

OŠ Gustava Šiliha Velenje  
Vodnikova 3, 3320 Velenje  
Mladi raziskovalci za razvoj SAŠA regije

RAZISKOVALNA NALOGA

## **KISLI ČUDEŽ V KOZARCU**

Tematsko področje: BIOLOGIJA

Avtor:

Kristian Muha, 9. razred

Mentorica: Suzana Pustinek, prof. biol.

Somentor: mag. Simon Muha, univ. dipl. inž.

Velenje, 2025

Raziskovalna naloga je bila opravljena na Osnovni šoli Gustava Šiliha Velenje.

Mentorica: Suzana Pustinek prof. biol.

Somentor: mag. Simon Muha, univ. dipl. inž.

Datum predstavitve: marec 2025

## KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

- ŠD OŠ Gustava Šiliha, 2024/2025
- KG fermentacija / kislo zelje / mlečnokislinske bakterije / sol / senzorične lastnosti / pH vrednost / senzorji / Arduino
- AV MUHA, Kristian
- SA PUSTINEK, Suzana / MUHA, Simon
- KZ 3320 Velenje, SLO, Vodnikova 3
- ZA OŠ Gustava Šiliha Velenje
- LI 2025
- IN KISLI ČUDEŽ V KOZARCU
- TD Raziskovalna naloga
- OP VIII, 37 str., 28 sl., 6 tab., 8 vir.
- IJ SL
- Jl sl
- AI Raziskava je obravnavala vpliv vrste soli, koncentracije soli in vrste zelja na fermentacijo kislega zelja. Ugotovljeno je bilo, da paška in tradicionalna sol pozitivno vplivata na fermentacijski proces, medtem ko višja koncentracija soli sprva pospeši fermentacijo, a jo ob previsokih vrednostih zavira. Domače zelje je zaradi višje vsebnosti naravnih sladkorjev doseglo boljše senzorične lastnosti kot kupljeno. Uporaba fermentacijskih pokrovov in senzorjev je omogočila natančnejše spremljanje in nadzor nad procesom. Rezultati kažejo, da standardizacija pogojev in sodobna tehnologija bistveno prispevata k izboljšani kakovosti kislega zelja.

## KEY WORDS DOCUMENTATION

- ND OŠ Gustava Šiliha, 2024/2025
- CX fermentation / sauerkraut / lactic acid bacteria / salt / sensory properties / pH value / sensors / Arduino
- AU MUHA, Kristian
- AA PUSTINEK, Suzana / MUHA, Simon
- PP 3320 Velenje, SLO, Vodnikova 3
- PB OŠ Gustava Šiliha Velenje
- PY 2025
- TI THE SOUR MIRACLE IN A JAR
- DT RESEARCH WORK
- NO VIII, 37 p., 28 fig., 6 tab., 8 ref.
- LA SL
- AL sl / en
- AB The study examined the impact of salt type, salt concentration, and cabbage variety on sauerkraut fermentation. It was found that Pag and traditional salt had a positive effect on the fermentation process, while higher salt concentrations initially accelerated fermentation but inhibited it at excessive levels. Homemade cabbage achieved better sensory qualities than store-bought cabbage, primarily due to a higher natural sugar content that promotes the growth of lactic acid bacteria. The use of fermentation lids and sensors enabled more precise monitoring and control of the process. The results indicate that standardizing conditions and integrating modern technology significantly contribute to improved sauerkraut quality.

## KAZALO VSEBINE

<b>1 UVOD .....</b>	<b>1</b>
<b>2 PREGLED OBJAV .....</b>	<b>2</b>
2.1 VRTNINE .....	2
2.3 FERMENTACIJA .....	7
<b>3. METODE DELA .....</b>	<b>12</b>
3.1 VPLIV VRSTE ZELJA IN SOLI NA FERMENTACIJO .....	12
3.2 RAZVOJ FERMENTACIJSKE POSODE ZA KISANJE ZELJA .....	15
<b>4 REZULTATI .....</b>	<b>20</b>
4.1 MERJENJE PH .....	20
4.2 SENZORIČNA ANALIZA .....	22
4.2 FERMENTACIJSKA POSODA .....	25
<b>5 DISKUSIJA.....</b>	<b>28</b>
5.1 POTRDITEV HIPOTEZ .....	28
5.2 ZAKLJUČEK .....	29
<b>6 ZAKLJUČEK.....</b>	<b>31</b>
<b>7 POVZETEK.....</b>	<b>32</b>
<b>8 A SUMMARY.....</b>	<b>33</b>
<b>9 LITERATURA IN VIRI.....</b>	<b>34</b>
<b>ZAHVALA.....</b>	<b>35</b>
<b>PRILOGE .....</b>	<b>36</b>

## KAZALO TABEL

TABELA 1: HRANILNA VREDNOST 100 G SVEŽIH VRTNIN (ŠEŠEK, 1971) .....	2
TABELA 2: VPLIV VRSTE ZELJA IN SOLI NA FERMENTACIJO – MERITVE PH .....	20
TABELA 3: REZULTATI OCENJEVANJA – SENZORIČNO – VIDEZ .....	22
TABELA 4: REZULTATI OCENJEVANJA – SENZORIČNO - OKUS.....	22
TABELA 5 REZULTATI OCENJEVANJA – SENZORIČNO – SPLOŠNA OCENA .....	23
TABELA 6: FERMENTIRANJE V FERMENTACIJSKI POSODI.....	25

## KAZALO SLIK

SLIKA 1: KORENČNICE (FOTO: CANVA) .....	3
SLIKA 2: STEBELNE VRTNINE (FOTO: CANVA).....	3
SLIKA 3: STEBELNE VRTNINE (FOTO: CANVA).....	3
SLIKA 4: CVETNE VRTNINE (FOTO: CANVA) .....	4
SLIKA 5: PLODOVKE (FOTO: CANVA) .....	4
SLIKA 6: STROČNICE (FOTO: CANVA).....	4
SLIKA 7: GOMOLJNICE (FOTO: CANVA) .....	5
SLIKA 8: ZELJE (FOTO: CANVA).....	5
SLIKA 9: KLASIČNO OKROGLO ZELJE (FOTO: CANVA) .....	6
SLIKA 10: RDEČE ZELJE (FOTO: CANVA).....	6
SLIKA 11: KODRASTO ZELJE (FOTO: CANVA) .....	6
SLIKA 12: KITAJSKO ZELJE (FOTO:CAVA).....	6
SLIKA 13: OHROVT (FOTO: CANVA) .....	7
SLIKA 14: BRSTIČNI OHROVT (FOTO: CANVA).....	7
SLIKA 15: KORISTNI UČINKI VITAMINOV IN MINERALOV (FOTO: R. MULLIGAN) .....	10
SLIKA 16: FERMENTIRANE VRTNINE (FOTO: CANVA) .....	11
SLIKA 17: VZORCI ZELJA ZA FERMENTACIJO (FOTO: K. MUHA).....	12
SLIKA 18: MERJENJE PH VREDNOSTI (FOTO: K. MUHA) .....	14
SLIKA 19: MERJENJE PH VREDNOSTI Z ARDUINOM (FOTO: K. MUHA) .....	14
SLIKA 20: VZORCI KISLEGA ZELJA ZA SENZORIČNO OCENJEVANJE (FOTO: K. MUHA) .....	15
SLIKA 21: POKROV FERMENTACIJSKE NAPRAVE (FOTO: K. MUHA).....	16
SLIKA 22: 3D MODEL POKROVA FERMENTATORJA (FOTO: K. MUHA) .....	18
SLIKA 23: SPODNJI DEL IN VALJ FERMENTATORJA (FOTO: K. MUHA).....	18
SLIKA 24: ARDUINO UNO (FOTO: K. MUHA).....	37
SLIKA 25: SW-420 VIBRACIJSKI MODUL (FOTO: ALIEXPRESS) .....	38
SLIKA 26: DELOVANJE VIBRACIJSKEGA MODULA (FOTO: K. MUHA) .....	40
SLIKA 27:DELOVANJE SENZORJA MQ-135 (FOTO: K. MUHA) .....	42
SLIKA 28: DELOVANJE SENZORJA MQ-9 (FOTO: K. MUHA).....	44

## **SEZNAM PRILOG**

### **PRILOGA A: ARDUINO IN KOMPONENTE**

## SEZNAM OKRAJŠAV

OŠ	Osnovna šola
s sod.	s sodelavci
npr.	na primer
oz.	oziroma
ml	mililiter
g	gram
mm	milimeter
UV	ultravijolična svetloba
IDE	Integrirano razvojno okolje (Integrated Development Environment)
št	število
ppm	delcev na milijon (parts per million)

## 1 UVOD

Kislo zelje je že stoletja pomemben del slovenske kulinarčne dediščine. Poleg bogatega okusa ima tudi številne zdravstvene koristi, saj je naravno bogato s probiotiki, vitamini in minerali. V zadnjem času se zaradi vedno večje ozaveščenosti o zdravi prehrani zanimanje za fermentirano hrano ponovno povečuje. Proces kisanja temelji na mlečnokislinski fermentaciji, pri kateri koristne bakterije pretvorijo naravne sladkorje v mlečno kislino. Ta proces ne le omogoča dolgoročno shranjevanje zelja, ampak tudi izboljša njegov okus in prehransko vrednost.

V naši družini kisamo zelje že vrsto let in opažamo, da so rezultati vsako leto nekoliko drugačni – tako po okusu kot po strukturi in videzu. To me je spodbudilo k raziskovanju dejavnikov, ki vplivajo na uspešnost fermentacije. Zanimalo me je predvsem, kako vrsta zelja, količina soli in vrsta uporabljene soli vplivajo na potek fermentacije ter končne senzorične lastnosti kislega zelja.

Raziskovalno vprašanje, ki sem si ga zastavil, se glasi:

Kako vrsta in količina soli ter vrsta zelja vplivajo na fermentacijo in kakovost kislega zelja?

Ta raziskava je pomembna, ker pomaga razumeti, kako lahko tudi v domačih pogojih izboljšamo kakovost kislega zelja na naraven način – brez dodatkov in konzervansov. Prav tako lahko prispeva k večji samooskrbi in spodbujanju uporabe tradicionalnih metod shranjevanja hrane.

Hipoteze:

1. Različne vrste soli vplivajo na proces fermentacije kislega zelja.
2. Višja koncentracija soli vpliva na hitrost zmanjševanja pH vrednosti.
3. Višja koncentracija soli vpliva na teksturo kislega zelja.
4. Vrsta zelja vpliva na senzorične lastnosti fermentiranega izdelka.
5. Spremljanje fermentacije s senzorji omogoča natančnejši vpogled v proces.

## 2 PREGLED OBJAV

### 2.1 VRTNINE

Vrtnine so kulturne rastline, ki jih navadno vzgajamo na vrtovih in nam služijo za prehrano.

Iz spodnje tabele je razvidno, da se krompir in stročnice po svoji sestavi razlikujejo od ostalih vrtnin, v katerih je le 4 – 8 % hranljivih snovi in več kot 90 % vode. Zaradi velikih količin vode v vrtninah so le te hitro pokvarljive. Vrtnine so važen del naše prehrane, ker vsebujejo vitamine in rudninske snovi, v nekaterih državah pa predstavljajo glavno človeške hrane (Šešek, 1971).

Tabela 1: Hranilna vrednost 100 g svežih vrtnin (Šešek, 1971)

Vrsta zelenjave	Voda (g)	Maščobe (g)	Beljakovine (g)	Ogljikovi hidrati (g)	Vitamin A (mg)	Vitamin B1 (mg)	Vitamin C (mg)
Cvetača	91	0,5	1,8	4,7	0,018	0,20	90
Zelje - presno	90	0,3	1,6	5,6	0,024	0,03	40
Koleraba	86	0,1	2,1	5,5	3,000	0,07	80
Špinača	93	0,3	2,1	3,2	7,500	0,11	75
Paradižnik	93	0,4	0,9	3,9	0,360	0,12	25
Paprika - zelena	86	1,0	1,5	5,9	-	-	125
Krompir - mlad	75	0,1	2,1	21,0	-	0,09	-
Fižol - suh	13	2,0	24,0	54,0	0,015	0,62	-

#### 2.1.1 OSNOVNA DELITEV VRTNIN

V grobem vrtnine delimo v dve skupini:

- Vrtnine, ki vsebujejo mnogo hranljivih snovi in imajo veliko kalorično vrednost ter predstavljajo v nekaterih krajih glavno hrano (stročnice in krompir).
- Vrtnine, ki imajo relativno malo hranljivih sestavin. Pomembne pa so zato, ker dajejo človeškemu organizmu največ mineralov in rudninskih snovi (Šešek, 1971).

#### 2.1.2 DELITEV VRTNIN GLEDE NA UPORABNOST POSAMEZNIH DELOV

Za prehrano redko uporabljamo vso rastlino (peteršilj), temveč večinoma posamezne dele. Po uporabnosti posameznih delov delimo vrtnine v naslednje skupine:

- Korenčnice (korenček, peteršilj, zelena, koleraba, redkev, pesa, repa).
- Stebelne vrtnine (čebula, česen, por, šparglji).
- Zelenjava (zelje, ohrovt, špinača, solata).
- Cvetne vrtnine (cvetača, artičoka).

- Plodovke (paradižnik, paprika, kumare, buče).
- Stročnice (fižol, grah, leča, bob, soja).
- Gomoljnice (krompir).

Korenčnice so vrtnine, pri katerih uporabljamo predvsem podzemne dele rastline – korenine. Mednje spadajo korenček, peteršilj, zelena, koleraba, redkev, pesa in repa. Te rastline so bogate z vitamini in minerali ter se pogosto uporabljajo v juhah, solatah, prilogah in enolončnicah. Poleg sveže uporabe jih lahko shranjujemo v obliki kisanja, sušenja ali zamrzovanja.



Slika 1: Korenčnice (foto: Canva)

Stebelne vrtnine vključujejo rastline, pri katerih uživamo steblo ali olistane poganjke. Sem sodijo čebula, česen, por in šparglji. Te vrtnine so pomembne za kulinariko zaradi svoje intenzivne arome in okusa. Čebula in česen sta znana po svojih antiseptičnih lastnostih, por se pogosto uporablja v juhah, medtem ko so šparglji cenjeni kot del prefinjenih jedi.



Slika 2: Stebelne vrtnine (foto: Canva)

Zelenjava je skupina vrtnin, pri katerih uživamo predvsem liste, kot so zelje, ohrovt, špinača in solata. Te rastline so bogate z vlakninami, vitamini in antioksidanti, kar prispeva k zdravi prehrani. Uporabljamo jih surove v solatah, kuhane v prilogah ali kot sestavine različnih jedi. Ohrovt in špinača sta še posebej cenjena zaradi visoke vsebnosti železa in drugih hranilnih snovi.



Slika 3: Stebelne vrtnine (foto: Canva)

Cvetne vrtnine so vrtnine, pri katerih uporabljamo cvetove ali cvetna socvetja. Sem sodita cvetača in artičoka. Cvetača je vsestranska sestavina, ki se lahko uporablja kuhano, pečeno, kot pire ali celo kot alternativa testeninam in rižu. Artičoka je cenjena zaradi svojega edinstvenega okusa in vsebnosti antioksidantov, pogosto pa jo uživamo dušeno ali marinirano.



Slika 4: Cvetne vrtnine (foto: Canva)

Plodovke so vrtnine, pri katerih uživamo plodove rastlin. Mednje spadajo paradižnik, paprika, kumare in buče. Te vrtnine so nepogrešljive v kuhinji, saj so osnova številnih jedi, od solat in omak do prilog in juh. So bogate s hranili, vitamini in antioksidanti, ki prispevajo k zdravemu življenjskemu slogu.



Slika 5: Plodovke (foto: Canva)

Stročnice vključujejo fižol, grah, lečo, bob in sojo. Te rastline so izjemno bogate z beljakovinami, zaradi česar so pomemben del vegetarijanske in veganske prehrane. Poleg tega vsebujejo veliko vlaknin, ki pripomorejo k boljši prebavi. Stročnice lahko uživamo sveže, posušene ali predelane v različne jedi, kot so juhe, pireji in solate.



Slika 6: Stročnice (foto: Canva)

Gomoljnice, kamor sodi krompir, so vrtnine, pri katerih uporabljamo podzemne gomolje. Krompir je ena najpomembnejših prehranskih rastlin na svetu in se uporablja na različne načine – kuhan, pečen, pražen ali ocvrt. Vsebuje veliko škroba, kar mu daje



energijsko vrednost, poleg tega pa je tudi dober vir vitamina C in kalija.	Slika 7: Gomoljnice (foto: Canva)
--	-----------------------------------

Zelje je listna vrtnina in spada med zelenjavo. Zelenjava mora biti zdrava in sveža. Listne vrtnine se hitro pokvarijo in pričnejo gniti. Zelje je zelo zdrava zelenjava, saj vsebuje precej vitamina C, vitamina A in B, od rudninskih snovi pa kalcij, žveplo, jod in železo. Transportiramo in skladiščimo ga v razsutem stanju. Sveže zelje se ne ohrani dolgo časa. Uživamo ga sveže kot solato, kuhamo pa ga v juhah in prikudah ter kot dodatek mesnim jedem. Posebno zdravo je kislo zelje. To vsebuje tudi mlečne kislinske bakterije, ki uničujejo razne druge bakterije v črevesju.

Kislo zelje obdrži prijeten okus in vitamine le dotlej, dokler je močno stisnjeno v neprodušno zaprtih posodah. Zato ga moramo pri kisanju obtežiti. Kislo zelje mora biti svetlo in trdikasto, imeti mora značilen prijeten vonj in dober okus. Ne sme biti kašasto, sluzasto, zmehčano, plesnivo in ne sme kazati kakršnihkoli drugih znakov kvarjenja (Šešek, 1971).



Slika 8: Zelje (foto: Canva)

### **2.2.1 VRSTE ZELJA**

Izbira zelja ni tako preprosta, kot bi si človek lahko mislil. Na voljo je kar nekaj sort zelja, ki se med seboj razlikujejo po zgodnosti in s tem tudi po uporabi. Zato vam priporočamo, da je vaše vodilo pri izbiri sorte to, za kakšen namen želite imeti zelje. Je to izključno za svežo porabo, za enolončnice, solate ali je to predvsem za kisanje zelja? (Benec, 2025)

V Sloveniji pridelujemo več vrst domačega zelja, ki jih lahko razdelimo glede na obliko, način rasti in uporabo. Med najbolj priljubljene vrste spadajo:

Belo zelje (*Brassica oleracea* var. *capitata* f. *alba*)

Klasično okroglo zelje, ki se uporablja za kisanje, solate, dušenje in kuhane jedi.

Primerne sorte: Varšavsko, Srbsko, Bravo, Krautman, Hinova glava (Palazzi, 1993).



Slika 9: Klasično okroglo zelje (foto: Canva)

Rdeče zelje (*Brassica oleracea* var. *capitata* f. *rubra*)

Ima rdeče-vijolične liste zaradi večje vsebnosti antocianov.

Pogosto se uporablja za solate in dušene jedi.

Sorte: Rodima, Cabeza negra, Langedijka (Palazzi, 1993).



Slika 10: Rdeče zelje (foto: Canva)

Savsko ali kodrasto zelje (*Brassica oleracea* var. *sabauda*)

Ima nagubane (mehurjaste) liste, je mehkejša in lažje prebavljivo kot belo zelje.

Primerno za polnjene liste, dušenje in solate.

Sorte: Vertus, Wirosa, Winterfürst (Palazzi, 1993).



Slika 11: Kodrasto zelje (foto: Canva)

Kitajsko zelje (*Brassica rapa* var. *pekinensis*)


Podolgovata glava, mehki listi, blagega okusa.

Uporablja se v solatah, juhah in azijskih jedeh.

Sorte: Granaat, Parkin, Michihili (Palazzi, 1993).



Slika 12: Kitajsko zelje (foto:Cava)

<p>Listnato zelje (ohrovt) (<i>Brassica oleracea</i> var. <i>acephala</i>)</p> <p>Ne tvori glav, temveč ima ohlapne liste, ki jih obiramo sproti.</p> <p>Primeren za juhe, enolončnice in priloge.</p> <p>Sorte: Palmov ohrovt (črni toskanski ohrovt), Zimski ohrovt (Palazzi, 1993).</p>	 <p>Slika 13: Ohrovt (foto: Canva)</p>
<p>Brstični ohrovt (<i>Brassica oleracea</i> var. <i>gemmifera</i>)</p> <p>Na stebalu rastejo majhne zeljnate glavice, ki jih pobiramo sproti. Uporablja se v prilogah, juhah in pečenih jedeh.</p> <p>Sorte: Casiopea, Igor, Groninger (Pallazzi, 1993).</p>	 <p>Slika 14: Brstični ohrovt (foto: Canva)</p>

### 2.3 FERMENTACIJA

Fermentacija je eden najstarejših načinov konzerviranja hrane, ki temelji na naravnih mikrobioloških procesih. V knjigi *Fermentirajmo!* avtorica (Mulligan, 2018) razlaga pomen fermentacije v prehrani in njen vpliv na kakovost hrane. Kislo zelje, ki nastane s fermentacijo svežega zelja s pomočjo mlečnokislinskih bakterij, je eden najbolj poznanih fermentiranih izdelkov.

Fermenti ali encimi so komplicirano sestavljene organske snovi, ki se tvorijo v vsakem živem organizmu in jih najdemo v vsaki živi celici. Ker so tudi živila proizvodi takih živih celic, je v njih mnogo fermentov. Fermenti ali encimi imajo vlogo katalizatorja. Pospešujejo ali zavirajo razne kemijske kemijske presnove, ne da bi se pri tem smi spreminjali. Za vsako vrsto presnavljanja so potrebni posebni encimi.

Delovanje fermentov v živem organizmu je skladno, fermenti vplivajo na to, da se v organizmu vzdržuje življenje. Brž, ko pa organizem odmre, pričnejo fermenti delovati vsak na svojo roko in posamezne hranljive snovi razkrajajo, kar se dogaja tudi pri živilih. Fermenti lahko delujejo le v določenih pogojih in sicer, če imajo dovolj vlage, zraka in primerno temperaturo in če niso prisotne snovi, ki jih uničujejo (Šešek, 1971).

### **2.3.1 MIKROBIOLOŠKI PROCES FERMENTACIJE**

Fermentacija kislega zelja temelji na naravnem procesu razgradnje sladkorjev, ki jih mlečnokislinske bakterije pretvorijo v mlečno kislino.

Fermentacija je biološki proces, pri katerem mikroorganizmi – predvsem bakterije in kvasovke – pretvarjajo sladkorje v druge spojine, kot so kisline, plini ali alkohol. Pri kislem zelju gre za mlečnokislinsko fermentacijo. Mlečna kislina zniža pH v posodi, kar prepreči razvoj škodljivih mikroorganizmov in s tem omogoča dolgotrajno shranjevanje živila.

Ti mikroorganizmi so že prisotni na površini surovega zelja, zato za začetek fermentacije ni potrebno dodajati nobenih dodatnih kultur – dovolj je le primerna količina soli, ki ustvari okolje, ugodno za razvoj koristnih bakterij, hkrati pa zavira rast nezaželenih organizmov.

Med glavne bakterijske rodove, ki sodelujejo pri tem procesu, spadajo:

- *Lactobacillus* – zagotavlja stabilnost fermentacije in prispeva k značilnemu okusu,
- *Leuconostoc* – sodeluje v zgodnjih fazah fermentacije in vpliva na razvoj arome,
- *Pediococcus* – pomaga pri zniževanju pH vrednosti in izboljšuje obstojnost izdelka.

Pravilno izvedena fermentacija ne le podaljšuje obstojnost zelja, temveč tudi povečuje njegovo hranilno vrednost in pozitivno vpliva na prebavni sistem (Mulligan, 2018).

### **2.3.2 FERMENTACIJA NI ENAKA GNITJU**

Pogosto ljudje fermentacijo zmotno zamenjujejo z gnitjem, čeprav gre za povsem različna procesa. Fermentacija je nadzorovan proces, pri katerem koristni mikroorganizmi pretvarjajo sladkorje in druge spojine v varne, zdrave produkte, kot je mlečna kislina. Gnitje pa je nenadzorovana razgradnja organskih snovi, ki jo povzročajo bakterije gnitja in plesni – pogosto ob prisotnosti kisika – kar vodi do neprijetnih vonjav, spremembe barve in tvorbe zdravju škodljivih snovi.

Za uspešno fermentacijo je ključnega pomena, da zagotovimo anaerobne pogoje (brez prisotnosti kisika) in pravilno razmerje soli, saj to preprečuje razvoj gnilobnih bakterij in plesni ter omogoča, da prevladajo mlečnokislinske bakterije.

### **2.3.3 VPLIV SOLI NA FERMENTACIJO**

Sol ima pri fermentaciji kislega zelja ključno vlogo, saj uravnava aktivnost mlečnokislinskih bakterij in preprečuje razvoj nezaželenih mikroorganizmov. Pomembni vidiki:

- Premajhna količina soli lahko povzroči, da se razvijejo neželeni mikroorganizmi, ki pokvarijo fermentacijo.
- Previsoka koncentracija soli upočasni fermentacijo in lahko povzroči premočan slan okus. (Mulligan, 2018)

Priporočena količina soli znaša 2–3 % glede na težo zelja, kar omogoča optimalno fermentacijo in razvoj mlečnokislinskih bakterij.

Priporoča se uporaba nerafinirane soli, kot sta morska sol ali kamena sol, saj ne vsebuje dodatkov, kot so jod in sredstva proti strjevanju, ki lahko negativno vplivajo na fermentacijo. (Mulligan, 2018)

Himalajska sol vsebuje več kot 80 različnih mineralov in elementov v sledovih, kar lahko vpliva na fermentacijo. Železo, ki ji daje značilno rožnato barvo, lahko vpliva na barvne spremembe zelja, medtem ko lahko višja vsebnost nekaterih mineralov upočasni rast mlečnokislinskih bakterij, kar lahko podaljša čas fermentacije ali spremeni njeno dinamiko (Weihofen, 2003).

#### ***2.3.4 VPLIV TEMPERATURE NA FERMENTACIJO***

Temperatura ima pomemben vpliv na hitrost in kakovost fermentacije. Idealna temperatura za kisanje zelja znaša med 18 °C in 22 °C. Pri tej temperaturi mlečnokislinske bakterije najbolje delujejo in ustvarjajo stabilno fermentacijsko okolje. (Mulligan, 2018)

Če je temperatura prenizka, se fermentacija upočasni in postopek traja dlje, kar povečuje tveganje za rast nezaželenih bakterij.

Če je temperatura previsoka, lahko fermentacija poteka prehitro, kar povzroči neprijetne vonjave in mehko teksturo zelja. Optimalno trajanje fermentacije je 3 do 4 tedne, odvisno od temperature in količine soli. Po končanem fermentacijskem procesu se zelje shrani v hladnejšem prostoru ali hladilniku, da se fermentacija upočasni in ohrani kakovost izdelka. (Mulligan 2018)

#### ***2.3.5 KORISTNI UČINKI FERMENTACIJE***

Fermentacija ima številne koristne učinke na zdravje in prehrano. Najpomembnejša prednost je izboljšanje prebave, saj fermentirana živila vsebujejo probiotike, ki krepijo črevesno floro in pomagajo preprečevati prebavne težave, kot so napihnjenost in zaprtje. Poleg tega fermentacija poveča hranilno vrednost hrane, saj izboljša absorpcijo mineralov in poveča vsebnost vitaminov, zlasti vitamina C in B-vitaminov. Uživanje fermentiranih živil pozitivno vpliva tudi

na imunski sistem, saj probiotiki in antioksidanti prispevajo k večji odpornosti organizma (Mulligan, 2018).

Prav tako fermentirana živila pomagajo pri uravnavanju telesne teže in presnove, saj vpliva na razgradnjo sladkorjev in maščob ter zmanjšuje tveganje za debelost. Pomembna je tudi povezava med črevesno floro in delovanjem možganov, zaradi česar lahko fermentirana živila pomagajo pri zmanjšanju stresa in izboljšanju duševnega zdravja. Poleg zdravstvenih koristi fermentacija podaljšuje obstojnost hrane brez uporabe umetnih konzervansov, saj mlečnokislinske bakterije zavirajo rast škodljivih mikroorganizmov. Prav tako izboljša okus in teksturo hrane, saj ji daje bogatejši, kompleksnejši okus in prijetno hrustljivost (Mulligan, 2018).



Slika 15: Koristni učinki vitaminov in mineralov (foto: R. Mulligan)

### **2.3.6 FERMENTIRANJE DRUGIH VRST VRTNIN**

V jesenskem času, ko so temperature nižje se postopek fermentacije upočasni, kar omogoča zelenjavi, da razvije kompleksnejše okuse. Zato lahko poleg zelja fermentiramo tudi korenje, rdečo peso, cvetačo, bučke, zelene paradižnike, redkvice in druge vrtnine. Postopna fermentacija pomaga vrtninam ohraniti hrustljivo teksturo, prav tako pa prepreči rast

nezaželenih bakterij. Vrtnine, pobrane v vrhuncu sezone, septembra in oktobra, so odlične za hrambo in vam omogočajo, da v njih uživata še celo zimo (Koletnik, 2024).

Fermentacijo delimo na mokro in suho, pri čemer se razlikujeta predvsem po prisotnosti tekočine. Mokra fermentacija poteka v slanici ali lastnem soku živila in je najpogostejša pri kislem zelju, kimchiju in kislih kumaricah. Postopek vključuje soljenje, pri čemer zelenjava spusti naravne sokove ali pa ji dodamo dodatno slanico, kar ustvari anaerobne pogoje, ki spodbujajo rast mlečnokislinskih bakterij. Ta metoda zagotavlja stabilno fermentacijo z manjšo možnostjo plesni ali kvarjenja (Piccantino, 2024).



Slika 16: Fermentirane vrtnine (foto: Canva)

Suha fermentacija pa poteka brez dodajanja tekočine, saj se sol enakomerno vtire v živilo, ki nato postopoma sprošča lastne sokove. Uporablja se predvsem pri suhomesnatih izdelkih, fermentiranih čajih in nekaterih vrstah zelenjave. Prednost suhe fermentacije je bolj intenziven okus in daljša obstojnost, vendar zahteva natančnejši nadzor, da se prepreči razvoj nezaželenih mikroorganizmov. Pri fermentaciji zelja se običajno uporablja mokra metoda, saj mlečnokislinske bakterije potrebujejo tekoče okolje za optimalen razvoj (Piccantino, 2024).

### **3. METODE DELA**

#### ***3.1 VPLIV VRSTE ZELJA IN SOLI NA FERMENTACIJO***

##### ***3.1.1 PRIPRAVA VZORCEV ZA FERMENTACIJO***

Za testne vzorce sem uporabil dve vrsti zelja. Do sedaj smo vsako leto fermentirali zelje, vendar vrst zelja nismo posvečali velike pozornosti. Kisali smo kupljeno zelje, ki je bilo v trgovini najbolj ugodno. Uporabili smo tudi navadno sol. Letos smo dobili domače zelje, večje in debelejše glave ter kupljeno zelje, okroglo, manjše glave. Odločil sem se, da bom naredil 24 vzorcev, iz vsake vrste zelja po 12 vzorcev. Uporabil sem štiri različne vrste soli: navadno morsko sol, paško sol, tradicionalno nerafinirano piransko sol in himalajsko sol.



Slika 17: Vzorci zelja za fermentacijo (foto: K. Muha)

Za zagotavljanje ponovljivih rezultatov sem pripravil 24 vzorcev za fermentacijo, pri čemer sem uporabil 12 vzorcev domačega in 12 vzorcev kupljenega zelja. Domače zelje je imelo večje in debelejše glave, medtem ko so bile glave kupljenega zelja manjše in bolj kompaktne.

##### ***3.1.2 IZBIRA SOLI***

Da bi ugotovil, ali različne soli vplivajo enako na proces fermentacije, sem uporabil štiri različne vrste soli: navadno morsko sol, paško sol, tradicionalno nerafinirano piransko sol in himalajsko sol.

Vsak vzorec je vseboval natančno 500 g zelja, kateremu sem dodal eno izmed štirih vrst soli: navadno morsko sol, paško sol, tradicionalno nerafinirano piransko sol ali himalajsko sol. Da bi preučil vpliv različne koncentracije soli, sem za vsako vrsto zelja pripravil tri različne količine soli: 7,5 g, 10 g in 12,5 g. Tako sem za vsako vrsto soli pripravil šest vzorcev – trije s kupljenim in trije z domačim zeljem.

Vzorci so bili shranjeni v steriliziranih steklenih kozarcih, pri čemer sem zagotovil enake pogoje za vse vzorce, da bi omogočil objektivno primerjavo vpliva vrste in količine soli na fermentacijo ter senzorične lastnosti kislega zelja.

### ***3.1.3 EKSPERIMENTALNA METODA MERJENJA PH VREDNOSTI***

Eksperimentalna metoda je bila osrednja pri raziskavi, saj sem izvedel praktični poskus fermentacije različnih vzorcev zelja pod enakimi pogoji. Cilj eksperimenta je bil preučiti vpliv vrste in količine soli na fermentacijo ter spremljati spremembe v pH vrednostih in senzoričnih lastnostih kislega zelja.

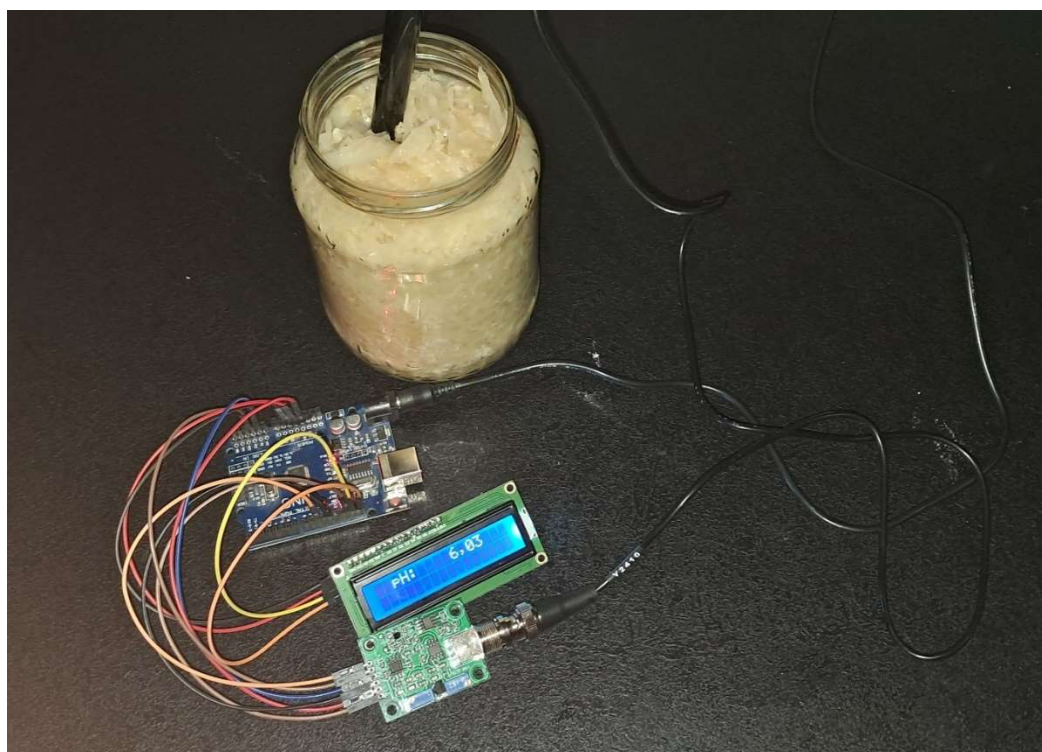
Najprej sem pripravil 24 vzorcev, pri čemer sem uporabil dve vrsti zelja, domače in kupljeno, ter različne vrste soli. Vsak vzorec je vseboval natančno stehtano količino zelja in ustrezno količino soli, nato pa sem jih shranil v sterilizirane steklene kozarce, kjer so fermentirali pod enakimi pogoji.

Potek fermentacije sem natančno spremljal s tedenskimi meritvami pH vrednosti, ki sem jih izvajal s pH-metrom. Prvo meritev sem opravil takoj po pripravi vzorcev, nato pa vsak teden, dokler se pH vrednosti niso stabilizirale. Poleg tega sem redno beležil tudi senzorične lastnosti, kot so vonj, barva, tekstura in prisotnost morebitnih nepravilnosti (npr. sluzavost ali plesniva površina).

Za preverjanje točnosti meritev sem na začetku uporabil tri različne pH metre. Dva od teh sta bila kupljena, tretjega pa sem sam sestavil s pomočjo pH senzorja, povezanega na mikrokrmilnik Arduino. Vse tri naprave sem primerjal z meritvami v enakem vzorcu in ocenil njihovo natančnost ter odstopanja. Odstopanja so bila manjša od 5 %. Na podlagi te primerjave sem nato za nadaljnje tedenske meritve uporabil en pH meter.



Slika 18: Merjenje pH vrednosti (foto: K. Muha)



Slika 19: Merjenje pH vrednosti z Arduinom (foto: K. Muha)

### **3.1.4 SENZORIČNA ANALIZA FERMENTIRANEGA ZELJA**

Čeprav sem senzorične lastnosti zelja opazoval že med eksperimentalno metodo, sem na koncu fermentacije izvedel dodatno senzorično analizo, da bi pridobil objektivne ocene različnih

vzorcev. Za ta del raziskave sem zelje razdelil na 12 ločenih kupčkov na krožniku, pri čemer sem poskrbel, da so bili vzorci ustrezno označeni in razporejeni.

Pri ocenjevanju je sodelovalo 8 oseb (starih med 40 in 70 let), ki so poskusile fermentirano zelje in ocenile videz, okus in podali splošno oceno vsakega vzorca. Ocene so podali s pomočjo petstopenjske lestvice, kjer je 1 predstavljala najslabšo oceno, 5 pa najboljšo. Pri oceni videza so upoštevali barvo, teksturo in prisotnost morebitnih nepravilnosti, pri okusu pa uravnoteženost kisline, slanosti in morebitne neželene priokuse. Podali so tudi splošno oceno.

Zbrane ocene sem analiziral in primerjal med seboj, da bi ugotovil, katera kombinacija soli in vrste zelja je dala najboljše senzorične lastnosti.



Slika 20: Vzorci kislega zelja za senzorično ocenjevanje (foto: K. Muha)

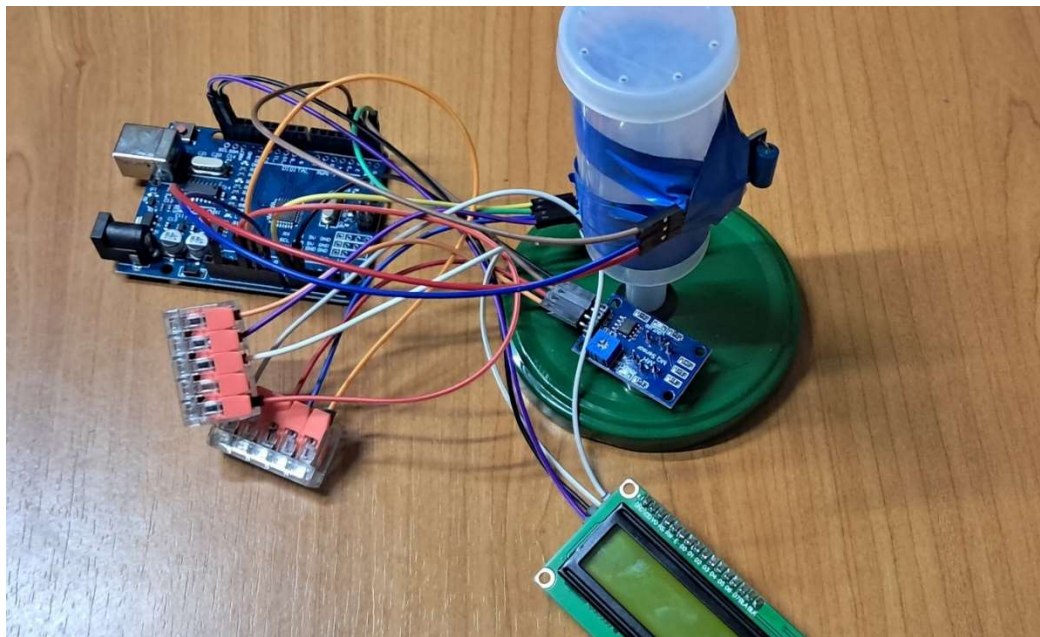
### ***3.2 RAZVOJ FERMENTACIJSKE POSODE ZA KISANJE ZELJA***

V okviru druge metode dela sem se osredotočil na natančno spremljanje fermentacijskega procesa z uporabo elektronskih senzorjev, povezanih na mikrokontroler Arduino. Cilj te metode je analizirati pline, ki se sproščajo med fermentacijo kislega zelja, in ugotoviti, kako različni dejavniki (vrsta soli, vrsta zelja) vplivajo na intenziteto fermentacije. Po izvedbi prve metode, kjer sem preučeval vpliv vrste zelja in vrste soli, sem v drugi metodi želel izdelati pokrov za fermentacijski kozarec, v katerem bom fermentiral izbrano vrsto zelja in soli ter ponovil postopek.

### **3.2.1 PRIPRAVA FERMENTACIJSKEGA SISTEMA**

Da bi omogočil nadzorovane meritve fermentacijskega procesa, sem izdelal poseben pokrov za fermentacijske kozarce, ki omogoča pritrditev senzorjev in fermentatorja. Pokrov sem zasnoval tako, da vključuje:

- odprtino za pritrditev fermentatorja,
- prostor za namestitev senzorjev,
- povezave za elektronske komponente.



Slika 21: Pokrov fermentacijske naprave (Foto: K. Muha)

Fermentator je naprava, ki omogoča enosmerno sproščanje plinov, kar preprečuje dostop kisika v notranjost kozarca in s tem zagotavlja anaerobne pogoje, potrebne za mlečnokislinsko fermentacijo.

### **3.2.2 SENZORJI IN NJIHOVA FUNKCIJA**

Za spremljanje fermentacijskega procesa sem uporabil naslednje senzorje:

#### **SW-420 Vibration Sensor Module**

- Ta senzor zaznava vibracije in gibanje. V mojem eksperimentu ga uporabljam za merjenje števila mehurčkov, ki nastajajo pri fermentaciji. Več mehurčkov pomeni intenzivnejšo fermentacijo.
- Senzor sem pritrdil na fermentator in ga povezal z Arduino, ki v določenih časovnih intervalih beleži število zaznanih vibracij.

### **MQ-135 senzor za merjenje kakovosti zraka**

- Ta senzor zaznava koncentracijo plinov, kot so amoniak (NH<sub>3</sub>), ogljikov dioksid (CO<sub>2</sub>) in različne hlapne organske spojine (VOC), ki se sproščajo med fermentacijo.
- Povezan je na Arduino, ki shranjuje izmerjene vrednosti in jih prikazuje na LCD zaslonu.

### **MQ-9 senzor za zaznavanje ogljikovega monoksida in metana**

- Ker fermentacija vključuje razgradnjo organskih snovi, je pomembno spremljati tudi morebitno prisotnost plinov, kot so ogljikov monoksid (CO) in metan (CH<sub>4</sub>).
- Senzor MQ-9 zaznava prisotnost teh plinov in omogoča vpogled v biokemične procese, ki potekajo pri fermentaciji.

### **3.2.3 POVEZAVA SENZORJEV Z ARDUINOM**

Vse senzorje sem povezal z mikrokontrolnikom Arduino Uno. Arduino je programiran tako, da:

- v rednih časovnih intervalih beleži podatke s senzorjev,
- prikaže vrednosti na LCD prikazovalniku (2x16 znakov),
- omogoča shranjevanje podatkov za kasnejšo analizo.

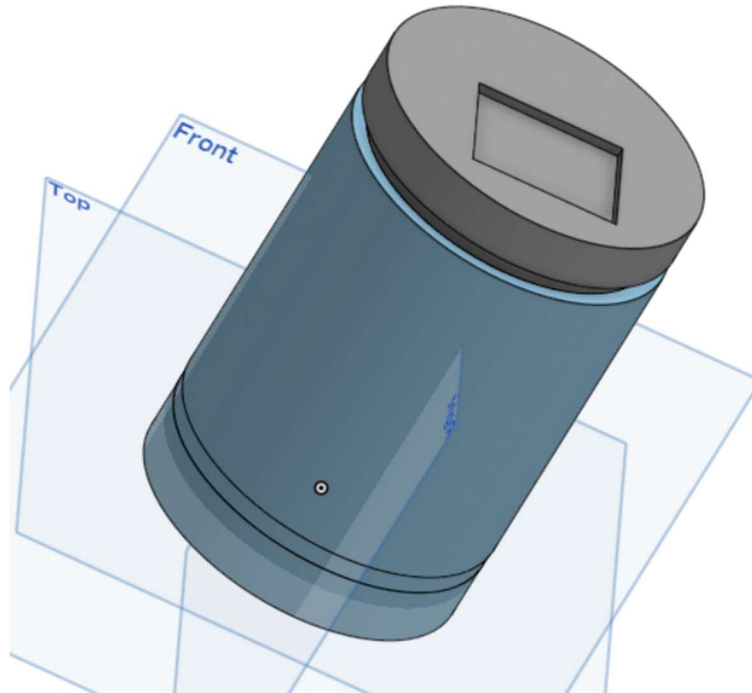
LCD prikazovalnik prikazuje trenutno izmerjene vrednosti plinov in število zaznanih mehurčkov. Vrednosti shranjujem tudi v podatkovno tabelo, ki omogoča primerjavo rezultatov med različnimi vzorci zelja.

### **3.2.4 OHIŠJE POKROVA**

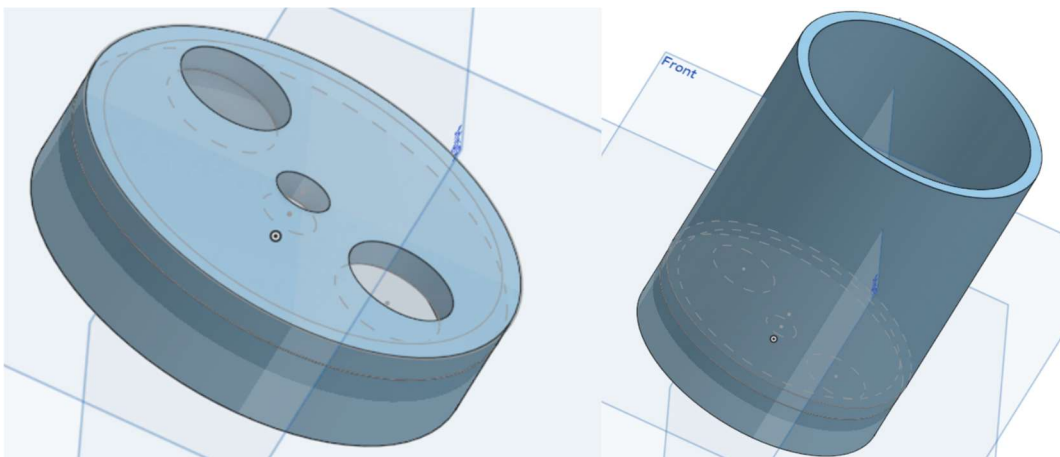
Po prototipu sem tudi zasnoval ohišje pokrova. Zasnoval sem ga v programu Onshape. Izdelan je iz treh delov:

- Spodnji del: pritrdi se na pokrov kozarca in ima odprtine za namestitev senzorjev ter fermentatorja.
- Osrednji del: tulec v katerem je prostor za elektroniko
- Pokrov: nameščen je OLED prikazovalnik.

Zasnovan 3D model sem tudi natisnil in vanj vgradil potrebno elektroniko.



Slika 22: 3D model pokrova fermentatorja (Foto: K. Muha)



Slika 23: Spodnji del in valj fermentatorja (Foto: K. Muha)

### **3.2.5 IZVEDBA EKSPERIMENTA**

Eksperiment sem izvedel tako, da sem fermentacijo spremljal pri izbranem vzorcu kislega zelja in soli, ki sem ju določil na podlagi prve metode. V prvih dneh fermentacije sem beležil spremembe v koncentraciji plinov in pogostosti sproščanja mehurčkov. Opazoval sem razlike med:

- hitrostjo in intenzivnostjo fermentacije pri izbranih pogojih,
- spremembami v koncentraciji plinov skozi čas.

Podatke sem nato analiziral in jih primerjal s senzoričnimi ocenami (okus, tekstura, vonj) fermentiranega zelja.

Uporaba senzorjev je omogočila objektivno spremljanje fermentacijskega procesa in kvantitativno analizo razlik med vzorci. S pridobljenimi podatki sem lahko ocenil, kako posamezni dejavniki vplivajo na fermentacijo, kar mi bo pomagalo pri oblikovanju standardiziranega postopka za pripravo kislega zelja z optimalnimi lastnostmi.

## 4 REZULTATI

### 4.1 MERJENJE PH

Tabela 2: Vpliv vrste zelja in soli na fermentacijo – meritve pH

Kozarec	Vrsta zelja	Vrsta soli	Količina soli	30. 11.	7. 12.	14. 12.	21. 12.	28. 12.	4. 1.
1	K	M	7,50	6,34	5,97	5,64	5,22	4,99	4,51
2	K	M	10,00	6,22	5,88	5,51	5,27	4,85	4,52
3	K	M	12,50	6,45	6,13	5,75	5,41	5,05	4,76
4	K	P	7,50	6,23	5,88	5,61	5,26	4,97	4,59
5	K	P	10,00	6,39	6,02	5,74	5,33	5,00	4,65
6	K	P	12,50	6,31	5,96	5,67	5,31	5,04	4,64
7	K	H	7,50	6,48	6,12	5,88	5,52	5,20	4,86
8	K	H	10,00	6,26	5,91	5,65	5,32	5,06	4,64
9	K	H	12,50	6,44	6,07	5,80	5,45	5,10	4,75
10	K	T	7,50	6,22	5,86	5,68	5,24	5,11	4,62
11	K	T	10,00	6,45	6,11	5,85	5,57	5,29	4,88
12	K	T	12,50	6,25	5,92	5,63	5,32	5,22	4,62
13	D	M	7,50	6,15	5,82	5,47	5,21	4,91	4,48
14	D	M	10,00	6,33	5,94	5,73	5,32	5,04	4,63
15	D	M	12,50	6,22	5,86	5,58	5,22	4,93	4,52
16	D	P	7,50	6,38	6,01	5,77	5,42	5,13	4,71
17	D	P	10,00	6,20	5,79	5,61	5,24	4,94	4,49
18	D	P	12,50	6,39	6,01	5,81	5,39	5,12	4,73
19	D	H	7,50	6,26	5,91	5,63	5,31	5,01	4,61
20	D	H	10,00	6,24	5,88	5,59	5,34	5,02	4,56
21	D	H	12,50	6,39	6,02	5,79	5,41	5,14	4,72
22	D	T	7,50	6,29	5,92	5,68	5,33	5,05	4,62
23	D	T	10,00	6,47	6,11	5,78	5,42	5,13	4,69
24	D	T	12,50	6,42	6,04	5,72	5,38	5,01	4,63

Legenda: Vrsta zelja: K – kupljeno, D – domače Vrsta soli: M – morska sol, P – paška sol, H – himalajska, T - tradicionalna

Rezultati meritev pH vrednosti skozi fermentacijo kažejo pričakovane trende, saj se pH postopoma znižuje, kar je posledica nastajanja mlečne kisline med procesom fermentacije. Kljub temu sem opazil določene razlike, ki so odvisne od vrste zelja, vrste soli in njene količine.

### **Vpliv vrste zelja**

Kupljeno zelje je v začetni fazi fermentacije imelo nekoliko višji pH kot domače zelje, vendar se je pH pri obeh vrstah sčasoma stabiliziral na podobnih vrednostih.

Pri nekaterih vzorcih domačega zelja (npr. vzorci s tradicionalno soljo in 10 g soli) je bil padec pH hitrejši, kar lahko pomeni, da domače zelje vsebuje več sladkorjev, ki spodbujajo fermentacijo.

### **Vpliv vrste soli**

Med različnimi vrstami soli nisem opazil drastičnih razlik v končnih vrednostih pH, vendar nekatere kombinacije kažejo hitrejši ali počasnejši padec pH.

Vzorci s himalajsko soljo so imeli nekoliko višje vrednosti pH skozi celotno fermentacijo, kar lahko nakazuje, da ta sol nekoliko zavira fermentacijo ali da vsebuje minerale, ki vplivajo na proces.

Paška in tradicionalna sol sta pokazali zelo stabilne rezultate, pri čemer je bil padec pH enakomeren in brez večjih odstopanj.

### **Vpliv količine soli**

Pri višjih količinah soli (12,5 g) je bil padec pH nekoliko počasnejši, kar je pričakovano, saj sol zavira rast nekaterih mikroorganizmov in s tem vpliva na hitrost fermentacije.

Pri nižjih količinah soli (7,5 g) je bil padec pH hitrejši, kar pomeni, da se je fermentacija odvijala bolj intenzivno.

### **Končne ugotovitve**

Optimalna kombinacija za hitrejšo fermentacijo in stabilno pH vrednost se je pokazala pri domačem zelju s paško ali tradicionalno soljo v srednji količini (10 g).

Vzorci s himalajsko soljo so kazali počasnejšo fermentacijo, kar lahko pomeni, da ta vrsta soli ni optimalna za kisanje zelja.

Kupljeno zelje ni doseglo tako hitrega padca pH kot domače zelje, kar kaže na razlike v sestavi, predvsem v vsebnosti sladkorjev in strukturi listov.

Rezultati kažejo, da so tako vrsta zelja kot vrsta in količina soli pomembni dejavniki pri fermentaciji.

## 4.2 SENZORIČNA ANALIZA

Tabela 3: Rezultati ocenjevanja – Senzorično – videz

Kozarec	Vrsta zelja	Vrsta soli	Količina soli	Ocenjevalec								Povprečje
				1	2	3	4	5	6	7	8	
1	Kupljeno	Morska	7,5	3	3	4	2	4	3	3	4	3,25
2	Kupljeno	Morska	10,0	4	3	5	4	4	3	5	3	3,88
3	Kupljeno	Morska	12,5	4	4	3	5	5	4	5	3	4,13
4	Kupljeno	Paška	7,5	5	5	4	5	3	4	3	5	4,25
5	Kupljeno	Paška	10,0	4	3	4	3	5	5	4	4	4,00
6	Kupljeno	Paška	12,5	5	5	3	4	5	3	4	5	4,25
7	Kupljeno	Himalajska	7,5	3	5	4	4	5	5	5	4	4,38
8	Kupljeno	Himalajska	10,0	2	4	3	3	2	1	3	3	2,63
9	Kupljeno	Himalajska	12,5	3	5	4	5	5	4	3	4	4,13
10	Kupljeno	Tradicionalna	7,5	1	2	3	3	1	3	2	2	2,13
11	Kupljeno	Tradicionalna	10,0	4	5	3	4	3	4	5	4	4,00
12	Kupljeno	Tradicionalna	12,5	5	5	5	4	4	5	4	5	4,63
13	Domače	Morska	7,5	3	3	4	2	4	3	4	2	3,13
14	Domače	Morska	10,0	2	3	1	2	3	2	2	3	2,25
15	Domače	Morska	12,5	1	2	3	3	1	3	2	2	2,13
16	Domače	Paška	7,5	5	4	4	5	5	5	4	5	4,63
17	Domače	Paška	10,0	5	5	5	4	4	5	4	5	4,63
18	Domače	Paška	12,5	4	4	5	4	4	3	5	5	4,25
19	Domače	Himalajska	7,5	5	5	4	4	5	5	4	5	4,63
20	Domače	Himalajska	10,0	2	2	3	1	3	2	1	2	2,00
21	Domače	Himalajska	12,5	1	1	2	2	1	2	1	1	1,38
22	Domače	Tradicionalna	7,5	2	3	2	1	2	3	1	3	2,13
23	Domače	Tradicionalna	10,0	5	4	5	4	3	5	4	4	4,25
24	Domače	Tradicionalna	12,5	4	3	5	4	5	4	5	3	4,13

Tabela 4: Rezultati ocenjevanja – Senzorično - okus

Kozarec	Vrsta zelja	Vrsta soli	Količina soli	Ocenjevalec								Povprečje
				1	2	3	4	5	6	7	8	
1	Kupljeno	Morska	7,5	1	2	3	3	1	3	2	2	2,13
2	Kupljeno	Morska	10,0	4	5	3	4	3	4	5	4	4,00
3	Kupljeno	Morska	12,5	5	5	5	4	4	5	4	5	4,63
4	Kupljeno	Paška	7,5	3	3	4	3	4	3	4	2	3,25
5	Kupljeno	Paška	10,0	2	3	1	2	3	2	2	3	2,25
6	Kupljeno	Paška	12,5	1	2	3	3	1	3	3	2	2,25
7	Kupljeno	Himalajska	7,5	4	4	3	5	5	5	4	5	4,38
8	Kupljeno	Himalajska	10,0	5	5	5	4	4	4	4	5	4,50
9	Kupljeno	Himalajska	12,5	4	4	5	4	4	3	5	5	4,25
10	Kupljeno	Tradicionalna	7,5	5	5	4	4	5	5	4	5	4,63
11	Kupljeno	Tradicionalna	10,0	2	2	3	1	3	2	1	2	2,00
12	Kupljeno	Tradicionalna	12,5	1	1	2	2	1	2	1	1	1,38
13	Domače	Morska	7,5	2	3	2	1	2	3	1	3	2,13
14	Domače	Morska	10,0	5	4	5	4	3	5	4	4	4,25
15	Domače	Morska	12,5	4	3	5	4	5	4	5	3	4,13

16	Domače	Paška	7,5	5	4	4	4	5	5	4	5	4,50
17	Domače	Paška	10,0	1	2	3	3	1	3	2	2	2,13
18	Domače	Paška	12,5	5	4	4	5	5	5	4	5	4,63
19	Domače	Himalajska	7,5	5	5	5	4	4	5	4	5	4,63
20	Domače	Himalajska	10,0	4	4	5	4	4	3	5	5	4,25
21	Domače	Himalajska	12,5	5	5	4	4	5	5	4	5	4,63
22	Domače	Tradicionalna	7,5	2	2	4	1	3	2	1	2	2,13
23	Domače	Tradicionalna	10,0	1	3	2	2	1	2	1	1	1,63
24	Domače	Tradicionalna	12,5	2	3	2	1	2	3	1	3	2,13

Tabela 5 Rezultati ocenjevanja – Senzorično – splošna ocena

Kozarec	Vrsta zelja	Vrsta soli	Količina soli	Ocenjevalec								Povprečje
				1	2	3	4	5	6	7	8	
1	Kupljeno	Morska	7,5	4	3	4	2	4	3	3	4	3,38
2	Kupljeno	Morska	10,0	3	3	4	4	4	3	5	3	3,63
3	Kupljeno	Morska	12,5	4	3	3	5	5	4	5	3	4,00
4	Kupljeno	Paška	7,5	5	5	4	5	3	4	3	5	4,25
5	Kupljeno	Paška	10,0	4	3	4	3	5	5	4	4	4,00
6	Kupljeno	Paška	12,5	5	5	3	4	5	4	4	5	4,38
7	Kupljeno	Himalajska	7,5	3	5	5	4	5	5	4	4	4,38
8	Kupljeno	Himalajska	10,0	2	4	3	3	2	1	3	3	2,63
9	Kupljeno	Himalajska	12,5	3	3	5	5	5	4	4	4	4,13
10	Kupljeno	Tradicionalna	7,5	1	2	3	3	2	3	2	3	2,38
11	Kupljeno	Tradicionalna	10,0	4	3	3	4	3	4	5	4	3,75
12	Kupljeno	Tradicionalna	12,5	5	5	5	5	4	5	4	5	4,75
13	Domače	Morska	7,5	3	3	4	2	5	3	4	2	3,25
14	Domače	Morska	10,0	2	3	1	2	3	2	3	3	2,38
15	Domače	Morska	12,5	1	2	3	3	1	3	2	2	2,13
16	Domače	Paška	7,5	5	4	4	5	5	5	4	5	4,63
17	Domače	Paška	10,0	5	5	5	4	4	5	5	5	4,75
18	Domače	Paška	12,5	4	4	5	4	4	3	4	5	4,13
19	Domače	Himalajska	7,5	5	4	4	5	5	4	4	4	4,38
20	Domače	Himalajska	10,0	4	5	3	4	4	3	5	5	4,13
21	Domače	Himalajska	12,5	4	5	4	4	5	5	5	4	4,50
22	Domače	Tradicionalna	7,5	2	3	2	1	2	3	1	3	2,13
23	Domače	Tradicionalna	10,0	5	4	5	3	3	5	4	4	4,13
24	Domače	Tradicionalna	12,5	4	3	5	4	5	4	5	3	4,13

Na podlagi rezultatov senzorične analize fermentiranega zelja sem opazil nekaj ključnih vzorcev in trendov.

### Vpliv vrste soli na senzorične lastnosti

Paška in himalajska sol sta na splošno privedli do višjih ocen videza, okusa in splošne ocene v primerjavi z morsko in tradicionalno soljo.

Tradicionalna sol je imela najnižje ocene, zlasti pri domačem zelju, kar kaže na to, da morda ne prispeva k optimalni fermentaciji ali ustreznemu razvoju organoleptičnih lastnosti.

### **Vpliv količine soli**

Pri večini vzorcev višja koncentracija soli (12,5 g) pogosto vodi do višjih ocen, zlasti pri videzu in splošni oceni. To lahko pomeni, da zadostna količina soli pomaga pri boljšem ohranjanju barve in teksture fermentiranega zelja.

Nasprotno pa so pri nekaterih vzorcih (še posebej domače zelje s himalajsko soljo) višje količine soli privedle do nižjih ocen okusa, kar lahko kaže na premočno slanost ali neravnovesje v kislem profilu.

### **Razlika med kupljenim in domačim zeljem**

Kupljeno zelje je v nekaterih primerih doseglo boljše ocene pri videzu, kar lahko pomeni bolj enakomerno teksturo in barvo.

Domače zelje pa je v nekaterih primerih doseglo boljše ocene pri okusu (npr. domače zelje s paško in himalajsko soljo), kar kaže, da je morda imelo bolj naravno aromo in uravnoteženost okusa.

### **Najbolje in najslabše ocenjeni vzorci**

Najboljši rezultati so bili doseženi pri domačem zelju s paško soljo in 10,0–12,5 g soli, saj so imeli visoke ocene pri vseh kriterijih.

Najslabši rezultati so bili zabeleženi pri domačem zelju s himalajsko soljo in nizko količino soli (7,5 g), kar je bilo posebej izrazito pri ocenah okusa in splošne ocene.

### **Skupna ugotovitev**

Na podlagi rezultatov se zdi, da:

- Paška in himalajska sol prispevata k boljši senzorični kakovosti fermentiranega zelja.
- Višja količina soli (10–12,5 g) je ključna za boljše ocene videza in okusa, vendar je treba paziti na uravnoteženost okusa, da ne postane premočno slano.
- Domače zelje s pravilno kombinacijo soli lahko ponudi odličen okus in teksturo, ki jo ocenjevalci prepoznajo kot kakovostno.

## 4.2 FERMENTACIJSKA POSODA

Meritve, ki sem jih izvedel med fermentacijo kislega zelja, sem opravljal vsak dan v večernih urah. Senzorji so spremljali potek fermentacije s pomočjo merjenja časa med sproščanjem mehurčkov, koncentracije plinov (MQ-135 in MQ-9) ter sprememb pH vrednosti. Rezultati so prikazani v obliki tabel in analizirani glede na dinamiko fermentacijskega procesa. Na podlagi pridobljenih podatkov sem ugotovil, kako se fermentacija spreminja skozi čas in kateri dejavniki vplivajo na njeno hitrost ter kakovost končnega izdelka.

Tabela 6: Fermentiranje v fermentacijski posodi

Dan	Čas med mehurčki (min)	MQ-135		MQ-9		pH
		meritev	ppm	meritev	ppm	
1.	90	250	0,391245	60	0,862224	6,2
2.	45	340	1,054955	110	1,461294	5,9
3.	25	420	2,28425	170	2,185747	5,7
4.	12	510	5,177755	230	2,950963	5,5
5.	7	620	14,13511	320	4,232098	5,5
6.	5	710	34,52568	410	5,757828	5,3
7.	3	860	240,6107	530	8,416725	5,0
8.	4	820	130,176	490	7,426345	4,9
9.	6	780	76,72257	440	6,342015	4,7
10.	6	740	47,87669	390	5,391737	4,7
11.	7	690	28,03698	340	4,546179	4,3
12.	9	640	17,09451	290	3,78299	4,2
13.	18	590	10,69147	240	3,084321	4,1
14.	35	530	6,1985	190	2,434932	3,9
15.	50	480	3,951985	140	1,820262	3,9
16.	75	430	2,50583	110	1,461294	3,9
17.	90	390	1,722741	80	1,103729	3,9
18.	100	340	1,054955	50	0,73907	3,9
19.	120	290	0,62198	30	0,483212	3,9
20.	300	240	0,345807	20	0,346564	3,9
21.	400	180	0,150565	10	0,197475	3,9

Senzorja (MQ-9 in MQ135) delujeta na osnovi delilnika napetosti, kjer sprememba upora senzorja (odvisna od koncentracije plina) povzroči spremembo napetosti, ki jo Arduino zajame kot digitalno vrednost v razponu od 0 do 1023 (10-bitni ADC).

Za smiselno analizo podatkov sem analogne vrednosti pretvoril v koncentracijo plina v ppm (parts per million). Postopek pretvorbe je naslednji:

$$V_{out} = \frac{ADC}{1023} \cdot 5.0$$

Na podlagi napetosti sem izračunal trenutno upornost senzorja  $R_s$  po formuli:

$$R_s = R_L \cdot \left( \frac{5.0 - V_{out}}{V_{out}} \right)$$

Na osnovi podatkov za posamezen senzor sem uporabil enačbo, ki pretvori razmerje v koncentracijo plina:

$$\log_{10}(\text{ppm}) = a \cdot \log_{10} \left( \frac{R_s}{R_0} \right) + b$$

Za MQ-135 ( $\text{NH}_3$ ) sem uporabil ocenjeno enačbo:

$$a = -2.3, b = 0.72$$

Za MQ-9 (CO) pa:

$$a = -0.8, b = 0.9$$

Po preureditvi enačb sem koncentracijo plina izračunal kot

$$\text{ppm} = 10^{(a \cdot \log_{10}(R_s/R_0) + b)}$$

Čas med mehurčki (vibracijski senzor)

- Prvi dan je zelo malo mehurčkov (90 min med mehurčki).
- Med 5. in 12. dnem je fermentacija najaktivnejša (čas pade na 3-7 min).
- Po 7. dnevu fermentacija začne upadati, po treh tednih skoraj ni več mehurčkov (600 min).

MQ-135 (Merjenje  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NH}_3$ , VOC)

- Najvišje vrednosti so okoli 7. dne (860).
- Nato začnejo postopoma padati, kar pomeni, da se fermentacija umirja.
- Po 21 dneh so vrednosti že nizke (180).

MQ-9 (Merjenje CO,  $\text{CH}_4$ )

- Največja proizvodnja teh plinov je med 5. in 7. dnem (530).
- Po tem začne vrednost padati, saj je fermentacija zaključena.
- Po treh tednih skoraj ni več zaznavanja teh plinov (10).

### pH vrednost

- Prvih nekaj dni pH hitro pada (z 6,2 na 3,9 v desetih dneh).
- Po 12. dnevu se vrednosti stabilizirajo okoli 3,9.

## **5 DISKUSIJA**

Rezultati raziskave potrjujejo, da vrsta in količina soli ter vrsta zelja pomembno vplivajo na fermentacijo kislega zelja. Meritve pH vrednosti so pokazale, da višja koncentracija soli upočasni fermentacijo, saj sol zavira rast nekaterih mikroorganizmov. Pri vzorcih z manjšo količino soli se je pH hitreje znižal, kar pomeni bolj intenzivno fermentacijo.

### **5.1 POTRDITEV HIPOTEZ**

#### ***HIPOTEZA 1***

Različne vrste soli vplivajo na proces fermentacije kislega zelja.

Hipoteza je potrjena. Rezultati senzorične analize so pokazali, da različne vrste soli vplivajo na okus, teksturo in hitrost fermentacije. Paška in tradicionalna morska sol sta omogočili bolj učinkovito fermentacijo v primerjavi s himalajsko soljo, ki je proces nekoliko zavirala. Opažene so bile tudi razlike v intenzivnosti kislosti in aromatičnosti končnega izdelka.

#### ***HIPOTEZA 2***

Višja koncentracija soli vpliva na hitrost zmanjševanja pH vrednosti.

Hipoteza je potrjena. Rezultati so pokazali, da višja koncentracija soli sprva pospeši zniževanje pH, vendar pri zelo visokih koncentracijah (12,5 g na 500 g zelja) zavira nadaljnjo fermentacijo. To potrjuje, da sol vpliva na rast mlečnokislinskih bakterij in dinamiko fermentacijskega procesa. Poleg tega so bile pri vzorcih z višjo vsebnostjo soli opažene spremembe v teksturi – zelje je bilo trše in manj sočno, medtem ko je bilo pri nižjih koncentracijah mehkejše in bolj prijetne teksture.

#### ***HIPOTEZA 3***

Višja koncentracija soli vpliva na teksturo kislega zelja.

Hipoteza je potrjena. Rezultati so pokazali jasno povezavo med količino soli in teksturo fermentiranega zelja. Vzorci z večjo količino soli so bili trši, kar je posledica delovanja soli. Mehkejša in bolj sočna struktura pri manjših koncentracijah soli pa je lahko bolj zaželena pri določenih senzoričnih ocenah.

#### ***HIPOTEZA 4***

Vrsta zelja vpliva na senzorične lastnosti fermentiranega izdelka.

Hipoteza je potrjena. Domače zelje je v povprečju doseglo boljše senzorične ocene kot kupljeno, kar je najverjetneje posledica višje vsebnosti naravnih sladkorjev, ki pospešujejo fermentacijo in prispevajo k bolj zaokroženemu okusu. Razlike so bile opažene tudi v barvi, vonju in teksturi končnega izdelka.

#### ***HIPOTEZA 5***

Spremljanje fermentacije s senzorji omogoča natančnejši vpogled v proces.

Hipoteza je potrjena. Uporaba senzorjev za merjenje pH, CO<sub>2</sub> in drugih parametrov je omogočila natančno spremljanje fermentacijskega procesa. Podatki so pokazali, da se fermentacija najintenzivneje odvija med 5. in 12. dnem, kar se odraža v hitrem padcu pH in povečanem sproščanju plinov. Ta način spremljanja je omogočil boljše razumevanje dinamike fermentacije ter optimizacijo pogojev za doseg bolj kakovostnega končnega izdelka. Fermentacija pod nadzorovanimi pogoji (npr. z uporabo fermentacijskega pokrova) se je izkazala za učinkovitejšo in je dala bolj stabilne ter senzorično sprejemljive rezultate.

### ***5.2 ZAKLJUČEK***

Senzorična analiza je pokazala, da domače zelje v kombinaciji s paško ali tradicionalno morskou soljo dosega najboljše senzorične lastnosti, kar se kaže v bolj uravnoteženem okusu, prijetni teksturi in ustrezni stopnji kislosti. Nasprotno pa je uporaba himalajske soli vodila do nekoliko slabših rezultatov, kar nakazuje, da lahko vsebnost določenih mineralov v tej soli vpliva na fermentacijski proces, verjetno z zaviranjem delovanja mlečnokislinskih bakterij.

Opazne so bile tudi razlike v teksturi fermentiranega zelja glede na koncentracijo soli. Vzorci z višjo koncentracijo (nad 10 g/500 g) so bili bolj čvrsti, vendar manj sočni, medtem ko so bili vzorci z nižjo koncentracijo soli mehkejši in bolj sočni. Ti rezultati potrjujejo, da sol deluje kot regulator teksture in hkrati pomembno vpliva na dinamiko fermentacije.

Na podlagi zbranih podatkov in senzoričnih ocen se je kot optimalno izkazalo razmerje 10 g soli na 500 g zelja, saj to količino spremlja ustrezno zniževanje pH, intenzivna, a nadzorovana fermentacija ter uravnotežen končni okus.

Rezultati raziskave ne potrjujejo le postavljenih hipotez, temveč tudi nakazujejo smernice za domačo ali manjšo proizvodnjo kislega zelja, kjer je mogoče z izbiro ustreznih sestavin in

natančnim spremljanjem procesa doseči visoko kakovost izdelka. Kombinacija kakovostnih surovin in uporaba sodobnih metod spremljanja fermentacije (npr. senzorjev za pH in CO<sub>2</sub>) predstavlja pomembno prednost za nadaljnji razvoj fermentacijskih tehnik.

## 6 ZAKLJUČEK

Raziskava je pokazala, da na kakovost kislega zelja pomembno vplivajo vrsta soli, količina soli ter vrsta uporabljenega zelja. Potrdil sem, da nekatere vrste soli omogočajo bolj učinkovito fermentacijo – paška in tradicionalna morska sol sta se izkazali kot najbolj primerni, saj sta omogočili boljši razvoj senzoričnih lastnosti in stabilnejši fermentacijski proces. Ugotovili smo tudi, da višja koncentracija soli sprva pospeši fermentacijo, vendar lahko pri zelo visokih vrednostih (npr. 12,5 g na 500 g zelja) proces celo upočasni, kar je povezano z zaviralnim vplivom soli na mlečnokislinske bakterije.

Poleg tega je bilo domače zelje ocenjeno kot senzorično boljše kot kupljeno, kar pripisujem višji vsebnosti naravnih sladkorjev, ki spodbujajo fermentacijo in razvoj bolj kompleksnega okusa. Pomemben prispevek k raziskavi je imela tudi uporaba posebej zasnovanega fermentacijskega pokrova ter senzorjev za spremljanje pH in CO<sub>2</sub>, kar je omogočilo natančnejše spremljanje poteka fermentacije in pripomoglo k optimizaciji pogojev kisanja.

Z raziskavo smo pridobili informacije za izboljšanje fermentacijskih procesov, kar lahko pomembno prispeva k izboljšanju kakovosti kislega zelja tako v domači kot tudi manjši profesionalni pridelavi. Pokazalo se je, da kombinacija tradicionalnih metod in sodobnih tehnoloških pristopov, kot je uporaba senzorjev ter standardizacija fermentacijskih pogojev, omogoča večjo doslednost in nadzor nad kakovostjo končnega izdelka.

V prihodnje bi bilo zanimivo raziskati:

- kako različne temperature in svetlobni pogoji vplivajo na hitrost in kakovost fermentacije,
- ali lahko z uporabo naprednih senzorjev in digitalnih sistemov še izboljšamo nadzor in avtomatizacijo procesa,
- kako dodatki, kot so začimbe ali druge vrste zelenjave, vplivajo na senzorične lastnosti izdelka,
- ter kako bi lahko trajnostno upravljali fermentacijske odpadke, na primer s ponovno uporabo slanice in zmanjšanjem okoljskega odtisa.

## 7 POVZETEK

V raziskavi sem preučeval vpliv vrste soli, količine soli in vrste zelja na fermentacijo kislega zelja. Ugotovil sem, da različne vrste soli različno vplivajo na potek fermentacije – paška in tradicionalna morska sol sta omogočili učinkovitejšo fermentacijo in boljše senzorične lastnosti končnega izdelka. Višja koncentracija soli je sprva pospešila fermentacijo, vendar se je pri previsokih vrednostih pokazal zaviralni učinek na razvoj mlečnokislinskih bakterij.

Primerjava med domačim in kupljenim zeljem je pokazala, da ima domače zelje boljše senzorične lastnosti, kar pripisujemo večji vsebnosti naravnih sladkorjev. Uporaba fermentacijskega pokrova in senzorjev za merjenje pH in CO<sub>2</sub> je omogočila natančno spremljanje fermentacije ter pomagala pri optimizaciji pogojev.

Raziskava je pokazala, da lahko z ustrežno izbiro surovin in uporabo sodobnih tehnoloških pripomočkov izboljšamo kakovost kislega zelja ter zagotovimo večjo doslednost in nadzor nad fermentacijskim procesom. Ti izsledki so uporabni tako za domačo kot tudi manjšo profesionalno pridelavo.

## **8 A SUMMARY**

This study examined the impact of salt type, salt concentration, and cabbage type on the fermentation of sauerkraut. The results indicated that different salts influence the fermentation process differently, with Pag and traditional salt proving to be the most effective. Additionally, a higher salt concentration initially accelerates fermentation, but excessive amounts can slow down the process.

Homemade cabbage generally achieved better sensory properties compared to store-bought cabbage, mainly due to its higher natural sugar content, which supports the growth of lactic acid bacteria. The use of a fermentation lid and sensors allowed for more precise monitoring of the fermentation process and helped optimize the conditions for sauerkraut production.

Based on the study's findings, we conclude that standardizing fermentation conditions and integrating modern technologies can enhance sauerkraut quality and improve control over the fermentation process.

## 9 LITERATURA IN VIRI

1. Mulligan, R. 2018. Fermentirajmo! Naravno kisanje živil brez toplotne obdelave. Založba Pipinova knjiga, d.o.o., Podsmreka.
2. Šešek, F. 1971. Blagoznanstvo s tehnologijo za kadre v blagovnem prometu 1.del, Državna založba Slovenije, Ljubljana.
3. Palazzi, A. 1993. Velika knjiga o zelenjavi. Državna založba Slovenije, Ljubljana.
4. Benec, D. 2025. Katera sorta zelja je zame najprimernejša? Bodi eko. Dostopno na: <https://www.bodieko.si/katera-sorta-zelja-je-zame-najprimernejša> (Pridobljeno: 20. januar 2025).
5. Koletnik, S. 2024. Najboljša zelenjava za fermentacijo in njene koristi. Kefirko.com. Dostopno na <https://kefirko.com/sl/blog/zdravo-zivljenje/najboljsa-zelenjava-za-fermentacijo-in-njene-koristi/> (Pridobljeno: 20. januar 2025).
6. Piccantino, Magazin. 2024 . Dostopno na <https://www.piccantino.si/info/magazin/mokra-fermentacija> (Pridobljeno: 23. januar 2025).
7. Weihotefen, J. 2003. Himalajska kristalna sol. Sestavine elovanja in zdravilna uporaba. Mavrica, Celje.
8. Kranjec, S. 2018. Fermentiraj.si. Brezglutenska akademija. Izobraževalni vodič za bolnike s celiakijo, gostince, šole, vrtce. BS Team, Tiskarske storitve s.p. Nova Gorica.

## **ZAHVALA**

Rad bi se iskreno zahvalil mentorici Suzani Pustinek, prof. biol. za podporo, nasvete in skrbne dopolnitve ter mentorju, mag. Simonu Muhi za pomoč pri raziskovalni nalogi.

Zahvala gre tudi učiteljici Mateji Kunc, prof. slovenščine, za lektoriranje raziskovalne naloge.

Hvala tudi vsem, ki so me ves čas raziskovanja spodbujali.

## **PRILOGE**

## ***PRILOGA A – ARDUINO IN KOMPONENTE***

### ***ARDUINO***

Arduino je odprtokodna platforma za izdelavo prototipov elektronskih naprav. To je enostavna in prilagodljiva platforma, ki jo lahko uporabljajo tudi začetniki, hkrati pa ponuja napredne funkcionalnosti za izkušene ustvarjalce. Arduino platforma vključuje tako strojno opremo kot tudi programsko opremo (Arduino, 2023).



Slika 24: Arduino UNO (Foto: K. Muha).

Strojna Oprema Arduino:

Mikrokontrolnik: Arduino uporablja mikrokontrolnik (najpogosteje iz družine Atmel AVR ali ARM) kot osrednjo procesorsko enoto. Ta mikrokontrolnik je tisto, kar omogoča izvajanje programov in upravljanje perifernih naprav.

Digitalni in analogni Vhodi/izhodi: Arduino ima različne digitalne in analogne vhode/izhode (I/O), ki omogočajo povezavo z različnimi senzorji, aktuatorji in drugo zunanjo opremo.

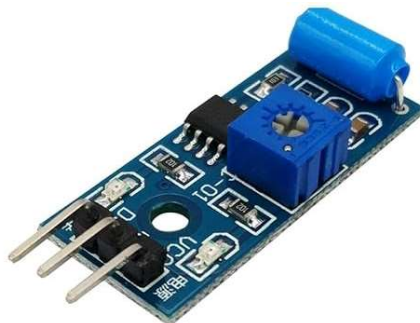
Vmesniki za povezovanje: Arduino ima vgrajene vmesnike, kot so USB, UART, SPI in I2C, kar omogoča enostavno povezovanje z drugimi napravami, kot so računalniki, senzorji in zasloni.

Napajanje: lahko ga napajamo preko USB priključka ali zunanje napajalne enote. Prav tako je mogoče napravo napajati preko baterije.

Programski zagon: Arduino ima vgrajen bootloader, ki omogoča enostavno nalaganje programske kode preko USB povezave, brez potrebe po posebnem programatorju.

### ***SW-420 VIBRACIJSKI MODUL***

SW-420 je vibracijski senzor tipa Normally Closed (NC), kar pomeni, da je vezje zaprto (LOW) v mirovanju in se odpre (HIGH) ob zaznavi vibracij.



Slika 25: SW-420 vibracijski modul (Foto: Aliexpress)

Modul vsebuje SW-420 stikalo, LM393 primerjalnik in nastavljen potenciometer za prilagajanje občutljivosti.

SW-420 je senzor vibracij, ki deluje kot stikalo občutljivo na premike, vibracije ali sunke. To pomeni, da se njegov izhod spremeni, ko senzor zazna vibracije ali premik. Uporablja se v varnostnih sistemih, pametnih napravah, sistemih za zaznavanje potresov in avtomatizaciji.

#### ***Delovanje***

Tip Normally Closed (NC) pomeni, da je senzor v stanju mirovanja zaprt (tok teče).

Ko se pojavi vibracija, se stikalo odpre, kar povzroči spremembo stanja na izhodu.

Modul vsebuje LM393 komparator, ki pretvori signal v digitalni izhod (HIGH ali LOW).

Na modulu je tudi potenciometer, s katerim lahko nastavimo občutljivost zaznavanja vibracij.

#### ***Priključitev SW-420 na Arduino UNO***

Modul ima 3 priključne pine:

Pin na SW-420	Povezava na Arduino UNO	Opis
VCC	5V	Napajanje senzorja
GND	GND	Ozemljitev

DO (Digital Output)	Digitalni pin (npr. D2)	Digitalni izhod (HIGH/LOW) ob vibraciji
---------------------	-------------------------	---

### ***Program za preverjanje delovanja modula***

```
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
// Nastavitve za LCD
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2); // Preverite naslov LCD (lahko je 0x27
ali 0x3F)
// Nastavitve za senzor vibracij
const int sensorPin = 2; // Digitalni izhod SW-420 na D2
unsigned long zadnjaVibracija = 0; // Shrani čas zadnje vibracije
unsigned long predZadnjaVibracija = 0; // Shrani čas predzadnje vibracije
void setup() {
    // Inicializacija LCD
    lcd.init();
    lcd.clear();
    lcd.backlight();
    lcd.setCursor(2, 0);
    lcd.print("Vibracijski senzor");
    // Nastavitev vhoda za senzor
    pinMode(sensorPin, INPUT);
}
void loop() {
    unsigned long trenutnoCas = millis(); // Trenutni čas v milisekundah
    // Preverimo, ali je senzor zaznal vibracijo
    if (digitalRead(sensorPin) == HIGH) {
        predZadnjaVibracija = zadnjaVibracija; // Shrani predzadnjo vibracijo
        zadnjaVibracija = trenutnoCas; // Shrani zadnjo vibracijo
        lcd.clear();
        lcd.setCursor(0, 0);
        lcd.print("Vibracija zaznana!");
        delay(500); // Kratka zakasnitev, da ne zazna večkratne vibracije
    }
    // Izračunamo čas od zadnje vibracije v sekundah
    unsigned long casOdZadnje = (trenutnoCas - zadnjaVibracija) / 1000;
    // Izračunamo čas med predzadnjo in zadnjo vibracijo v sekundah
    unsigned long casMedVibracijama = (zadnjaVibracija - predZadnjaVibracija)
/ 1000;
    // Prikaz podatkov na LCD
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("Od zadnje: ");
    lcd.print(casOdZadnje);
    lcd.print("s ");
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("Med dvema: ");
    lcd.print(casMedVibracijama);
    lcd.print("s ");
    delay(500); // Osveževanje LCD-ja
}
```



Slika 26: Delovanje vibracijskega modula (foto: K. Muha)

## ***MQ-135 SENZOR ZA KAKOVOST ZRAKA***

Senzor MQ-135 je namenjen zaznavanju kakovosti zraka, saj zaznava prisotnost škodljivih plinov, kot so:

- Amoniak (NH<sub>3</sub>)
- Ogljikov dioksid (CO<sub>2</sub>)
- Benzen (C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>)
- Alkoholi, dim, škodljive hlape

### ***Priključitev MQ-135 na Arduina***

Pin na MQ-135	Povezava na Arduino	Opis
VCC	5V	Napajanje senzorja
GND	GND	Ozemljitev
A0 (Analog Output)	A0	Analogni izhod (natančne vrednosti)
D0 (Digital Output)	D2	Digitalni izhod (samo HIGH/LOW)

### ***Program za preverjanje delovanja modula***

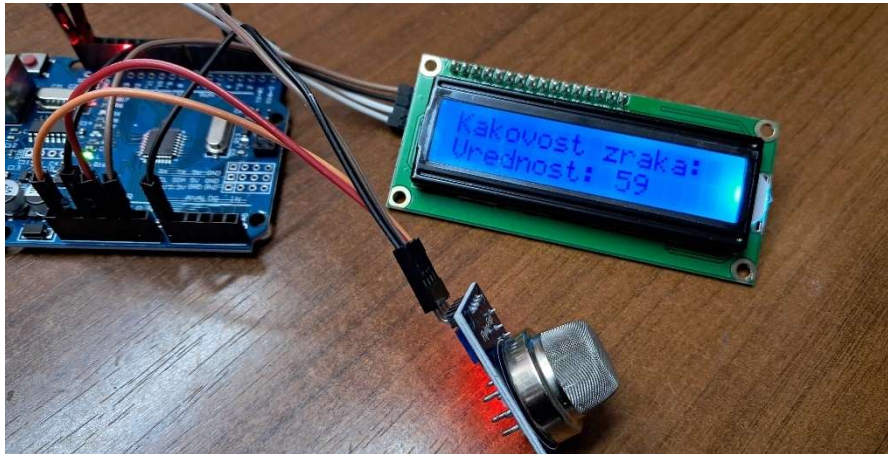
```
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
// Nastavitve za LCD
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2); // Preveri naslov (0x27 ali 0x3F)
// Nastavitve za MQ-135
const int sensorAnalogPin = A0; // Analogni izhod MQ-135
const int sensorDigitalPin = 3; // Digitalni izhod MQ-135 (SPREMENJENO NA
D3)
const int buzzer = 8; // Pisk za alarm (opcijsko)
int vrednostPlina = 0;
void setup() {
    Serial.begin(9600); // Inicializacija serijskega monitorja
    lcd.init(); // Inicializacija LCD zaslona
    lcd.backlight(); // Vklop osvetlitve

    pinMode(sensorDigitalPin, INPUT); // Nastavimo D3 kot vhod
    pinMode(buzzer, OUTPUT); // Opcijski buzzer

    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("MQ-135 Senzor");
    delay(2000);
    lcd.clear();
}
void loop() {
    vrednostPlina = analogRead(sensorAnalogPin); // Preberi analogno
vrednost z MQ-135
    bool alarm = digitalRead(sensorDigitalPin); // Preberi digitalni izhod
(D3)
```

```
// Izpis v serijski monitor
Serial.print("Vrednost plina: ");
Serial.println(vrednostPlina);
// Prikaz na LCD
lcd.setCursor(0, 0);
lcd.print("Kakovost zraka:");

lcd.setCursor(0, 1);
lcd.print("Vrednost: ");
lcd.print(vrednostPlina);
lcd.print(" "); // Dodatni presledki za brisanje starih števil
// Če digitalni izhod D3 preklopi na HIGH -> sproži alarm
delay(1000); // Osveževanje na 1 sekundo
}
```



Slika 27: Delovanje senzorja MQ-135 (foto: K. Muha)

## ***MQ-9 SENZOR ZA KAKOVOST ZRAKA***

Senzor MQ-9 je občutljiv na ogljikov monoksid (CO), metan (CH<sub>4</sub>) in gorljive pline (LPG, butan, propan).

### ***Priključitev MQ-9 na Arduina***

Pin na MQ-9	Povezava na Arduino	Opis
VCC	5V	Napajanje (nekateri verzije delujejo bolje na 6V)
GND	GND	Ozemljitev
A0 (Analog Output)	A1	Analogni izhod (natančne vrednosti)
D0 (Digital Output)	D4	Digitalni izhod (prag za alarm)

### ***Program za preverjanje delovanja modula***

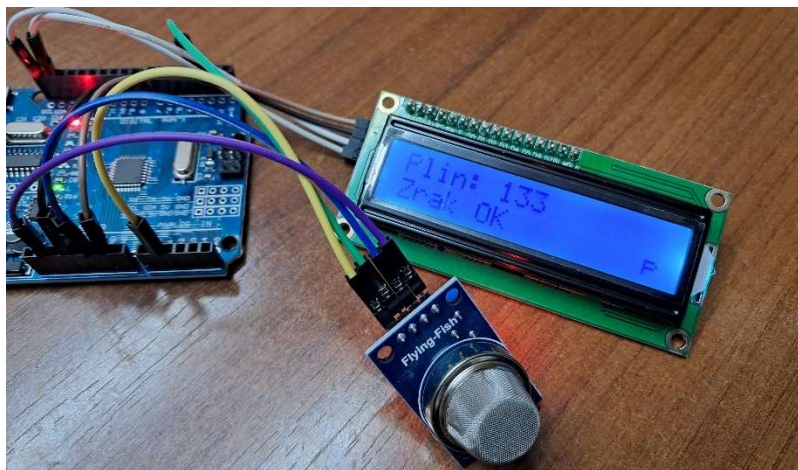
```
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
// Nastavitve LCD zaslona
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2); // Preveri naslov (0x27 ali 0x3F)
// Nastavitve za MQ-9
const int sensorAnalogPin = A1; // Analogni izhod MQ-9
const int sensorDigitalPin = 4; // Digitalni izhod MQ-9
const int buzzer = 8; // Alarm (buzzer)
void setup() {
    Serial.begin(9600); // Inicializacija serijskega monitorja
    lcd.init(); // Inicializacija LCD zaslona
    lcd.backlight(); // Vklop osvetlitve LCD

    pinMode(sensorDigitalPin, INPUT); // Nastavimo D4 kot vhod
    pinMode(buzzer, OUTPUT); // Nastavimo D8 kot izhod za alarm

    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("MQ-9 Senzor");
    delay(2000);
    lcd.clear();
}
void loop() {
    int vrednostPlina = analogRead(sensorAnalogPin); // Preberi analogno vrednost
    bool alarm = digitalRead(sensorDigitalPin); // Preberi digitalni izhod (D4)
    // Izpis v serijski monitor
    Serial.print("Vrednost plina: ");
    Serial.println(vrednostPlina);

    // Prikaz na LCD
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("Plin: ");
    lcd.print(vrednostPlina);
}
```

```
lcd.print(" "); // Dodatni presledki za brisanje prejšnjih vrednosti  
// Alarm, če digitalni izhod preklopi na HIGH  
if (alarm == HIGH) {  
    lcd.setCursor(0, 1);  
    lcd.print("ALARM! Nevaren plin!");  
    digitalWrite(buzzer, HIGH);  
} else {  
    lcd.setCursor(0, 1);  
    lcd.print("Zrak OK          ");  
    digitalWrite(buzzer, LOW);  
}  
delay(1000); // Osveževanje na 1 sekundo  
}
```



Slika 28: Delovanje senzorja MQ-9 (Foto: K. Muha)