Utjecaj korištenja mješavine sojinog ulja i dizelskog goriva na snagu i emisije ispušnih plinova traktorskog dizel motora

Špelić, Karlo

Master's thesis / Diplomski rad

2020

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Agriculture / Sveučilište u Zagrebu, Agronomski fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:204:010449

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-28**



Repository / Repozitorij:

Repository Faculty of Agriculture University of Zagreb







Sveučilište u Zagrebu
Agronomski fakultet
University of Zagreb
Faculty of Agriculture

UTJECAJ KORIŠTENJA MJEŠAVINE SOJINOG ULJA I DIZELSKOG GORIVA NA SNAGU I EMISIJE ISPUŠNIH PLINOVA TRAKTORSKOG DIZEL MOTORA

DIPLOMSKI RAD

Karlo Špelić

Zagreb, rujan, 2020.

Sveučilište u Zagrebu
Agronomski fakultet

University of Zagreb
Faculty of Agriculture

Diplomski studij:

Poljoprivredna tehnika – Mehanizacija

UTJECAJ KORIŠTENJA MJEŠAVINE SOJINOG ULJA I DIZELSKOG GORIVA NA SNAGU I EMISIJE ISPUŠNIH PLINOVA TRAKTORSKOG DIZEL MOTORA

DIPLOMSKI RAD

Karlo Špelić

Mentor:
doc. dr. sc. Igor Kovačev

Zagreb, rujan, 2020.

Sveučilište u Zagrebu
Agronomski fakultet

University of Zagreb
Faculty of Agriculture

IZJAVA STUDENTA

O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

Ja, **Karlo Špelić**, JMBAG 0178106376, rođen 13.08.1996. u Zagrebu, izjavljujem da sam samostalno izradio diplomski rad pod naslovom:

UTJECAJ KORIŠTENJA MJEŠAVINE SOJINOG ULJA I DIZELSKOG GORIVA NA SNAGU I EMISIJE ISPUŠNIH PLINOVA TRAKTORSKOG DIZEL MOTORA

Svojim potpisom jamčim:

- da sam jedini autor ovoga diplomskog rada;
- da su svi korišteni izvori literature, kako objavljeni tako i neobjavljeni, adekvatno citirani ili parafrazirani, te popisani u literaturi na kraju rada;
- da ovaj diplomski rad ne sadrži dijelove radova predanih na Agronomskom fakultetu ili drugim ustanovama visokog obrazovanja radi završetka sveučilišnog ili stručnog studija;
- da je elektronička verzija ovoga diplomskog rada identična tiskanoj koju je odobrio mentor;
- da sam upoznat s odredbama Etičkog kodeksa Sveučilišta u Zagrebu (Čl. 19).

U Zagrebu, dana _____ _____

Potpis studenta

Sveučilište u Zagrebu
Agronomski fakultet

University of Zagreb
Faculty of Agriculture

IZVJEŠĆE

O OCJENI I OBRANI DIPLOMSKOG RADA

Diplomski rad studenta **Karla Špelića**, JMBAG 0178106376, naslova

UTJECAJ KORIŠTENJA MJEŠAVINE SOJINOG ULJA I DIZELSKOG GORIVA NA SNAGU I EMISIJE ISPUŠNIH PLINOVA TRAKTORSKOG DIZEL MOTORA

obranjen je i ocijenjen ocjenom _____ , dana _____ .

Povjerenstvo:			potpisi:
1.	doc. dr. sc. Igor Kovačev	mentor	_____
2.	doc. dr. sc. Krešimir Čopec	član	_____
3.	prof. dr. sc. Stjepan Pliestić	član	_____

Zahvala

Meni…

…ali i svim osobama koje su kroz moje cjelokupno školovanje činile jedan dio mog života te na taj način sudjelovale u ostvarivanju ovog cilja. Veliko hvala roditeljima i bratu koji su me naučili jednoj riječi koja je potrebna kroz školovanje, a to je upornost. Mentoru i profesorima na prenesenom znanju s posebnom zahvalom Zlatku Koroncu koji je osim asistenta bio i prijatelj te svojim znanjem i iskustvom uvijek bio spreman na pomoć.

Sadržaj

1 Uvod 1
1.1 Cilj istraživanja 1
2 Pregled literature 2
2.1 Podrijetlo soje i njeno širenje u svijetu 2
2.2 Proizvodnja soje u Hrvatskoj 2
2.2.1 Prerada soje u Hrvatskoj 3
2.3 Tehnološki postupci dorade i prerade soje 3
2.4 Sojino ulje 5
2.5 Sojina sačma 6
2.6 Tehnološki postupci dorade ulja 7
2.6.1 Ostali postupci dorade 7
2.7 Utjecaj ispušnih plinova na okoliš i zdravlje ljudi 8
2.7.1 Ugljikov oksid (CO) 8
2.7.2 Ugljikov dioksid (CO_2) 8
2.7.3 Ugljikovodici (HC) 8
2.7.4 Dušikovi oksidi (NO_x) 8
2.8 Biljna ulja za pogon motora 9
2.8.1 Potpuna zamjena dizel goriva biljnim uljem 10
2.8.2 Upotreba mješavina biljnih ulja i dizel goriva 10
2.8.3 Upotreba sojinog ulja za pogon motora 10
3 Materijali i metode 12
3.1 Tehničke karakteristike motora 13
3.2 Emisije plinova 16
3.3 Potrošnja goriva 17
4 Rezultati istraživanja 18
4.1 Karakteristike motora 18
4.1.1 Snaga dizel motora 18
4.1.2 Okretni moment dizel motora 19
4.1.3 Satna potrošnja goriva 20
4.1.4 Specifična potrošnja goriva 21
4.2 Emisija štetnih plinova 22
4.2.1 Emisija CO 22
4.2.2 Emisija CO_2 23
4.2.3 Emisija NO_X 25

4.2.4 Emisija HC 26
5 Rasprava 28
6 Zaključak 30
7 Literatura 31
Životopis 33

Sažetak

Diplomskog rada studenta **Karla Špelića**, naslova

UTJECAJ KORIŠTENJA MJEŠAVINE SOJINOG ULJA I DIZELSKOG GORIVA NA SNAGU I EMISIJE ISPUŠNIH PLINOVA TRAKTORSKOG DIZEL MOTORA

Ovim radom obuhvaćeno je istraživanje mogućnosti korištenja sojinog ulja u dizel motorima kao pogonskog goriva, nastalog kao nusproizvod u tehnološkom procesu proizvodnje sojine sačme. Pri preradi sojine prekrupe, postupkom ekstrakcije dobiva se sojina sačma kao cilj proizvodnje, no također dobivaju se i ostali nusproizvodi, a jedan od njih je sojino ulje. Stoga, razvijena je ideja za korištenjem sojina ulja u 5%, 10% i 20% koncentraciji s dizel gorivom pri čemu ne bi smjelo doći do značajnih promjena performansi rada motora. Istraživanje je provedeno pomoću hidrauličke kočnice za ispitivanje tehničkih karakteristika rada traktora, a za potrebe istraživanja korišten je traktor marke Torpedo TD 7506 A.

Ključne riječi: sojino ulje, tehničke karakteristike motora, dizel gorivo

Summary

Of the master's thesis – student **Karlo Špelić,** entitled

EFFECT OF USING A MIXTURE OF SOYBEAN OIL AND DIESEL FUEL ON THE POWER AND EXHAUST EMISSIONS OF A TRACTOR DIESEL ENGINE

In this paper the research was made in relation with soybean oil usage in diesel engines as operating fuel which is byproduct in technological process of soybean meal. Groats production from soybean, passes process called extraction were soybean meal is final product, but we have also got other byproducts, as soybean oil. So, the main idea was to use soy oil in 5%, 10% and 20% concentration with diesel fuel where should not be significant changes in engine performance. The investigation was made on hydraulic brake for examination of engine performance. Tractor brand Torpedo TD 7506 A was used for this investigation.

Keywords: soybean oil, engine perfomance, diesel fuel

1 Uvod

Posljednjih godina na tržištu javlja se pojava pada otkupne cijene soje u vrijeme žetve što rezultira sve manjom dobiti te kulture. Stoga, javlja se ideja proizvesti krajnji proizvod, odnosno prerada sojinog zrna kako bi se dobio proizvod veće vrijednosti. Postoji velik izbor mogućnosti prerade soje u finalne proizvode i poluproizvode, a jedan od njih je i sojina sačma koja se proizvodi za potrebe stočarske proizvodnje. Sojina sačma postala je osnovni dodatak smjesama za hranidbu životinja i na taj način vrlo tražen proizvod na tržištu.

Proizvodnja genetski nemodificirane soje u Hrvatskoj predstavlja veliku prednost pošto većina sojine sačme na tržištu sadrži GMO (Genetski modificiran organizam), što predstavlja problem za proizvođače koji žele koristiti tzv. NONGMO sojinu sačmu kako bi na svojim proizvodima mogli staviti oznaku „bez GMO-a“. (Kuskunović, 2019.)

Proizvodnja sojine sačme obavlja se preradom soje prvenstveno u prekrupu koja zatim prolazi postupak ekstrakcije gdje je cilj dobiti sojinu sačmu bez sadržaja ulja. Nusproizvod prerade sojinog zrna, dobiveno ulje može se koristiti za razne namjene o čemu ovisi koji će biti daljnji postupci njegove prerade. (Mulalić, 1978.)

Za potrebe ispitivanja koristi se sojino ulje koje je prošlo proces degumiranja čime ovaj nusproizvod možemo koristiti kao dodatak dizelskom gorivu što je jedno od rješenja iskoristivosti dobivenog ulja.

Postavljena je hipoteza kako neće doći do signifikantnih promjena u radu motora, što se prvenstveno odnosi na performanse i karakteristike poput smanjena snage (kW), potrošnje goriva (l/h) i povećanja emisije štetnih plinova tijekom procesa izgaranja.

1.1 Cilj istraživanja

Cilj rada je utvrditi utjecaj umješavanja sirovog sojinog ulja u mineralno dizelsko gorivo na radne karakteristike dizelskog motora s unutarnjim izgaranjem u traktoru. Laboratorijskim ispitivanjem utvrditi će se utjecaj korištenja takve smjese goriva na nazivnu snagu motora i emisiju ispušnih plinova.

2 Pregled literature

2.1 Podrijetlo soje i njeno širenje u svijetu

Prvi zapisi koji se mogu povezati s postojanjem i uzgojem soje potiču još iz 2838. godine prije nove ere čime ova uljarica predstavlja jednu od najstarijih ratarskih kultura. No, tadašnja biljka bitno se razlikovala od sadašnje soje koju poznajemo. Smatra se da je današnja kulturna forma (*Glycine max*) nastala iz divlje soje, biljke puzavice koja je imala male listove i mahune.

Soja je prvotno unešena od strane botaničara u Europu iz Azije 1692., a u Ameriku još kasnije, 1804. godine, nakon čega se počinju stvarati kultivari koji nalikuju današnjem obliku soje. Na prostorima istočne Europe provođena su ispitivanja od Dubrovnika do Češke 1874. godine. Istraživanjima je utvrđeno da soja po jedinici površine daje najveće količine ulja i proteina zbog čega je pred početak prvog svjetskog rata započela njena trgovinska razmjena iz zemalja Azije, ali i početak intenzivnijeg uzgoja (Mulalić, 1978.).

2.2 Proizvodnja soje u Hrvatskoj

Prema podacima FAOSTAT-a Hrvatska je u vrlo kratkom periodu udvostručila svoje površine zasijane sojom. Prema podacima za 2014. godinu soja je bila zasijana na površini od 47.104 ha, da bi se već godinu dana kasnije ta proizvodnja povećala na 88.867 ha na što je prvenstveno velik utjecaj imala promjena tadašnjeg sustava izravnih plaćanja za soju u razdoblju od 2015. do 2020. pri čemu se soja ubrajala u ekološke usjeve (zbog fiksiranja dušika) i potpora je po jedinice površine (ha) bila je veća u usporedbi na ostale ratarske usjeve.

Istovremeno, u svijetu dolazi do povećanja potražnje GMO-free soje pri čemu Hrvatska uspijeva ostvariti suficit u izvozu soje, odnosna soja postaje jedna od uljarica koju Hrvatska više izvozi nego uvozi. Prema podacima iz 2017. godine izvezeno je 231.620 tona soje, dok je uvezeno samo 11.659 tona. No, tu se javlja drugi problem, a to je uvoz sojine sačme koja u većini slučajeva sadrži GMO. Drugim riječima Hrvatska izvozi visoko kvalitetnu i traženu GMO-free soju, a zatim uvozi prerađenu soju u obliku sojine sačme sa sadržajem GMO-a. Većina sojine sačme koja se uveze na Europsko tržište, a time i Hrvatsku dolazi iz Brazila i Argentine gdje je gotovo 100% proizvodnja GMO soje. Uvoz sojine sačme u 2017. godini iznosio je 185.056 tona što je manje samo za 46.564 tona u odnosu na izvezenu GMO-free soju (Kuskunović, 2019.).

Prema Mulaliću (1978.) sojino zrno sadrži 17 do 26% ulja, a u prosjeku preradom 100 kg soje može se dobiti 15 kg ulja i 80 kg sojine sačme. Ako na taj način razmotrimo odnos između količine soje koju izvozimo i sojine sačme koju uvozimo možemo zaključiti da soju koju izvezemo u potpunosti i uvezemo u prerađenom obliku (80% od 231.620 tone u obliku sojine sačme iznosi 185.296 tone).

2.2.1 Prerada soje u Hrvatskoj

S obzirom na prethodno navedene činjenice dalo bi se zaključiti kako Hrvatska nema dovoljne preradbene kapacitete soje, ali zapravo to nije slučaj. Naime Hrvatska ima dva proizvodna pogona u kojima je moguća prerada soje u sojinu sačmu. Jedan od njih je Sojara d.d. iz Zadra, a drugi je tvornica ulja Čepin d.o.o.

Sojara d.d. raspolaže postrojenjem koji omogućuje prerade 1000 tona sojinog zrna dnevno, odnosno gledano na bazi jedne godine ovaj pogon ima mogućnost preraditi 300.000 tona soje, što je više od trenutne hrvatske proizvodnje. Osim preradbenog pogona u sklopu postrojenja nalaze se i skladišni kapaciteti 35.000 m^3, ali i utovarno-istovarnog prostora koji može primiti i najveće teretne brodove (Romac i sur., 2012.).

Uljara Čepin d.o.o. preradom soje započinje se baviti 2018. godine s proizvodnim kapacitetom od 27.550 tona godišnje, odnosno oko 100 tona dnevnog kapaciteta prerade.

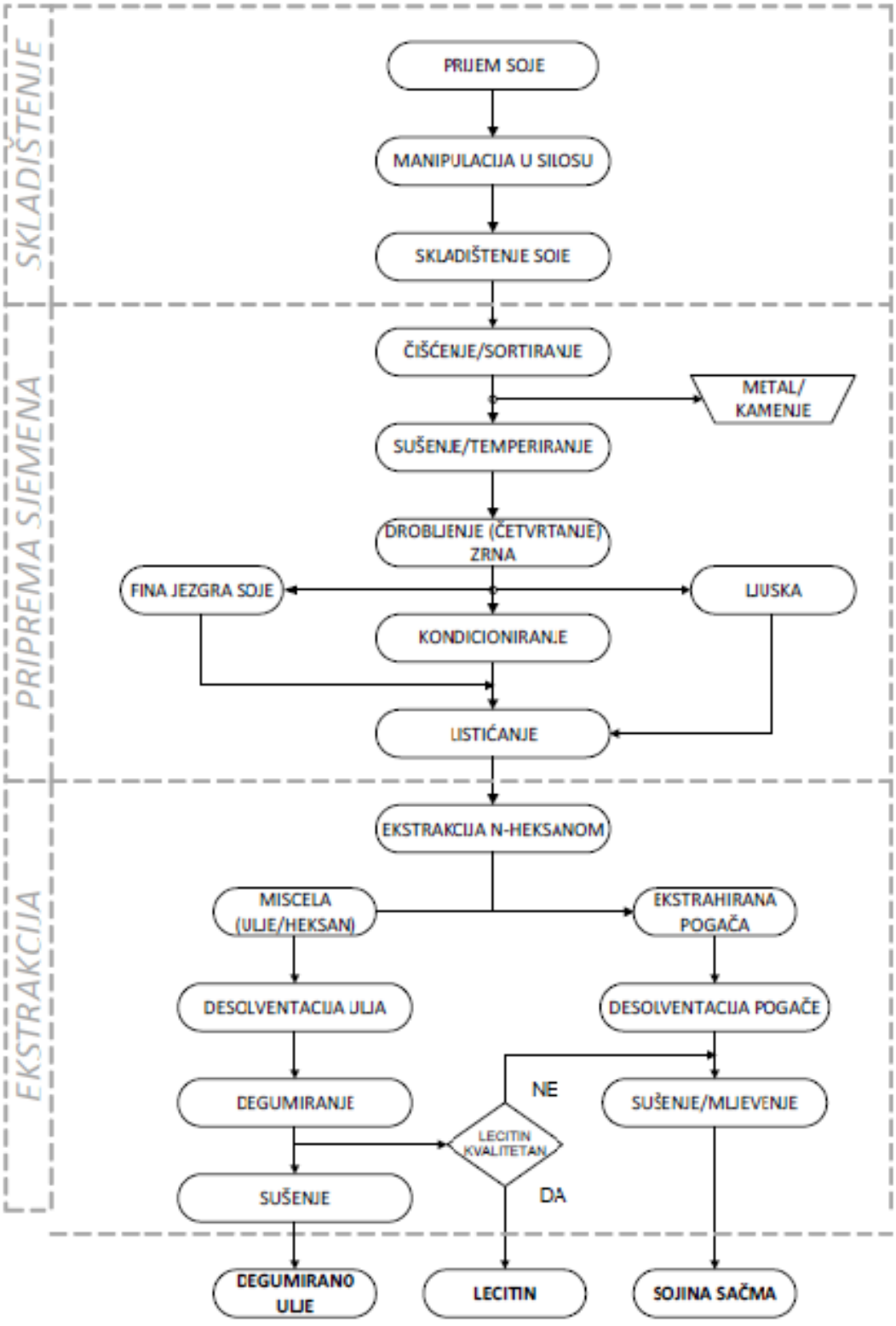
2.3 Tehnološki postupci dorade i prerade soje

Nakon žetve soje obavlja se njeno zaprimanje u preradbena postrojenja. Dolaskom na kolne vage obavlja se mjerenje mase pristigle robe, a uz to obavlja se i gruba analiza zaprimljene robe pri čemu se određuje vlaga zrna, hektolitarska masa, sadržaj primjesa i loma što određuje daljnji proces dorade. Ukoliko je potrebno provodi se sušenje soje koje za cilj ima odstraniti vlagu iz zrna kako bi soja došla na ravnotežnu vlagu za skladištenje (Katić, 1997.).

Tehnološki postupak prerade žitarica i soje nije jednak, prvenstveno iz razloga što se iz soje izdvajaju ulja, ali i proteini, što sa žitaricama nije slučaj, a pored toga potrebno je i ukloniti određene antinutritivne sastojke. Nakon zaprimanja soje provodi se njeno čišćenja od primjesa koje možemo podijeliti na anorganske i organske. **Anorganske** primjese čiste se pomoću magneta (metalne primjese) te pomoću zamki koje hvataju kamenje. **Organske** primjese poput ljuski, lomova zrna, neovršenih mahuna odvajaju se i melju u mlinovima čekićarima, a zatim se vraćaju u proces prerade. Nakon odrađenog čišćenja zrno odlazi na uređaj za **četvrtanje** koji zrno komada u 4 ili 6 dijelova (idealni uvjeti) s ciljem odvajanja ljuske koja se zatim putem aspiracije transportira u drugi proces proizvodnje. (Romac i sur., 2012.; Mulalić, 1978.)

Provedenim četvrtanjem dobivene su ujednačene jezgre koje se na sitima dijele na grube i fine. **Fine** jezgre odlaze u daljnji proces, listićanje, dok grube jezgre prvotno idu na kondicioniranje, a zatim listićanje. Procesom **kondicioniranja** postiže se plastičnost jezgre, odnosno povećava mu se vlažnost na 9,5-10,5% čime je omogućeno prešanje jezgre bez izazivanja daljnjih lomova. Grube kondicionirane jezgre zatim se ponovno vraćaju u proces **listićanja** zajedno s finim jezgrama, gdje se postiže povećanje kontaktne površine jezgre soje. Povećanje kontaktne površine provodi se prolaskom materijala kroz dva glatka valjka koja imaju međusobno suprotni smjer, s ciljem što manjeg zadržavanja materijala u procesu ekstrakcije, odnosno učinkovitijeg djelovanja otapala što će za posljedicu imati kraće zadržavanje materijala u procesu ekstrakcije. U određenim količinama organske primjese koje su odstranjenje u procesu čišćenja ulaze u proces listićanja. (Romac i sur., 2012.)

Ekstrakcija soje predstavlja podvrgavanje materijala određenom otapalu poput ekstrakcijskih benzina ili heksana koji se prema Romcu (2012.) upotrebljava u Sojari d.d. Listići soje na taj način prolaze kruto-tekući proces gdje se događa prijelaz ulja iz krutih listića u smjesu ulja i heksana, tzv. miscela, a drugi proizvod je ekstrahirana pogača.



Slika 1. Tehnološki proces prerade soje

Izvor: Romac i sur., (2012)

Ekstrakcija se provodi u **rotirajućem ekstraktoru** (slika 2.) koji se sastoji od rotora s 18 komora koje se postepeno pune listićima i zatvaraju. Zatvaranjem komora dolazi do strujanja otapala kroz komore, pri čemu se odvija difuzija ulja s otapalom dok ne dođe do izjednačavanja koncentracije ulja u misceli i listićima. Iz tog razloga provodi se višefazna ekstrakcija, odnosno strujanje nezasićenog otapala i listića koji su već difuzijom izgubili dio ulja sve dok se ne postigne maksimalna ekstrakcija ulja iz listića. Dobivena miscela sakuplja se na dnu, dio se transportira ponovno na vrh ekstraktora, a dio odlazi u daljnji proces prerade, dok listići koje ne sadrže ulje zbog rotiranja komora dolaze do koša za pražnjenje (Romac i sur., 2012.).



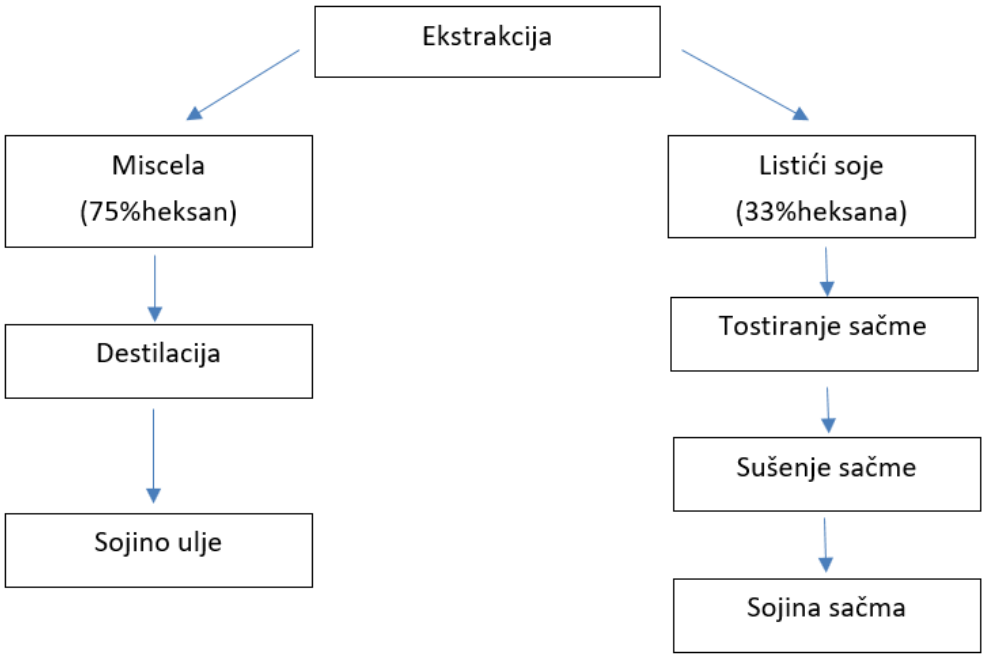
Slika 2. Rotirajući ekstraktor
Izvor: (www.abcmach.com)

2.4 Sojino ulje

Postupkom ekstrakcije soje (slika 3.) dobivamo dva poluproizvoda, ekstrahirane listiće i uljem bogat ekstrakt koji nazivamo miscela. Stoga, kako bi dobili krajnje proizvode potrebno je ukloniti otpalo iz oba poluproizvoda kako bi se mogao ponovno koristiti.

Za dobivanje ulja potrebno je ekstrakt podvrgnuti procesu destilacije koji se sastoji od dva postupka koji za cilj imaju postupno ukloniti otapalo heksan iz miscele.

Proces destilacije započinje postupkom **trenutne evaporacije** miscele prolaskom kroz dva isparivača gdje se prvotno dobiva sadržaj s 65% ulja, a zatim kroz drugi isparivač pri čemu se sadržaj ulja poveća na 95%. Potpuno ugušćivanje miscele, odnosno ulja provodi se kroz dvije destilacije, u prvoj se koristi temperatura od 57°C koja se postiže korištenjem Brudeove pare iz desolventajzer-tostera (koristi se u procesu desolventacije ekstrahiranih listića), a u drugoj destilaciji povećanjem temperature na 96-110°C, također korištenjem kotlovske pare dobiva se sadržaj koji je gotovo čisto ulje bez otapala. Za potpuno odstranjivanje ostatka heksana koristi se **vakumska destilacija** kroz dvostupanjsku stripping kolonu. Sva nastala para tijekom procesa odvajanja heksana odvodi se do kondezatora pri čemu se dobiva čisto otapalo bez sadržaja vode koji se može ponovno koristiti za proces ekstracije soje. Za 1000 kg ulja potrebno je ovim procesom ukloniti 2500 kg otapala (Romac i sur., 2012.).



Slika 3. Postupak ekstrakcije soje

2.5 Sojina sačma

Sojina sačma postala je jedno od glavnih sastavnica hrane životinja, a razlog tomu prvenstveno leži u sadržaju proteina. Smatra se da sojina sačma ima najkvalitetnije biljne proteine pošto zadovoljava 75% aminokiselinskih potreba peradi i svinja, ali i ostalih domaćih životinja (Kiš, 2016.).

Prethodna poglavlja govore o zahtjevnosti prerade soje s ciljem proizvodnje sojine sačme. Romac i sur. (2012.) je detaljno obradio daljnji tok procesa koji se događa nakon ekstrakcije listića soje koji sadrže i do 35% otapala. Uklanjanje otapala započinje u tzv. desolventajzer-tosteru pri čemu se ekstrahirani listići direktno i indirektno zagrijavanju kroz nekoliko etapa cilindričnog spremnika od pomoću vodene pare. Vodenom parom, osim što se uklanja otapalo heksan dolazi i do proces tostiranja sačme. Iz tog razloga ovaj se proces provodi kroz više etaža unutar posude, a započinje punjenjem najviše etaže ekstrahiranim listićima. Svaka etaža sastoji se od miješalice i otvora za ispuštanje na donju etažu. Dovođenjem vodene pare dolazi do vezanja heksana iz listića isparavanjem te odvođenjem na kondenziranje. Zagrijavanjem listića vodenom parom odvija se proces tostiranja sojine sačme i dolazi do inaktivacije enzima i tripsin inhibitora, ali i poboljšanja probavljivosti i denuteriranja proteina.

Usprkos navedenim prednostima dovođenja vodene pare, postoji i njezin nedostatak, a to je, naknadno sušenje sojine sačme pošto ona na izlazu sadrži i do 18% vlage. Sušenje se provodi strujom vrućeg zraka na 12% vlage sojine sačme nakon čega slijedi njeno hlađenje i transportiranje do skladišta.

2.6 Tehnološki postupci dorade ulja

Prema Mulaliću (1978.) nakon dobivanja sirovog sojinog ulja potrebno je proći dodatne procese prerade ulja ovisno o tome za što će se ono upotrebljavati. Za potrebe ovog ispitivanja kao što je već ranije spomenuto koristi se degumirano sojino ulje koje je prošlo kroz samo dva postupka prerade, a to su centrifugiranje i degumiranje.

Degumiranjem, sirovo sojino ulje oslobađamo od sluznih supstanci, pri čemu se dobiva nusproizvod lecitin koji se može koristiti u prehrambenoj industriji. Sluzne supstance, tzv. „gume“ predstavljaju ljepljive viskozne emulzije vode i ulja te fosfolipida. Proces njihovog uklanjanja započinje „vodenim degumiranjem“ pri čemu se sirovo sojino ulje miješa s malom količinom vode koja služi za vezanje hidrofilnih guma. Odvajanjem vode, gume i male količina ulja nastaje emulzija. Takva emulzija prolazi proces **centrifugiranja**, a zatim i sušenja u vakuumu kako bi se dobila viskozna smjesa koja sadrži 65% fosfolipida i do 35% ulja, a naziva se **lecitin** (Romac i sur., 2012; Wiedermann 1981).

Degumiranje sojinog ulja predstavlja ekonomski jeftinu metodu kojom se omogućuje kvalitetnije korištenje sojinog ulja u smislu postizanja boljih rezultata ispitivanja biljnih ulja, uz jednostavnu tehnologiju dorade (Haldar, 2009).

2.6.1 Ostali postupci dorade

Sojino degumirano ulje moguće je provesti kroz još niz procesa kojima se dobiva ulje te nusproizvodi koji se mogu koristi u različitim industrijama. Postupkom dodavanja Na i K baza, dolazi do neutralizacije ulja, odnosno procesa saponifikacije pri čemu nastaje ulje pogodno za ljudsku prehrane (salate), a kao nusproizvod nastaju sapuni. Pošto sojino ulje ima karakterističnu tamno žutu boju moguće je provesti dekoloraciju ulja kojom se uklanjaju boje i pigmenti iz ulja, a kao proizvod dobiva se sojino ulje svijetle boje. Također, sojino ulje ima specifičan miris koji se može ukloniti postupkom dezodorizacije, a da bi ulje moglo opstati na niskim temperaturama bez taloga i zamućenja provodi se postupak vinterizacije (Mulalić, 1978.).

2.7 Utjecaj ispušnih plinova na okoliš i zdravlje ljudi

Ispušni plinovi koji nastaju tijekom rada Dizel motora prema Golubiću (1999.) možemo podijeliti prema razlogu nastajanja na plinove koji nastaju zbog:

- potpunog izgaranja: ugljikov dioksid (CO_2), dušik (N) i vodena para
- nepotpunog izgaranja: uz navedene plinove pri nepotpunom izgaranju nastaje ugljikov monoksid (CO), vodik (H), pod utjecajem visokim temperatura i dušikovi oksidi (NO_x) , ali i ostali neizgorjeli ugljikovodici (HC)

2.7.1 Ugljikov oksid (CO)

Ugljikov (II) oksid (CO) predstavlja otrovan plin bez boje, okusa i mirisa, a u većini slučajeva nastaje kao produkt izgaranja kada u gorivoj smjesi nema dovoljno kisika za potpunu oksidaciju ugljika (C) u CO_2 oblik, odnosno ugljikov (IV) oksid. Kao takav produkt izgaranja ima negativan utjecaj na okoliš, ali i zdravlje ljudi. Često ga se naziva „tihi ubojica“ jer se ne može osjetiti, a pri izloženosti koncentracijama većim od 50 ppm (maksimalna dopuštena koncentracija) izaziva glavobolju, vrtoglavicu, nesvjesticu i smrt (Poplašen, 2016.).

2.7.2 Ugljikov dioksid (CO_2)

Ugljikov dioksid plin je bez boje, nije otrovan, a nastaje izgaranjem ugljika i organskih spojeva uz dovoljnu prisutnost kisika, a proizvode ga ljudi i životinje procesom disanja. Procesom fotosinteze ovaj plin se troši, a kao produkt nastaju ugljikohidrati i kisik. No, u velikim koncentracijama ima negativan utjecaj, posebno na nastajanje efekta staklenika. Odnosno dolazi do pojave da kratkovalna zračenja prodiru na Zemlju, ali se ne propušta dugovalno povratno zračenje koje se onda zadržava i na taj način utječe na povišenje temperature (Golubić, 1999.).

2.7.3 Ugljikovodici (HC)

Ugljikovodici se kod ispušnih plinova mogu nalaziti u većoj ili manjoj koncentraciji ovisno i procesu izgaranja. Čestice koje se mogu pronaći u ispušnim plinovima motora manje su od onih koje mogu nastati pri izgaranju ugljena i kao takve predstavljaju veliku opasnost za ljudsko zdravlje. Nastajanje emisije HC ovisi o vrsti motora, njegovom radu i opterećenju, sastavu i vrsti goriva, ulja te naravno starosti vozila (Jakovljević i sur., 2011.).

2.7.4 Dušikovi oksidi (NO_x)

Dušikovi oksidi predstavljaju niz spojeva dušika i kisika koji nastaju oksidacijom atmosferskog dušika pri visokim temperaturama. Količina dušika u zraku je velika, stoga ekspanzijom koja se događa unutar motora pri visokom tlaku i temperaturi nastaje dušikov monoksid (NO), a zatim otrovan dušikov dioksid (NO_2). Najveći razlog nastajanja navodi se siromašna smjesa goriva i zraka pri većem opterećenju motora. Otrovni su i imaju velik utjecaj na zdravlje čovjeka, posebno respiratorni sustav, a u prirodi imaju velik utjecaj na nastajanje kiselih kiša, fotokemijskog smoga i razgradnji ozona (Golubić, 1999.).

2.8 Biljna ulja za pogon motora

Poznato je kako korištenje fosilnih goriva ima negativan utjecaj na okoliš, stoga, jedna od želja je pronaći odgovarajući postotak koncentracije sojinog ulja koji ne bi izazvao signifikantne promjene u radu motora. Postoje brojne pozitivne strane korištenja biljnih ulja, a prema Pereiri i sur. (2011.) možemo ih podijeliti na okolišne, energetske i socijalno-ekonomske.

Pozitivan utjecaj na okoliš može se gledati kroz kružni proces potrošnje CO_2. Točnije, biljke za rast i razvoj imaju potrebe za CO_2 zbog procesa fotosinteze koji nastaje tijekom izgaranja u radu motora koji koristi ulje kao dodatak što bi značilo da biljke od kojih je ekstrakcijom dobiveno ulje mogu same i potrošiti proizveden CO_2. Nadalje, istraživanjima je dokazano smanjenje emisije štetnih ispušnih plinova (u pojedinim slučajevima), ali i pozitivan utjecaj na rad motora koji je prvenstveno vidljiv kroz smanjenje potrošnje goriva.

Ako govorimo o energetskim čimbenicima svakako je potrebno spomenuti energetsku neovisnost, ali na razini poljoprivrednih gospodarstava. Odnosno, poljoprivrednici bi mogli sami koristiti određenu količinu goriva koji su sami proizveli, ali uz to imati i hranu za životinje (u slučaju sojine sačme i sojinog ulja). Biljna ulja imaju efekt oksida, odnosno sadrže veći udio kisika koji u postupku umješavanja s dizelskim gorivom ima pozitivan utjecaj na karakteristike goriva u procesu samozapaljenja. Također, biljna ulja imaju visoku temperaturu samozapaljenja što znači da ih nije problem skladištiti.

Socijalno-ekonomski efekt je vidljiv kroz prethodno navedenu energetsku neovisnost gospodarstva, u smislu manjih izdavanja za potrebe goriva, ali i za kupnju stočne hrane za životinje. Korištenje vlastite proizvedene hrane na razini gospodarstva, ali i države što smanjuje uvoz stočne hrane lošije kvalitete, razvitak poljoprivrede, razvitak ruralnih područja gdje su prisutne migracije, povećanje obradivih površina, zapošljavanje ljudi i otvaranje novih radnih mjesta.

No, uz sve nabrojane prednosti korištenja biljnih ulja postoje i neke negativne što se prvenstvo odnosi na viskoznosti i gustoću ulja koji u dugoročnom radu motora mogu izazvati poneka oštećenja na sustavu za ubrizgavanje, a samim time i na pokretnim i nepokretnim potrošnim dijelovima motora. Mogućnost rješenja ovog problema je korištenje posebnim aditiva koji se koriste već i danas za potrebe smanjenja emisije štetnih plinova, stoga moguće je i korištenje sličnih aditiva za poboljšanje kvalitete goriva, a samim time i tehničkih karakteristika motora.

Upotreba biljnih ulja kao dodatak ili potpuna zamjena dizel gorivu istraživana je od strane više autora, a sama ideja je pronaći odgovarajuću koncentraciju ulja koja neće izazvati signifikantne razlike u performansama rada motora i emisiji ispušnih plinova. Svim istraživanjima dokazana je mogućnost korištenja biljnih ulja kao dodatak gorivu.

2.8.1 Potpuna zamjena dizel goriva biljnim uljem

Seddon (1942) provodio je eksperimente tijekom Drugog svjetskog rata na dizelskom motoru Perkins P6. Istraživanje je pokazalo mogućnost korištenja nekoliko biljnih ulja za pogon motora uz napomenu o potrebi provođenja dorade ulja kako bi ono bila moguća zamjena za dizel gorivo.

Bruwer (1980) koristi ulje suncokreta za pogon motora traktora umjesto dizel goriva. Zaključak je 8% smanjenje snage nakon 1000 sati rada koje je riješeno postavljanjem novih brizgaljki i visokotlačne crpke, a nastalo smanjenje snage pripisano je nastanku „koksa" tijekom izgaranja.

Bacon (1981) provodi testiranje na nekoliko tipova biljnih ulja na bazi dvosatnih ispitivanja koja su pokazivala odlične rezultate. Također, ispitivanje provedeno u radu traktora dovelo je do nastanka koksa na brizgaljkama.

Pryor (1983) ispitivanje provodi na sojinom ulju koji ne pokazuje promjene u performansama motora u kratkoročnom periodu, no, istraživanje na duži period rada obustavljeno je zbog prevelikog smanjenja snage motora zbog nastanka koksa na brizgaljkama.

Goering (1981) nakon ispitivanja kemijskih karakteristika 11 biljnih ulja utvrđuje kako je ulje kukuruza, uljane repice i soje najbolja zamjenu postojećem dizel gorivu.

2.8.2 Upotreba mješavina biljnih ulja i dizel goriva

Misra (2010) navodi potencijal korištenja mješavina biljnih ulja i dizel goriva u tropskim zemljama, poput Indije. Utjecaj temperature u tim područjima imao bi povoljan utjecaj na viskoznost goriva, pošto su istraživanjem uočene razlike između parametara emisije plinova i karakteristika motora s obzirom na viskoznost goriva. Manja viskoznost mješavine goriva polučila je kvalitetnije rezultate. Također, provedeno je istraživanje na razlikama u temperaturama goriva, preporuča se korištenje sustava za predgrijavanje kojim bi se riješio problem viskoznosti mješavine koji dovodi do glavnih problema u izgaranju goriva (nastanku koksa na brizgaljkama i klipnim prstenima). Indirektno ubrizgavanje goriva, odnosno motor konstruiran s pretkomorama daje bolje rezultate u odnosu na motor s direktnim ubrizgavanjem. Navodi se pozitivan utjecaj na emisiju štetnih plinova s naglaskom na smanjenje NO_x.

2.8.3 Upotreba sojinog ulja za pogon motora

Engelman (1978) istražuje mogućnost miješana dizel goriva i sojinog ulja u koncentraciji od 10% i 50%. Rezultati pokazuju mogućnost korištenja na 50 – satnom testiranju, bez signifikantnih promjena tehničkih karakteristika motora uz minimalno stvaranje koksa unutar cilindara motora. Dodaje kako mješavina sojinog ulja u koncentracijama iznad 60% uzrokuje značajne promjene u radu motora i nastanku koksa, ali da u manjim koncentracijama postoji mogućnost korištenja sojinog ulja bez modifikacija na motoru.

McCutchen (1981) u suradnji s tvrtkom Caterpillar daje uvid u performanse motora korištenjem mješavine dizel goriva i 30% sojinog ulja kod direktnog i indirektnog ubrizgavanja. Iz istraživanja proizlazi mogućnost korištenja ove mješavine kod indirektnog ubrizgavanja bez značajnih promjena u radu motora, dok kod korištenja direktnog ubrizgavanja dolazi do promjena koje su prvenstveno vidljive u kvaru brizgaljki i sljepljivanja klipnih prstena.

Arapatsakos (2012) prikazuje utjecaj korištenja mješavine sojinog ulja i dizel goriva na emisiju ispušnih plinova. Rezultati prikazuju promjene u odnosu na korištenje dizel goriva. Emisija CO pada s povećanjem koncentracije sojinog ulja i višom temperaturom goriva. HC proporcionalno raste kada je temperatura goriva iznad 60°C. Na emisiju NO također ima utjecaj temperatura goriva i koncentracija sojinog ulja u dizel gorivo, povećanjem oba parametra dolazi i do povećanja NO emisije, a posebno je vidljiva promjena kada temperatura goriva prijeđe 30°C.

Wagner (2013) analizom podataka korištenja mješavina u koncentracijama od 15-40% uzrokuje pad snage i zakretnog momenta motora u prosjeku za 1,1%, a korištenje koncentracije veće od 50% dolazi do pada snage i zakretnog momenta za 4,7-6,4%. Iz tog razloga istražila se mogućnost korištenja benzina u mješavini dizela i sojinog ulja kojom bi se smanjila povećana viskoznost koja je nastala dodatkom sojinog ulja. Rezultati su pokazali rješenje problema viskoznosti koji je pridonio i rješavanju problema pada snage i zakretnog momenta kako u laboratorijskom istraživanju tako i u uvjetima u radu na duži period.

3 Materijali i metode

Prethodno navedenim spomenuta su dva tipa istraživanja, prvi se odnosi na ispitivanja tehničkih karakteristika motora, a druga na emisije plinova pri čemu će se dodati pažnja i na promjene vezane uz potrošnju goriva.

Istraživanje je provedeno u laboratoriju za ispitivanje karakteristika motora Zavoda za mehanizaciju poljoprivrede Agronomskog fakulteta u Zagrebu. Podaci o okolišnim čimbenicima (temperatura, relativna vlažnost zraka i tlak zraka) prikupljeni su iz meteorološke postaje državnog hidrometeorološkog zavoda Zagreb-Maksimir koja se nalazi najbliže spomenutom laboratoriju. Prema podacima prosječna temperatura tokom ispitivanja iznosila je 23,5°C, uz relativnu vlažnost zraka od 61% te tlak zraka od 1019,2 hPa.

Za potrebe ispitivanja koristile su se četiri vrste goriva, dizel gorivo, te tri mješavine dizel goriva i sojinog degumiranog ulja u koncentraciji od 5 % (S5), 10 % (S10) i 20 % (S20). Tijekom ispitivanja pratile su se vrijednosti poput sile kočenja (kP), broja okretaja motora i priključnog vratila (min^{-1}), satne potrošnje goriva (l/h) te emisija ispušnih plinova.



Slika 5. Dizel gorivo s 20% sojinog ulja

3.1 Tehničke karakteristike motora

Tehničke karakteristike koje se promatraju su snaga motora i okretni moment u odnosu na broj okretaja motora (o/min).

Snagu možemo promatrati kao rad koji motor može obaviti u jedinici vremena što ovisi o zapremnini motora, broju okretaja, količini ubrizganog goriva, tlaku nastalom u cilindru te ostalim čimbenicima. Snaga motora mjeri se na koljenastom vratilu, a može se promatrati kao nominalna i maksimalna. **Maksimalna snaga motora** predstavlja najveću snagu koju motor može ostvariti, no, s tom snagom ne može raditi dugo jer bi došlo do pregrijavanja i trošenja dijelova motora. Stoga, snaga koju motor može dati kroz duži period pri čemu ne dolazi do prelaska granice toplinskog opterećenja predstavlja **nominalnu snagu motora**.

Ispitivanje provedeno na hidrauličko-pojasnoj kočnici Schenk mjeri snagu motora na priključnom vratilu i ta snaga je obično manja za 5% od snage dobivene na koljenastom vratilu motora, a smanjenje snage prouzročeno je uslijed nastalih gubitaka unutar transmisije traktora.

Zakretni moment motora predstavlja silu koju djeluje na kraku poznate duljine, a izražava se u njutnmetrima (Nm). Što se tiče motora traktora traži se postizanje što većeg momenta, odnosno što veća „elastičnost“ koja se odnosi na što veći porast momenta od točke nazivne snage do maksimalnog momenta (Piria, 1987).

Za potrebe ispitivanja koristio se traktor Torpedo TD 7506 A (slika 6.), opremljen četverocilindričnom zrakom hlađenom motoru oznake F4L 912. Nazivna snaga motora prema proizvođaču iznosi 55 kW pri 2400 o/min, dok zakretni moment iznosi 243 Nm pri 1600/min. Motor ima direktno ubrizgavanje goriva pri tlaku od 175 bara.

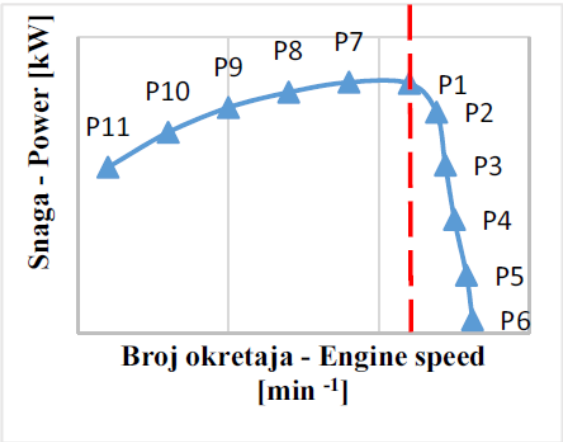


Slika 6. Traktor Torpedo TD 7506 A

Istraživanje karakteristika motora provedeno je prema OECD Code 2 pravilniku za službeno ispitivanje poljoprivrednih traktora. Provedena su dva dijela mjerenja u 11 točaka (slika 7.).

Prvi dio mjerenja provodi se u 6 točaka pri čemu točka P1 označava nazivnu snagu motora pri nazivnom broju okretaja motora. Točka P2 predstavlja ostvarenu snagu pri 85% momenta dobivenog u točki P1. Točka P3 prikazuje snagu ostvarenu kod 75% momenta u točki P2. Točka P4 snagu kod 50 % momenta ostvarenog u točki P2, zatim točka P5 kod 25 % momenta, također u točki P2. Zadnja točka prvog dijela mjerenja, točka P6 predstavlja snagu ostvarenu kod nazivnog broja okretaja bez opterećenja.

Drugi dio mjerenja provedeno je u 5 točaka, na području od nazivne snage do maksimalnog momenta pri čemu se za svaku sljedeću točku broj okretaja smanjivao za 200 okretaja motora u minuti (P7 – karakteristike na 2150 o/min, P8 – na 1950 o/min, P9 – na 1750 o/min, P10 – na 1550 o/min i P11 – na 1350 o/min).



Slika 7. Točke ispitivanja motora

Izvor: Koronc i sur. (2018)

Za potrebe ispitivanja korištena je hidrauličko-pojasna kočnica Schenk tipa U1-40 (slika 8.). Hidraličko-pojasna kočnica spojena je pomoću kardanskog vratila s traktorom, to jest na priključno vratilo traktora. Kočnicom se simuliraju različita oterećenja, odnosno sile kočenja pomoću kojih se mogu pratiti različiti parametri, poput ostvarene snaga traktora, zakretni moment, potrošnja goriva te koncentracija nastalih ispušni plinovi ovisno o primijenjenoj sili kočenja.



Slika 8. Hidraulička-pojasna kočnica Schenk tip U1-40

Broj okretaja priključnog vratila mjeren je uz pomoć digitalnog mjernog uređaja Lutron DT 2236 točnosti +/- 0,05 % (slika 9.).



Slika 9. Mjerač broja okretaja

3.2 Emisije plinova

Drugi dio istraživanja odnosi se na ispitivanje ispušnih plinova prema ISO 8178-4:2017 standardu za provođenje testa na ispušnim plinovima motora, točnije na koncentraciju CO, CO_2, HC i NO_x koji nastaju tijekom izgaranja, a imaju najveći utjecaj na zagađenje zraka.

Testiranje se provodi kroz 8 točaka pomoću uređaja za analizu ispušnih plinova Maha MET 6.3. (slika 10.) te sonde za mjerenje ispušnih plinova (slika 11.) pri čemu točka 1 predstavlja mjerenje koncentracije plinova pri maksimalnoj snazi motora na nazivnom broju okretaja. Točka 2 na 75% ostvarenog momenta kod mjerenja u točki 1, točka 3 pri 50% ostvarenog momenta u točki 1, točka 4 pri 10 % momenta ostvarenog u točki 1. Točka 5 označava koncentraciju plinova pri maksimalnom momentu, pri čemu su točka 6 označava vrijednosti 75% ostvarenog maksimalnog momenta, točka 7 pri 50% maksimalnog momenta. Zadnja točka, točka 8 prikazuje vrijednosti neopterećenog motora pri minimalnom broju okretaja. Dobivene vrijednosti predstavljaju prosjek vrijednosti kroz 3 mjerenja provedenih u jednom satu pri čemu se koristila statistička analiza programom „SAS“ i prikaz vrijednosti uz pomoć Excell programa.



Slika 10. Analizator Maha MET 6.3.



Slika 11. Sonda za ispitivanje ispušnih plinova

3.3 Potrošnja goriva

Potrošnja goriva može se prikazati na dva načina, prvi je kao satna potrošnja, a drugi kao specifična potrošnja goriva.

Satna potrošnja goriva koja se tijekom ispitivanja mjerila pomoću mjerača protoka predstavlja količinu goriva utrošenu za jedan sat rada motora, a izražava se u l/h ili kg/h. Ovisi o režimu rada, to jest opterećenju motora.

Specifična potrošnja goriva predstavlja količinu goriva utrošenu po jedinici ostvarene efektivne snage. Izraziti se može u kg/kWh ili g/kWh. Također ovisi o opterećenju, odnosno režimu rada (Piria, 1987).

Vrijednosti satne potrošnje goriva pri različitim opterećenjima zabilježeno je pomoću uređaja Aquametro Contoil DFM-BC (slika 12.) koji očitava ostvareni protok goriva na mjeraču protoka DFM 8D (slika 13.).



Slika 12. Display i upravljačka jedinica



Slika 13. Mjerač protoka

4 Rezultati istraživanja

4.1 Karakteristike motora

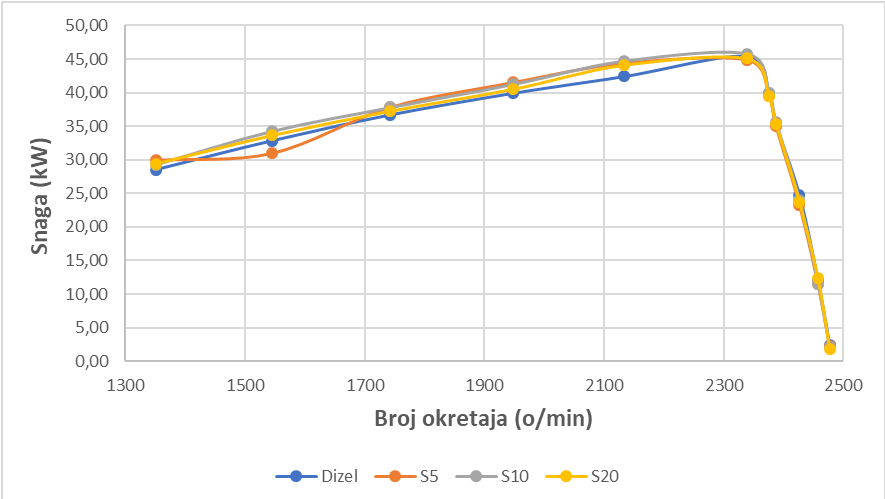
Ispitivanje karakteristika dizel motora provedeno je korištenjem četiri vrste goriva: Dizel, dizel s dodatkom 5% sojinog ulja (S5), dizel s dodatkom 10% sojinog ulja (S10) i dizel s dodatkom 20% sojinog ulja (S20). Istraživanje je provedeno na karakteristikama motora: snaga, okretni moment, satna i specifična potrošnja goriva u pojedinim točkama mjerenja ovisno o broju okretaja motora i opterećenju, a prikazane su u slijedećim tablicama i grafikonima. Tablicama su prikazani rezultati postignuti u pojedinim točkama mjerenja, dok grafikoni prikazuju krivulje navedenih karakteristika motora ovisno o broju okretaja i opterećenju.

4.1.1 Snaga dizel motora

Tablica 8.1. i grafikon 1. prikazuju ostvarenu snagu dizel motora u pojedinim točkama mjerenja pri korištenju različitih vrsta goriva. Od točke P1 do P6 ne dolazi do značajnih razlika u snazi, nešto veće razlike mogu se tek vidjeti u području krivulje od točke nazivne snage motora do maksimalnog momenta, odnosno od točke P7 do P11. Najveća razlika u snazi motora uočena je korištenjem S5 goriva je u točki P10 pri 1600 o/min u odnosu na ostala tri goriva. Ostvarena je 9.42% manja snaga motora pri korištenju S5 goriva u odnosu na S10, odnosno 7.81% u odnosu na S20 i 5.56% naspram Dizel goriva. Prosječna snaga S10 goriva veća je za 0.99%, to jest 1.48% i 1.81% u odnosnu na prosječnu snagu S20, S5 i dizel goriva.

Tablica 8.1. Snaga dizel motora pri korištenju četiri različitih vrsta goriva

Snaga (kW)	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	Prosjek
Dizel	45,42	39,94	35,18	24,73	12,03	2,43	42,40	39,90	36,69	32,86	28,53	30,92
S5	44,90	39,51	34,95	23,31	11,50	2,24	44,43	41,55	37,86	31,03	29,98	31,02
S10	45,79	39,89	35,59	24,02	11,54	2,17	44,71	41,24	37,79	34,26	29,26	31,48
S20	45,11	39,50	35,32	23,75	12,32	1,86	44,13	40,55	37,28	33,66	29,42	31,17



Grafikon 1. Snaga dizel motora pri korištenju četiri različite vrste goriva

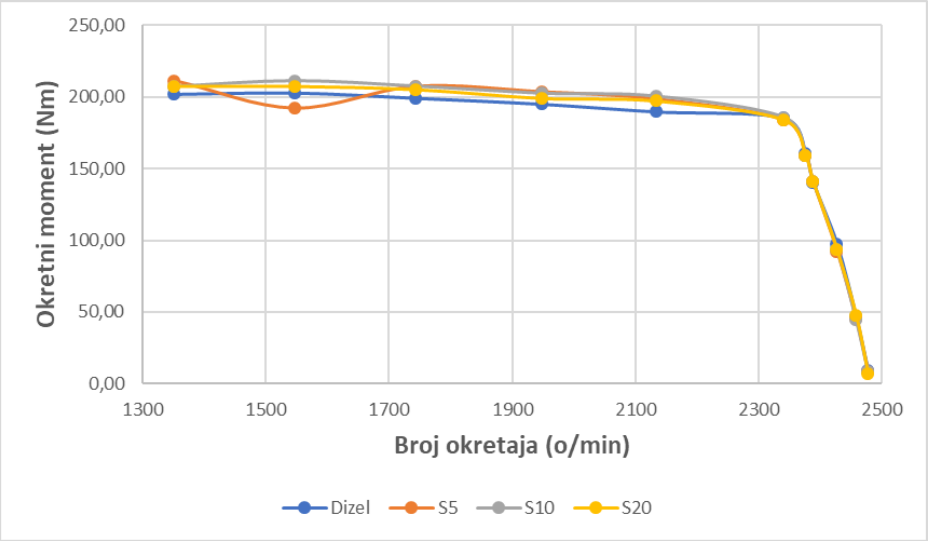
4.1.2 Okretni moment dizel motora

Tablica 8.2. i grafikon 2 prikazuju ostvareni okretni moment pri korištenju četiri vrste goriva u pojedinim točkama mjerenja. Najveći izmjereni moment ostvaren je u točkama P10 i P11, no najveća razlika vidljiva je u točki P10 pri 1600 o/min gdje S5 gorivo ima najmanji moment u odnosu na ostala tri goriva. To jest, korištenjem S5 goriva ostvareno je smanjenje momenta za 5.3%, 7.51% te 9.07% u odnosu na dizel, S20 i S10 gorivo.

Tablica 8.2. Okretni moment pri korištenju četiri različite vrste goriva

Okretni moment (Nm)	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	Prosjek
Dizel	185,38	160,54	140,57	97,37	46,69	9,36	189,75	195,06	199,24	202,92	201,99	148,08
S5	183,95	159,54	140,82	92,38	45,07	8,68	198,49	203,48	207,35	192,12	211,29	149,38
S10	185,88	159,29	141,19	93,69	44,38	8,30	200,55	202,61	207,54	211,29	207,35	151,10
S20	184,38	158,98	141,44	93,57	48,00	7,18	197,49	199,36	205,48	207,73	207,73	150,12

Također, na grafikonu 2. jasno je vidljivo smanjenje momenta što se uočava i na prosječnoj vrijednosti mjerenja. Najveći prosječni moment ostvaren je korištenjem S10 goriva, odnosno dolazi do povećanja od 0.65%, 1.15% i 2.04% u odnosu na S20, S5 i dizel gorivo.



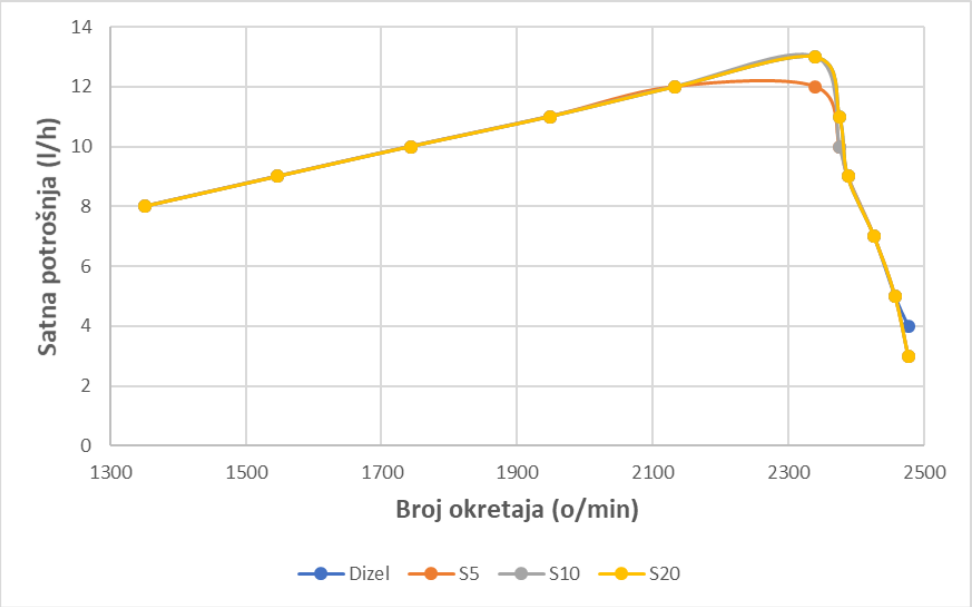
Grafikon 2. Okretni moment dizel motora pri korištenju četiri različite vrste goriva

4.1.3 Satna potrošnja goriva

Tablica 8.3. i grafikon 3. prikazuju ostvarenu satnu potrošnju goriva u pojedinim točkama mjerenja pri korištenju različitih vrsta goriva. Naravno, najveća potrošnja goriva ostvarena je pri nazivnoj snazi motora, pri čemu u točki nazivne snagu ostvarena je i nešto manja potrošnja S5 goriva koji također ima i najmanju ostvarenu prosječnu potrošnju goriva. Smanjenje potrošnje korištenjem S5 goriva ostvareno je za 1.02%, odnosno 1.91% u odnosu na S10 i S20 gorivo, a smanjenje naspram dizel goriva iznosi 3%.

Tablica 8.3. Satna potrošnja dizel goriva pri korištenju četiri vrste goriva

Potrošnja goriva (l/h)	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	Prosjek
Dizel	13	11	9	7	5	4	12	11	10	9	8	9
S5	12	10	9	7	5	3	12	11	10	9	8	8,73
S10	13	10	9	7	5	3	12	11	10	9	8	8,82
S20	13	11	9	7	5	3	12	11	10	9	8	8,91



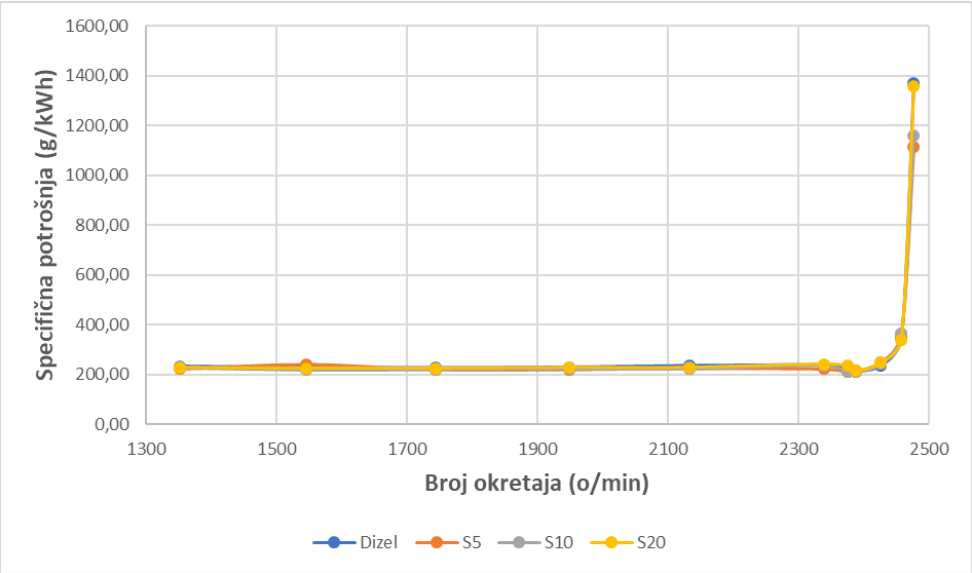
Grafikon 3. Satna potrošnja goriva pri korištenju četiri vrste goriva

4.1.4 Specifična potrošnja goriva

Specifična potrošnja goriva pri korištenju različitih vrsta goriva prikazana je tablicom 8.4. i grafikonom 4. pri čemu gotovo nema značajnih razlika između korištenih goriva. Prosječno najmanja specifična potrošnja goriva ostvarena je korištenjem S5 goriva koja je manja za 7.46% od prosječno najveće specifične potrošnje goriva, odnosno dizela. Prosječno najveća specifična potrošnja goriva veća je za 0.3%, odnosno 6.74% u odnosu na S20 i S10 gorivo. Najmanja specifična potrošnja goriva ostvarena je u točki P2 kod 85% momenta ostvarenog u točki P1 korištenjem S5 goriva (točki nazivne snage).

Tablica 8.4. Specifična potrošnja goriva dizel motora pri korištenju četiri vrste goriva

Potrošnja goriva (g/kWh)	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	Prosjek
Dizel	238,11	229,17	212,86	235,55	345,90	1371,54	235,49	229,35	226,75	227,91	233,33	344,18
S5	222,61	210,84	214,53	250,13	362,28	1113,65	225,00	220,53	220,01	241,59	222,29	318,50
S10	237,92	210,10	211,89	244,18	363,02	1160,27	224,94	223,53	221,77	220,11	229,14	322,44
S20	242,38	234,23	214,28	247,91	341,30	1358,30	228,71	228,13	225,61	224,86	228,70	343,13



Grafikon 4. Specifična potrošnja goriva dizel motora pri korištenju četiri vrste goriva

4.2 Emisija štetnih plinova

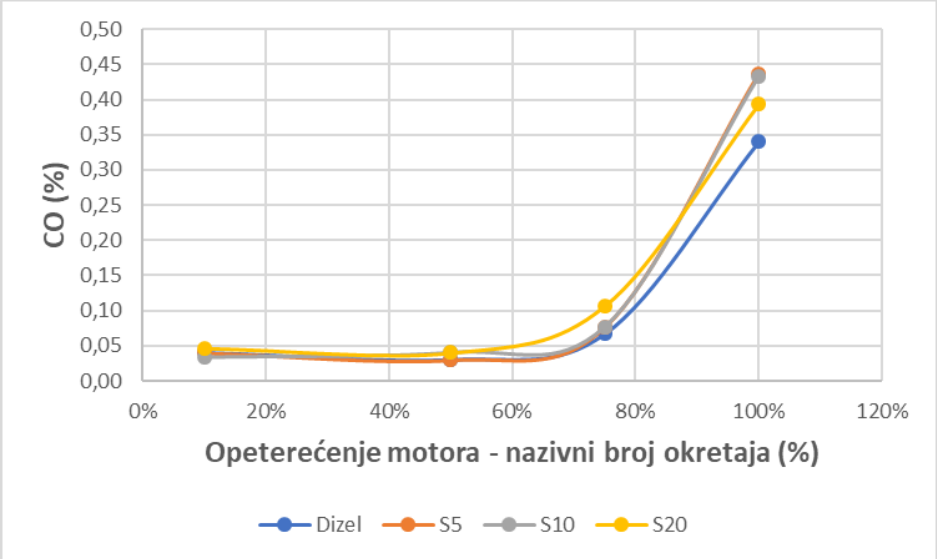
Rezultati istraživanja emisija ispušnih plinova prikazani su tablično i grafikonima pri čemu se ispitivanje provodilo kroz osam točaka mjerenja koristeći različita opterećenja motora prema standardu za analizu ispušnih plinova ISO 8178-4:2007 (C1). Dobiveni rezultati predstavljaju prosječnu vrijednost dobivenu tijekom tri mjerenja provedenih u jednom satu.

4.2.1 Emisija CO

Tablica 8.5. te grafikon 5. i 6. prikazuju emisiju ugljičnog monoksida (CO) tijekom korištenja četiri različite vrste goriva pri različitim točkama mjerenja. Pri ispitivanju kod nazivnog broja okretaja vidljiv je porast emisije CO s povećanjem opterećenja motora. Korištenjem dizel goriva ostvaren je najbolji rezultat pri maksimalnom opterećenju kod nazivnog broja okretaja u odnosu na ostala goriva, odnosno korištenjem S5, S10 i S20 goriva dolazi do povećanja CO za 26%, to jest 29%.

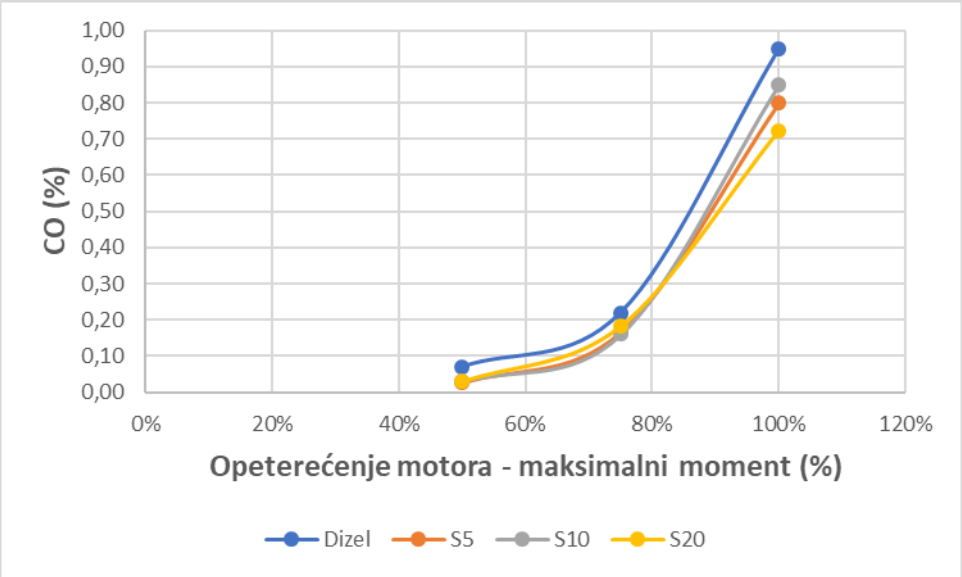
Tablica 8.5. Emisija ugljičnog monoksida pri različitim točkama mjerenja

CO (%)	Opetrećenje (%)	Dizel	S5	S10	S20
Nazivni broj okretaja	10%	0,04	0,04	0,03	0,05
	50%	0,03	0,03	0,04	0,04
	75%	0,07	0,08	0,08	0,11
	100%	0,34	0,44	0,43	0,39
Maksimalni moment	50%	0,07	0,03	0,03	0,03
	75%	0,22	0,17	0,16	0,18
	100%	0,95	0,80	0,85	0,72



Grafikon 5. Emisija ugljičnog monoksida pri nazivnom broju okretaja

Pri mjerenju emisije CO kod maksimalnog momenta utvrđeno je povećanje u sve tri točke mjerenje pri korištenju dizel goriva u odnosu na ostale vrste goriva. Korištenjem S20 goriva ostvaren je najbolji rezultat pri maksimalnog momentu (opterećenju od 100%) gdje dolazi do smanjenja CO za 15.2% u odnosu na S10 gorivo. Također, uočeno je smanjenje emisije od 24% pri korištenju S20 goriva u odnosu na dizel.



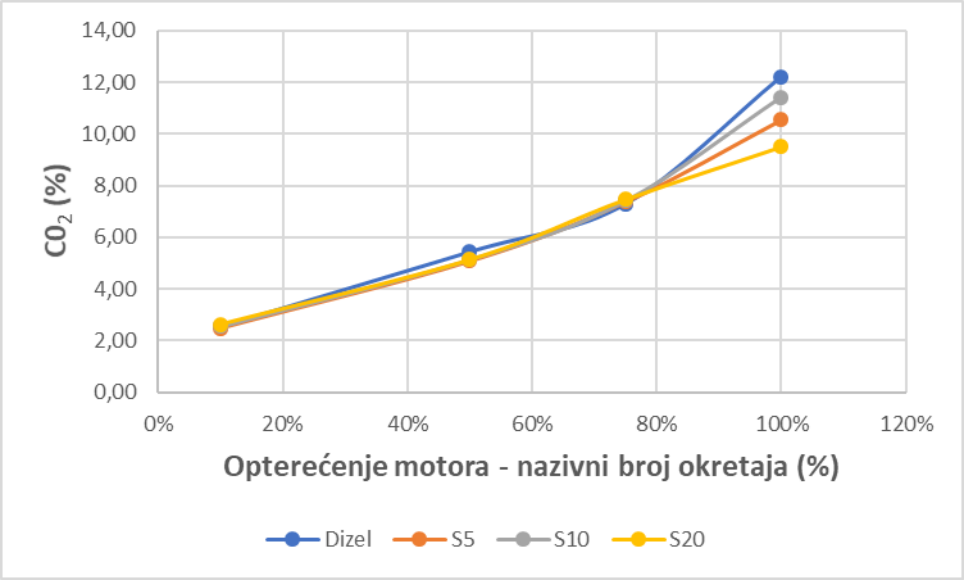
Grafikon 6. Emisija ugljičnog monoksida pri maksimalnom momentu

4.2.2 Emisija CO_2

Tablica 8.6. te grafikon 7. i 8. prikazuju rezultate mjerenja za emisiju ugljičnog dioksida (CO_2) pri različitim točkama mjerenja. Ponovno, kod nazivnog broja okretaja do 75% opterećenja ne dolazi do signifikantnih promjena. Promjene su vidljive tijekom maksimalnog opterećenja, gdje najbolji rezultat ostvaruje S20 gorivo, odnosno postiglo se smanjenje emisije CO_2 za 22% u odnosu na dizel gorivo. Ostala dva goriva također pokazuju smanjenje emisije tijekom maksimalnog opterećenja kod nazivnog broja okretaja.

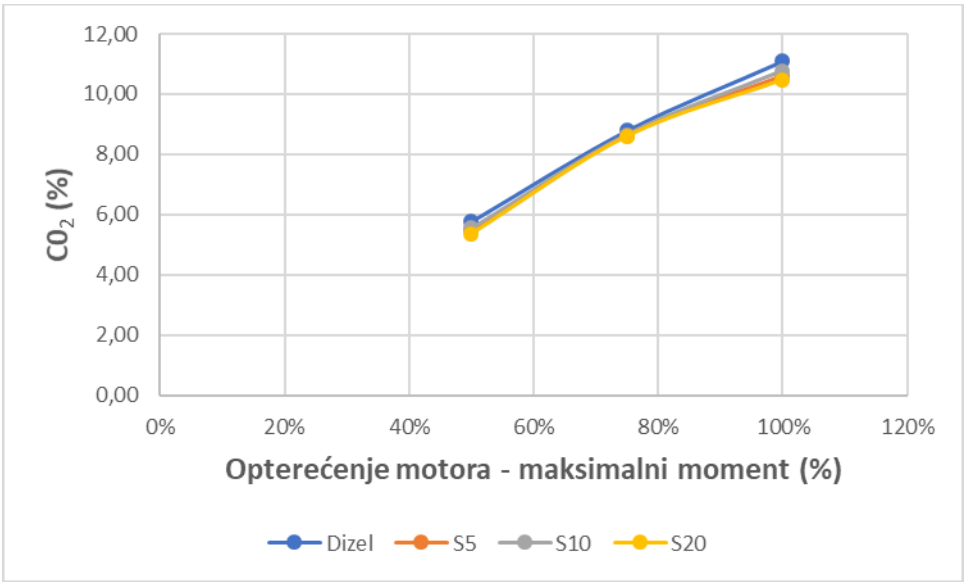
Tablica 8.6. Emisija ugljičnog dioksida pri različitim točkama mjerenja

CO_2 (%)	Opeterećenje (%)	Dizel	S5	S10	S20
Nazivni broj okretaja	10%	2,55	2,49	2,55	2,63
	50%	5,45	5,08	5,14	5,14
	75%	7,31	7,37	7,41	7,46
	100%	12,23	10,54	11,43	9,50
Maksimalni moment	50%	5,76	5,47	5,56	5,37
	75%	8,79	8,65	8,65	8,61
	100%	11,10	10,60	10,76	10,47



Grafikon 7. Emisija ugljičnog dioksida pri nazivnom broju okretaja

Emisija ugljičnog dioksida kod maksimalnog momenta prikazuje najlošije rezultate korištenjem dizel goriva u sve tri točke mjerenja u odnosu na ostala tri goriva. Odnosno, korištenjem sojinog ulja dolazi do smanjenja emisije CO_2 u svim točkama mjerenja. Najveća razlika vidljiva je kod maksimalnog momenta, pri čemu dolazi do smanjenja od 5.7% korištenjem S20 goriva u odnosu na dizel gorivo.



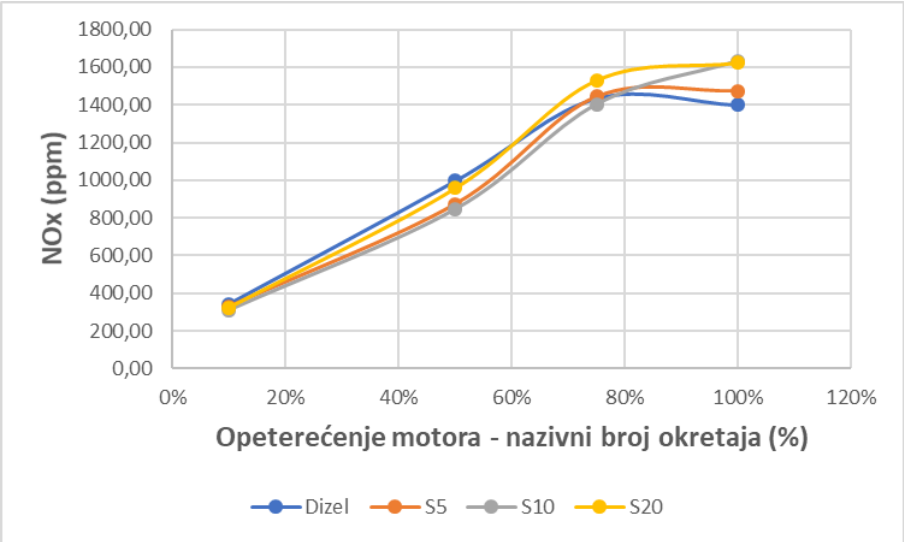
Grafikon 8. Emisija ugljičnog dioksida pri maksimalnom momentu

4.2.3 Emisija NO_X

Tablicom 8.7. te grafikonima 9. i 10. prikazana je emisija NO_x pri korištenju četiri različite vrste goriva te pri različitim točkama mjerenja. Kod mjerenja pri nazivnom broju okretaja i opterećenju od 50% dolazi do smanjenja emisije NO_x pri korištenju S5 i S10 goriva u odnosu na dizel gorivo za 15%, no daljnjim povećanjem opterećenja dolazi do smanjenja emisije u korist dizel goriva, odnosno korištenjem S20 goriva dolazi do povećanja emisije za 16% pri maksimalnom opterećenju pri nazivnom broju okretaja u odnosu na dizel gorivo.

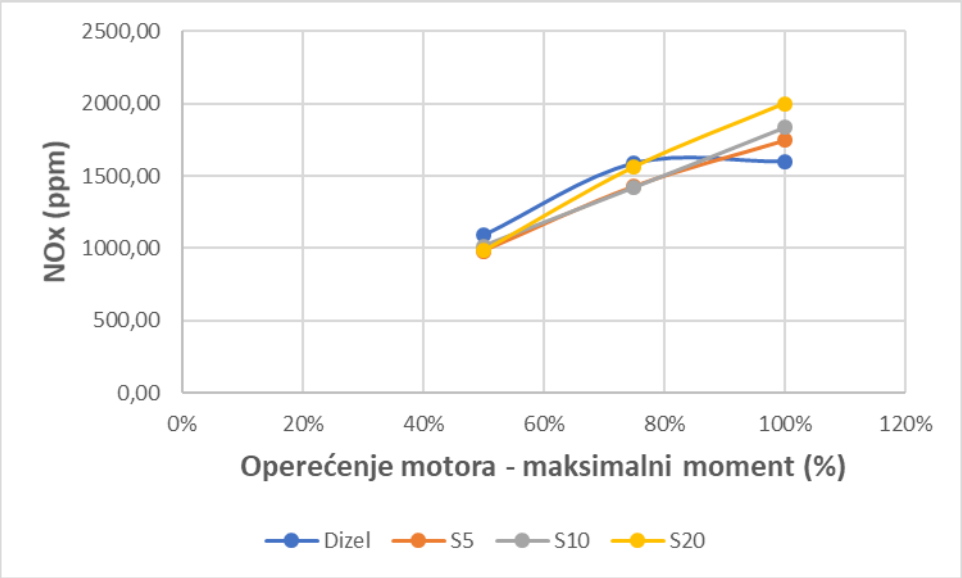
Tablica 8.7. Emisija dušikovih oksida pri različitim točkama mjerenja

NOx (ppm)	Opeterećenje (%)	Dizel	S5	S10	S20
Nazivni broj okretaja	10%	341,67	329,00	312,00	323,00
	50%	997,00	873,33	846,67	957,67
	75%	1436,33	1443,67	1402,67	1531,33
	100%	1399,67	1473,33	1631,33	1623,33
Maksimalni moment	50%	1092,67	979,67	1015,33	982,67
	75%	1588,67	1428,67	1421,67	1562,67
	100%	1601,00	1747,00	1838,00	2000,33



Grafikon 9. Emisija dušikovih oksida pri nazivnom broju okretaja

Pri mjerenju maksimalnog momenta dolazi do povećanja emisije NO_x kod 100% opterećenja koristeći sojino ulje. Povećanjem koncentracije i opterećenja dolazi do povećanja NO_x, jedino smanjenje vidljivo je pri opterećenju od 50% maksimalnog momenta gdje su se vrijednosti smanjile za gotovo 10,34% ako gledamo odnos S5 i dizel goriva. Povećanje emisije od 24,94% ostvareno je pri maksimalnom momentu korištenjem S20 goriva u odnosu na dizel gorivo.



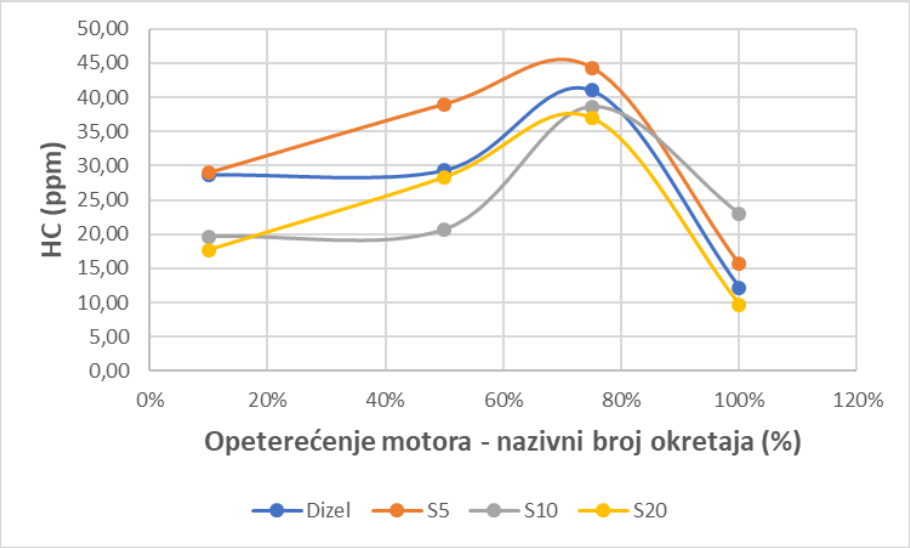
Grafikon 10. Emisija dušikovih oksida pri maksimalnom momentu

4.2.4 Emisija HC

Tablica 8.8. te grafikonima 11. i 12. prikazane su vrijednosti izmjerene tijekom ispitivanja četiri različita goriva pri različitim točkama mjerenja. Mjerenjem kod nazivnog broja okretaja vidljive su jasne razlike u svim točkama mjerenja. Povećanjem opterećenja vidljiv je porast emisije HC za sve vrste goriva, a zatim pri maksimalnom opterećenju dolazi do naglog smanjenja emisije pri čemu je ostvaren najbolji rezultat koristeći S20 gorivo. Najveće vrijednosti emisije ugljikovodika izmjerene su koristeći S5 gorivo pri 75% opterećenja kod nazivnog broja okretaja.

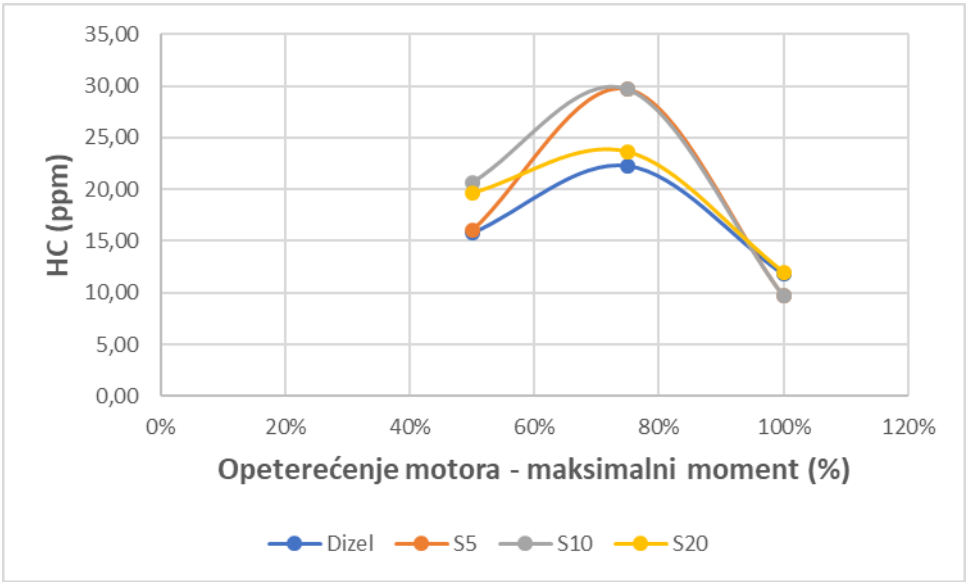
Tablica 8.8. Emisija ugljikovodika pri različitim točkama mjerenja

HC (ppm)	Opeterećenje (%)	Dizel	S5	S10	S20
Nazivni broj okretaja	10%	28,67	29,00	19,67	17,67
	50%	29,33	39,00	20,67	28,33
	75%	41,00	44,33	38,67	37,00
	100%	12,23	15,67	23,00	9,67
Maksimalni moment	50%	15,79	16,00	20,67	19,67
	75%	22,30	29,67	29,67	23,67
	100%	11,81	9,67	9,67	12,00



Grafikon 11. Emisija ugljikovodika pri nazivnom broju okretaja

Pri mjerenju maksimalnog momenta dolazi do porasta emisije ugljikovodika u dvije točke mjerenja koristeći sojino ulje kao dodatak gorivu u odnosu na dizel gorivo. Najveće razlike vidljive su tijekom 50% i 75% maksimalnog momenta pri čemu je ostvareno povećanje od 30% (50% momenta) te 22,1% kod 75% momenta kada gledamo dizel i S10 gorivo. Pri maksimalnom momentu nema značajnih razlika, štoviše najbolji rezultat ostvaren je korištenjem S10 goriva.



Grafikon 12. Emisija ugljikovodika pri maksimalnom momentu

5 Rasprava

Mjerenjem snage utvrđeno je povećanje prosječne snage motora kroz 11 točaka mjerenja koristeći S5, S10 i S20 gorivo. Korištenjem čistog dizel goriva snaga je iznosila 30.92 kW, dodavanjem 5% ulja došlo je do povećanja snage na 31.02 kW, odnosno 31.48 kW koristeći S10 gorivo. Dodatkom 20% ulja dobivena snaga iznosila je 31.17 kW.

Provedenim ispitivanjem zakretnog momenta utvrđeno je povećanjem momenta koristeći S5 i S10 goriva, a u manjoj mjeri i S20 goriva. Od početnih prosjekom dobivenih 148,08 Nm koristeći dizel gorivo do 149,38 Nm dodatkom 5% sojinog ulja te 151,10 Nm dobivenih dodatkom 10% ulja. Kao i kod snage dodatnim povećanjem koncentracije sojinog ulja u dizel gorivo vidljivo je povećanje na 150,12 Nm zakretnog momenta u odnosu na dizel, ali u manjoj mjeri nego korištenjem S5 i S10 goriva.

Poznato je da ulje ima pozitivan utjecaj na dizel gorivo u smislu efekta povećanja udjela kisika (oksida) u gorivu pri čemu dolazi do boljeg izgaranja i veće kemijske energije goriva kao što je i spomenuto u radu Altun i sur. (2001.) gdje su također dobiveni bolji rezultati korištenjem dodatka sojinog ulja u dizel gorivu pri ispitivanju snage i zakretnog momenta. Schlick (1988.) navodi kako dodatkom sojinog ulja dolazi do kvalitetnijeg rada sustava za ubrizgavanje upravo zbog povećanja viskoznosti goriva, odnosno dolazi do povećanja tlaka ubrizgavanja.

Satna potrošnja goriva gotovo je jednaka kod svih vrsta goriva, vidljivo je smanjenje satne, ali i specifične potrošnje goriva. Najbolji prosječni rezultat ostvaren je korištenjem S5 goriva gdje je izmjerena satna potrošnja iznosila 8,73 l/h naspram 9 l/h kod dizel goriva. Također, kod specifične potrošnje ostvareno je smanjenje potrošnje naspram dizel goriva s početnih 344,18 g/kWh na 318,50 g/kWh koristeći isto S5 gorivo. Daljnjim povećanjem koncentracije ulja utvrđeno je smanjenje potrošnje goriva naspram dizel goriva, ali u manjoj mjeri nego kod S5 goriva što je sukladno podacima provedenog istraživanja Pereira i sur. (2011.) gdje je također došlo do smanjenja satne i specifične potrošnje goriva. Također je najbolji rezultat ostvaren koristeći mješavinu s dodatkom 5% sojinog ulja, a nešto lošiji, ali i dalje bolji od dizel goriva koristeći 20% sojinog ulja.

Pereira i sur. (2011.) također istražuju utjecaj emisije ispušnih plinova koristeći sojino ulje kao dodatak dizel gorivu. Rezultati istraživanja pokazuju povećanje emisije C0, CO_2 i NO_x dodatkom sojinog ulja u odnosu na korištenje dizel goriva. Korištenjem S20 gorivo došlo je do povećanja emisije CO za 18%, CO_2 za 31% i NO_x za 5% što djelomično odgovara dobivenim podacima u ovome radu, gdje je također došlo do povećanja emisije u određenim točkama ispitivanja koristeći različita vrsta goriva. Kao razlog povećanju emisije navodi se povećanje viskoznosti goriva koja nastaje kao utjecaj umješavanja ulja u gorivo pri čemu dolazi do smanjenja raspršenosti goriva nakon ubrizgavanja, a samim time i lošije izgaranje. Za razliku od prethodno navedenog rada Altun i sur. (2001.) navode povećanje emisije CO, ali smanjenje emisije CO_2 i NO_x kao što je i slučaj u ovome radu. Uz prethodno naveden utjecaj viskoznosti na izgaranje goriva, potrebno je pažnju posvetiti i na temperaturu goriva tokom ubrizgavanja

kako navodi Arapatsakos (2012.) zbog toga što manja temperatura goriva znači i veću viskoznost i obratno, a time dolazi do smanjenja izgaranja, odnosno do poboljšanja izgaranja u slučaju više temperature goriva. Također, navodi se kako emisija CO opada s porast temperature goriva, emisija HC raste s porastom temperature goriva, a emisija NO_x pokazuje rast nakon što temperatura goriva prijeđe 30°C što može značiti da su isto dogodilo provedenim istraživanjem.

Dobiveni rezultati ovim radom pokazuju povećanje emisije ugljikovog monoksida (CO) pri maksimalnom opterećenju odnosno maksimalnoj efektivnoj snazi motora, ali pad emisije u svim točkama mjerenja pri opterećenju motora do maksimalnog momenta gdje su izmjerene najmanje vrijednosti emisije CO, to jest došlo je do pada od 11,10% koristeći dizel na 10,47% dodatkom 20% sojinog ulja dizel gorivu. Emisija CO_2 također pokazuje smanjenje s dodatkom sojinog ulja naspram dizel goriva u svim točkama mjerenja, a ponajviše pri maksimalnoj efektivnoj snazi motora gdje je dizelom dobivena emisija pala s 12,23% na 9,50%. Najveće razlike dobivene su mjerenjem dušikovih oksida (NO_x) gdje dolazi do povećanja emisije dodatkom sojinog ulja kod maksimalnog opterećenja, odnosno točkama efektivne snage i maksimalnog momenta gdje je najveća emisija izmjerena kod maksimalnog momenta gdje dolazi do povećanja od 1601 ppm koristeći dizel na 2000,33 ppm koristeći S20 gorivo. Govoreći o emisiji ugljikovodika (HC) pri točkama do maksimalnog momenta dolazi do povećanja emisije dodatkom sojinog ulja pri čemu je najveća emisija korištenjem S5 i S10 goriva.

6 Zaključak

Temeljem rezultata istraživanja utjecaja korištenja umješavanja sojinog degumiranog ulja u dizelsko gorivo na tehničke karakteristike motora i emisiju ispušnih plinova obavljena je statistička analiza podataka vezanih uz snagu, zakretni moment i potrošnju goriva, ali i emisiju štetnih ispušnih plinova poput CO, CO_2, HC i NO_x. Iz navedenog mogu se donijeti slijedeći zaključci:

- Utjecaj korištenja sojinog ulja na snagu motora pokazalo je povećanje snage motora. Prosječno najbolji rezultat ostvaren je korištenjem S10 goriva, a najlošiji korištenjem dizel goriva pri čemu je došlo do povećanja snage motora za 1,81%.
- Korištenjem 10% sojinog ulja također je ostvaren najbolji prosječni rezultat pri mjerenju maksimalnog zakretnog momenta u odnosu na najlošiji rezultat ostvaren korištenjem dizel goriva. Utvrđeno je povećanje zakretnog momenta od 2,04% u odnosu na dizel gorivo.
- Utrošak energije, odnosno satna i specifična potrošnja goriva također idu u prilog dodatku sojinog ulja. Utvrđeno je smanjenje potrošnje goriva koristeći S5 gorivo koji je ujedno ostvarilo i najbolji rezultat. Navedeno smanjenje satne potrošnje goriva iznosi 3%, a specifične potrošnje 7,43% u odnosu na dizel gorivo.
- Emisija CO prikazuje povećanje emisije pri korištenju sojinog ulja, ali samo pri točkama do efektivne snage motora gdje je došlo do povećanja od 29,4% pri točki maksimalnog opterećenja korištenjem S% goriva u odnosu na dizel gorivo. No, u drugom slučaju pri točkama do maksimalnog momenta utvrđeno je smanjenje emisije u svim točkama mjerenja, a pri maksimalnom opterećenju utvrđeno je smanjenje od 24,21% korištenjem dizel goriva u odnosu na S20 gorivo.
- Emisija CO_2 prikazuje najmanje razlike pri mjerenju koje se javljaju tek pri maksimalnom opterećenju motora. Tako je, pri maksimalnom opterećenju motora kod efektivne snage ostvareno smanjenje emisije korištenjem S20 goriva u odnosu na dizel gorivo i to za 22,32%, dok pri mjerenju maksimalnog zakretnog momenta dolazi do smanjenja emisije u svim točkama mjerenja koristeći dizel gorivo.
- Utvrđeno je povećanje emisije HC pri korištenju 20% sojinog ulja pri mjerenju do točke maksimalne snage u svim točkama mjerenja, dok korištenjem 5 i 10% ulja došlo do smanjenja emisije HC. Pri mjerenju u točkama do maksimalnog momenta utvrđeno je povećanje emisije HC u gotovo svim točkama mjerenja kao rezultat dodatka sojinog ulja.
- Emisija NO_x pokazuje povećanje pri točkama maksimalnog opterećenja kod efektivne snage i maksimalnog momenta gdje je dizel imao najmanju emisiju, a S20 gorivo najveću emisiju dušikovih oksida.

Iz prethodno navedenog može se uvidjeti mogućnost korištenja sojinog ulja kao dodatak dizelskom gorivu pošto su rezultati tehničkih karakteristika motora pokazali da ne postoji značajna razlika između dizel goriva i goriva s 5, 10 i 20 % sojinog ulja. No, ipak pri mjerenju emisije štetnih plinova dolazi do značajnih razlika između dizel goriva i goriva s dodatkom sojinog ulja, ali koji bi se mogli riješiti uz dodatak određenih aditiva koji se već danas koriste za smanjenje emisije štetnih ispušnih plinova.

7 Literatura

1. Altin R., Cetinkaya S., Yucesu H.S. (2001). The potential of using vegetable oil fuels as fuel for diesel engines. Karabuk Tehnical Education Faculty, Karaelmas Univesrity, Turkey. 533-537.
2. Arapatsakos C., Moschou M., Sakalidou F. (2012). The Soy Oil Behavior on Diesel Engine. Department of Production and Managment Engineering, Democritus University of Thrace, Greece, 175-181.
3. Bacon D.M., Brear I.D., Walker K.L. (1981). The use of vegetable oil sin straight and modified form as diesel engine fuels. Beyond the Energy Crisis—Oppotunity and Challenge Volume III. Third International Conference on Energy Use Managment, Berlin.
4. Bruwer J.J., Bushoff B.D., Hugo F.J.C., DuPlessis L.M., Fuls J., Hawkins C., VanderWalt A.N., Engelbert A. (1981). The Utilization of sunflower seed oils as renewable fuel diesel engine. In Agricultural Enegry, Vol. 2, Biomass Energy/Crop Production, ASAE Publication, ST. Joseph. 4-81.
5. Engelman H.W., Guenther D.A., Silvis T.W. (1978). Vegetable oil as a diesel fuel. Diesel & Gas Engine Power Division of ASME Paper Number 78-DGP-19., New York
6. Goering C.E., Schwab A.W., Daugherty M.J., Pryde E.H., Heakin A.J. (1981). Fuel properties of eleven vegetable oils. ASAE Paper Number 81-3579., ST. Joseph
7. Golubić J. (1999). Promet i okoliš. Fakultet prometnih znanosti
8. Haldar S.K., Ghosh B.B., Nag A. (2009). Studies of the comparasion of performance and emission characteristics of diesel engine using three degummed non-edible vegetable oils. Department of Chemistry, Department of Mechanical Engineering, Kharagpur India. 1013-1018.
9. Jakovljević I., Žužul S. (2011). Policiklički aromatski ugljikovodici u zraku. Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada, Zagreb. 357-370.
10. Katić Z. (1997). Sušenje i sušare u poljoprivredi, Multigraf, Zagreb, Hrvatska
11. Kiš D., Sučić B., Šumanovac L., Antunović M. (2013). Energetska i fertilizacijska vrijednost žetvenih ostataka soje. Sveučilište J.J. Strossmayer, Poljoprivredni fakultet u Osijeku.
12. Koronc Z., Filipović D., Fabijanić G. (2018). Karakteristike traktorskog dizel motora s direktnim ubrizgavanjem pri korištenju različitih vrsta dizelskog goriva. 46 Symposium „Actual Tasks on Agricultural Engineering“ Opatija, 117-126.
13. Kuskunović M. (2019). Zažto izvozimo našu non GMO soju na čijoj bi preradi mogli zarađivati ogromne novce. Agrobiz. 1-10.
14. McCutchen R. (1981). Vegetable oil as a diesel fuel-soybean oil. Beyond the Energy Crisis—Oppotunity and Challenge Volume III. Third International Conference on Energy Use Managment, Berlin.
15. Misra R.D., murthy M.S. (2010). Straight vegetables oil usage in compression ignition engine. Mechanical Engineering Department, National Institute of Technology, India. 3005-30013.
16. Mulalić N. (1978). Proizvodnja i prerada soje. NIRO Zadrugar, Sarajevo. 1-15.
17. Pereira R.G., Tulcan O.E.P., Lameira V.J., Filho D.M.E.S., Andrade E.T. (2011). Use of Soybean Oil in Energy Generation. Fkuimenense Federal University, Bogota. 303-318.
18. Pirira I. (1987). metode i tehnička ispitivanja poljoprivrednih strojeva. Fakultet poljoprivrednih znanosti, Zagreb.

19. Poplašen D. (2016). Ugljični monoksid i posljedice izloženosti. Sigurnost 58, Zagreb 79-81.
20. Pryor R.W., Hanna M.A., Schinstock J.L., Bashford L.L. (1983). Soybean oil fuel in small diesel engine. Transactions of the ASAE 26(2). 333-337.
21. Romac G., Belamarić M, Šoštarec D., Ivičić I. (2012). Tehničko – tehnološko rješenje postojećeg postrojenja Sojara d.d. . Hrvatski centar za čistiju proizvodnju. 4-13.
22. Schlick M.L., Hanna M.A., Schinstock J.L. (1988). Soybean and Sunflower Oil Performance in Diesel Engine. American Society of Agricultural Engineers. 1346-1348.
23. Seddon R.H. (1942). Vegetable oil sin commercial vehicles. Gas and Oil Power. 136-146.
24. Wagner E.P., Lambert P.D., Moyle T.M., Koehle M.A. (2013). Diesel vehicle performance on unaltered waste soybean oil blended with petroleum fuels. University of Pittsburg, Department of Chemistry, Pittsburg. 760-764.
25. Wiedermann L.H. (1981). Degumming, Refining and Bleaching Soybean Oil. Lincon St., Des Plaines IL 60018. 159-165.

Internet poveznice:

http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC

https://www.abcmach.com/solvent-extraction-machinery/oil-extraction-machine.html

Životopis

Karlo Špelić rođen je u Zagrebu, 13. kolovoza 1996., a živi u mjestu Deanovec. Pohađao je Gimnaziju u srednjoj školi Ivan Švear u Ivanić-Gradu, a 2015. godine upisao je Agronomski fakultet u Zagrebu s usmjerenjem Poljoprivredna tehnika gdje je prve 3 godine studija završio s prosjekom ocjena 4,2 i završnim radom na temu Elektroničko-hidraulička regulacija trozglobne poteznice traktora. Kasnije je odlučio upisati diplomski studij Poljoprivredna tehnika – Mehanizacija.

Tijekom studiranja bio je član Mehanizatorske grupe koja ima za svrhu izdvojiti iznadprosječne studente i dodatno ih obrazovati u praktičnom i teoretskom dijelu. Također sam tri puta sudjelovao na „ATAE“ simpoziju (Actual tasks on Agricultural Engineering), okruglom stolu s temom „Budućnost poljoprivredne mehanizacije u RH“ kao i posjet hrvatskim tvrtkama koje proizvode i prodaju poljoprivrednu mehanizaciju. Kroz studiranje dobitnik je tri stipendije za izvrsnost, dvije od grada Ivanić-Grada te jedne „STEM“ stipendije.

Naučeno znanje na fakultetu prenosi na poslovanje vlastitog OPG-a koje ostvaruje kvalitetnije rezultate u smislu proizvodnje i poslovanja. Za potrebe OPG-a izradio je i poslovne projekte za EU fondove ruralnog razvoja koji su pozitivno ocjenjeni.