



OSNOVNA ŠOLA PRIMOŽA TRUBARJA LAŠKO

# AKTIVACIJA KEMIJSKIH REAKCIJ IN FIZIKALNIH PRETVORB Z UPORABO MIKROVALOV KOT VIRA TERMIČNE ENERGIJE

*RAZISKOVALNO DELO*

*PODROČJE: KEMIJA*

**AVTORJA:** Anže Jančič, Jaša Samec

**RAZRED:** 9.

**MENTORJA:**

Marko Jeran, kem. teh., Kemijski inštitut Ljubljana

Milena Žohar, prof., OŠ Primoža Trubarja Laško

***Laško, 2016***

## ZAHVALA

Vesela sva, da lahko predstaviva najino prvo raziskovalno delo. Delo, ki sva ga opravljala pod mentorstvom gospoda *Marka Jerana* in učiteljice *Milene Žohar* je rezultat projektnega sodelovanja med Kemijskim inštitutom Ljubljana in OŠ Primoža Trubarja Laško.

Zahvaljujeva se mentorjem, *g. Marku Jeranu* in *ga. Mileni Žohar*, za nesebično pomoč, nasvete in potrpežljivost pri ustvarjanju tega raziskovalnega dela.

Posebej hvala *g. Marku Jeranu* s Kemijskega inštituta Ljubljana za potrpežljivost in čas, ki nama ga je namenil ob obisku inštituta, ter pomoč pri opravljanju zahtevnejših eksperimentov, ki potrjujejo uporabnost raziskovalnega dela.

Hvaležna sva *viš. znan. sod. dr. Samu Hočevarju* za sprejem v analizni laboratorij in tehnični sodelavki, *ga. Bredi Novak*, za vso ponujeno pomoč in prijetno vzdušje.

Iz srca hvala tudi *Petri Ferjan*, dijakinji Biotehniškega izobraževalnega centra Ljubljana, ki je prav tako sodelovala v skupini g. Jerana, za nekatere smernice v omenjenem projektu. Hvala Zavodu Republike Slovenije za šolstvo in višji svetovalki za kemijo, *mag. Andreji Bačnik*, za posluh sprejetja raziskovalne tematike in pomoč pri nadaljnji aplikaciji tovrstnega področja.

Hvala *g. Marku Sajku* in OŠ *Primoža Trubarja Laško* za zagotovljen prostor, opremo in varnostna sredstva.

Najlepša hvala tudi *učiteljici Lidiji Toplišek* za skrben pregled raziskovalne naloge in za nasvete pri pisanju.

Hvala tudi družinama ter vsem prijateljem, ki so nama namenili spodbudne besede v času raziskovanja.

Vsem še enkrat hvala!

## KAZALO

KAZALO .....	- 3 -
KAZALO SLIK .....	- 5 -
POVZETEK .....	- 7 -
1. UVOD .....	- 8 -
1.1 METODE DELA .....	- 9 -
1.2 POTEK RAZISKOVALNEGA DELA .....	- 9 -
2. TEORETIČNI DEL .....	- 10 -
2.1 METODE IN TEHNIKE SEGREVANJA PRI KEMIJSKIH REAKCIJAH .....	- 10 -
2.1.1 BUNSENOV GORILNIK .....	- 10 -
2.2 MIKROVALOVI .....	- 12 -
2.3 UČINKI MIKROVALOV .....	- 13 -
2.4 UPORABA MIKROVALOV .....	- 15 -
2.5 MIKROVALOVNA PEČICA .....	- 17 -
2.6 HIPOTEZA .....	- 19 -
3. EKSPERIMENTALNI DEL .....	- 20 -
3.1 UVOD K EKSPERIMENTOM .....	- 20 -
3.2 REAGENTI IN RAZTOPINE .....	- 20 -
3.3 APARATURE IN INVENTAR .....	- 22 -
3.4 EKSPERIMENTI .....	- 23 -
3.4.1 Segrevanje ledu – fazni prehod .....	- 23 -
3.4.2 Segrevanje vode .....	- 24 -
3.4.3 Reakcija med železom in žveplom in dokaz produkta .....	- 26 -
3.4.4 Termični razpad živosrebrovega(II) oksida .....	- 27 -
3.4.5 Sinteza živosrebrovega(II) jodida .....	- 28 -
3.4.6 Fehlingova reakcija .....	- 29 -
3.4.7 Termični razpad amonijevega dikromata(VI) .....	- 30 -
3.4.7 Kristalizacija bakrovega(II) sulfata(VI) pentahidrata .....	- 31 -
3.4.8 Škrobovica in jodovica .....	- 33 -
3.4.10 Sinteza urea-formaldehidne smole .....	- 35 -
3.4.11 Sublimacija joda .....	- 36 -
3.4.12 Sinteza tiourea-formaldehidne smole .....	- 37 -
3.4.13 Priprava bakrovega(II) oksida .....	- 38 -

3.4.14 Priprava mila .....	- 39 -
3.4.15 Sinteza umetnega medu .....	- 40 -
3.4.16 Sinteza dvojne soli .....	- 41 -
3.4.17 Sinteza nikljevega kompleksa z dimetilglioksimom .....	- 42 -
3.5 MIKROVALOVNI RAZKLOP MODELNEGA VZORCA.....	- 43 -
4. REZULTATI IN DISKUSIJA.....	- 45 -
4.1 OPAŽANJA.....	- 45 -
5. ZAKLJUČEK.....	- 47 -
6. LITERATURA .....	- 48 -
7. DODATEK .....	- 52 -
7.1 VARNOSTNA OPORIZILA KEMIKALIJ .....	- 52 -

## KAZALO SLIK

Slika 1: Bunsenov gorilnik [30].....	- 11 -
Slika 2: Prikaz mikrovalov ob stiku s prevodniki. ....	- 13 -
Slika 3: Prikaz mikrovalov v stiku z izolatorji.....	- 13 -
Slika 4: Prikaz mikrovalov v stiku s trošnimi dielektričnimi materiali. ....	- 14 -
Slika 5: Sestavni deli mikrovalovne pečice [40]. .....	- 18 -
Slika 6: Vzorci po končanem dodajanju klorovodikove kisline. ....	- 26 -
Slika 7: Vzorec, segret v mikrovalovni pečici tik po segrevanju. ....	- 28 -
Slika 8: Nastali produkt Fehlingove reakcije v mikrovalovni pečici. ....	- 29 -
Slika 9: Buren razpad amonijevega dikromata(VI).....	- 30 -
Slika 10: Rast kristalov po enem tednu pri segrevanju na gorilniku.....	- 31 -
Slika 11: Primer kristalov po enem tednu pri segrevanju v mikrovalovni pečici. ...	- 32 -
Slika 12: Reakcijska mešanica po poteku reakcije. ....	- 33 -
Slika 13: Zmes jodovice in škrobovico, segreta do vrelišča. ....	- 33 -
Slika 14: Vzorci, testirani z Benedictovim reagentom. ....	- 35 -
Slika 15: Primera pripravljenih smol. ....	- 35 -
Slika 16: Produkta po reakciji. ....	- 37 -
Slika 17: Dvojna sol po končani kristalizaciji. ....	- 41 -
Slika 18: Nikljev kompleks z dimetilglioksimom po segrevanju. ....	- 42 -
Slika 19: Graf temperature v odvisnosti od časa ob koncu mikrovalovnega razklopa, izrisan na mikrovalovnem reaktorju. ....	- 44 -
Slika 20: Standardni referenčni material, breskvini listi, ter originalna embalaža..	- 44 -

## KAZALO TABEL IN GRAFOV

Tabela 1: Čas, potreben za fazni prehod ledu.....	- 23 -
Tabela 2: Čas, potreben za segretje vode do vrelišča, v odvisnosti od načina segrevanja in količine vode.....	- 24 -
Tabela 3: Prikaz časov, potrebnih za segretje raztopine, v odvisnosti od načina segrevanja.....	- 31 -
Tabela 4: Čas, potreben za sublimacijo joda, v odvisnosti od mase joda in načina segrevanja.....	- 55 -
Tabela 5: Varnostna opozorila kemikalij.....	- 55 -
Graf 1: Prikaz učinkovitosti segrevanja vode.....	- 25 -
Graf 2: Prikaz sublimacije joda v obliki stolpičnega diagrama. ....	- 36 -

## POVZETEK

Raziskovalno delo opisuje pristop k pospeševanju kemijskih reakcij s pomočjo dveh izbranih tehnik segrevanja. Pozornost je bila usmerjena na področje mikrovalovne aktivacije, ki dandanes igra pomembno vlogo pri hitrem tempu kemiske, farmacevtske in tehniške industrije. Model poteka smo spremljali primerjalno s klasičnim pristopom (segrevanjem na gorilniku). Aktivacija s pomočjo mikrovalov kot vira termične energije se je izkazala za zelo učinkovito tehniko segrevanja pri snoveh, ki imajo izražen dipolni moment. Za čiste (suhe) snovi, ki lahko termično razpadejo, ni primerna. Ker smo razvili serijo eksperimentov, smo s tem pokazali širšo uporabno pestrost tovrstne kemije. Delo smo na uporabni aplikaciji gradili s pomočjo mikrovalovnega reaktorja za razklope realnih vzorcev. Pokazali smo, da je možno razklopiti nekatere naravne materiale, biološke in farmacevtske vzorce in podobno. Velik del smo usmerili v razklop standardnega referenčnega materiala (breskovi listi), ki služi za nadzor in kontrolo kakovosti na področju analizne kemije z uporabo mikrovalov. V prej imenovanih vzorcih smo izmerili tudi vsebnost kalcijevih ( $2+$ ) ionov ter s tem potrdili natančnost tehnik dela in uporabnost analizne metode.

**KLJUČNE BESEDE:** mikrovalovi, razvoj eksperimentov, aktivacija, realni vzorec, standardni referenčni material, kalcijevi ioni, induktivno sklopljena plazma

## 1. UVOD

Kemijske reakcije pod vplivom mikrovalov postajajo velik trend predvsem zaradi hitrega tempa kemijske industrije in nastanka produktov, ki imajo vse večje možnosti uporabe na vsakem koraku človekovega življenja. Mikrovalovi predstavljajo v današnjem času alternativni vir segrevanja oz. so uvrščeni na področje »*green chemistry*« oz. *zelene kemije* za trajnostni razvoj. Velika prednost mikrovalov se odraža predvsem v hitrem poteku reakcij, nizki ekonomiji (ceni) ter splošni dostopnosti. V splošnem je segrevanje v mikrovalovni pečici oz. reaktorju varnejše od segrevanja na gorilniku, kar velja ob upoštevanju norm pri samem segrevanju. Z omenjenim poudarjamo, da v mikrovalovni sistem ne dajemo snovi, ki bi povzročile stranske reakcije ali nedovoljene prehode (npr. uporaba čistih trdnih za reakcije v sistemu trdno-trdno). V modernejših instrumentih (reaktorji v primerjavi s klasično mikrovalovno pečico) se omenjeno kontinuirano uporablja in vrši. V mikrovalovnem sistemu ni prisotnega neposrednega ognja, kar bi lahko predstavljalo pozitivno stran pri prenosu tovrstnega znanja v šolske laboratorije. Kljub v glavnini hitrejšemu segrevanju niso vsi tipi snovi kot reaktantov primerni za segrevanje pod mikrovalovnimi pogoji. Pomembna je torej izbira ustreznih snovi, na podlagi katerih lahko v nadaljevanju izberemo ustrezno tehniko segrevanja. Nekatere reakcije potrebujejo mnogo krajši čas v primerjavi z gorilnikom, druge mnogo daljši, tretje pa sploh potečejo.

V eksperimentalnem delu smo skušali ugotoviti, kateri eksperimenti so primerni za segrevanje v mikrovalovni pečici in kateri ne oz. podati nekatere predloge za izboljšanje poteka reakcij v prihodnje. Raziskovalno delo je zajemalo širok spekter eksperimentov, ki pojasnjujejo pomembno vlogo in doprinos mikrovalov v današnjem času. Podajamo tudi nekatere predloge za uporabo tovrstne tehnike segrevanja kot ogrodja v izobraževalnem procesu.

## 1.1 METODE DELA

Vse eksperimente smo izvajali v primerno opremljeni učilnici za kemijo, fiziko in naravoslovje. Uporabljali smo vsa zaščitna sredstva; z nevarnimi produkti smo ravnali po predpisih, jih ustrezzo skladiščili, po potrebi nevtralizirali in jih na koncu oddali pristojnim službam. Delo, ki je zahtevalo uporabo posebne tehnologije in opreme, smo izvajali v sodelovanju s Kemijskim inštitutom v Ljubljani. Na inštitutu smo se najprej seznanili z ustreznimi varnostnimi ukrepi, v laboratoriju smo imeli na voljo vsa zaščitna sredstva in navodila za varno delo. Tamkajšnje delo je nadzorovalo in usmerjalo tehnično osebje v sodelovanju z mentorjem.

## 1.2 POTEK RAZISKOVALNEGA DELA

Raziskovalno delo smo razdelili v dva eksperimentalna sklopa.

V prvem sklopu smo s pomočjo podatkovnih baz preučili celotno področje in sprva eksperimente opravljali v šolskem merilu. Eksperimentalno delo smo opravljali za vsak omenjen eksperiment v treh paralelkah. Pri vsakem eksperimentu (poglavlje: Eksperimentalni del) smo podali povprečni čas poteka.

V zadnjem sklopu smo opravljali mikrovalovni razklop modelnega vzorca kot potencialno aplikacijo, ki je danes na voljo v razvojnoznanstvenih inštitucijah, na univerzah in predvsem v industriji. Vzorec je po navodilih proizvajalca vseboval kovine, katere smo po razklopu tudi določili.

## 2. TEORETIČNI DEL

### 2.1 METODE IN TEHNIKE SEGREVANJA PRI KEMIJSKIH REAKCIJAH

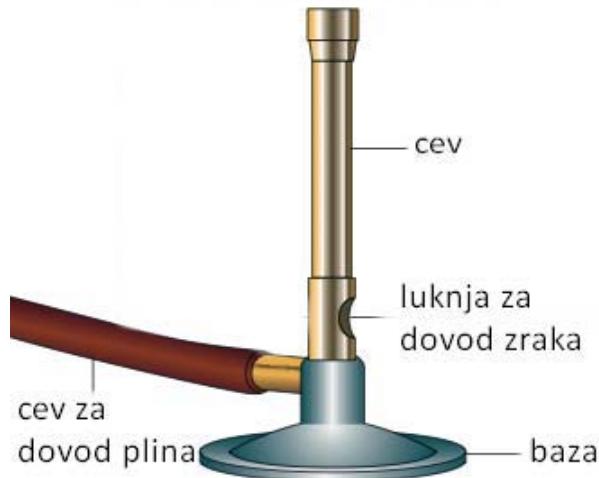
Na trgu je danes veliko metod in tehnik, ki jih lahko prilagodimo glede na vzorec. Skozi čas so se razvijale mnoge tehnike, med katerimi so danes nekatere potencialno nevarne, druge pa imajo nekatere pomanjkljivosti. Predstavili bomo najpomembnejše.

#### 2.1.1 BUNSENOV GORILNIK

Segrevanje v kemiji je problem že od samega začetka, čeprav brez njega ne moremo prav veliko. V 19. stoletju so kemiki dolgo segrevali na različne načine, ki pa niso dovolj učinkoviti za določene reakcije (npr. destilacija). Ko so začeli uporabljati plin za razsvetljavo, so ga začeli uporabljati kot gorivo pri segrevanju. *Robert Bunsen* je kot novi profesor na univerzi Heidelberg zahteval nov laboratorij in želel tudi nov gorilnik. Skliceval se je na podobnega, kot ga je leta 1856 patentiral Michael Faraday; tako je nastal Bunsenov gorilnik, ki je uporaben še danes [33].

Gorilnik je pogost pripomoček v laboratoriju, pri katerem lahko natančno reguliramo dovod plina in zraka (kisika) in ki proizvede vroč plin. Z reguliranjem plina in zraka lahko določimo višino in temperaturo plamena. Nastali plamen lahko uporabljamo za segrevanje pri kemijskih reakcijah, fizikalnih procesih in sterilizacijo učinkovin ter delovnega okolja [4]. Gorilnik je sestavljen iz železne cevi, ki je pritrjena na

podstavek, v katerem je odprtina za dovod plina. Na cevi je tudi manjša luknja za dovod zraka, ki deluje v optimalnem območju razmerja 1:3 (trikrat več zraka kot plina) [6].



Slika 1: Bunsenov gorilnik [30].

## 2.1.2 VODNE, OLJNE IN PEŠČENE KOPELI

Različni tipi kopeli se uporabljajo, ko želimo doseči konstantno temperaturo. V posodo nalijemo medij (vodo, olje ali pesek), nato posodo segrevamo na gorilniku ali plošči. Vanjo vstavimo manjšo posodo, v kateri je reakcijska zmes. Za nadzor temperature v reakcijski zmesi ali mediju uporabimo termometer. Reakcijska mešanica se tako segreva preko medija [30].

Za delo smo uporabili predvsem vodno kopel, ki lahko doseže temperature v bližini 70 °C. Vodna kopel je komercialno dostopna; ko je ne potrebujemo več, jo preprosto odstranimo. Oljne kopeli lahko dosežejo temperature okrog 200 °C, nasprotno pa lahko peščene dosežejo tudi dvakrat višjo temperaturo [30].

## 2.2 MIKROVALOVI

Mikrovalovi predstavljajo vrsto elektromagnetnega valovanja z valovno dolžino med 1 mm in 30 cm. Frekvenčno območje mikrovalov je med 0,3 GHz in 300 GHz. Ustvarjajo močno polarizirano polje [40].

Z mikrovalovi se srečujemo vsak dan. Pomemben in množično razširjen vir le-teh predstavljajo prenosni telefoni. Drug zelo pogost vir mikrovalov predstavlja mikrovalovna pečica, ki znotraj ohišja oddaja zelo visoke frekvence, podobne frekvencam mobilnih telefonov (večinoma s predpisano frekvenco 2450 MHz) [40].

Prenosni telefoni, radarji, radijski in televizijski oddajniki ter razne medicinske, raziskovalne in industriji namenjene naprave oddajajo mikrovalove. Četudi je res, da je izhodna moč anten digitalne sodobne tehnike precej nižja, kot je bila moč iz analognih virov nekoč, je današnja uporaba omenjenih virov mikrovalovnega sevanja precej pogostejša.

Za predstavo o frekvenčnih intervalih omenimo, da dolgovalovni in srednjevalovni radijski oddajniki delujejo pri frekvencah od 0,18 do 1,6 MHz, medtem ko UKV oddajniki oddajajo v frekvenčnem območju od 88 do 108 MHz. Za televizorje uporabljamo frekvenčno območje od 470 do 854 MHz. Prenosni telefoni obratujejo znotraj območja med 800 in 2600 MHz. Največja izhodna moč prenosnih telefonov je 1 W, baznih oddajnikov pa 500 W [41].

Mikrovalovi vplivajo na tekočine in trdnine tako, da le-te transformirajo elektromagnetno energijo v toploto. Mikrovalovi na molekule delujejo s silo, zaradi česar se spremeni lokacija nekaterih ionov, vibrirati lahko začnejo vzbujeni naboji. Molekule z dipolom, kot so molekule vode, se pričnejo vrteti in reorientirati. Zaradi omenjene sile začnejo atomi in molekule intenzivneje trkatи med seboj. Elektromagnetno energijo torej pretvarjajo v kinetično. Makroskopsko pojav opazimo kot povišanje temperature snovi, ki je izpostavljena mikrovalovnemu sevanju. Povišanje temperature poteka, dokler se vhodna energija mikrovalov ne izenači z energijo, ki jo telo s pomočjo krvi prenese po celotnem telesu. Čas, ki preteče, da se vzpostavi temperaturno ravnovesje, je ocenjen na nekaj minut [32].

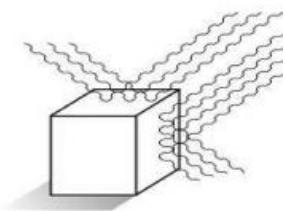
Segrevanje z mikrovalovi temelji na zmožnosti uporabe nekaterih tekočin in trdnih snovi, da absorbirajo in preoblikujejo elektromagnetno energijo v toploto [30].

## 2.3 UČINKI MIKROVALOV

Mikrovalovi vplivajo na snovi z več različnimi učinki. V mikrovalovni pečici je glavni učinek segrevanje, v telekomunikacijskih storitvah pa brezžični prenos podatkov.

Preglejmo glavne učinke mikrovalov v stiku z različnimi materiali [30].

- a) *Električni prevodniki* (kovine) – materiali, ki so dobri prevodniki; mikrovalovi se od njih odbijajo in povzročajo iskrenje.



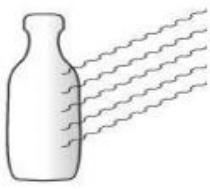
Slika 2: Prikaz mikrovalov ob stiku s prevodniki.

- b) *Izolatorji* – materiali, ki so slabi prevodniki, primer: porcelan, keramika, steklo in podobno.



Slika 3: Prikaz mikrovalov v stiku z izolatorji.

- c) *Trošni dielektrični* so materiali, ki so izolatorji, vendar kažejo tako imenovano dielektrično izgubo, kar se posredno izkazuje v proizvodnji toplote v elektromagnethem polju.



Slika 4: Prikaz mikrovalov v stiku s trošnimi dielektriki.

Energija mikrovalov se pri prodiranju v materiale pretvarja v rotacijsko, ki z globino slabí. Globina prodiranja je odvisna predvsem od prevodnosti materiala. Večja kot je prevodnost, manjša je globina prodiranja, saj se mikrovalovi skoraj popolnoma absorbirajo že na sami površini [30].

Po raziskavah imajo mikrovalovi negativen vpliv na hranila, vitamine in minerale v hrani. Uporaba mikrovalovne pečice torej ne ogroža zdravja zaradi sevanja, ki uhaja iz mikrovalovne pečice, saj je to neznatno, temveč zaradi učinka na samo hrano. Hrana, pogreta v mikrovalovni pečici, ima mnogo manjšo vsebnost encimov, vitaminov in mineralov; postane lahko tudi kisla, kar ima negativen vpliv na sam organizem. Znanstveniki priporočajo uporabo konvencionalnih načinov segrevanja, kljub manjši učinkovitosti, počasnejšemu segrevanju in večji porabi energije. Po nekaterih ugotovitvah naj bi tudi zelo kratko segrevanje v mikrovalovni pečici (ko ne pride do bistvenega segretja hrane) močno vplivalo na živila. V desetih sekundah hrana izgubi tudi do 97 % prehranske vrednosti, veliko za telo pomembnih organskih snovi pa se razgradi [29].

Na človeka najbolj vplivajo mikrovalovi, uporabljeni za telekomunikacije, saj jih je največ in so kljub manjši moči prisotni dalj časa in bliže človeku. Efektivna moč mikrovalov pada s kvadratom razdalje, kar pomeni, da ima oddajnik s konstantno močjo, oddaljen 10 m, stokrat manjši vpliv na človeka kot enak oddajnik na oddaljenosti 1 m. Ob predpostavki velja, da imata oddajnika anteno, ki ima enako ojačenje in je obrnjena v isto smer. Predpostavimo, da imamo prenosni telefon z izhodno močjo mikrovalov 2 W, ki je od referenčne točke oddaljen 1 m, ter bazno postajo, ki ima izhodno moč 50 W in je od referenčne točke oddaljena 500 m. Bazna postaja ima kljub mnogo večji izhodni moči 10000-krat manjšo intenzitetno sevanja na omenjeni referenčni točki. Za čim manjši vpliv mikrovalov na človeka je torej potrebno vire mikrovalov umakniti čim dlje in se jim izpostavljati čim krajši čas. Temu se

prilagajajo tudi proizvajalci mobilnih telefonov s tako imenovanim letalskim načinom. Omenjeni način onemogoči glavni radijski oddajnik telefona, še vedno pa sta dostopni funkciji »WiFi« in »Bluetooth«, ki oddajata pri zanemarljivih oddajnih močeh. Za dostop do interneta je zato omrežje »WiFi« bolj priporočljivo od samega mobilnega interneta. Ker je oddajna moč mikrovalov mobilnega telefona odvisna tudi od omrežnega signala, se priporoča preklop na ponudnika z boljšo pokritostjo določenega področja z mobilnim signalom. Priporoča se tudi preklop na mobilno omrežje z boljšim signalom (na primer iz omrežja LTE v omrežje HDSPA) [41].

## 2.4 UPORABA MIKROVALOV

Mikrovalovi se uporabljam za pripravo in segrevanje hrane, telekomunikacijo, radarsko tehnologijo, GPS (globalni sistem pozicioniranja) storitve, v astronomiji in spektroskopiji oziroma za ugotavljanje sestave zvez. Gre za široko uporabno vrednost na veliko področjih, kar predstavlja posledico velikega spektra frekvenc.

Za mobilno komunikacijo se uporabljam mikrovalovi frekvenc od 800 do 2600 MHz za zagotavljanje omrežij GSM, UMTS, HDSPA in LTE. Valovi, uporabljeni za telekomunikacijo, spadajo v razred UHF (ultra visoke frekvence). V mikrovalovni pečici se za segrevanje hrane uporabljam mikrovalovi od 2400 do 2500 MHz [1]. V raziskovalnem primeru smo producirali mikrovalove s frekvenco 2450 MHz.

Med drugim se mikrovalovi uporabljam tudi v različnih radarjih, uporabljenih za napovedovanje vremena, zaznavanje ladij in letal ter vojaške namene. Radar deluje na osnovi oddajanja mikrovalov iz antene in odboja le-teh. Radar na osnovi odmeva lahko določi oddaljenost, obliko, lokacijo, na podlagi večjih meritev lokacij objekta tudi hitrost in smer premikanja. Pri storitvah GPS se uporabljam mikrovalovi razreda UHV, natančneje razreda L. Za zagotovitev natančnega določanja koordinat in nadmorske višine bi načeloma zadostovali trije sateliti. Zaradi potrebe po zelo natančni uri, tudi v sprejemniku, ki je potrebna za izračun satelita od sprejemnika, za komercialne namene uporablja tudi četrti satelit [3, 26, 27].

V Sloveniji so prve raziskave z mikrovalovi začeli izvajati na Biotehniški fakulteti Univerze v Ljubljani, Oddelku za lesarstvo in obnovljive vire. Od leta 2002 potekajo raziskave tudi na Kemijskem inštitutu. Prvi na svetu so uporabili mikrovalove za utekočinjanje lesa in prvi uporabili les kot surovino za sintezo poliestrov. Prvi izdelek iz utekočinjenega lesa je bila poliestrska smola. Nadaljnji produkti so uporabni predvsem v agrotehniki in floristiki [7]. Ena izmed možnosti pri utekočinjenem lesu je tudi segrevanje z uporabo mikrovalovnega sevanja. Na ta način lahko pri uporabi enostavnih glikolov (propilen glikol, etilen glikol, dietilen glikol) in organskih kislinskih anhidridov (anhidrid maleinske kisline, anhidrid ftalne kisline) z dodatkom fosforjeve (V) kisline kot katalizatorja že v času 20 minut dosežemo popolno utekočinjenje lesa. S povečevanjem moči in časa mikrovalovnega sevanja ter višanjem vsebnosti fosforjeve (V) kisline se učinkovitost utekočinjenega lesa povečuje. Poleg utekočinjenja lesa v te namene lahko uporabimo tudi drevesno skorjo. Drevesno skorjo so utekočinili s fenolom ob uporabi kislinskih katalizatorjev ( $H_2SO_4$ , HCl) in iz nje izdelali smolo, ki so jo uporabili za izdelavo vlaknene plošče. Vlaknena plošča, izdelana iz utekočinjene skorje z uporabo žveplove (VI) kisline, je imela zelo dobre mehanske lastnosti [8].

Produkt reakcije je gosta temnorjava tekočina, ki ji pravimo utekočinjen les. Ford bo pri proizvodnji svojih avtomobilov kmalu začel uporabljati tako imenovani utekočinjeni les, nov material z veliko uporabnostjo, ki je prijazen do narave [21].

Mikrovalovna ekstrakcija predstavlja novo tehniko tretiranja in procesiranja prehrambenih proizvodov. Prikazane so prednosti mikrovalovne ekstrakcije eteričnih olj iz aromatskih rastlin. Takšni primeri, pridobljeni z ekstrakcijo, so: flavonoidi, kofein in polifenolne spojine iz čaja in grozdnih pečk. Mikrovalovi se koristijo v prehrambeni industriji ne samo za pečenje, pogrevanje, sušenje, odmrzovanje, blanširanje, dehidracijo, ampak tudi za pasterizacijo in sterilizacijo. Dokazano je, da je mikrovalovna ekstrakcija koristna v ekstrakciji pesticidov, fenolov, kovin, nekaterih polimerov, jedilnih olj, masti in drugih proizvodov. Prednost takšne ekstrakcije je, da se zaključi po nekaj minutah. Pri delu lahko uporabljam polarna in nepolarna topila. Koriščenje manjše količine topil izboljša učinkovitost in preciznost same ekstrakcije [23].

Tehnika z uporabo mikrovalov je preprosta, čista, hitra, učinkovita in ekonomična za večino organskih in anorganskih snovi [35].

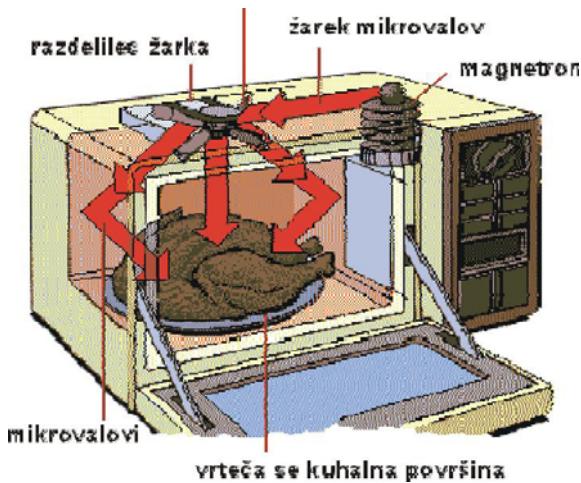
Mikrovalovi se uporabljajo v napravah, kot so televizijski oddajnik, radar – za navigacijsko pomoč v zraku in na morju – in telekomunikacije, vključno z mobilnimi telefoni. Uporabljajo se tudi v industriji za obdelavo materialov, v medicini za diametrično zdravljenje in v kuhinjah za kuhanje in gretje hrane. Kovinske posode popolnoma odbijajo mikrovalove, medtem ko so nekovinske snovi, na primer steklo in nekatere plastične mase, večinoma transparentne za mikrovalove. Za kuhanje ali pečenje v mikrovalovki je potrebno upoštevati lastnosti materialov, iz katerih so izdelane posode, ki se bodo uporabljale v mikrovalovki. Snovi, ki vsebujejo vodo, na primer hrana, tekočine ali tkiva, z lahkoto absorbirajo mikrovalovno energijo, ki se nato spremeni v toploto. Rezultati so pokazali, da so nekarcenogene, tako imenovane H<sub>4</sub> celice bolj občutljive na mikrovalovno sevanje kot kancerogeni, tako imenovani soj CaCo-2. Posledično je za rakave bolnike potencialna terapija z mikrovalovi neuporabna. Ugotovljeno je bilo, da so na splošno kancerogene celice manj občutljive na dražljaje iz okolja [36].

## 2.5 MIKROVALOVNA PEČICA

Mikrovalovna pečica se uporablja za segrevanje in pripravo hrane. Inovativni izum je delo Percyja Spencerja. Tako kot večina izumov je bila tudi mikrovalovna pečica odkrita po naključju. Percy Spencer je med obratovanjem magnetrona ugotovil, da se mu je čokoladica, ki jo je imel v žepu, stopila. Opažen pojav ga je pritegnil in kmalu je odkril, da se je to zgodilo zaradi učinka mikrovalov. Mikrovalovi, ki se uporabljajo v mikrovalovnih pečicah, imajo valovno dolžino 12,2 cm. Ta postopek je veliko hitrejši od običajnih pečic, saj se v običajni pečici hrana greje od njene zunanjosti proti notranjosti, uporabljeni živila so načeloma slabi toplotni prevodniki. V mikrovalovni pečici mikrovalovi prodrejo do sredine hrane in jo segrejejo enakomerno. Vodne molekule so polarne, zato se poskušajo poravnati z magnetnim poljem. Ker se v mikrovalovni pečici mikrovalovi več kot 2,5-bilijonkrat odbijejo od njenih sten, vodne molekule nihajo. Z drgnjenjem molekul se le-tem poveča toplotna energija oz. se segrejejo. Kljub prepričanju, da se hrana greje povsem enakomerno, to ni res, ker v

notranjost hrane prodre nekoliko manj mikrovalov. Zaradi relativno nizke frekvence mikrovalov v mikrovalovni pečici efekt ni tako opazen. Mikrovalovi, uporabljeni v mikrovalovni pečici, so sicer približno dvakrat večji od resonančne frekvence vodika, ki je 1420 MHz, so blizu dvakratniku omenjene frekvence, kar tudi povzroča nihanje. V mikrovalovni pečici se tako kot pri večini RF oddajnikov oddajajo tudi večkratniki frekvence, ki je v pečici uporabljana, oziroma višje harmonske komponente. Poleg motenj telekomunikacij, ki uporabljajo frekvence okrog 2,4 GHz spektra, povzroča tudi motnje na večkratnikih osrednje frekvence, vendar imajo na vsakem večkratniku osnovne frekvence manjšo moč [42].

Uhajanje mikrovalov iz mikrovalovne pečice preprečuje zgradba le-te. Ohišje predstavlja Faradayovo kletko, torej je edini možen izhod za mikrovalove skozi vrata mikrovalovne pečice. Izstopna vrata so prekrita s kovinsko mrežo z luknjicami, ki so premajhne za prehod mikrovalov, vendar vseeno dovolj velike za prehod svetlobe, ki ima mnogo krajšo valovno dolžino [2].



Slika 5: Sestavni deli mikrovalovne pečice [40].

Mikrovalovne pečice danes ponujajo veliko različnih programov in časovnih nastavitev. Dostopne so širši javnosti zaradi relativno nizke cene, tudi v primerjavi s konvencionalno pečico. Segrevanje v mikrovalovni pečici je učinkovitejše, saj ni potrebno segrevati zraka za segrevanje hrane. Časi segrevanja so mnogo kraši. Pojavljajo se le pomisliki o vplivu hrane, segrete v mikrovalovni pečici, na zdravje [28].

Po izvedenih študijah in poskusih lahko tudi zelo kratko segrevanje močno spremeni vpliv hrane na človeški organizem. Hrana, pripravljena z uporabo mikrovalovne pečice, ne vsebuje več živih struktur, obremenjuje nas tudi biokemijsko, saj se organske snovi deloma spremenijo v anorganske [29].

V industrijskem in raziskovalnem okolju je kot reprodukcija mikrovalovne pečice prisoten mikrovalovni reaktor, ki omogoča izvedbe reakcij, utekočinjanje komponent, razklope in podobno. Gre za aparaturo z bolj sofisticiranim delovanjem in nadzorom parametrov, ki jih moramo nadzorovati za ustrezni tip poskusa oz. reakcije.

## 2.6 HIPOTEZA

Literaturne navedbe definirajo segrevanje z mikrovalovi kot hitro in učinkovito metodo. Predvidevamo, da bo mikrovalovna pečica pri večini eksperimentov mnogo hitrejša od konvencionalnih načinov segrevanja pod pogojem, da bo imel vsaj eden od reaktantov ali topilo močno izražen dipolni moment.

Konkretne rešitve eksperimentalnega dela bodo izhodišča za nadaljnji razvoj eksperimentov, ki bi lahko služili za modelni prikaz učinkovitega poteka reakcij pri pouku kemije. Področje mikrovalov odpira nova vprašanja v smislu poteka same reakcije, kar bo izhodišče za nadaljnje študije in aplikacije praktične uporabe.

## 3. EKSPERIMENTALNI DEL

### 3.1 UVOD K EKSPERIMENTOM

Izvedba kemijskih reakcij v mikrovalovni pečici je zadnjih nekaj let velik trend, saj je večina kemijskih reakcij, izvedena s pomočjo mikrovalov, mnogo hitrejša. Segrevanje v mikrovalovni pečici je poleg omenjenega tudi cenejše v primerjavi s segrevanjem s plinskim gorilnikom.

Pred začetkom dela vse površine, na katerih bomo delali, očistimo in pripravimo za delo. Pripravimo tudi vse potrebne kemikalije, reagente in raztopine. Zaradi lastne varnosti uporabljamo zaščitna sredstva in prostor pred delom dobro prezračimo zaradi samih mikrovalovnih efektov, ki bodo po eksperimentalnem delu prisotni.

### 3.2 REAGENTI IN RAZTOPINE

#### *FEHLINGOV REAGENT I*

Raztopimo 7,00 g bakrovega(II) sulfata(VI) pentahidrata ( $\text{CuSO}_4 \times 5 \text{ H}_2\text{O}$ ) v 100 mL destilirane vode.

#### *FEHLINGOV REAGENT II*

Raztopimo 37,00 g kalij-natrijevega tartrata ( $\text{C}_4\text{H}_4\text{KNaO}_6 \times 4 \text{ H}_2\text{O}$ ) ter 10,00 g natrijevega hidroksida ( $\text{NaOH}$ ) v 100 mL destilirane vode.

### ***BENEDIKTOV REAGENT***

V prvi čaši raztopimo 17,30 g bakrovega(II) sulfata(VI) pentahidrata v 200 mL destilirane vode, v drugi čaši raztopimo 100 g natrijevega karbonata in 173,00 g natrijevega citrata v 700,0 mL destilirane vode. Vsebino obeh čaš kvantitativno prenesemo v 1 L merilno bučko, premešamo in vsebino dopolnimo do oznake na merilni bučki.

### ***ŠKROBOVICA***

10,00 g škroba raztopimo v 30,0 mL destilirane vode, premešamo do homogenosti in kvantitativno prenesemo v 1 L merilno bučko ter do oznake dopolnemo z vrelo destilirano vodo.

### ***JODOVICA***

V 20,0 mL destilirane vode kvantitativno prenesemo 3,00 g kalijevega jodida (KI) in 0,20 g joda ( $I_2$ ) ter dopolnemo z destilirano vodo do oznake na 100 mL merilni bučki. Premešamo, da postane raztopina homogena.

### **3.3 APARATURE IN INVENTAR**

#### ***APARATURE***

Mikrovalovna pečica MIDEA, tip MG7017NP-BM

Klasični Bunsenov gorilnik s priborom za segrevanje

Precizna tehnicka KERN, tip PBS/PBJ

Analizna tehnicka Mettler Toledo, tip XPE

Sodobni sistem za mikrovalovne razklope (Milestone, model Ethos 1) z različnimi rotorji (segmentni visokotlačni rotor HPR 1000/10S, visokotemperaturni rotor NOVA 10, kvarčni rotor Q 20, rotor za pripravo talin MULTIFAST 4)

Elementni optični emisijski spektrometer z vzbujanjem v induktivno sklopljeni plazmi (ICP-OES, Varian, model 715-ES)

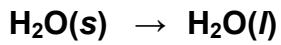
#### ***INVENTAR***

- merilni valj, 100mL, 2 kom.
- merilna bučka, 100 mL, 2 kom.
- merilna bučka, 250 mL, 2 kom.
- merilna buča, 1 L, 1 kom.
- čaša, 100 mL, 22 kom.
- čaša, 250 mL, 6 kom.
- čaša, 500 mL, 17 kom.
- pipeta, 10,0 mL, 9 kom.
- pipeta, 5,0 mL, 5 kom.
- epruveta, 23 kom.
- filtrirni papir, 4 kom.
- urno steklo, 5 kom.
- steklena palčka

- trska
- štoparica
- pinceta
- spatula, 5 kom.
- skalpel
- trinožnik
- keramična mrežica

## 3.4 EKSPERIMENTI

### 3.4.1 Segrevanje ledu – fazni prehod



V 100 mL čašo zatehtamo 1,00, 5,00 in 10,00 g ledu z začetno temperaturo -18 °C. Vsebino v čaši segrevamo. Primerjalno smo pri segrevanju opazovali popoln fazni prehod in zapisali čas poteka.

#### **Rezultat:**

Masa ledu (g)	Mikrovalovna pečica (čas, s)	Bunsenov gorilnik (čas, s)
1,00	15	9
5,00	29	31
10,00	40	45

Tabela 1: Čas, potreben za fazni prehod ledu.

### 3.4.2 Segrevanje vode



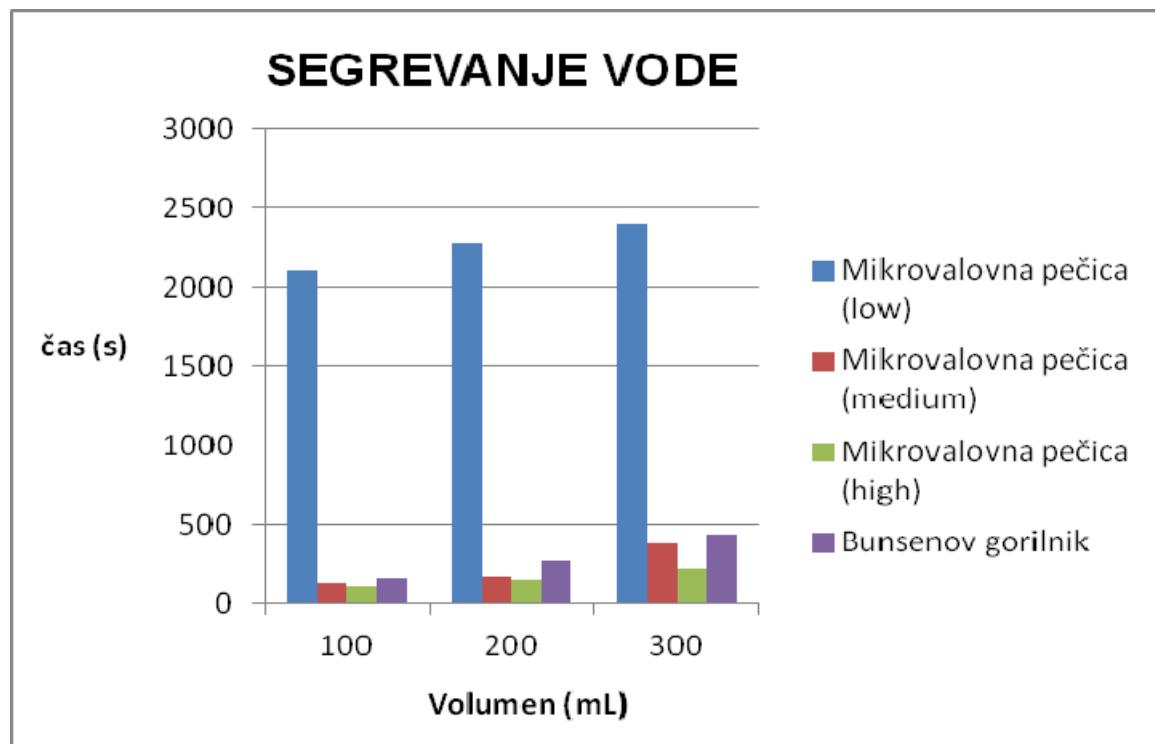
V 500 mL čašo odmerimo različne volumske količine vodovodne vode (100, 200 in 300 mL) in segrevamo do vrelišča v mikrovalovni pečici in na Bunsenovem gorilniku. Voda je imela začetno temperaturo 18 °C.

V mikrovalovni pečici segrevamo na različnih jakostih izhodne moči mikrovalov – *low* (17 % izhodne moči ali 119 W), *medium* (55 % izhodne moči ali 385 W) ter *high* (100 % izhodne moči ali 700 W). Na Bunsenovem gorilniku smo segrevali le na maksimalni jakosti.

**Rezultat:**

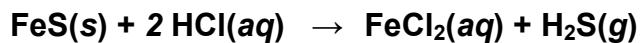
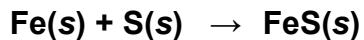
Volumen vode (mL)	Mikrovalovna pečica ( <i>low</i> ), čas (s)	Mikrovalovna pečica ( <i>medium</i> ), čas (s)	Mikrovalovna pečica ( <i>high</i> ), čas (s)	Bunsenov gorilnik, čas (s)
100	2100	137	109	162
200	2280	176	154	268
300	2400	381	224	435

Tabela 2: Čas, potreben za segretje vode do vrelišča, v odvisnosti od načina segrevanja in količine vode.



Graf 1: Prikaz učinkovitosti segrevanja vode.

### 3.4.3 Reakcija med železom in žveplom in dokaz produkta



V čašo smo zatehtali 0,60 g železa in 0,30 g žvepla. Železo in žveplo segrevamo 2 s, 5 s, 10 s, 20 s, in počakamo, da se reakcijska zmes ohladi, dodamo 0,50 mL koncentrirane klorovodikove kisline ter primerjamo intenzivnost barve nastalega produkta. Reakcijo je spremjal tudi vonj vodikovega sulfida, ki ima vonj po gnilih jajcih.

Časovni dokaz prikazuje nastanek intenzivne barve raztopine in vonja po gnilih jajcih pri najkrajšem času poteka, kjer se je pojavil dokaz.

#### **Rezultat:**

Mikrovalovna pečica: 10 s

Bunsenov gorilnik: 5 s



Slika 6: Vzorci po končanem dodajanju klorovodikove kisline.

### 3.4.4 Termični razpad živosrebrovega(II) oksida



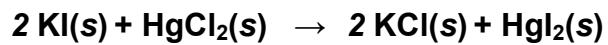
V 50 mL čašo zatehtamo 0,5 g živosrebrovega (II) oksida. Pri segrevanju na gorilniku smo nad čašo držali tlečo trsko in merili čas, da trska zagori oziroma da reakcija poteče. Pri mikrovalovni pečici smo segrevali čaše po enakomernih časovnih intervalih na vsake 2 s in preverili nastanek produkta s tlečo trsko.

**Rezultat:**

Mikrovalovna pečica: 20 s

Bunsenov gorilnik: 43 s

### 3.4.5 Sinteza živosrebrovega(II) jodida



V 50 mL čašo zatehtamo živosrebrov(II) klorid (0,02 mol, 4,72 g) in kalijev jodid (0,01 mol, 1,66 g). Reakcijsko zmes segrevamo vse do nastanka svetlo oranžnega dokaza, nastanka produkta.

**Rezultat:**

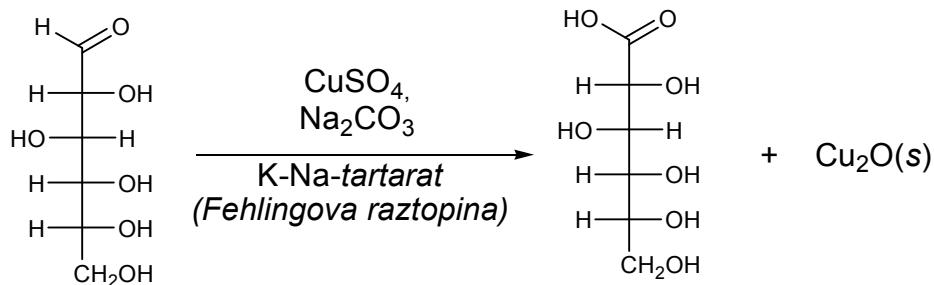
Mikrovalovna pečica: 186 s

Bunsenov gorilnik: 21 s



Slika 7: Vzorec, segret v mikrovalovni pečici tik po segrevanju.

### 3.4.6 Fehlingova reakcija



V 50 mL čašo smo odpipetirali 30,0 mL destilirane vode in v njej raztoplili 3,00 g glukoze. V raztopino glukoze smo odpipetirali 2,0 mL reagenta Fehling I in 2,0 mL Fehling II. Raztopino smo dobro premešali. Merili smo čas prehoda spremembe barve iz modre v oranžno.

**Rezultat:**

Mikrovalovna pečica: 33 s

Bunsenov gorilnik: 231 s



Slika 8: Nastali produkt Fehlingove reakcije v mikrovalovni pečici.

### 3.4.7 Termični razpad amonijevega dikromata(VI)



V erlenmajerico smo zatehtali 5,00 g amonijevega dikromata(VI) in ustje erlenmajerice rahlo zamašili s stekleno volno, da smo s tem preprečili izhajanje kromovega(III) oksida v okolico.

**Rezultat:**

Mikrovalovna pečica: /

Bunsenov gorilnik: 89 s



Slika 9: Buren razpad amonijevega dikromata(VI).

### 3.4.8 Kristalizacija bakrovega(II) sulfata(VI) pentahidrata



V tri čaše (za vsako tehniko segrevanja posebej) smo natehtali po 5,00 g bakrovega(II) sulfata(VI) pentahidrata in dodali v vsako izmed njih po 5, 10 in 15 mL destilirane vode. Mešanice smo segrevali do temperature vreliča na gorilniku in v mikrovalovni pečici. Po segrevanju smo mešanice pustili, da se ohladijo, in primerjali rast kristalov.

**Rezultat:**

Volumen destilirane vode (mL)	Mikrovalovna pečica (čas, s)	Bunsenov gorilnik (čas, s)
5	14	26
10	16	28
15	17	31

Tabela 3: Prikaz časov, potrebnih za segretje raztopine, v odvisnosti od načina segrevanja.

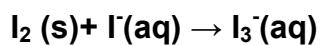


Slika 10: Rast kristalov po enem tednu pri segrevanju na gorilniku.



Slika 11: Primer kristalov po enem tednu pri segrevanju v mikrovalovni pečici.

### 3.4.9 Škrobovica in jodovica



V čaši smo odmerili 30 mL škrobovice in dodali 0,30 mL jodovice. Mešanico smo dobro premešali in segrevali. Merili smo čas nastanka prozorne raztopine.

**Rezultat:**

Mikrovalovna pečica: 25 s

Bunsenov gorilnik: 88 s

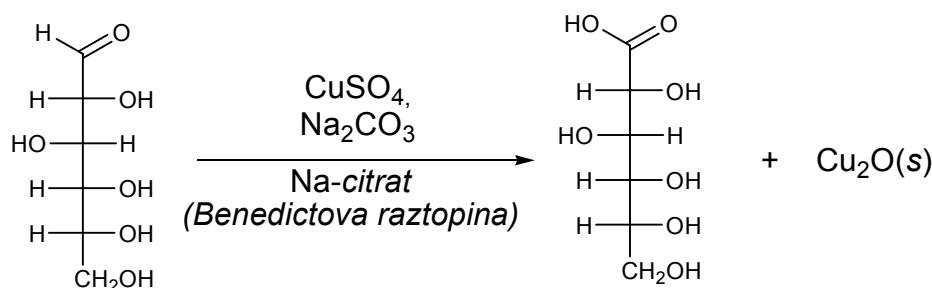


Slika 12: Reakcijska mešanica po poteku reakcije.



Slika 13: Zmes jodovice in škrobovice, segreta do vrelišča.

### 3.4.10 Benedictova reakcija



Pripravili smo sedem različnih vzorcev. Vseh sedem vzorcev smo prenesli v čašo, dodali 470 mL destilirane vode s temperaturo 18 °C in segrevali. Med segrevanjem smo opazovali, po kolikšnem času so se le-ti dokončno obarvali.

Legenda vzorcev in njihove vsebnosti:

- 1:** 200 mg saharoze, 2 mL 18,5 % raztopine klorovodikove kisline, 2 mL Benedictovega reagenta in 1,00 g natrijevega hidrogen karbonata;
- 2:** 200 mg glukoze in 2 mL Benedictovega reagenta;
- 3:** raztopina glukoze (200 mg glukoze v 1,8 mL destilirane vode), 2 mL Benedictovega reagenta;
- 4:** raztopina saharoze (200 mg saharoze v 1,8 mL destilirane vode), 2 mL Benedictovega reagenta, 2 mL 18,5 % raztopine klorovodikove kisline in 1,00 g natrijevega hidrogen karbonata;
- 5:** realni vzorec – 1 (2,00 g grozdnih jagod) in 2 mL Benedictovega reagenta;
- 6:** kontrolni vzorec – K (2 mL destilirane vode in 2 mL Benedictovega reagenta).

#### **Rezultat:**

Mikrovalovna pečica: 396 s (*vzorec, grozdje*)

Bunsenov gorilnik: 155 s (*vzorec, grozdje*)



Slika 14: Vzorci, testirani z Benedictovim reagentom.

### 3.4.11 Sinteza urea-formaldehidne smole

V čašo zatehtamo 1,00 g sečnine, s pipeto dodamo 3,0 mL formaldehida. Vsebino dobro premešamo in segrevamo do nastanka goste in viskozne vsebine – smole.

#### **Rezultat:**

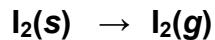
Mikrovalovna pečica: 43 s

Bunsenov gorilnik: 100 s



Slika 15: Primera pripravljenih smol.

### 3.4.12 Sublimacija joda

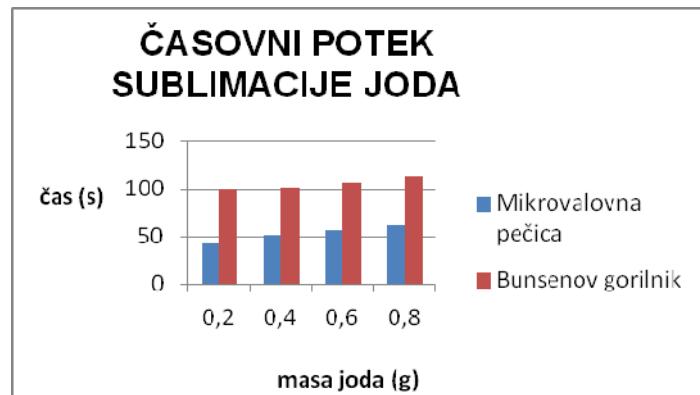


V čašo zatehtamo jod (0,2, 0,4, 0,6 in 0,8 g), čašo pokrijemo z urnim stekлом in segrevamo, dokler ves jod ne sublimira.

#### Rezultat:

Masa joda (g)	Mikrovalovna pečica (čas, s)	Bunsenov gorilnik (čas, s)
0,2	44	100
0,4	52	102
0,6	56	107
0,8	62	113

Tabela 4: Čas, potreben za sublimacijo joda, v odvisnosti od mase joda in načina segrevanja.



Graf 2: Prikaz sublimacije joda v obliki stolpičnega diagrama.

### 3.4.13 Sinteza tiourea-formaldehidne smole

V čašo smo zatehtali 1,00 g tio-sečnine (oz. tio-uree) in s pipeto dodali 3,0 mL formaldehida. Vse skupaj smo premešali ter segrevali do nastanka goste in viskozne vsebine – smole.

**Rezultat:**

Mikrovalovna pečica: 29 s

Bunsenov gorilnik: 113 s



Slika 16: Produkta po reakciji.

### 3.4.14 Priprava bakrovega(II) oksida



V 250 mL čašo zatehtamo 2,00 g (8,01 mmol) bakrovega (II) sulfata (VI) pentahidrata, dodamo 10 mL destilirane vode in dobro pomešamo, da nastane homogena raztopina. Raztopini dodamo 10 mL 6,0 M raztopine natrijevega hidroksida in vsebino dobro premešamo.

Reakcijsko mešanico segrevamo do vrelišča na gorilniku oz. v mikrovalovni pečici, pri tem nastane produkt.

Nastali produkt iz reakcijske zmesi filtriramo in posušimo do suhega.

#### Rezultat:

Mikrovalovna pečica: 32 s

Bunsenov gorilnik: 126 s

### 3.4.15 Priprava mila

Ločeno pripravimo dve raztopini. V 400 mL čašo zatehtamo 20,00 g trdne rastlinske masti, v drugo čašo pa 4,00 g trdnega NaOH in dodamo po 20,0 mL destilirane vode ter mešamo, dokler ne dobimo homogene raztopine. Vsebino iz 100 mL čaše ob mešanju dodajamo v 400 mL čašo. Zmes rastlinske masti in raztopljenega NaOH postavimo nad gorilnik ali v mikrovalovno pečico in počakamo, da se vsebina segreje na vrelišče. Po poteku dodamo 150 mL vroče vode, nato ob mešanju dodajamo natrijev klorid (1,85 g), dokler se milno jedro ne loči od podlage. Pripravljeno milo posušimo in opravimo test na penjenje v navadni in destilirani vodi.

**Rezultat:**

Mikrovalovna pečica: 32 s

Bunsenov gorilnik: 222 s

### **3.4.16 Sinteza umetnega medu**

100,0 g kristalnega sladkorja raztopimo v 200 mL vode s temperaturo 80 °C. Med mešanjem dodamo 0,10 g mlečne kisline. Vsebino v čaši s tehniko segrevanja uparimo do polovice volumna.

**Rezultat:**

**Časi, potrebni za segretje vode na 80 °C:**

Mikrovalovna pečica: 71 s

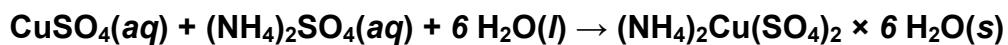
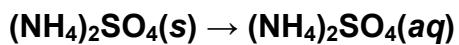
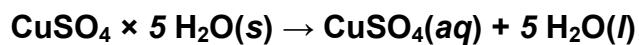
Bunsenov gorilnik: 975 s

**Časi, potrebni za uparitev do polovice volumna:**

Mikrovalovna pečica: 692 s

Bunsenov gorilnik: 3850 s

### 3.4.17 Sinteza dvojne soli



V 50 mL čašo zatehtamo 5,00 g predhodno dobro uprašenega bakrovega (II) sulfata (VI) pentahidrata. Dodamo 2,60 g amonijevega sulfata (V) in 10 mL destilirane vode. Zmes segrevamo. Ko zavre, pustimo, da se ohladi, in nastale kristale filtriramo ter sušimo. Kristale postavimo v čašo. V obeh primerih pripravimo 3,01 g produkta.

**Rezultat:**

Mikrovalovna pečica: 157 s

Bunsenov gorilnik: 615 s



Slika 17: Dvojna sol po končani kristalizaciji.

### 3.4.18 Sinteza nikljevega kompleksa z dimetilglioksimom



V 100 mL čašo zatehtamo 1,40 g  $\text{NiSO}_4 \times 7 \text{ H}_2\text{O}$  in ga raztopimo v 30 mL destilirane vode, dobro premešamo, kvantitativno prenesemo v 250 mL bučko in dopolnimo do oznake z destilirano vodo. Vsebino v bučki dobro premešamo. V 500 mL čašo odpipetiramo 50,0 mL raztopine iz bučke in dodamo 100 mL destilirane vode ter segrevamo do vrelišča (v mikrovalovni pečici in na gorilniku). V čašo nato dodamo 4,0 mL koncentrirane ocetne kisline in med intenzivnim mešanjem še 140 mL 10 % raztopine  $\text{NaCH}_3\text{COO}$ . Sledi dodajanje reagenta, dimetilglioksima. V reakcijsko zmes dodamo 1,20 g obarjalnega reagenta, dimetilglioksima. Ko se raztopina obarva, prenehamo z mešanjem. Vsebino ohladimo in filtriramo nastali produkt. Masa produkta v obeh primerih znaša 0,85 g.

#### Rezultat:

Mikrovalovna pečica: 130 s

Bunsenov gorilnik: 175 s



Slika 18: Nikljev kompleks z dimetilglioksimom po segrevanju.

### 3.5 MIKROVALOVNI RAZKLOP MODELNEGA VZORCA

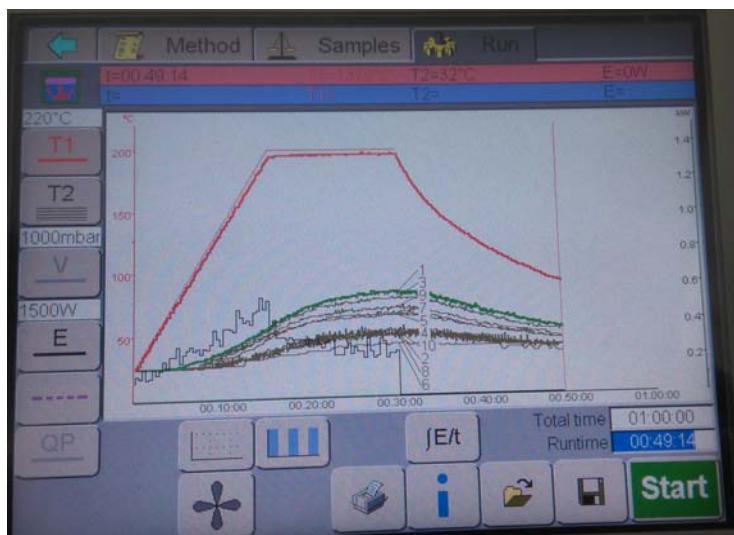
Modelni vzorec predstavlja standardni referenčni material, ki ga v mikrovalovni analizni kemiji uporabljajo za razvoj novih metod; največkrat služi predvsem kot kontrolni vzorec pri validaciji analizne metode. Gre za vzorec zmletih in fino uprašenih breskovih listov, «*Peach leaves*», anonimnega proizvajalca z znano (standardno) vsebnostjo večine kovinskih ionov. Navajamo le vsebnost kalcijevih,  $\text{Ca}^{2+}$  ionov, ki jih vsebuje v vrednosti  $(1,56 \pm 0,02) \%$ , katere smo na koncu tudi izmerili. Kvantitativna vsebnost kalcijevih( $2+$ ) ionov ni bila jedro raziskovalnega problema, ampak nam je služila zgolj kot aplikacija predhodno pripravljenega oz. razklopljenega vzorca za analizo.

Realne vzorce v analizni kemiji razklopimo, da bi v njih analizirali vsebnost komponent, ki jih vsebujejo (kationi, anioni, biološko aktivne spojine in podobno). Razklop vzorca smo opravili na sodobnem sistemu za mikrovalovne razklope (Milestone, model Ethos 1). Meritve smo opravili v petih paralelnih določitvah (dva vzorca in tri različne kontrole).

Za redčenje in pripravo raztopin smo uporabili deionizirano vodo s konstantnim nadzorom upornosti, saj bi vsebnost nekaterih kovin v topilu motila nadaljnje delo.

V dve referenčni posodici na analizni tehnični na 4 decimalna mesta natančno (med 0,1600 in 0,1800 g) pod ionizatorjem zatehtamo vzorec breskovih listov. Z avtomatskim dozatorjem po kapljicah dodamo 7,00 mL koncentrirane dušikove(V) kisline in 1,00 mL koncentrirane raztopine vodikovega peroksida. Referenčne posodice z vzorci in s kontrolami postavimo v matrico, ki ima obliko kroga. Sledi zapiranje referenčnih posodic vzorca in kontrol s sistemom, ki omogoča, da so vsi vzorci v krožnem sistemu zaprti enakomerno in pod enakimi pogoji. Vzorce vstavimo v mikrovalovni reaktor, kjer je osrednji del (tako imenovana pečica). V osrednji del reaktorja vstavimo tudi sondu za merjenje temperature med samim procesom. Na računalniško vodenem zaslonu nastavimo parametra, ključna za razklop: začetna temperatura  $25^{\circ}\text{C}$  in čas trajanja 60 minut. Sistem med samim procesom vrati vzorce v krožni matrici in vrši razklop.

Po končanem razklopu vzorce v krožni matrici hladimo s pomočjo ustreznega programa (10 minut). Vsebine referenčnih posodic kvantitativno prenesemo v 250 mL bučke in razredčimo vsebino do oznak na merilnih bučkah z deionizirano vodo. Tako pripravljeni vzorci so primerni za nadaljnje analizne aplikacije in meritve vsebnosti. V našem primeru smo s pomočjo elementno optičnega emisijskega spektrometra z vzbujanjem v induktivno sklopljeni plazmi (ICP-OES) izmerili vsebnost kalcijevih ionov s pomočjo metode umeritvene krivulje.



Slika 19: Graf temperature v odvisnosti od časa ob koncu mikrovalovnega razklopa, izrisan na mikrovalovnem reaktorju.



Slika 20: Standardni referenčni material, breskvini listi, ter originalna embalaža.

## 4. REZULTATI IN DISKUSIJA

### 4.1 OPAŽANJA

Iz rezultatov je razvidno, da je mikrovalovna pečica veliko hitrejša od klasičnega Bunsenovega gorilnika.

Na mikrovalovni pečici nastavitev *low* ni najbolj primerna za segrevanje, saj 17 % celotne moči ni dovolj. Nastavitev *high* je odlična za segrevanje vode in ledu, vendar je pri nekaterih eksperimentih premočna, tako da je *medium* idealna nastavitev za segrevanje pri večini eksperimentov.

Mikrovalovna pečica je za razliko od gorilnika tudi varnejša za uporabo, ker se za segrevanje ne uporablja plina.

### 4.2 REZULTATI EKSPERIMENTOV V MIKROVALOVNI PEČICI

V mikrovalovni pečici se najhitreje segrejejo snovi, katerih resonančna frekvenca je blizu 2450 MHz, kar predstavlja frekvenco mikrovalov v omenjeni mikrovalovni pečici.

Vodne raztopine reagentov so bile segrete mnogo hitreje kot sami čisti reagenti. Uporabljena mikrovalovna pečica ima tudi funkcijo *grill*, ki je najverjetneje uporabnejša pri segrevanju snovi, ki imajo zelo nizek dipolni moment. Vse eksperimente smo delali na stopnji *medium*, ki razvije samo 55 % maksimalne izhodne moči mikrovalov (385 W). Stopnja *high* bi bila primernejša predvsem za večje količine reagentov. Pri nekaterih manjših količinah reagentov, ki so se hitro segrevali, je bila reakcija precej burna (npr. pri sintezi bakrovega oksida), kar je privedlo do raznosa reakcijske vsebine po notranjosti pečice. V nadaljevanju smo eksperiment optimizirali do te meje, da je reakcija potekla manj burno. Ujeti smo morali trenutek, ko je reakcijska mešanica zavrela, in smo nekaj sekund pred tem izklopili delovanje, saj ima reakcija svoj t.i. reakcijski čas.

Pri reakcijah, kjer je bila prisotna kristalizacija, bi bil produkt segrevanja v mikrovalovni pečici uporabnejši kot izhodni material za nadaljnje reakcije. Produkt kristalizacije na gorilniku je učinkovit primer prikaza rasti kristalov.

#### 4.3 REZULTATI MIKROVALOVNEGA RAZKLOPA

V mikrovalovnem reaktorju za razklope vzorcev je razklop potekal nadzorovano, saj je reakcijski sistem nadzoroval računalnik.

Pred razklopom smo na analizni tehnicni zatehtali vzorca:

Vzorec 1: 0,1713 g

Vzorec 2: 0,1652 g

Vzorec 1 smo tehtali v normalnih okoliščinah tehtanja, medtem ko smo vzorec 2 tehtali pod ionizatorjem, kakor je zahteval protokol tovrstnih analiz.

Vzorca smo po razklopu kvantitativno prenesli v 250 mL bučko in razredčili do oznake. V vsebini vzorca smo analizirali vsebnost kalcijevih(2+) ionov, in sicer s pomočjo metode ICP-OES. Za osnovo nam je služila uporaba umeritvene krivulje.

Določili smo naslednjo vrednost kalcijevih(2+) ionov:

Vzorec 1: 1,45 %

Vzorec 2: 1,56 %

Pri vzorcu 2, kjer smo upoštevali celoten protokol, smo dobili natančno vrednost, kot jo je izdal proizvajalec. Pri vzorcu, katerega smo pripravili pod običajnimi pogoji tehtanja, smo pokazali, da prihaja do napake. Tehnika običajnega tehtanja ni primerna za tovrstne analize.

## 5. ZAKLJUČEK

Po rezultatih, pridobljenih med raziskovalnim delom, so kemijske reakcije pod vplivom mikrovalov kot vira termične energije obetavne za nadaljnje aplikacije. Iz omenjenega lahko zastavljeno hipotezo v celoti potrdimo.

Eksperimenti, v katere vključujemo mikrovalove kot tehniko segrevanja, obsegajo ožji spekter primernih eksperimentov, konkretno le-ti potečejo bistveno hitreje.

Segrevanje v mikrovalovni pečici je prav tako mnogo bolj praktično, saj ni potrebno zagotoviti plinskih kartuš ali bomb, prav tako reakcija poteka brez odprtrega plamena, kar poveča varnost. Cena porabljene električne energije je mnogo nižja kot cena novih kartuš za plinske gorilnike. Iz vidika šolstva so ti eksperimenti naravnani tako, da jih lahko uporabljajo tako učenci kot dijaki. Na vsaki razvojni stopnji je model reakcije učinkovit primer prikaza hitrega poteka. Danes v kemijski industriji kontinuirano vršijo mikrovalovno aktivacijo kemijskih reakcij, zato ne vidimo razloga, da ne bi uporaba prišla tudi v šolske klopi.

S primerom uporabe pridobljenega znanja smo eksperimente nadgradili z modelom mikrovalovnega razklopa, kjer smo opazovali dogajanja v standardnem referenčnem materialu. S poskusom razklopa smo prikazali učinkovitost sistema za mikrovalovne razklope in pri tem z dvema neodvisnima poskusoma pokazali, kako način tehtanja vpliva na rezultat same analize.

## 6. LITERATURA

- [1] Dostopno na URL naslovu: <http://www.mobilna-telefonija.com/mobilni-informator/85-frekvence.html> [6. 10. 2015, 15.40 uri].
- [2] Microwave. Dostopno na URL naslovu: <https://en.wikipedia.org/wiki/Microwave> [6. 10. 2015, 15.42 uri].
- [3] Wavelength Frequency Calculator. Dostopno na URL naslovu:  
<http://www.wavelengthcalculator.com/> [6. 10. 2015, 15.46 uri].
- [4] Dostopno na URL naslovu: <http://www.jove.com/science-education/5035/introduction-to-the-bunsen-burner> [6. 10. 2015, 15.55 uri].
- [5] Dostopno na URL naslovu:  
[http://www.bbc.co.uk/schools/gcsebitesize/science/ocr\\_gateway\\_pre\\_2011/carbon\\_chem/7\\_using\\_carbon\\_fuels2.shtml](http://www.bbc.co.uk/schools/gcsebitesize/science/ocr_gateway_pre_2011/carbon_chem/7_using_carbon_fuels2.shtml) [6. 10. 2015, 15.59 uri].
- [6] Dostopno na URL naslovu: <http://www.britannica.com/science/Bunsen-burner> [6. 10. 2015, 16.06 uri].
- [7] Kunaver, M., Jasiukaityte, E., Utekočinjen les – nov način uporabe lesne biomase. *Les*, 1, 2008, 12–15.
- [8] Čuk, N., Optimizacija utekočinjenjenja lesa različnih drevesnih vrst. *Diplomska delo*, Ljubljana, 2008.
- [9] Kampos, T., Poskus kot sredstvo vizualizacije za aktivno in kvalitetno učenje. *Vzgoja in izobraževanje v informacijski družbi*, Ljubljana, 1–14.
- [10] Mele, I., Kralj, M., Železnik, N., Oh to sevanje!, *Raopis*, 14, 2006, 5–8.
- [11] Mele, I., Radioaktivnega sevanja ni, je le sevanje radioaktivnih snovi, *Raopis*, 14, 2006, 9–12.
- [12] Mele, I., Kaj je zares nevarno?, *Raopis*, 14, 2006, 13–15.
- [13] Mele, I., Sevanje iz naravnih virov ali naravno ozadje, *Raopis*, 14, 2006, 16–18.

- [14] Kralj, M., Biološke spremembe, ki jih povzroči sevanje, *Raopis*, 14, 2006, 19–21.
- [15] Čalič, D., Ali ste vedeli, da ..., *Raopis*, 14, 2006, 22–23.
- [16] Škrk, D., Varstvo pred sevanji, *Raopis*, 14, 2006, 24–26.
- [17] Omahen, G., Varstvo pred sevanji v praksi, *Raopis*, 14, 2006, 27–28.
- [18] Meli, I., Nedoslednosti v sistemu varstva pred sevanji, *Raopis*, 14, 2006, 29–31.
- [19] Kralj, M., Sevanje in radioaktivnost, šola in izobraževanje, *Raopis*, 14, 2006, 32.
- [20] Železnik, N., Ukrepanje ob izrednih sevalnih dogodkih, *Raopis*, 14, 2006, 33–34.
- [21] Kunaver, M., Čuk, N., Medved, S., Kemijska pretvorba in uporaba lesne biomase, *Interni gradivo*, Kemijski inštitut Ljubljana in Center odličnosti PoliMaT, Biotehniška fakulteta Univerze v Ljubljani, Oddelek za lesarstvo, Slovenj Gradec, 2010.
- [22] Roksandić, Ž., Mikrovalno zračenje, mikrovalna teorija, mikrovalna organska sinteza, sintetske metode, Poreč, 2008.
- [23] Blekić, M., Jambrak, Režek, A., Chemat, F., Mikrovalna ekstrakcija bioaktivnih spojeva, *Croatian Journal food sintic technology*, 2011, 32–47.
- [24] Bren, U., Računalniške simulacije karcinogeneze, *Novice IJS*, 2010, 1–3.
- [25] Bastl, P., Maček, J., Novosel, B., Priprava nanometerskih nikljevih prahov z redukcijo v sistemu Ni sol – hidrazin – voda – dietanolamin, *Materiali in tehnologije*, 36, 5, 2002, 215–219.
- [26] Radar. Dostopno na URL naslovu: <https://sl.wikipedia.org/wiki/Radar> [7. 1. 2016 ob 11:55 uri].
- [27] Globalni sistem pozicioniranja. Dostopno na URL naslovu:  
[https://sl.wikipedia.org/wiki/Globalni\\_sistem\\_pozicioniranja](https://sl.wikipedia.org/wiki/Globalni_sistem_pozicioniranja) [7. 1. 2016 ob 12:05 uri].

[28] Mikrovalovna pečica. Dostopno na URL naslovu:

[https://sl.wikipedia.org/wiki/Mikrovalovna\\_pe%C4%8Dica](https://sl.wikipedia.org/wiki/Mikrovalovna_pe%C4%8Dica) [7. 1. 2016 ob 13:10 uri].

[29] Ali jedi iz mikrovalovne pečice povzročajo raka? Dostopno na URL naslovu:

<http://vizita.si/clanek/alergije/jedi-iz-mikrovalovke-povzrocajo-raka.html> [3. 1. 2016 ob 11:10 uri].

[30] Ferjan, P., Šlibar, M., Uporaba mikrovalov pri kemijskih reakcijah in primeri njihovih umestitev v učni načrt ter prakso na srednji stopnji izobraževanja, *Raziskovalno delo*, 2015, Ljubljana.

[31] Vpliv mikrovalov na živo snov. Dostopno na URL naslovu: <http://www-f1.ijs.si/~ziherl/VplivMikrovalovNaZivoSnov.pdf> [6. 2. 2016 ob 10:55 uri].

[32] Suhadolčan, M., Vpliv mikrovalov na živo snov, *Seminarsko delo*, Fakulteta za matematiko in fiziko, 2009.

[33] Falatov, Vesna, Dotik, barva, vonj, zvok, svetloba, Zavod Republike Slovenije za šolstvo, Ljubljana, 1996, 18-35.

[34] Kralj, P., Rentzsch, W., Weissel, H., Preprosti kemijski poskusi za šolo in prosti čas, *Državna založba Slovenije*, 1994, 226, 22.

[35] Ravichandran, S., Karthikeyan, E., Microwave Synthesis – A Potential Tool for Green Chemistry, *ChemTech*, 2011.

[36] Hudournik, Ž., Pohorec, J., Vpliv mikrovalov na karcinogene in nekancerogene celice ter na rast rastlin, *Raziskovalna naloga*, 2010.

[37] Gude, V., G., Patil, P., Martinez-Guera, E., Deng, S., Nirmalakhandan, Microwave energy potential for biodiesel production, 2013. Dostopno na: <http://www.sustainablechemicalprocesses.com/content/1/5/5> [6. 2. 2016 ob 11:06 uri].

[38] England, R., Microwave Synthesis: a new wav of synthetic organic chemistry, *LabPlus international*, 2003.

[39] Tiourea. Dostopno na URL naslovu:

[https://www.google.si/search?q=tiourea&rlz=1C1CHKW\\_sISI505SI527&espv=2&biw=1280&bih=923&tbo=isch&imgil=djZgtHgSI4X4FM%253A%253B-xw4k7EwISFSnM%253Bhttp%25253A%25252F%25252Fwww.wikiwand.com%25252Fca%25252FTiourea&source=iu&pf=m&fir=djZgtHgSI4X4FM%253A%252C-xw4k7EwISFSnM%252C &usq=Y406DyKy8INYbHjGGI2DC9o-s5Q%3D&ved=0CDsQyjdqFQoTCMCx3KS7nMkCFQOJDwodu4IOPQ&ei=Ob1NVoCxIIOSPruFuugD#imgrc=djZgtHgSI4X4FM%3A&usq=Y406DyKy8INYbHjGGI2DC9o-s5Q%3D](https://www.google.si/search?q=tiourea&rlz=1C1CHKW_sISI505SI527&espv=2&biw=1280&bih=923&tbo=isch&imgil=djZgtHgSI4X4FM%253A%253B-xw4k7EwISFSnM%253Bhttp%25253A%25252F%25252Fwww.wikiwand.com%25252Fca%25252FTiourea&source=iu&pf=m&fir=djZgtHgSI4X4FM%253A%252C-xw4k7EwISFSnM%252C &usq=Y406DyKy8INYbHjGGI2DC9o-s5Q%3D&ved=0CDsQyjdqFQoTCMCx3KS7nMkCFQOJDwodu4IOPQ&ei=Ob1NVoCxIIOSPruFuugD#imgrc=djZgtHgSI4X4FM%3A&usq=Y406DyKy8INYbHjGGI2DC9o-s5Q%3D) [10. 12. 2015 ob 13:15 uri]

[40] Suhodolčan M., Vpliv mikrovalov na živo snov, Fakulteta za matematiko in fiziko, *Seminarsko delo*, 2009, Ljubljana.

[41] SAR center. Dostopno na URL naslovu: [http://www.forum-ems.si/sar\\_center.html](http://www.forum-ems.si/sar_center.html) [20. 2. 2016 ob 12:06 uri].

[42] Harmonics (electrical power). Dostopno na URL naslovu:

[https://en.wikipedia.org/wiki/Harmonics\\_\(electrical\\_power\)#Total\\_harmonic\\_distortion](https://en.wikipedia.org/wiki/Harmonics_(electrical_power)#Total_harmonic_distortion) [21. 2. 2016 ob 11:03 uri].

[43] Ban, I., Kristl, M., *Vaje iz splošne in anorganske kemije: navodila za vaje*, Maribor: Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo, 2009. Dostopno na URL naslovu: [http://atom.uni-mb.si/edu/egradiva/anorganska\\_kemija\\_vaje.pdf](http://atom.uni-mb.si/edu/egradiva/anorganska_kemija_vaje.pdf) [27. 12. 2015 ob 18:04 uri].

## 7. DODATEK

### 7.1 VARNOSTNA OPORIZILA KEMIKALIJ

Ime kemikalije	Formula	M (g/mol)	Piktogram	H-stavki	P-stavki	CAS
Bakrov(II) sulfat(VI) pentahidrat	$\text{CuSO}_4 \times 5 \text{H}_2\text{O}$	249,68		H315- H302- H319- H410	P302-P352-P273- P305+P351+P338	7758-99-8
Kalij-natrijev tartarat	$\text{C}_4\text{H}_4\text{KNaO}_6 \times 4 \text{H}_2\text{O}$	282,23	/	/	/	6381-59-5
Natrijev hidroksid	NaOH	40,00		H290- H314	P301+P330+P331+P 280- P305+P351+P338	1310-73-2
Živosrebrov (II) oksid	HgO	216,59		H300, H310- H330	NI PODATKOV.	8028-34-0
Kalijev jodid	KI	166,01	/	/	/	7681-11-0
Klorovodikova kislina	HCl	36,46		H290- H314- H335	P280- P305+P351+P338- P301+P330+P331	7647-01-0

Živosrebrov (II) klorid	HgCl <sub>2</sub>	271,50	   	H300- H301- H314- H372- H373- H410	NI PODATKOV.	7487-94-7
Železo	Fe	55,85	/	/	/	7439-89-6
Žveplo	S	32,06		H315	P280 P264-P332+P313 P362+P302+P352, P321	7704-34-9
Glukoza	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>6</sub>	180,16	/	/	/	50-99-7
Jod	I <sub>2</sub>	253,81	  	H332- H312- H400	P302+P352-P273	7553-56-2
Škrob	(C <sub>6</sub> H <sub>10</sub> O <sub>5</sub> ) <sub>n</sub>	(162,14)n	/	/	/	9005-84-9
Amonijev dikromat(VI)	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> CrO <sub>7</sub>	252,07	  	H270- H271- H315 H317- H319- H335 H334 H340 H350	P201 P280 P308+P313 P333+P313	7789-09-5
Saharoza	C <sub>12</sub> H <sub>22</sub> O <sub>11</sub>	342,3	/	/	/	57-50-1

Urea	$\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}$	60,06	/	/	/	57-13-6
Metanal	$\text{CH}_2\text{O}$	30,03		H301- H351- H314- H317- H311- H331- H370	P309-P302+P352- P301+P330+P331- P305+P351+P338- P310	50-00-0
Natrijev citrat dihidrat	$\text{C}_6\text{H}_5\text{Na}_3\text{O}_7 \times 2 \text{ H}_2\text{O}$	294,10	/	/	/	6132-04-3
Natrijev karbonat	$\text{Na}_2\text{CO}_3$	105,99		H319	P305+P351+P338	497-19-8

Tiourea	$\text{SC}(\text{NH}_2)_2$	76,12		H302, H351, H361d, H411	P273, P281, P301+P312, P330, P308+P313, P405	62-56-6
Natrijev hidroksid	$\text{NaOH}$	40,00		H290- H314	P301+P330+P331+P 280- P305+P351+P338	1310-73-2
Kokosova mast	/	/	/	/	/	/
2-hidroksipropanojska kislina ali mlečna kislina	$\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_3$	90,08		H318- H315	P280- P305+P351+P338	79-33-4
Natrijev acetat	$\text{C}_2\text{H}_3\text{NaO}_2$	82,03	/	/	/	127-09-3

Nikeljev(II) sulfat(VI) heptahidrat	$\text{NiSO}_4 \times 7 \text{ H}_2\text{O}$	280,86		H302+ H332- H315- H317- H334- H341- H350i- H360D -H372- H410	P201-P273-P280- P302+P352- P308+P313- P342+P311	10101-97-0
Dimetilglioksim	$\text{C}_4\text{H}_8\text{N}_2\text{O}_2$	116.12		H228- H301	P210-P301 + P310	95-45-4ž
Natrijev hidrogenkar- bonat	$\text{NaHCO}_3$	84,01	/	/	/	144-55-8
Dušikova(V) kislina	$\text{HNO}_3$	63,01		H272- H314- H290	P260- P301+P330+P331- P280- P305+P351+P338	7697-37-2

Tabela 5: Varnostna opozorila kemikalij.