

OSNOVNA ŠOLA MAKSA DURJAVE MARIBOR  
Ruška cesta 15, 2000 Maribor

## 56. SREČANJE MLADIH RAZISKOVALCEV SLOVENIJE 2022

RAZISKOVALNA NALOGA

# **S PLASTENKO SE LAHKO ODŽEJAM IN OGREJEM**

Tematsko področje: KEMIJA, KEMIJSKA TEHNOLOGIJA

Avtor:

Iva Biluš, 9. razred

Mentorica:

Polonca Sabolek

Maribor, 2022

## Zahvala

Zahvaljujem se mentorici za pomoč in usmerjanje pri izdelavi raziskovalne naloge. Hvala sodelavcem Laboratorija za kemijo in okoljevarstvo Fakultete za strojništvo Univerze v Mariboru za pomoč pri izvedbi eksperimenta in podjetju Albaugh, tovarna kemičnih izdelkov d.d. za meritev kurilne vrednosti pridobljenih piroliznih olj.

## Povzetek

Življenje in potrebe ljudi se v sodobnem času zelo hitro spreminjajo. Izdelki iz plastičnih mas so v zadnjih desetletjih zaradi svoje nizke cene in prilagodljivosti v številnih segmentih človeških življenj zamenjali tradicionalne materiale med katere sodijo npr. les, steklo in jeklo. V Evropi je bilo v leta 2019 tako proizvedenih kar 58 milijonov ton izdelkov iz plastike. Z nenehnim povečevanjem proizvedenih količin izdelkov iz plastičnih mas se višajo tudi količine plastičnih odpadkov, ki so na žalost, še vedno prepogosto (25%) deponirani na smetiščih in to kljub temu, da obstajajo tako metode za energetske izrabo, kot tudi za recikliranje odpadnih plastičnih materialov.

Skladno navedenemu sem v svoji raziskovalni nalogi želela raziskati možnost energetske izrabe različnih vrst plastike in s tem ugotoviti, katera vrsta plastike je lahko po toplotni razgradnji v inertni atmosferi energetske bolj bogato alternativno gorivo. V ta namen je bila v okviru raziskovalne naloge po pirolitični razgradnji opravljenja še meritev kurilnih vrednosti dveh kondenziranih pirolitičnih olj ter izvedena primerjava IR spektrov pridobljenih pirolitičnih olj s konvencionalnim dizelskim gorivom.

Rezultati izvedenih meritev potrjujejo vse zastavljene hipoteze. Glede na izmerjene kurilne vrednosti in analizirane IR spektre lahko zaključim, da je energetska izraba HDPE in polipropilena po toplotni razgradnji s pirolizo mogoča. Na tak način se lahko zmanjša negativni učinek kopičenja umetnih mas v okolju in hkrati pridobi alternativno gorivo. Ne glede na ugotovitve pa se po izvedeni raziskavi postavlja vprašanje, ali je predelava odpadnih plastičnih materialov na izbran način ekonomsko upravičena. Za popoln odgovor bi bilo v nadaljevanju študije smiselno izvesti energetske bilanco in optimiranje celotnega postopka.

## Summary

People's lives and needs are changing very rapidly in modern times. Due to their low price and flexibility in many segments of human life, plastic products have replaced traditional materials in recent decades, including e.g. wood, glass and steel. In 2019, as many as 58 million tonnes of plastic products were produced in Europe. The constant increase in the amount of plastic products produced also increases the amount of plastic waste, which is unfortunately still too often (25%) disposed of in landfills and despite the fact that there are such methods for energy recovery and recycling of waste plastic materials .

In accordance with the above, in my research project I wanted to explore the possibility of energy use of different types of plastics and thus determine which type of plastic can be more energy-rich alternative fuel in thermal decomposition in an inert atmosphere. For this purpose, as part of the research tasks after pyrolytic decomposition, the measurement of the calorific values of two condensed pyrolytic oils and the comparison of the IR spectra of the obtained pyrolytic oils with conventional diesel fuel were performed.

The results of the performed measurements confirm all the set hypotheses. Based on the measured calorific values and the analyzed IR spectra, it can be concluded that energy recovery of HDPE and polypropylene after thermal decomposition by pyrolysis is possible. This way you can reduce the accumulation of plastics in the environment and at the same time obtain an alternative fuel. Regardless of the findings, the research raises the question of whether the processing of waste plastic materials in the chosen way is economically justified. For a complete answer, it would be sensible to carry out an energy balance and optimize the whole process in the continuation of the study.

## Kazalo vsebine

1	Uvod .....	6
1.1	Opredelitev problema .....	6
1.2	Raziskovalna vprašanja.....	6
1.3	Hipoteze .....	7
1.4	Metodologija podatkov .....	7
2	Teoretični del.....	8
2.1	Piroliza .....	8
2.2	Umetne mase .....	8
2.2.1	Polipropilenske kirurške maske.....	9
2.2.2	Polietilenski pokrovčki plastenk (HDPE) .....	10
2.3	Infrardeča spketrokopija.....	11
2.4	Kurilna vrednost .....	11
2.5	Energijska bilanca .....	12
3	Eksperimentalni del.....	13
3.1	Izvedba postopka pirolize in tehtanje .....	13
3.2	Infrardeči spektri .....	17
3.3	Meritev kurilne vrednosti.....	18
3.4	Analiza rezultatov .....	18
4	Ugotovitve in zaključek.....	19
5	Družbena odgovornost.....	20
6	Viri .....	21

# 1 Uvod

## 1.1 Opredelitev problema

Letno v Sloveniji nastane približno 200 tisoč ton odpadne embalaže. Problem odpadne plastike iz katere je večina embalaže ni v tem, da bi bila sama po sebi nevarna in bi spuščala strupene snovi v okolje. Embalaža, ki jo vsakodnevno zelo pogosto uporabljamo namreč ni toksična. Njena težava so popolnoma umetne kemijske strukture, na katere narava nima odgovora in jih ne more razgraditi, saj ni bila evolucijsko temu prilagojena. Plastika je torej zelo trajen odpadki, ki sicer fragmentira in se fizično razgradi na manjše dele, vendar je sam proces razpadanja izjemno dolgotrajen. Plastenke v naravi razpadajo več kot 450 let, nekatere celo 500 let; steklo je skoraj nerazgradljivo, saj steklenica v naravi razpada kar 4000 let; aluminijasta pločevinka v naravi pa se razgrajuje tudi do 500 let [1]. Z raziskovalno nalogo želim oceniti možnosti za energijsko izrabo toplotno razgrajenih odpadnih zamaškov plasten (HDPE) in odpadnih kirurških mask (PP), ki so v zadnjih letih zaradi pandemije zelo pogost odpadki.

## 1.2 Raziskovalna vprašanja

- **Ali lahko s pomočjo toplotne razgradnje HDPE in polipropilena pridobimo pirolizno olje?**

Odgovor na to vprašanje sem poiskala s pomočjo preučevanja virov in eksperimentalnega raziskovanja.

- **Ali sta pirolizno olje in dizelsko olje v čem podobna?**

Na to vprašanje sem dobila odgovore s pomočjo analize IR spektra.

- **Kakšna je kurilna vrednost piroliznega olja HDPE?**

Odgovor na to vprašanje sem dobila s pomočjo analize dobljenih vzorcev eksperimentalnega raziskovanja.

- **Kakšne so možnosti uporabe piroliznih olj v vsakdanjem življenju?**

Odgovor na to vprašanje sem poiskala v literaturi in delno pri pogovoru z mladimi raziskovalci v Laboratoriju za kemijo in okoljevarstvo Fakultete za strojništvo Univerze v Mariboru.

### 1.3 Hipoteze

*Hipoteza 1:* S toplotno razgradnjo HDPE in polipropilena (PP) v inertni atmosferi je mogoče pridobiti pirolizno olje.

*Hipoteza 2:* Pirolizno olje ima IR spekter, ki je podoben konvencionalnemu dizelskemu gorivu.

*Hipoteza 3:* Kurilna vrednost piroliznega olja HDPE in polipropilena je dovolj visoka, da obstaja možnost energijske izrabe le tega za ogrevalni vir.

*Hipoteza 4:* Za množično rabo piroliznih olj v vsakodnevem življenju bi bilo potrebno podrobno analizirati in energetske optimirati postopek.

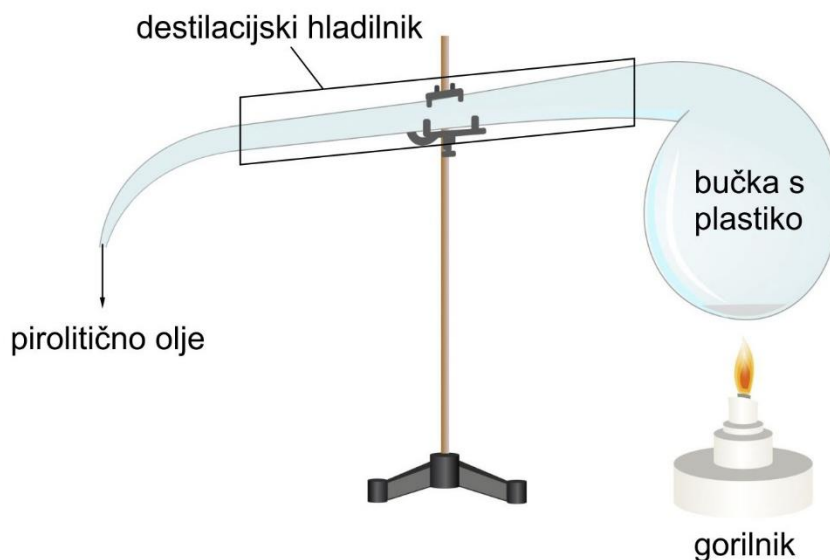
### 1.4 Metodologija podatkov

Raziskovalna metoda bo teoretično eksperimentalna. V prvem delu bom preučila teoretične osnove postopkov, spoznala način termične razgradnje v inertni atmosferi in temeljne značilnosti metode za določanje sestave (IR spektrometrija) ter meritev kurilne vrednosti. V drugem, eksperimentalnem delu raziskovalne naloge bom izvedla eksperiment in pridobljeno pirolizno olje analizirala. Na podlagi rezultatov eksperimentalne analize bom potrdila oz. ovrgla zastavljene hipoteze.

## 2 Teoretični del

### 2.1 Piroliza

Izraz »piroliza« je sestavljen iz grških pojmov *pyro*, ogenj in *lizo* ločitev. [2] Piroliza je postopek razkroja snovi pri višji temperaturi in za gorljive snovi tudi brez dostopa kisika, saj sicer pride do sežiga snovi. Produkti pirolize so številne organske molekule, ki imajo nižjo molsko maso kot snov, ki jo piroliziramo. Na sliki 1 je postopek pirolize shematsko prikazan. V bučki ogrevamo organski material (plastiko), ki se zaradi dovoda toplote stali in upari. Pare pri prehodu skozi destilacijski hladilnik spremenijo agregatno stanje iz plinastega v kapljevito. S tem dobimo tako imenovano pirolizno olje, ki je poleg ostanka v trdem agregatnem stanju glavni produkt postopka.



Slika 1. Shematski prikaz termične razgradnje plastike s pirolizo.

### 2.2 Umetne mase

Umetne mase so sestavljene iz makromolekul, ki gradijo organske polimere ali iz monomerov, ki se polimerizirajo med predelavo. V procesu polimerizacije se monomeri združijo v daljše verige, ki jih imenujemo polimeri. Najpogosteje monomere predelujemo iz nafte, redkeje iz premoga ali naravnih surovin (npr. celuloza). [3] Polimerizirane monomere oz. polimere pa lahko pridobimo z adicijsko in kondenzacijsko polimerizacijo.

Polimere, ki jih umetno pridobimo v kemičnih reaktorjih delimo na tri skupine: termoplaste, duroplaste in elastomere.

**TERMOPLASTI** so razvejani polimeri, kateri se pri povišani temperaturi zmeščajo in talijo, zato odpadke iz termoplastov lahko obnovimo oz. recikliramo. Termoplaste lahko dodatno razdelimo na amorfne in kristalinične. Amorfni nimajo kristalne strukture. Sem spadajo polivinilklorid (PVC), polistirol (PS), akrilnitril butadien stiroil (ABS), stiroil akrilnitril (SAN), polimetilmetaakrilat (PMMA) in polikarbonat (PC). Med kristalinične spadajo polietilen nizke



gostote (LDPE), polietilen visoke gostote (HDPE), polipropilen (PP), polioksimetilen (POM), polibutilteraftalat (PBT), polietilteraftalat (PET) in poliamid (PA).

**DUROPLASTI** se med segrevanjem zamrežijo v visoko molekulske strukture zato regeneracija oz. recikliranje le teh ni možna. Duroplasti so samo amorfni (fenolna smola, melamin, poliester, epoxid smola, urea smola, poliuretan).

**ELASTOMERI** so v večjem temperaturnem območju elastični, imajo zamreženo strukturo in so prav tako le amorfni (kloroprenkavčuk, stirolobutadienkavčuk). [4]

Glede na navedeno, bom v nadaljevanju obravnavo omejila na dva primera termoplastnih polimerov, ki sta zelo pogosto prisotna v našem vsakdanjem življenju in jih lahko termično razgradimo. To sta polipropilen (PP), iz katerega so izdelane kirurške maske in polietilen visoke gostote (HDPE) iz katerega so izdelani zamaški na plastenkah, ki jih uporabljamo za pijačo.

#### 2.2.1 Polipropilenske kirurške maske

Trislojne kirurške maske (slika 2) sestavljajo tri različne plasti, ki so med seboj zlepljene s pomočjo toplote, mehanskih ali kemičnih sredstev. Najpogosteje so izdelane iz polipropilena (PP), ki je enostaven za uporabo in cenen termoplast. [5]



**Slika 2. Kirurška maska.**

Polipropilen (PP) ima:

- nizko gostoto (plava na vodi),
- visoko kemično odpornost,

- visoko toplotno odpornost,
- visoko natezno trdnost,
- nizko odpornost na obrabo,
- krhkost pri nizkih temperaturah. [6]

Pri gorenju ne nastajajo saje, ko plamen ugasne ima polipropilen oz. ostanek vonj po vosku in se ne lomi. [7].

### 2.2.2 Polietilenski pokrovčki plastenk (HDPE)

Polietilen (PE) je najpogosteje uporabljena plastična masa na svetu. Prisoten je v številnih industrijah in segmentih, saj omogoča varnejši transport, distribucijo kemikalij in ekonomično pakiranje hrane, kar omogoča, da imajo živila daljši rok trajanja.

Polietilen pa z namenom možne uporabe v širokem spektru končnih izdelkov delimo na številne poddružine s svojimi lastnostmi. Delimo ga na standardni polietilen (polietilen nizke gostote (LDPE), polietilen srednje gostote (MDPE), polietilen visoke gostote (HDPE), linearni polietilen nizke gostote (LLDPE buten C4)), visokozmogljivi polietilen (linearni polietilen nizke gostote (LLDPE okten C8), polietilen zelo nizke gostote (VLDPE okten C8), metalocenski linearni polietilen nizke gostote (MllDPE Okten C8), linearni polietilen nizke gostote (LLDPE heksen C6), polietilen zelo nizke gostote (VLDPE heksen C6)) in posebni in funkcionalni polietilen (etilenetilakrilat (EEA), maleinski anhidrid (MAH), etilenakrilska kislina (EAA), etilenvinilacetat (EVA), plastomerji in elastimerji na osnovi etilena in propilena). Tudi pokrovčki plastenk, ki jih uporabljamo v vsakdanjem življenju (slika 3) so iz polietilena visoke gostote (HDPE). [8]



**Slika 3. Polietilenski pokrovčki plastenk**

Lastnosti polietilena visoke gostote so, HDPE:

- je standardni polietilen,
- pridobivamo ga s polimerizacijo etilena in butana,
- njegove mehanske lastnosti so odvisne od gostote,

- ima dobre električne izolativne lastnosti,
- ob prižigu ima vonj po parafinu,
- odporen proti vsem organskim topilom, kislinam, razredčilu, alkoholu, bencinu, vodi, sadnim sokom, olju. [9]

### 2.3 Infrardeča spektroskopija

Infrardeča spektroskopija je metoda, pri kateri opazujemo interakcijo infrardeče svetlobe s snovjo, ki jo analiziramo. Infrardeča svetloba resonančno vzbudi nihanja atomov v molekuli analizirane snovi, s čimer pride do absorpcije svetlobe. Za neko snov se lahko s pomočjo infrardeče spektroskopije z napravo, ki se imenuje infrardeči spektrometer, izmeri infrardeči (IR) spekter opazovane snovi. Osnovni IR spekter snovi je graf v katerem je na vertikalni osi absorpcija infrardeče svetlobe, na horizontalni osi pa valovna dolžina infrardeče svetlobe v centimetrih. [10]

Infrardeča spektroskopija se v organski kemiji pogosto uporablja z namenom indentificiranja dela kemične strukture in ocenitve čistoče neke spojine oz. snovi. Infrardečo svetlobo absorbirajo vse organske in anorganske molekule razen homonuklearnih molekul ( $\text{Cl}_2$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{N}_2$ ). [11]

### 2.4 Kurilna vrednost

Kurilna vrednost je energija, ki se sprosti v obliki toplote pri popolnem zgorevanju goriva z oksidantom pri standardnih pogojih. Kurilno vrednost merimo največkrat s kalorimetrom. Podamo jo kot energijo/mol goriva npr. kJ/mol ali energijo/maso goriva npr. MJ/kg.

Določanje kurilne vrednosti se izvaja v skladu z mednarodnimi standardi in Pravilniki. V okviru meritev kurilne vrednosti piroliznih olj je bil v okviru raziskovalne naloge uporabljen Kalorimeter IKA C4000 [12], prikazan na sliki 4.



Slika 4. Kalorimeter IKA C4000

## 2.5 Energijska bilanca

Energijska bilanca pomeni primerjavo dovodene, proizvedene/porabljene ter odvedene energije v nekem procesu. Za izvedbo energijske bilance v nekem procesu moramo tako natančno poznati kakšna energija vstopa v proces, kakšna energija iz njega izstopa ter vse morebitne izvore in ponore energije znotraj procesa. [13]

Energetsko bilanco v praksi podajamo na podlagi porabljene zunanje energije na kilogram izdelka, predelane surovine ali kakšne druge ključne komponente v procesu. [14]

V okviru raziskovalne naloge smo merili maso vhodnih iz izhodnih sestavin med termično razgradnjo (pirolizo) in čas potreben za kondenzacijo piroliznega olja za obe obravnavani snovi (PP in HDPE). Ker na voljo nismo imeli naprave za meritev dovedene toplote, niti podatka o kurilni vrednosti vstopnih materialov, ni bilo mogoče izvesti energijske bilance. Zaradi navedenega bo v eksperimentalnem delu predstavljena samo primerjava mas vhodnih in izhodnih sestavin pirolizne razgradnje za oba materiala.

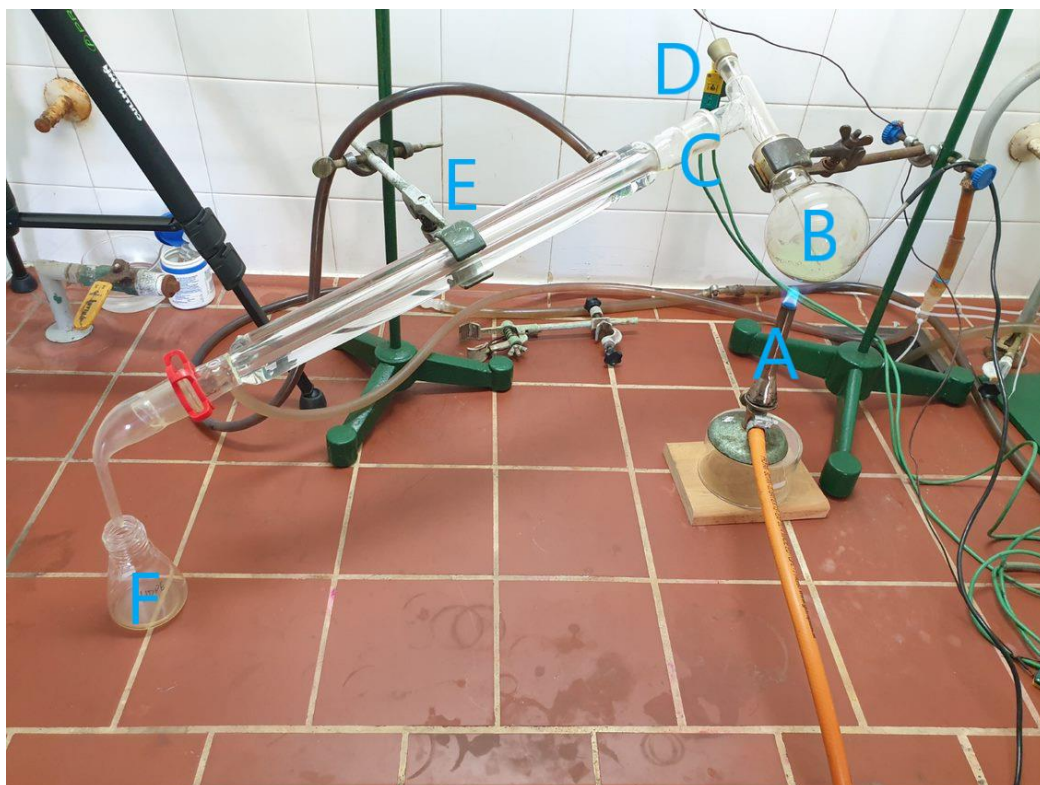
### 3 Eksperimentalni del

V Laboratoriju za kemijo in okoljevarstvo Fakultete za strojništvo Univerze v Mariboru smo izvedli poskus termične razgradnje (pirolize) s PP kirurškimi maskami in HDPE zamaški. Pri tem smo dobili pirolizno olje, katerega IR spektre smo primerjali z IR spektrom konvencionalnega dizelskega goriva; v Laboratoriju podjetja Albaugh, tovarna kemičnih izdelkov d.d. pa smo izmerili še kurilno vrednost obeh piroliznih olj.

#### 3.1 Izvedba postopka pirolize in tehtanje

Postopek pirolize smo izvajali na aparaturi za pirolizo, sestavljeno iz laboratorijske opreme:

- Bunsenov gorilnik (A),
- bučka s PP oziroma HDPE (B),
- destilacijski nastavek (C)
- termometer – termoelement (D),
- destilacijski hladilnik (E),
- čaša s piroliznim oljem (F).



**Slika 5. Sestavljena aparatura za izvedbo pirolize**

Pred začetkom izvedbe postopka pirolize smo stehali 20,0 g PP kirurških mask in 20,0 g HDPE zamaškov (slika 6) ter jih narezali na manjše kose.



**Slika 6. Stehtani elementi**

Pripravljeno količino vzorcev smo vsuli v bučko in jo pritrdili na aparaturo (slika 7). Destilacijski nastavek smo povezali z obrusom, ga vstavili v bučko in nato še vse skupaj povezali z destilacijskim hladilnikom. Skozi destilacijski nastavek smo v bučko dodali še termoelement, s katerim smo merili temperaturo med eksperimentom. Čašo smo z namenom zbiranja tekočega produkta oz. piroliznega olja namestili pod hladilnik (slika 8) in odprli hladilno vodo. Namen destilacijskega hladilnika je, da kondenzira nastale pline v tekoč produkt. Ko je bila vsa aparatura pripravljena, smo začeli s segrevanjem.

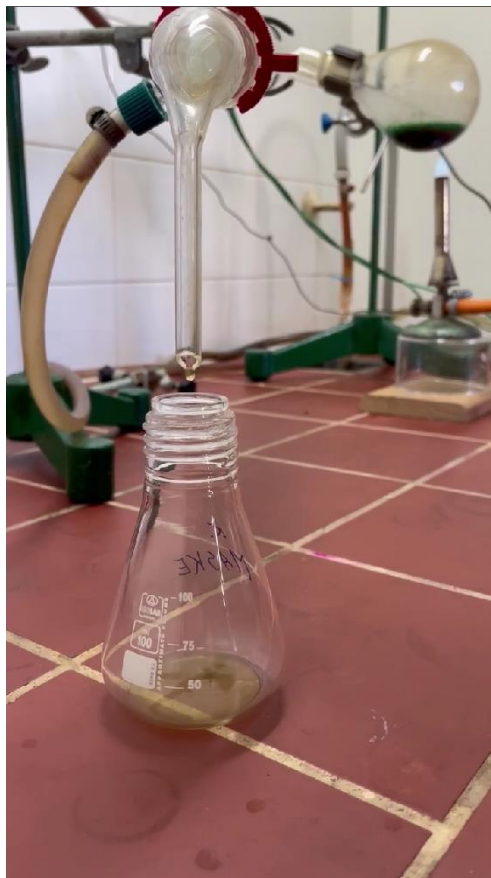


**Slika 7. Pritrjena bučka**



**Slika 8. Nastavljena čaša za tekoč produkt**

Izvedba piroliznega postopka je trajala približno 30 minut. Med postopkom smo spremljali taljenje plastike, nastajanje plinov, njihovo barvo in zbiranje tekočega produkta v nastavljeni čaši pod hladilnikom. Eksperiment smo izvajali tako dolgo dokler so v bučki nastajali plini in je kondenziran tekoč produkt intenzivno kapljal v čašo.



**Slika 9. Kapljanje tekočega produkta v čašo**

Na sliki 10 je viden potek spremembe plastičnih sestavin v bučki med postopkom pirolize. Na sliki (A) se je segravanje komaj začelo in je količina plinov zelo majhna, na sliki (B) opazimo večjo količino plinov in raztaljene plastike, na sliki (C) pa je opazna velika količina plina bele barve. Ko smo opazili, da se je nastajanje plinov v bučki zaključilo smo počakali še nekaj minut in nato gorilnik ugasnili.



(A)

(B)

(C)

**Slika 10. Taljenje in uplinjanje v različnih časovnih obdobjih reakcije**

Po končanem postopku pirolize smo počakali, da se je aparatura ohladila in jo nato razstavili. Potem smo bučko s piroliznim ostankom in čašo s tekočim produktom stekali in primerjali s težo prazne bučke oz. čaše in ugotovili:

- Iz 20,0 g HDPE zamaškov smo dobili 13,2 g piroliznega olja (slika 11); 4,7 g trdnega ostanka in 2,1 g plina.
- Pri pirolizi PP kirurških mask pa smo iz 20,0 g snovi dobili 10,2 g tekočega produkta; 7,4 g trdnega ostanka in 2,4 g plina.

Po končani uporabi smo laboratorijsko opremo očistili in pripravili za nov postopek pirolize.



**Slika 11. Čaša pred (prazna) in po postopku pirolize HDPE (s piroliznim oljem)**



V preglednici 1 so podani deleži tekočih, trdnih in plinastih produktov za oba pirolizirana plastična materiala izraženi v procentih.

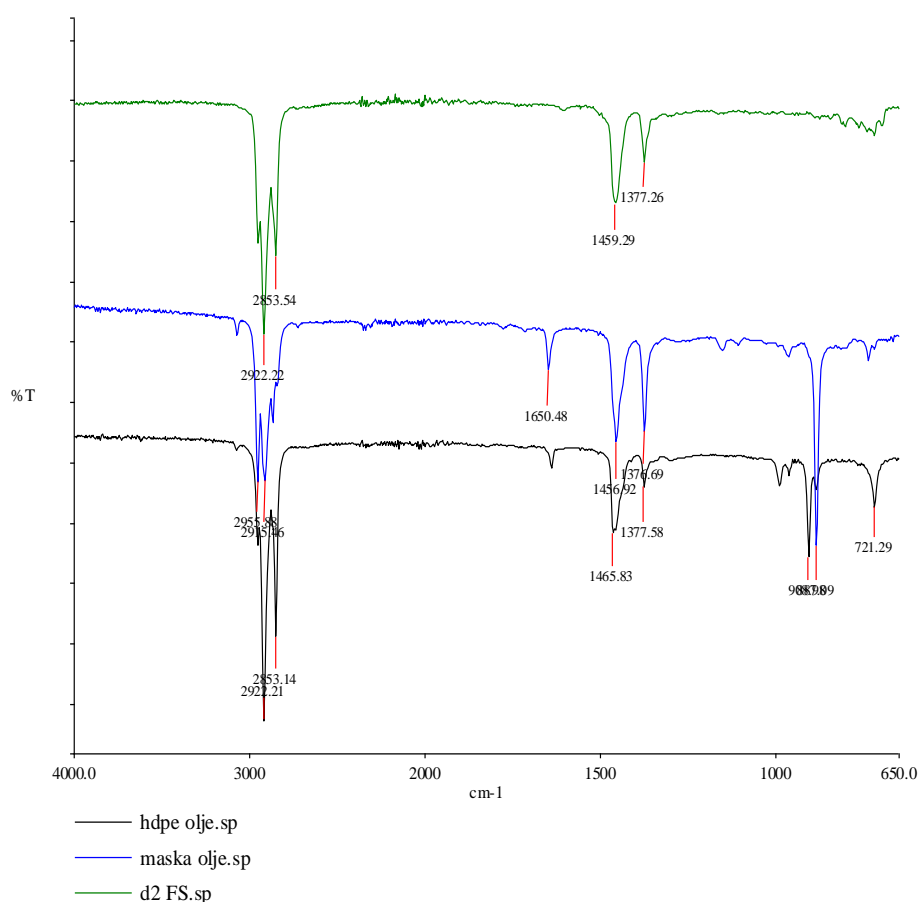
**Preglednica 1: Deleži tekočih, trdnih in plinastih produktov**

	Kirurške PP maske	HDPE zamaški
<b>Tekoče [%]</b>	51	66
<b>Trdno [%]</b>	37	23,5
<b>Plinasto [%]</b>	12	10,5

In rezultatih predstavljenih v preglednici 1 lahko ugotovimo, da je tekoč produkt kirurških mask dobra polovica vsega produkta, pri HDPE zamaških pa je ta malo večji in sicer 66%.

### 3.2 Infrardeči spektri

Pridobljenima tekočima produktoma (piroliznima oljima) smo z infrardečo spektroskopijo pridobili IR spekter. Na sliki 12 je v diagramu poleg IR spektrov PP in HDPE dodan tudi spekter konvencionalnega dizelskega goriva (d2). Iz primerjave IR spektrov je razvidno ponavljanje enakega vzorca pri piroliznem olju HDPE zamaškov, kirurških PP mask in dizelskega goriva. Iz navedenega lahko sklepamo, da imajo pirolizna olja podobno kemično sestavo kot dizelsko gorivo in da je primerjava njihove kurilne vrednosti med seboj smiselna.



**Slika 12. IR spektri piriliznih olj in dizelskega goriva**

### 3.3 Meritev kurilne vrednosti

Pridobljenemu tekočemu produktu smo za oba analizirana materiala izmerili kurilno vrednost<sup>1</sup> in jo primerjali z kurilno vrednostjo dizelskega goriva. Izmerjene vrednosti so prikazane v preglednici

**Preglednica 2: Kurilne vrednosti piroliznih olj in dizelskega goriva**

Vzorec	Kurilna vrednost [J/g]
HDPE zamaški	46.586
Kirurške PP maske	39.821
Dizelsko gorivo	42.600

Iz primerjave kurilnih vrednosti lahko ugotovimo, da je kurilna vrednost piroliznega olja iz HDPE zamaškov najvišja, sledi kurilna vrednost dizelskega goriva in kurilna vrednost piroliznega olja iz PP kirurških mask. To pomeni, da bi lahko uporabo dizla v neki meri nadomestili s pridobljenim piroliznim oljem, kar potrjujejo tudi IR spektri oz. podobnost kemijske sestave vseh kapljev.

### 3.4 Analiza rezultatov

#### PREDNOSTI:

- Zmanjšanje količine odpadkov. Masa trdnega ostanka je manjša od mase piroliziranega HDPE oz. PP.
- Kemična sestava in kurilna vrednost piroliznih olj je podobna dizelskemu gorivu.

#### SLABOSTI:

- Za izvedbo pirolize je potrebna dodatna energija v obliki ogrevalne toplote.
- Zgorevanje ogrevalnega plina in piroliznega olja pomeni dodatno obremenjevanje okolja.

#### PRILOŽNOSTI:

- Za vsakodnevno uporabo postopka termične razgradnje za pridobivanje piroliznega olja je potrebno energetsko optimirati postopek in s tem znižati strošek procesa.

#### NEVARNOSTI:

- Nenehno draženje energentov (plina) draži postopek pridobivanja piroliznih olj in s tem naredi proces termične razgradnje manj zanimiv od odlaganja odpadne plastike na deponijah odpadkov.

---

<sup>1</sup> Kurilna vrednost je bila izmerjena s pomočjo naprave IKA – Calorimeter C4000 v podjetju Albaugh, tovarna kemičnih izdelkov d.d.

## 4 Ugotovitve in zaključek

V raziskovalni nalogi sem izvedla poskus pirolize HDPE zamaškov in kirurških mask ter na podlagi eksperimenta ugotovila, da je s pomočjo pirolize iz danih elementov možno pridobiti pirolizno olje.

### **1. Hipoteza: S toplotno razgradnjo HDPE in polipropilena v inertni atmosferi je mogoče pridobiti pirolizno olje.**

Po segrevanju, taljenju in uplinjanju PP in HDPE v bučki, smo v destilacijskem hladilniku uspeli kondenzirati med postopkom pirolize nastale pline. To pomeni, da so se nastali plini spremenili v tekočino, ki je odtekala oz. kapljala v nastavljeno čašo. Tako smo pridobili pirolizno olje.

Potrjujem prvo hipotezo.

### **2. Hipoteza: Pirolizno olje ima IR spekter, ki je podoben konvencionalnemu dizelskemu gorivu.**

Za obe pirolizni olji smo naredili IR spekter in ga primerjali z IR spektrom dizelskega goriva. Pri tem smo ugotovili, da so si vsi spektri med seboj podobni. To pomeni, da so kemijske in energijske lastnosti piroliznih olj podobne dizelskemu gorivu.

Potrjujem drugo hipotezo.

### **3. Hipoteza: Kurilna vrednost piroliznega olja HDPE in polipropilena je dovolj visoka, da obstaja možnost energijske izrabe le tega za ogrevalni vir.**

Podobnosti med piroliznimi olji in dizelskim gorivom lahko opazimo že s pomočjo IR spektra. Z izmerjenimi kurilnimi vrednostmi smo lahko podobnost še dodatno potrdili, saj so si bile številke precej blizu. Tako predvidevamo, da bi dizelsko gorivo lahko nadomestili tako s piroliznim oljem PP kirurških mask kot tudi s piroliznim oljem HDPE zamaškov.

Potrjujem tretjo hipotezo.

### **4. Hipoteza: Za množično rabo piroliznih olj v vsakodnevnem življenju bi bilo potrebno podrobno analizirati lastnosti piroliznih olj in energetsko optimirati postopek.**

V okviru seminarske naloge je bil izveden laboratorijski eksperiment. Rezultati eksperimenta potrjujejo izvedljivost termične razgradnje oz. možnost pridobivanja piroliznih olj visoke kurilne vrednosti. Za uporabo piroliznih olj v vsakdanjem življenju pa bi bilo potrebno izvesti podrobnejšo analizo lastnosti piroliznih olj in tudi optimirati postopek pirolize.

Potrjujem četrto hipotezo.

## 5 Družbena odgovornost

Pomen družbene odgovornosti je nenehno prizadevanje za kakovosti življenja skupnosti, posameznikov, njihovih družin in družbe nasploh.

Piroliza kirurških mask in HDPE zamaškov ima prihodnost, saj je njuna razgradnja v naravi dolgoročna. S postopkom pirolize dobimo tekoč produkt katerega lahko dokazano uporabimo kot gorivo. Tako lahko zmanjšamo količino odpadne plastike na odlagališčih in v prihodnosti morda celo nadomestimo pridobljena kurilna oziroma pirolizna olja z dizlom ali katera druga goriva. Metoda bi lahko imela tudi velik vpliv na državo, saj bi zagotovila nova delavna mesta in državi pripadajoč davek na dobiček.

## 6 Viri

- [1] Plastika danes, Dosegljivo: [<https://www.rtv slo.si/okolje/nihce-si-ni-predstavljal-da-bo-plastika-v-naravi-postala-problem/335157>] [Datum dostopa 20.1.2022]
- [2] Pomen izraza piroliza, Dosegljivo: <https://hr.wikipedia.org/wiki/Piroliza> [Datum dostopa 20.1.2022 ]
- [3] Nastanek umetnih mas, Dosegljivo: [https://dijaski.net/gradivo/kem ref umetne snovi 01](https://dijaski.net/gradivo/kem_ref_umetne_snovi_01) [Datum dostopa 12.2.2022]
- [4] Delitev umetno pridobljenih polimerov, Dosegljivo: [http://lab.fs.uni-lj.si/lap/html/img/pool/5 Preoblikovanje polimerov-PT-11-12.pdf](http://lab.fs.uni-lj.si/lap/html/img/pool/5_Preoblikovanje_polimerov-PT-11-12.pdf) [Datum dostopa 12.2.2022]
- [5] Sestava troslojnih kirurških mask, Dosegljivo: [http://www.cilizadelo.si/e\\_files/content/F Masnik Polajnar Obrazne maske.pdf](http://www.cilizadelo.si/e_files/content/F_Masnik_Polajnar_Obrazne_maske.pdf) [Datum dostopa 20.1.2022]
- [6] Lastnosti polipropilena, Dosegljivo: <http://www.exmega.si/slo/pp-polipropilen.html>[Datum dostopa 13.2.2022]
- [7] Značilnosti gorenja polipropilena, Dosegljivo: [http://www2.arnes.si/~kkovac6/MATERIALI/ro.zrsss.si/ puncer/mase/newpage11.htm](http://www2.arnes.si/~kkovac6/MATERIALI/ro.zrsss.si/puncer/mase/newpage11.htm) [Datum dostopa 13.2.2022]
- [8] Polietilen, Dosegljivo: <https://www.resinex.si/polimeri/pe.html> [Datum dostopa 13.2.2022]
- [9] Lastnosti HDPE, Dosegljivo: <http://www2.sts.si/arhiv/tehnolo/Plastika/termoplasti.htm> [Datum dostopa 14.2.2022]
- [10] Infrardeča spektroskopija, Dosegljivo: [https://sl.wikipedia.org/wiki/Infrarde%C4%8Da spektroskopija](https://sl.wikipedia.org/wiki/Infrarde%C4%8Da_spektroskopija) [Datum dostopa 14.2.2022]
- [11] Uporaba IR spektroskopije, Dosegljivo: <https://dk.um.si/Dokument.php?id=154669&lang=slv> [Datum dostopa 17.2.2022]
- [12] Definicija in določanje kurilne vrednosti, Dosegljiva: <https://www.nationalgrid.com/uk/gas-transmission/data-and-operations/calorific-value-cv> [Datum dostopa 20.1.2022]
- [13] Definicija energijske bilance, Dosegljiva: <https://www.collinsdictionary.com/dictionary/english/energy-balance> [Datum dostopa 20.1.2022]
- [14] Podajanje energijske bilance, Dostopno: <https://beeindia.gov.in/sites/default/files/1Ch4.pdf> [Datum dostopa 20.2.2022]