

OŠ Ljubečna

BIODIZEL IZ KEMIJSKE UČILNICE

Avtorji:

Matic MIRT, 9. a
Andraž ŠPES, 9. a
Jure ŽNIDAREC, 9. b

Mentorica:

Marjeta GRADIŠNIK MIRT
učiteljica biologije in
kemije

Mestna občina Celje, Mladi za Celje

Celje, 2007

KAZALO

Naslovi:	Strani:
PREGLEDNICA SLIKOVNEGA GRADIVA	2
PREGLEDNICA TABEL	3
POVZETEK	4
1 UVOD	5
1.1 NAMEN NALOGE	5
1.2 HIPOTEZE	6
1.3 METODE DE LA	6
1.4 TEHNIČNI PRIPOMOČKI ZA RAZISKOVALNO DELO	7
2 OPIS RAZISKOVALNEGA DE LA	8
2.1 KAJ JE BIODIZEL?	8
2.2 KEMIJSKI POSTOPEK PRIDOBIVANJA BIODIZLA	10
2.3 OGL ED PRIDOBIVANJA BIODIZLA NA ODDELKU ZA KMETIJSKO TEHNIKO KMETIJSKEGA INŠTITUTA SLOVENIJE	12
2.4 KAKO SMO V ŠOLI PRIDOBIVALI BIODIZEL?	14
2.5 LASTNOSTI V ŠOLI PRIDOB LJENEGA BIODIZLA	17
2.6 PRIDOBIVANJE BIODIZLA IZ RAZLIČNIH VRST OLJA	22
2.7 PRIMERJAVA LASTNOSTI BIODIZLA IZ RAZLIČNIH VRST OLJA	25
2.8 ČIŠČENJE BIODIZLA	28
2.9 PRAKTIČEN PREIZKUS IZGOREVANJA BIODIZLA V DIZELSKEM MOTORJU	32
3 ZAKLJUČEK	33
LITERATURA	35

PREGLEDNICA SLIKOVNEGA GRADIVA

Naslov slike:	Stran
Slika 1: Poskusno izgorevanje biodizla	12
Slika 2: Stiskanje oljne ogrščice	12
Slika 3: Uporaba beljakovinske pogače pri hranjenju goveda	13
Slika 4: Naprava za pridobivanje biodizla na inštitutu	14
Slika 5: Naprava za pridobivanje biodizla	14
Slika 6: Pridobivanje natrijevega metoksida	15
Slika 7: Dodajanje natrijevega metoksida	15
Slika 8: Ločevanje biodizla in glicerola	16
Slika 9: Volumsko razmerje med biodizlom in glicerolom	17
Slika 10: Biodizel je lažji od vode	17
Slika 11: Merjenje gostote biodizla z areometrom	19
Slika 12: Merjenje pH vrednosti	19

Slika 13: Merjenje viskoznosti	20
Slika 14: Merjenje temperature vnetišča	21
Slika 15: Ločevanje biodizla iz odpadlega rastlinskega olja	23
Slika 16: Biodizel iz različnih vrst olja	24
Slika 17: Barva plamena dizelskega goriva	26
Slika 18: Barva plamena biodizelskega goriva	26
Slika 19: Nastanek emulzije pri čiščenju biodizla	28
Slika 20: Čiščenje v liju ločniku	29
Slika 21: Čiščenje biodizla s silikagelom	29
Slika 22: Titracija biodizla z 10% raztopino citronske kisline	30
Slika 23: Merjenje pH vrednosti po dodatku citronske kisline	31
Slika 24: Praktična uporaba pridobljenega biodizla	32
Slika 25: Biodizel je prestal preizkus	32
Slika 26: Polje biodizla	34

PREGLEDNICA TABEL

Naslov tabele:	Stran:
Tabela 1: Primerjava lastnosti biodizla in glicerola	18
Tabela 2: Hitrost padanja gladine biodizla v kapilari	20
Tabela 3: Primerjava volumnov pridobljenega biodizla iz različnih vrst olja	24
Tabela 4: Primerjava različnih vrst biodizla z dizlom iz nafte	25
Tabela 5: Primerjava lastnosti nepredelanega olja in biodizla	27

POVZETEK

Sedaj, ko se svet utaplja v boju za sleherno kapljico črnega zlata, bi lahko postal biodizel zanimiva alternativa. Vprašali smo se, ali ga lahko pridobimo tudi sami. Biodizel je metilester maščobnih kislin, zato ga pridobivamo iz maščob. V šoli smo uporabili sveže in uporabljeno rastlinsko olje. Predpostavljali smo, da je odpadno olje težje predelati v biodizel. Voda v olju spelje reakcije v smeri nastajanja mila, kar ni zaželeno zaradi izgub. Postopek poteka tako, da v večjem loncu segrevamo olje do temperature 60°C in mu dodamo natrijev metosid. Mešanico kuhamo do ene ure, pri čemer poteče esterifikacija. Pri tem nastaneta biodizel in glicerol. Ker se produkta razlikujeta v gostoti, ju ločimo z lijem ločnikom. Sledi čiščenje biodizla, saj je zelo alkalen. Višek baze smo nevtralizirali s citronsko kislino in nato biodizel večkrat zaporedoma spirali z vodo. Večina nečistoč se je raztopila v vodi, biodizel pa se je dvignil nad njo. Sledove vode smo odstranili s silikagelom. Ob postopku pridobivanja smo opazovali in merili, kako se mu spreminjajo lastnosti v primerjavi z oljem. Postane manj viskozen in redkejši. Je bistre rumene barve in gori s svetlim plamenom z manj saj kot običajni dizel. Vonj gorečega biodizla spominja na pečen krompirček.

1 UVOD

Energija je osnova za delo in vsakovrstne dejavnosti. Razsvetljuje naša mesta, poganja prevozna sredstva, ogreva domove in šole, z njeno pomočjo si pripravljamo hrano, poslušamo glasbo ter celo oblikujemo tale zapis. Kaj vse bi bilo nemogoče brez energije, si le stežka predstavljamo.

Človek izrablja različne vire energije. Nekateri so obnovljivi, drugi pa neobnovljivi. Neobnovljivi viri so količinsko omejeni in ko jih bomo izrabili, jih ne bo več. Ta čas se hitro bliža zlasti zato, ker število prebivalstva na Zemlji zelo hitro narašča. Sodoben človek je velik energetskega potrošnik. Zato mora sleherni posameznik iskati različne možnosti varčevanja z energijo ali pa iskati nove, po možnosti obnovljive vire energije. Le takšen pogled je usmerjen v prihodnost in omogoča ohranjanje standarda, ki ga imamo danes.

1.1 NAMEN NALOGE

Nafta je eden izmed omejenih virov energije. Je tudi pomembna surovina, za izdelovanje vrste snovi, ki se uporabljajo v proizvodnji dobrin za vsakdanje življenje. To so npr. umetne mase, pesticidi, pralna sredstva, barvila, vlakna in podobno. Ker jo je v zemeljski skorji v omejenih količinah, jo je škoda uporabljati kot pogonsko sredstvo. Pa vendar ni druge možnosti, trenutno si ne znamo predstavljati življenja brez bencina, kerozina in dizelskega goriva. V nekaterih deželah varčujejo s temi pogonskimi sredstvi tako, da bencinu dodajajo bioetanol, ki ga pridelajo iz sladkorja.

Ali smo res brez rešitve, če bo nekoč zemeljska skorja ostala brez črnega zlata? Seveda ni tako, virov energije je še dosti, le da je njihova proizvodnja zahtevnejša in najbrž tudi dražja. Ena od rešitev je morda biodizel. To je pogonsko sredstvo in gorivo, ki ga lahko pridelamo iz maščob. V tujini že vrsto let obstajajo obrati, ki ga pridelujejo in tržijo. V Sloveniji smo glede pridobivanja in trženja biodizla bolj na začetku. Na spletnih straneh lahko preberemo, da ga nekateri pridobivajo kar doma in ga uporabljajo v dizelskem motorju avtomobilov in traktorjev.

V tej raziskovalni nalogi smo nameravali spoznati biodizel, njegove lastnosti, pridobivanje in uporabo. V ta namen smo se morali naučiti, kakšni so postopki pridobivanja tega obnovljivega vira energije. Zanimivo je bilo primerjati lastnosti biodizla, pridobljenega iz različnih olj, z dizelskim gorivom iz nafte. Pomemben del naloge je tudi primerjava pozitivnih in negativnih plati pridobivanja ter uporabe biodizla. V življenju je vedno tako, da moramo tehtati dobro in slabo. Takšno primerjanje nas vodi k pravilni odločitvi glede rabe določenega vira energije in je hkrati tudi splošno življenjsko pravilo glede odločanja o čemerkoli. Še posebej pozorni pa bomo na možnost pridobivanja biodizla iz uporabljenih odpadnih olj iz gospodinjskih in javnih kuhinj, saj se zavedamo, da so za okolje kot odpadki veliko breme.

1.2 HIPOTEZE

Želeli smo torej spoznati biodizel od blizu. To pomeni, da smo morali po različnih virih iskati recepturo za pridobivanje, surovine za pridobivanje in nevarnosti povezane s postopkom. Zanimala nas je tudi primerjava nekaterih lastnosti biodizla in njegova uporaba. Da bi bilo delo čim boljše načrtovano, smo si na samem začetku postavili nekaj hipotez. Pri tem smo pazili, da bomo s svojim znanjem in opremljenostjo v šoli lahko raziskali določen problem oz. vprašanje. Naše hipoteze so bile:

- biodizel lahko ob natančnem poznavanju postopka in nevarnosti pridelamo v šolski učilnici;
- lastnosti biodizla se bistveno ne razlikujejo od lastnosti dizla, pridobljenega iz nafte, se pa razlikujejo od nepredelanega olja;
- količina pridobljenega biodizla iz svežega olja je večja kot količina biodizla iz starega odpadlega olja;
- odpadna rastlinska olja težje predelamo v biodizel kot neuporabljena rastlinska olja.

Za začetek so se nam te štiri hipoteze zdele kar zadosten izziv, saj smo vedeli, da se bomo za razumevanje in tehnično izpeljavo postopka morali še dosti naučiti. Prav tako bomo morali načrtovati in nabaviti ustrezno opremo za izpeljavo načrtanega cilja. Zaradi tega smo se v hipotezah nekoliko omejili, zavedamo pa se, da je vprašanj, povezanih z biodizlom, zelo veliko.

1.3 METODE DELA

Med poplavo različnih metod smo izbrali najprimernejše. Cilj je bil jasen, zastavljen v hipotezah in namenu naloge. Kot pri vsaki raziskavi, smo tudi mi začeli z zbiranjem ustrezne literature in virov, zato si metode dela sledijo v naslednjem zaporedju:

- študij literature in drugih virov. Večina tovrstnega gradiva je bila v angleškem jeziku, zato smo kar precej energije vložili v prevajanje besedil;
- analiza in interpretacija primarnih virov. Rezultati te metode so bili, da smo poiskali informacije o kemijskih spremembah pri postopku, potrebnih reagentih za izvedbo postopka, tehničnih pripomočkov za delo, nevarnostih postopka, potrebni zaščiti pred nevarnostmi, in predvidevali lastnosti zelenih produktov;
- načrtovanje naprave za pridobivanje in čiščenje biodizla;
- izbira in izdelava laboratorijskih pripomočkov ter nabava reagentov za pridobivanje biodizla;
- eksperimentalna metoda je vključevala postopek pridobivanja biodizla in primerjavo lastnosti biodizla iz različnih vrst olja. Postopek zahteva tudi čiščenje biodizla, saj mora produkt ustrezati določenim standardom, preden ga lahko uporabimo v dizelskem motorju. Z različnimi meritvami smo ocenjevali in ugotavljali fizikalne lastnosti biodizla;
- ekskurzija, v okviru katere smo si ogledali pridobivanje biodizla v raziskovalnem laboratoriju. Ogled smo izkoristili za izmenjavo izkušenj s

strokovnjaki in za številna vprašanja, ki so se porajala na začetku raziskovalnega dela;

- fotografiranje in poročanje.

1.4 TEHNIČNI PRIPOMOČKI ZA RAZISKOVALNO DELO

Za postopek pridobivanja in raziskovanje lastnosti biodizla smo potrebovali naslednje pripomočke:

- električni kuhalnik,
- 5-litrski emajlirani lonec,
- električno mešalo,
- magnetno mešalo in magnetne,
- lije ločnike različnih volumnov,
- čaše različnih volumnov,
- termometre,
- električni podaljšek,
- tehtnice,
- pH meter,
- stojala z mufo in prižemo,
- terilnico,
- merilne valje različnih volumnov,
- univerzalne pH lističe,
- areometer – napravo za določanje gostote kapljevin,
- pipeto in pipetirno žogica,
- bireto,
- kapilaro,
- štoparico,
- lij za sedimentacijo (1000-mililitrski)
- izparilnico,
- digitalni termometer,
- plinski gorilnik,
- trinožno stojalo,
- keramično ploščico,
- plastično embalažo za shranjevanje pridobljenega biodizla,
- zaščitna sredstva: rokavice, zaščitna očala, plašč.

Za pridobivanje biodizla smo si morali priskrbeti naslednje snovi:

- suh natrijev hidroksid (NaOH),
- metanol s čim manjšim deležem vode (99 %),
- različna rastlinska olja,
- fenolftalein,
- destilirano vodo,
- izopropil alkohol ali propan-2-ol,
- citronsko kislino,
- silikagel.

2 OPIS RAZISKOVALNEGA DELA

2.1 KAJ JE BIODIZEL?

Veliko ljudi zanima, kaj je biodizel. V glavnem vedo, da gre za obnovljiv vir energije, ki ga lahko pridobivamo iz maščob. Maščobe so estri glicerola in višjih maščobnih kislin. Delimo jih na trdne in tekoče. Po izvoru so lahko živalske in rastlinske. Primeri živalskih maščob so ribje olje in svinjska mast, primeri rastlinske pa sončnično olje in palmova mast. V masteh prevladujejo nasičene višje maščobne kisline, v oljih pa nenasičene.

Maščobe so pomemben vir energije. Uporabljamo jih tudi v prehrani in za pripravo jedi. Pri tem nastanejo odpadne maščobe, ki so kot odpadki za okolje veliko breme. Ne smemo jih izliti v kanalizacijo, v odpadnih vodah predstavljajo velik problem tudi v čistilnih napravah. Zaradi tega jih v javnih kuhinjah zbirajo kot poseben odpadki. Tega bi se morali posluževati tudi v manjših gospodinjstvih. Posebne ustanove zbirajo odpadna olja. Največkrat jih sežgejo v sežigalnicah, deloma pa predelujejo v biodizel. Tako predelovalni obrati pridejo do poceni surovin.

V proizvodnji biodizla se je pokazalo, da najboljše biodizelsko gorivo nastane iz hladno stiskanih rastlinskih olj, kot so olje oljne ogrščice, sončnično olje, sojino olje, koruzno olje itd. Gorivo lahko uporabljamo v osebnih avtomobilih in gospodarskih vozilih z dizelskim motorjem.

Kot zanimivost lahko omenimo, da je oče dizelskega motorja Rudolf Diesel (1858–1913) na svetovi razstavi v Parizu, leta 1900 predstavil motor, ki ga je poganjalo rastlinsko olje iz arašidov. Že takrat je predvideval, da bodo njegov motor lahko poganjala rastlinska olja. To je bilo za tiste čase zelo napredno razmišljanje, saj se je Rudolf Diesel verjetno zavedal omejenosti neobnovljivih virov energije.

Problem uporabe rastlinskih olj je v njihovi gostoti in viskoznosti. Skozi cevčice, ki dovajajo gorivo motorju, je tok goriva prepočasen ali se prekinja, zato lahko deluje nepravilno. Pri predelavi olja v biodizel se gorivu zmanjša viskoznost. Kakšna lastnost tekočin viskoznost sploh je? V idealnih neviskoznih tekočinah ni strižnih sil. Plasti tekočine polzijo neovirano druga ob drugi. V realnih tekočinah pa ni tako. Zaradi viskoznosti hitrejša plasti vlečejo počasnejše in počasnejše pri potovanju ovirajo hitrejša plasti. Strižne sile med plastmi tekočin ovirajo pretok. Olja imajo večjo viskoznost kot biodizel.

Kako narediti biodizel? Kot surovino lahko uporabimo katerokoli maščobo. V maščobah se pri postopku pridobivanja razcepijo estrske vezi med glicerolnim delom in višjimi maščobnimi kislinami. V višjih maščobnih kislinah se namesto vodika veže metilna skupina. Kot katalizator se uporabljajo močne baze, kot na primer natrijev ali kalijev hidroksid. Postopek se imenuje transesterifikacija in je podoben saponifikaciji ali umiljenju. Ob nepravilni izvedbi postopka potekata oba procesa hkrati. Eden od pogojev kemijske reakcije je temperatura od 50 °C do 60 °C.

Postopek pridobivanja biodizla zajema naslednje faze:

- filtriranje nečistoč v olju (pomembna faza zlasti v primeru, ko pridobivamo biodizel iz odpadnega olja, npr. iz friteze);
- sušenje je namenjeno odstranjevanju vode iz olja. Neuporabljena olja ne vsebujejo vode in so v tem smislu suha, uporabljena odpadna olja pa moramo vedno sušiti;
- titracija je postopek namenjen določevanju potrebne količine katalizatorja natrijevega ali kalijevega hidroksida na 1 liter odpadnega olja;
- priprava natrijevega metoksida;
- segrevanje olja ali katerekoli maščobe na ustrezno temperaturo;
- dodajanje natrijevega metoksida maščobi ob stalnem mešanju. Pri tem postopku pride do transesterifikacije. Maščoba razpade na biodizel in na glicerol. Če je v reakcijski zmesi prisotna voda, lahko pride tudi do umiljenja;
- usedanje in ločevanje produktov. Če je postopek pravilno izpeljan, se v liju ločniku pojavita dve fazi, zgoraj biodizel, spodaj glicerol. V prisotnosti majhnih količin vode lahko nastajajo tudi mila;
- spiranje in čiščenje biodizla je posledica dejstva, da ima biodizel zelo visok pH. Zato je potrebno nevtralizirati višek natrijevega ali kalijevega hidroksida in iz biodizla spirati v vodi topne nečistoče;
- sušenje biodizla;
- preizkus lastnosti biodizla.

Končni produkt očiščenega biodizla lahko uporabimo v dizelskem motorju. Izgoreva čisto in literatura navaja, da za tovornjaki, ki uporabljajo biodizel, diši po pečenem krompirčku.

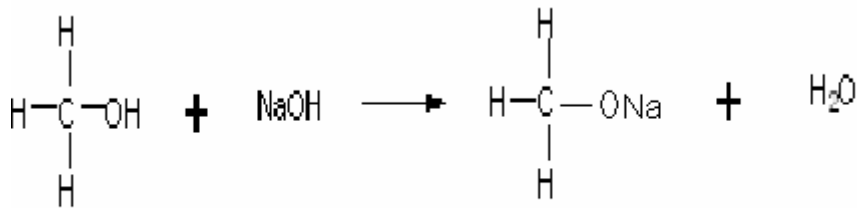
Najboljše napotke za pripravo biodizla smo našli na spletni strani Mike Pelly's biodiesel method (http://journeytoforever.org/biodiesel_mike.html).

Vsebovala je natančna navodila za izvedbo postopka in zaporedje posameznih faz postopka. Te so bile dobro opisane, razložene in opremljene s shemami. Všeč so nam bila opozorila na nevarnosti, ki so prežale s strani v postopku uporabljenih kemikalij, in predlogi za zaščito z zaščitnimi sredstvi, kot so zaščitne rokavice, očala in obleka. Nazorno je prikazan tudi mehanizem kemijskih reakcij, ki se odvijajo v procesu pridobivanja. Zapis vsebuje količine potrebnih reagentov, preračunano na liter olja. Vse informacije s spletne strani smo morali najprej prevesti v slovenski jezik, nato pa poiskati ustrezne rešitve, ki so izvedljive v kemijski učilnici in prilagojene znanju osnovnošolca.

Biodizel je v kemijskem smislu ester metanola in višjih maščobnih kislin. Namesto metanola lahko proizvajalci uporabljajo tudi etanol. Prednosti uporabe biodizla so nestrupenost in biorazgradljivost. V okolju ne povečuje emisij in ga lahko pridobivamo iz obnovljivih virov surovin (uporabljeno jedilno olje, rastlinsko olje, živalska maščoba), Lahko ga uporabljamo v obstoječih dizelskih motorjih. Ima tudi dobre mazalne lastnosti in zmanjšuje tveganje onesnaževanja okolja pri transportu goriva. Prvi vtis je takšen, da je lahko biodizel gorivo prihodnosti.

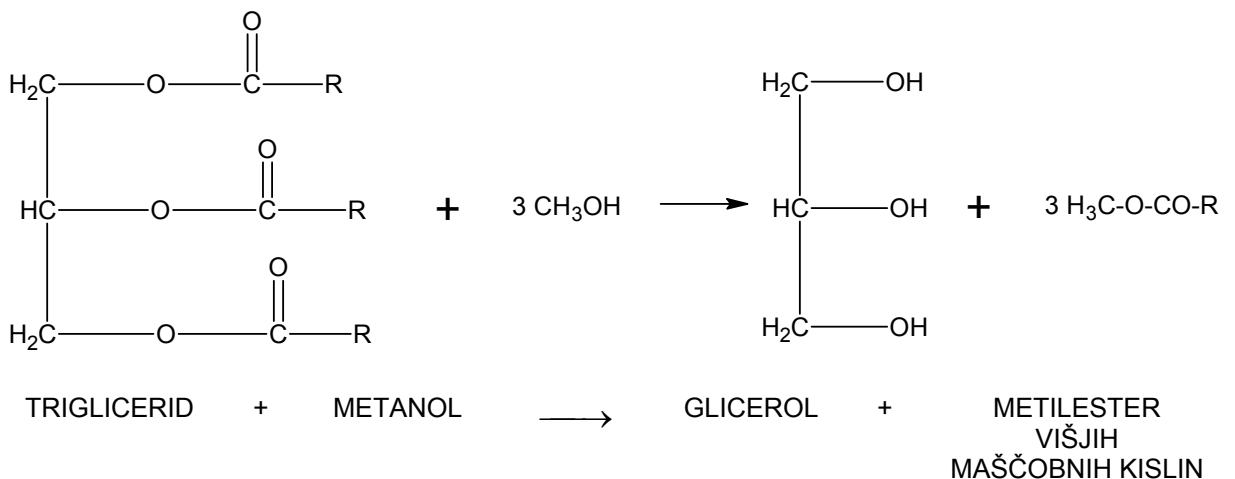
2.2 KEMIJSKI POSTOPEK PRIDOBIVANJA BIODIZLA

Mike Pelly v svojem članku postopek imenuje transesterifikacija, v slovenskih pisnih virih pa najdemo tudi izraz zaestritev, kar verjetno pomeni isto. Glavne sestavine maščob so trigliceridi, ki so estri glicerola in višjih maščobnih kislin. Postopek temelji na razcepu esterskih vezi med glicerolnim delom in dolgimi verigami iz višjih maščobnih kislin. Razcep omogoči reaktivna spojina natrijev metoksid, ki jo predhodno pripravimo. Je zelo agresivna in jedka spojina, ki zlahka razklene esterske vezi v trigliceridih.

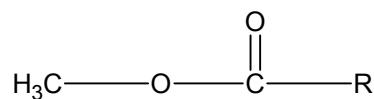


METANOL + NATRIJEV HIDROKSID \longrightarrow NATRIJEV METOKSID + VODA

Poenostavljen zapis kemijske reakcije zaestritve lahko prikažemo z naslednjo shemo.



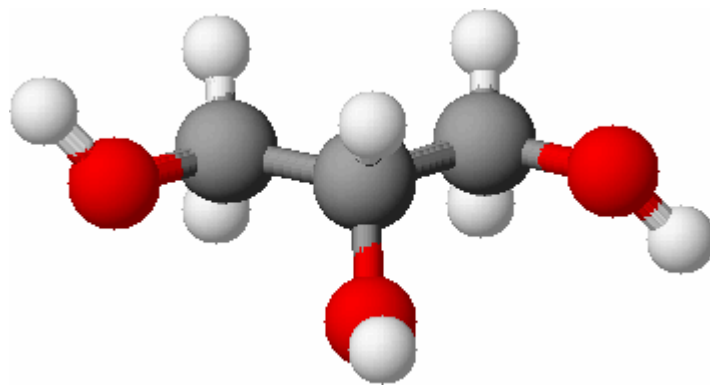
Biodizel je torej metilester s sledečo splošno formulo:



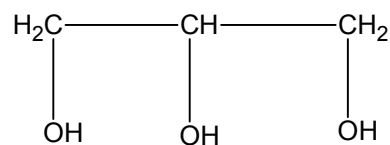
Radikal, označen s črko R, predstavlja verigo ogljikovodika, v katerem nastopajo enojne in dvojne kovalentne vezi. Estri, pridobljeni iz rastlinskih olj, so goriva z visoko vsebnostjo kisika (do 10 %), zato so emisije pri izgorevanju zelo nizke. Vzrok temu je v spojini vezan kisik, ki omogoča bolj popolno izgorevanje. Velik delež kisika pa pripomore k temu, da je energetska vrednost metilnih estrov nižja od navadnega dizla.

Biodizelsko gorivo označujemo z mednarodno kratico RME (Rapeseed methyl ester). Po lastnostih je RME gorivo, podobno navadnemu dizelskemu gorivu, vendar pa je bolj korozivno, zato je potrebno s posebnimi premazi zavarovati izpostavljene površine v motorju.

Stranski produkt pridobivanja estrov je glicerol ali propan-1,2,3-triol. Glicerolna faza vsebuje precej mila, ki ga je potrebno pred nadaljnjo uporabo glicerola odstraniti. Milo lahko odstranimo tako, da glicerolno fazo močno razredčimo z destilirano vodo, nakisamo s klorovodikovo kislino in ob kisanju grejemo. Spodnja faza, ki vsebuje glicerol, je svetlejša barve. Prečiščen glicerol bi lahko bil uporaben v kemijski in farmacevtski industriji.



MODEL MOLEKULE GLICEROLA



GLICEROL ALI PROPAN-1,2,3-TRIOLOL

2.3 OGLED PRIDOBIVANJA BIODIZLA NA ODDELKU ZA KMETIJSKO TEHNIKO KMETIJSKEGA INŠTITUTA SLOVENIJE

V mesecu decembru smo obiskali Oddelek za kmetijsko tehniko, ki deluje v okviru Kmetijskega inštituta Slovenije. Deluje na več lokacijah in se ukvarja s temeljnimi, uporabnimi in razvojnimi raziskavami s področja kmetijstva. Laboratorij za kmetijsko strojništvo in procesno tehniko se nahaja na lokaciji Jablje pri Trzinu. V njem smo si lahko ogledali postopek od semena oljne ogrščice do stiskanja olja, predelavo olja v biodizel in njegovo uporabo v motorju. Že pred poslopjem nas je prijazno sprejel gospod Tone Godeša in nas opozoril na poskusno izgorevanje biodizla v traktorju.



Slika 1: Poskusno izgorevanje biodizla

Dejansko smo se lahko prepričali o čistih izpušnih produktov gorenja, ki so dišali po pečenem krompirčku. Nato nas je povabil v laboratorij, ki je bolj spominjal na sodobno opremljeno delavnico. Najprej smo se seznanili z različnimi surovinami za pridobivanje biodizla, med katerimi je izstopalo olje oljne ogrščice. Med rastlinami je več kot 4000 takšnih, iz katerih se da pridobivati olje. Za postopek pridobivanja biodizla so primerna tako nerafinirana kot rafinirana rastlinska olja.



Glede na pogoje rasti v Sloveniji bi lahko bila med najprimernejšimi industrijskimi rastlinami oljna ogrščica, ki daje zadostne količine olja in tudi biodizla. Pri hladnem stiskanju lahko iz semen izločijo 38 % do 40 % rastlinskega olja. Podatki kažejo, da lahko iz semen, pridelanih na enem hektarju, proizvedejo okoli 1200 litrov olja.

Slika 2: Stiskanje oljne ogrščice

Rastlina ima zelo pozitiven vpliv na tla, saj ima bogat koreninski sistem, ki preprečuje erozijo tal, obenem pa razkrojene korenine, ki ostanejo v prsti, gnojijo tla. Oljna ogrščica se zelo dobro vključuje v kolobar z ostalimi poljščinami. Z njo bi lahko zasadili polja, ki se zaraščajo, pozitivno vplivali na ekonomijo v kmetijstvu in se hkrati oskrbeli z obnovljivim virom energije. Nato smo opazovali delovanje stiskalnice za proizvodnjo olja iz semen oljne ogrščice s postopkom kontinuiranega stiskanja. Pri stiskanju semen ostaja kot stranski produkt beljakovinska pogača, ki se lahko uporablja za prehrano živine. Cilj proizvodnje biodizla je v čim večji ekonomičnosti postopka, s čim manjšimi negativnimi vplivi na okolje in možnostjo uporabe stranskih produktov. Sledil je ogled naprave za pridobivanje biodizla iz olja. Opazili smo, da se pripomočki dosti ne razlikujejo od naših šolskih, le količine pridobljenega olja so veliko večje, kot v šoli. Z večjimi količinami biodizla potekajo tudi postopki čiščenja in ugotavljanje njegovih lastnosti. Pogovor je tekel tudi o tem, kakšne so zahtevane standardne lastnosti biodizla in zakaj jih je pomembno upoštevati.



Slika 3: Uporaba beljakovinske pogače pri hranjenju goveda

Pogovarjali smo se o uporabi biodizla. Spoznali smo, da se trenutno v EU uporablja za pogon vozil javnega prometa, kot so avtobusi, taksiji in dostavna vozila. Uporaba se veča še za komunalne stroje, ki delujejo npr. na črpališčih pitne vode, kmetijske traktorje, osebna vozila in celo v železniškem prometu. Biodizel uporabljajo ladje, ki plujejo po rekah in jezerih, kjer ni dovoljena raba mineralnih goriv.

Proizvodnja biodizla se v Sloveniji odvija na nekaj lokacijah. Večji proizvodni obrati so v Pinusu, Rače in GEA Slovenska Bistrica. K večji proizvodnji tega goriva Slovenijo obvezuje Direktiva o pospeševanju rabe biogoriv in drugih obnovljivih goriv (2003/30/ES). Razlogi za uvedbo teh smernic so zagotavljanje zanesljivejših virov nabave energije, zmanjšanje emisij ogljikovega dioksida (kyotski protokol) in podpora kmetijskemu sektorju.



Slika 4: Naprava za pridobivanje biodizla na inštitutu

2.4 KAKO SMO V ŠOLI PRIDOBIVALI BIODIZEL

Po obsežnem preučevanju literature, skrbnem delovnem načrtu, nabavi ustreznih pripomočkov in kemikalij smo se v mesecu novembru lotili izdelave aparatov za pridobivanje biodizla. Odločili smo se, da bomo postopek zaradi varnosti izvajali v digestoriju. Vanj smo namestili kuhalnik. Kot posoda za kuhanje se nam je zdel primeren 5-litrski emajlirani lonec. Ker je natrijev metoksid zelo nevaren, nam je hišnik izdelal pokrovko s tremi odprtinami. V prvo smo namestili termometer, s katerim smo nadzorovali temperaturo olja. V drugo odprtino smo nastavili mešalo, ki smo ga priključili na vrtni stroj. Tretja odprtina je bila namenjena izlivu lija ločnika, preko katerega smo varno dovajali agresiven natrijev metoksid.



Slika 5: Naprava za pridobivanje biodizla

Natrijev metoksid smo pripravili v litrski čaši na magnetnem mešalu. S pomočjo merilnega valja smo izmerili volumen metanola in ga zlili v čašo. S pomočjo tehtnice smo stehtali potrebno maso natrijevega hidroksida, ga strli v terilnici in dodali metanolu v čaši. V desetih do petnajstih minutah se je natrijev hidroksid raztopil v metanolu in reagiral v natrijev metoksid.



Slika 6: Pridobivanje natrijevega metoksida

V tem času smo nalili olje v lonec in ga segreli na temperaturo okoli 60 °C. V lij ločnik nad loncem smo prelili pripravljeni natrijev metoksid. Vključili smo mešalo. Po kapljicah je natrijev metoksid počasi drsel v lonec. Nastajanje biodizla je trajalo okoli 45 minut. Ves čas je morala imeti mešanica temperaturo med 50 °C in 60 °C, mešalo pa je mešalo reaktante med sabo.



Slika 7: Dodajanje natrijevega metoksida

Takoj po končanem postopku smo pridobljeni biodizel in glicerol nalili v 1000-mililitrski lij ločnik. Opazili smo usedanje glicerola na dnu in iz tega sklepali, da ima večjo gostoto. Nečistoče so ga obarvale rjavo. Biodizel nad njim je bil bistre rumene barve in je spominjal na barvo urina. Spremenil se je tudi njegov vonj, ki pa ni bil izrazit. Tekočini sta se ločevali 24 ur.



Slika 8: Ločevanje biodizla in glicerola

Sledila je ločitev glicerola in biodizla. Previdno smo odprli pipico na liju ločniku in v podstavljeno čašo najprej ločili glicerol. Bil je zelo gost in težko tekoč. Na srečo ga ni bilo veliko. V prvem ločevanju ga je iz enega litra olja nastalo le 88 mililitrov. Verjetno je poleg nečistoč ob glicerolu izteklo tudi nekaj biodizla. Če je olje vsebovalo vodo, je bilo med glicerolom tudi precej mila.

Po ločitvi glicerola smo v novo podstavljeno čašo odtočili še biodizel. Iz enega litra sončničnega olja smo pri prvem poizkusnem postopku dobili kar 1062 mililitrov biodizla. Sledilo je preučevanje njegovih lastnosti. Opazovali smo:

- barvo in prosojnost,
- pH vrednost,
- gostoto,
- viskoznost,
- topnost v vodi,
- gorljivost,
- barvo plamena,
- prisotnost saj v plamenu in
- temperaturo vnetišča.

2.5 LASTNOSTI V ŠOLI PRIDOBLJENEGA BIODIZLA

Prvi biodizel smo pridobili iz enega litra sončničnega olja, ki smo ga kupili v trgovini. Šlo je za poskusno pridobivanje, pri katerem smo se praktično spoznali s postopkom in preizkusili delovanje naših naprav. Velik poudarek smo dali zaščiti pred prežečimi nevarnostmi, zato smo uporabili zaščitni plašč, zaščitna očala, zaščitne rokavice in zaščitno masko.

S samim postopkom nismo imeli veliko težav, le mešalo je včasih nagajalo, kar pa ni vplivalo na postopek. Iz enega litra sončničnega olja je nastalo 1062 mililitrov biodizla in 88 mililitrov glicerola z nečistočami.



Slika 9: Volumensko razmerje med biodizlom in glicerolom

Biodizel je bil svetlo rumene barve in lažji od olja. Primerjava viskoznosti olja in biodizla je pokazala, da je biodizel manj viskozen od olja. PH vrednost biodizla je znašala 9,65, torej je bil zelo bazičen. Z vodo se ni mešal in je lažji od nje. Gorel je s svetlo rumenim plamenom. Saj v plamenu ni bilo veliko. Pri gorenju je nastajal značilen vonj po pečenju. Temperatura vnetišča je bila nad 100 °C.



Slika 10: Biodizel je lažji od vode

Glicerol, ki je nastal v procesu pridobivanja, je bil medeno rjave barve, težji od vode in zelo gost. V njem so se izločala gosta, rjavkasto obarvana mila. Ker je glicerol stranski produkt, se z njegovimi lastnostmi nismo preveč ukvarjali.

Tabela 1: Primerjava lastnosti biodizla in glicerola.

Lastnosti:	biodizel	glicerol
Barva	svetlo rumen	medeno rjav
Gostota	lažji od vode	težji od vode
Viskoznost	majhna	velika
pH vrednost	9,65	nismo določali
Topnost v vodi	se ne meša	se težje meša
Gorljivost	gori	nismo ugotavljali
Barva plamena	rumen plamen	nismo ugotavljali
Prisotnost saj	da	nismo ugotavljali
Vnetišče	nad 100 °C	nismo ugotavljali

Ker smo se zavedali, da so opisane lastnosti dokaj nenatančne, in da bomo z njimi težko primerjali lastnosti biodizla iz različnih vrst olja, smo začeli načrtovati natančnejše meritve njegovih lastnosti. V ta namen smo si morali priskrbeti nekaj novih laboratorijskih pripomočkov za delo. Ti so bili pH meter, tehtnica na dve decimalki natančnosti, pipeta, areometer, lij za sedimentacijo, kapilara, injekcijska brizgalka, štoparica, digitalni termometer, termometer do 200 °C in izparilnica. S pomočjo teh pripomočkov smo si izdelali natančnejše naprave za izvajanje meritev lastnosti biodizla. Z meritvami smo določali naslednje lastnosti:

- gostoto biodizla na dva načina (z določanjem mase, volumna in izračunom gostote ter z areometrom);
- pH biodizla s pH metrom;
- viskoznost – z ugotavljanjem hitrosti pretoka skozi tanko kapilaro;
- temperaturo vnetišča (s segrevanjem biodizla in merjenjem temperature vnetišča z digitalnim in alkoholnim termometrom).

a) Meritve gostote biodizla

Gostoto smo izmerili na dva načina. Po prvem načinu smo s pomočjo pipete izmerili volumen 10 ml biodizla. Izmerjeni volumen smo stehali na tehtnici z dvema decimalkama. Masa 10 ml sončničnega olja je bila 8,56 g. Podatke smo vstavili v enačbo za gostoto, po kateri smo izračunali, da znaša 0,856 g/ml.

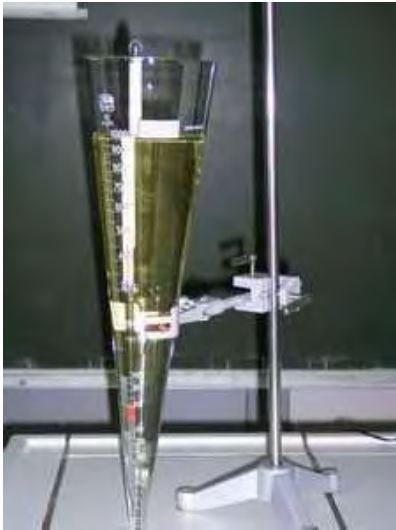
V (volumen biodizla) = 10 ml

M (masa biodizla) = 8,56 g

$$\text{Enačba za gostoto: } \rho = \frac{m}{V} = \frac{8,56\text{g}}{10\text{ml}} = 0,856\text{g/ml}$$

Za pridobitev še bolj točnih rezultatov o gostoti biodizla smo si pomagali z napravo za merjenje gostote kapljev in areometrom. 1000-mililitrski lij za sedimentacijo smo vpeli v stojalo, vanj natočili biodizel in previdno potopili areometer. Na njegovi skali smo odčitali gostoto tekočine. Rezultat prve decimalke se je ujema z rezultatom prvega postopka merjenja gostote, na drugi

decimalki pa je bila razlika. Z areometrom zmerjena gostota je znašala 0,89 g/ml.



Slika 11: Merjenje gostote biodizla z areometrom

b) pH meritve

Kislost oz. bazičnost biodizla smo najprej merili z univerzalnimi pH lističi. Rezultat je pokazal bazično snov, s pH okoli 10. Za pridobitev nekoliko natančnejših meritev smo uporabili napravo pH meter. Vpeli smo ga v stojalo in spodnji del potopili v biodizel. Počakati smo morali vsaj 5 minut, da se je pH ustavil na določeni vrednosti. Biodizel, pridobljen iz sončničnega olja, je imel pH vrednost 9,65. Po svojih ocenah se nam je zdel zelo bazičen, zato smo začeli razmišljati o postopkih čiščenja, predvsem z namenom zniževanja pH vrednosti.



Slika 12: Merjenje pH vrednosti

c) Viskoznost biodizla

Glavni namen predelave olja v biodizel je znižanje njegove viskoznosti. Viskoznost tekočine lahko izmerimo na več načinov. Ocenimo jo lahko s

pretakanjem tekočine. Manj viskozno tekočino lažje pretakamo in lepše teče. Vendar je to le groba ocena.

Meritve viskoznosti smo izvedli tako, da smo v stojalo vpeli 30 cm dolgo kapilaro. Na njej smo označili start in cilj v oddaljenosti 25 cm. Merili smo čas, ki ga potrebuje gladina biodizla v kapilari od starta do cilja. Sklepali smo, da bo čas, ki ga za to potrebujejo manj viskozne tekočine, krajši kot čas, ki ga potrebujejo bolj viskozne tekočine. Iz dobljenega podatka lahko izračunamo hitrost pretakanja tekočine v kapilari ali pa pretok. Odločili smo se, da bo za primerjavo viskoznosti biodizla iz različnih olj zadostoval izračun hitrosti pretoka. Zaradi natančnosti smo meritve časa večkrat ponovili in nato izračunali povprečen čas. S pomočjo injekcijske brizgalke smo potegnili biodizel v kapilaro in nato s štoparico določili čas. Pred tem smo kapilaro dvignili iz tekočine v čaši. Pokazalo se je, da smo dobili različne podatke glede na to, ali je bila kapilara v stiku s tekočino v čaši, ali pa je bila dvignjena. Čas je bil krajši, če je biodizel kapljal iz kapilare. Povprečen čas, ki ga je v tem primeru potreboval biodizel, pridobljen iz sončničnega olja, je znašal 13,2 sekundi. Če kapilare nismo dvignili in je biodizel iztekal v tekočino, je bil povprečni čas daljši in je znašal 16,16 sekunde (za biodizel, pridobljen iz sončničnega olja). Iz izračunane hitrosti je razvidno, da je biodizel hitreje iztekal iz dvignjene cevke. Zato smo pri vseh meritvah viskoznosti imeli dvignjeno kapilaro.



Slika 13: Merjenje viskoznosti.

Tabela 2: Hitrost padanja gladine biodizla v kapilari.

	Kapilara je pri iztekanju potopljena v biodizel	Kapilara je dvignjena iz tekočine (biodizla)
t_1 (čas 1)	16,1 s	13,2 s
t_2 (čas 2)	16,4 s	13,3 s
t_3 (čas 3)	16,0 s	13,1 s
$t_{povprečov}$ (povprečni čas)	16,16 s	13,2 s
s (višina stolpca)	250 mm	250 mm
v (hitrost padanja gladine)	15,4 mm/s	18,9 mm/s

d) Temperatura vnetišča

Pri predhodnih poskusih smo lahko opazili, da biodizel gori z rumenim plamenom. Poskušali smo izmeriti tudi njegovo vnetišče. Pokazalo se je, da je višje od $100\text{ }^{\circ}\text{C}$. Z alkoholnimi termometri s skalo od $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $+110\text{ }^{\circ}\text{C}$, ki jih imamo za šolske poskuse, nismo mogli določiti temperature vnetišča. Priskrbeli smo si digitalni termometer s skalo do $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ in alkoholni termometer s skalo do $200\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Meritev smo opravili tako, da smo na trinožno stojalo položili keramično ploščico, nanjo pa keramično izparilnico. Vanjo smo nalili 5 ml biodizla. Vzorec smo postopno segrevali. Pri meritvah smo si razdelili vloge. Eden od trojice je meril temperaturo z alkoholnim termometrom, drugi z digitalnim, tretji pa si je prizadeval z leseno palčko prižgati biodizel. Merilca temperature sta morala paziti, da se s tipali termometrov nista dotikala stene izparilnice. Le takrat smo dobili na obeh termometrih približno enako temperaturo vnetišča. Alkoholni termometer se je na spremembe temperature odzival hitreje. Meritev smo izvedli večkrat. Temperatura vnetišča biodizla iz sončničnega olja je znašala $130\text{ }^{\circ}\text{C}$. Takoj ob vžigu biodizla smo odstranili vir toplote. Opazovali smo še barvo plamena in vonj goreče snovi, nato pa s keramično ploščico prekinili dostop zraka do goriva in ugasnili plamen. Ker smo poskuse večkrat ponavljali, smo dodobra zakadili kemijsko učilnico. Kljub temu so bili vrstniki strpni do naših raziskovalnih prizadevanj.



Slika 14: Merjenje temperature vnetišča

Vsi dosedanja poskusi so bili namenjeni preizkušanju opreme, spoznavanju postopka in učenju. Ob njih so se nam pojavljala mnoga vprašanja in se odpirali nekateri problemi. Na vsa vprašanja in nejasnosti smo dobili odgovore na ekskurziji v Jablje, kjer ima svoje laboratorije Oddelek za kmetijsko tehniko. V razgovoru z gospodom Tonetom Godešo smo razrešili še zadnje nejasnosti, ki so se nanašale na postopek. Dobili smo nasvet, kako znižati pH biodizla, odgovor na dilemo, ali pravilno določamo temperaturo vnetišča in koliko bi naj

znašala, spoznali pa smo tudi, katere fizikalne in kemijske lastnosti biodizla se analizirajo, preden gre gorivo v prodajo.

Hkrati smo dobili odgovor na prvo hipotezo, ki smo jo postavili v raziskovalni nalogi. Biodizel torej lahko z ustreznim znanjem in opremljenostjo izdelamo tudi v kemijski učilnici.

2.6 PRIDOBIVANJE BIODIZLA IZ RAZLIČNIH VRST OLJA

V mesecu decembru in januarju je sledilo pridobivanje biodizla iz različnih vrst olja. Lahko bi ga poskusili pridobiti tudi iz svinjske masti, vendar se za postopek nismo odločili, ker jo je težko dobiti. Bolj dostopna so se nam zdela olja. Preprosto smo odšli v trgovino z živili in iz prodajnih polic vzeli vse vrste olja, ki so bile na razpolago. Pri tem je imela pomembno vlogo tudi cena, zato bučnega in olivnega olja nismo vključili v naše poskuse. Primerna so se nam zdela sojino olje, olje oljne ogrščice in sončnično olje, ki smo ga za pridobivanje biodizla uporabili še enkrat, saj je šlo v prvem primeru za poskusno pridobivanje. Biodizel pa smo kar dvakrat pripravljali iz uporabljenega jedilnega olja iz friteze. Marsikdo bi vprašal, zakaj nismo v pridobivanje tega obnovljivega vira energije vključili še drugih olj in masti. Vzrok je v omejenosti časa. Biodizel smo namreč kuhali vsak ponedeljek pred poukom. Ločevanje plasti glicerola in biodizla je trajalo en dan. Ob torkih smo fazi ločili med seboj, v enem od preostalih dni pa smo opravljali meritve njegovih lastnosti. Ponedeljkov v dveh mesecih pa ni ravno veliko. Kadar ni šlo vse po načrtih, smo večdnevni postopek tudi ponovili. Postopek smo vedno izvajali na enak način, ki je v nalogi že opisan pri pridobivanju biodizla iz sončničnega olja.

Malo drugače so se nam stvari razvijale pri pridobivanju biodizla iz uporabljenega rastlinskega olja iz friteze. Pridobivali smo ga dvakrat. Pri ponovljenem postopku smo odpravljali napake, storjene v prvem postopku.

Če pripravljamo biodizel iz svežega olja, moramo na en liter olja dodati 3,5 g natrijevega hidroksida (http://journeytoforever.org/biodiesel_mike.html). Kadar pa pripravljamo gorivo iz uporabljenega rastlinskega olja, moramo s titracijo določiti količino dodane baze. Pred titracijo si pripravimo raztopino 1 grama suhega natrijevega hidroksida v 1 litru vode. Količino raztopine lahko ob predpisani koncentraciji tudi zmanjšamo. Za naše potrebe smo pripravili 100 ml destilirane vode, v kateri smo raztopili 0,1 gram baze. Raztopino smo nalili v bireto. Pred tem moramo biti prepričani, da se je ves natrijev hidroksid raztopil v vodi. Raztopino lahko prihranimo za nove titracije. V 100-mililitrski čaši smo si pripravili 10 ml propan-2-ola, v katerem smo raztopili 1 ml vzorca uporabljenega rastlinskega olja. Pri merjenju volumna vzorca moramo biti zelo natančni. Vzorcju smo dodali 2 kapljici raztopine fenolftaleina. Nato smo po kapljicah spuščali bazično vodno raztopino v vzorec in ga rahlo mešali. Dodajanje baze smo ustavili, ko se je pojavilo rožnato obarvanje v vzorcju in ostalo rožnato 10 sekund. Titracijo je dobro večkrat ponoviti, saj so tako dobljeni rezultati bolj točni.

Sledil je izračun potrebne mase natrijevega hidroksida za uporabljeno rastlinsko olje. Če smo za titracijo uporabili 2,4 ml raztopine natrijevega hidroksida, podatek ustreza 2,4 grame natrijevega hidroksida za cel liter olja. Dobljeni masi je treba prišteti še maso natrijevega hidroksida, ki ga je potrebno dodati enemu litru svežega rastlinskega olja. Ta znaša 3,5 grama. Iz tega je sledilo, da za predelavo 1 litra uporabljenega rastlinskega olja potrebujemo 5,4 grame natrijevega hidroksida. Iz česar sledi, da smo za pripravo natrijevega metoksida za en liter uporabljenega rastlinskega olja uporabili 15 ml metanola in 5,4 grame natrijevega hidroksida.

Kako smo biodizel iz uporabljenega olja kuhali prvič? Iz domače friteze smo uporabljeno olje prelili v suho plastenko in ga prinesli v šolo. V šoli smo olje precedili skozi laneno krpo in odstranili večino trdnih delcev. Odmerili smo en liter olja in ga prelili v emajlirani lonec, v katerem smo kuhali biodizel. Segreli smo ga na ustrezno temperaturo in dodali pripravljeni natrijev metoksid. Ob stalnem mešanju smo nadzorovali temperaturo, ki se je gibala od 50 °C do 60 °C. Po eni uri kuhanja smo mešanico prelili v lij ločnik. V liju ločniku so se produkti reakcije ločevali v plasti. Prihodnje jutro, ko smo nameravali ločiti plasti, nas je čakalo presenečenje. V liju ločniku so se nabrale tri plasti. Spodnje je bila rjavkasto obarvana trdna snov, ki je bila najverjetneje milo. V sredini se je razporedil medeno rjav glicerol. Zgornja faza je bil značilen rumenkasti biodizel.



Slika 15: Ločevanje biodizla iz odpadlega rastlinskega olja

Toda pozor, biodizla je nastalo veliko manj kot sicer. Glicerol z milom in biodizel sta bila v razmerju 1:2. Tako malo biodizla še nismo pridobili. Spraševali smo se, kje smo naredili napako. Ob ponovnem pregledu literature smo ugotovili, da je zelo pomembno, da je olje za pridobivanje biodizla brez vode. Ko smo biodizel pridobivali iz svežih jedilnih olj, namreč ni bilo potrebno paziti na sušenje olja, saj ta olja ne vsebujejo vode. Pri uporabljenem rastlinskem olju pa je drugače. Ob pečenju hrane pride v olje tudi voda. Res je ni videti, pa vendar zaradi njene prisotnosti steče postopek v čisto napačno smer.

Predpostavljali smo, da je bila napaka pri prvem pridobivanju biodizla iz uporabljenega rastlinskega olja prisotnost vode v njem. V drugem poizkusu pridobivanja smo s tem namenom uporabljeno rastlinsko olje najprej segreli nad 100 °C. Postopek smo večkrat ponovili. Pričakovali smo, da se bo vsebnost vode zaradi izhlapevanja zmanjšala. Vse ostalo smo naredili kot pri prvem postopku. To pomeni, da smo ob mešanju dodali natrijev metoksid in zmes

kuhali okoli ene ure. Še toplo tekočino smo prelili v lij ločnik in jo pustili ločevati v plasti 24 ur. Veseli smo prihodnje jutro ugotovili, da sta nastali le dve plasti. Spodnja je bila kot običajno glicerolna plast, zgornja pa biodizel. Tudi razmerje produktov je bilo ugodno. Iz enega litra uporabljenega rastlinskega olja je nastalo 81 ml glicerola in 995 ml biodizla. Opazili smo, da je barva biodizla nekoliko temnejša, kot če bi kot izhodno snov uporabili sveže jedilno olje.

Primerjali smo tudi volumne pridobljenega biodizla iz različnih vrst olja. Pri vsakem pridobivanju smo uporabili natančno en liter olja, v katerega smo dodali 150 ml metanola in ustrezno maso natrijevega hidroksida (katalizator). Žal smo bili pri pretakanju pridobljenega biodizla v lij ločnik precej nespretni in je dvakrat prišlo do razlitja. S tem smo izgubili pomemben podatek glede primerjave volumnov pridobljenega biogoriva. Nekaj rezultatov pa nam je vendarle uspelo uspešno pridobiti in jih navajamo v preglednici.

Tabela 3: Primerjava volumnov pridobljenega biodizla iz različnih vrst olja.

Vrste olja:	uporabljeno jedilno olje	sončnično olje	olje oljne ogrščice	sojino olje
Volumen pridobljenega biodizla:	995 ml	1062ml	1054 ml	1027 ml

Tabela s podatki o volumnu pridobljenega biodizla nakazuje, da nastane iz odpadnega rastlinskega olja približno pol decilitra manj biodizla kot iz svežih rastlinskih olj. Iz teh podatkov torej sledi, da lahko potrdimo tretjo hipotezo, v kateri smo to tudi predvidevali. Poleg tega moramo pri postopku pridobivanja biodizla iz uporabljenih rastlinskih olj vložiti več naporov v pripravo in čiščenje olja. Temeljito ga moramo precediti, saj vsebuje veliko trdnih delcev. Največ pozornosti moramo posvetiti sušenju in odstranjevanju vode. V postopku pridobivanja smo dobili neposredno izkušnjo, kaj se zgodi, če na prisotnost vode v olju nismo pozorni. S tega vidika je bila pravilna tudi četrta hipoteza, v kateri smo predvidevali več težav pri pridobivanju biodizla iz odpadnih olj kot iz neuporabljenih olj.



Slika 16: Biodizel iz različnih vrst olja

2.7 PRIMERJAVA LASTNOSTI BIODIZLA IZ RAZLIČNIH VRST OLJA

Biodizel je lahko gorivo prihodnosti, ko bo pričelo zmanjkovati neobnovljivih virov energije. Zanimalo nas je, v katerih lastnostih se biodizel razlikuje od dizelskega goriva iz nafte. Prav tako bi bilo zanimivo ugotoviti, katera vrsta olja daje biodizel z najbolj sorodnimi lastnostmi dizelskemu gorivu. V ta namen smo raziskali lastnosti običajnega dizelskega goriva in jih kasneje v tabeli primerjali z biodizlom.

Dizelsko gorivo smo dobili na bližnji kmetiji, kjer ga uporabljajo za pogonsko sredstvo traktorjev. Hranijo ga v kovinskih sodih in ga po potrebi tankajo v delovne stroje. Meritve so pokazale, da znaša pH tega dizelskega goriva 4,87. Gostoto smo dobili na dva načina. Pri prvem načinu smo stehali volumen 25 ml dizla in iz dobljene mase izračunali gostoto. Znašala je 0,824 g/ml. Z areometrom smo izmerili vrednost gostote 0,84 g/ml. Viskoznost dizelskega goriva je zelo nizka. Gladina tega goriva se je za 25 centimetrov spustila v povprečju v 7,53 sekunde. Povprečna hitrost spusta je znašala 33,2 mm/s. Vnetišče dizelskega goriva je bilo pri 115 °C, kar je precej nižje kot pri biodizlu.

V naslednji tabeli je zbirka rezultatov meritev nekaterih lastnosti za različne vrste biodizla v primerjavi z dizlom iz nafte.

Tabela 4: Primerjava različnih vrst biodizla z dizlom iz nafte.

Vrste goriva/ Lastnosti	DIZEL	BIODIZEL WVO 1	BIODIZEL WVO 2	BIODIZEL IZ SOJE	BIODIZEL IZ SONČNIC	BIODIZEL IZ OLJNE OGRŠČICE 1	BIODIZEL IZ OLJNE OGRŠČICE 2
Barva goriva	zeleno rumen	temno rumen	temno rumen	svetlo rumen	svetlo rumen	svetlo rumen	svetlo rumen
pH vrednost	3,8	9,9	10,48	9,9	9,65	9,5	9,5
Gostota iz mase in volumna	0,82 g/ml	0,86 g/ml	0,86 g/ml	0,87 g/ml	0,87 g/ml	0,87 g/ml	0,86 g/ml
Gostota s pomočjo areometra	0,84 g/ml	0,89 g/ml	0,88 g/ml	0,89 g/ml	0,88 g/ml	0,89 g/ml	0,89 g/ml
Viskoznost – čas	7,53 s	13,93 s	10,77 s	15,20 s	12,82 s	14,77 s	15,04 s
Viskoznost – hitrost	33,2 mm/s	17,9 mm/s	23,2 mm/s	16,4 mm/s	19,5 mm/s	16,9 mm/s	16,6 mm/s
Temperatura vnetišča	115 °C	146 °C	157 °C	195 °C	142 °C	145 °C	140 °C

Legenda izrazov v tabeli 3:

WVO – waste vegetable oil (odpadno rastlinsko olje)

WVO 1 – olje, pridobljeno v 1. postopku

WVO 2 – olje, pridobljeno v 2. postopku

OLJNA OGRŠČICA 1 – olje, pridobljeno v 1. postopku

OLJNA OGRŠČICA 2 – olje, pridobljeno v 2. postopku

VISKOZNOST – čas: povprečna vrednost treh meritev časa, v katerem gladina goriva v kapilari pade za 25 cm

VISKOZNOST – hitrost: hitrost pretoka tekočine v kapilari, izračunana kot količnik med potjo in časom (pot – 250 mm)



Slika 17: Barva plamena dizelskega goriva



Slika 18: Barva plamena biodizelskega goriva

Pričakovali smo, da je pH goriv nevtralen. Meritve so pokazale, da ima dizel kisel pH, biodizel pa močno alkalnega, kar je za dizelski motor verjetno preveč agresivno in razžira kovinske dele. Zaradi tega smo vedeli, da bomo morali pridobljeni biodizel očistiti, predvsem znižati pH. Gostota dizla in biodizla se ne razlikuje veliko, čeprav je očitno, da ima dizel še vedno manjšo gostoto. Velike razlike se pojavljajo v viskoznosti. Dizel ima manjšo viskoznost od biodizla. Glede na opravljene meritve se tudi različne vrste biodizla razlikujejo po viskoznosti. Na to lastnost verjetno vpliva postopek pridobivanja, zagotovo pa tudi vrsta olja, iz katerega smo pridobivali biodizel. Zanimivo se nam je zdelo, da je po naših meritvah biodizel z najmanjšo viskoznostjo pridobljen iz odpadnega rastlinskega olja. Za izbor najustrežnejšega olja za pridobivanje biodizla, bi morali opraviti še vrsto ponovitev pridobivanja in meritev lastnosti. Zaželeno je, da je vnetišče dizelskega goriva nad $101\text{ }^{\circ}\text{C}$ Temu ustreza tako vnetišče dizla kot tudi vnetišča pridobljenih biodizlov. Meritve so pokazale, da ima biodizel v povprečju za $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ višje vnetišče kot dizelsko gorivo. Zelo visoko

vnetišče je imel biodizel, pridobljen iz sojinega olja. Ostale vrste biodizla so imele podobno temperaturo vnetišča, ki se je gibala v mejah od 140 °C do 160 °C.

Pri brskanju po spletnih straneh smo večkrat naleteli na podatek, da posamezniki v dizelskem motorju kurijo kar filtrirano odpadno olje. Ne vemo sicer, kako takšno gorivo vpliva na strojne dele dizelskega motorja, lahko pa se vprašamo, v katerih lastnostih se biodizel razlikuje od lastnosti rastlinskega olja. Zato smo kakor pri biodizlu izmerili nekatere lastnosti nepredelanega olja. Primerjavo smo prikazali v tabeli.

Tabela 5: Primerjava lastnosti nepredelanega olja in biodizla

Lastnosti:	nepredelano olje	biodizel
pH vrednost	4,5	10
Viskoznost – čas, v katerem se v kapilari spusti gladina tekočine za 25 cm	t = 117 s	povprečno t = 16 s
Viskoznost – hitrost potovanja tekočine po cevki	v = 2,1 mm/s	povprečno v = 15,6 mm/s
Temperatura vnetišča	nad 250 °C	Od 140°C do 160 °C
Gostota	0,93 g/ml	povprečno 0,89 g/ml

Nepredelano jedilno olje ima rahlo kisel pH, saj so v njem tudi proste višje maščobne kisline. Neočiščeni biodizel je zelo bazičen. Izredno velika razlika je v viskoznosti olja in biodizla. Olje se je skozi kapilaro zelo počasi pretakalo, hitrost pretakanja je bila 2,1 mm/s. V tem pogledu se biodizlu zelo spremenijo lastnosti, in sicer na boljše. Njegova viskoznost je okoli sedemkrat manjša od olja. Hitrost pretoka je kar velika in znaša v povprečju 16,5 mm/s. Temperatura vnetišča rastlinskega olja je bila nad 250 °C. Natančno je nismo mogli izmeriti, saj je skala na termometru obsegala vrednosti le do 250 °C. Kot je razvidno iz tabele, se nekoliko razlikujeta tudi gostota biodizla in nepredelanega olja. Gostota olja je malce višja kot gostota biodizla. V tehničnem smislu se s predelavo olja v biodizel gorivu izboljšajo lastnosti, predvsem se zmanjšajo viskoznost, gostota in temperatura vnetišča. Te lastnosti goriva so pomembne za pravilen dotok goriva v dizelski motor in nemoteno izgorevanje. V tem smislu ima običajno dizelsko gorivo še nekoliko več prednosti kot biodizel, saj je še manj viskozno, prav tako pa ima tudi nekoliko manjšo gostoto. S temi ugotovitvami lahko potrdimo tudi drugo hipotezo, v kateri smo predvidevali, da manjše razlike v lastnostih biodizla in dizelskega goriva verjetno so, zelo pa se po lastnostih razlikuje nepredelano olje. Zaradi tega se verjetno vlaga toliko naporov v predelavo olja v biodizel, saj bi sicer kot gorivo lahko uporabljali kar rastlinsko olje.

2.8 ČIŠČENJE BIODIZLA

Najbolj moteča lastnost v šoli pridobljenega biodizla je bil njegov visok pH. Kot kažejo meritve, je znašal okoli 10, kar pomeni veliko bazičnost snovi. Kako rešiti problem? Odgovor je v nevtralizaciji in spiranju z vodo.

Od vsakega vzorca pridobljenega biodizla smo odlili 2 decilitra v temne stekleničke z namenom ponovnih meritev lastnosti. Stekleničke smo označili z imeni olj, iz katerih je bil pridobljen biodizel. Preostalo gorivo smo združili v velikem loncu in mu dodali citronsko kislino. Prvič smo delali na pamet in dodali na pet litrov biodizla 15 malih žličk citronske kisline. Sklepali smo, da bo citronska kislina nevtralizirala natrijev hidroksid. Ker so citronska kislina, natrijev hidroksid in nastala sol med natrijevim hidroksidom in citronsko kislino ionske spojine, smo sklepali, da se bodo dobro topile v vodi. Zato smo pričakovali, da se bodo iz biodizla sprale z vodo. Mešanici smo zato dodali en liter destilirane vode in jo močno mešali z mešalnikom. Mešanje je trajalo vsaj pol ure in je bilo zelo intenzivno. Presenečeni smo opazili nastanek bele emulzije, biodizel pa je postal moten.



Slika 19: Nastanek emulzije pri čiščenju biodizla

Po nasvetu gospoda Toneta Godeša smo nadaljevali s postopkom trikratnega spiranja in ločevanja. To pomeni, da smo mešanico biodizla in vode nalili v lije ločnike, pri čemer je biodizel splaval na površino, voda pa je bila na dnu. Po enodnevnem usedanju in ločevanju smo tekočini med sabo ločili. Vodno emulzijo smo zavrgli, biodizel pa ulovili in ga ponovno spirali z vodo. V drugem delu čiščenja je voda vsebovala manj emulzije, biodizel pa je bil še vedno moten. S pomočjo lijev ločnikov smo nadaljevali z ločevanjem vodne in biodizelske faze. Ponovno prestreženi biodizel smo še zadnjič spirali z vodo in ločevali v liju ločniku. Tako očiščeni biodizel je bil žal še vedno moten.



Slika 20: Čiščenje v liju ločniku

Sklepali smo, da je motnost posledica prisotnosti vode v njem. Zaradi tega smo načrtovali še zadnjo fazo čiščenja z silikagelom, sredstvom, ki veže vodo. Silikagel smo namestili v 250-mililitrski lij ločnik in preko kristalčkov počasi zivali biodizel. S tem smo ga očistili vode, zato je ponovno postal bister. Ali so se mu pri čiščenju lastnosti kaj spremenile? Na to vprašanje smo dobili odgovor s ponovnimi meritvami nekaterih njegovih lastnosti.



Slika 21: Čiščenje biodizla s silikagelom

Najbolj nas je zanimalo, če smo s postopkom čiščenja biodizlu znižali pH. Meritev je pokazala, da znaša pH očiščenega biodizla 5,08. Sedaj smo bili ponovno zaskrbljeni, kajti pričakovali smo nevtralen pH. Ostale lastnosti

biodizla se niso spremenile. Gostota je ostala 0,88 g/ml, viskoznost je ostala nespremenjena. Temperatura vnetišča se je nekoliko povišala in je znašala 190 °C. Razmišljali smo o vzrokih povišanja temperature vnetišča, ki bi lahko bila dva. Iz biodizla smo z vodo sprali višek metanola, ki je pri neočiščenem biodizlu zniževal temperaturo vnetišča. Drugi razlog pa bi lahko bila prisotnost vode v sledovih v biodizlu. Ta je v gorivu zelo nezaželena.

Glavni namen postopka čiščenja je bil v znižanju pH vrednosti, s čimer bi dosegli nevtralnost goriva. Pokazalo pa se je, da ima gorivo po čiščenju kisel pH. Spet nismo bili zadovoljni. Natančno vemo, da kisline povzročajo korozijo kovinskih delov motorja. Verjetno nismo dovolj učinkovito sprali viška dodane citronske kisline. Kot kemiki vemo, da si lahko pomagamo, vendar moramo pristopiti k nevtralizaciji bolj načrtno.

Zamislili smo si predhodno titracijo vzorca sveže pridobljenega biodizla z 10 % raztopino citronske kisline. Tako bi malo bolj natančno določili potrebno količino dodane citronske kisline. Ta del postopka smo načrtovali le iz lastnega znanja in številnih predhodnih poskušanj, kako priti do ustreznega rezultata.



Slika 22: Titracija biodizla z 10-odstotno raztopino citronske kisline

V ta namen smo skuhalo svež biodizel iz neuporabljenega rastlinskega olja, pridobljenega iz različnih semen. Pripravili smo 10-odstotno raztopino citronske kisline, ki smo jo nalili v bireto. Iz skupne količine biodizla smo vzeli vzorec 10 ml, ki smo ga raztopili v propan-2-olu (izopropanolu). Izopropanol je topilo, v katerem se biodizel dobro raztaplja. Najprej smo mislili kot indikator za preskok barve uporabiti fenolftalein. Žal se po njegovem dodatku v vzorec barva sploh ni spremenila, česar si še danes ne znamo razložiti. Domnevamo, da je reagentu potekel rok trajanja. Poskusili smo z novim indikatorjem. Izbrali smo metiloranž, ki je v bazah rumen, v kislinah pa rdeč. Bil je boljše izbira, saj je vzorec obarval intenzivno rumeno. Težav pa še ni bilo konec. Kako ugotoviti kdaj bo po dodatku kisline vzorec nevtralen. V ta namen smo naredili več ponovitev titracij. Prvič smo v vzorec dodali 10,2 ml 10-odstotne raztopine citronske kisline. Prišlo je do očitnega barvnega preskoka. Z lakmusovim papirjem smo ugotovili, da je raztopina kislja, izmerjeni pH pa je znašal 3. Pripravili smo nov vzorec. Sklepali smo, da prvič nismo najbolje pazili na barvni preskok. V drugo smo v vzorec ob stalnem mešanju dodali 6,5 ml citronske kisline iste koncentracije. Kislina je bila

v vzorcu še vedno v presežku, pH pa je znašal 4. Tako smo postopoma novim vzorcem biodizla dodajali čedalje manjše volumne 10-odstotne raztopine citronske kisline, dokler ni izmerjena vrednost pH raztopine po titraciji znašala 7. To se je zgodilo, ko smo 10 ml biodizla dodali le 0,4 ml 10-odstotne raztopine citronske kisline. S pomočjo tega podatka smo izračunali, koliko mililitrov citronske kisline omenjene koncentracije moramo dodati preostalemu volumnu biodizla, da bo gorivo nevtralnno. Po titraciji nam je ostalo še 936 ml biodizla, ki smo mu glede na izračun dodali 37,4 ml 10-odstotne raztopine citronske kisline. V nevtraliziranem biodizlu se je takoj po dodatku kisline lakmusov papir obarval modro, pH vrednost pa je znašala malo nad 7,9. Zato smo pustili stati biodizel do naslednjega jutra, ko je nevtralizacija dokončno potekla.

Po dokončni nevtralizaciji je znašal pH 7,1. Sledil je znan postopek trikratnega spiranja z vodo in ločevanja tekočin z lijem ločnikom. Na koncu smo biodizel osušili še z silikagelom. Z novim proizvodom smo bili sedaj bolj zadovoljni, saj smo se zavedali, da ga moramo praktično preizkusiti še v dizelskem motorju.



Slika 23: Merjenje pH vrednosti po dodatku citronske kisline

2.9 PRAKTIČEN PREIZKUS IZGOREVANJA BIODIZLA V DIZELSKEM MOTORJU

Zadnji cilj našega raziskovanja je bilo najtežje izvesti. To je preizkusiti biodizel kot gorivo v pravem dizelskem motorju. Prvi problem je bil v tem, da smo pridobili le manjšo količino goriva. Tistega iz prvotnega postopka čiščenja si nismo upali uporabiti, saj se nam je zdelo, da ima prenizko pH vrednost, ker smo preslabo sprali citrnsko kislino. Bolje očiščenega biodizla pa smo imeli le slab liter.

Drugi problem je bil ta, da nismo vedeli, kako bi prišli do manjšega dizelskega motorja, kjer bi preizkusili svoje biogorivo. Edina možna rešitev se nam je zdela, da naprosimo enega od kmetov, če smemo preizkusiti svoje gorivo v njegovem traktorju. Za preizkus smo se dogovorili na kmetiji Gradišnik iz Šmarjete pri Celju, kjer imajo primeren delovni stroj. Težava je bila le v tem, da je traktor v rezervoarju imel dizelsko gorivo, ki ga lastniki niso želeli izčrpati. Nič zato, smo

si rekli, saj se to gorivo dobro meša z biodizelskim. Dodali smo ga v tank in se z mešanico odpeljali na poskusno vožnjo do bližnjega gozda. Tako lepo kot v Jabljah na Oddelku za kmetijsko tehniko iz izpušne cevi traktorja ni dišalo, peljali smo se pa vendarle.



Slika 24: Praktična uporaba pridobljenega biodizla



Slika 25: Biodizel je prestal preizkus.

3 ZAKLJUČEK

V sredo, 10. januarja 2007, je v dnevniku Večer izšel članek z naslovom Biodizel je sedanost in prihodnost. V njem lahko preberemo, da se bo v Evropi do leta 2020 kar 20 % transportnih goriv nadomestilo z alternativnimi. Vidno vlogo v tem procesu zavzema tudi biodizel. S tega vidika nas zelo veseli, da smo v svojem raziskovalnem delu z aktualno vsebino preučevali poti in stranpoti pridelave biodizla.

V laboratorijskem delu, ki je prevladovalo v raziskovalni nalogi, smo ugotovili, da rastlinskega olja ni težko spremeniti v biodizel. Postopek zahteva nekoliko znanja in spretnosti ter primerno opremo, ki jo lahko poiščemo v vsakem gospodinjstvu. Na večje probleme in številna vprašanja smo naleteli pri njegovem čiščenju. Dejstvo je namreč, da pri esterifikaciji pridobljen biodizel vsebuje precejšen delež nečistoč, ki bi kvarno vplivale na dizelski motor, če bi v njem izgoreval neočiščen. Te primesi so metanol, natrijev hidroksid in mila. Metanol znatno zniža vnetišče biodizla, natrijev hidroksid pa je jedka snov. Pri nevtralizaciji biodizla in večkratnem spiranju z vodo je nastajala bela gosta tekočina, ki je spominjala na milo. V njem je bilo emulgiranega precej biodizla, ki se je težko ločeval, zato so nastajale izgube. Zgodilo se nam je, da smo bili skoraj ob polovico volumna biodizla, ki smo ga izgubili pri spiranju nečistoč z vodo. Menili smo, da bi bil za nas idealen le takšen biodizel, ki bi imel nevtralen pH, ki pa ga je brez velikih izgub težko pridobiti. Zato morajo imeti dizelski motorji za uporabo potrebno odobritev proizvajalca, če se med plinsko olje meša 20 ali več odstotkov biodizla. Takšni motorji vsebujejo posebne premaze, ki jim nekoliko jedka goriva ne škodijo. Presenetljiva se nam je zdela ugotovitev, da ima celo dizelsko gorivo kisel pH. Ko smo ga izmerili s pH metrom in se je številčnica spustila krepko v kislino stran, smo mislili, da je pH meter pokvarjen. Imeli smo pač predstavilo, da morajo biti goriva nevtralna. Nadvse nas je presenetilo, da je celo jedilno olje rahlo kislo. Izvedeli smo, da je ta lastnost posledica prisotnosti prostih višjih maščobnih kislin v olju. Biodizelsko gorivo mora ustrezati številnim kriterijem in standardom kakovosti. Z mnogimi od njih se zaenkrat nismo ukvarjali, ker obstajajo za osnovnošolce nekatere omejitve v znanju. Takšne lastnosti so npr. cetansko število, obnašanje goriva pri nizkih temperaturah in nekatere kemijske analize (količina žvepla, vsebnost vode, skupne nečistoče in vsebnost estrov). Spremljali pa smo njegovo gostoto, ki mora znašati med 800 in 900 kg/m³, barvo, viskoznost in temperaturo vnetišča. Pri raziskovalnem delu smo sodelovali z nekaterimi izjemnimi ljudmi, ki jim je znanstveni duh, napredek človeštva in ohranjanje okolja glavni motiv za delo. Z izjemno prijaznostjo so nas na preprost in nam razumljiv način popeljali v svet alternativnih virov energije, ki jim bo v prihodnosti potrebno posvetiti vso pozornost.

Strokovnjaki so spoznali številne prednosti uporabe biodizla kot pogonskega sredstva. Med njimi so nam bile najbolj všeč naslednje:

- Biodizel ima pozitivno energetska bilanco.
- Ne povzroča učinka tople grede, saj nastaja iz rastlin, ki so porabnice ogljikovega dioksida in je tako ta plin v nekem zaprtem krogu – pri izgorevanju biodizla nastaja, pri fotosintezi oljaric se porablja.

- Emisije škodljivih plinov skozi izpušne cevi so majhne. V izpušnih plinih je 14 % manj nezgorelih ogljikovodikov, 9 % manj ogljikovega oksida, 8% manj saj in do 50 % manj aromatskih ogljikovodikov (benzen, toluen).
- Je lahko biološko razgradljiv, kar je prednost pri transportu surovine in morebitnem razlitju.
- Predstavlja gospodarsko in tehnološko alternativo za opuščene kmetijske površine.
- Uporaben je za že obstoječe izvedbe dizelskih motorjev.
- Je obnovljiv vir energije.

Kot vsako gorivo ima tudi slabosti, oziroma pomanjkljivosti. Ob njegovi uporabi so opazili nekoliko povečano sproščanje dušikovih oksidov. Če se bi v nekem okolju pretirano ogreli za proizvodnjo biodizla in si bi hoteli sami vzgojiti semena oljaric, obstaja možnost pojava monokultur, kar za biotsko raznovrstnost ni dobro. Nekatere kulture oljaric, kakor npr. oljna ogrščica, so zelo občutljive na raznovrstne škodljivce, zato obstaja bojazen o povečani rabi pesticidov zlasti zato, ker se tovrstne kulture ne vzgajajo za prehrano ljudi. Postopek pridobivanja biodizla sicer ni zahteven, vendar pa je za njegovo izdelavo potreben še alkohol, ki je že sam po sebi lahko biogorivo. Zapleteni in dolgotrajni so tudi njegovi postopki čiščenja. Veliko je stranskih produktov, kot npr. glicerol, ki so tako onesnaženi, da jih skoraj ni mogoče uporabiti v novih tehnoloških procesih. Trenutno je biodizel še zelo drag vir energije. Morda nas prav zaradi tega niti ne preseneča, da so v Nemčiji leta 2005 proizvedli 1669000 ton biodizla, v Sloveniji pa le 8000 ton (Večer, 10. 1. 2007). Ena od slabosti biodizla je tudi ta, da ima le kratek rok trajanja. Porabiti se mora približno v treh mesecih po izdelavi, saj je kvarljiv.

Sedaj, ko se svet utaplja v boju za sleherno kapljico črnega zlata, bi lahko postal biodizel zelo zanimiva alternativa. Veseli nas, da smo ga spoznali v praktičnem smislu od blizu in se seznanili z njegovimi prednostmi in pomanjkljivostmi. Morda bodo čez leta v naši okolici cvetela polja biodizla, kot na naslednji sliki.



Slika 26: Polje biodizla

LITERATURA

Sebastijan Zorenč.: Biodizel je sedanjost in prihodnost. Večer, sreda, 10. januar 2007.

Viktor Jejčič, Tomaž Poje, Tone Godeša. 2005: Biodizel (zloženska). Ljubljana: Mestna občina Ljubljana.

Viktor Jejčič, Tomaž Poje, Tone Godeša. 2006: Biodiesel – okolju prijazno gorivo iz rastlin (zloženska). Ljubljana: Mestna občina Ljubljana.

<http://www2.arnes.si/~sskrml12s/htm/biodiesel/biodiesel.htm> (februar 2007)

<http://www.ad-pecjak.si/Andrej/ecoslo.htm> (februar 2007)

<http://www.bf.uni-lj.si/gozdarstvo/oddelek/katedre/gte/katedra/predmeti/pridobivanje/biod.pdf> (februar 2007)

<http://sl.wikipedia.org/wiki/Biodizel> (februar 2007)

http://journeytoforever.org/biodiesel_mike.html (februar 2007)

<http://www.kis.si/pls/kis/!kis.web> (februar 2007)