



Zelena kemija

Modul za eksperimentalno
raziskovalno delo nadarjenih
učencev in dijakov

Miha Slapničar
Vesna Ferik Savec
Luka Vinko
Aljaž Debelak
Nina Zupanc
Iztok Devetak



DiSSI
Diversity in Science
towards Social Inclusion



Univerza v Ljubljani

Kazalo

UVOD	4
SOCIO-NARAVOSLOVNI PROBLEM	5
NAMEN EKSPERIMENTALNO-RAZISKOVALNEGA DELA	6
NAČRT IZVEDBE EKSPERIMENTALNEGA DELA	6
NAČRT IZVEDBE EKSPERIMENTALNEGA DELA	8
1. Naloga eksperimentalno raziskovalnega dela.....	8
2. Raziskovalno vprašanje	8
3. Raziskovalna hipoteza	9
4. Načrtovanje izvedbe eksperimentalnega dela.....	9
5. Predviden čas izvedbe eksperimenta	9
6. Potrebščine	9
7. Kemikalije	9
8. Zaščita in varnost pri eksperimentalnem delu ter odstranjevanje odpadkov	10
9. Skica aparature	10
10. Zbiranje podatkov med eksperimentalnim delom	10
11. Rezultati	11
12. Interpretacija rezultatov eksperimentalnega dela	11
13. Zaključek.....	12
14. Evalvacija	12
EKSPERIMENTALNO DELO (SINTEZA ALTERNATIVNIH VRST GORIV)	13
1. Sinteza bioetanola	13
Potrebščine in kemikalije.....	14
VARNOST PRI EKSPERIMENTALNEM DELU	15
POTEK EKSPERIMENTALNEGA DELA	15
RAVNANJE Z ODPADKI	15
NALOGE ZA DODATNA ZNANJA	16
2. Sinteza biodizla	17
Potrebščine in kemikalije.....	18
VARNOST PRI EKSPERIMENTALNEM DELU	18
POTEK EKSPERIMENTALNEGA DELA	18
RAVNANJE Z ODPADKI	19
VPRAŠANJA ZA DODATNA ZNANJA	19
NALOGE ZA DODATNA ZNANJA	20
LITERATURA	21

UVOD

Izraz »zelena kemija« je sinonim za zdravje in okoljsko trajnost. V zadnjem času je tako ključnega pomena, da se za proizvodnjo in uporabo kemikalij uporabljajo različni načini, ki povzročajo čim manjše obremenjevanje okolja in ogrožanja zdravja živih bitij. Izpostavljen namen zelene kemije opredeljuje v 12 principih prizadevanja za preoblikovanje kemijskih procesov in produktov na način, s katerim lahko zmanjšamo uporabo nevarnih snovi in tudi vseh drugih škodljivih vplivov.

Pomembno je, da ob upoštevanju principov zelene kemije tudi pri poučevanju nadarjenih učencev oziroma dijakov prispevamo k ozaveščenju glede odgovornega odnosa do uporabe snovi, sposobnosti in pripravljenosti za zavzeto, odgovorno in utemeljeno ravnanje, ki preprečuje onesnaževanje in hkrati pomaga prihraniti vire oziroma jih ohraniti, da bi od tega pridobili koristi, ki nam omogočajo boljše življenje (Duarte, Ribeiro in Machado, 2015).

Nadarjeni učenci oziroma dijaki morajo skozi principe zelene kemije uvideti:

- (P1) preprečevanje nastanka odpadnih snovi,
- (P2) povečanje atomske ekonomičnosti,
- (P3) manj nevarne kemijske sinteze,
- (P4) izbor sinteznih postopkov za zmanjšanje toksičnosti uporabljenih snovi,
- (P5) uporabo varnejših topil in reakcijskih pogojev,
- (P6) večjo energetsko učinkovitost,
- (P7) uporabo obnovljivih surovin in materialov,
- (P8) zmanjšanje dodatnih pretvorb,
- (P9) uporabo katalizatorjev,
- (P10) zasnovano za razgradnjo,
- (P11) nenehno analiziranje za preprečevanje onesnaženja,
- (P12) zmanjšanje možnosti nesreč (Anastas in Warner, 1998).

SOCIO-NARAVOSLOVNI PROBLEM

Fosilna goriva (*šota, lignit, premog, zemeljski plin in različna naftna goriva – bencini, petroleji, dizel, kurilno olje ipd.*) so še dandanes, kljub naprednemu razvoju družbe, eden glavnih in neobnovljivih virov kemične energije (Pečjak, 2010).

Pri procesu oksidacije fosilnih goriv nastajajo velike količine toplotne energije, ki se sprošča v okolico. Industrija, stroji in naprave, ki delujejo na osnovi izgorevanja fosilnih goriv, veljajo za glavne onesnaževalce atmosfere, saj se vanjo spušča tudi velike količine toplogrednih plinov. Ti v atmosferi, večinoma dopuščajo Sončevo kratkovalovno sevanje vendar vpijajo del izhajajočega dolgovalovnega sevanja in tako segrevajo zrak. Zmerna količina toplogrednih plinov v ozračju je za žive organizme sicer nujna, saj bi bila brez njih povprečna temperatura na površju Zemlje le okoli -18°C , namesto sedanjih $+15^{\circ}\text{C}$. Če se v ozračje izpušča preveč toplogrednih plinov, se povprečna temperatura planeta postopoma zvišuje in pojavljajo se podnebne spremembe.

Najpogostejši toplogredni plini so vodna para, ogljikov dioksid, metan, didušikov oksid, ozon, halogenirani freoni in žveplov heksafluorid. Ti so odgovorni za povečano segrevanje Zemlje, kar predstavlja resen okoljski problem. Nekateri izmed njih (*halogenirani freoni in prevelika količina ogljikovega dioksida v zraku*) tudi uničujejo ozonski plašč in s tem povzročajo ozonsko luknjo, vendar pojava nista neposredno povezana.

Zaradi namena zmanjševanja onesnaževanja okolja in premajhne zaloge neobnovljivih virov fosilnih goriv, bo družba prisiljena v uporabo alternativnih goriv, ki so pridobljena iz obnovljivih virov energije in manj onesnažujejo okolje (Plut, 2004).

Goriva prihodnosti s katerimi skušamo nadomestiti, zamenjati ali vsaj dopolniti energijo pridobljeno z izkoriščenjem dolgotrajne akumulacije sončne energije so vodik, metanol, bioetanol, biodizel, različne oblike električne energije itd. (Avsec, 2015; Lanjewa idr., 2015).

NAMEN EKSPERIMENTALNO-RAZISKOVALNEGA DELA

Vaša naloga bo raziskati nekaj primerov alternativnih goriv prihodnosti, jih v laboratoriju sintetizirati ter eksperimentalno preizkusiti njihove fizikalne in kemijske lastnosti v primerjavi s tradicionalnimi gorivi. Zapisanih je nekaj idej: ugotavljanje temperature vnetišča in plamenišča, ugotavljanje sajavosti plamena, primerjava gorenja in ugotavljanje količine plinastih produktov z uporabo Vernier senzorjev ...

NAČRT IZVEDBE EKSPERIMENTALNEGA DELA

Preberite znanstveni članek »Pridobivanje biogoriv – izzivi in priložnosti«. Z uporabo aplikacije *QR scanner* »skenirajte« priloženo QR kodo.



V obliki miselnega vzorca predstavite vsebino znanstvenega članka.

Glede na namen eksperimentalno-raziskovalnega dela načrtujte izvedbo eksperimentalnega dela tako, da po stopnjah opišete potek dela. Pri načrtovanju raziskave predvidite, da že imate sintetizirane alternativne vrste goriv. V načrt vključite:

- Nalogo eksperimentalno-raziskovalnega dela (*Kaj je cilj mojega eksperimentalnega dela?*).
- Raziskovalno vprašanje (*Kaj želimo izvedeti?*).
- Raziskovalna hipoteza (*Kaj predvidevamo, da se bo zgodilo? Zakaj?*).
 - *Neodvisna spremenljivka (Spremenljivka, ki jo spreminjamo.)*.
 - *Odvisna spremenljivka (Spremenljivka, ki jo merimo ali opazujemo.)*.
 - *Konstante (Da bo eksperiment pošten, ne bomo spreminjali naslednjih spremenljivk.)*
- Načrtovanje izvedbe eksperimentalnega dela (*Kaj bomo naredili, da bomo odgovorili na raziskovalno vprašanje?*).
- Predviden čas izvedbe eksperimenta (*Koliko časa bom potreboval, da izvedem celoten eksperiment? Kako bom časovno načrtoval potek eksperimentalnega dela?*).
- Potrebščine (*Kateri laboratorijski inventar potrebujemo za izvedbo eksperimentalnega dela, da bomo lahko odgovorili na raziskovalno vprašanje?*).
- Kemikalije (*Katere snovi potrebujemo za izvedbo eksperimentalnega dela, da bomo lahko odgovorili na raziskovalno vprašanje?*).
- Zaščita in varnost pri eksperimentalnem delu ter ravnanje z odpadki (*Kaj moramo upoštevati z vidika kemijske varnosti? Kam in kako bomo odstranili kemijske odpadke?*).
- Skica aparature (*Kako bo izgledala aparatura s katero bomo izvajali eksperiment?*).
- Zbiranje podatkov med eksperimentalnim delom (*Kako bomo zbirali in beležili eksperimentalne podatke?*).
- Rezultate (*Kako bomo prikazali, kaj se je zgodilo? S preglednico, grafom ali kako drugače? Pomembno je, da zapišemo opažanja in iz njih, na podlagi teoretičnih izhodišč, izpeljemo ustrezne sklepe.*).
- Interpretacija rezultatov eksperimentalnega dela (*Kaj nam povedo zbrani rezultati? Katere sklepe lahko izpeljemo?*).
- Zaključek (*Hipoteze – potrditev ali ovrženje*).
- Evalvacija (*Kako zanesljivi so rezultati? Če bi še enkrat izvajali raziskavo, kaj bi spremenili? So se ob eksperimentalnem delu postavila kakšna nova raziskovalna vprašanja?*).

Skrbno pripravljen načrt izvedbe eksperimentalnega dela predstavite učitelju. Pogovorite se, katere stvari bi bilo dobro izboljšati, na katere stvari bi bilo potrebno pri eksperimentalnem delu še posebno paziti ipd.

Ko učitelj odobri predstavljen načrt, lahko pričnete z izvedbo eksperimentalnega dela.

NAČRT IZVEDBE EKSPERIMENTALNEGA DELA

1. Naloga eksperimentalno raziskovalnega dela

2. Raziskovalno vprašanje

3. Raziskovalna hipoteza

3.1 Neodvisna spremenljivka:

3.2 Odvisna spremenljivka:

3.3 Konstante:

4. Načrtovanje izvedbe eksperimentalnega dela

5. Predviden čas izvedbe eksperimenta

6. Potrebščine

7. Kemikalije

<i>Kemikalija</i>	<i>Piktogram</i>

Piktogrami



8. Zaščita in varnost pri eksperimentalnem delu ter odstranjevanje odpadkov

9. Skica aparature

10. Zbiranje podatkov med eksperimentalnim delom

11. Rezultati

Opazanja	Sklepi

12. Interpretacija rezultatov eksperimentalnega dela

13. Zaključek

14. Evalvacija

EKSPERIMENTALNO DELO (SINTEZA ALTERNATIVNIH VRST GORIV)

1. Sinteza bioetanola

Bioetanol je eno izmed alternativnih vrst goriv, ki je veliko bolj prijazno okolju, kot goriva iz naftnih derivatov. Spada med biogoriva, to so trda, tekoča ali plinasta goriva, pridobljena iz sorazmerno nedavno odmrle biološke snovi, za razliko od fosilnih goriv, ki se pridobivajo iz davno odmrle biološke snovi. Mnoge bencinske družbe bioetanol zaenkrat ponujajo le v mešanici z navadnim bencinom. Bioetanol je visoko oktansko gorivo, ki ga pridobivajo s fermentacijo (anaerobno vrenje) rastlin, ki vsebujejo sladkor, škrob ali celulozo. Industrijsko se pridobiva iz žitaric ali iz drugih obnovljivih poljedelskih rastlin, lesa lesnih odpadkov. Trije najbolj prevladujoči viri so koruza, pšenica in sladkorni trs. Proces pridobivanja je podoben varjenju piva. Bioetanol lahko pridobivamo tudi iz odpadkov in kmetijskih ostankov.

Enačba kemijske reakcije pridobivanja bioetanola:



Glukoza v etanol in ogljikov dioksid s pomočjo encimov pretvarjajo glive kvasovke.

Še več informacij o bioetanolu lahko prebereš v preglednem znanstvenem članku. Z uporabo aplikacije *QR scanner* »skenirajte« priloženo QR kodo.



Potrebščine in kemikalije

Potrebščine
<i>Priprava suspenzije kvasa</i>
250 mL čaša
Steklena palčka
100 mL merilni valj
<i>Priprava 30 % vodne raztopine glukoze</i>
250 mL čaša
Steklena palčka
100 mL merilni valj
Štirinožno stojalo
Gorilnik
Steklokeramična plošča
<i>Sinteza bioetanola</i>
Peč/grelni plašč/grelni inkubator
1 L čaša
Termometer
<i>Destilacija sintetiziranega bioetanola</i>
Štirinožno stojalo
Steklokeramična plošča
Gorilnik
500 mL bučka
Destilacijski nastavek
Hladilnik
Termometer
150 mL erlenmajerica

Kemikalija	Piktogram
100 mL suspenzije svežega kvasa	/
100 mL 30 % vodne raztopine glukoze	/
100 mL vodovodne vode	/

VARNOST PRI EKSPERIMENTALNEM DELU

Pri eksperimentalnem delu so obvezna zaščitna halja, očala. Pred začetkom je potrebno skrbno prebrati navodila za varno delo s kemikalijami na steklenicah ali plastenkah oziroma med delom upoštevati oznake za nevarne snovi.

POTEK EKSPERIMENTALNEGA DELA

Priprava suspenzije kvasa

1. V 250 mL čašo z merilnim valjem odmerimo 100 mL mlačne vodovodne vode.
2. V vodo damo zdrobljeno kocko svežega kvasa in s stekleno palčko mešamo toliko časa, da se kocka kvasa v vodi popolnoma raztopi.

Priprava 30 % vodne raztopine glukoze

1. V 250 mL čašo z merilnim valjem odmerimo 100 mL destilirane vode.
2. V vodo stresemo 45 g glukoze in s stekleno palčko ob rahlem segrevanju na steklokeramični plošči mešamo toliko časa, da se vsa glukoza raztopi.

Sinteza bioetanola

1. V 1 L čašo prelijte 100 mL pripravljene 30 % vodne raztopine glukoze in 100 mL suspenzije kvasa. S stekleno palčko nastalo zmes dobro premešajte.
2. Zmes v peči (*grelnem plašču, grelnem inkubatorju*) na temperaturi med 37 do 39 °C segrevajte 24 ur in vmes zmes s stekleno palčko nekajkrat premešajte.

Destilacija sintetiziranega bioetanola

1. Sestavite aparaturo za navadno destilacijo.
2. V 500 mL destilacijsko bučko prelijte zmes z bioetanolom, ki jo nato pri temperaturi med 80 in 85 °C destilirajte 90 minut.
3. Sintetiziran in ločen bioetanol kot destilat zbirajte v erlenmajerici.

RAVNANJE Z ODPADKI

Med in po končanem eksperimentalnem delu je potrebno ustrezno zbirati in ločevati uporabljene snovi (jih na primer odliti v posebej pripravljene posode). Pri odstranjevanju kemijskih odpadkov iz laboratorija je potrebno upoštevati predpise, ki veljajo za kemične odpadke v industriji, pri čemer je potrebno upoštevati navodila na varnostnih listih posameznih kemikalij.

NALOGE ZA DODATNA ZNANJA

1. Na osnovi izvedenega eksperimentalnega dela sinteze bioetanola raziščite, kako na stopnjo fermentacije glukoze vpliva pH. Za postavljeno raziskovalno vprašanje zapišite hipotezo, določite neodvisno in odvisno spremenljivko ter konstante. Načrtujte tudi izvedbo eksperimentalnega dela. Svoj odgovor pojasnite.

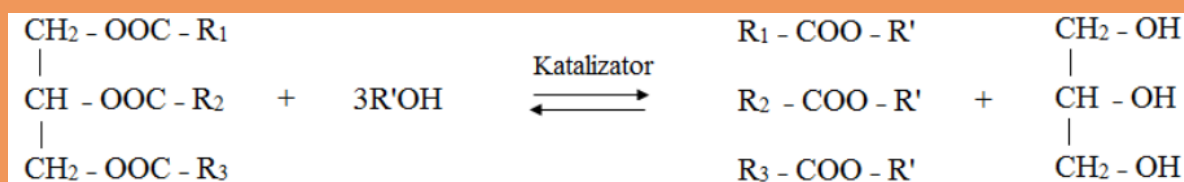
2. Na osnovi izvedenega eksperimentalnega dela sinteze bioetanola raziščite, kako na stopnjo fermentacije glukoze vpliva temperatura. Za postavljeno raziskovalno vprašanje zapišite hipotezo, določite neodvisno in odvisno spremenljivko ter konstante. Načrtujte tudi izvedbo eksperimentalnega dela. Svoj odgovor pojasnite.

3. Na osnovi izvedenega eksperimentalnega dela sinteze bioetanola raziščite, kako na stopnjo fermentacije vpliva vrsta sladkorja (namesto glukoze lahko uporabite fruktozo, saharozo, škrob ...). Za postavljeno raziskovalno vprašanje zapišite hipotezo, določite neodvisno in odvisno spremenljivko ter konstante. Načrtujte tudi izvedbo eksperimentalnega dela. Svoj odgovor pojasnite.

2. Sinteza biodizla

Biodizel je zmes metilnih ali etilnih estrov višjih maščobnih kislin, ki nastaja pri reakciji estrenja triacilgliceridov rastlinskih olj z metanolom. Pri reakciji kot katalizator dodamo močno bazo, raztopino kalijevega hidroksida.

Prikazana je splošna reakcijska shema transesterifikacije – reakcije sinteze biodizla:



Biodizel lahko pripravimo iz različnih rastlinskih olj, živalskih maščob ali odpadnih kuhinjskih olj, kar je s stališča zelene kemije zelo priporočljivo. Postal je alternativno gorivo, ki se uporablja v dizelskih motorjih, saj so njegove osnovne značilnosti podobne značilnostim fosilnega dizla. Biodizel se lahko s fosilnim dizlom kot gorivo uporablja kot mešanica v poljubnih razmerjih.

Uporaba biodizla je okolju prijaznejša, saj je samo gorivo biorazgradljivo, netoksično in naravi prijazno. V biodizlu ni prisotnega žvepla in aromatskih spojin. Pri gorenju biodizla nastajajo manjše koncentracije toplogrednih plinov, kar ključno prispeva k zmanjšanju vpliva segrevanja ozračja.



Še več informacij o biodizlu lahko prebereš v preglednem znanstvenem članku. Z uporabo aplikacije *QR scanner* »skenirajte« priloženo QR kodo.

Potrebščine in kemikalije

Potrebščine
250 mL čaša
50 mL čaša
150 mL merilni valj
25 mL merilni valj
Spatula
Tehtnica
Steklena palčka
Magnetno mešalo
Kapalka

Kemikalija	Piktogram
Metanol	
9M vodna raztopina kalijevega hidroksida	
Uporabljeno rastlinsko olje	/
Destilirana voda	/

VARNOST PRI EKSPERIMENTALNEM DELU

Pri eksperimentalnem delu so obvezna zaščitna halja, očala. Razen pri delu z gorilnikom uporabljamo tudi rokavice. Pred začetkom je potrebno skrbno prebrati navodila za varno delo s kemikalijami na steklenicah ali plastenkah oziroma med delom upoštevati oznake za nevarne snovi.

POTEK EKSPERIMENTALNEGA DELA

1. V 250 mL čašo odmerite 100 mL rastlinskega olja.
2. V 50 mL čašo odmerite 25 mL metanola in dodajte 2 g v terilnici strtega kalijevega hidroksida. Premešajte, da se kalijev hidroksid raztopi.
3. Raztopino kalijevega hidroksida v metanolu dodajte olju.
4. Čašo z mešalom postavite na magnetno mešalo in naravnajte število vrtljajev na 200 vrtljajev/min. ter temperaturo na 60 °C. Vključite magnetno mešalo in pustite, da kemijska reakcija poteka 30 minut.
5. Po 30 minutah ustavite mešanje in segrevanje, odstavite čašo iz magnetnega mešala ter pustite, da se plasti v zmesi ločijo.
6. S kapalko previdno odstranite zgornjo plast v 100 mL čašo in ji dodajte 10 mL destilirane vode ter pustite, da se plasti v zmesi ponovno ločijo.
7. S kapalko ponovno previdno odstranite zgornjo plast v 100 mL čašo.
8. Primerjajte prostornino produkta s prostornino začetnega rastlinskega olja.

RAVNANJE Z ODPADKI

Med in po končanem eksperimentalnem delu je potrebno ustrezno zbirati in ločevati uporabljene snovi (jih na primer odliti v posebej pripravljene posode). Pri odstranjevanju kemijskih odpadkov iz laboratorija je potrebno upoštevati predpise, ki veljajo za kemične odpadke v industriji, pri čemer je potrebno upoštevati navodila na varnostnih listih posameznih kemikalij.

VPRAŠANJA ZA DODATNA ZNANJA

1. Katere vrste kemijska reakcija poteče med etanolom in triacilgliceridi v olju? Pojasnite, zakaj v reakcijsko zmes dodamo kalijev hidroksid.

2. Kaj je zgornja in kaj spodnja plast v čaši? Svoj odgovor pojasnite.

3. Zakaj smo odstranjeni zgornji plasti dodali destilirano vodo?

4. Kolikšna je razlika v prostornini nastalega biodizla in izhodnega rastlinskega olja? Svoj odgovor pojasnite.

NALOGE ZA DODATNA ZNANJA

1. Na osnovi izvedenega eksperimentalnega dela sinteze biodizla raziščite, ali uporaba različne vrste rastlinskega olja (npr. laneno olje, sončnično olje ...) vpliva na izkoristek sinteze biodizla po izbranem postopku. Za postavljeno raziskovalno vprašanje zapišite hipotezo, določite neodvisno in odvisno spremenljivko ter konstante. Načrtujte tudi izvedbo eksperimentalnega dela. Svoj odgovor pojasnite.

2. Na osnovi izvedenega eksperimentalnega dela sinteze biodizla raziščite, kako na sintezo tega biogoriva vpliva izbira šibke baze kot katalizatorja. Za postavljeno raziskovalno vprašanje zapišite hipotezo, določite neodvisno in odvisno spremenljivko ter konstante. Načrtujte tudi izvedbo eksperimentalnega dela. Svoj odgovor pojasnite.

3. Na osnovi izvedenega eksperimentalnega dela sinteze biodizla raziščite, ali uporaba svežega oziroma že uporabljenega sončničnega olja vpliva na izkoristek sinteze biodizla po izbranem postopku. Za postavljeno raziskovalno vprašanje zapišite hipotezo, določite neodvisno in odvisno spremenljivko ter konstante. Načrtujte tudi izvedbo eksperimentalnega dela. Svoj odgovor pojasnite.

LITERATURA

- Anastas, P. T. in Warner, J. C. (1998). *Green Chemistry: Theory and Practice*. New York: Oxford University Press.
- Avsec, S. (2015). Alternativni viri energije. *Gea*, 72, 24-33.
- Devetak, I. in Slapničar, M. (2019). *Kemijske osnove naravoslovja z navodili za laboratorijske vaje*. Univerza v Ljubljani, Pedagoška fakulteta. Ljubljana.
- Duarte, R. C. C., Ribeiro, M. G. T. C. in Machado, A. A. S. C. (2015). Using Green Star metrics to optimize the greenness of literature protocols for syntheses. *Journal of Chemical Education*, 92(6): 1024-1034.
- Ferk Savec, V. in Mlinarec, K. (2021). E11_Sinteza bioetanol_navidila za učitelje. Interno študijsko gradivo pri predmetu Eksperimentalno delo II. Dostopno na »Spletna učilnica UL PEF«: <https://ucilnica.pef.uni-lj.si/course/view.php?id=694>. 26. 8. 2021.
- Lanjewa, B. M., Rao, R. V. in Kale, A. V. (2015). Assessment of alternative fuels for transportation using a hybrid graph theory and analytic hierarchy process method. *Fuel*, 154, 9-16.
- Pečjak, V. (2010). *Človek in ekološka kriza: kaj lahko prispevam k izboljšanju?* Celje: Celjska Mohorjeva družba.
- Plut, D. (2004). *Zeleni planet? Prebivalstvo energija in okolje v 21. stoletju*. Radovljica: Didakta.