

# **DROŽI: OD BAKTERIJ IN DIVJIH KVASOVK DO KRUHA**

Tematsko področje: BIOLOGIJA

RAZISKOVALNA NALOGA

Avtor:

**Anton Žabkar**

**3. letnik**

Mentorica:

**Brigita Brajkovič, prof. biologije**

Somentorice:

**Prof. dr. Sonja Smole Možina**

**Doc. dr. Neža Čadež**

**dr. Metka Novak**

šolsko leto 2021/2022



Zavod sv. Stanislava

Škofijska klasična gimnazija

## **Zahvala**

Najprej bi se rad zahvalil svoji profesorici biologije Brigiti Brajkovič za tako pozno sprejeto mentorstvo, ki mi je omogočilo, da sem nalogo lahko prijavil še v tem šolskem letu, pomoč in nasvete pri pisanju in čas za popravljanje naloge.

Zahvaljujem se tudi prof. dr. Sonji Smole Možina, doc. dr. Neži Čadež in prof. dr. Poloni Jamnik iz Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani ter dr. Metki Novak z NIB, za njihov čas in pomoč. S svojim znanjem, izkušnjami, viri in opremo za mikrobiološke poskuse so mi omogočili narediti raziskave, ki jih prej nisem niti poznal. Za možnost merjenja hlapljivih snovi iz droži se zahvaljujem doc. dr. Miri Trebar s Fakultete za računalništvo in informatiko.

Staršema se zahvaljujem za podporo in vzpodbudo za pisanje raziskovalne naloge ter vso očetovo znanje o drožeh, ki jih goji in uporablja že vse od začetka pandemije. Poleg dobrega kruha sem dobil še veliko praktičnih nasvetov.

## **Kazalo**

1	Povzetek.....	6
2	Uvod.....	7
2.1	Cilj.....	7
2.2	Hipoteze .....	8
3	Teorija.....	9
3.1	Kaj so droži?.....	9
3.2	Zakaj je kruh iz droži bolj koristen, kot kruh iz pivskega kvasa? .....	11
3.3	Zgodovina peke kruha iz droži.....	12
3.4	Priprava droži .....	13
3.5	Testo .....	17
3.6	Peka kruha .....	21
4	Eksperimentalni del .....	22
4.1	Priprava različnih droži iz različnih mešanic mok in meritve.....	22
4.2	Meritve e-nosu.....	24
4.3	Opazovanje starterjev pod fluorescenčnim mikroskopom .....	25
4.4	Določanje koncentracije mikroorganizmov v drožeh .....	27
4.5	Priprava testa .....	28
5	Rezultati.....	29
5.1	Povečanje volumna, spreminjanje vrednosti pH med fermentacijo in vzhajanje testa .....	29
5.2	E-nos.....	31
5.3	Slike mikroskopa.....	32
5.4	Koncentracije mikroorganizmov v drožeh.....	33
5.5	Okus in struktura kruha .....	34
6	Razprava .....	35
7	Zaključek .....	36
8	Literatura .....	37
8.1	Pisni viri .....	37
8.2	Ustni viri.....	38
8.3	Slikovni viri.....	39
9	Priloge.....	41

## **Kazalo slik**

Slika 1: Nevzhajan kruh (levo) in neenakomerno vzhajan kruh (desno).....	7
Slika 2: Droži v kozarcu in kruh iz droži.....	10
Slika 3: Vzhajanje droži po hranjenju.....	13
Slika 4: Razlika med testom pred in po avtolizi .....	17
Slika 5: Dodajanje droži v testo .....	18
Slika 6: Prepogibanje testa.....	18
Slika 7: Tehnika "strecth and fold" .....	19
Slika 8: Oblikovanje testa pred fermentacijo.....	19
Slika 9: Fermentacija testa v košari za kruh .....	20
Slika 10: Priprava pečice za peko kruha .....	21
Slika 11: Vrste mok ki sem jih uporabil .....	22
Slika 12: Vzorci droži v sobi z termometrom.....	22
Slika 14: Merjenje pH pri vzorcih droži .....	23
Slika 15: Rezultati merjenja pH po vrsti od zgoraj navzdol 1-7.....	23
Slika 13: Jemanje vzorcev za zamrzovanje. ....	23
Slika 16: Kozarec z nameščenimi senzorji .....	24
Slika 17: Merjenje s pomočjo e-nosu.....	24
Slika 18: Opazovanje vzorcev pod mikroskopom .....	25
Slika 19: Vzorci pripravljene na mikroskopiranje.....	25
Slika 20: Mikroskopska slika vzorca droži iz ajdove moke .....	26
Slika 21: Gnetenje testa .....	28
Slika 22: Merjenje povečanja prostornine pred hranjenjem, vzorci po vrsti od leve proti desni 1-7 .....	29
Slika 23: Skica vzhajanih test po 12 urah fermentacije v hladilniku .....	30
Slika 24: Prerez hlebcev kruha iz različnih droži, od leve prti desni od zadaj naprej: polnozrnate, črne, ajdove, ržene, koruzne, bele droži.....	34

## **Kazalo grafov**

Graf 1: Volumen droži 12 ur po hranjenju.....	29
Graf 2: pH droži 12 ur po hranjenju.....	30
Graf 4: Meritve senzorja MQ-135 .....	31
Graf 3: Meritve senzorja MQ-3 .....	31
Graf 5: Meritve senzorja MQ-138 .....	31
Graf 6: Meritve senzorja MQ-136 .....	31

## **Kazalo tabel**

Tabela 1: Koncentracije mikroorganizmov v različnih vzorcih droži .....	33
---	----

## **Kazalo prilog**

Priloga 1: Vzorec iz polnozrnate moke.....	41
Priloga 2: Vzorec iz črne moke.....	41
Priloga 3: Vzorec iz koruzne moke.....	43
Priloga 4: Vzorec iz ržene moke.....	42
Priloga 5: Vzorec iz 100% bele moke.....	44
Priloga 6: Vzorec iz bele moke.....	43
Priloga 7: Vzorec iz ržene moke, nezamrznjen .....	44

# 1 Povzetek

Naslov raziskovalne naloge: Droži: od bakterij in divjih kvasovk do kruha

Avtor: Anton Žabkar

Droži so najstarejši način izdelave vzhajane kruha, vendar o njih še vedno ne vemo veliko. V osnovi so mešanica moke in vode, ki naravno fermentira. Ob stalnem hranjenju mešanice z moko in vodo se v njej razmnožijo divje kvasovke in mlečnokislinske bakterije. S to raziskovalno nalogo sem želel raziskati vpliv različnih vrst moke za hranjenje droži.

Pripravil sem sedem različnih droži in v vsako dodal drugo vrsto moke: črno, ajdovo, rženo, navadno belo in koruzno moko. Vsak vzorec sem nato uporabil pri peki kruha in opazoval razlike med končnimi hlebci kruha. Med vzgajanjem droži sem opravljal meritve vrednosti pH in volumna. Vzorce sem opazoval pod mikroskopom, meril prisotnost različnih hlapljivih spojin iz droži in določal koncentracije mikroorganizmov v vzorcih droži s pomočjo števne metode na agarskih ploščah.

Izkazalo se je, da kruh iz mojih droži dobro vzhaja, razen vzorca, ki je bil iz povsem bele moke. Opazno aktivnejše so bile ajdove in ržene droži, ki so se razvile hitreje kot ostali vzorci in so bolj vzhajale. To se je poznalo tudi na slikah z mikroskopom, kjer sem opazil več bakterij in kvasovk, merjenju koncentracij mikroorganizmov in pri hitrejšem padcu vrednosti pH v teh dveh vzorcih.

Ključne besede: droži, moka, kruh, divje kvasovke, mlečnokislinske bakterije

## 2 Uvod

Kruh velja za eno najstarejših pripravljenih jedi. Že Sumerci in stari Egipčani so pripravljali kvašen kruh, ker je bolj mehak in ga lažje jemo. Obstaja več vrst kvašenega kruha, ki se razlikuje predvsem v vrsti kvasa, ki ga dodamo testu. Kvas je organska snov, sestavljena iz glivic kvasovk, ki proizvajajo encime in s tem povzročajo fermentacijo. Eden od možnih načinov pridobivanja naravnega kvasa je gojenje droži.

Droži so fermentirana mešanica moke in vode pri sobni temperaturi, ki se še danes uporablja kot vzhajalno sredstvo pri pripravi testa v pekarstvu, predvsem za peko kruha. Moka naravno vsebuje različne kvasovke in bakterije. Ko moki primešamo vodo, naravni encim amilaza razgradi škrob na glukozo in maltozo, ki ju presnavljajo divje kvasovke. Pri tem proizvajajo ogljikov dioksid, ki vzhaja testo. Mlečnokislinske bakterije dajo drožem značilen kiselkast okus, ki ga čutimo tudi v kruhu, pripravljenem iz droži. Kislo okolje v drožeh vpliva tudi na razvoj encimov, ki razgrajujejo proteine in rahljajo glutenske vezi. Priprava kruha iz droži se zato bistveno razlikuje od priprave kruha s pomočjo pivskega kvasa.

### 2.1 Cilj

Z raziskovalno nalogo sem želel z znanstveno metodo natančno raziskati vpliv uporabe različnih mok pri gojenju droži in določiti posledice na kakovost kruha. Z različnimi poskusi sem preučil vplive moke na končen produkt. Opazoval sem volumen, zračnost in okus kruha. Želel sem preveriti, če je ržena moka, ki se običajno uporablja pri pripravi droži, res najbolj primerna. Namen opravljenih raziskav je določiti vrsto droži, iz katere bomo dobili čim bolj vzhajan kruh. Strukturo kruha bomo ocenjevali glede na velikost in enakomerno razporejenost zračnih mehurčkov v prerezu.



*Slika 1: Nevzhajan kruh (levo) in neenakomerno vzhajan kruh (desno).*

## **2.2 Hipoteze**

1. Na aktivnost droži vpliva vrsta uporabljene moke.
2. Aktivnost droži je v neposredni zvezi s številom živih mikroorganizmov (vidnih pod mikroskopom in ugotovljenih s števno metodo na agarških ploščah).
3. Aktivnost droži se bo odrazila pri vzhajanju testa in posledično v strukturi kruha.
4. Kruhi, narejeni iz različnih droži, bodo imeli različen okus.



## 3 Teorija

### 3.1 Kaj so droži?

Droži so fermentirana mešanica moka in vode, ki se že vsaj 3000 let in tudi še danes tradicionalno uporablja kot vzhajalno sredstvo pri pripravi testa in peki kruha. So aktivna mikrobna združba mlečnokislinskih bakterij številnih vrst (tudi do 50 različnih) in kvasovk (več kot 20 različnih vrst t.i. divjih kvasovk (z izrazom divje kvasovke označujemo vrste ne-*Saccharomyces cerevisiae* (ki so sicer v pekovskem oz. pivskem kvasu))). Tu je naštetih nekaj izmed najpogostejših:

- *Saccharomyces exiguus*
- *Candida humilis*
- *Pichia anomala*
- *Pichia membranifaciens*
- *Torulaspora delbueckii*
- *Debaryomyces hansenii*

Kvasovke in bakterije so približno v razmerju 1:100. Število mlečnokislinskih bakterij je okoli  $10^8 - 10^9$  cfu/g, kvasovk pa okoli  $10^6 - 10^7$  cfu/g. Mlečnokislinske bakterije ustvarijo kislo okolje, ki onemogoča razvoj škodljivih bakterij in drugih mikroorganizmov. Preživijo le še na kislo okolje odporne divje kvasovke. Mlečnokislinske bakterije, ki jih delimo na dve glavni skupini med procesom vrenja pretvarjajo sladkorje v moki v ATP (adenozin trifosfat), ki shrani nastalo energijo, v mlečno kislino in toploto; kvasovke pa omogočajo alkoholno vrenje. Pri tem porabljajo glukozo in proizvajajo etanol, CO<sub>2</sub>, ATP in toploto. Skupini, v katere delimo bakterije, heterofermentativne in homofermentativne, se razlikujeta po metabolnih produktih. Homofermentativne, ki predstavljajo večino bakterij, namreč proizvajajo le mlečno kislino (>85%) za razliko od heterofermentativnih, ki proizvajajo tudi očetno kislino, etanol ter pline (CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>).

Homofermentativne:

- *Lactobacillus casei*
- *Lactobacillus delbrueckii*
- *Lactobacillus fraciiminis*
- *Lactobacillus plantarum*

Heterofermentativne:

- *Lactobacillus brevis*
- *Lactobacillus buchneri*
- *Lactobacillus fermentum*
- *Lactobacillus alimentarius*
- *Lactobacillus amylophilus*

Kot vir sladkorjev bakterije in kvasovke uporabljajo škrob in maltozo, ki sta glavna predstavnika ogljikovih hidratov v moki. Škrob mora, zato da je uporaben za kvasovke, najprej razgraditi v moki endogeno prisoten encim amilaza, ki začne delovati ko dodamo vodo. Ko je razgrajen na preprostejša sladkorja, so ga kvasovke in bakterije sposobne uporabiti. Droži

pravilno delujejo med pH 3 in 6. Z rednim hranjenjem poskrbimo, da pH ni prenizek. Prenizek pH namreč onemogoča delovanje amilaze in drugih encimov ter uničuje bakterije.

Poznamo tudi tri različne tipe droži. Tip 1 je primeren za domačo uporabo in manjše pekarnice, saj zahteva sorazmerno veliko dela. Ta postopek sem uporabljal tudi sam in je natančneje opisan v nadaljevanju. Pri pripravi droži tipa 2 so zmesi moke in vode dodane kvasovke *Saccharomyces cerevisiae* ali pekovski kvas, kar močno olajša in pospeši postopek. Mešanica je nato do 5 dni zaprta in je ni potrebno hraniti. S tem se doseže, da je v drožeh veliko kislin in drugih organskih molekul, saj zaradi odsotnosti hranjenja niso odstranjene, kot pri tipu ena. Tako dobimo tekoče in po okusu močne droži, v katerih ni več veliko živih bakterij in kvasovk. Zmes lahko shranimo pri nizki temperaturi in jo nato dodamo med pripravo kruha le zaradi okusa in ne z namenom vzhajanja. Tip 3 je povsem enak kot tip 2, le da so droži še dehidrirane in so v kruh dodane kot prah. Ker tipa 2 in 3 omogočata enostavno izdelavo velikih količin, sta pogosta v velikih pekarnah in tovarnah za proizvodnjo kruha.



*Slika 2: Droži v kozarcu in kruh iz droži*

## **3.2 Zakaj je kruh iz droži bolj koristen, kot kruh iz pivskega kvasa?**

Kruh iz droži se od kruha, narejenega iz pivskega kvasa, razlikujejo v številnih pogledih. Kruh iz droži je za naše telo koristnejši na več načinov. Pozitivni učinki takega kruha so:

- boljša absorpcija mineralov kot so kalcij, magnezij in železo. Teh je sicer že zaradi uporabe bolj bogatih mok, kot sta ržena in bela polnozrnata, veliko več, sicer pa jih najdemo tudi v navadnem kruhu, vendar so vezani na fitinsko kislino, kar otežuje absorpcijo.
- v kruhu iz droži pa je prisotna mlečna kislina, ki razbije strukture mineralov in fitinske kisline, jo deaktivira in tako močno poveča količino absorbiranih mineralov. Količina fitinske kisline se lahko zmanjša do 70%.
- vsebuje tudi veliko antioksidantov, ki nas ščitijo pred prostimi radikali.
- je lažje prebavljiv, saj se med fermentacijo razbije in porabi nekaj glutena kar nam olajša prebavo. Zato je primeren za ljudi, ki ne prenašajo dobro glutena. Pri tem pa je potrebno poudariti, da se gluten v kruhu iz droži nikoli ne bo povsem razgradil in zato ni primeren za ljudi, ki so alergični nanj. Strokovnjaki zaradi tega učinka predlagajo ljudem z intolerancami in prebavnimi motnjami.
- v kruhu so prisotni postbiotiki in prebiotiki. Probiotike, ki so sicer prisotni v drožeh, vročina med peko uniči. Postbiotiki so produkti, ki nastanejo med bakterijsko fermentacijo in so koristni v debelem črevesju. Prebiotiki so frukto in galakto-oligosaharidi, ki jih naše telo ne more prebaviti, kar jim omogoči, da pridejo do debelega črevesja nespremenjeni. Tam so prisotne črevesne bakterije, ki jih lahko uporabijo. Z njimi tako krepimo in hranimo našo črevesno floro.
- Užitanje kruha iz droži ne povzroči velikih sprememb v ravni krvnega sladkorja. Znanstveniki niso povsem prepričani zakaj, zato je potrebno narediti več raziskav. Možen razlog je prisotnost kislin v kruhu, uporaba ržene in polnozrnate moke ali pa spremembe v molekulah ogljikovih hidratov med procesom fermentacije.

Poleg naštetih koristi prinaša kruh iz droži tudi naslednje pozitivne učinke: ima boljše senzorične kakovosti, je okusnejši in boljše teksture. Poleg tega je obstojnejši, počasneje se suši, nastala mlečna kislina pa deluje protimikrobno in zavira plesnenje kot glavni mikrobiološki vzrok kvarjenja kruha (poleg rasti je zavrta tudi morebitna tvorba mikotoksinov, ki so zdravju škodljivi produkti plesni).

Čeprav je s postopkom izdelave veliko dela, je tudi v tem mogoče najti prednosti. Ne potrebujemo drugih dodatkov, priprava kruha pa je lahko zelo sproščujoča in lahko tudi zelo poučna. Če povzamemo, ima kruh iz droži veliko dobrih lastnosti: je boljše kakovosti (senzorično, tehnološko in prehransko), pozitivno vpliva na zdravje in dobro počutje in je obstojnejši (posredno vpliva na zmanjšanje zavržene hrane).

### 3.3 Zgodovina peke kruha iz droži

Najstarejši najden kruh iz droži je bil najden v Švici in spada v obdobje 3700 let pr. Kr., vendar pa so se droži uporabljale že nekaj tisoč let prej z začetki v starem Egiptu, kar so potrdila tudi izkopavanja. Znanstvenikom je celo uspelo speči kruh iz 4500 let starega vzorca droži najdenih v Egiptu. Nato se kot sredstvo za vzhajanje uporabljale vso človeško zgodovino, dokler se ni pred okoli sto petdesetimi leti začel uporabljati pivski kvas. Še danes je običajno kruh iz 100% ržene moke vzhajan s pomočjo droži, saj pivski kvas ni uporaben, ker ržena moka ne vsebuje dovolj glutena.

Peka kruha z drožmi je seveda razširjena po vsem svetu, zato obstaja veliko različnih postopkov in načinov priprave. Eden izmed najbolj znanih vrst kruha prihaja iz San Francisca. Tja so Francozi to tehniko izdelovanja droži prinesli med kalifornijsko zlato mrzlico in priprava kruha je tako postala pomemben del kulture mesta, ki je znano po tem načinu izdelave kruha, ki pa ima značilno oster okus zaradi očetne kisline. Te je v večini drugih načinov priprave namreč manj. Zaradi intenzivnega okusa so začeli v zadnjem času zniževati intenzivnost okusa, saj je večini ljudi premočan. Po San Franciscu je ime dobil celo bacil, ki je značilnost tamkajšnjega kruha in sicer *Fructilactobacillus sanfranciscensis*. Iz Amerike so se droži razširile tudi v polarni krog, kjer so jih Eskimi nekoč nosili za pasom, da so bile na toplem in so bile zelo dragocen pripomoček.

Čeprav je novejša metoda vzhajanja s hitrejšim in nezahtevnim pivskim kvasom v zadnjem stoletju prevladala v Evropi, so se v zadnjem obdobju v določeni meri vrnile tudi droži. Predvsem v času epidemije, ko je veliko ljudi imelo več časa in so bile trgovine težje dostopne. Lahko bi rekli, da je izdelava kruha iz droži postala hobi. Zanj je potrebno veliko časa in znanja. Poleg tega so sestavine izredno preproste: le moka, voda in sol. Dobro vzdrževane droži lahko uporabljamo časovno neomejeno in jih predajamo iz generacije v generacijo. Najstarejše poznane so iz leta 1847 in so se do sedaj prenašale v družini in so aktivne še danes. V večjih proizvodnjah kruha se pogosto uporablja mešanica droži in pivskega kvasa. Z dodajanjem kvasa kruh hitreje vzhaja, izdelava je preprostejša, kljub temu pa kruh ohrani koristne lastnosti zaradi prisotnosti mlečnokislinskih bakterij.

### 3.4 Priprava droži

Droži so vzhajalno sredstvo za peko kruha. Pripravimo jih iz moke in vode, priporočljivo v ozki visoki stekleni posodi ali kozarcu. Prozorna posoda nam olajša spremljanje naraščajoče mešanice in merjenje volumna. Podobno velja za višino in premer kozarca, saj pri ožjem kozarcu hitreje opazimo spremembe volumna. Priprava lahko traja od enega do dveh tednov, odvisno od moke, temperature in drugih pogojev. Načeloma lahko kruh začnemo peči že po enem tednu, vendar je priporočljivo, da droži vzgajamo čim dlje – lahko tudi do dveh tednov, da jih okrepimo. To pomeni, da poskušamo povečati koncentracijo predvsem kvasovk in pa tudi bakterij, ki bodo tako ob novem hranjenju hitreje dosegle vrh vzhajanja (največji volumen preden se sesedejo). V mešanici se močno namnožijo mlečnokislinske bakterije in divje kvasovke. Bakterije proizvajajo mlečno in očetno kislino, ki povzroči padec vrednosti pH. S tem dosežemo, da nevarni mikroorganizmi ne preživijo in ne ogrožajo našega zdravja pri zaužitju. To lahko trdimo, ko vrednost pH pade pod 4,1. Preživijo na kislo okolje odporne divje kvasovke, ki omogočajo nastanek CO<sub>2</sub>, ki je ključen pri vzhajanju kruha. Zaradi dejavnosti tako že drugi dan v posodi opazimo naraščanje zmesi in pojav mehurčkov. Če nato droži redno (idealno trikrat, lahko pa tudi dvakrat dnevno) hranimo, bomo dosegli vedno večjo aktivnost, ki se pozna v povečanju volumna in vedno nižjem pH. Cilj je, da dosežemo trikratno povečanje volumna v roku 8 ur od hranjenja v razmerju 1:2:2 (1 g droži proti 2 g moke in 2 g vode). Čez teden povečujemo količino vode in moke, kot je opisano v nadaljevanju. Sam sem delal po receptu Kristen Dennis, doktorice biologije iz Chicaga, ki sem ga dobil na njenem Youtube kanalu.



*Slika 3: Vzhajanje droži po hranjenju*

Postopek priprave droži po dnevih:

Dan 1:

- Pripravimo mešanico mok v razmerju 7 (polnozrnata bela) : 3 (ržena), (v nadaljevanju bom za to mešanico uporabljal le izraz moka)
- V pripravljenem kozarcu zmešamo 30g vode in 30g pripravljene moke, 1:1

Dan 2:

- Premešamo mešanico
- Lahko prestavimo v svež kozarec za lažjo vidljivost

Dan 3:

- V kozarcu pustimo 20g odtehtanih droži, ostalo zavržemo
- Dodamo vodo in moko 1:1:1 (20g droži + 20g vode + 20g moke) in kot tudi vsakič v nadaljevanju premešamo
- Pričakovana opažanja: prostornina se je povečala, mešanica je narasla kar nakazuje na pristnost divjih kvasovk

Dan 4 jutro:

- Začnemo hraniti dvakrat dnevno
- Ohranimo 20g droži
- Dodamo vodo in moko 1:1:1
- Pričakovana opažanja: neprijeten vonj, povečanje prostornine

Dan 4 večer:

- Pustimo 15g droži, ostalo zavržemo. Z manjšo količino mešanice namreč zmanjšamo tudi odpadek, ki ga zavržemo
- Dodamo vodo in moko 1:1:1
- Pričakovana opažanja: zelo neprijeten vonj, povečanje prostornine

Dan 5 jutro:

- Pustimo 15g droži, ostalo zavržemo
- Dodamo vodo in moko 1:1:1
- Pričakovana opažanja: zelo tekoča zmes, malo aktivnosti, nič naraščanja, zelo neprijeten vonj

Dan 5 večer:

- Pustimo 15g droži, ostalo zavržemo
- Dodamo vodo in moko 1:1:1
- Pričakovana opažanja: majhno povečanje volumna, neprijeten vonj, tekoče

Dan 6 jutro:

- Pustimo 15g droži, ostalo zavržemo
- Dodamo vodo in moko 1:1:1
- Pričakovana opažanja: 20% povečanje prostornine, tekoče, prijetnejši vonj

Dan 6 večer:

- Pustimo 15g droži, ostalo zavržemo
- Dodamo vodo in moko 1:1:1
- Pričakovana opažanja: 30% povečanje prostornine, manj intenziven vonj

Dan 7 jutro:

- Pustimo 15g droži, ostalo zavržemo
- Dodamo vodo in moko 1:1:1
- Pričakovana opažanja: 100% povečanje prostornine, prijeten kiselkast vonj, močnejša struktura, manj tekoče

Dan 7 večer:

- Pustimo 15g droži, ostalo zavržemo
- Dodamo vodo in moko 1:1:1
- Pričakovana opažanja: 50% povečanje prostornine, prijeten kiselkast vonj

Dan 8 jutro:

- Pustimo 15g droži, ta dan lahko začnemo shranjevati ostanke v zmrzovalniku
- Dodamo vodo in moko 1:1:1
- Pričakovana opažanja: 90% povečanje prostornine, zelo prijeten vonj

Dan 8 večer:

- Pustimo 15g droži
- Dodamo vodo in moko 1:1:1
- Pričakovana opažanja: 100% povečanje prostornine

Dan 9 jutro:

- Pustimo 15g droži
- Dodamo vodo in moko 1:1:1
- Pričakovana opažanja: 150% povečanje prostornine, prijeten kisel vonj

Dan 9 večer:

- Pustimo 8g droži
- Dodamo vodo in moko 1:2:2
- Pričakovana opažanja: 150% povečanje prostornine, prijeten kisel vonj

Dan 10 jutro:

- Pustimo 8g droži
- Dodamo vodo in moko 1:2:2
- Pričakovana opažanja: 150% povečanje prostornine

Dan 10 večer:

- Pustimo 5g droži
- Dodamo vodo in moko 1:3:3

- Pričakovana opažanja: 150% povečanje prostornine

Dan 11 jutro:

- Pustimo 5g droži
- Dodamo vodo in moko 1:4:4
- Pričakovana opažanja: 150% povečanje prostornine

Dan 11 večer:

- Pustimo 5g droži
- Dodamo vodo in moko 1:5:5
- Pričakovana opažanja: 150% povečanje prostornine

Dan 12 jutro:

- Pustimo 5g droži
- Dodamo vodo in moko 1:5:5
- Pričakovana opažanja: 150% povečanje prostornine, zelo prijeten sladko kiselkast vonj

Dan 12 večer:

- Pustimo 5g droži
- Dodamo vodo in moko 1:5:5
- Pričakovana opažanja: 150% povečanje prostornine

Dan 13 jutro:

- Pustimo 5g droži
- Dodamo vodo in moko 1:5:5
- Pričakovana opažanja: 150% do 200% povečanje prostornine

Dan 13 večer:

- Pustimo 5g droži
- Dodamo vodo in moko 1:5:5
- Pričakovana opažanja: 150% do 200% povečanje prostornine

Tako dosežemo trikratno prostornino, kar je znak, da so droži zelo aktivne. Nadaljnjo hranjenje lahko prilagodimo glede na časovne intervale, ki so nam na voljo. Čez noč, ko bo do naslednjega hranjenja poteklo več časa, nahranimo v razmerju 1:5:5, če pa bomo čez dan hranili na manj kot 8 ur, lahko uporabimo razmerje 1:3:3 ali celo 1:2:2 za zelo kratke intervale. Ostanke, ki jih pred vsakim hranjenjem odstranimo zmrzujemo in jih lahko uporabimo na veliko načinov. Lahko jih dodamo palačinkam, piškotom, testu za pico idr. Zbiramo jih šele od 8. dneva, saj prej mešanica še ni dosegla dovolj nizkega pH, da bi bila varna za uporabo.



### 3.5 Testo

Priprava testa je najdalgotrajnejši del procesa pri peki kruha iz droži. Obstaja več načinov priprave, vendar pa imajo nekaj osnov, ki so skupne vsem načinom. Zelo pomemben je način gnetenja testa, počivanje testa in ponavljanje postopka glede na to, kakšno kislost kruha želimo doseči. Kot droži, sem tudi testo delal po receptu Kristen Dennis, saj sem potreboval preverjen recept, ki ob enakih pogojih prinaša enake rezultate. Med gledanjem njenih posnetkov sem se naučil veliko strokovnih stvari, saj se je peke kruha lotila precej znanstveno in tudi sama dela poskuse. Poleg tega ima preprosta in jasna navodila, ki jim je po korakih, ki jih sproti tudi razlaga, enostavno slediti.

Najpomembnejše stvari, na katere moramo biti pri pripravi testa pozorni, so:

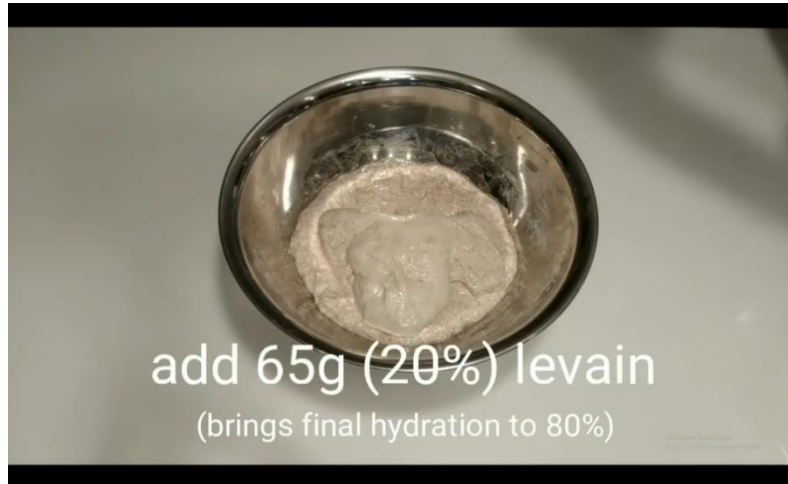
- temeljito gnetenje brez električnih mešalnikov. Na roke moramo testo gnesti, da ne pretrgamo glutenskih vezi, ki se tvorijo ob stiku moke z vodo.
- Ko zmešamo moko in vodo, moramo zmes pustiti od 2 do 4 ure. Med tem časom bo potekla avtoliza. To je proces, ki ga je utemeljil prof. Raymond Calvel leta 1974. Opazil je, da testo po tem času pridobi veliko zaželenih lastnosti pri peki kruha. Postane namreč bolj raztegljivo zaradi tvorjenja glutenskih vezi. Raztegljivost testa je zelo pomembna pri vzhajanju, saj se v bolj raztegljivo testo ujame več mehurčkov CO<sub>2</sub>, kar na koncu privede do lepše vzhajane kruha. Prav tako nam ta lastnost pomaga pri nadaljnem gnetenju, saj je kruh lažje prelaga (po angleško folding technique), s čimer dosežemo boljše povezanost in strukturo kruha. Hkrati tudi zmanjša čas gnetenja, saj se glutenske vezi, katerih vzpostavitev je cilj celotnega postopka, do neke mere že same tvorijo. Avtoliza omogoča vodi, da popolnoma napoji moko in zmehča otrobe v polnozrnatih in rženi moki. Prav tako karotenoidni pigmenti ostanejo nedotaknjeni, kar vodi do boljše barve, arome in okusa.



Slika 4: Razlika med testom pred in po avtolizi

Testo sem pripravil po naslednjem postopku:

1. Avtoliza – zmešamo moko in vodo po receptu 70 g polnozrnate moke, 255 g navadne bele moke in 253 g vode. Zmes nato pustimo počivati 2 – 4 ure.
2. Dodajanje droži – po tem času v zmes dodamo 65 g droži, zmešamo in pustimo da počiva 30 min.



*Slika 5: Dodajanje droži v testo*

3. Dodajanje soli – sledi dodajanje 7,5 g soli, gnetenje in ponovno 30 min počitka.
4. Prepogibanje – ko smo zmešali vse sestavine se začnejo različni postopki gnetenja, katerih cilj je, da ustvarimo čim več glutenskih vezi in dobro premešamo sestavine. Začnemo z vlečenjem testa na vse štiri strani do meje trganja. Nato ga zložimo nazaj v hlebec, kot je prikazano na sliki in testo pustimo počivati 30 min.



*Slika 6: Prepogibanje testa*

5. Razteg in prepogib (prvič) (angl. stretch and fold) – testo s tem procesom poskušamo čim bolj zgnesti vendar hkrati uničiti čim manj glutenskih vezi, ki so se tvorile do sedaj. Ključno je torej da ga nikoli ne raztegnemo do takšne mere da se strga. Testo najprej raztegnemo tako, da ga primemo na sredini in ga vlečemo navzgor. Nato ga položimo nazaj v posodo tako, da ustvarimo pregib, kjer se sprimeta spodnja konca, kot je prikazano na sliki 7. Postopek ponovimo trikrat in med vsako ponovitvijo počakamo 45 min.
6. Razteg in prepogib (drugič)
7. Razteg in prepogib (tretjič)



*Slika 7: Tehnika "stretch and fold"*

8. Oblikovanje – testo zvijemo v hlebec in ga na straneh sprimemo skupaj, da zakrijemo plasti, ki so vidne na sliki 8.



*Slika 8: Oblikovanje testa pred fermentacijo*

## 9. Fermentacija

Testo v primerni posodi pustimo, da fermentira. Oblika posode je pomembna, ker kruhu določi končno obliko. Med tem procesom testo namreč postane čvrstše in bo tudi med peko ohranilo obliko. Priporočljivo je, da je na notranji strani posode krpa ali drugo blago, ki ga potresemo z moko. Tako se bo namreč testo enostavno in brez prijemanja zvrnilo na pladenj za peko. Fermentacijo lahko izvedemo na dva načina:

- 20 min na sobni temperaturi
- 8-12 ur v hladilniku



*Slika 9: Fermentacija testa v košari za kruh*

### 3.6 Peka kruha

Testo po fermentaciji v hladilniku zvrnemo na segreto kamnito ploščo ali pladenj in ga čim hitreje prestavimo v pečico, ki jo predhodno segrejemo in pripravimo. V pečici skušamo ustvariti čim bolj vlažno okolje. Na dno postavimo manjši pladenj v katerega lahko damo vulkanske kamne, da pospešimo izhlapevanje vode, ki jo v pladenj nalijemo že pred peko kruha. Na rešetko položimo kamnito ploščo in jo skupaj s pečico segrejemo na 260°C. Ko na ploščo položimo kruh, ga pokrijemo z visokim pekačem tako, da ta delno sega čez kamnito podlago in tako ulovi paro, ki se dviga iz spodnjega pekača. Ob kruh lahko položimo nekaj kock ledu in tako še povečamo vlago med peko. Visoka vlažnost v pečici je koristna, saj ohranja skorjo na začetku pečenja dovolj mehko, da lahko kruh neovirano naraste. Hkrati skorja ostane dovolj močna, da se kruh ne razleze.

Kruh pečemo 20 minut pri temperaturi 260°C; nato odstranimo pekač, ki je prekrival kruh in nadaljujemo s peko še 20 minut pri temperaturi 230°C. V drugem delu

pečenja veliko pare v pečici nima več pozitivnega učinka na kruh, saj lahko ustvari predebelo in gumijasto skorjo, zato pekač odstranimo in pečico odpremo, da para uide ven. Po 40 min pečenja kruh vzamemo iz pečice in ga zavijemo v kuhinjsko krpo. Pustimo ga počivati vsaj eno uro, saj se kruh še vedno peče vse dokler se ne ohladi. Če ga prekmalu prerežemo pokvarimo pogoje, ki so se ustvarili pod skorjo in bodo v fazi ohlajanja določili lastnosti kruha.



Slika 10: Priprava pečice za peko kruha

## 4 Eksperimentalni del

### 4.1 Priprava različnih droži iz različnih mešanic mok in meritve

Vzorci droži sem pripravil iz različnih mešanic mok. Delal sem po opisanem postopku. Pri vseh vzorcih, razen zadnjem, sem uporabil 70 odstotkov bio pšenične polnozrnate moke, natur pur. Za preostali 30 odstotni delež sem uporabil naslednje moke (vsak vzorec je imel zaporedno število v naslednjem vrstnem redu, v nadaljevanju uporabljeno za poimenovanje):

1. Bio pšenična polnozrnata, natur pur
2. Črna moka, mlinotest, tip 1100
3. Bio ajdova moka, natur pur
4. Bio ržena polnozrnata, natur pur
5. Koruzna moka, mlinotest
6. Bela posebna moka, žito, tip 400
7. Zadnji vzorec je bil 100% bela posebna moka, žito tip 400, brez polnozrnate



Slika 11: Vrste mok ki sem jih uporabil

Uporabiti sem moral moke različnih proizvajalcev, saj nobeden ni imel vseh različnih mok. Prvi dan sem pripravil vseh sedem vzorcev. Najprej sem opral in razkužil kozarce, ter v njih zmešal vodo in mešanice mok. Kozarce sem oštevilčil. Vedno sem uporabljal prekuhano vodo iz pipe, ohlajeno na sobno temperaturo. Na enega izmed kozarcev sem namestil elastiko, ki je označevala višino droži ob hranjenju. Ko sem čez 12 ur ponovno nahranil droži, sem tako preprosto videl, za koliko se je drožem povečal volumen. Vse kozarce sem nato prekril s sterilno gazo, ter jih odnesel v klet. Vsakič sem pred hranjenjem izmeril volumen, enkrat na dan sem meril pH in si zapisoval pomembna opažanja ali spremembe.

Vse vzorce droži sem hranil v kletni sobi, ki sem jo izbral zaradi stalnih pogojev in kjer je bil stalno obešen termometer in merilnik vlage. Tako sem ves čas opazoval temperaturo in vlago, ki sta bili kar se da konstantni. Temperatura je bila ves čas med 19,5°C in 20,5 °C; vlaga je bila ves čas okrog 30%.



Slika 12: Vzorci droži v sobi z termometrom



*Slika 14: Rezultati merjenja pH po vrsti od zgoraj navzdol 1-7*



*Slika 14: Merjenje pH pri vzorcih droži*

Med celotnim postopkom dvanajstih dni sem dvakrat vzel vzorce vsakih droži, jih shranil kot je prikazano na spodnji sliki in jih zamrznil pri temperaturi  $-22^{\circ}\text{C}$ . Tako sem imel shranjene vzorce različno starih droži za kasnejše raziskave.



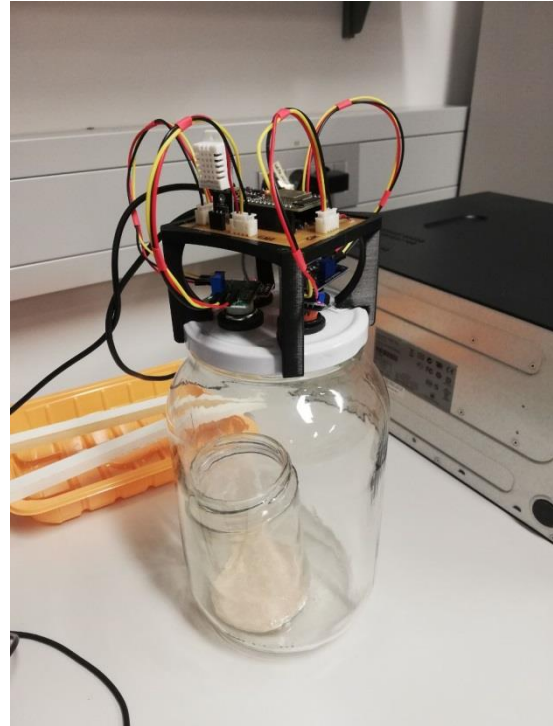
*Slika 15: Jemanje vzorcev za zamrzovanje.*

## 4.2 Meritve e-nosu

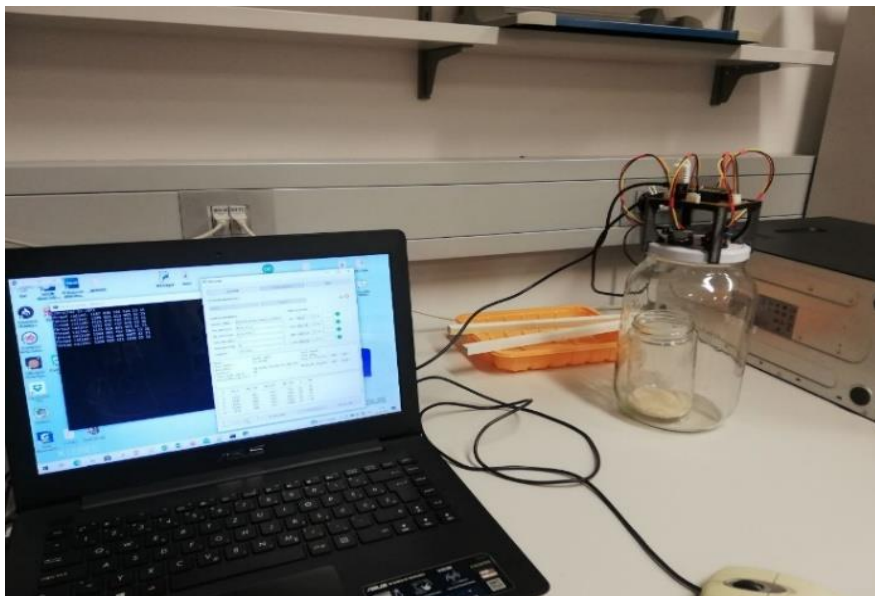
Meritve z e-nosom sem opravil na Fakulteti za računalništvo in informatiko, pri doc. dr. Miri Trebar. Pri poskusu sem meril prisotnost različnih plinov in drugih spojin, ki dajejo drožem značilen vonj. Za prepoznavanje hlapnih snovi ima e-nos štiri različne senzorje:

1. MQ-3, ki meri količino alkohola
2. MQ-135, ki meri količino CO<sub>2</sub> in alkohola
3. MQ-136, ki meri količino organskih hlapov in H<sub>2</sub>S
4. MQ-138, ki meri količino etanola in drugih organskih hlapov

Meritve sem izvedel na drožeh, starih 10 ur, ki sem jih nahranil zjutraj ob 7.00. Poskuse pa sem opravil popoldan, okoli 17.00 ure. Vsak kozarec z vzorcem sem dal v večjo posodo s pokrovom, na katerem so senzorji. Pred vsako naslednjo meritvijo sem droži najprej odstranil iz lonca in pokrov s senzorjem postavil stran, dokler se niso vrednosti senzorjev vrnili na sobne pogoje. Večjo posodo sem pred vsako naslednjo meritvijo zamenjal z drugo, ki se je med samim poskusom prezračila na okenski polici. Potek poskusa in rezultate meritev sem sproti lahko opazoval na računalniku, na katerega so senzorji priključeni.



Slika 16: Kozarec z nameščenimi senzorji

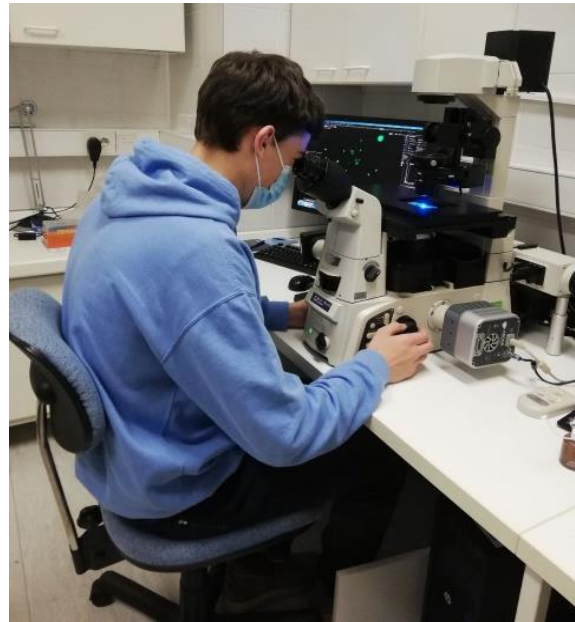


Slika 17: Merjenje s pomočjo e-nosu



### 4.3 Opazovanje starterjev pod fluorescenčnim mikroskopom

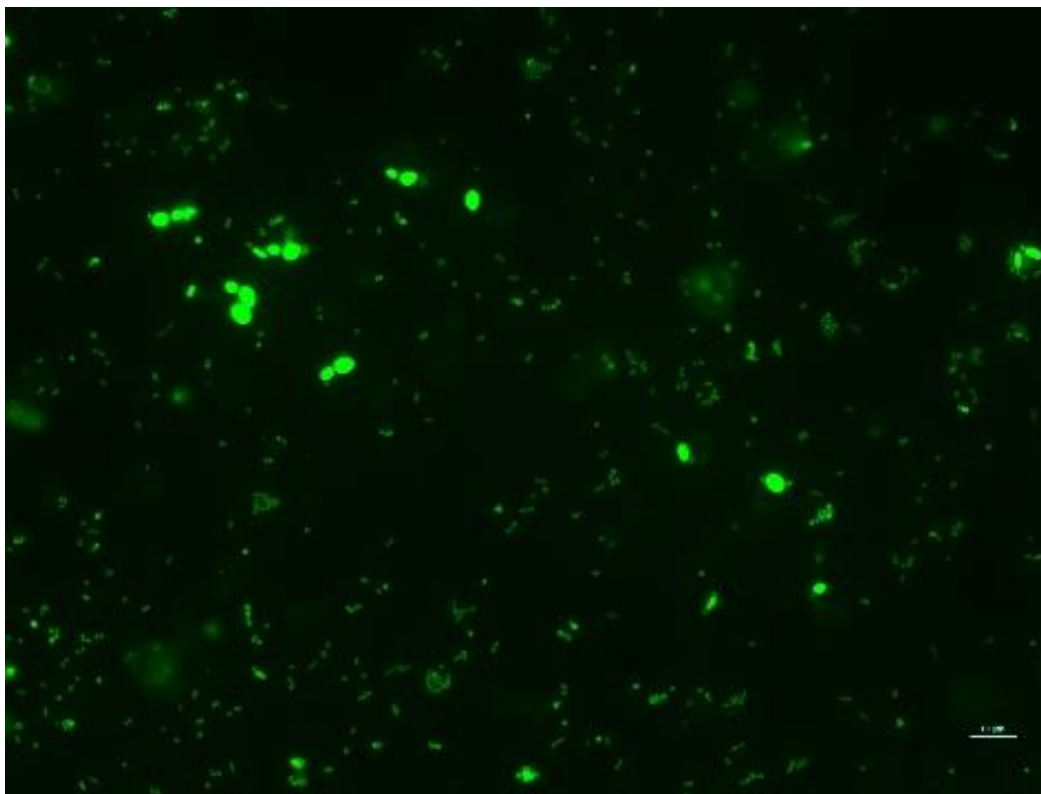
Vseh sedem različnih vzorcev droži sem na Nacionalnem inštitutu za biologijo s pomočjo dr. Metke Novak opazoval pod Fluorescenčnim mikroskopom, Nikon Eclipse Ti s kamero: Nikon LWd 0.52. Opazoval sem vzorce, stare 8 dni, ki sem jih shranil v zmrzovalniku in en trenutno aktiven vzorec, pri katerem je od zadnjega hranjenja minilo toliko časa kot pri zmrznjenih. Vzorce smo pustili nekaj časa, da so se dovolj odtalili, da smo jih lahko uporabili. Vzeli smo okoli 500 miligramov droži, jih vstavili v 1.5 mililitrske epice in dodali 300 mikrolitrov vode. Vzorce smo nato premešali na vortex napravi za mešanje. Nato so se vzorci 4 ure pustili da so se posedli, da smo dobili jasnejše vzorce, brez motečega ozadja pri mikroskopiranju. Vzorce smo nato nanесли na objektno stekelce in počakali, da so se posušili. Ko so bili vzorcu suhi, so bakterije in kvasovke med mikroskopiranjem mirovale. Tik pred opazovanjem pa smo dodali še 40 mikrolitrov akrudin orange, ki je bil razredčen v razmerju 1:100. Z njim smo obarvali mikroorganizme in vse skupaj nazadnje še prekrili s krovnim stekelcem. Tako smo dobili slike, ki so dodane v prilogi.



*Slika 18: Opazovanje vzorcev pod mikroskopom*



*Slika 19: Vzorci pripravljeni na mikroskopiranje*



*Slika 20: Mikroskopska slika vzorca droži iz ajdove moke*

Na sliki vzorca lahko opazimo največ kokov in bacilov (majhne okrogle in podolgovate pikice z jasnimi, ostrimi robovi), in pa tudi diplokoke in diplobacile. Bakterije tvorijo kolonije, največkrat okoli različnih rastlinskih delov prisotnih v moki, ki naravno flourescirajo. Bakterije se na sliki 20 vidijo kot večje zelene pike in ovali z ostrimi robovi in jih je bistveno manj kot bakterij. Iz slik je vidno tudi, da brastijo.

## 4.4 Določanje koncentracije mikroorganizmov v drožeh

Pri določanju koncentracije mikroorganizmov sta mi pomagali prof. Neža Čadež in prof. Sonja Smole Možina iz Biotehniške fakultete. Opazovali smo razvoj mikroorganizmov iz sedmih različnih vzorcev droži iz različnih mok in različnih starosti:

- Bio ržena polnozrnata moka – 2. dan
- Bio ajdova moka – 2. dan
- Koruzna moka – 2. dan
- Črna moka – 2.dan
- Bio ajdova moka – 12.dan
- Bio ržena polnozrnata moka – 12.dan
- Bio ržena polnozrnata moka – 21.dan

Vzorci droži smo stehali tako, da smo 1 g droži prenesli v 9 mL sterilne fiziološke raztopine. Nato smo jih serijsko redčili z redčitveno vrsto do  $10^{-4}$ . S pripravljenimi redčitvami smo aseptično nacepili agarne plošče z gojiščem MRS (za mlečnokislinske bakterije, a zrastejo tudi kvasovke, katerih kolonije se morfološko razlikujejo od bakterijskih) v dveh ponovitvah tako, da smo na gojišča odpipetirali po 100  $\mu$ L redčitve ter razmazali s plastično spatulo po Drigalskem. Nacepljena gojišča smo prenesli v anaerobni lonec, ter jim dodali generator anaerobnih razmer in inkubirali 5 dni pri sobni temperaturi.

Po inkubaciji je sledilo štetje kolonij kvasovk in mlečnokislinskih bakterij, ki so zrasle na ploščah MRS. Prešteli smo vse števne plošče posameznih redčitev ter nato izračunali koncentracijo celic (CFU/g, t.j. kolonijskih enot (angl. colony forming units), na g vzorca, ki jih nato interpretiramo kot št. živih celic na g ali ml vzorca) s pomočjo enačbe:

$$N = \frac{\sum C}{(n_1 + 0,1 \times n_2) \times d} \left[ \frac{CFU}{ml} \right]$$

Kjer je:

N ... povprečna koncentracija  
 $\sum C$  ... vsota kolonij na vseh ploščah  
n1 ... število plošč prve razredčitve  
n2 ... število plošč druge razredčitve  
d ... razredčitveni faktor prve razredčitve

## 4.5 Priprava testa

Kruh sem pripravil po postopku, opisanem v teoretičnem delu. Vsa testa sem hranil pri isti temperaturi in zračni vlagi, ter jih poskušal čim bolj enakovredno obravnavati. Prav tako sem za vse uporabil tudi isti postopek peke. Vsako izmed test sem zmešal v svoji oštevilčeni posodi in vsakič v istem vrstnem redu opravil postopek, ki je prišel na vrsto. Postopek sem začel okoli poldneva in do večera opravil vse opisane korake ter dal testa čez noč za okoli 12 ur počivati v hladilnik. Prvi korak, torej mešanje vode in moke sem opravil z električnim mešalnikom, saj v tem koraku ni prisotnih nobenih vezi v testu in zato ni nevarnosti, da bi ga oslabil. Vse ostale korake sem opravil ročno. Pripravil sem šest enakih test za kruh in v vsakega dodal eno izmed prvih šestih različic droži. Kruha iz zadnjega, to je sedmega vzorca iz 100% bele moke, nisem pripravil, saj droži niso vzhajale in bi bilo škoda zavreči toliko sestavin za povsem sprijet in trd kruh. Količine moke in vode sem dal v razmerju iz recepta vendar sem količino prepolovil, saj bi drugače dobil preveč kruha in ga ne bi mogel speči po tri hlebce hkrati kot sem lahko te manjše količine. Kruh sem nato spekel po navedenem postopku.



*Slika 21: Gnetenje testa*

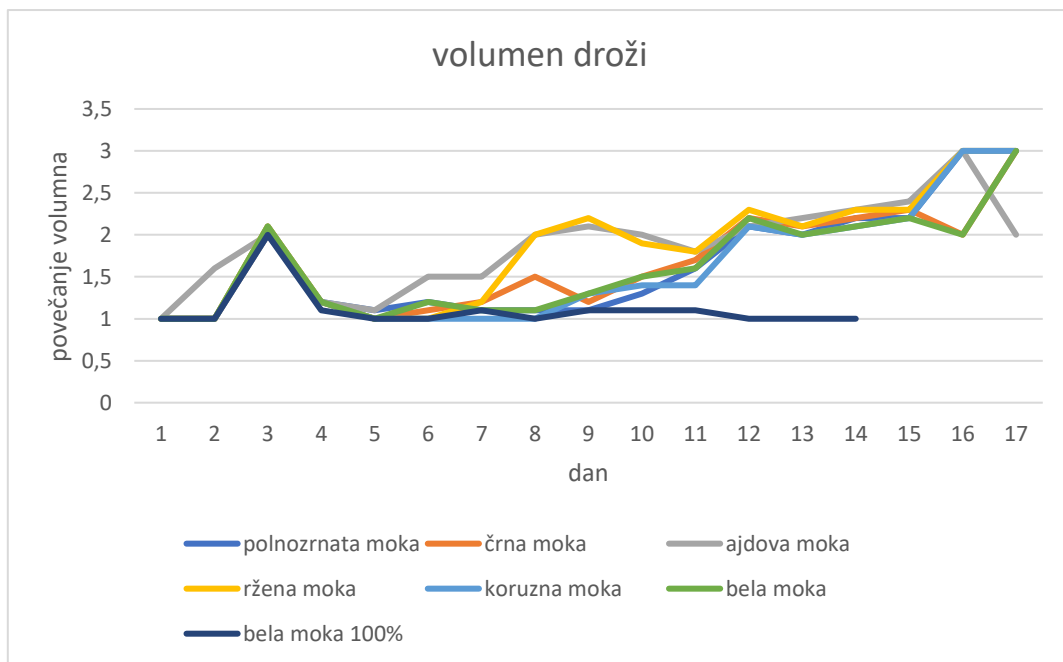
## 5 Rezultati

### 5.1 Povečanje volumna, spreminjanje vrednosti pH med fermentacijo in vzhajanje testa

Iz podatkov za pH in povečanje volumna, ki sem si jih zapisoval v tabelo sem za lažjo predstavo narisal dva grafa. Kot lahko vidimo na grafu volumna po dnevih, se tretji dan drožem volumen močno poveča. To bi lahko bila posledica visoke prisotnosti mikroorganizmov, ki so v tej fazi še prisotni, saj pH še ni dovolj nizek da bi jih uničil. Poleg tega zmes prva dva dni le premešamo in je nič ne odstranimo, kar pomeni da so imeli več časa za razvoj in razmnoževanje. Volumen se nato naslednjih 5 dni pri večini vzorcev ne poveča bistveno. Izjema sta vzorca iz ajde in ržene moke, pri katerih lahko opazimo, da začneta precej vzhajati že peti in sedmi dan, kar je precej prej kot ostali. Vsi razen zadnjega pa nazadnje dosežejo trikratni volumen, kar pomeni, da bo kruh odlično vzhajal. Droži iz povsem bele moke so bile ves čas povsem neaktivne v smislu vzhajanja, kar je znak, da se tam niso razvile kvasovke. To je vidno tudi na mikroskopski sliki.

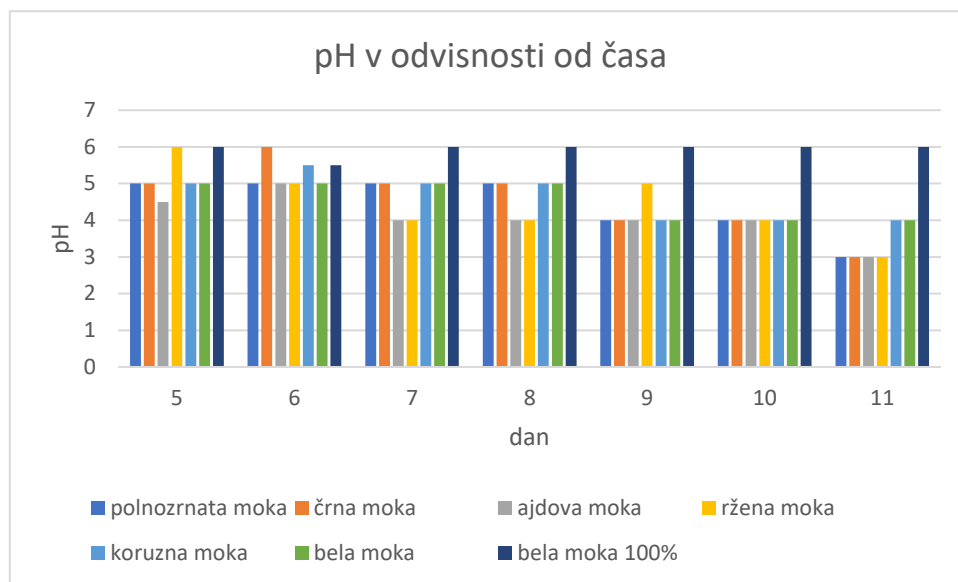


Slika 22: Merjenje povečanja prostornine pred hranjenjem, vzorci po vrsti od leve proti desni 1-7



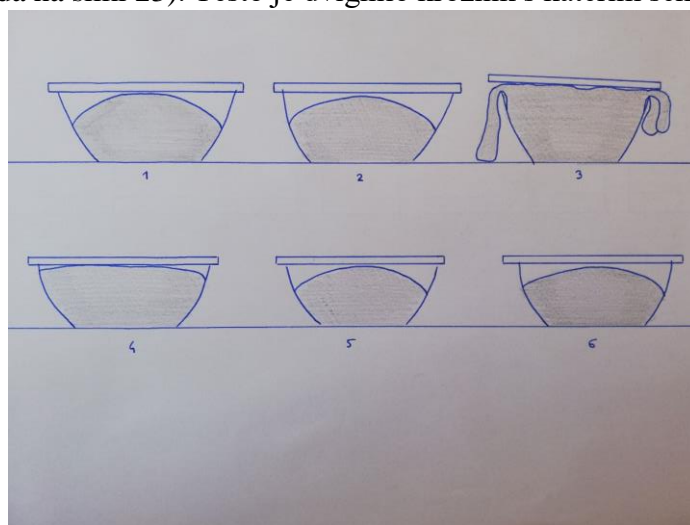
Graf 1: Volumen droži 12 ur po hranjenju

Graf pH-ja v odvisnosti od časa prav tako kaže, da so droži iz ajdove in ržene moke bolj aktivne, saj pri teh dveh vzorcih pH najhitreje pade. Na žalost sem pH lističe dobil šele peti dan in zato podatki za prve štiri dni manjkajo. Mešanica vode in moke, ki sem ji pH izmeril kasneje pa ima vrednost okoli 7. V prvih štirih dneh torej pH pade za okoli 2. Prav tako lahko tudi na tem grafu vidimo, da je vzorec iz 100 odstotne bele moke najmanj aktiven in se mu pH sploh ne spusti pod mejo, da bi bil varen za uporabo pri peki.



Graf 8: pH droži 12 ur po hranjenju

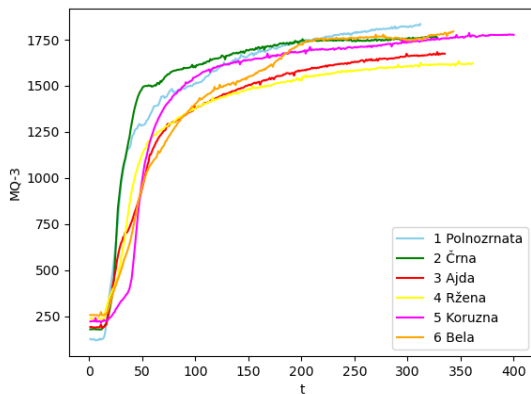
Razlike so se pokazale tudi med pripravo testa. Med procesom fermentacije namreč testo tudi vzhaja. Vsa testa sem za postopek fermentacije položil v enake pomokane steklena posode, kar sicer ni bilo idealno, saj so se kljub moki prijela na steno, vendar pa doma nimamo dovolj posod namenjenih temu procesu. Vsa testa sem nato čez noč pustil v hladilniku. Naslednje jutro so nekatera testa vzhajala precej bolj kot druga. Volumen se je najbolj povečal testu pripravljenem iz ajdovih droži (3. posoda na sliki 23). Testo je dvignilo krožnik s katerim sem pokrival posodo, da se testo nebi posušilo, in se razlezlo izven posode v hladilnik. To je zagotovo vplivalo tudi na to da se spečen kruh ni bistveno razlikoval od ostalih, saj sem ga bil prisiljen ponovno zgnesti skupaj, kar je pomenilo, da v pečico ni šel popolnoma vzhajan. Kljub temu je bil eden izmed najboljših končnih izdelkov. Ne tako izrazito, a še vedno nadpovprečno je vzhajalo testo pripravljeno iz droži z rženo moko (4. posoda na sliki 23), ki je zapolnilo celotno posodo. V ostalih primerih so testa z izboklino vzhajanja največ dosegla vrh posode.



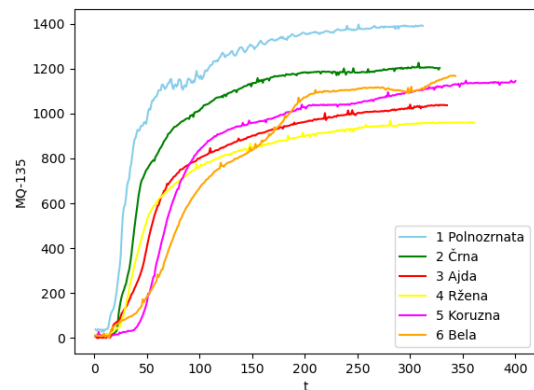
Slika 23: Skica vzhajanih test po 12 urah fermentacije v hladilniku

## 5.2 E-nos

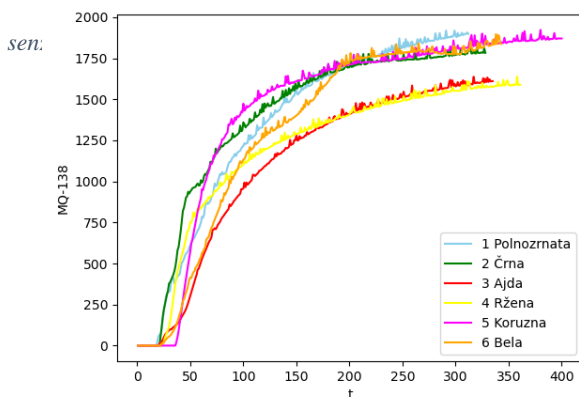
Iz podatkov senzorjev e-nosu so nastali naslednji grafi, ki prikazujejo zaznavo spojine z enoto ppm (parts per million), ki jo senzor meri v odvisnosti od časa. Kot lahko opazimo, so razlike med vzorci na vseh grafih približno enake. Povsod sta ajdova in ržena vzorca nižje od ostalih, najvišje pa sta vzorca iz polnozrnate in črne moke. Čeprav bi morda pričakovali obratno sliko, je potrebno poudariti, da ima dobro delujoč starter precej bolj prijeten in neintenziven vonj, zato meritve niso preveč presenetile. Slabše droži, sploh nedelujoče ali prestare imajo namreč zelo izrazit in neprijeten vonj. Vendar pa v tem primeru razlike niso tako velike, da bi lahko trdili, da so določeni vzorci res bistveno slabši.



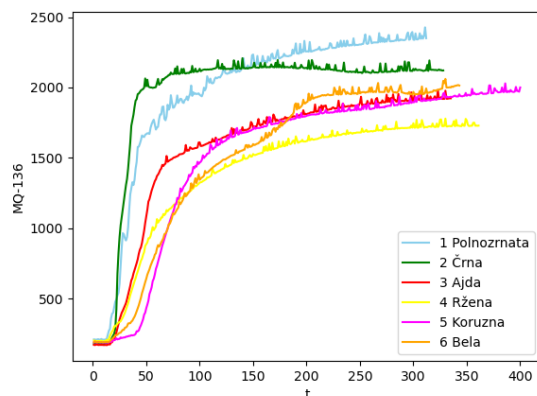
Graf 20: Meritve senzorja MQ-3 (alkohol)



Graf 11: Meritve senzorja MQ-135 (CO<sub>2</sub>)



Graf 10: Meritve senzorja MQ-138 (organski hlapi)



Graf 9: Meritve senzorja MQ-136 (etanol)

a

### **5.3 Slike mikroskopiranja**

Pod Fluorescenčnim mikroskopom sem opazoval vseh sedem vzorcev iz različnih droži, ki sem jih med postopkom priprave zmrznil in pa vzorce nezmrazjenih in aktivnih droži iz ržene moke za primerjavo. Vse vzorce smo tudi fotografirali. fotografije so dodane v prilogi. Čeprav smo se trudili, da bi opazovali čim bolj reprezentativne vzorce jih ne moremo kvantitativno opisati, saj so bili postopki premalo natančni. Vendar pa lahko tudi s kvalitativno oceno opazimo precej razlik med slikami vzorcev. Ti se med se med seboj razlikujejo tako po gostoti bakterij in kvasovk, kot po oblikah bakterij in kolonij.

Največ kvasovk opazimo na vzorcih droži iz ržene in ajdove moke. Na vzorcih črnih, koruznih, polnozrnatih in belih droži so prav tako vidne kvasovke, vendar v manjši meri. Na vseh vzorcih je bilo opaziti veliko število bakterij različnih oblik. Te, kot je vidno na slikah, pogosto tvorijo kolonije in se zgoščene predvsem okoli delov moke, ki se niso posedli. V živo so se bakterije povsod jasno videle. Na nekaterih slikah pa je zaradi nastavitve kamere mogoče opaziti le kvasovke, saj je bila kamera izostrena nanje, ker so svetlejšje. Na vzorcu droži iz stoodstotne bele moke pa lahko opazimo razlog neaktivnosti. Vidne so namreč le bakterije, ki pa jih prav tako ni veliko. Kvasovk med pregledovanjem nismo našli nikjer na vzorcu. Daleč največ kvasovk pa je vidnih na vzorcu nezmrazjenih rženih droži. Čeprav je okoli njih veliko rastlinskih delov iz moke so precej lepo vidne.

Bakterije se na žalost na nekaterih slikah zaradi nastavitve kamere ne vidijo. Računalnik je namreč izostril sliko na večje in svetlejšje kvasovke, kar pa pomeni, da ne opazimo manjših in temnejših bakterij, ki so se sicer v živo videle in so prisotne na vseh vzorcih.



## 5.4 Koncentracije mikroorganizmov v drožeh

Kot lahko vidimo iz tabele koncentracij mikroorganizmov v različnih vzorcih, se po prvih dveh dneh priprave droži v mešanici do meje zaznavanja razvijejo le mlečnokislinske bakterije. Izjema je vzorec iz ajdove moke, kjer so se na gojišču razmnožile tudi kvasovke, in pa tudi od 10 do 100 krat več mikroorganizmov kot na ostalih vzorcih iste starosti. Poleg tega lahko primerjamo tudi isti vzorce iz istih droži iz ržene moke različnih starosti. Opazimo močno povečan delež kvasovk in tudi število mikroorganizmov na splošno. Zmrznjena vzorca nista manj aktivna in kažeta pričakovane koncentracije v tej starosti, kar pomeni, da bakterije in kvasovke v drožeh preživijo zmrzovanje. Prav tako imata zelo podobno koncentracijo, kar kaže na to, da sta ržena in ajdova moka približno enako dobri za gojenje droži.

moka	Koncentracija(CFU/ml)	Razmerje MKB in kvasovk	starost	Zmrznjene/sveže droži
bio ajdova, natur pur	1,69E+05	95 % MKB 5 % kvasovk	2 dni	sveže
bio ajdova, natur pur	1,70E+06	85 % MKB 15 % kvasovk	12 dni	zmrznjene
koruzna, mlinotest	9,60E+04	100 % MKB	2 dni	sveže
črna, mlinotest, tip 1100	6,20E+03	100 % MKB	2 dni	sveže
bio ržena polnozrnata, natur pur	3,70E+03	100 % MKB	2 dni	sveže
bio ržena polnozrnata, natur pur	4,12E+06	93 % MKB 7 % kvasovk	12 dni	zmrznjene
bio ržena polnozrnata, natur pur	>1E+08	80 % MKB 20 % kvasovk	21 dni	sveže

Tabela 1: Koncentracije mikroorganizmov v različnih vzorcih droži

## 5.5 Okus in struktura kruha

Ne glede na omenjene raziskave je na koncu najbolj pomemben končni izdelek - kruh. Spekel sem hlebce iz šestih različnih droži in jih primerjal na videz ter po okusu. Prerezani hlebci so razporejeni po različnih drožeh, uporabljenih med peko in sicer zadnja vrsta od leve proti desni: droži iz polnozrnate bele moke, droži iz črne moke, droži iz ajdove moke. In pa sprednja vrsta: droži iz ržene moke, droži iz koruzne moke in droži iz bele moke. Kot lahko vidimo, so vsa testa dobro vzhajala in ni bilo pri nobenem vzorcu težav zaradi ploščatosti kruha. Seveda so bili vsi hlebci povsem užitni in ni bilo težav s tem, da jih ne bi želeli pojediti. Kljub temu jih lahko podrobneje pogledamo in opazimo, da je kruh, narejen iz droži z belo moko bolj neenakomerno in opazno manj vzhajan. Prav tako sta tudi prva dva vzorca, čeprav še vedno v sprejemljivih mejah, neenakomerno vzhajana. Kruh iz koruznih droži je na sredini zbit in trd. Najbolj enakomerno vzhajana sta hlebca iz ajdovih in rženih droži. To je seveda zelo podrobna analiza, vsi hlebci so namreč uspeli odlično in nikjer ni bilo tako velikih napak, da ne bi bili okusni.

Druga stvar, ki me je presenetila bolj kot uspeh peke kruha iz vseh vzorcev, je bil okus. Vsak hlebec je imel namreč drugačen okus. Razlike smo opazili vsi v družini, ki smo ga poskusili. Čeprav je v testu zelo majhna količina (okrog 4g) različnih mok, ima kruh zelo značilen okus po njih. Ker se mi zdi, da je praktično nemogoče, da bi lahko tako majhna količina moke dala tako močan značilen okus, sklepam, da ta okus dodajo bakterije. Kot smo lahko opazili pri prejšnjih meritvah, se v različnih vzorcih razvijejo drugačne bakterije in menim, da tudi to vpliva na okus kruha. Kruh z drožmi iz koruzne moke je imel močan okus koruznega kruha. Enako velja za kruh pripravljen iz ajdovih droži. Ta dva vzorca sta bila najbolj izrazita, saj imata tudi kruha iz ajdove in koruzne moke najbolj značilen okus.



*Slika 24: Prerez hlebcev kruha iz različnih droži, od leve prti desni od zadaj naprej: polnozrnate, črne, ajdove, ržene, koruzne, bele droži*

## **6 Razprava**

Iz rezultatov lahko sklepamo, da sta ajdova in ržena moka najbolj primerni moki za hranjenje droži. Droži, pripravljene iz teh dveh mok, so najhitreje vzhajale (meritve prostornine), najhitreje so dosegle pH vrednost 3 in tudi najboljše vzhajale testo. Večjo aktivnost teh dveh droži smo opazili tudi pod mikroskopom – opazimo večje število kvasovk in bakterij – in na gojiščih, kjer se je razvilo veliko več mikroorganizmov.

Za preverjanje prve hipoteze sem pripravil vzorce droži iz različnih mok in jih 13 dni hranil z enakimi mokami. Vsak dan sem meril pH in volumen. Najbolj so bile aktivne ržene in ajdove droži. Najhitreje so vzhajale in tudi pH jim je najhitreje padel. Najmanj uspešne so bile bele droži (100% bela moka), saj se v njih kvasovke niso razmnožile in posledično niso vzhajale. S tem sem prvo hipotezo potrdil.

Tudi drugo hipotezo lahko potrdim, saj se je izkazalo, da je v vzorcih droži iz ajdove in ržene moke največ mikroorganizmov. To je razvidno s slik fluorescenčnega mikroskopa in podatkov pridobljenih s pomočjo gojišč. Koncentracije mikroorganizmov so namreč pri vzorcih ajdove in ržene moke na vseh primerljivih časih bistveno večje, kot pri ostalih vzorcih.

Tretja hipoteza vsaj delno drži. Na sliki, kjer so spečeni in prerezani hlebci kruha lahko opazimo nekaj razlik. Kruh iz belih droži (t.j. hranjenih z belo moko) namreč ni tako vzhajan, kot ostali in je precej neenakomeren. Ostali so si precej podobni, vendar je vidno, da je hlebec narejen iz rženih droži največji. Podoben rezultat sem pričakoval tudi pri kruhu iz ajdovih droži. Ta je namreč vzhajal najboljše. Vendar pa zaradi zapletov s premajhno posodo med fermentacijo v pečico ni odšel popolnoma vzhajan.

Zadnja hipoteza se je izkazala za pravilno, čeprav tega nisem pričakoval. Zdelo se mi je namreč, da tako majhna količina različnih mok ne more vplivati na okus celotnega hlebca. Vendar droži kruhu dodajo precej okusa in so očitno med drožmi, ki jih hranimo z različnimi mokami, razlike večje kot bi pričakovali, vsaj kar se tiče okusov.

Droži, hranjene z različnimi mokami torej močno vplivajo na okus kruha. Ker so testa, razen tistega iz ajdovih droži, vzhajala približno enako, lahko trdimo, da so razlike v tem pogledu zanemarljive. Verjetno bi bile razlike med drožmi veliko bolj izrazite, če bi namesto mešanice s polnozrnato moko uporabili samo moke, ki sem jih dodajal. Da bi to preveril sem začel poskus, kjer uporabljam le vodo in v celoti izbrane moke brez polnozrnate bele, vendar se te droži še niso razvile do te mere, da bi lahko navedel rezultate. Pomemben zaključek je tudi, da droži pripravljene iz povsem bele moke ne uspejo. To pripisujemo osiromašenosti moke, ki gre med proizvodnjo skozi veliko postopkov, ki bi lahko negativno vplivali na bakterije in kvasovke, ki so naravno prisotne v njej.

## **7 Zaključek**

Po opravljenih raziskavah lahko trdim, da sem dobil veliko koristnih podatkov za nadaljnjo peko kruha iz droži. Potrdil sem, da je ržena moka poleg ajdove najboljša izbira za gojenje droži. Če se želimo poigrati z okusi kruha z uporabo navadne moke, lahko le dodamo droži iz zelene moke in bo to zadostovalo za spremembo okusa. Povsem neuspešne so bile bele droži iz stoodstotne bele moke, kjer se kvasovke niso razmnožile. Droži posledično niso vzhajale in se kruha iz njih ne bi dalo speči. Ostale droži so si po aktivnosti podobne in jih lahko umestimo med uspešne, saj lahko kruh vzhajan, z njihovo pomočjo, povsem dobro uspe. Največje odkritje je zagotovo kako močno ajdove droži izboljšajo vzhajanje testa. Rezultati so tako prepričljivi, da bomo morda doma začeli droži za vsakdanjo peko kruha vsaj delno hraniti z ajdovo moko.

Dosegel sem tudi namen naloge, saj sem izdelal lepo vzhajan kruh in dobil podatke o vplivu posameznih mok na aktivnost droži.

Obstaja še veliko možnosti za nadaljnje raziskovanje. Sam preverjam ali lahko ustvarimo droži tudi iz vode in različnih mok brez uporabe polnozrnate bele moke kot sedemdesetih odstotkov v deležu moke. Zanimivo bi bilo tudi opazovati razlike med povsem enakimi drožmi, vzgojenimi pri različnih temperaturah. Kot sem namreč zasledil v literaturi, tudi temperatura pri gojenju droži močno vpliva na razvoj različnih bakterij in tudi končni okus kruha. Veliko možnosti za raziskave je tudi med postopkom priprave testa. Prav ta proces namreč močno vpliva na končni produkt in določa nekatere pomembne lastnosti kruha.

## 8 Literatura

### 8.1 Pisni viri

1. Vera Frabergera, Christine Ungera, Christian Kummerb, Konrad J. Domig, Insights into microbial diversity of traditional Austrian sourdough, *LWT - Food Science and Technology*, 2020, nazadnje dostopano: 22.3.2022.
2. Kashika Arora, Hana Ameer, Andrea Polo, Raffaella Di Cagno, Carlo Giuseppe Rizzello, Marco Gobetti, Thirty years of knowledge on sourdough fermentation: A systematic review, *Trends in Food Science & Technology*, 2021, nazadnje dostopano: 22.3.2022.
3. Grace Dough, *The sourdough for beginners*, Independently published 2021
4. Ken Forkish, *Flour water salt yeast*, Ten Speed Press, New York, 2012
5. Chad Robertson, *Tartine bread*, Chronicle Books LLC, San Francisco, 2010
6. Dr. Stuart Farrimond, *The science of cooking*, DK Publishing, New York 2017
7. Bread [online], Wikipedia the free encyclopedia, nazadnje dostopano: 22.3.2022. dostopno na spletnem naslovu: <https://en.wikipedia.org/wiki/Bread>
8. Sourdough [online], Wikipedia the free encyclopedia, nazadnje dostopano: 22.3.2022. dostopno na spletnem naslovu: <https://en.wikipedia.org/wiki/Sourdough>
9. Kristen Dennis, Notes and Timestamps – sourdough starter from scratch [online], nazadnje dostopano: 22.3.2022. dostopno na spletnem naslovu: <https://fullproofbaking.gumroad.com/l/hdAXB>
10. Kristen Dennis, how to make a sourdough starter from scratch, [online, video], nazadnje dostopano: 22.3.2022. dostopno na spletnem naslovu: <https://www.youtube.com/watch?v=m6pGkOuZnrk>
11. Kristen Dennis, how to make a basic open crumb sourdough bread, [online, video], nazadnje dostopano: 22.3.2022. dostopno na spletnem naslovu: <https://www.youtube.com/watch?v=HIJEjW-QSnQ&t=158s>

## **8.2 Ustni viri**

Kot ustne vire sem uporabil pogovore s prof. dr. Sonjo Smole Možina, doc. dr. Nežo Čadež in prof. dr. Polono Jamnik iz Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani, ter dr. Metko Novak iz Nacionalnega inštituta za biologijo.

### **8.3 Slikovni viri**

Slika 1: Na levi primer nevzhajane kruha in na desni primer neenakomerno vzhajane kruha, povzeto po:

Slika 2: Droži v kozarcu in kruh iz droži, povzeto po: <https://parade.com/1016988/nettiemoore/how-to-make-sourdough-bread-starter/print/>

Slika 3: Vzhajanje droži po hranjenju, povzeto po: <https://theconversation.com/great-time-to-try-baking-sourdough-bread-136493>

Slika 4: Razlika med testom pred in po avtolizi, povzeto po: posnetek zaslona, <https://www.youtube.com/watch?v=HIJEjW-QSnQ&t=158s>

Slika 5: Dodajanje droži v testo, povzeto po: posnetek zaslona, <https://www.youtube.com/watch?v=HIJEjW-QSnQ&t=158s>

Slika 6: Prepogibanje testa, povzeto po: posnetek zaslona, <https://www.youtube.com/watch?v=HIJEjW-QSnQ&t=158s>

Slika 7: Tehnika "stretch and fold", povzeto po: posnetek zaslona, <https://www.youtube.com/watch?v=HIJEjW-QSnQ&t=158s>

Slika 8: Oblikovanje testa pred fermentacijo, povzeto po: posnetek zaslona, <https://www.youtube.com/watch?v=HIJEjW-QSnQ&t=158s>

Slika 9: Fermentacija testa v košari za kruh, povzeto po: [https://www.freepik.com/premium-photo/sourdough-bread-loaf-scoring-banneton-raw-dough-proofing-rattan-basket-homemade-bread-made-from-wild-yeast\\_18616957.htm](https://www.freepik.com/premium-photo/sourdough-bread-loaf-scoring-banneton-raw-dough-proofing-rattan-basket-homemade-bread-made-from-wild-yeast_18616957.htm)

Slika 10: Priprava pečice za peko kruha, povzeto po: posnetek zaslona, <https://www.youtube.com/watch?v=HIJEjW-QSnQ&t=158s>

Slika 11: Vrste mok ki sem jih uporabil, povzeto po: lastna fotografija

Slika 12: Vzorci droži v sobi z termometrom, povzeto po: lastna fotografija

Slika 13: Jemanje vzorcev za zamrzovanje, povzeto po: lastna fotografija

Slika 14: Merjenje pH pri vzorcih droži, povzeto po: lastna fotografija

Slika 15: pH lističi po vrsti od zgoraj navzdol 1-7, povzeto po: lastna fotografija

Slika 16: Kozarec z nameščenimi senzorji, povzeto po: lastna fotografija

Slika 17: Merjenje s pomočjo e-nosu, povzeto po: lastna fotografija

Slika 18: Opazovanje vzorcev pod mikroskopom, povzeto po: lastna fotografija

Slika 19: Vzorci pripravljene na mikroskopiranje, povzeto po: lastna fotografija

Slika 20: Mikroskopska slika vzorca droži iz ajdove moke, povzeto po: lastna fotografija

Slika 21: Gnetenje testa, povzeto po: lastna fotografija

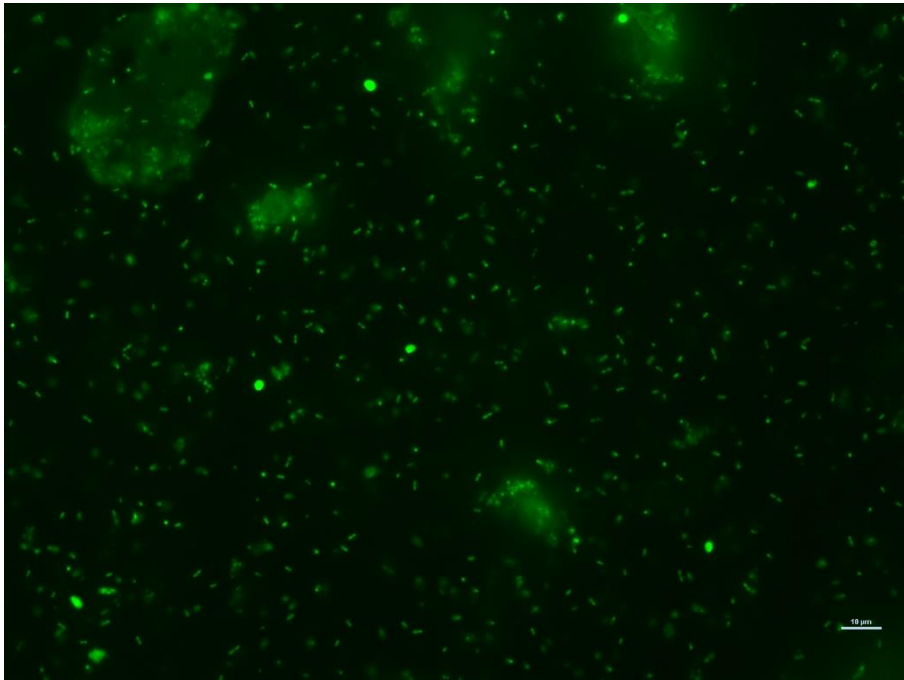
Slika 22: Merjenje povečanja prostornine pred hranjenjem, vzorci po vrsti od leve proti desni 1-7, povzeto po: lastna fotografija

Slika 23: Skica vzhajanih test po 12 urah fermentacije, povzeto po: lastna fotografija

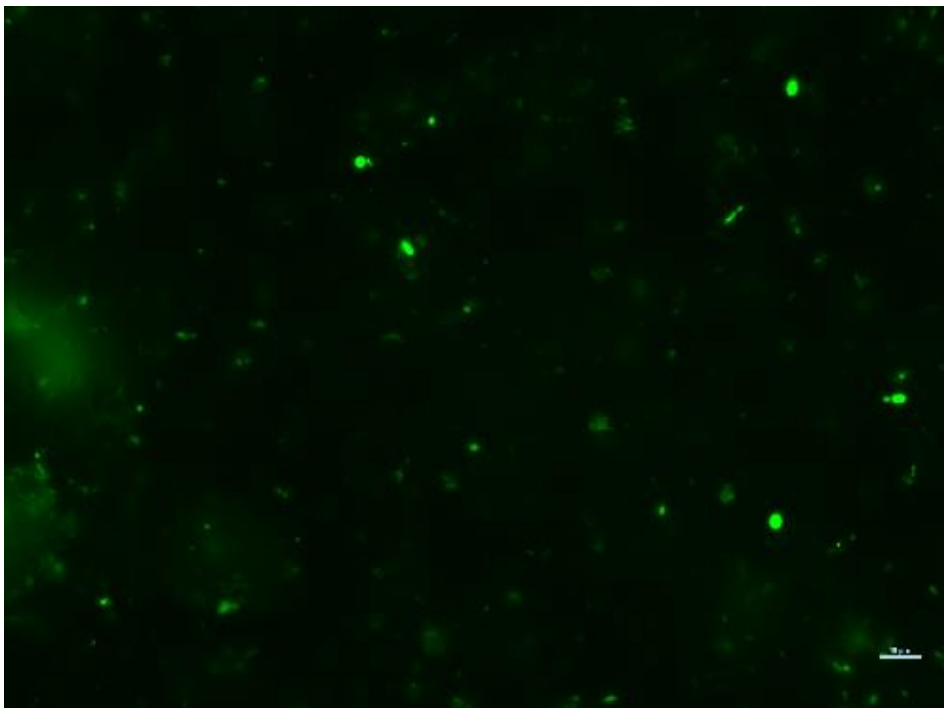
Slika 24: Prerez hlebcev kruha iz različnih droži **Napaka! Zaznamek ni definiran.**, povzeto po: lastna fotografija



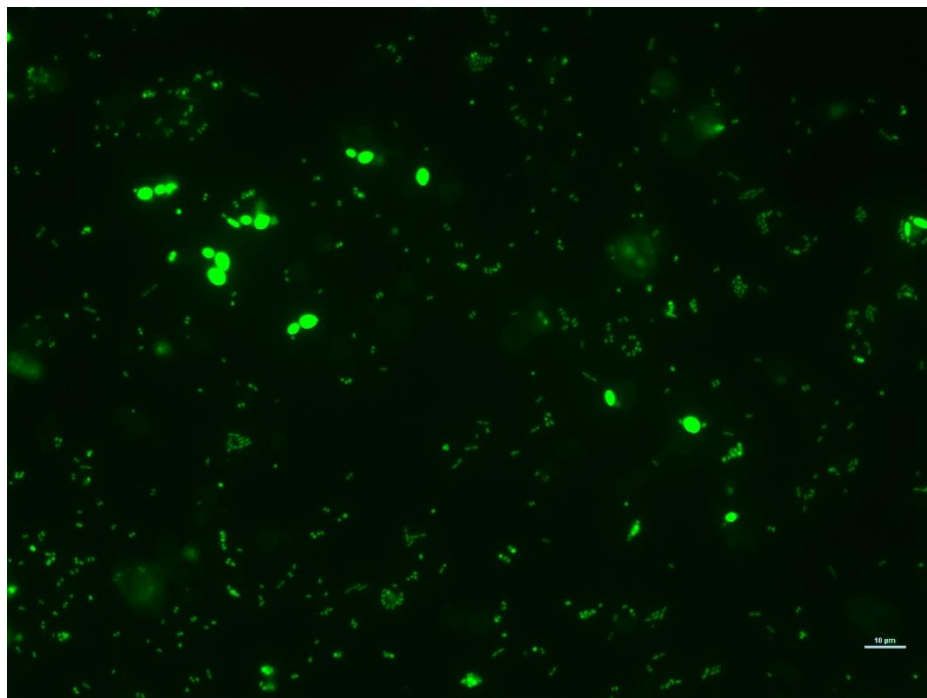
## 9 Priloge



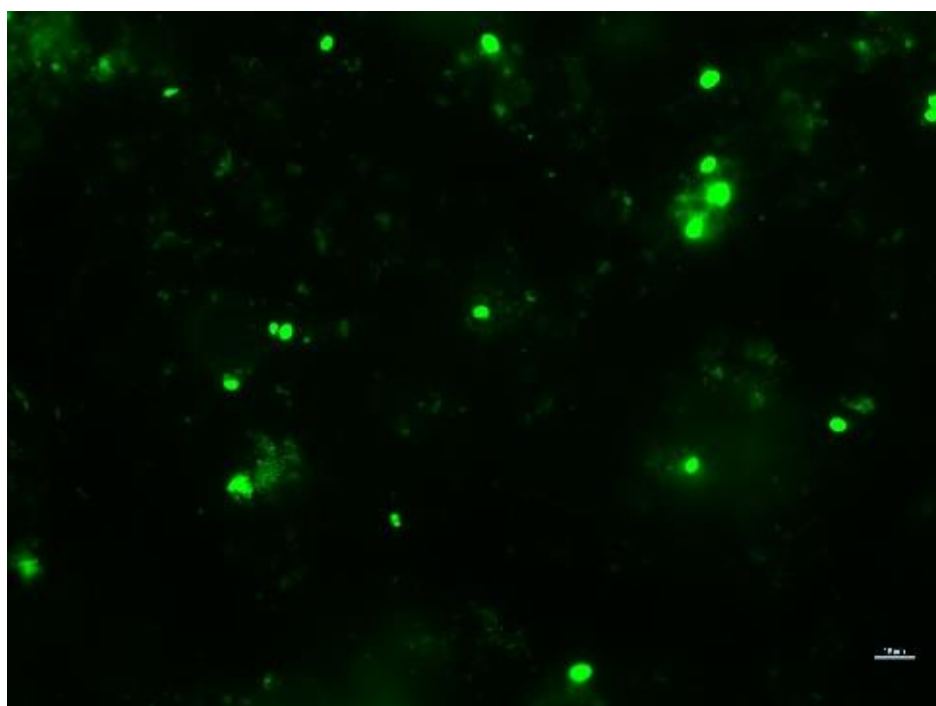
*Priloga 1: Vzorec iz polnozrnate moke*



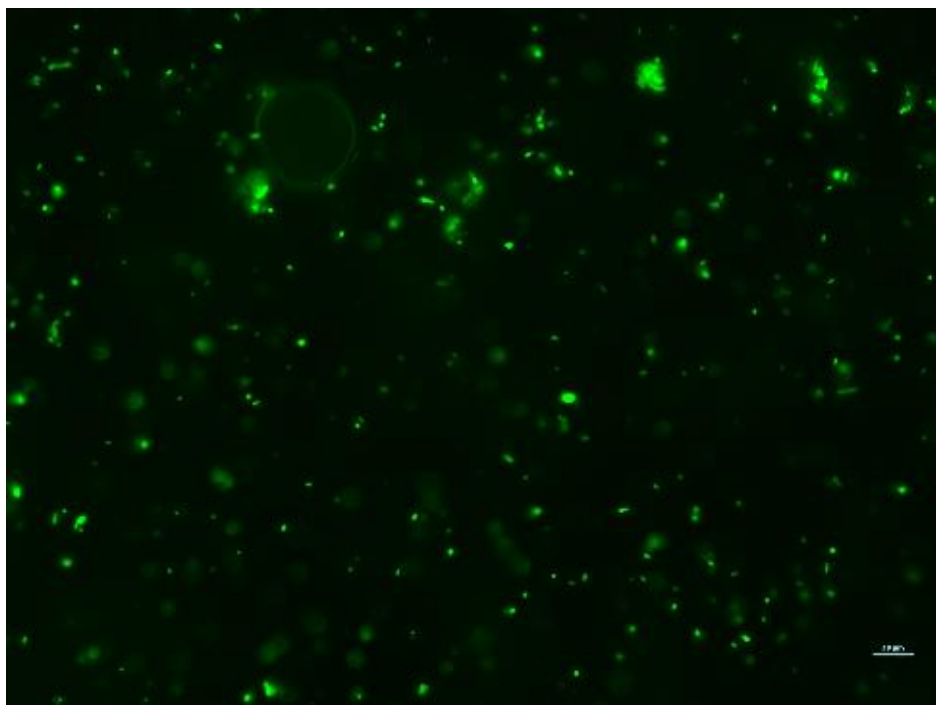
*Priloga 2: Vzorec iz črne moke*



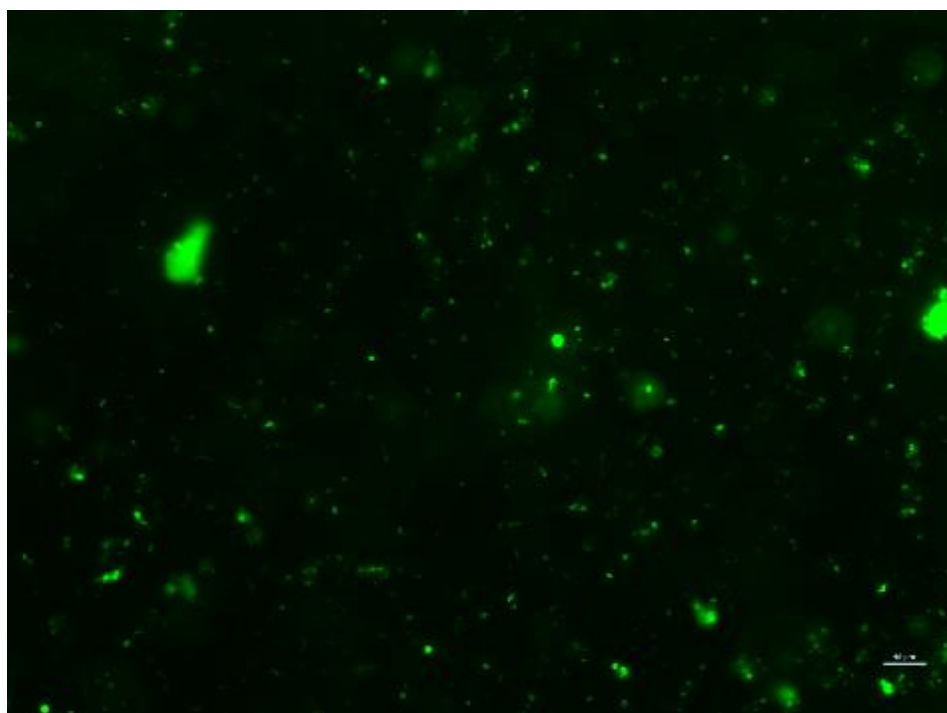
*Priloga 4: Vzorec iz ajdove moke*



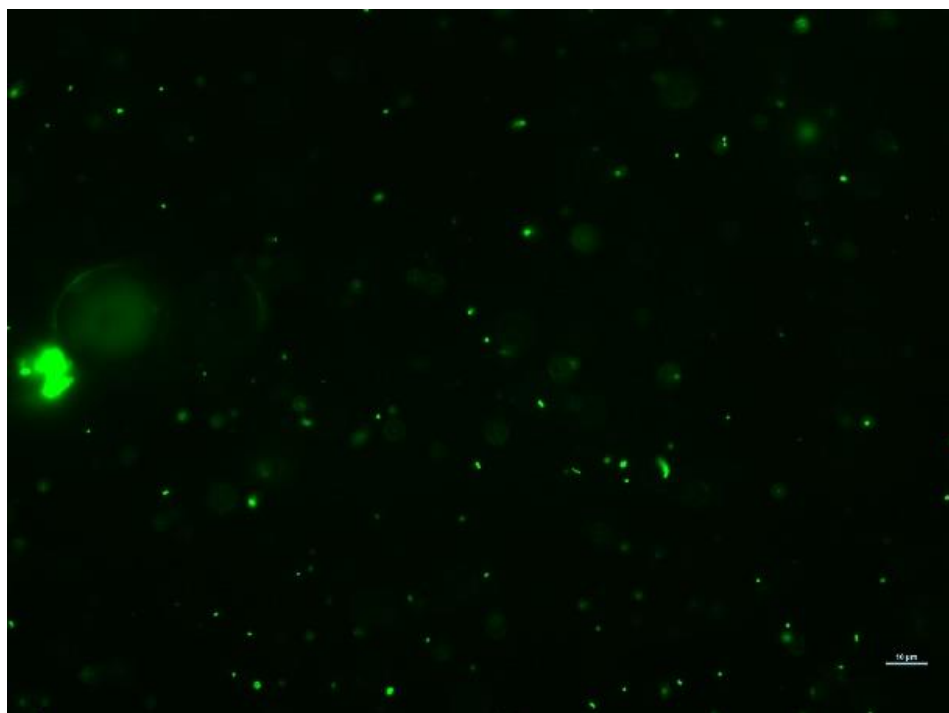
*Priloga 3: Vzorec iz ržene moke*



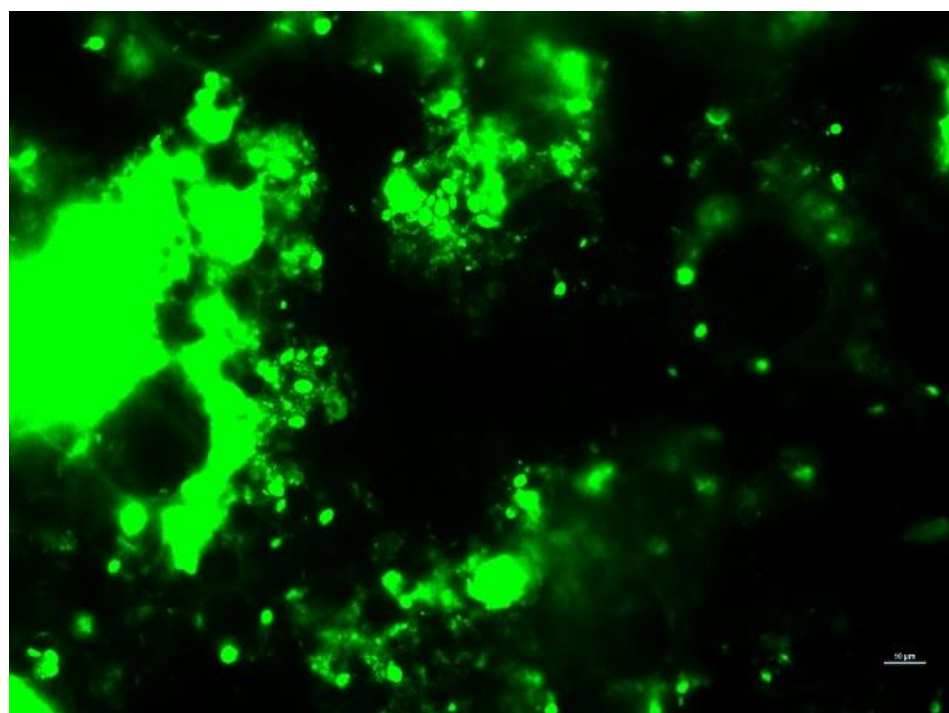
*Priloga 5: Vzorec iz koruzne moke*



*Priloga 6: Vzorec iz bele moke*



*Priloga 8: Vzorec iz 100% bele moke*



*Priloga 7: Vzorec iz ržene moke, nezamrznjen*