024)	27
Slika 31: Prah zlata v žarilnem lončku (Vir: lasten, 2024)	27
Slika 32: Prah (Vir: lasten, 2024)	27
Slika 33: Žarjenje (Vir: lasten, 2024)	28
Slika 34: Tehtanje (Vir: lasten, 2024)	28
Slika 35: Analiza čistoče zlata (Vir: lasten, 2024)	28
Slika 36: Zlati tulec (Viri: MIRS CE, 2025)	30
Slika 37: Žarjenje zlatega tulca (Viri: MIRS CE, 2025)	30
Slika 38: Žarilni lonček s kroglico zlata (Viri: MIRS CE, 2025)	30
Slika 39: Rastapljanje v dušikovi (V) kislini (Viri: MIRS CE, 2025)	30
Slika 40: Zvitek (Viri: MIRS CE, 2025)	30
Slika 41: Analiza in tehtanje (Viri: MIRS CE, 2025)	30
Slika 42: Analiza zlata (Viri: lasten, 2024)	35
Slika 43: Analiza čipov po zlatotopki (Viri: lasten, 2024)	35
Slika 44: Analiza čipa (Viri: lasten, 2024)	36
Slika 45: Analiza iz MIRS CE (Viri: MIRS CE, 10. 3 2025)	36

KAZALO TABEL

<i>Tabela 1: Inventar</i>	17
<i>Tabela 2: Kemikalije</i>	17
<i>Tabela 3: Kemikalije – 1. dan</i>	22
<i>Tabela 4: Inventar – 1. dan</i>	22
<i>Tabela 5: Kemikalije – 2. dan</i>	24
<i>Tabela 6: Inventar – 2. dan</i>	24
<i>Tabela 7: Kemikalije – 3. dan</i>	26
<i>Tabela 8: Inventar – 3. dan</i>	26
<i>Tabela 9: Kemikalije – 4. dan</i>	28
<i>Tabela 10: Inventar – 4. dan</i>	28
<i>Tabela 11: Cena</i>	31
<i>Tabela 11: Masa</i>	32
<i>Tabela 12: Razmerje snovi</i>	32
<i>Tabela 13: Čistost</i>	32

ZAHVALA

Za uspešno izvedbo raziskovalne naloge bi se želela najprej zahvaliti gospodu Mojmirju Lavbiču iz podjetja Bitea, d. o. o., za vse potrebne informacije za izvedbo raziskovalne naloge in potreben material za izdelavo le-te.

Zahvalila bi se tudi gospe Valentini Pilih iz Urada Republike Slovenije za meroslovje, saj mi je pomagala pri natančni analizi zlata.

Še posebej bi se rada zahvalila mentorici Miheli Jug za vso pomoč pri izvedbi raziskovalne naloge in podporo.

POVZETEK

Elektronski odpadki predstavljajo vse večji okoljski izziv, hkrati pa vsebujejo dragocene materiale, kot je zlato, ki ga je mogoče reciklirati. Med različnimi komponentami elektronskih naprav, ki vsebujejo dragocene kovine, so tudi čipi iz kartuš tiskalnikov. Ti čipi pogosto vsebujejo majhne količine zlata, ki se uporabljajo zaradi njegove visoke prevodnosti in odpornosti proti koroziji ter oksidaciji, vendar le-ta pogosto konča med odpadki – kljub svoji visoki vrednosti. Zaradi vse večjega zanimanja za recikliranje dragocenih kovin iz elektronskih odpadkov se postavlja vprašanje, kako učinkovito in okolju prijazno pridobiti čisto zlato iz teh komponent.

Recikliranje zlata iz elektronskih komponent je lahko ekonomsko in ekološko smiselno, vendar zahteva natančno izbiro metod ter upoštevanje okoljskih predpisov.

Cilj raziskave je bil, da bomo raziskali možnosti pridobivanja čistega zlata iz 500 čipov kartuš tiskalnikov z uporabo zlatotopke kemijskih metod in postopkov. Osredotočili se bomo na eksperimentalne metode, s katerimi lahko zlato učinkovito ločimo od ostalih snovi. Analizirali smo jih z metodo, ki je vključevala različne kemijske postopke, kot so raztapljanje v kislinah in mehanske postopke, kot je ločevanje materialov ter termične postopke, kot je segrevanje.

Ključne besede: kartuše, čipi, zlato.

ABSTRACT

Electronic waste represents an increasing environmental challenge; nevertheless, it also contains valuable materials such as gold, which can be recycled. Printer cartridges are one of electronic devices with a chip containing precious metals more specifically small amounts of gold, which is used due to its high conductivity and resistance to corrosion and oxidation. It, however, often ends up as waste despite its high value. Due to the growing interest in recycling precious metals from electronic waste, the question arises of how to efficiently and environmentally friendly obtain pure gold from these components. Although recycling gold from electronic components can be economically and ecologically sensible, it still requires careful selection of methods and adherence to environmental regulations. This research paper will be focused on obtaining pure gold from printer cartridge chips. The process was analyzed by a single method, which included various chemical processes, such as: dissolution in acids; mechanical processes - more specifically material separation, and thermal processes namely heating.

Keywords: cartridges, chips, gold.

1 UVOD

Zlato je že stoletja ena izmed najbolj cenjenih in dragocenih kovin, ki se uporablja v različnih panogah, od nakita do elektronike. V sodobnem času se zlato pogosto nahaja v elektronskih napravah, saj ima odlične prevodne lastnosti in odpornost proti koroziji. Kljub temu pa večina ljudi ne pomisli, da se ta dragocena kovina skriva tudi v odpadnih elektronskih komponentah, vključno s čipi, ki se nahajajo v kartušah tiskalnikov. Zaradi množične proizvodnje in hitrega tempa tehnološkega razvoja se elektronske naprave pogosto zavržejo, s tem pa konča v smeteh tudi zlato, ki bi ga bilo mogoče reciklirati ter ponovno uporabiti.

Znanstvene raziskave in tehnološki napredek so pokazali, da je mogoče s primernimi kemijskimi metodami učinkovito pridobiti čisto zlato iz elektronskih odpadkov. Postopek ločevanja zlata vključuje različne kemijske reakcije, pri katerih se zlato selektivno raztopi in nato loči od ostalih materialov. Eden izmed najpogosteje uporabljenih postopkov je uporaba kraljeve vode, zlatotopke, kot ji tudi rečemo (mešanica dušikove in klorovodikove kisline), ki zlato raztopi, nato pa se s pomočjo redukcijskih reakcij ponovno izloči v čisti obliki.

V raziskovalni nalogi bomo raziskali možnost pridobivanja čistega zlata iz čipov kartuš tiskalnikov z uporabo ustreznih kemijskih metod in postopkov. Osredotočili se bomo na eksperimentalne metode, s katerimi lahko zlato učinkovito ločimo od ostalih snovi.

Hipoteza: z uporabo ustreznih kemijskih metod in zlatotopke lahko pridobimo čisto zlato, ki se nahaja v čipih kartuš.

Cilj raziskave je dokazati iznajdljivost in učinkovitost postopka ter spodbuditi razmišljanje o bolj trajnostnem ravnanju z elektronskimi odpadki. S tem želimo prispevati k boljšemu razumevanju recikliranja dragocenih kovin in ozaveščati o pomenu odgovornega ravnanja z elektronskimi odpadki.

2 TEORETIČNI DEL

2.1 TEORETIČNE OSNOVE VZORCA IN PRODUKTA

2.1.1 ČIPI[1]

Za čipe iz kartuš je značilno, da omogočajo tiskalniku, da prepozna različne parametre kartuše. Ko kartušo vstavimo v tiskalnik, čip pošlje sledeče podatke o njej:

- tipi kartuše (npr. barvna ali črno-bela);
- zmogljivost kartuše (koliko strani lahko natisne, ko je popolnoma napolnjena);
- proizvajalec in serijska številka.

Tiskalnik uporablja te informacije za optimizacijo tiska in prepoznavanje pravih informacij uporabniku, kot je stanje črnila ali tonerja.

Ena ključnih nalog čipa je, da spremlja, koliko črnila ali tonerja je še v kartuši. Čip beleži količino natisnjenih strani, količino porabljenega črnila oz. tonerja in predvideva čas, ko bo kartuša prazna. Ko dosežemo določeno raven črnila, čip sproži opozorilo na zaslonu tiskalnika, da uporabniku sporoči, da je čas za zamenjavo kartuše.

Pomembno je, da ne gre za natančno merjenje količine črnila, temveč za spremljanje števila strani, ki so bile natisnjene, saj tiskalnik ne more vedno natančno izmeriti, koliko črnila je v kartuši. Čip lahko prav tako sproži opozorilo, če tiskalnik zazna nepravilnosti pri porabi črnila (npr. prekomerno hitro praznjenje).

Čip ima varnostno funkcijo, ki pomaga preprečiti uporabo neoriginalnih ali ponarejenih kartuš. Proizvajalci tiskalnikov pogosto vključijo tehnologijo, ki omogoča, da tiskalnik prepozna kartuše, ki niso bile izdelane za njihov specifični model. Če tiskalnik zazna, da čip ne ustreza njegovim zahtevam ali da je kartuša ponarejena, bo pogosto izdal napako in zavrnil njeno uporabo.

Poleg tega čip omogoča tudi sledenje, ali je bila kartuša napolnjena z novim črnilom, kar zmanjšuje možnost zlorabe s ponovno polnjenjem kartuše. V tem primeru tiskalnik pogosto zazna, da kartuša ni originalna, saj se čip ne bo posodobil ob polnjenju.

Čip na kartuši pomaga optimizirati delovanje tiskalnika na več načinov:

- preprečevanje napak – čip spremlja delovanje kartuše, da prepreči poškodbe tiskalnika, ki bi nastale zaradi neustrezne kartuše (npr. pretrganje tiskalne glave ali nepravilno mešanje črnila);
- samodejna prilagoditev – tiskalnik lahko uporablja podatke iz čipa za samodejno prilagoditev lastne nastavitve, da doseže najboljšo kakovost tiska (npr., če črnilo iz kartuše ni optimalne kakovosti, tiskalnik lahko prilagodi svoje hitrosti ali kakovost tiskanja, da kompenzira morebitne težave);
- kakovost tiska – s spremljanjem porabe črnila ali tonerja lahko tiskalnik zagotovi, da bo prišlo do optimalnega mešanja črnila ali tonerja, kar bo izboljšalo kakovost tiska in zmanjšalo možnost zamašitve tiskalnih glav.

Čipi na kartušah tiskalnikov so sestavljeni iz več glavnih komponent, ki so podobne tistim v drugih vrstah elektronskih čipov. Njihove tri ključne sestavine so:

- večji oz. zgornji del čipa ima nanos, ki je sestavljen iz približno 92 % bakra in 8 % zlata;
- na manjšem oz. spodnjem delu čipa pa lahko zasledimo majhne delce niklja;
- polimerna osnova z nanosom zlata in ostalih snovi, ki je gorljiva.

¹Povzeto po <https://www.naju.si/2025/02/06/zakaj-mora-biti-cip-na-kartusi-kaksno-funkcijo-ima/> (dne 21. 2. 2025)

2.1.2 ZLATO [2]

Zlato je kemični element s simbolom Au, po latinsko mu rečemo aurum in ima atomsko število 79, zaradi česar je eden od elementov višjih atomskih števil, ki se pojavljajo v naravi. V čisti obliki je svetla, rahlo rdečkastorumen, gosta, mehka, lahko kovna in gnetljiva kovina. Kemično je zlato prehodna kovina iz skupine 11. Je eden najmanj reaktivnih kemičnih elementov in v običajnih pogojih trdna snov. Zlato se v naravi pojavlja v elementarni obliki kot kepa ali zrna, v skalah, v žilah in naplavinah. Pojavlja se kot trdna raztopina z naravnim srebrom, ki je naravna zlitina z drugimi kovinami, kot sta baker in paladij.

Zlato je odporno na večino kislin, čeprav se raztopi v aqua regia (mešanica dušikov kisline in klorovodikove kisline), pri čemer tvori topni tetrakloroavratni anion. Zlato ni topno v dušikovi kislini, ki raztaplja srebro in navadne kovine. Zlato se topi v živem srebru in tvori amalgamske zlitine.

Fizikalne lastnosti zlata:

- faza zlata pri standardnih pogojih je trdnina;
- tališče zlata je 1064,18 °C;
- vrelišče je 2970 °C.
- gostota je 19,30 g/cm³ in v tekočem stanju je gostota 17,31 g/cm³.

Zlato je sorazmerno redek element, plemenita kovina, ki se je skozi zgodovino uporabljala za kovanje denarja, nakit in druge namene umetnosti.

Visoka voljnost in gnetljivost zlata, odpornost proti koroziji in večini drugih kemičnih reakcij ter prevodnost elektrike so privedle do dodatne uporabe v korozijsko odpornih električnih priključkih v vseh vrstah računalniških naprav. Zlato se uporablja tudi pri zaščiti pred infrardečimi žarki, proizvodnji barvnega stekla, proizvodnji listov zlata in v zobozdravstvu. Nekatere zlate soli se v medicini še vedno uporabljajo kot protivnetna zdravila.

Zlato je od vseh kovin najlažje kovati. Lahko ga raztegnemo v ploskev debeline enega atoma, ki jo nato lahko občutno dalje raztegujemo, preden se pretrga. En gram zlata lahko razvaljamo v list velikosti 1 m^2 .

Medtem ko je večina kovin sive ali srebrno bele barve, je zlato rahlo rdečkasto rumene barve. Ta barva je določena s frekvenco plazmonskih oscilacij med valentnimi elektroni v kovini, za večino kovin na ultravijoličnem območju, za zlato zaradi relativističnih učinkov, ki vplivajo na orbitale atomov v vidnem območju.

Večina kislin na zlato ne vpliva. Zlato ne reagira s fluorovodikovo, klorovodikovo, bromovodikovo, žveplovno ali dušikovo kislino. Reagira pa s selensko kislino in se raztoplja v zlatotopki, mešanici dušikove in klorovodikove kisline v razmerju 1 : 3. Dušikova kislina kovino oksidira na ione $+3$, vendar le v majhnih količinah, ki jih v čisti kislini običajno ni mogoče zaznati zaradi kemijskega ravnovesja reakcije. Vendar se ioni iz ravnotežja odstranijo s klorovodikovo kislino, pri čemer nastanejo AuCl_4^- ioni ali kloroavrinska kislina, kar omogoča nadaljnjo oksidacijo.

Čisto kovinsko (elementarno) zlato pri zaužitju ni strupeno in ne draži; včasih se uporablja kot okras za hrano v obliki zlatih lističev. Kovinsko zlato je tudi sestavina alkoholnih pijač.

²Povzeto po

<https://sl.wikipedia.org/wiki/Zlato#:~:text=Zlato%20je%20kemi%C4%8Dni%20element%20s,lahko%20kovna%20in%20gnetljiva%20kovina>. (pridobljeno 22. 2. 2025).

2.2 TEORETIČNE OSNOVE METODE DELA

2.2.1 MERJENJE pH:[3]

S pH metrom merimo kislost oz. bazičnost raztopin, ki je opredeljena s koncentracijo oksonijevih ionov (H_3O^+) v raztopini. Podajamo jo s pH vrednostjo. pH merimo z indikatorskimi papirji in elektrometrično.

Z indikatorskim papirjem določamo pH na osnovi spremembe barve organskih barvil, le-ta je odvisna od koncentracije oksonijevih ionov.

Elektrokemično določamo pH tako, da merimo napetost glavnega člana, ki ga sestavljata indikatorska elektroda, katere potencial je odvisen od koncentracije oksonijevih ionov in referenčna elektroda.

Napetost merimo z zelo občutljivim voltmetrom, ki ga imenujemo pH meter. Indikatorska elektroda zaznava spremembe koncentracij oksonijevih ionov, potencial referenčne elektrode pa je stalen.

Kot indikatorsko elektrodo za oksonijeve ione uporabljamo stekleno elektrodo, kot referenčno pa kalomelovo ali srebrovo. Lahko se uporablja tudi kombinirana elektroda, ki združuje obe.

2.2.2 NUČIRANJE POD ZNIŽANIM TLAKOM[4][5]

Nučiranje pod znižanim tlakom pomeni filtriranje trdnih snovi iz tekočine s pomočjo vakuuma. Gre za tehniko, ki se uporablja za hitrejše in učinkovitejše ločevanje produktov reakcij ali kristalizacij.

Za njegovo uporabo potrebujemo:

- Büchnerjev lij s papirnim filtrom;
- lij je povezan s presesalno bučo, ki ima stranski priključek za vakuum;

- vakuumska črpalka ali vodni curek ustvarita znižan tlak, kar poveča hitrost filtriranje.

Nučiranje z Bücherjevim lijem pospeši filtriranje v primerjavi z gravitacijskim filtriranjem. Bolje odstrani topilo iz oborine. Omogoča čistejšo ločitev produktov v organski in anorganski kemiji.

2.2.3 NEVTRALIZACIJA ali DELNA NEVTRALIZACIJA[6]

Nevtralizacija je reakcija med kislino in bazo. Produkta, ki pri tej reakciji nastaneta, sta sol in voda. Soli lahko nastanejo na več načinov, eden izmed njih je tudi nevtralizacija. Kislina je katerakoli snov, ki v vodni raztopini tvori oksonijeve ione H_3O^+ . Baza je snov, ki v vodni raztopini tvori hidroksidne ione OH^- .

Reakcija nevtralizacije je popolna, kadar med seboj reagirajo vsi vodikovi ioni in vsi hidroksidni ioni. Kadar se ne nevtralizirajo vsi vodikovi ioni s hidroksidnimi ioni, pravimo, da je potekla le delna nevtralizacija. Posledica tega je, da pri nevtralizaciji večprotonske kisline in večkovalentne baze lahko nastanejo različne soli, odvisno od količine kisline in baze.

Poznamo več tipov nevtralizacije:

- **močna kislina in močna baza:** pri tej reakciji sta močna baza in močna kislina popolnoma ionizirani, reagirajo ioni H_3O^+ oz. H^+ in ioni OH^- ; v tem primeru pri reakciji ne nastanejo anioni kisline in katione baze;
- **šibka kislina in šibka baza:** šibka kislina in šibka baza sta le delno ionizirani;
- **šibka kislina in močna baza:** močna baza se popolnoma ionizira, šibka kislina pa le delno, zato se raztopine soli močnih baz in šibkih kislin bazične;
- **močna kislina in šibka baza:** močna kislina se popolnoma ionizira, šibka baza pa le delno, zato je raztopina njune soli kislina.

2.2.4 REDUKCIJA[7]

Redukcija je kemijska reakcije, pri kateri snov odda kisik, kar pomeni, da se reducira. CuO med reakcijo odda kisik in se reducira. H₂ sprejme kisik in se oksidira.

Redukcijo prepoznamo po znižanju oksidacijskega števila (če atom ali ion dobi elektrone, se njegovo oksidacijsko število zmanjša), dodajanju vodika in odvzemanju kisika.

Pogosti reducenti, ki jih uporabljamo, so vodik (H₂), kovinski natrij (Na), litij (Li), aluminij (Al), ogljik (C), natrijev tetrahidridoborat (NaBH₄) in litijev tetrahidroaluminat (LiAlH₄).

2.2.5 X-RF SPEKTOFOTOMETER[8]

X-RF spektrofotometer ali X-ray fluorescence spektrofotometer je analitična naprava, ki se uporablja za nedestruktivno kemijsko analizo različnih materialov. Temelji na principu rentgenske fluorescenčne spektroskopije (XRF), pri čemer vzorec osvetlimo z rentgenskimi žarki, kar povzroči emisijo sekundarnih rentgenskih žarkov, značilnih za elemente, prisotne v vzorcu.

Deluje na način, da je vzorec obsevan z rentgenskimi žarki, ki povzročijo vzbujanje elektronov v atomski ovojnici. Elektroni zapustijo notranje orbitale, pri čemer nastanejo praznine, ki jih zapolnijo elektroni iz višje orbitale. Prehod elektronov sproži oddajanje značilne fluorescenčne rentgenske svetlobe, ki jo spektrofotometer zazna. Analiza spektra omogoča določitev kemijske sestave vzorca, saj ima vsak element edinstven rentgenski spekter.

Prednosti uporabe XRF so hitrost in enostavna uporaba, saj je meritev hitra in ne zahteva veliko priprave vzorca. Vzorec ostane nepoškodovan, temu rečemo tudi nedestruktivnost. Ima visoko natančnost in ponovljivost, ki omogoča kvantitativno in kvalitativno analizo elementov. Primeren je za analizo kovin, keramike, stekla, tal, mineralov, plastike, itd.

2.2.6 KUPELACIJA[9]

Kupelacija je proces rafiniranja v metalurgiji, kjer se ruda ali legirane kovine obdelajo pri zelo visokih temperaturah in imajo nadzorovane operacije za ločevanje plemenitih kovin, kot sta zlato in srebro, od navadnih kovin, kot so svinec, cink, baker, arzen, antimon ali bizmut, prisoten v rudi. Postopek temelji na načelu, da plemenite kovine za razliko od navadnih kovin ne oksidirajo in ne reagirajo kemično, zato pri visokih temperaturah plemenite kovine ostanejo ločene, druge pa reagirajo in tvorijo žlindre ali druge spojine.

2.2.7 KARATI[10]

Karat je tradicionalno merilo čistosti plemenitih kovin. En karat zlata predstavlja približno 4,2 % kovine v zlitini, največje število karatov, ki jih lahko ima plemenita kovina, pa je 24 karatov, kar predstavlja čistost 99,95. Standardizirane naložbe palice so izdelane iz 24-karatnega zlata in nosijo oznako 999.9.

³Povzeto po dnevniku za vaje LAT 2. letnik, 2. delovni zvezek (dne 22. 2. 2025).

⁴Povzeto po https://sl.wikipedia.org/wiki/Vakuumska_filtracija (dne 22. 2. 2025).

⁵Povzeto po https://dijaski.net/gradivo/kem_vaj_nuciranje_01 (dne 22. 2. 2025).

⁶Povzeto po <https://sl.wikipedia.org/wiki/Nevtralizacija> (dne 22. 2. 2025).

⁷Povzeto po https://sl.wikipedia.org/wiki/Redoks_reakcija (dne 22. 2. 2025).

⁸Povzeto po https://en.wikipedia.org/wiki/X-ray_fluorescence (dne 23. 3. 2025).

⁹Povzeto po <https://sl.wikipedia.org/wiki/Kupelacija> (dne 6. 3. 2025).

¹⁰Povzeto po <https://centerzlata.com/karat-zlata/> (dne 10. 3. 2025).

3 PRAKTIČNI DEL

3.1 INVENTAR IN KEMIKALIJE




Pri izdelavi celotnega postopka za pridobitev čistega zlata potrebujemo določen inventar, ki je zapisan v spodnji tabeli.

Tabela 1: Inventar

Steklovina	Naprave	Ostali inventar
čša, 5 l, 1 x	kuhalnik, 1 x	puhalka z destil. vodo, 1 x
merilni valj, 1 l, 2 x	plinska žarilna peč, 1 x	magnetni mešalček, 1 x
čša, 1 l, 2 x	žarilni lonček, 1 x	filter papir, 6 x
steklena palčka, 2 x		pH lističi oz. pH meter, 1 x
merilni valj, 500 ml, 4 x		kadička, 2 x
presesalna buča, 1 x		kapalka, 3 x
		Büchnerjev lij, 1 x

Kemikalije, njihove kemijske formule, varnostni znaki in agregatna stanja, ki so bile uporabljene za pridobitev čistega zlata, so navedene v tabeli.

Tabela 2: Kemikalije

Ime	Molekulska kemijska formula	Varnostni znaki	Količina
dušikova (V) kislina/ soliterna kislina	HNO ₃		475 ml
klorovodikova kislina/ solna kislina	HCl		375 ml
adblue/sečnina	(NH ₂) ₂ CO	/	500 ml
kalijev metabisulfit	K ₂ S ₂ O ₂		100 g
voda	H ₂ O	/	750 ml
Vzorec: čipi kartuš	/	/	500

3.2 VARNOST PRI DELU IN SKRB ZA OKOLJE

Oprema, ki jo potrebujemo za zaščito pri pridobitvi čistega zlata, je zaščitna halja, zaščitne rokavice in zaščitna očala. Zaščitna halja nas v primeru, da pri izvajanju dela katera snov brizgne iz posode na nas, obvaruje in tudi naša oblačila. Zaščitna očala imajo podobno funkcijo kot zaščitna halja, vendar imajo pomembnejšo nalogo, saj nam zaščitijo naše oči. Zaščitne rokavice nas obvarujejo, da ne pridemo v stik s katero od nevarnih tekočin.

Pri pridobivanju čistega zlata ne smemo kemikalije zavreči v koš ali umivalnik, saj imajo nevarne lastnosti, ki lahko škodujejo nam in okolju. Ker so kemikalije, ki jih uporabljamo zelo hlapne, moramo svoje delo opravljati v digestoriju, saj tudi nastaja NO_2 .

Poskrbeti moramo tudi za varno delo z napravami. Pri vseh napravah, ki jih uporabljamo, obstaja nevarnost, da pride do vžiga ali opeklin, zato moramo vedno preveriti ali naprava pravilno deluje, ali je kabel cel in ni poškodovan in da je naprava ohlajena.

3.3 POSTOPKI DELA PO DNEVIH[11]

3.3.1 PRVI DAN

3.3.1.1 POSTOPEK:

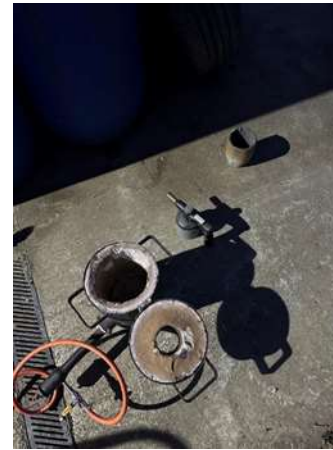
500 kartuš sežgemo s pomočjo plinske žarilne peči pri približno 600–700 °C, da odstranimo plastiko na čipih. Žgemo jih približno 1 uro, ko je končano, jih pustimo, da se ohladijo.



Slika 1: Kartuše (Vir: lasten, 2024)



Slika 2: Čipi
(Vir: lasten, 2024)



Slika 3: Plinska žarilna peč
(Vir: lasten, 2024)



Slika 4: Čipi v žarilni peči
(Vir: lasten, 2024)



Slika 5: Čipi v žarilnem lončku (Vir: lasten, 2024)



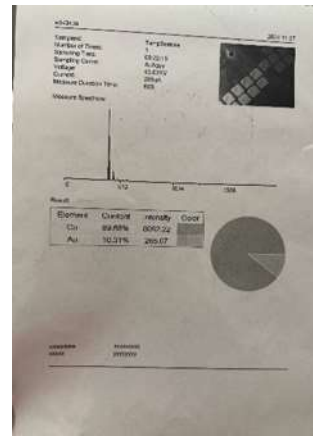
Slika 6: Gorenje z dokazom prisotnosti bakra (Vir: lasten, 2024)



Slika 7: Dokaz prisotnosti litija ali stroncija (Vir: lasten, 2024)



Slika 8: Konec žarjenja (Vir: lasten, 2024)



Slika 9: Vsebnost čipa (Vir: lasten, 2024)

V čašo presipamo sežgane čipe in jim dodamo 750 ml H₂O, potem pa dodamo 100 ml HNO₃. Segrevamo, da rahlo vre (čez celoten čas vrenja preverjamo, da ne začne kipeti). Postopek segrevanja nadaljujemo 1 uro, da se volumen zniža do 500 ml. Za tem ponovno dodamo 250 ml HNO₃ in ponovno segrevamo, da povprečno do 750 ml. Pustimo segrevati 2 uri. Pustimo, da se ohladi.



Slika 10: Čipi v čaši (Vir: lasten, 2024)



Slika 11: Čipi, voda in dušikova (V) kislina (Vir: lasten, 2024)



Slika 12: Čipi med vretjem (Vir: lasten, 2024)

Po ohlajanju sledi nučiranje pod znižanim tlakom. Ohlajeno raztopino postopoma prelivamo na filter papir ob stekleni palčki. Če nam kaj ostane v čaši, speremo z destilirano vodo in tudi to prelijemo na filter papir. V presesalni buči mora biti modra tekočina (bakrov nitrat), to tekočino zlijemo v drugo posodo za odpadke, kjer so različne bakrove snovi in kisline. Na filter papirju nam ostanejo trdni delci, ki vsebujejo zlato. Trdne delce smo preverili na X-RF spektrografu, kjer smo ugotovili, da je še 34,20 % bakra in 50,51 % zlata ter drugih snovi.



Slika 13: Nučiranje pod znižanim tlakom (Vir: lasten, 2024)



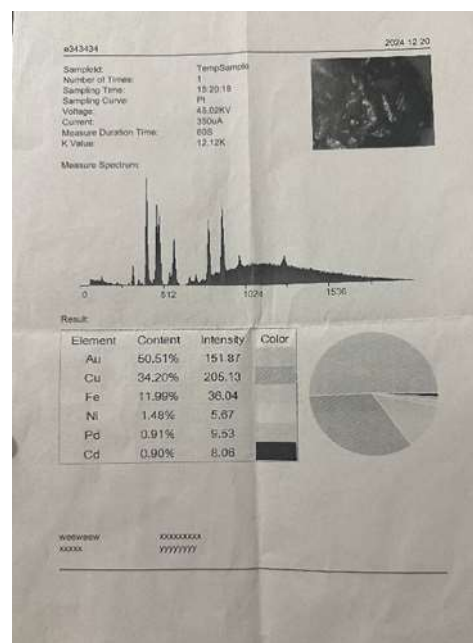
Slika 14: Bakrov nitrat (Vir: lasten, 2024)



Slika 15: Trdni delci na filter papirju (Vir: lasten, 2024)



Slika 16: X-RF spektrofotometer (Vir: lasten, 2024)



Slika 17: Izpisek iz spektrofotometra (Vir: lasten, 2024)

3.3.1.2 INVENTAR IN KEMIKALIJE

Tabela 3: Kemikalije – 1. dan

Ime	Formula
dušikova (V) kislina	HNO ₃
voda	H ₂ O

Tabela 4: Inventar – 1. dan

Inventar	Količina
čaša, 5 l	1 x
merilni valj, 1 l	2 x
magnetni mešalček s ploščo	1 x
filter papir	2 x
kapalke	2 x
Büchnerjev lij	1 x
presesalna buč	1 x
steklena palčka	1 x

3.3.2 DRUGI DAN

3.3.2.1 POSTOPEK

Trdne delce, ki so ostali na filter papirju, ponovno prenesemo v čašo in jih raztopimo s 125 ml HNO_3 in 375 ml HCl v razmerju 1 : 3. S tem nastane zlatotopka. Najprej dodamo HCl in šele potem HNO_3 . Rahlo segrevamo in počasi mešamo približno 1 uro in pol. Pazimo, da ne vre preveč. Če še ostane kaj HNO_3 , jo še lahko dodamo. Po končanem segrevanju pustimo raztopino, da se ohladi.



Slika 18: Čipi, HCl , dušikova (V) kislina (Vir: lasten, 2024)



Slika 19: Barvna tekočina (Vir: lasten, 2024)



Slika 20: Med vrenjem (Vir: lasten, 2024)

Po vrenju celotne raztopine sledi ponovno nučiranje pod nižanim tlakom. Postopoma prelivamo raztopino ob palčki na filter papir. Če na čaši ostane kaj delcev ali snovi, spiramo z destilirano vodo in ponovno prelijemo na filter papir. Kar je ostalo na filter papirju, lahko vržemo v smeti, saj ne vsebuje nobenih nevarnih lastnosti. Filtrat je toliko rumen, kolikor smo odstranili bakra. Rumena barva pomeni zlato. Filtrat prelijemo v čašo.



Slika 21: Nučiranje pod znižanim tlakom št. 2 (Vir: lasten, 2024)



Slika 22: Trdni delci na filter papirju (Vir: lasten, 2024)



Slika 23: Filtrat (Vir: lasten, 2024)

3.3.2.2 INVENTAR IN KEMIKALIJE

Tabela 5: Kemikalije – 2. dan

Ime	Formula
dušikova (V) kislina	HNO_3
klorovodikova kislina	HCl

Tabela 6: Inventar – 2. dan

Inventar	Količina
čaša, 1 l	1 x
steklena palčka	1 x
kuhalnik	1 x
merilni valj, 500 ml	2 x
kadička	1 x
Büchnerjev lij	1 x
presesalna buča	1 x
filter papir	2 x

3.3.3 TRETJI DAN

3.3.3.1 POSTOPEK

Filtratu oz. tekočini, ki smo jo dobili po nučiranju, najprej preverimo pH. Če je pH 0, je tekočina pripravljena na nevtralizacijo. Pribitek HNO_3 moramo nevtralizirati s sečnino. Nevtralizacijo izvajamo z ad-blue oz. sečnino. K rumeni tekočini dodamo najprej 10 ml sečnine in preverimo pH. Sečnino dodajamo, dokler se pH ne dvigne do približno 1 in mehurčkov ni več.



Slika 24: Zlatotopka (Vir: lasten, 2024)



Slika 25: pH meter (Vir: lasten, 2024)



Slika 26: pH lističi (Vir: lasten, 2024)

Ko pride pH na 1, je tekočina pripravljena na redukcijo. Kot reducent uporabljamo kalijev metabisulfit. Dodajamo ga v majhnih količinah, saj burno reagira. Raztopina mora biti topla. Tekočina začne čez nekaj časa temneti. Če je prisotno zlato, je raztopina rjava, če pa ne potemni, še dodajamo $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_5$. Na dnu čaše lahko opazimo usedlino oz. mokro zlato v prahu. Ko se usedlina usede, jo nučiramo. Tekočino, ki je šla skozi filter papir, zlijemo v drugo posodo, saj vsebuje raztopino bakrovega nitrata. Oborina, ki je ostal na filter papirju, speremo s HCl .



Slika 27: Redukcija (Vir: lasten, 2024)



Slika 28: Spreminjanje barve (Vir: lasten, 2024)



Slika 29: Usedlina (Vir: lasten, 2024)

3.3.3.2 KEMIKALIJE IN INVENTAR

Tabela 7: Kemikalije – 3. dan

Ime	Formula
sečnina ali adblue	$(\text{NH}_2)_2\text{CO}$
kalijev metabisulfit	$\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_5$
klorovodikova kislina	HCl

Tabela 8: Inventar – 3. dan

inventar	Količina
čša, 1 l	1 x
steklena palčka	1 x
kuhalnik	1 x
pH meter	1 x
pH lističi	3 x
kadička	1 x
Büchnerjev lij	1 x
presesalna buča	1 x
filter papir	2 x

3.3.4 ČETRТИ DAN

3.3.4.1 POSTOPEK

Filter papir damo v žarilni lonček in ga pripravimo za žarjenje. Plinsko žarilno peč segrejemo na 1100 °C. Po koncu žarjenja dobimo zlato kroglico, ki jo vržemo v vodo, da se ohladi. V X-RS spektrofometru preverimo vsebnost čistega zlata v kroglici in jo stehamo.

Pri pridobivanju zlata je prišlo do manjših zapletov, saj žarilna peč v šoli ni bila dovolj močna in segrela do dovolj visoke temperature, zato sem se odločila, da bom zadnji del raziskovalne naloge opravila doma, kjer imamo plinsko žarilno peč, ki doseže veliko višje temperature.



Slika 30: Številka žarilnega lončka
(Vir: lasten, 2024)



Slika 31: Prah zlata v žarilnem lončku
(Vir: lasten, 2024)



Slika 32: Prah (Vir: lasten, 2024)



Slika 33: Žarjenje (Vir: lasten, 2024)



Slika 34: Tehtanje (Vir: lasten, 2024)



Slika 35: Analiza čistoče zlata (Vir: lasten, 2024)

3.3.4.2 KEMIKALIJE IN INVENTAR

Tabela 9: Kemikalije – 4. dan

Ime	Formula
voda	H ₂ O

Tabela 10: Inventar – 4. dan

Inventar	Količina
žarilna peč oz. plinska žarilna peč	1 x
žarilni lonček	1 x
čaša, 100 ml	1 x

¹¹Povzeto po ustnem viru gospoda Mojmirja Lavbiča dne 21. 11. 2024 ob 18:27 uri.

3.4 ANALIZA ZLATA S KUPELACIJO^[12]

Analiza vzorca poteka tako, da vzorec razrežemo na čim manjše delčke, natehtamo 220 mg na 0,00 mg natančno. Vzorec prenesem v predhodno pripravljeno Pb vrečko. Skupina masa Pb tabletko in folije je 6 g. Nato vzorcu dodamo 300 mg čistega Ag. Pb vrečko z vzorcem in kvartacijskim dodatkom srebra previdno zavijamo v čim manjši zvitek. Skupaj z vzorcem analiziramo tudi referenčno zlitino (sestavlja 129 mg čistega Au, ki mu dodamo 29 mg čistega Cu in 62 mg čistega Ag), ki vsebuje certificirani masni delež zlata. Z njeno analizo ovrednotimo izgube pri analiziranem postopku.

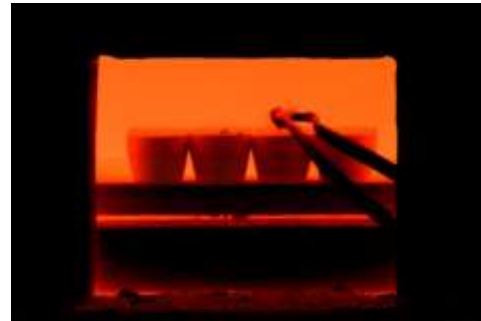
Kupelacija vzorca pomeni, da na predhodno segrete kupele položimo 4 g Pb tabletko, da ustvarimo "svinčeno posteljico". Vzorec in referenčno zlitino kupeliramo v kupelacijski peči pri 1060 °C. Kupelacija traja 25 minut. Nastala zlata zrna po kupelaciji počasi ohladimo. Ohlajena zrna očistimo, s tem odstranimo ostanke nastalih oksidov. Zrna sploščimo s kladivom in zvijemo v tanke lističe, ki jih žarimo 5 minut pri 905 °C. Po končanem žarjenju jih zvijemo v trden zvitek.

Vzorec raztapljamo v Kjeldahlovih bučkah, v katere nalijemo 20 ml 33 % dušikove (V) kisline in jo na pečeni kupeli segrevamo do vrelišča. Zvitke prenesemo v bučke in jih raztapljamo tako dolgo, dokler ne prenehajo izhajati dušikovi oksidi. Raztopino odlijemo in v bučko nalijemo 20 ml 49 % dušikove (V) kisline. Grejemo na meji vrenja 20 minut. Postopek z 49 % dušikovo (V) kislino nato ponovno ponovimo še enkrat, le da je čas gretja na meji vrenja tokrat 15 minut. Kislino po končanem segrevanju odlijemo, zvitke speremo z deionizirano vodo, prenesemo v žarilne lončke ter žarimo pri 750 °C 5 minut. Po žarjenju zlate zvitke ohladimo, stehtamo in izračunamo masni delež zlata v vzorcu.

¹²Povzeto po <https://www.gov.si/assets/organi-v-sestavi/MIRS/Urad-splosno/Merjenje-masnega-deleza-zlata.pdf> (dne 10. 3. 2025).



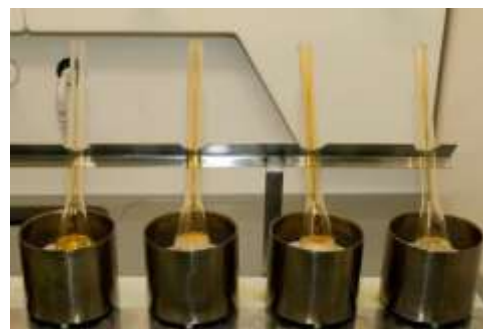
Slika 36: Zlati tulec (Viri: MIRS CE, 2025)



Slika 37: Žarjenje zlatega tulca (Viri: MIRS CE, 2025)



Slika 38: Žarilni lonček s kroglico zlata (Viri: MIRS CE, 2025)



Slika 39: Raztapljanje v dušikovi (V) kislini (Viri: MIRS CE, 2025)



Slika 40: Žvitek (Viri: MIRS CE, 2025)



Slika 41: Analiza in tehtanje (Viri: MIRS CE, 2025)

4 STROŠKI

Tabela 11: Cena

Kemikalija	Poraba	Cena	Strošek
HNO ₃	0,475 L	9,93 € / L	4,72 €
HCL	0,375 L	22,19 € / 0,5 L	21,19 €
K ₂ S ₂ O ₅	100 g	100 g.....1,5 € / 100 g	1,50 €
Ad-blue / (NH ₂) ₂ CO	0,500 L	1,5 € / L	0,75 €
Skupaj	/	/	28,87 €

- Cena 1 g zlata je 89,10 €. (Povzeto po <https://www.goldstore.si/> (dne 7. 4. 2025)).
- Cena 1,959 g zlata je 174,55 €.
- Za 1,959 g zlata imamo 28,87 € stroškov.
- V ceno stroškov ni vključena poraba elektrike in plina.

5 MERITVE IN REZULTATI

V tabeli je zapisana masa zlata, ki smo jo dobili iz celotnega postopka.

Tabela 12: Masa

Snov	Masa, [g]
zlato	1,959 g

V naslednji tabeli lahko zasledimo, kako čisto zlato smo dobili in katere snovi so bile prisotne.

Ker pa nisem bila prepričana v svoje rezultate, sem se odločila, da bom zlato dala preverit še na Urad RS za meroslovje. Podatke in rezultate najdemo v Prilogi št. 4.

Tabela 13: Razmerje snovi

Snov, simbol	Procenti, [%]
Au	99,84 %
Ag	0,15 %

V spodnji tabeli lahko vidimo, kakšna je bila njegova čistost (karat) po analizi z X-RF spektrofotometra.

Tabela 14: Čistost

Snov	karat, [K]
zlato	23,96 K

6 ZAKLJUČEK

Elektronski odpadki, med katerimi so tudi kartuše tiskalnikov, predstavljajo pomemben okoljski izziv, hkrati pa so tudi vir dragocenih materialov, kot je zlato. Zlato, ki se nahaja v čipih kartuš, je zaradi svojih izjemnih lastnosti v elektronski industriji zelo cenjeno, vendar pogosto konča v smeteh, kljub temu da bi ga bilo mogoče učinkovito reciklirati.

Raziskava je pokazala, da lahko iz 500 čipov kartuš pridobimo 1,959 g zlata, ki so ga preverili na Uradu RS za meroslovje in ugotovili, da je njegova čistost 997,7/999. Za celoten postopek smo porabili približno 29 €, pridobili pa zlato v vrednosti 175 €. Če bi delali v velikih količinah, bi bil ekonomski vidik še učinkovitejši, saj bi bile kemikalije nabavljene v večjih količinah cenejše.

Eksperimentalni del raziskave je pokazal, da je mogoče s primernimi metodami, kot so raztapljanje v kislinah, ločevanje materialov in termična obdelava, pridobiti čisto zlato iz elektronskih komponent.

Rezultati potrjujejo hipotezo, da lahko z uporabo ustreznih kemijskih metod in zlatotopke pridobimo čisto zlato iz čipov kartuš, kar odpira možnost za nadaljnje raziskave in optimizacijo procesov.

Z nadaljnjim raziskovanjem in izboljšanjem metod recikliranja elektronskih odpadkov, lahko pomembno prispevamo k zmanjšanju ekoloških posledic, povezanih z naraščajočim številom odpadkov iz elektronike, hkrati pa zmanjšamo potrebo po novih rudarskih postopkih. V prihodnosti bi bilo smiselno še naprej razvijati in optimizirati reciklažne tehnologije, da bi se zmanjšali vplivi na okolje in povečala učinkovitost pridobivanja dragocenih kovin. Povečana ozaveščenost o pomenu recikliranja elektorskih odpadkov, kot tudi sprejemanje okolju prijaznih metod za pridobivanje dragocenih kovin, bo pomembno prispevala k bolj trajnostnemu ravnanju z naravnimi viri. S tem bomo zmanjšali količino odpadkov in obenem ustvarili nove možnosti za ponoven izkoristek materialov, kar je ključnega pomena za prihodnost naše družbe.

7 LITERATURA VSEBINE IN LITERATURA SLIK

7.1 LITERATURA VSEBINE

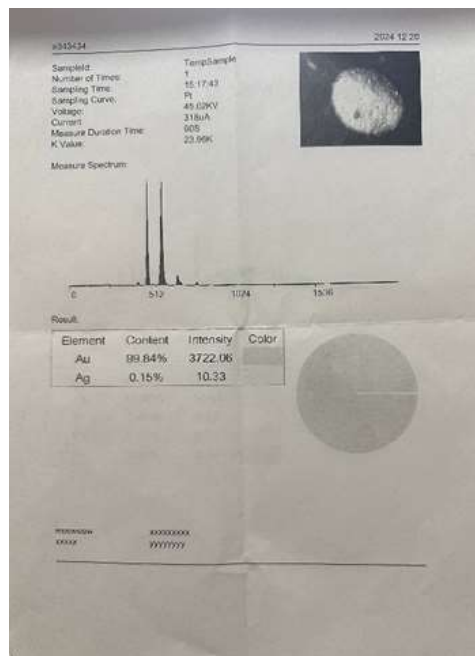
1. <https://www.naju.si/2025/02/06/zakaj-mora-biti-cip-na-kartusi-kaksno-funkcijo-ima/> (pridobljeno 21. 2. 2025).
2. <https://sl.wikipedia.org/wiki/Zlato#:~:text=Zlato%20je%20kemi%C4%8Dni%20element%20s,lahko%20kovna%20in%20gnetljiva%20kovina.> (pridobljeno 22. 2. 2025).
3. dnevnik za vaje LAT 2. letnik, 2. delovni zvezek (pridobljeno 22. 2. 2025).
4. https://sl.wikipedia.org/wiki/Vakuumska_filtracija (pridobljeno 22. 2. 2025).
5. https://dijaski.net/gradivo/kem_vaj_nuciranje_01 (pridobljeno 22. 2. 2025).
6. <https://sl.wikipedia.org/wiki/Nevtralizacija> (pridobljeno 22. 2. 2025).
7. https://sl.wikipedia.org/wiki/Redoks_reakcija (pridobljeno 22. 2. 2025).
8. https://en.wikipedia.org/wiki/X-ray_fluorescence (pridobljeno 23. 3. 2025).
9. <https://sl.wikipedia.org/wiki/Kupelacija> (pridobljeno 6. 3. 2025).
10. <https://centerzlata.com/karat-zlata/> (pridobljeno 10. 3. 2025).
11. ustnemu viru za postopek (pridobljeno 21. 11. 2024).
12. <https://www.gov.si/assets/organi-v-sestavi/MIRS/Urad-splosno/Merjenje-masnega-deleza-zlata.pdf> (pridobljeno 10. 3. 2025).

7.2 LITERATURA SLIK

1. <https://jutro.si/kemija/datoteke/naloge/as101/index.html> (23.2.2025)
2. https://ec.europa.eu/taxation_customs/dds2/SAMANCTA/SL/Safety/SymbolsOfHazard_SL.htm (23.2.2025)
3. <https://www.gov.si teme/razvrscanje-pakiranje-in-oznacevanje-kemikalij/> (23.2.2025)

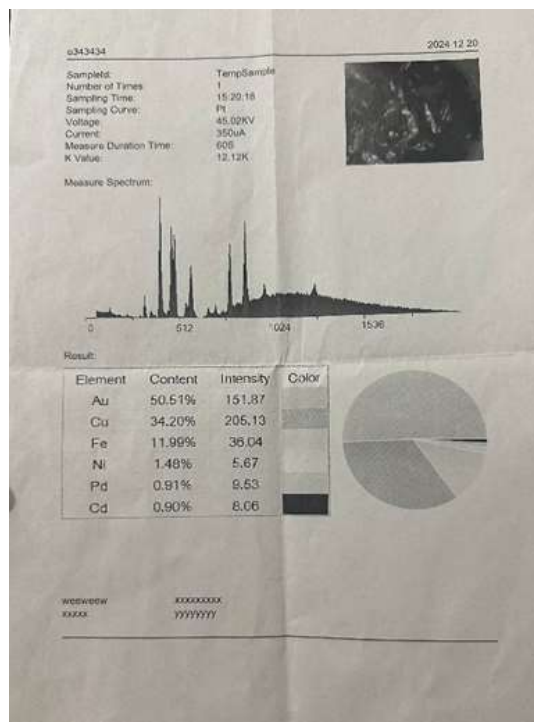
8 PRILOGE

1. priloga: Analiza končnega produkta iz X-RF spektrofotometra



Slika 42: Analiza zlata (Viri: lasten,2024)

2. priloga: Analiza čipov po zlatotopki iz X-RF spektrofotometra



Slika 43: Analiza čipov po zlatotopki (Viri: lasten,2024)

