

ŠOLSKI CENTER NOVO MESTO

Srednja elektro šola in tehniška gimnazija



**Pogon dvotaktnega in štiritaktnega motorja z doma  
izdelanim bioetanolom**

Raziskovalno področje: Strojništvo

Raziskovalna naloga

Avtorji: Lara Kalin

Jan Kastelec

Jakob Auersperger

Mentorji: Goran Pešić, univ. dipl. inž.

dr. Kostja Makarovič, univ. dipl. kem.

Novo mesto, 2023



# KAZALO VSEBINE

1	ZAHVALA .....	4
2	POVZETEK.....	5
3	ABSTRACT.....	6
4	UVOD.....	7
5	TEORETIČNI DEL .....	8
5.1	OKOLJSKA PROBLEMATIKA 21. STOLETJA .....	8
5.2	BIOGORIVA .....	8
5.2.1	GENERACIJE BIOGORIV .....	9
5.3	SINTETIČNA GORIVA.....	11
5.4	BIOETANOL KOT BIOGORIVO.....	12
5.4.1	FIZIKALNE IN KEMIJSKE LASTNOSTI .....	12
5.4.2	SUROVINE ZA PROIZVODNJO.....	13
5.4.3	SVETOVNA PROIZVODNJA .....	14
5.5	BIOETANOL IZ KROMPIRJA .....	15
5.6	BIOETANOL IZ ODPADNE HRANE.....	16
5.7	DESTILACIJA .....	16
5.8	UPORABA BIOETANOLA.....	17
5.9	DELOVANJE MOTORJEV.....	18
5.9.1	ŠTIRITAKTNI MOTOR.....	18
5.9.2	DVOTAKTNI MOTOR .....	18
6	EKSPERIMENTALNI DEL .....	19
6.1	CILJI NALOGE .....	19
6.2	HIPOTEZE .....	19
6.3	OPIS PRIPOMOČKOV .....	19
6.3.1	FERMENTACIJSKA APARATURA.....	19
6.3.2	DESTILACIJSKA APARATURA.....	21
6.3.3	KLASIČNA DESTILACIJA.....	23
6.4	REZULTATI EKSPERIMENTOV Z INTERPRETACIJO .....	24
6.4.1	PROIZVODNJA ETANOLA IZ KROMPIRJA (prvi poskus) .....	24
6.4.2	PROIZVODNJA ETANOLA IZ KROMPIRJA (drugi poskus) .....	28
6.4.3	PROIZVODNJA ETANOLA IZ ODPADNE HRANE (tretji poskus) .....	34
6.5	UPORABA PROIZVEDENEGA ETANOLA V MOTORJIH NA NOTRANJE IZGOREVANJE	39

6.5.1	UPORABA V DVOTAKTNEM MOTORJU .....	39
6.5.2	UPORABA V ŠTIRITAKTNEM MOTORJU.....	41
7	RAZPRAVA .....	42
8	ZAKLJUČEK.....	44
9	BIBLIOGRAFIJA.....	45

## KAZALO SLIK

Slika 1:	Generacije biogoriv.....	10
Slika 2:	Shema GTL procesa.....	11
Slika 3:	Svetovna proizvodnja bioetanola .....	14
Slika 4:	Plinomer s fermentacijsko posodo v ozadju.....	19
Slika 5:	Elektronska vezja. ....	20
Slika 6:	Doma narejena destilacijska aparatura. ....	21
Slika 7:	Zaslon merilnika temperature. ....	21
Slika 8:	Doma narejen destilacijski hladilnik. ....	22
Slika 9:	Laboratorijska destilacijska aparatura. ....	23
Slika 10:	Kuhanje krompirja. ....	24
Slika 11:	Uporabljeni encimi, kvasovke in vrelna sol. ....	24
Slika		12:
Refraktometer.....		22
Slika 13:	Prikazane vrednosti refraktometra. ....	25
Slika 14:	Potopni aerometer. ....	26
Slika 15:	Destilat - nanga.....	26
Slika 16:	Reakcijska posoda po fermentaciji. ....	27
Slika 17:	Dodajanje encimov krompirju. ....	28
Slika 18:	Pripravljene kvasovke. ....	29
Slika 19:	Zabeleženi dvigi plinomera.....	29
Slika 20:	Pokrov fermentacijske posode .....	32
Slika 21:	Pršilka z dvotaktnim motorjem. ....	39
Slika 22:	Primer ne mešanja neestrskeih olj in etanola .....	40
Slika	23:	Štiritaktni
motor.....		38
Slika 24:	Štiritaktni motor z odstranjeno glavo.....	41

## KAZALO TABEL

Tabela 1:	Količina bioetanola iz različnih rastlin, pridelanih na ha obdelovalne površine.....	13
Tabela 2:	Primerjava kemikske sestave krompirjevih gomoljev, krompirjeve moke in krompirjeve lupine .....	15
Tabela 3:	Delovanje motorjev glede na odstotek alkohola v gorivu. ....	39

## KAZALO ENAČB

Enačba 1: Izmerjena prostornina ogljikovega dioksida.....	20
Enačba 2: Izmerjena prostornina ogljikovega dioksida.....	30
Enačba 3: Izračun prostornine bata.....	31
Enačba 4: Alkoholno vrenje.....	31
Enačba 5: Masa etanola.....	31
Enačba 6: Alkoholno vrenje.....	32
Enačba 7: Masa pretvorjene glukoze.....	32
Enačba 8: Hidroliza škroba.....	32
Enačba 9: Masa pretvorjenega škroba.....	32
Enačba 10: Teoretična prostornina ogljikovega dioksida.....	35
Enačba 11: Volumen ogljikovega dioksida z upoštevanjem puščanja.....	35
Enačba 12: Alkoholno vrenje.....	37
Enačba 13: Masa glukoze.....	37
Enačba 14: Hidroliza škroba.....	38
Enačba 15: Masa škroba.....	38

## KAZALO GRAFOV

Graf 1: Graf aktivnosti alkoholnega vrenja.....	30
Graf 2: Graf volumna ogljikovega dioksida brez puščanja.....	36
Graf 3: Volumen ogljikovega dioksida s puščanjem.....	36
Graf 4: Primerjava volumna ogljikovega dioksida s puščanjem in brez puščanja.....	37

## PREGLED UPORABLJENIH SIMBOLOV

V - prostornina

N – število ponovitev

r – polmer

l – dolžina

m – masa

M – molska masa

δ – gostota

t – čas

Q - volumenski pretok

## 1 ZAHVALA

Največja zahvala gre mentorjem dr. Kostji Makaroviču in profesorju Goranu Pešiću, ki sta nam raziskovanje približala na tak način, da smo ga še bolj vzljubili. Hvala vam za pomoč in spodbudo.

Prav tako se zahvaljujemo šolski laborantki Ireni Kernc Peterle, brez katere bi naše eksperimentalno delo trajalo občutno dlje, saj je pozorno spremljala potek različnih eksperimentalnih procesov.

Zahvaljujemo se Marku Pavlinu, ki nam je omogočil dostop do digitalnih senzorjev in omrežja LoRaWAN.

Velika zahvala gre tudi Šolskemu centru Novo mesto, ki je z denarnimi sredstvi pripomogla, da smo svojo raziskovalno nalogu izvedli tudi eksperimentalno. To pa nam ne bi uspelo tudi brez nosilcev projekta SciDrom, ki so nam omogočili izvedbo eksperimenta v njihovih prostorih.

Zahvaljujemo se tudi profesorici Tini Cvijanović, ki je lektorirala raziskovalno nalogu.

Posebna zahvala velja našim staršem, ki nas spodbujajo in podpirajo že od začetka naše raziskovalne poti.

## 2 POVZETEK

Goriva sintetizirana iz biomase rastlinskega ali živalskega izvora imenujemo biogoriva. Biogoriva so nefosilna in trajnostna goriva, med katere uvrščamo tudi bioetanol. Proizvedemo ga iz škroba ali lignoceluloze. Prednosti bioetanola pred fosilnimi gorivi so višje oktansko število, manjša raven trdnih delcev v izpustih, ogljična nevtralnost, cenejša proizvodnja, možnost domače izdelave in do 90 % manj emisij plinov tople grede.

V tej raziskovalni nalogi smo za vir biomase za sintezo bioetanola uporabili krompir in odpadno hrano. Uporabljeni metode dela so bile encimska hidroliza, alkoholno vrenje ter destilacija. Produkt encimske hidrolize so bili enostavni sladkorji, iz katerih smo z alkoholnim vrenjem proizvedli mešanico bioetanola in vode. Da smo dobili želeno 90 % koncentracijo bioetanola, smo izvedli destilacijo.

Po sintezi bioetanola smo z njim poganjali štiritakten motor kosilnice in dvotakten motor pršilke. S preizkušanjem različnih razmerij bioetanola in bencina smo prišli do zaključka, da je sintetizirani bioetanol primerna zamenjava bencinu v štiritaktnem in dvotaktnem motorju. Preizkušali smo tudi uporabo različnih vrst olj za podmazovanje, ki so posebej pomembna za delovanje dvotaktnih motorjev. Raziskali smo prednosti in težave, ki jih predstavlja uporaba bioetanola namesto konvencionalnih fosilnih goriv.

**KLJUČNE BESEDE:** bioetanol, fermentacija, encimi, dvotaktni motor, štiritaktni motor, olje.

### 3 ABSTRACT

Fuels synthesized from biomass of plant or animal origin are called biofuels. Biofuels are non-fossil and sustainable fuels, which include bioethanol. It is produced from starch or lignocellulose. The advantages of bioethanol over fossil fuels are higher octane number, lower levels of solid particles in emissions, carbon neutrality, cheaper production, the possibility of domestic production, and up to 90 % lower greenhouse gas emissions.

In this research task, we used potato and food waste as a source of biomass for bioethanol synthesis. The methods used were enzymatic hydrolysis, alcohol fermentation and distillation. The product of enzymatic hydrolysis were simple sugars, from which we produced a mixture of bioethanol and water by alcohol fermentation. To obtain the desired 90% concentration of bioethanol, we performed distillation.

After bioethanol synthesis, we used it to power a four-stroke lawnmower engine and a two-stroke sprayer engine. By testing different ratios of bioethanol and gasoline, we concluded that the synthesized bioethanol is a suitable replacement for gasoline in both four-stroke and two-stroke engines. We also tested the use of different types of oils for lubrication, which are particularly important for the operation of two-stroke engines. We explored the advantages and challenges of using bioethanol instead of conventional fossil fuels.

KEYWORDS: bioethanol, fermentation, enzymes, two-stroke engine, four-stroke engine, oil.

## 4 UVOD

Začetek 21. stoletja je zaznamovalo globalno segrevanje. Eden izmed vzrokov za to so fosilna goriva. Njihovo obnavljanje traja milijone let, zato jih uvrščamo med neobnovljive vire. Povpraševanje po njih vsako leto narašča za 1,6 %. Po podatkih Mednarodne agencije za energijo (IEA) kar 80 % svetovne energije nastane s fosilnimi gorivi. V zadnjih letih večina razvitih držav uporablja več kot 90 % neobnovljivih goriv za proizvodnjo energije.

Toplogredni plin ogljikov dioksid in njegova koncentracija je domnevno povezana z gorenjem fosilnih goriv. Med zgorevanjem fosilnih goriv nastaja približno 73 % ogljikovega dioksida. Nekateri znanstveniki trdijo, da je posledica višjih koncentracij tudi višja temperatura in s tem manjša topnost tega plina v oceanih ter večja hitrost gnitja biomase na prej poledenelih območjih. Vendar v resnici za to ni edini krivec ogljikov dioksid, temveč tudi metan, žveplov dioksid in drugi toplogredni plini. (Mostofa, 2019)

Zanimalo nas je, kako bi lahko na enostaven, okolju prijazen in samooskrben način pridobili gorivo, ki bi poganjalo tako prevozna sredstva kot tudi vrtne pripomočke in druge stroje. Z motorji z notranjim izgorevanjem, ki bi uporabljali biogoriva zmanjšamo emisije trdnih delcev in poskrbimo za obnovljiv vir goriva. Poleg tega je motorje z notranjim izgorevanjem mogoče reciklirati veliko lažje kot katerekoli druge naprave (npr. sončne celice, gorivne celice, akumulatorje, elektronska vezja), ki uporabljajo obnovljive vire energije.

To nas je pripeljalo do ideje, da bi izdelali lasten sistem za proizvodnjo goriva, pri čemer smo uporabili različne postopke izdelave in inovativne meritve sisteme, ki smo jih izdelali sami.

## 5 TEORETIČNI DEL

### 5.1 OKOLJSKA PROBLEMATIKA 21. STOLETJA

Izgorevanje fosilnih goriv, kot so premog, nafta in zemeljski plin, se je začelo v času prve industrijske revolucije in od takrat imajo tovrstna goriva ključno vlogo pri globalni energetski oskrbi. Zaradi povečane industrializacije, populacije in urbanizacije je prišlo do večje potrebe po fosilnih gorivih in virih energije nasploh. Fosilna goriva so neobnovljiv vir energije, kar pomeni, da se količinsko zmanjšujejo. To lahko privede do njihovega izčrpanja, kar bi v bodočnosti pogojevalo iskanje novih virov, s katerimi bi energetsko oskrbovali cel svet. Z okoljskega vidika pa imajo fosilna goriva še eno ključno pomanjkljivost, saj povzročajo emisije toplogrednih plinov in s tem prispevajo k globalnemu segrevanju. Potencialna rešitev okoljske problematike 21. stoletja je nadomeščanje teh neobnovljivih virov energije z obnovljivimi. Poleg sončne, vetrne, hidro in geotermalne energije sem spadajo tudi biogoriva in sintetična goriva. Zelena sintetična goriva so goriva, proizvedena na kemijski način iz osnovnih kemijskih surovin, pridobljenih iz obnovljivih virov z uporabo zelene energije. Poznamo tudi rdeča sintetična goriva, kjer sintetično gorivo sintetiziramo iz fosilnih goriv. Na primer iz premoga dizelsko gorivo ali iz lesa lesni plin. (Khan, in drugi, 2021)

### 5.2 BIOGORIVA

Biogoriva so nefosilna goriva, proizvedena iz organske snovi rastlinskega ali živalskega izvora, kar imenujemo biomasa. Primeri biomase so gozdni ostanki, poljščine, kmetijski odpadki (kompost), živalski odpadki, vodne rastline, hitro rastoča drevesa, komunalni in industrijski odpad itd. (Bauen, Berndes, Junginger, Londo, & Vuille, 2012) Najdemo jih v plinastem, trdnem ali tekočem agregatnem stanju, najboljša alternativa pa so tekoča biogoriva, ki se uporablja za pogonsko gorivo v avtomobilski industriji in pomagajo dekarbonizirati vpliv prometa. Goriva v tekočem agregatnem stanju so zanimiva predvsem zato, ker imajo veliko gostoto energije na volumen ter jih je lahko skladiščiti in točiti. Med vsemi biogorivi je trenutno najbolj globalno v uporabi bioetanol, ki predstavlja približno 80 % uporabe vseh tekočih biogoriv. (Khan, in drugi, 2021)

## 5.2.1 GENERACIJE BIOGORIV

Biogoriva so glede surovin za njihovo proizvodnjo, razvrščena v štiri generacije. Namen vsake generacije biogoriv je izpolnjevati svetovno povpraševanje po energiji, hkrati pa zmanjšati vplive na okolje.

### 5.2.1.1 PRVA GENERACIJA

Prva generacija biogoriv je proizvedena s fermentacijo biomase, ki vsebuje veliko škroba (npr. pšenica, koruza, krompir, riž) oziroma sladkorja (npr. sladkorni trs, sladkorna pesa, sladki sirek) na podlagi uveljavljenih in poznanih tehnoloških procesov, kot so fermentacija, destilacija in transesterifikacija. Glavna goriva prve generacije so bioetanol, biodizel in biometan (bioplín), ki se pridobiva z anaerobno razgradnjo biomase. (Khan, in drugi, 2021) Ta generacija je edina, ki se trenutno proizvaja v večjem obsegu in se uporablja za komercialne namene. Vendar pa je zaradi uporabe užitne biomase sporna, saj se zaradi povečane potrebe po surovinah zvišuje tudi cena hrane. (Sims, Taylor, Saddler, & Mabee, 2008)

### 5.2.1.2 DRUGA GENERACIJA

Druga generacija biogoriv se je razvila prav zaradi dvigovanja cen živil ter potrebe po večji energetski oskrbi in zmanjšanju toplogrednih plinov v ozračju. Pridobljena je iz lignocelulozne biomase, ki vsebuje kombinacijo lignina, celuloze in hemiceluloze. (Lee & Lavoie, 2013) To so lahko celotni deli rastlin, kot so listi, steblo, lubje, vključujejo lesno biomaso (žagovina, sekanci), različne vrste trav in agav, kmetijske odpadke (npr. riževa slama, koruzna slama), organske odpadke, gozdne in lesne odpadke. (Vasić, Knez, & Leitgeb, 2021) Tovrstno biomaso je mogoče že s sežiganjem izkoriščati za energijo, vendar imajo večji potencial tekoča biogoriva. Čeprav uporaba surovin proizvodnji hrane neposredno ne konkurira, pa surovine zahtevajo naprednejše tehnologije za proizvodnjo biogoriv, zato se druga generacija še ni komercialno uveljavila in se še vedno izboljšuje. (Porqueras, Rittman, & Herwig, 2012)

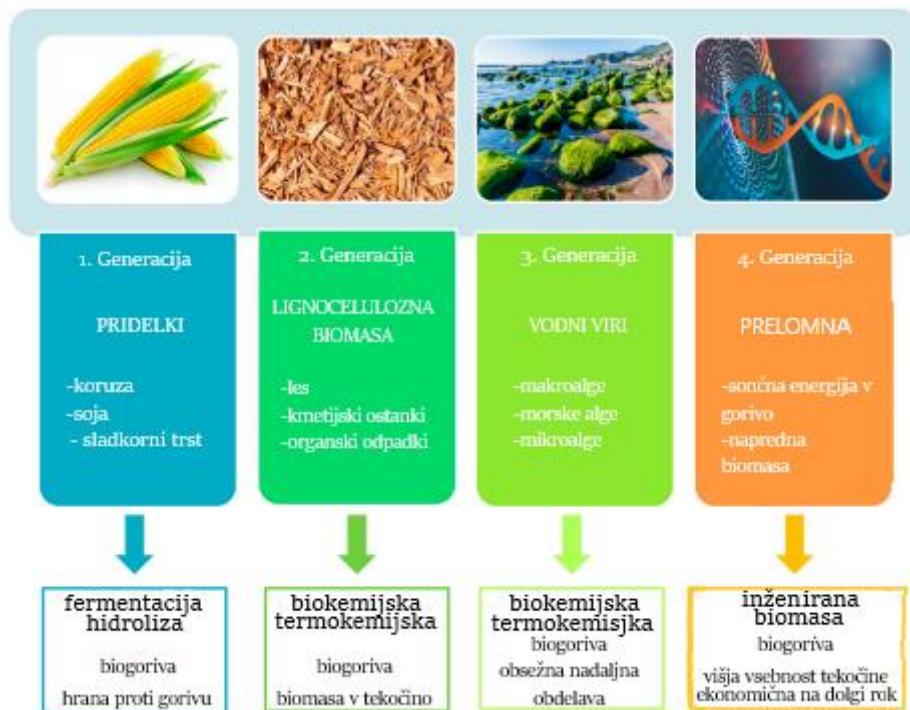
### 5.2.1.3 TRETA GENERACIJA

Biogoriva tretje generacije so proizvedena iz biomase alg. Uporaba alg za proizvodnjo biogoriv je koristna, saj lahko alge hitro absorbirajo ogljikov dioksid, se zlahka gojijo, ne vsebujejo lignina, rastejo hitro in potrebujejo manj zemlje kot kopenske rastline, vendar za rast zahtevajo velike količine vode in hranil. (Tse, Wiens, & Reaney, 2021) Vzgajajo jih v odprtih bazenih ali zaprtih fotobioreaktorjih, ki pa proizvajalcem predstavljajo velik strošek. (Lee & Lavoie, 2013) Poleg tega so alge zelo občutljive na temperaturna nihanja, slanost in kontaminacijo ter vsebujejo lipide, ki otežujejo procese proizvodnje biogoriv. Z namenom, da bi se tovrstna biogoriva komercialno uveljavila, še potekajo raziskave o vrstah alg, ki bi najbolj ustrezale pogojem proizvodnje. (Bibi, in drugi, 2017)

#### 5.2.1.4 ČETRTA GENERACIJA

Popolnoma nova in še razvijajoča se je četrta generacija biogoriv, ki temelji na gensko spremenjenih organizmih (npr. kvasovkah, bakterijah in algah) v kombinaciji z izboljšanimi metodami fermentacije, kot je biomasa z nizko vsebnostjo lignina in celuloze. (Tse, Wiens, & Reaney, 2021)

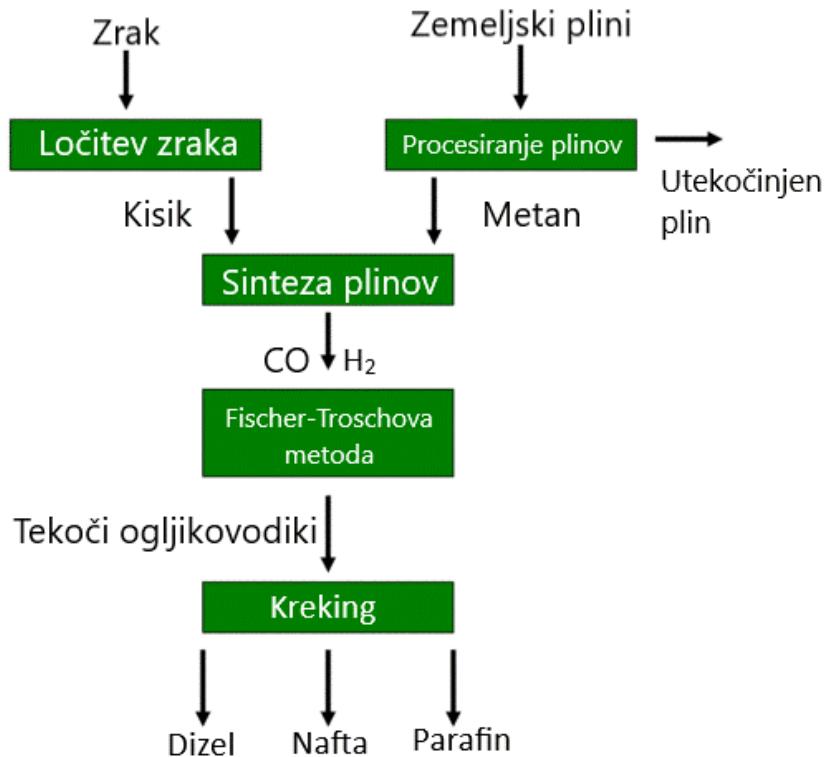
Vsaka od generacij ima svoje prednosti in slabosti. Prva generacija ima najvišjo proizvodnjo biogoriv in energetsko učinkovitost, vendar je manj učinkovita pri zmanjšanju emisij toplogrednih plinov. Te vrednosti so najnižje pri tretji generaci, katere proizvodnja pa je ekonomično potratnejša. (Aron, in drugi, 2020)



Slika 1: Generacije biogoriv. Vir: (Vasić, Knez, & Leitgeb, 2021).

### 5.3 SINTETIČNA GORIVA

Poleg biogoriv poznamo tudi sintetična goriva. Razlika med njimi in fosilnimi gorivi je v njihovi predelavi, fosilna goriva se izdelujejo s frakcijsko destilacijo, sintetična pa z kemijsko sintezo. Njihova največja prednost je, da za njihovo proizvodnjo ne potrebujemo biomase, za katero potrebuje velike kmetijske površine, ki bi jih lahko porabili za pridelavo hrane. Sintetična goriva izdelujemo iz mešanice vodika in ogljikovega dioksida, ki jih nato z Fischer-Tropschovo metodo pretvorimo v tekoča goriva.



Slika 2: Shema GTL procesa. Vir: (Kaneko, 2001).

V večini primerov surovine za sintetična goriva pridobimo iz fosilnih virov kot so premog in zemeljski plin, kar ni ekološko. S sodobno tehnologijo lahko surovine pridobimo na bolj okolju prijazen način. Najnovejši primer uporabe sodobnih metod je obrat za proizvodnjo sintetičnih goriv v Chilu, ki je v lasti avtomobilskega giganta Porscheja. Vodik pridobivajo z elektrolizo vode, ogljikov dioksid pa črpajo direktno iz zraka ter tako močno znižajo ogljični odtis. Energija potrebna za proces pa izvira iz obnovljivih virov. Nato združijo ogljikov dioksid in vodik v metanol, tega pa z uporabo MTG (methanol to gasoline) procesa pretvorijo v gorivo, ki je po svojih lastnostih podobno bencinu, ki se ga lahko uporablja v motorjih na notranje izgorevanje. (H. König, 2015)

## 5.4 BIOETANOL KOT BIOGORIVO

Bioetanol je mogoče proizvajati tako iz škrobne oziroma biomase na osnovi čistih sladkorjev kot tudi iz lignocelulozne biomase z biološkimi metodami in je eno izmed najbolj uveljavljenih biogoriv. Večinoma se uporablja kot dodatek bencinu, vse pogosteje pa se uporablja tudi čisti etanol. (Karimi & Chisti, 2017)

Bioetanol velja za trajnostno, obnovljivo in okolju prijazno gorivo, kar lahko pojasnimo s kroženjem ogljika. Ogljik se v naravi nahaja v različnih oblikah, rastline pa ga potrebujejo v obliki ogljikovega dioksida, ki ga med procesom fotosinteze s pomočjo svetlobne energije pretvorijo v sladkor, ki predstavlja vir ogljika za fermentacijske mikroorganizme. Ogljik se že med fermentacijo izloča v obliki ogljikovega dioksida, vendar ga nekaj ostane tudi v samem etanolu. Med njegovim zgorevanjem se zopet v okolje sprošča ogljikov dioksid, ki se reciklira nazaj v zelene dele rastlin. (Mostofa, 2019)

V primerjavi s fosilnimi gorivi ima bioetanol številne prednosti:

- ima višje oktansko število, kar izboljša zgorevanje goriva;
- zmanjšuje raven trdnih delcev, ki ogrožajo naše zdravje;
- je podoben bencinu, zato za njegovo uporabo v prometu ni potrebno bistveno spremniti motorja, problematične so predvsem cevi in gumijasti deli v motorju, ki niso narejene za uporabo etanola;
- je obnovljivo gorivo, saj biosinteza etanola (rast rastlin, iz katerih izdelamo bioetanol) porabi enako količino ogljika, kot se sprosti pri njegovem gorenju;
- ima nižjo cenovno proizvodnjo kot fosilna goriva;
- je okolju veliko prijaznejše gorivo kot goriva iz naftnih derivatov, saj med drugim v zrak izpušča do 90 % manj toplogrednih plinov kot fosilna goriva (Lawson, 2017);
- lahko ga izdelamo doma;
- je topen v vodi, etrih, acetonu, benzenu in nekaterih drugih organskih topilih;
- ima funkcionalno skupino OH, zaradi katere se zlahka vključi v reakcije dehidracije, halogeniranja, tvorbe estrov in oksidacije. (Muhaji & Sutjahjo, 2018)

### 5.4.1 FIZIKALNE IN KEMIJSKE LASTNOSTI

Etanol ima kemijsko formulo  $C_2H_5OH$  in vsebuje hidroksilno skupino OH, značilno za alkohole. Pri normalnih pogojih je brezbarvna tekočina z vrelščem pri  $78,39\text{ }^{\circ}\text{C}$  in tališčem pri  $-114,15\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Pri  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$  ima gostoto  $789\text{ kg/m}^3$ . (Ritslaid, Küüt, & Olt, 2010) Gori s svetlomodrim plamenom in brez saj, kar so lastnosti idealnega goriva. Zelo dobro se meša z vodo, kar sicer negativno vpliva na delovanje motorja in z večino organskimi snovmi. (Lawson, 2017)

#### 5.4.2 SUROVINE ZA PROIZVODNJO

Za proizvodnjo bioetanola uporabljamo rastline, ki vsebujejo ogljikove hidrate (enostavne sladkorje, škrob ali celulozo). To so lahko žitarice in druge poljedelske rastline, les, lesni odpadki in kmetijski ostanki. (Lawson, 2017) Bioetanol je lahko gorivo prve, druge ali tretje generacije, trenutno pa je skoraj ves bioetanol proizведен iz surovin prve generacije. Proizvodnja bioetanola druge in tretje generacije je še vedno v fazi raziskav, ker ta glede na sedanje stroške bencina in bioetanola ekonomično ni izvedljiva.

Danes se v največji meri uporablja koruza v ZDA in slatkorni trs v Braziliji. (Qiao & Lü, 2021)

Tabela 1: Količina bioetanola iz različnih rastlin, pridelanih na ha obdelovalne površine. Vir: (Lawson, 2017).

RASTLINA	PRIDELEK ton/ha/leto	KOLIČINA ETANOLA liter/tono	KOLIČINA ETANOLA liter/ha/leto
Slatkorni trs	50-90	70-90	3500-8000
Sladka koruza	45-80	60-80	1750-5300
Slatkorna pesa	15-50	90	1350-5500
Krmna pesa	100-200	90	4400-9350
Pšenica	4-6	340	1350-2050
Ječmen	2,7-5	250	675-1250
Riž	2,5-5	430	1075-2150
Koruza	1,7-5,4	360	600-1950
Sladki krompir	8-30	167	1330-5000

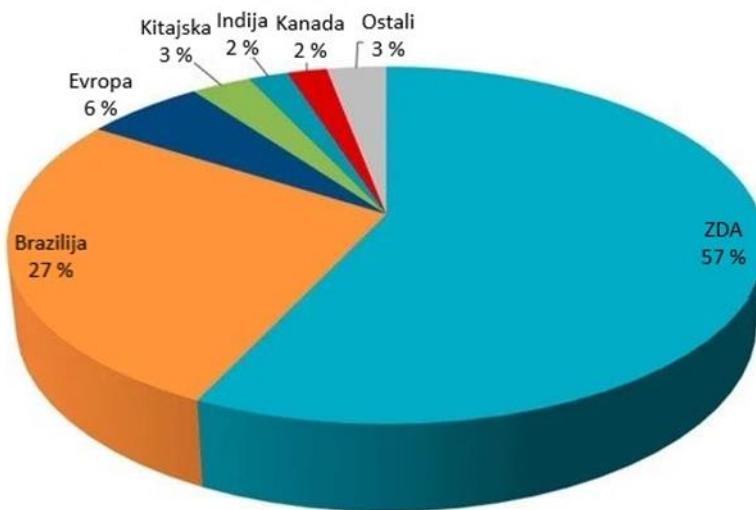
Najugodnejši vir biomase za proizvodnjo biogoriv mora biti lahko dostopen, rastlina mora proizvesti velik delež biomase s primerno kemijsko sestavo, pridelava pa mora biti ugodna. Ključnega pomena so visoke koncentracije ogljika in vodika ter minimalne koncentracije kisika, dušika in drugih organskih komponent. Smiselno je tudi, da industrija pri proizvodnji biogoriv, proizvaja čim manj odplak in emisij ogljikovega dioksida. (Mohapatra, Mishra, Behera, & Thatoi, 2017)

### 5.4.3 SVETOVNA PROIZVODNJA

Bioetanol je največji vir obnovljive energije v svetovnem prometu. Proizvodnja bioetanola po vsem svetu naj bi presegla 13 milijard litrov na leto. (Tse, Wiens, & Reaney, 2021)

Brazilija je druga največja svetovna proizvajalka bioetanola s skupno količino 32 000 milijonov litrov v letu 2019, kar predstavlja približno 30 % svetovne proizvodnje. Že večino svoje zgodovine velja za glavno proizvajalko sladkorja oziroma sladkornega trsa, katerega polovico porabijo za proizvodnjo bioetanola. Brazilija je tudi pionirka na področju uporabe etanola. Leta 2007 so že na skoraj vseh bencinskih črpalkah med gorivi ponujali tudi čisti etanol ter mešanice etanola in bencina. (Tabak, 2009)

Največje količine bioetanola na svetu proizvedejo ZDA. V letu 2019 je bilo proizvedenih 600 milijard litrov bioetanola, tam najbolj uporabljenata surovina pa je koruza. (Buckner, 2020)



Slika 3: Svetovna proizvodnja bioetanola. Vir: (Vasić, Knez, & Leitgeb, 2021).

## 5.5 BIOETANOL IZ KROMPIRJA

Krompir je drugo najbolj uporabljano živilo na svetu. Za pridobivanje bioetanola je krompir poceni surovina, ker vsebuje veliko škroba in zahteva manj predobdelave v primerjavi z drugimi poljščinami. (Khan, in drugi, 2012) V živilski industriji za pridelavo prigrizkov, pirejev in drugih izdelkov iz krompirja nastanejo ogromne količine odpadnih olupkov krompirja, kar proizvajalcem predstavlja resen problem. Ti odpadki pa so lahko odličen vir ogljikovih hidratov za fermentacijo, saj krompirjeva lupina vsebuje veliko škroba, celuloze, hemiceluloze in lignina (Ojewumi, in drugi, 2018), poleg tega pa ji pripisujejo tudi antioksidativno delovanje. (Yamada, Shinomiya, Ohba, Sekikawa, & Oda, 2009) Za proizvodnjo bioetanola uporabljajo tudi gnil in zeleno obarvan krompir, pa tudi popolnoma užiten krompir, ki pa ga zaradi višanja cen hrane in pomanjkanja ne uporablja v ta namen. (Mostofa, 2019)

Tabela 2: Primerjava kemijske sestave krompirjevih gomoljev, krompirjeve moke in krompirjeve lupine.  
Vir: (Mostofa, 2019).

	Sestava (%)		
	Krompirjevi gomolji	Krompirjeva moka	Krompirjeva lupina
Vlažnost	80,28	8,12	85,06
Škrob	20,00	73,00	52,14
Beljakovine	2,19	10,86	8,00
Surova vlakna	0,85	1,65	-
Pepel	0,65	2,15	6,34
Sladkorji	0,41	0,91	1,00
Maščobe	0,12	1,00	2,60

Surovine na osnovi enostavnih sladkorjev, kot je slatkorni trs, lahko fermentiramo direktno, medtem ko škrobne surovine, kot je krompir, predhodno potrebujejo pretvorbo v enostavne sladkorje. (Hashem & Darwish, 2010)

Proces, ki škrob razcepi na monosaharide, se imenuje hidroliza. Poznamo kislinsko in encimsko hidrolizo, obe pa imata svoje prednosti in slabosti. Nastanejo monomeri (glukoza), ki so potrebni za potek fermentacije. (Mostofa, 2019)

Za fermentacijo se zaradi cenovne ugodnosti najpogosteje uporabljajo kvasovke *Saccharomyces cerevisiae*, ki heksoze pod anaerobnimi pogoji pretvorijo v etanol (Izmirlioglu & Demirci, 2012).

## 5.6 BIOETANOL IZ ODPADNE HRANE

Po vsem svetu v enem letu odvržemo kar 1,3 milijarde ton živilskih izdelkov in po ocenah Organizacije združenih narodov za prehrano in kmetijstvo (FAO) bo ta številka v prihodnosti še naprej rastla. Največ odpadnih živil na leto proizvede Azija, natančneje Kitajska (82,8 milijonov ton), Indonezija (30,9 milijonov ton), Japonska (16,4 milijonov ton) in kot kaže, so te vrednosti večje v državah z visokimi dohodki.

Da bi zmanjšali vpliv živilskih odpadkov na okolje, se uporablajo metode izsuševanja, sežiganja, kompostiranja, anaerobne razgradnje ali pa se jih preprosto uporablja kot krmo za živali. (Trzcinski, 2017) V mnogih azijskih državah pa živilske odpadke še vedno odlagajo na odlagališčih skupaj z drugimi gospodinjskimi odpadki in predstavljajo največji delež trdnih komunalnih odpadkov na odlagališčih. Ta praksa odlaganja povzroča številne težave v javnem življenju z neprijetnim vonjem, onesnaževanjem zraka in izpiranjem (tam se množijo podgane in druge živali). Znano je, da odlagališča proizvajajo ogljikov dioksid, metan in druge toplogredne pline. Padavine povzročijo izpiranje nezaželenih snovi. Poleg tega odlagališča zavzemajo veliko prostora, zemljišča v metropolitanskih mestih pa so zelo draga. Da bi se izognili tem težavam, je recikliranje odpadne hrane nujno, kar pa je lahko odličen vir surovine za pridobivanje bioetanola. (Karmee, 2015)

Heterogena odpadna hrana običajno vsebuje ogljikove hidrate, lipide, aminokisline, fosfate, vitamine in druge vire ogljika. Sestava je odvisna od prehranjevalnih navad glede na populacijo, območje in letni čas.

Proces proizvodnje bioetanola iz odpadne hrane se začne s predobdelavo, ki zaradi tveganja razgradnje živilskih odpadkov ne sme biti topotna. Pogosto je za preprečevanje mikrobne kontaminacije potrebno tudi avtoklaviranje. Sledi hidroliza s kombinacijo encimov, ki je odvisna od sestave odpadne hrane. Hidrolizirani sladkorji so potem podvrženi fermentaciji, največkrat različnim vrstam kvasovk. (Panahi, in drugi, 2022)

## 5.7 DESTILACIJA

Zmes po končani fermentaciji vsebuje le 12-18 % etanola, ki ga lahko uporabimo kot gorivo, šele ko ga koncentriramo. Za to je potrebna destilacija, ki je najbolj razširjen postopek ločevanja v kemični industriji. Načrtovanje ekonomičnega procesa proizvodnje bioetanola je zelo pomembno, saj je energijsko najbolj potraten proces. Poleg tega z destilacijo ne moremo doseči popolnoma čistega etanola, običajno se dobljene koncentracije gibljejo okoli 95 %. Da bi dosegli minimalno čistost etanola (99 %), je potreben še proces dehidracije, ki se navadno uporablja z molekularnim sitom. (Amornraksa, Subsaipin, Simasatitkul, & Assabumrungrat, 2020)

## 5.8 UPORABA BIOETANOLA

Bioetanol je svetovno znano ekonomično in okolju prijazno transportno biogorivo. Uporabljamo ga tudi v črnilih in premazih kot nosilec topila, v kozmetičnih pripravkih (pršila za utrjevanje las), v farmacevtskih izdelkih in izdelkih za osebno nego (ustne vodice) ter v detergentnih pripravkih. (Osei, 2021)

Kot pogonsko gorivo ga lahko uporabljamo v čisti obliki ali v mešanici z bencinom in drugimi ogljikovodiki v različnih razmerjih. Ta so odvisna od goriva in specifikacije vozila. Poznamo več mešanic: E85, 85 % etanola in 15 % bencina, E100, 100 % etanol z ali brez dodatkov za gorivo in kisikov dizel, ki je običajno mešanica 80 % dizelskega goriva, 10 % etanola ter 10 % aditivov in sredstev za mešanje. Čisti bioetanol se komercialno prodaja samo v Braziliji. (Demirbaš, 2005) Mešanice z do 20 % bioetanola lahko uporabljamo v obstoječih motorjih z notranjim izgorevanjem, goriva z večjimi koncentracijami bioetanola pa v prilagodljivih motorjih. Če bo bioetanol v celoti zamenjal bencin in postal glavno gorivo, se bodo emisije toplogrednih plinov zmanjšale za več kot 85 %. (M-P & S-H, 2018)

Uporaba etanola kot pogonskega goriva ima skoraj tako dolgo zgodovino kot avtomobili sami. Začelo se je v letu 1826, ko je Samuel Morey uporabil alkohol v prvem ameriškem prototipu motorja z notranjim zgorevanjem. Leta 1876 pa ga je v svoji izvedbi motorja uporabil znani nemški izumitelj Nicolaus Otto, ki je znan tudi po svoji iznajdbi štiritaktnega motorja in Ottovega cikla. Alkohol se je, kljub svojim dobrim lastnostim gorenja, v naslednjih stoletjih uporabljal večinoma le za razsvetljavo. Leta 1908 je Ford ustvaril prvi avto na alkohol, Ford model T. Etanol je dobil večji pomen v sedemdesetih letih, ko je prišlo do pomanjkanja goriv.

Fosilna goriva so postala draga, s tem pa se je povečalo zavedanje javnosti za okoljsko problematiko problemov. Pojavila se je potreba po bolj ekološkem gorivu, z enostavnejšo proizvodnjo in s podobnimi lastnostmi, kot jih ima bencin. Nastalo je povpraševanje po etanolu, številne države pa so začele izvajati študije za razvoj goriv iz razpoložljivih surovin. Prevladujoča surovina za proizvodnjo etanola je zaradi svoje razpoložljivosti in enostavne pretvorbe v alkohol postala koruza. Zvezne in državne subvencije za uporabo etanola so pomagale ohraniti proizvodnjo goriva, tudi ko profit pri prodaji ni bil konkurenčen fosilnim gorivom. Uporaba etanola kot oksigenata (spojina, ki jo uporabljamo kot dodatek za povečanje vsebnosti kisika) za nadzor emisij ogljikovega monoksida pa je spodbudila povečano proizvodnjo goriva naprej v devetdeseta leta. (Abebe, 2008)

Bioetanol je v 21. stoletju doživel ponovni razcvet kot posledica zmanjšanih proizvodnih stroškov, višjih cen nafte in uvedbe vozil s prilagodljivim pogonom, ki omogoča uporabo tako bencina kot tudi bioetanola.

Biogoriva so hitro razvijajoči se sektor bioenergije. Vendar pa danes predstavljajo le približno 1,5 % skupne porabe goriv v cestnem prometu ter približno 2 % celotne bioenergije. (Bauen, Berndes, Junginger, Londo, & Vuille, 2012)

## 5.9 DELOVANJE MOTORJEV

### 5.9.1 ŠTIRITAKTNI MOTOR

Postopek delovanja štiritaktnega motorja je sestavljen iz štirih stopenj.

**1. Sesanje** - V prvem taktu se bat motorja nahaja v zgornji točki cilindra in se začne pomikati navzdol, s tem ustvarja v cilindru podtlak. Medtem se vhodni ventil odpre in v cilinder vstopi sveža mešanica goriva in zraka.

**2. Kompresija** - Ko se bat nahaja v najnižji točki in se začne pomikati navzgor, se vhodni ventil zapre. Zaradi manjšanja prostornine se v cilindru ustvari pritisk. Ker je stiskanje tako hitro, je proces skoraj adiabaten, zato se plinska mešanica v batu segreje. (Cah, 2011)

**3. Eksplozija** - Malo preden bat doseže najvišjo točko, svečka naredi iskro ter vžge vnetljivo in segreto mešanico v motorju. Rahlo prehitevanje vžiga ublaži potovanje bata. Hitro razširjanje vročega plina požene bat navzdol. To je edini delovni takt motorja, kjer se ustvari energija.

**4. Izpušť** - Po popolnem gorenju mešanice je cilinder poln izpušnih plinov. V zadnjem taktu motorja se cilinder sprazni in pripravi na ponovitev zaporedja. Bat se iz najnižje točke prične pomikati navzgor, medtem pa se odpre izpušni ventil, ki vodi do izpušnega lonca. Bat s pomikanjem navzgor iztisne izpušne pline iz cilindra. Po koncu takta se izpušni ventil zapre. Bat se ponovno nahaja v najvišji točki in cikel se ponovi. (Stone, 2012)

### 5.9.2 DVOTAKTNI MOTOR

V nasprotju s štiritaktnim motorjem mora dvotaktni motor vse štiri stopnje opraviti le v dveh taktih.

V cilindru se nahajajo izpušni plini iz prejšnjega taka in bat se medtem že pomika navzdol. Ko se odpre izpušna odprtina, so izpušni plini zaradi povečanega pritiska potisnjeni iz cilindra. (Škrjanc, 2018) Hkrati se v podbatnem prostoru povečuje tlak, ki povzroči, da ob odprtju prehodnega kanala (povezava med podbatnim prostorom in cilindrom) mešanica, shranjena v podbatnem prostoru, plane v cilinder, hkrati tudi potisne vse izpušne pline dokončno iz cilindra. Medtem se bat že pomika navzgor in stiska mešanico v cilindru, katere del uide skozi izpušno odprtino, kar je razlog za večje onesnaževanje okolice. Ko bat doseže najvišjo točko, se svečka sproži, mešanica se vžge in celoten cikel se ponovi. (Blair, 1989)

## 6 EKSPERIMENTALNI DEL

### 6.1 CILJI NALOGE

Z izvedbo eksperimentov smo želeli dokazati, da je mogoče v domačem okolju z uporabo preprostih, doma narejenih pripomočkov sintetizirati biogorivo, primerno za uporabo v dvotaktnih in štiritaktnih motorjih in za vir biomase uporabiti lokalne surovine, kot sta krompir in odpadna hrana.

### 6.2 HIPOTEZE

1. V šolskem laboratoriju je mogoče s pomočjo lastnega sistema in iz materialov, ki vsebujejo škrob, mogoče proizvesti bioetanol.
2. S proizvedenim bioetanolom bomo lahko poganjali motorje z notranjim izgorevanjem.
3. Pri nižjih obratih se bo frekvanca zvoka motorja manj spremenjala kot pri višjih obratih.
4. Vonj izpušnih plinov bo manj agresiven pri uporabi bioetanola.

### 6.3 OPIS PRIPOMOČKOV

#### 6.3.1 FERMENTACIJSKA APARATURA

Na sliki 4 je prikazana priprava za fermentacijo in merjenje količine ogljikovega dioksida. Fermentacija je potekala v pocinkanem vedru prostornine 20 litrov. Pokrov je pritrjen na posodo s preprostim zaklepom. Tesnjenje omogoča poliuretansko tesnilo ter silikonska tesnilna masa, ki smo jo nanesli pred zapiranjem posode.



Slika 4: Plinomer s fermentacijsko posodo v ozadju.

Da bi preprečili izgube toplote, ki nastane med fermentacijo, smo posodo izolirali s plastjo steklene volne. Na pokrov je preko 3D natisnjenega adapterja pritrjena prozorna cevka, premora 8 milimetrov. Ta vodi do plinomera, ki meri količino proizvedenega ogljikovega dioksida. Preprost plinomer smo izdelali sami iz osnovnega gradbeniškega materiala. Plinomer deluje po principu plinomera, ki ga je izumil William Murdoch v 18. stoletju v Franciji. Plinomer izkorišča vodo kot tesnilo med batom in cilindrom. Ko v plinomer prihaja plin, se bat dviguje, delovni pritisk pa je odvisen od obtežitve bata. Na pokrov smo montirali kovinski trak. Na stojalo poleg plinomera pa smo montirali induktivno sondu, ki takoj ob zaznavi kovinskega traka pošlje signal za odpiranje mikrokontrolerju Arduino Nano, ki signalu zabeleži čas in aktivira rele, ki omogoči napajanje ventila. Podatki se beležijo na prenosniku v Excelovi datoteki. To omogoča dodaten program v programskem jeziku Python.



Slika 5: Elektronska vezja.

S pomočjo navedenega sistema (slika 5) smo beležili število dvigov, ki nam ob znanem volumnu enega dviga pove prostornino proizvedenega ogljikovega dioksida.

$$V_{CO_2} = N_{dvigov} \times V_{bata}$$

*Enačba 1: Izmerjena prostornina ogljikovega dioksida.*

Spremljana je tudi temperatura okolice in reakcije v posodi, s temperaturnim senzorjem, ki je povezan na LoRaWAN omrežje. Pridobljeni podatki o temperaturi smo lahko spremljali tudi na spletu.

### 6.3.2 DESTILACIJSKA APARATURA



Slika 6: Doma narejena destilacijska aparatura.

Na sliki 6 je doma narejena destilacijska aparatura. Navdih zanjo smo dobili pri kotlu za žganjekuhu. Sestavljena je iz pocinkanega 20 litrskega vedra, v katerega smo nalili tekočino iz končanega fermentacijskega procesa. Segrevali smo ga na električni kuhalni plošči z močjo 1500 vatov. Temperaturo hlapov smo merili z merilnikom temperature LabQuest 2 (Vernier - ZDA) (slika 7).



Slika 7: Zaslon merilnika temperature.

Pokrov in bakreno cev, premera 10 milimetrov, povezuje kovinski adapter. Vse smo zatesnili z acetatno silikonsko tesnilno maso. Bakrena cev ima vlogo hladilnika in je zvita v spiralno, da uspešno oddaja toploto, zagotavlja pretok tekočine in zasede čim manj prostora. Cev se nahaja v hladilnem vedru, napolnjenim s hladno vodo. Po prvi destilaciji smo hladilnik (slika 8) še izboljšali, mu dodali vhod in izhod vode in tako omogočili pretok vode (gumijaste oranžne cevi).



Slika 8: Doma narejen destilacijski hladilnik.

V bakreni cevi hladilnika se nahaja tudi bombažna vrvica, ki omogoča lažje pretakanje destilata. Destilat, ki ga zbiramo po kapljicah, teče iz hladilnika v čašo.

### 6.3.3 KLASIČNA DESTILACIJA

Za ločevanje raztopin smo uporabljali destilacijo. Destilacija izkoristi temperaturno razliko dveh vrelišč različnih tekočin. Zmes segrevamo in najprej začne iz nje izhajati tekočina, ki ima najnižje vrelišče. Njene hlapa vodimo v destilacijski hladilnik, kjer se ta ohladi in kondenzira. Običajno je ohlajena s kroženjem tekočine okoli nje. Tekočino, ki priteče iz hladilnika, pa imenujemo kondenzat.

Za naš eksperiment smo uporabljali 2-litrsko bučko z okroglim dnom, ki je bila preko adapterja povezana z Liebigovim hladilnikom, hlajenim s konstantnim pretokom hladne vode. Z alkoholnim termometrom v bučki smo merili še temperaturo hlapov in na podlagi teh destilirali različne koncentracije alkohola. Na izhodu hladilne cevi se nahaja še čaša za zbiranje destilata. V primeru še neohlajenih hlapov alkohola smo na čašo dodali še aluminijasto folijo.



Slika 9: Laboratorijska destilacijska aparatura.

## 6.4 REZULTATI EKSPERIMENTOV Z INTERPRETACIJO

### 6.4.1 PROIZVODNJA ETANOLA IZ KROMPIRJA (prvi poskus)

#### 6.4.1.1 Opis eksperimenta

V trgovini smo kupili 7,5 kilogramov najcenejšega krompirja. Neolupljenega smo razporedili v 3 lonce in dodali 1,5 litra vode, toliko, da smo prekrili dno. Kuhali smo ga 60 minut (slika 10). Po končanem kuhanju smo ga pretlačili ter stresli v fermentacijsko posodo. Nato smo dolili 5 litrov vode, da smo dosegli mešanico konsistence gostejše juhe, primerne za delovanje encimov.



Slika 10: Kuhanje krompirja.

Začeli smo s pripravo encimov (slika 11). Pred pripravo encimov smo izračunali količino in prilagodili izbranemu času reakcije, kar je znašalo 1 gram. Optimalna temperatura je bila 55 °C, pH pa 5,5. Zaželen pH smo dosegli z ocetno kislino, ki smo jo dodali v fermentacijsko posodo. To je verjetno bila napaka, saj je ocetna kislina toksična za kvasovke in tudi njihov razpadni produkt. Ta je najprimernejša zaradi njene manjše agresivnosti. Encime smo raztopili v 500 mililitrih tople vode in jih dodali v fermentacijsko posodo. Temperatura v fermentacijski posodi je bila že v območju 55 °C za optimalno delovanje dodanih encimov.

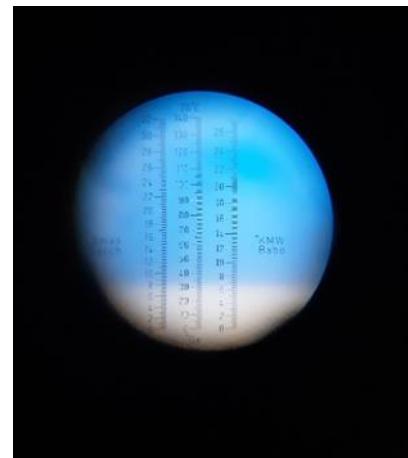


Slika 11: Uporabljeni encimi, kvasovke in vrelna sol.

Temperaturo smo spremajali in nadzorovali naslednje 4 ure. Temperatura ni naraščala, kljub temu, da je reakcija v teoriji eksotermna. Z refraktometrom (slika 12) smo konstantno merili tudi vsebnost monosaharidov, ki je s časom naraščala. To smo dokazali na dva načina, z refraktometrom in Benediktovim reagentom. Poskus je potekal 12 ur. Naslednji dan smo z refraktometrom odčitali končno vrednost 9 brixov<sup>1</sup> (slika 13). Ta vrednost je vprašljiva, saj nebistrost tekočin povzroči sisanje svetlobe in razširi prehod med belim in modrim območjem, zato lahko naredimo napako pri odčitavanju vzorca. Zato smo pri bodočih meritvah uporabljali bistrejše vzorce.



Slika 12: Refraktometer.



Slika 13: Prikazane vrednosti refraktometra.

Z fermentacijo smo uporabili kvasovke, namenjene uporabi v vinogradništvu, pivovarstvu in žganjekuhiji. NATEHTALI smo 10 gramov kvasovk in 10 gramov vrelne soli. Vrelna sol je čista hrana, namenjena prehrani kvasovk v težjih fermentacijskih pogojih, ki vsebuje diamonijev fosfat. Pred uporabo jo moramo raztopiti v soku, drozgi, moštu ali topli vodi ter z mešanjem enakomerno porazdeliti v vrelnem mediju. Nato smo vsebino iz reakcijske posode prenesli v fermentacijsko posodo ter dodali še raztopino vrelne soli. Fermentacija je potekala v Šolskem centru Novo mesto v makerspacu Scidrom, kjer smo imeli na voljo več opreme in prostora. Scidrom je okolje za multidisciplinarno sodelovanje odprtega inoviranja, v njem pa sodelujejo gospodarstvo, izobraževalna in raziskovalna sfera ter kreativni posamezniki in interesne skupine.

Zaradi težav z vzpostavitvijo opreme za digitalno nadzorovanje reakcije smo s fermentacijo začeli dva dni pozneje. Medtem smo postavili reakcijsko posodo na mraz, da biupočasnili nezaželene predčasne reakcije. Ko so bili vsi sistemi za spremljanje fermentacije vzpostavljeni, smo dodali kvasovke in začeli s fermentacijo, ki je trajala 14 dni. Temperaturo zunanjosti in v fermentacijski posodi smo spremljali na računalniku preko spleteta.

Po končani fermentaciji smo začeli z destilacijo. Zaradi negotovosti v uspeh eksperimenta smo najprej iz fermentacijske posode vzeli pollitrski vzorec vsebine, ki smo ga v laboratoriju destilirali. Zaradi manjše količine vsebine smo uporabili klasični stekleni destilacijski aparati. Rezultati so bili za prvi poskus obetavni, zato smo se odločili za nadaljnjo destilacijo.

---

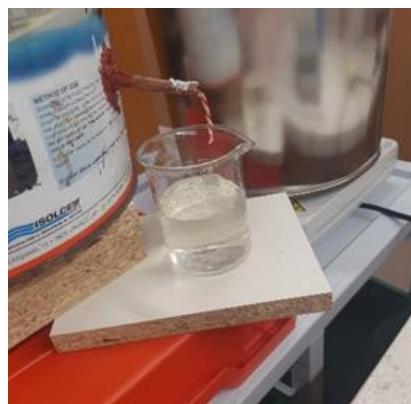
<sup>1</sup> Brix je enota, ki označuje koncentracijo raztopljenega 1 g sukoze v 100 g vode.

Koncentracijo alkohola smo izmerili z dvema metodama. Z refraktometrom, prilagojenim za merjenje koncentracije alkohola in potopnim areometrom (slika 14).



Slika 14: Potopni aerometer.

Nadaljnja destilacija je potekala v našem destilacijskem aparatu, prilagojenemu za destiliranje večjih količin. Začeli smo z destilacijo vseh 10 litrov fermentiranega materiala. Iz aparata je priteklo 1,8 litra 15 % zmesi, ki jo imenujemo nanga (prvi destilat) (slika 15). Nadaljnje destilacije smo izvajali v klasičnem destilacijskem aparatu, dokler nismo dosegli željene koncentracije. Končni produkt destilacije je bil 430 mililitrov 65 % alkohola. Vrednost je bila izmerjena s potopnim aerometrom, zato je bila vrednost natančnejša kot z alkoholnim refraktometrom, saj bistrost tekočine nanj ne vpliva.



Slika 15: Destilat - nanga.

#### 6.4.1.2 Interpretacija rezultatov

Po končanem prvem poskusu smo identificirali kar nekaj napak. Že pred encimsko pretvorbo škroba v glukozo smo v zmes dodali manjšo količino ocetne kisline z namenom vzdrževanja optimalne pH vrednosti. Nismo pomislili na nadaljnji vpliv ocetne kisline na kvasovke, ki je lahko upočasnila njihovo delovanje. Poleg tega je dodana kislina povzročila veliko škode na fermentacijski posodi (slika 16). Nižji pH je pospešil rjavenje in raztapljanje cinkovega zaščitnega nanosa. Nastale cinkove soli pa lahko tudi toksično delujejo na kvasovke.



Slika 16: Reakcijska posoda po fermentaciji.

Naslednja napaka je bila nepripravljenost sistema za elektronsko nadzorovanje. Posledica tega je bila dvodnevni premor med končano encimsko pretvorbo in priklopom fermentacijskega sistema. V tem času se je mešanica nahajala na hladnem, da upočasnim oziroma preprečimo neželene stranske reakcije. Kljub temu so se te v manjšem obsegu zagotovo zgodile. Predvidevamo, da so v zmesi že začele delovati divje kvasovke.

Prva verzija fermentacijske posode je zagotovo puščala. Vedro ima vgrajeno tesnilo in zaklep za katerega smo zmotno mislili, da tesni. To smo kasneje izboljšali z uporabo silikonskega tesnila brez acetatne osnove. To je imelo dve posledici, proizvedenega ogljikovega dioksida sistem ni mogel izmeriti. Poleg tega morda nismo zagotovili povsem anaerobnih pogojev, ki so potrebni za proizvodnjo etanola s kvasovkami. Kombinacija vseh teh napak je povzročila, da sistem ni zabeležil nobenega dviga. Kljub pomanjkanju zabeleženih dvigov je alkoholno vrenje poteklo, saj je končni produkt iz 7,5 kilogramov krompirja bil 430 mililitrov 65 % alkohola. V primerjavi s teoretičnimi izračuni je bil izkoristek relativno nizek.

Nizko število dvigov je po našem mnenju posledica večjih napak pri eksperimentu. Prvi razlog je puščanje sistema za merjenje  $\text{CO}_2$ . Drugi razlog je pozen priklop fermentacijske posode na aparat in s tem neizpolnjevanje anaerobnih pogojev, potrebnih za zaželeno delovanje kvasovk. Menimo, da je fermentacija z divjimi kvasovkami potekla že pred začetkom načrtovane fermentacije.

## 6.4.2 PROIZVODNJA ETANOLA IZ KROMPIRJA (drugi poskus)

### 6.4.2.1 Opis eksperimenta

Zaradi napak v prvem eksperimentu smo se odločili še enkrat poskusiti s krompirjem. Tokrat smo ga kupili od kmetije Pršina. Količino krompirja smo povečali na 10 kilogramov. Krompir smo umili in ga zaradi večje količine razdelili v štiri lonce. V vsak lonec smo dodali toliko vode, da je prekrila dno oziroma skupno 2 litra. Čas kuhanja in način procesiranje je bil enak kot v prvem poskusu. Končna mešanica je vsebovala 10 kilogramov krompirja in 7 litrov vode. Količino encimov smo prilagodili večji količini krompirja in natehtali 1,5 grama amilaze, ki smo jo raztopili v 200 mililitrih tople vode (slika 17). Zaradi ugotovitev iz prejšnjega poskusa smo proces encimske pretvorbe pustili trajati samo 8 ur od prejšnjih 12 ur. Refraktometer je ponovno pokazal 13 brixov, kar je potrdilo naša predvidevanja o nenatančnosti meritev v motni tekočini.



Slika 17: Dodajanje encimov krompirju.

V primerjavi s prvim poskusom smo tokrat pravilno pripravili kvasovke. 8 gramov kvasovk smo raztopili v 750 mililitrih tople vode in jim dodali 40 gramov sladkorja in 12 gramov vrelne soli. Po 30 minutah so se že močno razmnožile in tvorile »klobuk« (slika 18). Poleg tega je bil sistem za fermentacijo že pripravljen, kar nam je omogočilo takojšnji začetek alkoholnega vrenja. Produkt encimske pretvorbe smo prelili v fermentacijsko posodo, dodali pripravljene kvasovke, premešali in pokrov zatesnili s silikonskim tesnilom. S tem je bila fermentacijska posoda pripravljena. Zagnali smo program in začeli zbirati podatke. Med potekom fermentacije smo spremljali nezaželeno puščanje sistema.



Slika 18: Pripravljene kvasovke.

Po 14. dnevu smo končali s fermentacijo in vsebino 13 litrov fermentacijske posode razredčili z 2,7 litra vode ter jo precedili skozi srednje fino najlonsko tkanino, da smo dosegli željeno teksturo. Nato smo jo prelili v doma narejen destilacijski aparat. Zaradi velike količine destilata (3 litri 8,4 %) po prvi destilaciji smo to ponovili v istem aparatu. Nato smo destilacije izvajali v klasičnem steklenem destilacijskem aparatu, dokler nismo dosegli željene koncentracije. Končni produkt je znašal 350 mililitrov 72 % alkohola.

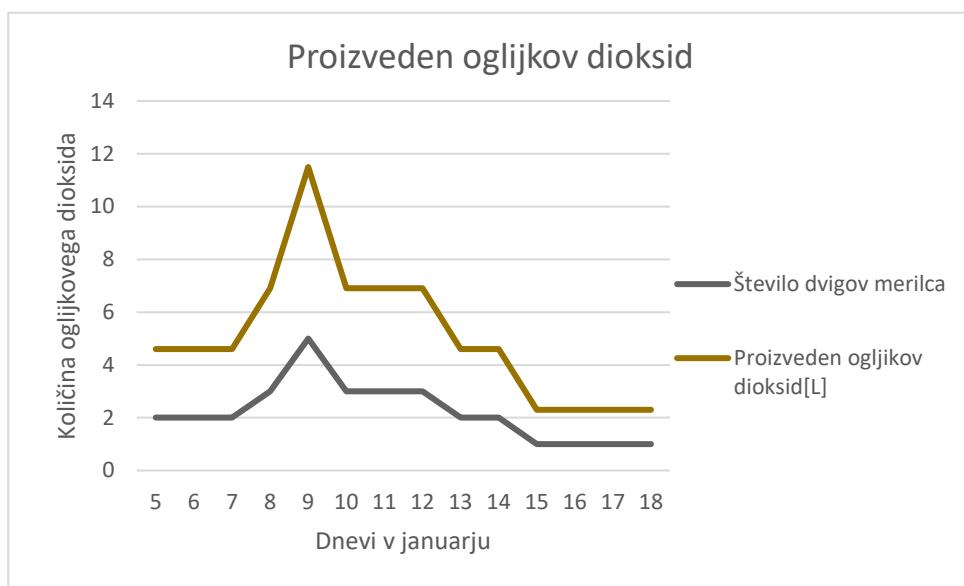
#### 6.4.2.2 Interpretacija rezultatov

Namen drugega poskusa je bil popraviti napake iz prvega. To nam je delno uspelo. V encimsko pretvorbo nismo dodali ocetne kisline, kar se je poznalo na manj agresivnem rjavenju posode in raztplavljanju cinka. V primerjavi s prvim poskusom smo pravilno pripravili kvasovke, kar jim je omogočilo hitrejše in učinkovitejše delovanje. Fermentacijski aparat je bil tokrat pravočasno pripravljen. To je zagotovilo natančnejše merjenje proizvedenega ogljikovega dioksida. Vsi sistemi za beleženje podatkov so delovali.

```
Vnesi port (COM1, COM2 ..  
05.01.2022 13:51:00  
05.01.2022 21:02:43  
06.01.2022 05:18:04  
06.01.2022 21:16:31  
07.01.2022 10:36:08  
07.01.2022 19:37:40  
08.01.2022 03:57:22  
08.01.2022 11:23:24  
08.01.2022 17:51:46  
09.01.2022 00:00:56  
09.01.2022 05:57:10  
09.01.2022 11:41:53  
09.01.2022 17:25:16  
09.01.2022 23:24:38  
10.01.2022 05:44:13  
10.01.2022 12:15:19..
```

Slika 19: Zabeleženi dvigi plinomera.

Kljud izkušnjam smo ponovno storili nekaj napak. Za drugi poskus smo izbrali drugo vrsto krompirja. Izkazalo se je, da imajo različne vrste krompirja različno vsebnost škroba. Na začetku temu nismo pripisovali večjega pomena, po analizi se zavedamo, da smo s tem eksperimentu dodali dodatno spremenljivko. Obe vrsti krompirja sta nam neznani, a predvidevamo, da je imel krompir iz trgovine bele barve večjo vsebnost škroba. Posledično smo iz sicer večje količine krompirja in natančnejše izvedenega eksperimenta dobili manj alkohola kakor v prvem poskusu.



Graf 1: Graf aktivnosti alkoholnega vrenja.

Na grafu 1 je prikazana aktivnost alkoholnega vrenja. Reakcija je rabila 4 dni, da je dosegla vrh aktivnosti, nato pa je ta enakomerno padala. Meritve so nam povedale število dvigov, iz katerih smo nato izračunali prostornino proizvedenega ogljikovega dioksida.

$$V_{CO_2} = N_{dvigov} \times V_{bata}$$

Enačba 2: Izmerjena prostornina ogljikovega dioksida.

Volumen proizvedenega ogljikovega dioksida je produkt števila dvigov in volumna bata (enačba 2). Volumen bata je znašal 2,3 litra, kar smo izračunali z uporabo formule za volumen valja. Število dvigov je vsota dvigov vseh dni. Povečanje realnega volumna ogljikovega dioksida zaradi rahlo večjega pritiska, ki ga je povzročala masa bata in ventila na njem smo zanemarili, saj so izračuni pokazali, da je sprememba zanemarljiva.

$$V_{bata} = \pi \times r_{polmer bata}^2 \times l_{premik bata}$$

*Enačba 3: Izračun prostornine bata.*

Volumen bata (enačba 3) je definiran kot zmnožek števila  $\pi$ , kvadrata notranjega polmera bata in dolžine premika bata od nevtralne do maksimalne pozicije, kjer se sproži ventil.

Skupno število dvigov je bilo 31, kar pomeni, da je prostornina proizvedenega ogljikovega dioksida 71,3 litra. S tem podatkom bomo poskušali izračunati maso etanola in ta podatek primerjali z rezultatom destilacije.



*Enačba 4: Alkoholno vrenje.*

$$m_{etanol} = \frac{V_{CO_2} \times \delta_{CO_2} \times M_{etanol}}{M_{CO_2}}$$

*Enačba 5: Masa etanola.*

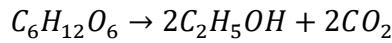
S pomočjo kemijske enačbe alkoholnega vrenja (enačba 4) smo vzpostavili razmerje med množinama ogljikovega dioksida in etanola. Enačba 5 predstavlja izračun za maso etanola. Izračunan volumen ogljikovega dioksida množimo z gostoto ogljikovega dioksida pri standardnih pogojih (1 bar, 15 °C) ter z molsko maso etanola. Produkt vseh treh delimo z molsko maso ogljikovega dioksida. Rezultat računa je masa etanola v gramih. Teoretično količino etanola smo primerjali s količino destilata. Teoretična vrednost znaša 140 gramov 100 %, praktična pa 199 gramov 100 % alkohola. Rezultati izračunov so nas presenetili, saj smo pričakovali ravno obratno situacijo, kjer bi bil teoretični izračun večji od praktičnega izkoristka. Če pogledamo enačbo 5, vidimo, da je večina vrednosti konstant, edina spremenljivka pa je volumen ogljikovega dioksida. Po tem sklepamo, da je imel naš sistem za merjenje ogljikovega dioksida napako. Predvidevamo, da je sistem kljub dodanemu tesnilu še zmeraj puščal. Ocenujemo, da je ogljikov dioksid puščal s pretokom 90 mililitrov/uro. Vrednost nas je presenetila, saj smo mislili, da smo sistem dobro zatesnili. Potencialna mesta puščanj so 3D natisnjeni adapter za cev, elektronski ventil in spoj za temperaturni senzor (slika 20).



Slika 20: Pokrov fermentacijske posode.

Zanimala nas je tudi efektivnost encimske pretvorbe. Da so bili izračuni možni, smo predvidevali popolno fermentacijo vseh sladkorjev, proizvedenih iz škroba. To pomeni, da so kvasovke pretvorile vse monosaharide v alkohol.

S pomočjo enačbe 6 smo postavili razmerje med množinami etanola in glukoze. Nato smo jih preoblikovali v enačbo 7, ki smo jo uporabili za izračun mase glukoze, ki se je pretvorila v etanol. Masa pretvorjene glukoze znaša 398 gramov.

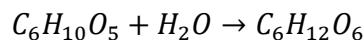


*Enačba 6: Alkoholno vrenje.*

$$m_{glukoza} = \frac{M_{glukoza} \times m_{etanol}}{2 \times M_{etanol}}$$

*Enačba 7: Masa pretvorjene glukoze.*

Enačba 8 predstavlja reakcijo hidrolize škroba, ki smo jo izvedli z encimom amilazo, kar pa ni edini način, saj bi lahko uporabili tudi kislino. Zaradi ekološkega vidika naloge in trajnostnega razvoja smo se odločili za encime. V enačbi 9 z uporabo prej izračunane mase glukoze in konstantami izračunamo maso pretvorjenega škroba.



*Enačba 8: Hidroliza škroba.*

$$m_{škrob} = \frac{M_{škrob} \times m_{glukoza}}{M_{glukoza}}$$

*Enačba 9: Masa pretvorjenega škroba.*

Rezultat enačbe 9 oziroma količina pretvorjenega škroba znaša 358 gramov. Razmerje med pretvorjeno maso škroba in skupno začetno maso krompirja je 1:28 oziroma 3,6 %. Povprečna vsebnost škroba v krompirju je od 9 % do 30 %. To pomeni, da je bila encimska pretvorba relativno neuspešna. Izračunali smo še koeficient efektivnosti prvega eksperimenta, ki je 5,3 %, kar pomeni, da je kljub slabšim pogojem prvi eksperiment potekal uspešneje.

## 6.4.3 PROIZVODNJA ETANOLA IZ ODPADNE HRANE (tretji poskus)

### 6.4.3.1 Opis eksperimenta

Uporaben vir škroba je lahko tudi odpadna hrana. Zaradi zakonodaje nismo uspeli pridobiti realnega primerka odpadne hrane iz šolske kuhinje, zato smo v laboratoriju naredili primer lette. Skuhali smo 2 kilograma riža, vanj dodali še koščke mesa in kuhanje zelenjave. Mešanico smo nadalje kuhalo še 210 minut, da bi se čim bolj razkuhalo, kar bi encimom omogočilo lažje delovanje. Ker je v procesu riž nabreknil in vsrkal vodo, smo v proces kuhanja dodali še 5000 mililitrov vode. Končna tekstura mešanice je bila podobna gosti juhi. Nato smo v 600 mililitrih tople vode raztopili 1 gram amilaze. Amilaza je delovala 18 ur. Mešanica je skozi proces encimske pretvorbe postajala vse manj viskozna zaradi pretvorbe netopnega škroba v vodo topne monosaharide. Po končani encimski pretvorbi smo preverili vsebnost sladkorjev z refraktometrom, ki je pokazal 12 brix. Kljub dodani zelenjavi in mesu mešanica ni imela neprijetnega vonja in težav s pretvorbo. Po uspešni encimski pretvorbi smo se lotili priprave kvasovk. V 300 mililitrov vode smo raztopili 5 gramov kvasovk, 25 gramov sladkorja in 5 gramov vrelne soli. Po 60 min razmnoževanja kvasovk smo te dodali mešanici in vse prelili v fermentacijsko posodo. Vzpostavili smo sistem za zbiranje podatkov in pustili fermentacijo trajati samo štiri dni. V tem času je fermentacija že dokončno potekla.

Po končanem alkoholnem vrenju smo mešanico destilirali v domačem destilacijskem aparatu in dobili 1000 mililitrov 21 % alkohola. Sledila je še navadna destilacija v steklenem destilacijskem aparatu. Končni produkt je bil 250 mililitrov 83 % alkohola.

#### 6.4.3.2 Interpretacija rezultatov

V primerjavi s prejšnimi eksperimenti je ta trajal manj časa in veliko učinkoviteje. V primerjavi z začetno količino materiala smo imeli tudi zelo velik izkoristek. Kljub odličnemu rezultatu pa je bil eksperiment neuspešen, saj smo zaradi napake v sistemu izgubili vse podatke.

Zato smo v analizo vključili izkušnje iz prejšnjih eksperimentov in poskusili z enačbami določiti potek eksperimenta.

Da smo izračunali količino ogljikovega dioksida, smo uporabili enačbo 10.

$$V_{CO_2} = \frac{M_{CO_2} \times m_{metanol}}{M_{metanol} \times \rho_{CO_2}}$$

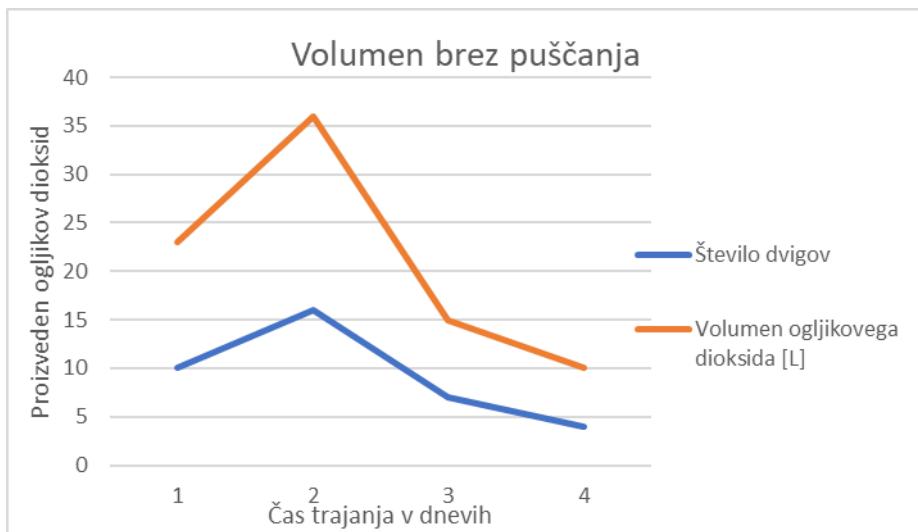
*Enačba 10: Teoretična prostornina ogljikovega dioksida.*

Iz mase destiliranega etanola in ostalih konstant lahko izračunamo skupen volumen proizvedenega ogljikovega dioksida. Prostornina znaša 85 litrov. To ni realna vrednost volumna, ki nam bi jo podal sistem, saj je le-ta puščal. Upoštevali smo, da je pretok puščanja enak kot pri prejšnjih eksperimentih oziroma 90 mililitrov/uro, ki smo ga izračunali iz teoretičnih podatkov in naših meritev.

$$V_{CO_2} = Q_{puščanja} \times t_{eksperimenta} + V_{bata} \times N_{dvigov}$$

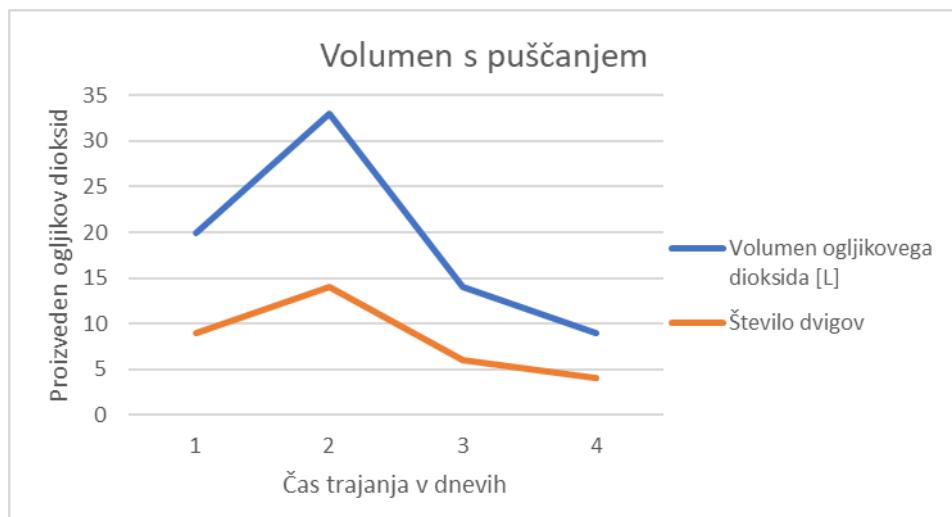
*Enačba 11: Volumen ogljikovega dioksida z upoštevanjem puščanja.*

Z enačbo 11 lahko izpostavimo število dvigov, pri čemer dobimo število 33. Volumen nezabeleženega ogljikovega dioksida bi bil 8,6 litrov.



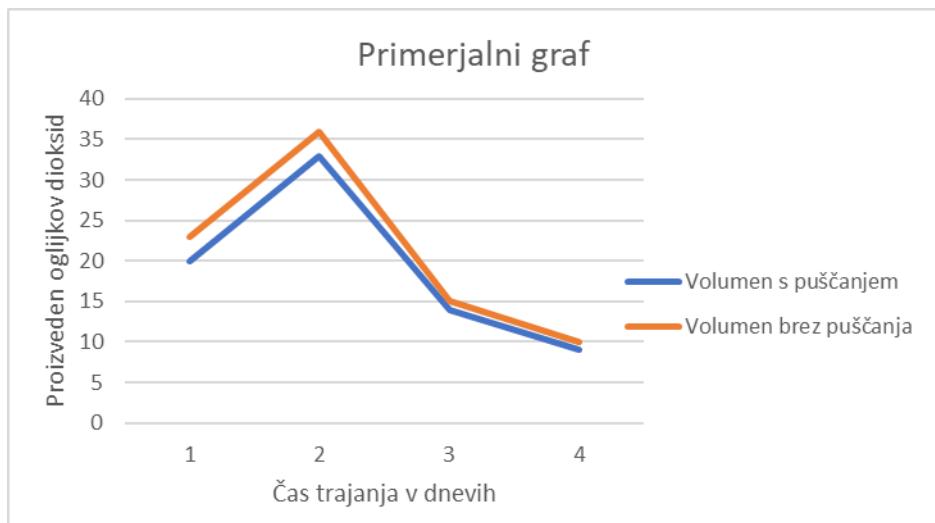
Graf 2: Graf volumna ogljikovega dioksida brez puščanja.

Na grafu 2 je prikazano idealno število dvigov plinomera in volumen proizvedenega ogljikovega dioksida brez izgub zaradi puščanja.



Graf 3: Volumen ogljikovega dioksida s puščanjem.

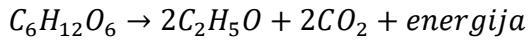
Na grafu 3 je prikazano realno število dvigov plinomera in volumen proizvedenega ogljikovega dioksida z upoštevanjem izgub zaradi puščanja.



Graf 4: Primerjava volumna ogljikovega dioksida s puščanjem in brez puščanja.

Na grafu 4 je prikazana razlika med realnimi in idealnimi vrednostmi.

Zanima nas tudi izkoristek reakcije pretvorbe škroba v etanol. Kilogram kuhanega belega riža vsebuje 260 gramov škroba, kilogram suhega oziroma nepripravljenega pa 730 gramov. Iz 1 kilograma surovega riža nastane približno 3 kilograme kuhanega. Masa skuhanega riža uporabljenega v eksperimentu je bila 2 kilograma. To pomeni, da je bilo v reakciji prisotnih 520 gramov škroba. Za izračun izkoristka celotnega procesa potrebujemo še podatek o masi škroba, ki je bila pretvorjena v etanol. Po zadnji destilaciji smo ostali z 250 mililitri 83 % alkohola.



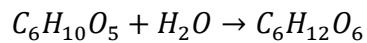
Enačba 12: Alkoholno vrenje.

Kot v prejšnji analizi smo s pomočjo enačbe alkoholnega vrenja postavili razmerje med množinami etanola in glukoze. Nato smo jih preoblikovali v spodnjo enačbo.

$$m_{glukoza} = \frac{M_{glukoza} \times m_{etanol}}{2 \times M_{etanol}}$$

Enačba 13: Masa glukoze.

Z upoštevanjem enačbe 13 smo izračunali maso glukoze, ki se je pretvorila v alkohol. Masa pretvorjene glukoze znaša 328 gramov. V primerjavi s prejšnjim poskusom je to le 70 gramov manj.



*Enačba 14: Hidroliza škroba.*

Enačba 14 predstavlja reakcijo hidrolize škroba, ki smo jo izvedli z encimom amilazo. V enačbi 15 z uporabo prej izračunane mase glukoze in konstantami izračunamo maso pretvorjenega škroba.

$$m_{\text{škrob}} = \frac{M_{\text{škrob}} \times m_{\text{glukoza}}}{M_{\text{glukoza}}}$$

*Enačba 15: Masa škroba.*

Ta znaša 299 gramov škroba. Razmerje med maso kuhanega riža in pretvorjenega škroba je 1:6,7, kar je 14,9 %. Razmerje med maso suhega oziroma nepripravljenega riža in pretvorjenega škroba pa je 44,8 %.

Skupna vsebnost škroba v kuhanem rižu je 26 %, v nepripravljenem pa 73 %.

V eksperimentu z rižem smo dosegli 57 % pretvorbo teoretične vrednosti škroba v alkohol.

## 6.5 UPORABA PROIZVEDENEGA ETANOLA V MOTORJIH NA NOTRANJE IZGOREVANJE

*Tabela 3: Delovanje motorjev glede na odstotek alkohola v gorivu.*

Odstotek alkohola v gorivu [%]	Dvotaktni motor	Štiritaktni motor
0	Normalno delovanje, visoki in nizki obrati, ohranja prosti tek.	Normalno delovanje, visoki in nizki obrati, ohranja prosti tek.
25	Ni spremembe v delovanju.	Ni spremembe v delovanju.
50	Ne vzdržuje visokih obratov, ohranja prosti tek.	Normalno delovanje, potrebno prilagajanje mešanice goriva in zraka.
75	Ohranja prosti tek, ugasne pri visokih obratih.	Ne ohranja prostega teka, normalno delovanje v visokih in srednjih obratih.
100	Ohranja prosti tek, ugasne pri srednjih in visokih obratih.	Ne ohranja prostega teka, optimalno delovanje v srednjih obratih, deluje tudi v visokih.

### 6.5.1 UPORABA V DVOTAKTNEM MOTORJU

Za dvotaktni motor smo uporabili staro vinogradniško pršilko češkega proizvajalca s 60 kubičnimi centimetri delovne prostornine in 2,2 kW moči.



Slika 21: Pršilka z dvotaktnim motorjem.

Gorivo je bilo mešanica standardnega goriva za dvotaktne motorje (50:1, bencin:olje) in etanola z dodanim ricinusovim oljem (50:1, etanol:olje), ki je eno izmed redkih olj, ki se topi v etanolu. Poskušali smo tudi narediti mešanico etanola in običajnega olja za dvotaktne motorje ter potrdili, da večina olj, ki je topnih v bencinu ni primerna za uporabo v gorivih z veliko vsebnostjo etanola (slika 22).



Slika 22: Primer ne mešanja neestrskega olja in etanola.

Uporabljati moram sintetična olja na estryki osnovi. Tudi ricinusovo olje vsebuje estryko skupino. Dvotaktni motorji za svoje delovanje nujno potrebujejo mešanico olja in goriva. Prosti tek motorja ob uporabi alkohola ni bil spremenjen, sprememba se je kazala pri delovnih obratih. Višja kot je bila koncentracija alkohola v primerjavi z bencinom, nižje obrate je lahko vzdrževal motor, ne da bi vmes ugasnil. To pomeni, da ni mogel delovati pri višjih obratih. To pripisujemo napačnemu razmerju med gorivom in zrakom, ki bi ga morali še dodatno prilagoditi na uplinjaču motorja. Ker je uplinjač prilagojen delovanju na bencin, pa tega nismo mogli pravilno nastaviti.

## 6.5.2 UPORABA V ŠTIRITAKTNEM MOTORJU

Štiritaktni motor (sliki 23 in 24) je izviral iz popravljene rotacijske kosičnice. Proizvajalec motorja je Kawasaki, ima 180 kubičnih centimetrov delovne prostornine in 3,5 kW moči.



Slika 23: Štiritaktni motor.



Slika 24: Štiritaktni motor z odstranjeno glavo.

Gorivo je bilo mešanica bencina in etanola, saj za štiritaktne motorje ne rabimo mešati olja v gorivo, kar je velika prednost teh motorjev. Štiritaktni motor ni mogel vzdrževati prostega teka pri višjih koncentracijah alkohola v gorivu. Za razliko od dvotaktnega motorja pa je normalno deloval pri srednjih oziroma višjih obratih, kar lahko pripisemo temu, da smo na tem motorju lahko prilagodili razmerje med gorivom in zrakom. Zanimivo je bilo, da je motor postal veliko tišji v primerjavi s čistim bencinom. Tudi vonj izpušnih plinov je bil povsem drugačen. Vonj je bil manj oster in bolj sintetičen.

## 7 RAZPRAVA

Prvo hipotezo smo želeli potrditi z dvema poskusoma pretvorbe škrobnih živil v etanol. Prva dva poskusa s krompirjem nista izpolnila naših pričakovanj, medtem ko je poskus z odpadno hrano močno presegel naša pričakovanja. S tem lahko prvo hipotezo potrdimo, saj nam je iz škrobnih živil s pomočjo lastnega sistema uspelo proizvesti alkohol. Kljub temu pa nismo bili zadovoljni z izkoristkom pretvorbe biomase v bioetanol, kar pripisujemo nezadostni predobdelavi in hidrolizi.

S proizvedenim bioetanolom smo uspeli poganjati oba tipa motorjev, dvotaktnega in štiritaktnega. Tako lahko potrdimo tudi drugo hipotezo. Kljub temu pa motorji ob uporabi niso delovali brezhibno. Naše predvidevanje je, da je bilo v razmerju preveč zraka oziroma premalo goriva, kar je logična razloga glede na to, da je v molekuli etanola že prisoten kisik. Posledica tega je, da je za popolno gorenje potrebno dodati manj kisika iz ozračja in mora biti mešanica goriva in zraka bolj bogata z gorivom. Dvotaktni motor je najbolj deloval v nizkih obratih, medtem ko je štiritakten motor boljše deloval v višjih obratih. To pomeni, da je bila frekvenca zvoka izpušnih plinov konstantna oz. se ni spremembala brez spremembe dovoda goriva.

Tretjo hipotezo, da se bo pri nižjih obratih frekvenca zvoka motorja manj spreminja kot pri višjih obratih tako samo delno potrdimo, saj ta trditev velja le za dvotaktni motor. Sprememba frekvence bi pomenila, da motor duši zaradi napačnega razmerja zraka in goriva, ki vstopi v izgorevalno komoro. Vzrok za napačno razmerje zraka in goriva pripisujemo razlike v kemični formuli bioetanola in bencina, saj so bili uplinjači na obeh motorjih nastavljeni za uporabo bencina. Da bi uplinjača prilagodili za uporabo bioetanola, bi morali na obeh uplinjačih povečati delež goriva, da bi bila mešanica bogatejša. Treba pa je poudariti, da se v modernih motorjih ne uporablja več uplinjačev temveč elektronsko vbrizgavanje goriva, kar eliminira probleme z večanjem deleža goriva ter tudi potencialno razgradnjo raznih membran v uplinjačih, ki niso narejene iz materialov, ki bi bili kompatibilni z bioetanolom.

Zanimivo je, da je bioetanol tudi že dodan bencinu (evropski standard 5 ali 10), kar pomeni, da je v bencinu 5 ali 10 % bioetanola. Nekatere države ga tudi ponujajo kot nadomestek za uporabo v avtomobilih (Brazilija). Kljub vsem dobrim lastnostim, pa ostaja pri uporabi bioetanola v motorjih z notranjim izgrevanjem težava, saj je etanol veliko bolj higroskopen kot bencin, kar pomeni da vpija vodo. Voda otežuje procese gorenja v motorju, manjša moč in pospešuje oksidacijo kovin, ki so v kontaktu z gorivom. Poleg tega je etanol manj hlapljiv kot bencin, kar povzroča težave pri vžigu v hladnem okolju.

Zaradi problematike, ki jih v današnjem svetu predstavljajo toksični izpusti, nas je zanimalo ali bomo opazili kakšno razliko v vonju ali izgledu izpušnih plinov. Naša hipoteza je bila, da bo vonj izpušnih plinov manj agresiven pri uporabi bioetanola. To hipotezo potrdimo, saj je bil vonj manj neprijeten, ko smo v motorjih uporabljali bioetanol. Največja sprememba izpušnih plinov je bila pri dvotaktnem motorju, saj je za motorje tega tipa značilno izgrevanje goriva, v katerega je vmešano podmazovalno olje, ki nečisto izgrevava. Posledica tega je sajast dim. Pri uporabi mešanice bioetanola in ricinusovega olja je bilo dima manj, poleg tega pa je imel tudi manj neprijeten vonj. Sklepamo, da je vzrok manj agresivnega vonja popolnejše izgrevanje in odsotnost aditivov v etanolu, ki dajejo zgorjenemu bencinu značilen vonj.

Ker imajo štiritaktni motorji ločeno podmazovalno olje in gorivo, je bila sprememba vonja in izgleda manjša, a smo jo kljub temu zaznali, saj je bil vonj bolj sintetičen.

Zaradi manjše prisotnosti dvotaktnih motorjev v sodobnem svetu, njihova problematika nima večjega pomena. V avtomobilski industriji jih ne uporabljamo že več desetletij, saj imajo zaradi principa delovanja več emisij neizgorelih goriv in poleg goriva v njih izgoreva tudi olje. Vgrajeni so poglavito v razna orodja in manjša vozila, kot so motorne žage, mopedi, kosilnice, vinogradniške pršilke in podobno.

## 8 ZAKLJUČEK

Z izvedbo raziskovalne naloge smo razširili naše znanje o biogorivih, motorjih na notranje izgorevanje in ogljičnemu odtisu, ki ga povzročajo fosilna goriva. Ugotovili smo, da je proizvodnja biogoriv za svoje potrebe mogoča, a po pregledu stroškov izdelave goriva ta ni finančno smiselna, saj je cena fosilnih goriv veliko nižja. Predvidevamo, da bo zaradi vse večjega povpraševanja po ogljično nevtralnih gorivih in zakonodaje, ki omejuje porabo fosilnih goriv v prihodnosti proizvodnja biogoriv narasla in postala finančno ugodna.

V primeru ponovne izvedbe raziskovalne naloge, bi si postavili še drugačna vprašanja. Zanimala nas bi ekomska stran proizvodnje bioetanola, za vir biomase pa bi uporabili še drugačne surovine, kot je npr. celuloza. Skonstruirali bi večji sistem za izdelavo bioetanola in ga poskusili proizvajati v večjih količinah. Izmerili bi razliko v moči motorjev, ko jih poganjam z bioetanolom in s fosilnimi gorivi ter poskusili na bioetanol poganjati tudi avtomobilski motor. Raziskali bi razliko v sestavi izpušnih plinov.

## 9 BIBLIOGRAFIJA

- Abebe, M. (2008). History of Ethanol. *Journalism & Mass Communications: Student Media*. Pridobljeno iz <https://digitalcommons.unl.edu/journalismstudent>
- Amornraksa, S., Subsaipin, I., Simasatitkul, L., & Assabumrungrat, S. (2020). Systematic design of separation process for bioethanol production from corn stover. *BMC Chemical Engineering*. Pridobljeno iz <https://doi.org/10.1186/s42480-020-00033-1>
- Aron, N. S., Khoo, K. S., Chew, K. W., Show, P. L., Chen, W.-H., & Nguyen, H. P. (2020). Sustainability of the four generations of biofuels – A review. *International Journal of Energy Research*, 9266-9282. Pridobljeno iz <https://doi.org/10.1002/er.5557>
- Balat, M., Balat, H., & Öz, C. (2008). Progress in bioethanol processing. *Progress in Energy and Combustion Science*, 551–573. Pridobljeno iz <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.473.7591&rep=rep1&type=pdf>
- Barisano, D., De Bari, I., Viola, E., Zimbardi, F., Braccio, G., Cantarella, M., & Gallifuoco, A. (2001). *State of the art on bioethanol production*. ENEA. Pridobljeno iz [https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/\\_Public/33/015/33015096.pdf](https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/33/015/33015096.pdf)
- Bauen, A., Berndes, G., Junginger, M., Londo, M., & Vuille, F. (2012). *Bioenergy - a Sustainable and Reliable Energy Source*. International Energy Agency. Pridobljeno iz [https://www.researchgate.net/publication/48326680\\_Bioenergy\\_-\\_A\\_Sustainable\\_and\\_Reliable\\_Energy\\_Source](https://www.researchgate.net/publication/48326680_Bioenergy_-_A_Sustainable_and_Reliable_Energy_Source)
- Bibi, R., Ahmad, Z., Imran, M., Hussain, S., Ditta, A., Mahmood, S., & Khalid, A. (2017). Algal bioethanol production technology: A trend towards sustainable development. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 976-985. Pridobljeno iz <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2016.12.126>
- Binod, P., Janu, K., Sindhu, R., & Pandey, A. (2011). Hydrolysis of Lignocellulosic Biomass for Bioethanol Production. *Biofuels*, 229-250. Pridobljeno iz <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-385099-7.00010-3>
- Blair, G. (1989). *Two Basic Design of Two-Stroke Engines*. Society of Automative Engineers, Inc. Pridobljeno iz <https://dokumen.tips/documents/basic-design-of-two-stroke-engines.html>
- Buckner, C. (2020). *U.S. fuel ethanol production capacity increased by 3% in 2019*. U.S. Energy Information Administration. Pridobljeno iz <https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=45316>
- Cah, R. (junij 2011). Motorji z notranjim izgorevanjem. Ljubljana, Ljubljana, Slovenija. Pridobljeno iz [https://bb.si/f/docs/diplomska-dela/cah\\_romeo-motorji\\_z\\_notranjim\\_izgorevanjem\\_1.pdf](https://bb.si/f/docs/diplomska-dela/cah_romeo-motorji_z_notranjim_izgorevanjem_1.pdf)
- Demirbaš, A. (2005). Bioethanol from Cellulosic Materials:A Renewable Motor Fuel from Biomass. *Energy Sources*, 327-337. doi:10.1080/00908310390266643

- Duhan, J. S., Kumar, A., & Kumar Tanwar, S. (2013). Bioethanol production from starchy part of tuberous plant (potato) using *Saccharomyces cerevisiae* MTCC-170. *African Journal of Microbiology Research*, 5253-5260. doi:10.5897/AJMR2013.6122
- Grazina Juodeikiene, e. a. (2014). *Combined fermentation for increasing efficiency of bioethanol production from Fusarium sp. contaminated barley biomass*. Elsevier. Pridobljeno iz <https://doi.org/10.1016/j.cattod.2013.09.028>
- H. König, D. (november 2015). Simulation and evaluation of a process concept for the generation of synthetic fuel from CO<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>. *Energy*, str. 833-841. Pridobljeno iz <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360544215011767>
- Hashem, M., & Darwish, S. M. (2010). Production of bioethanol and associated by-products from potato starch residue stream by *Saccharomyces cerevisiae*. *Biomass and Bioenergy*, 953-959. Pridobljeno iz <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2010.02.003>
- Hossain, N., Zaini, J. H., & Mahlia, T. (2017). A review of bioethanol production from plant-based waste biomass by yeast fermentation. *International Journal of Technology*, 5-18. Pridobljeno iz <https://doi.org/10.14716/ijtech.v8i1.3948>
- Izmirlioglu, G., & Demirci, A. (2012). Ethanol Production from Waste Potato Mash by Using *Saccharomyces Cerevisiae*. *Applied Sciences*, 738-753. doi:10.3390/app2040738
- Joshi, V., Walia, A., & Rana, N. (2012). Production of Bioethanol from Food Industry Waste: Microbiology, Biochemistry and Technology. *Biomass Conversion*, 251-311. Pridobljeno iz [https://doi.org/10.1007/978-3-642-28418-2\\_9](https://doi.org/10.1007/978-3-642-28418-2_9)
- Juodeikiene, G., Cernauskas, D., Vidmantiene, D., Basinskiene, L., Bartkienė, E., Bakutis, B., & Baliukoniene, V. (2014). Combined fermentation for increasing efficiency of bioethanol production from *Fusarium* sp. contaminated barley biomass. *Catalysis Today*, 108-114. Pridobljeno iz <https://doi.org/10.1016/j.cattod.2013.09.028>
- Kaneko, T. (15. september 2001). Coal Liquefaction. *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*. Pridobljeno iz [https://doi.org/10.1002/14356007.a07\\_197](https://doi.org/10.1002/14356007.a07_197)
- Karimi, K., & Chisti, Y. (2017). Bioethanol Production and Technologies. *Encyclopedia of Sustainable Technologies*, 273-284. Pridobljeno iz <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.10111-3>
- Karmee, S. K. (2015). Liquid biofuels from food waste: current trends, prospect and limitation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 945–953. Pridobljeno iz <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.09.041>
- Khan, M., Bonifacio, S., Clowes, J., Foulds, A., Holland, R., Matthews, J., . . . Shallcross, D. (2021). Investigation of Biofuel as a Potential Renewable Energy Source. *Atmosphere*. Pridobljeno iz <https://doi.org/10.3390/atmos12101289>
- Khan, R. A., Nawaz, A., Ahmed, M., Khan, M. R., Dian, F., Azam, N., . . . Khan, N. (2012). Production of bioethanol through enzymatic hydrolysis of potato. *African Journal of Biotechnology*, 6739-6743. doi:10.5897/AJB11.2791

- Lawson, H. (2017). *Pridobivanje bioetanola v energetske namene*. Pridobljeno iz <https://silo.tips/download/pridobivanje-bioetanola-v-energetske-namene>
- Lee, R. A., & Lavoie, J.-M. (April 2013). From first- to third-generation biofuels: Challenges of producing a commodity from a biomass of increasing complexity. *Animal Frontiers*, 6-11. Pridobljeno iz <https://doi.org/10.2527/af.2013-0010>
- Liong, Y. Y., Halis, R., Lai, O. M., & Mohamed, R. (2012). Conversion of lignocellulosic biomass from grass to bioethanol using materials pretreated with alkali and the white rot fungus, *Phanerochaete chrysosporium*. *Bioresources*, 5500-5513. Pridobljeno iz [https://ojs.cnr.ncsu.edu/index.php/BioRes/article/view/BioRes\\_07\\_4\\_5500\\_Liong\\_Conversion\\_Lignocellulosic\\_Biomass\\_Bioethanol/1799](https://ojs.cnr.ncsu.edu/index.php/BioRes/article/view/BioRes_07_4_5500_Liong_Conversion_Lignocellulosic_Biomass_Bioethanol/1799)
- Lipovac, T. (2016). *Škrob: struktura i utjecaj na kvalitetu prehrabnenih proizvoda*. Osijek. Pridobljeno iz <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:109:009117>
- Margeot, A., Hahn-Hagerdal, B., Edlund, M., Slade, R., & Monot, F. (2009). New improvements for lignocellulosic ethanol. *Current Opinion in Biotechnology*, 372–380. Pridobljeno iz <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2009.05.009>
- Mari, M. V., Mari, J. M., Ferreira, M. C., Conceição, W., & Andrade, C. (2017). Bioethanol Production Power Plants from Sugarcane: First and Second Generation. *10th international conference on sustainable energy and environmental protection: Bioenergy and biofuels* (str. 201-208). Bled: University of Maribor Press. Pridobljeno iz <https://doi.org/10.18690/978-961-286-048-6.20>
- Mohapatra, S., Mishra, C., Behera, S., & Thatoi, H. (2017). Application of pretreatment, fermentation and molecular techniques for enhancing bioethanol production from grass biomass – A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 1007-1032. Pridobljeno iz [https://www.researchgate.net/publication/316890023\\_Application\\_of\\_pretreatment\\_fermentation\\_and\\_molecular\\_techniques\\_for\\_enhancing\\_bioethanol\\_production\\_from\\_grass\\_biomass\\_-\\_A\\_review](https://www.researchgate.net/publication/316890023_Application_of_pretreatment_fermentation_and_molecular_techniques_for_enhancing_bioethanol_production_from_grass_biomass_-_A_review)
- Mood, S. H., Golfeshan, A. H., Tabatabaei, M., Jouzani, G. S., Najafi, G. H., Gholami, M., & Ardjmand, M. (2013). Lignocellulosic biomass to bioethanol, a comprehensive review with a focus on pretreatment. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 77-93. Pridobljeno iz [https://www.researchgate.net/publication/329076395\\_Conversion\\_of\\_Lignocellulosic\\_Biomass\\_to\\_Bioethanol\\_An\\_Overview\\_with\\_a\\_Focus\\_on\\_Pretreatment](https://www.researchgate.net/publication/329076395_Conversion_of_Lignocellulosic_Biomass_to_Bioethanol_An_Overview_with_a_Focus_on_Pretreatment)
- Moon, R., Martini, A., Simonsen, J., & Youngblood, J. (2011). Cellulose nanomaterials review: structure, properties and nanocomposites. *Chemical Society Reviews*, 3941–3994. Pridobljeno iz [https://www.researchgate.net/publication/51121512\\_ChemInform\\_Abstract\\_Cellulose\\_Nanomaterials\\_Review\\_Structure\\_Properties\\_and\\_Nanocomposites](https://www.researchgate.net/publication/51121512_ChemInform_Abstract_Cellulose_Nanomaterials_Review_Structure_Properties_and_Nanocomposites)
- Mostofa, M. (2019). An Introduction to Bioethanol and Its Prospects in Bangladesh: A Review. *Journal of Energy Research and Reviews*, 1-12. doi:10.9734/JENRR/2019/46018

- M-P, J. J., & S-H, J. G. (2018). Alternative Schemes for the Purification of Bioethanol: A Comparative Study. *Recent Advantages in Petrochemical Science*. Pridobljeno iz <http://dx.doi.org/10.19080/RAPSCI.2018.04.555631>
- Muhaji, & Sutjahjo. (2018). The characteristics of bioethanol fuel made of vegetable raw materials. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. doi:10.1088/1757-899X/296/1/012019
- Naik, S., Goud, V., Rout, P., & Dalai, A. (2010). Production of first and second generation biofuels: a comprehensive review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 578-597. Pridobljeno iz <https://doi.org/10.1016/j.rser.2009.10.003>
- Nunez, C. (15. julij 2019). *Biofels, explained*. Pridobljeno iz National Geographic: <https://www.nationalgeographic.com/environment/article/biofuel>
- Ojewumi, M. E., Job, A. I., Taiwo, O. S., Obanla, O. M., Ayoola, A. A., Ojewumi, E. O., & Oyeniyi, E. A. (2018). Bio-Conversion of Sweet Potato Peel Waste to Bio-Ethanol Using Saccharomyces Cerevisiae. *International Journal of Pharmaceutical and Phytopharmacological Research*, 46-54. Pridobljeno iz <http://eprints.covenantuniversity.edu.ng/id/eprint/11318>
- Osei, J. A. (2021). *Utilization of Agricultural Food Waste Products for Bioethanol Generation, Kiambu County, Kenya*. Pridobljeno iz <http://ir-library.ku.ac.ke/handle/123456789/22573>
- Panahi, H., Dehhaghi, M., Guillemin, G., Gupta, V. K., Lam, S. S., Aghbashlo, M., & Tabatabaei, M. (2022). Bioethanol production from food wastes rich in carbohydrates. *Current Opinion in Food Science*, 71-81. Pridobljeno iz [https://www.researchgate.net/publication/356110199\\_Bioethanol\\_production\\_from\\_food\\_wastes\\_rich\\_in\\_carbohydrates](https://www.researchgate.net/publication/356110199_Bioethanol_production_from_food_wastes_rich_in_carbohydrates)
- Porqueras, E. M., Rittman, S., & Herwig, C. (2012). Biofuels and CO<sub>2</sub> neutrality: an opportunity. *Biofuels*, 413-426. doi:10.4155/bfs.12.25
- Qiao, Z., & Lü, X. (2021). Industrial bioethanol production: status and bottlenecks. *Advances in 2nd Generation of Bioethanol Production*, 213-227. Pridobljeno iz <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818862-0.00003-0>
- Quintero-Ramirez, ., R. (2014). Hydrolysis of Lignocellulosic Biomass. *Sugarcane bioethanol – R&D for Productivity and Sustainability*, 717-732. Pridobljeno iz [http://dx.doi.org/10.5151/BlucherOA-Sugarcane-SUGARCANEETHANOL\\_60](http://dx.doi.org/10.5151/BlucherOA-Sugarcane-SUGARCANEETHANOL_60)
- Ritslaid, Küüt, & Olt. (2010). State of the Art in Bioethanol Production. *Agronomy Research*, 236-254. Pridobljeno iz <https://agronomy.emu.ee/vol08Spec1/p08s127.pdf>
- Sims, R., Taylor, M., Saddler, J., & Mabee, W. (2008). *From 1st- to 2nd-Generation Biofuel Technologies: An overview of current industry and RD&D activities*. International Energy Agency. Pridobljeno iz [http://environmentportal.in/files/2nd\\_Biofuel\\_Gen.pdf](http://environmentportal.in/files/2nd_Biofuel_Gen.pdf)

- Stanbury, P., Whitaker, A., & Hall, S. (1995). *Principles of Fermentation Technologies*. Oxford, U.K. ; Tarrytown, N.Y., U.S.A.: Pergamon. Pridobljeno iz [https://books.google.si/books?hl=sl&lr=&id=CW8vBQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=fermentation&ots=iYfGkqnWTy&sig=AKpmWn8egJ0Flv4DdLkZz5UtdsE&redir\\_esc=y#v=onepage&q=fermentation&f=false](https://books.google.si/books?hl=sl&lr=&id=CW8vBQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=fermentation&ots=iYfGkqnWTy&sig=AKpmWn8egJ0Flv4DdLkZz5UtdsE&redir_esc=y#v=onepage&q=fermentation&f=false)
- Stone, R. (2012). *Introduction to Internal Combustion Engines*. Palgrave Macmillan. Pridobljeno iz [https://books.google.si/books?id=afYcBQAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=sl&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.si/books?id=afYcBQAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=sl&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)
- Sumsozas, A., Martín-Sampedro, R., Ibarra, D., Eugenio, M., Iglesias, R., Manzanares, P., & Moreno, A. (2020). Process Strategies for the Transition of 1G to Advanced Bioethanol Production. *Processes*. doi:<https://doi.org/10.3390/pr8101310>
- Swain, M. R., & Mohanty, K. S. (2018). Bioethanol Production From Corn and Wheat: Food, Fuel and Future. *Bioethanol Production from Food Crops: Sustainable Sources, Interventions and Challenges*, 45-59. Pridobljeno iz [https://www.researchgate.net/publication/327338684\\_Bioethanol\\_Production\\_From\\_Corn\\_and\\_Wheat\\_Food\\_Fuel\\_and\\_Future](https://www.researchgate.net/publication/327338684_Bioethanol_Production_From_Corn_and_Wheat_Food_Fuel_and_Future)
- Škrnjanc, S. (2018). Merilni sistemi za določitev izkoristka dvotaktnega motorja. Ljubljana, Ljubljana, Slovenija. Pridobljeno iz <http://pefprints.pef.uni-lj.si/5170/>
- Tabak, J. (2009). *Biofuels*. New York: Infobase Publishing. Pridobljeno iz [https://books.google.si/books?id=leci9F\\_pBIC&printsec=frontcover&hl=sl&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.si/books?id=leci9F_pBIC&printsec=frontcover&hl=sl&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)
- Taherzadeh, M., & Karimi, K. (2007). Enzymatic-based hydrolysis processes for ethanol from lignocellulosic materials: A review. *BioResources*, 707-738. Pridobljeno iz <https://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?dswid=401&pid=diva2%3A870387>
- Trzcinski, A. P. (2017). *Biofuels from food waste : applications of saccharification using*. Taylor & Francis Group. Pridobljeno iz <https://doi.org/10.1201/9781315104690>
- Tse, T., Wiens, D., & Reaney, M. (2021). Production of Bioethanol - A Review of Factors Affecting Ethanol Yield. *Fermentation*. Pridobljeno iz <https://doi.org/10.3390/fermentation7040268>
- Vasić, K., Knez, Ž., & Leitgeb, M. (2021). Bioethanol Production by Enzymatic Hydrolysis from Different Lignocellulosic Sources. *Molecules*. Pridobljeno iz <https://doi.org/10.3390/molecules26030753>
- Vršič, K. (2015). Sinteza procesov za proizvodnjo bioetanola. Maribor, Slovenija. Pridobljeno iz <https://core.ac.uk/download/pdf/67597148.pdf>
- Wyman, C. (1996). *Handbook on Bioethanol: Production and Utilization*. Washington DC: Taylor and Francis. Pridobljeno iz [https://books.google.si/books?id=KziEzu--D7oC&pg=PR3&hl=sl&source=gbs\\_selected\\_pages&cad=2#v=onepage&q&f=false](https://books.google.si/books?id=KziEzu--D7oC&pg=PR3&hl=sl&source=gbs_selected_pages&cad=2#v=onepage&q&f=false)

Yamada, S., Shinomiya, N., Ohba, K., Sekikawa, M., & Oda, Y. (2009). Enzymatic Hydrolysis and Ethanol Fermentation of By-Products from Potato Processing Plants. *Food Science and Technology Research*, 653-658. Pridobljeno iz <https://doi.org/10.3136/fstr.15.653>