

POMEN DEJAVNIKOV PRI PEKI DOMAČEGA KRUHA

Raziskovalno področje: Kemija

Raziskovalna naloga

Avtorica: Eva Ambrož
dijakinja 2. letnika

Mentor: dr. Martin Tine Perger

2023

Škofijska klasična gimnazija

Kazalo

Kazalo slik	4
Kazalo tabel	5
Kazalo grafov	5
Slovar	6
Povzetek	7
Uvod	8
Teoretičen del.....	9
Vrsta moke	9
Priprava testa	10
Vzhajanje in gnetenje	10
Peka	12
Maillardova reakcija	13
Droži	14
Osnove spektrometrije.....	14
Eksperimentalni del.....	15
Standardni recept za kruh	15
Kako temperatura vode vpliva na delovanje kvasa?.....	15
Kakšna je razlika med suhim in svežim kvasom?	15
Kakšna je razlika med kruhom iz droži in kruhom iz kvasa?.....	15
Kako na kruh vpliva večja količina vode?	15
Kako na kruh vpliva različna količina soli?.....	15
Kako količina soli vpliva na postopni razpad škroba?	15
Kakšna je razlika med kruhom, zgnetenim na roke in na strojček?	15
Kako različno število vzhajanj vpliva na pečen kruh?.....	16
Kako temperatura peke vpliva na kruh?	16
Rezultati.....	16
Kako temperatura vode vpliva na delovanje kvasa?.....	16
Kakšna je razlika med suhim in svežim kvasom?	17
Kakšna je razlika med kruhom iz droži in kruhom iz kvasa?.....	18
Kako na kruh vpliva večja količina vode?	19
Kako na kruh vpliva različna količina soli?.....	22
Kako količina soli vpliva na postopni razpad škroba?	24
Kakšna je razlika med kruhom, zgnetenim na roke in na strojček?	27
Kako različno število vzhajanj vpliva na pečen kruh?.....	30

Kako temperatura peke vpliva na kruh?	35
Razprava in zaključek.....	38
Viri in literatura	39

Kazalo slik

Slika 1: Sestava žitnega zrna pri polnovredni in nepolnovredni moki.....	9
Slika 2: Gluten nastane, ko se z vodikovimi in disulfidnimi vozmi povežeta gliadin in glutenin.	10
Slika 3: Glukoza nastane z razgradnjo škroba.	11
Slika 4: Encim amilaza razgradi škrob v maltozo.	11
Slika 5: Encim maltaza maltozo razgradi v glukozo.	11
Slika 6: V procesu alkoholnega vrenja iz glukoze nastaneta alkohol etanol in ogljikov dioksid.	12
Slika 7: Pri gnetenju nastajajo nove glutenske vezi.	12
Slika 8: Pri visoki temperaturi poteče reakcija med glukozo in aminokislinami.	13
Slika 9: Karbonilna skupina pri glukozi zreagira z aminoskupino pri aminokislini. Nastaneta N-glikozilamin in voda.	13
Slika 10: Iz glikozamina nastane ketozamin.	13
Slika 11: Ketozamin nato lahko zreagira v različne produkte npr. v hidroksimetilfurfural....	14
Slika 12: Erlenmajerica, ki je s cevko povezana z napravo.	16
Slika 13: Kvasni nastavek v erlenmajerici s čepom in cevko, ki je povezana z napravo.	16
Slika 14: Naprava, iz katere se odčita količino nastalega plina.	17
Slika 15: Kruh s suhim (levo) in kruh s svežim kvasom (desno) po drugem vzhajanju.	17
Slika 16: Pečen kruh s suhim kvasom.	18
Slika 17: Pečen kruh s svežim kvasom.	18
Slika 18: Pečen kruh iz droži.	18
Slika 19: Prerezan pečen kruh iz droži.	19
Slika 20: Hlebčka po prvem vzhajanju.	19
Slika 21: Hlebčka po drugem vzhajanju.	20
Slika 22: Pečen kruh št. 1.	20
Slika 23: Prerezan pečen kruh št. 1.	20
Slika 24: Pečen kruh št. 2.	21
Slika 25: Prerezan pečen kruh št. 2.	21
Slika 26: Pripravljeni hlebčki pred prvim vzhajanjem.	22
Slika 27: Hlebčki po prvem vzhajanju.	23
Slika 28: Hlebčki po drugem vzhajanju.	23
Slika 29: Pečeni hlebčki kruha z normalno količino, s pol manj soli in brez soli.....	24
Slika 30: Pečeni prerezani hlebčki kruha z normalno količino, s pol manj soli in brez soli....	24
Slika 31: Pripravljeni vzorčki.	25
Slika 32: Izvajanje meritev.	25
Slika 33: Kruh, zgneten na strojček, med gnetenjem.	27
Slika 34: Kruh, zgneten na strojček, po prvem vzhajanju.	27
Slika 35: Kruh, zgneten na strojček, po drugem vzhajanju.	28
Slika 36: Pečen kruh, zgneten na strojček.	28
Slika 37: Prerezan pečen kruh, zgneten na strojček.	28
Slika 38: Kruh, zgneten na roke, med gnetenjem.	29
Slika 39: Kruh, zgneten na roke, po prvem vzhajanju.	29

Slika 40: Kruh, zgneten na roke, po drugem vzhajanju.....	29
Slika 41: Pečen kruh, zgneten na roke.....	30
Slika 42: Pečen kruh, zgneten na roke.....	30
Slika 43: Kruh, ki je vzhajal enkrat, preden gre v pečico.....	31
Slika 44: Pečen kruh, ki je vzhajal samo enkrat.....	31
Slika 45: Prerezan pečen kruh, ki je vzhajal samo enkrat.....	31
Slika 46: Kruh, ki je vzhajal dvakrat, preden gre v pečico.....	32
Slika 47: Pečen kruh, ki je vzhajal dvakrat.....	32
Slika 48: Prerezan pečen kruh, ki je vzhajal dvakrat ..	32
Slika 49: Kruh, ki je vzhajal trikrat, preden gre v pečico.....	33
Slika 50: Pečen kruh, ki je vzhajal trikrat.....	33
Slika 51: Prerezan pečen kruh, ki je vzhajal trikrat.....	33
Slika 52: Kruh, ki je vzhajal štirikrat, preden gre v pečico.....	34
Slika 53: Pečen kruh, ki je vzhajal štirikrat.....	34
Slika 54: Prerezan pečen kruh, ki je vzhajal štirikrat.....	34
Slika 55: Kruh št. 1.....	35
Slika 56: Prerezan kruh št. 1.....	35
Slika 57: Kruh št. 2.....	36
Slika 58: Prerezan kruh št. 2.....	36
Slika 59: Kruh št. 3.....	36
Slika 60: Prerezan kruh št. 3.....	37

Kazalo tabel

Tabela 1: Temperatura vode in količina nastalega CO ₂	17
Tabela 2: Kako na kruh vpliva večja količina vode.....	19
Tabela 3: Kako na kruh vpliva različna količina soli.....	22
Tabela 4: Transmitanca pri kruhu z normalno količino soli.....	26
Tabela 5: Transmitanca pri kruhu z večjo količino soli.....	26
Tabela 6: Razlika med kruhom, zgnetenim na roke in na strojček.....	27
Tabela 7: Kako temperatura peke vpliva na kruh.....	35

Kazalo grafov

Graf 1: Transmitanca.....	26
---------------------------	----

Slovar

Alkoholno vrenje ali alkoholna fermentacija: anaerobna fermentacija, pri kateri se ogljikovi hidrati pretvorijo v etanol in ogljikov dioksid zaradi delovanja gliv kvasovk.

Amilaza: encim, ki pospešuje razkroj škroba v maltozo.

Beljakovine: organske spojine, sestavljene iz aminokislin.

Disulfidna vez: kovalentna vez, ki nastane med atomoma žvepla.

Encim: beljakovina, ki je po svoji funkciji katalizator.

Gliadin: vrsta beljakovine.

Glukoza ali grozdni sladkor: monosaharid, ki je poglavitni vir energije za žive organizme.

Gluten ali lepek: zmes beljakovin iz zrn žit, ki daje testu elastičnost, pri peki koagulira in daje z vodo lepljivo maso.

Glutenin: vrsta beljakovine.

Jodovica: vodna raztopina joda in kalijevega jodida, ki se uporablja za dokazovanje škroba.

Kvasovke: enocelične glice, ki se razmnožujejo z brstenjem in vsebujejo encime, ki povzročajo alkoholno vrenje.

Maltaza: encim, ki pospešuje razkroj sladnega sladkorja (maltoza) v grozdni sladkor (glukoza).

Maltoza ali sladni sladkor: disaharid, zgrajen iz dveh molekul glukoze, povezanih s glikozidno vezjo, ki nastaja iz škroba z delovanjem amilaze.

Ogljikovi hidrati: organske spojine iz ogljika, vodika in kisika. Delijo se na monosaharide, disaharide, in polisaharide.

Škrob: polisaharid iz amiloze in amilopektina, ki ga rastline kopičijo kot glavno energijsko zалогу v gomoljih, koreninah, plodovih in drugod v zrcnih.

Vodikova vez: privlak med vodikovim atomom, ki je vezan na atom zelo elektronegativnega elementa (npr. F, O, N), in neveznim elektronskim parom drugega atoma zelo elektronegativnega elementa. [7]

Povzetek

Med pripravo kruha se zgodijo številne reakcije. Ko moki dodamo vodo, nastane gluten, ki oblikuje teksturo testa in v njem zadržuje ogljikov dioksid, ki nastane med alkoholnim vrenjem. Encimi v kvasu razgradijo škrob v sladkor. V procesu alkoholnega vrenja glive kvasovke glukozo razgradijo na ogljikov dioksid in etanol. Med gnetenjem nastajajo nove glutenske vezi, ki pripomorejo k boljši strukturi in teksturi kruha. Med peko testo zakrkne, alkohol izhlapi in kvasovke odmrejo. Ogljikov dioksid se razširi in kruh še bolj naraste. Poteče reakcija, zaradi katere je skorja temnejše barve in drugačnega okusa.

Aktivnost kvasa je največja pri temperaturi med 20 °C in 55 °C. Večjih razlik med kruhom, narejenim iz svežega in suhega kvasa, ni. Namesto kvasa lahko uporabimo droži, ki vplivajo na okus, teksturo in svežino kruha. Večja kot je količina vode, kruh vzhaja manj, vendar se manj drobi. Kruh z manjšo količino soli vzhaja manj kot kruh z večjo količino. Večja količina soli vpliva tudi na postopen razpad škroba pri pečenem kruhu. Med gnetenjem na roke in gnetenjem na strojček je razlika samo v času priprave. Najbolje je, da kruh vzhaja dvakrat oz. trikrat. Optimalna temperatura peke je najprej na višji in nato na nižji temperaturi.

Uvod

Namen raziskave je ugotoviti, kako na kruh vplivajo različni dejavniki.

Raziskovanja sem se lotila tako, da sem spremajala izbrani dejavnik in spremajala, kako to vpliva na teksturo testa, vzhajanje in končni kruh.

Na začetku sem določila tudi nekaj hipotez, ki sem jih z raziskovanjem lahko potrdila ali ovrgla.

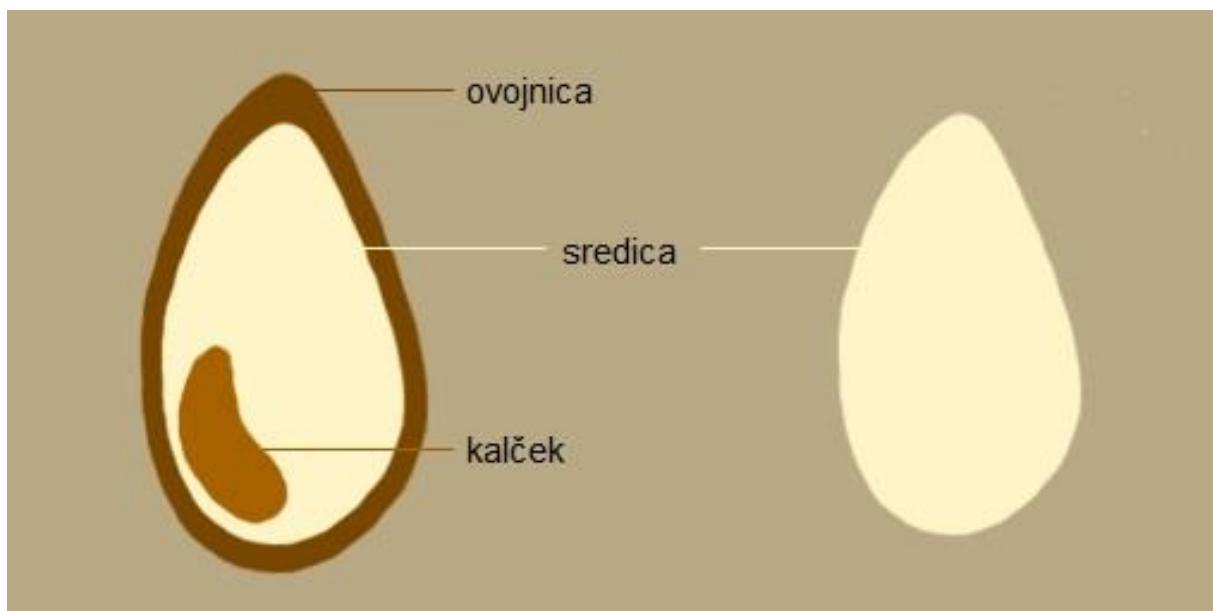
- Aktivnost kvasa je večja pri višji temperaturi kot pri nižji.
- Kruh iz svežega kvasa vzhaja bolje kot kruh iz suhega kvasa.
- Kruh iz kvasa vzhaja bolje kruh iz droži.
- Kruh z večjo količino vode vzhaja manj in se, ko je pečen, manj drobi.
- Kruh z manj soli ne vzhaja tako dobro kot kruh z večjo količino soli.
- Sol vpliva na hitrost razpada škroba pri pečenem kruhu.
- Med gnetenjem na roke in gnetenjem na strojček ni razlike.
- Če kruh vzhaja večkrat, manj naraste.
- Višja temperatura peke pripomore k hitrejšemu vzhajanju kruha.

Teoretičen del

Vrsta moke

Sestava žitnega zrna in vrste moke

Žitno zrno je sestavljeno iz sredice, ki vsebuje veliko ogljikovih hidratov, iz kalčka, ki vsebuje beljakovine, in iz ovojnice, ki vsebuje veliko vitaminov in mineralov. Grobo mleta moka ali polnovredna moka vsebuje zmleta cela, neoluščena zrna. V tej moki so ohranjeni vsi pomembni vitalni elementi in je zelo kakovostna. V moki, kjer je samo sredica, ni vseh vitaminov, mineralov, encimov ... Ta vrsta moke je manj kakovostna od polnovredne. [1]



Slika 1: Sestava žitnega zrna pri polnovredni in nepolnovredni moki.

Kaj nam pove tip moke?

Tip moke nam pove vsebnost mineralnih snovi – pepela, ki ostane pri laboratorijskem sežigu 100 g moke. Pri sežigu 100 g bele moke tipa 500 ostane približno 500 mg pepela (mineralnih snovi). Standardni tipi pšenične moke so tip 500, 850, 1100 in 1800, pri rženi moki pa 750, 950 in 1200. [2]

Ločimo dve vrsti mok. Krušne vrste moke vsebujejo v vodi netopne snovi in iz njih lahko samostojno zamesimo testo in spečemo kruh. Med krušne vrste moke med drugim spadajo:

- PŠENIČNA BELA MOKA TIP 500: zmleta je iz jedra žitnega zrna, ki vsebuje veliko škroba in najboljše beljakovine.
- POLBELA PŠENIŠNA MOKA TIP 850: poleg jedra vsebuje tudi obrobne dele pšeničnega zrna. Vsebuje veliko beljakovin, vlaknin, vitaminov in mineralov.
- OSTRA BELA PŠENIČNA MOKA: zmleta je iz osrednjega dela pšeničnega zrna, zato je izrazito bele barve. Uporablja se le za biskvitno in krompirjevo testo in za palačinke.

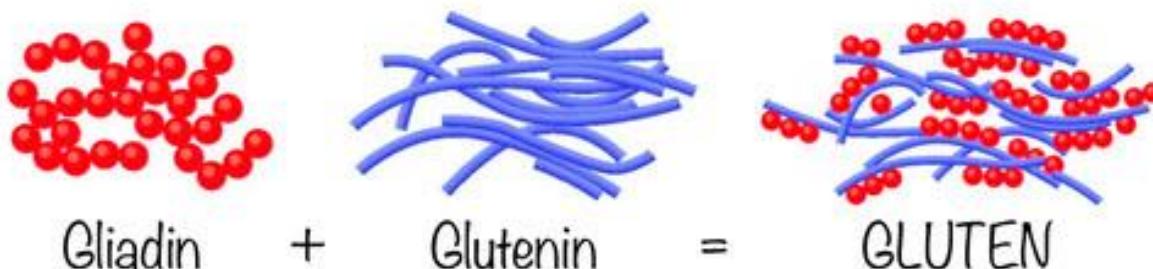
- POLNOZRNATA PŠENIČNA MOKA – GRAHAM: zmleta je iz celega zrna, zato vsebuje vitamine iz skupine B, vitamine A, K, E, beljakovine, rudnine in nenasičene maščobne kisline.
- POLNOZRNATA PIRINA MOKA: zmleta je iz celega zrna pire, zato vsebuje veliko vitaminov in mineralov ter v primerjavi s pšenično moko večjo količino beljakovin in nekatere vitamine.
- BELA RŽENA MOKA TIP 750: v primerjavi s pšenično moko ima več vitaminov in mineralov.

Iz nekrušnih vrst moke je težko samostojno zamesiti testo in speči kruh. Dodati jim moramo krušno moko, največkrat v razmerju 30 % nekrušne moke : 70 % krušne moke. Preden naredimo kruh, nekrušne moke vedno oparimo z vrelo vodo in jih ohladimo. Med nekrušne vrste moke med drugim spadajo:

- KORUZNA MOKA: vsebuje veliko količino škroba, beljakovin in mineralov in nekatere vitamine, največ vitamina A.
- AJDOVA MOKA: vsebuje veliko vitaminov, mineralov in zaščitnih snovi, ne pa tudi veliko beljakovin in lepka.
- OVSENA MOKA: bogata je z beljakovinami in ima veliko hranično vrednost. [2]

Priprava testa

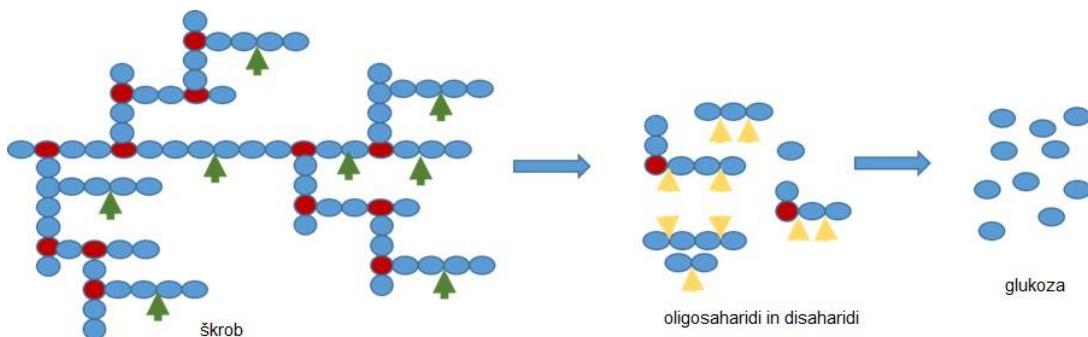
Ko moki dodamo vodo, glutenin in gliadin v moki tvorita vodikove in disulfidne vezi in nastane dolga veriga glutena, ki mu rečemo tudi lepek. Ta oblikuje strukturo testa in omogoča njegovo elastičnost. Pri vzhajjanju v testu zadržuje pline. Sol lepek utrditi, pomaga pri nabrekanju škroba v moki in preprečuje prehitro delovanje kvasovk. [1]



Slika 2: Gluten nastane, ko se z vodikovimi in disulfidnimi vozmi povežeta gliadin in glutenin.

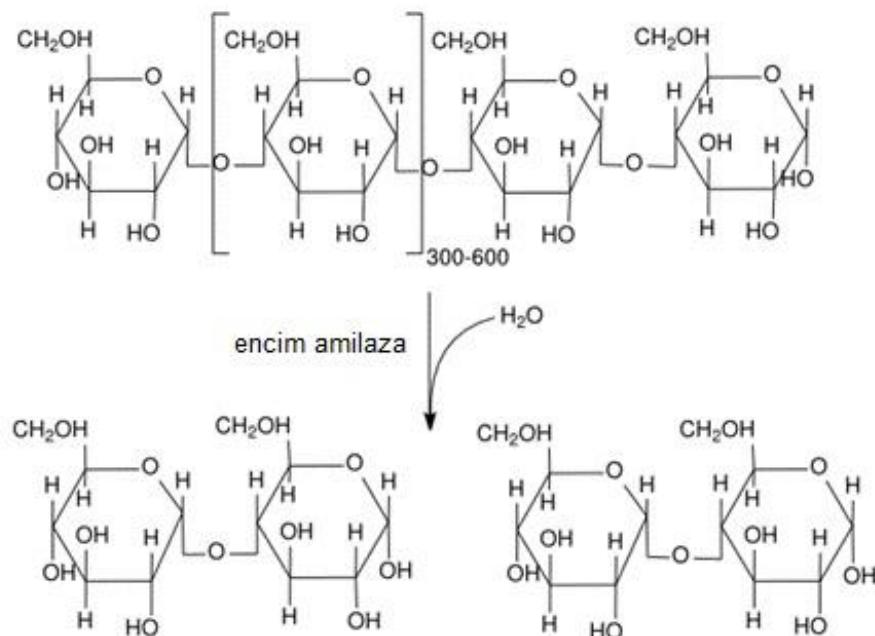
Vzhajanje in gnetenje

Encimi v kvasu razgradijo škrob v sladkor. Najprej encim amilaza razgradi škrob v maltozo, nato pa encim maltaza razgradi maltozo v glukozo.



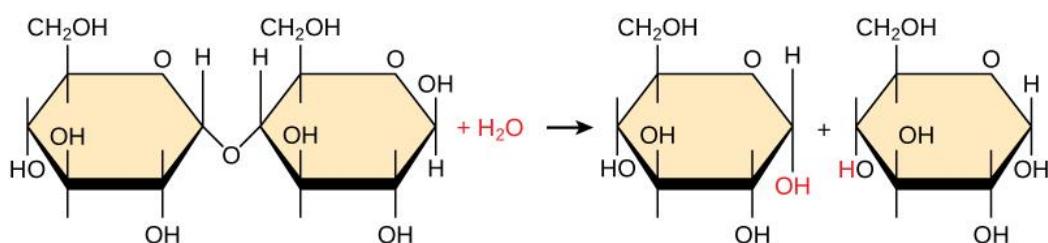
Slika 3: Glukoza nastane z razgradnjo škroba.

a) škrob + voda → maltoza



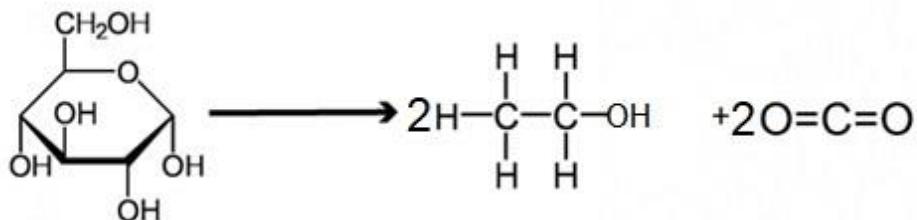
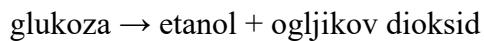
Slika 4: Encim amilaza razgradi škrob v maltozo.

b) maltoza + voda → glukoza



Slika 5: Encim maltaza maltozo razgradi v glukozo.

Nato v procesu alkoholnega vrenja glive kvasovke glukozo razgradijo na ogljikov dioksid in alkohol etanol. Zato kruh vzhaja. [4]



Slika 6: V procesu alkoholnega vrenja iz glukoze nastaneta alkohol etanol in ogljikov dioksid.

Med gnetenjem nastajajo nove glutenske vezi, ki pripomorejo k boljši strukturi in teksturi kruha. [4]

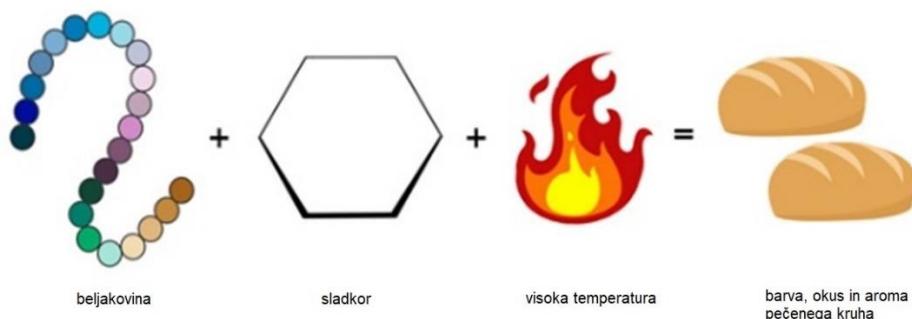


Slika 7: Pri gnetenju nastajajo nove glutenske vezi.

Peka

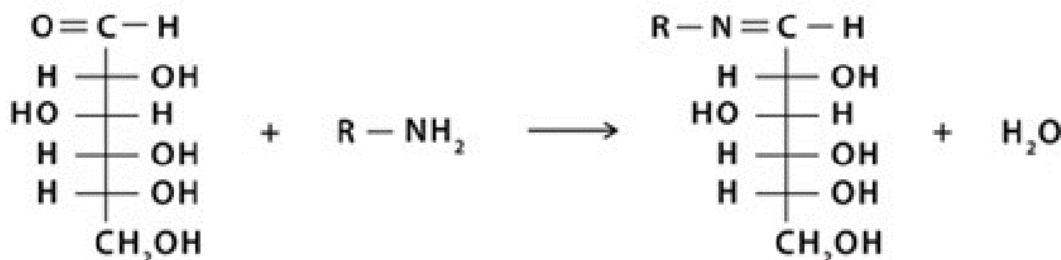
Zaradi visoke temperature pri peki testo zakrkne, alkohol izhlapi in kvasovke odmrejo. Ogljikov dioksid se razširi in kruh še bolj naraste. Poteče Maillardova reakcija, zaradi katere je skorja temnejše barve in drugačnega okusa kot sredica. [2]

Maillardova reakcija

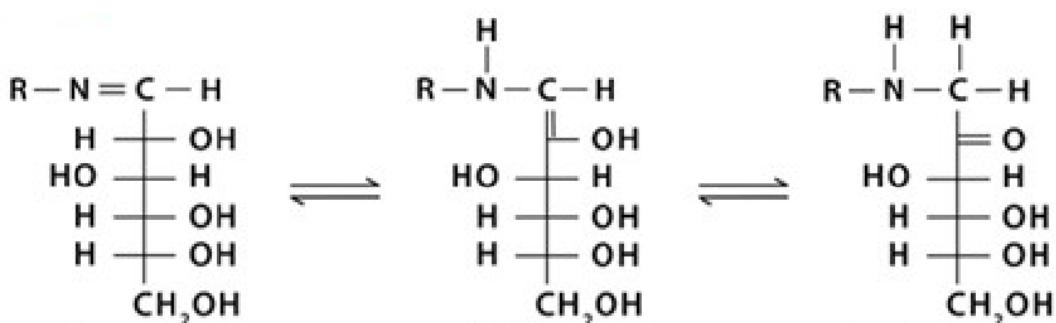


Slika 8: Pri visoki temperaturi poteče reakcija med glukozo in aminokislinami.

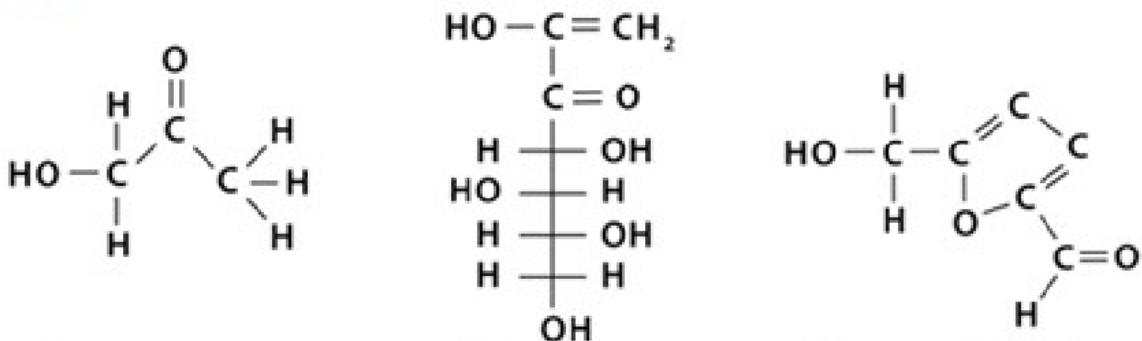
Iz glukoze in aminokisline nastaneta voda in N-glikozilamin. Iz N-glikozilamina nastane ketozamin, ki nato zreagira v različne produkte. [5]



Slika 9: Karbonilna skupina pri glukozi zreagira z aminoskupino pri aminokislini. Nastaneta N-glikozilamin in voda.



Slika 10: Iz glikozamina nastane ketozamin.



Slika 11: Ketozamin nato lahko zreagira v različne produkte npr. v hidroksimetilfurfural

Droži

V moki so prisotni encimi, mlečnokislinske bakterije in divje kvasovke, ki jih aktiviramo, ko moki dodamo vodo. Začne se fermentacija. Encimi in mlečnokislinske bakterije razgrajujejo sestavljenje sladkorje v enostavne, s temi sladkorji pa se hrani divje kvasovke, ki proizvajajo etanol in ogljikov dioksid, zaradi česar kruh naraste. Pri mlečnokislinskem vrenju nastanejo mlečna kislina, ocetna kislina, ogljikov dioksid in etanol. V tem kislem okolju lahko uspevajo le nekatere kvasovke. [3]

Osnove spektrometrije

Absorbanca nam pove, kako raztopina vpliva na valovno dolžino svetlobe. Označimo jo z A in je odvisna od širine posode, v kateri je raztopina, množinske koncentracije in absorpcijskega koeficienta:

$$A = l \cdot \varepsilon \cdot c$$

Transmitanco oz. prepustnost označimo s T. Več svetlobe se absorbira, manjša je transmitanca in obratno. Transmitanca in absorbanca sta medsebojno povezani.

Eksperimentalni del

Standardni recept za kruh

Kruh, ki sem ga spekla za raziskovanje, sem s posameznimi prilagoditvami pri določenem področju pripravila iz naslednjih sestavin:

- 250 g bele moke tip 500
- 250 g polbele moke tip 850
- 4 g soli
- 350 ml vode
- 4 g (žlička) sladkorja
- 21 g svežega kvasa ali 7 g suhega kvasa

Kako temperatura vode vpliva na delovanje kvasa?

Pripravila sem več kvasnih nastavkov iz 3 g sladkorja, 3 g bele moke, 10 g svežega kvasa in vode z izbrano temperaturo. Erlenmajerico sem zamašila z zamaškom, ki je bil s cevko povezan z napravo za merjenje nastalega plina. Plin, ki je nastajal, je potoval po cevki in potiskal osrednji del naprave. Z nje sem po 30 minutah odčitala, koliko mL plina je nastalo. Več plina kot je nastalo, bolj aktivne so bile kvasovke in boljša je bila temperatura.

Kakšna je razlika med suhim in svežim kvasom?

Pripravila sem dva hlebca kruha iz 250 g moke, enega s svežim kvasom in drugega s suhim. Pri prvem sem naredila kvasni nastavek, pri drugem pa sem suh kvas samo vmešala med sestavine, saj kvasni nastavek pri tem kvasu ni potreben. Primerjala sem velikosti hlebcev po peki.

Kakšna je razlika med kruhom iz droži in kruhom iz kvasa?

Po receptu iz literature [3] sem najprej pripravila droži in čez nekaj tednov, ko so bile pripravljene, s pomočjo njih spekla kruh. Tega sem primerjala s kruhom, pri katerem sem uporabila svež kvas.

Kako na kruh vpliva večja količina vode?

Pripravila sem dva hlebčka kruha iz 250 g moke, enega z normalno količino vode, drugega z 20 mL več vode. Primerjala sem ju, kako sta vzhajala in kakšna sta bila pečena.

Kako na kruh vpliva različna količina soli?

Pripravila sem tri hlebčke, enega brez soli, enega s polovično količino in enega z normalno količino soli. Spremljala sem, kakšno teksturo ima kruh med samo pripravo in po peki in kako vzhaja.

Kako količina soli vpliva na postopni razpad škroba?

Pripravila sem 2 hlebčka kruha, enega iz 250 g moke in 2 g soli in enega iz 250 g moke in 6 g soli. Iz različno starih rezin sem pripravila vzorčke in jim izmerila transmitanco.

Kakšna je razlika med kruhom, zgnetenim na roke in na strojček?

Pripravila sem dva hlebca kruha iz 500 g moke. Spremljala sem čas priprave in razlike med njima med samo pripravo, vzhajanjem in po peki.

Kako različno število vzhajanj vpliva na pečen kruh?

Po enakem postopku sem pripravila hlebčke kruha iz 250 g moke. Posamezen hlebček je vzhajal enkrat, dvakrat, trikrat ali štirikrat. Vzhajanje je trajalo toliko časa, da je kruh narastel na dvakratno velikost, približno 40 minut. Spremljala sem, kakšni so bili po zadnjem vzhajjanju in kakšni so bili pečeni.

Kako temperatura peke vpliva na kruh?

Po enakem postopku sem pripravila tri hlebčke kruha iz 250 g moke in jih pekla pri različni temperaturi. Prvi hlebec se je najprej pekel na 220 °C in nato še 15 minut na 180 °C, drugi hlebec 30 minut na 200 °C in tretji hlebec 15 minut na 180 °C in še 15 minut na 220 °C. Med seboj sem jih primerjala, kako so med peko narasli.

Rezultati

Kako temperatura vode vpliva na delovanje kvasa?



Slika 12: Erlenmajerica, ki je s cevko povezana z napravo.



Slika 13: Kvasni nastavek v erlenmajerici s čepom in cevko, ki je povezana z napravo.



Slika 14: Naprava, iz katere se odčita količina nastalega plina.

Tabela 1: Temperatura vode in količina nastalega CO₂.

temperatura vode [°C]	količina nastalega CO ₂ v 30 minutah [mL]
5	12
20	50
35	65
55	8
100	0

Količina nastalega plina in s tem povezana aktivnost kvasovk s temperaturo sprva narašča, nato pada. Optimalna temperatura vode za največjo aktivnost kvasa je nekje med 20 in 55 °C. Pri višji temperaturi encimi v kvasovkah denaturirajo, zato alkoholno vrenje ne poteka več. [6]

Kakšna je razlika med suhim in svežim kvasom?

Večjih razlik med hlebcema nisem opazila. Razlika je samo v času, ki je potreben za pripravo enega in drugega kruha. Pri kruhu s svežim kvasom je potrebno narediti kvasni nastavek, suh kvas pa enostavno samo vmešamo med ostale sestavine.



Slika 15: Kruh s suhim (levo) in kruh s svežim kvasom (desno) po drugem vzhajanju.



Slika 16: Pečen kruh s suhim kvasom.



Slika 17: Pečen kruh s svežim kvasom.

Kakšna je razlika med kruhom iz droži in kruhom iz kvasa?

Kruh z drožmi ima bolj kiselkast okus, v primerjavi s kruhom iz kvasa pa bolj naraste, po sredici ima večje mehurčke, se ne drobi toliko in dlje časa ostane svež.



Slika 18: Pečen kruh iz droži.



Slika 19: Prerezan pečen kruh iz droži.

Kako na kruh vpliva večja količina vode?

Tabela 2: Kako na kruh vpliva večja količina vode.

kruh	količina vode [ml]	količina vode [%]	gnetenje	vzhajanje	tekstura pečenega kruha
1	175	100	Odstopi od rok in se oblikuje v hlebček.	V višino.	Veliko majhnih mehurčkov, drobljiv.
2	195	111	Lepi se po rokah in se razleze, noče ostati v obliki hlebčka.	Se razleze.	Malo velikih mehurčkov, mehkejša tekstura.

Prvi hlebček se je lepo gnetel in sem ga brez težav oblikovala v kroglico, drugi hlebček pa se je lepil po rokah in tudi ko sem ga oblikovala v hlebček, se je razlezel.

Hlebčka sem pustila, da sta dvakrat vzhajala. Prvi je bolj narastel v višino. Drugi hlebček pa se je bolj razlezel in imel bolj mehko teksturo.



Slika 20: Hlebčka po prvem vzhajanju.



Slika 21: Hlebčka po drugem vzhajanju.

Po dveh vzhajanjih sem hlebčka zarezala in ju dala pečico. Prvi je še bolj narastel, kar se lepo vidi tudi na mestu zareza, kjer je testo kar »strgano«. Ko sem ga prerezala, sem opazila veliko mehurčkov, ki pa so bili majhni in lepo razporejeni po celotni sredici. Se nekoliko drobi.



Slika 22: Pečen kruh št. 1.



Slika 23: Prerezan pečen kruh št. 1.

Kruh št. 2 ni tako zelo narastel v višino, kar se vidi tudi na mestu zareza, temveč se je še malo razlezel. Ko sem ga prerezala na pol, sem opazila velike mehurčke, ki pa niso bili enakomerno razporejeni po sredici. Kruh je bil v primerjavi s prvim bolj svež, imel je mehkejšo teksturo in se ni toliko drobil.



Slika 24: Pečen kruh št. 2.



Slika 25: Prerezan pečen kruh št. 2.

Zaradi večje količine vode je bilo hlebček št. 2 težje gnesti, saj se je lepil po rokah in ni hotel ostati v obliki hlebčka. V primerjavi s prvim kruhom se je bolj razlezel kot pa narastel v višino. Kljub vsemu pa je imel veliko mehurčkov in drugačno teksturo. Vsekakor pa se veliko bolj splača ta kruh delati na strojček in ne na roke, ter ga pustiti vzhajati v posodi.

Kako na kruh vpliva različna količina soli?

Tabela 3: Kako na kruh vpliva različna količina soli.

kruh	količina soli [%]	gnetenje	vzhajanje	pečen kruh
1	100 %	Lahko se oblikuje v hlebček.	V višino.	Naraste v višino, majhni mehurčki po sredici, dober okus.
2	50 %	Lahko se oblikuje v hlebček.	V višino, nekaj mehurčkov na površini.	Naraste v višino, majhni mehurčki po sredici, sprejemljiv okus.
3	0	Ne da se ga oblikovati v hlebček.	Se razleze, zgubana površina z veliko mehurčki.	Se razleze, veliko mehurčkov po sredici, brez okusa.

Hlebčka št. 1 in 2 sta se lepo gnetla, po nekaj minutah gnetenja sem lahko oblikovala stabilen hlebček. Pri hlebčku številka 3 pa sem imela nekaj težav, saj se testo ni in ni hotelo oblikovati v kroglico.



Slika 26: Pripravljeni hlebčki pred prvim vzhajanjem.

Po prvem vzhajanju je bila površina kruha brez soli nagubana. V primerjavi s hlebcema 1 in 2 je bil zelo rahel. Ko sem ga želela oblikovati v kroglico, se je razlezel. Pri hlebcih številka 1 in 2 kakšnih večjih, opaznejših razlik nisem zaznala. Lepo sta vzhajala in tudi brez težav sem ju oblikovala v hlebček.



Slika 27: Hlebčki po prvem vzhajanju.

Po drugem vzhajanju so razlike postale le še bolj očitnejše. Hlebec št. 1 je lepo narastel, pri hlebčku št. 2, ki je tudi lepo narastel, pa je bilo na površini vidnih nekaj manjših mehurčkov. Veliko mehurčkov je bilo na površini kruha št. 3.



Slika 28: Hlebčki po drugem vzhajanju.

Nato sem dala kruh v pečico. Najbolj je narasel kruh z normalno količino soli, tudi kruh št. 2 je narastel, vendar se je malo razlezel, na površini so bili vidni mehurčki. Tretji kruh, ki je brez soli, pa se je najbolj razlezel, njegova celotna površina pa je bila zelo mehurčasta. Vsi hlebčki so imeli veliko mehurčkov, ki so bili enakomerno razporejeni po sredici. Največ jih je imel kruh brez soli.



Slika 29: Pečeni hlebčki kruha z normalno količino, s pol manj soli in brez soli.



Slika 30: Pečeni prerezani hlebčki kruha z normalno količino, s pol manj soli in brez soli.

Sol lepek utrdi, pomaga pri nabrekanju škroba v moki in preprečuje prekomerno delovanje kvasovk. V kruhu, kjer soli ni bilo, se je zgodilo ravno nasprotno. Ni se hotel oblikovati lep, trden hlebček. Ker ni bilo soli, ki bi ustavila prekomerno delovanje kvasovk in utrdila gluten, ki zadržuje ogljikov dioksid v hlebčku, so se na površini pojavili mehurčki. Kruh se je močno razlezel. Bil je brez okusa. Na drugi strani je kruh s soljo dobro uspel, bil je dovolj trden, da se ni razlezel in je med peko lepo narastel. Pri kruhu s polovično količino soli je bil nekje vmes. Bolj je vzhajal kot se je razlezel, so se pa na površini pojavili mehurčki, kar kaže na to, da gluten ni bil dovolj trden, da bi zadržal plin v testu. [1]

Kako količina soli vpliva na postopni razpad škroba?

Posamezen hlebec kruha sem narezala na 4 enako debele rezine, po eno od vsakega sem pustila zunaj na zraku, ostale pa sem dala v zamrzovalnik. Vsak dan sem iz zamrzovalnika vzela po en kos kruha z normalno in večjo količino soli. Na koncu sem dobila rezine kruha, stare do 3 dni.

Nato sem pripravila vzorčke. 4 g sredice posameznega kosa kruha sem dodala 50 mL destilirane vode. To sem pustila nekaj minut in nato dobro premešala.



Slika 31: Pripravljeni vzorčki.

Posamezen vzorček sem prefiltrirala. Nato sem 3 mL filtrata dodala 2 kapljici kisline HCl in 2 kapljici jodovice. S kolorimetrom, ki je bil nastavljen na 565 nm, je bila po štirikrat izmerjena transmitanca posameznega vzorčka, glede na predpostavko, da je ta pri vodi 100 %. Večja kot je bila transmitanca, manj škroba je bilo v vzorcu.



Slika 32: Izvajanje meritev.

Rezultate sem zbrala v tabelo, pri vsakem sklopu meritev izločila podatek z največjim odstopanjem (označeni so z rdečo) in nato z ostalimi podatki izračunala povprečje meritev pri posameznem vzorcu.

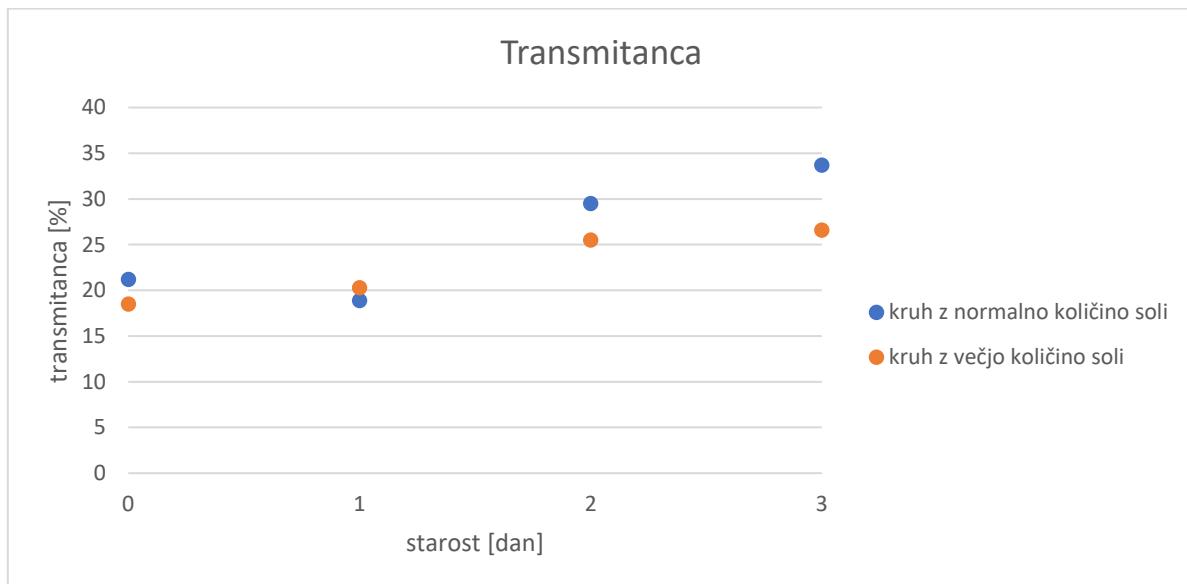
Tabela 4: Transmitanca pri kruhu z normalno količino soli.

starost kruha [dan]	transmitanca [%]				transmitanca – povprečje [%]
0 (svež)	16,22	19,68	23,2	20,61	21,2
1	18,0	19,25	19,50	21,6	18,9
2	29,9	25,2	30,7	27,8	29,5
3	34,1	30,1	32,83	34,31	33,7

Tabela 5: Transmitanca pri kruhu z večjo količino soli.

starost kruha [dan]	transmitanca [%]				transmitanca – povprečje [%]
0 (svež)	17,66	22,44	18,60	19,34	18,5
1	19,4	20,4	22,4	21,1	20,3
2	25,6	29,0	25,9	25,08	25,5
3	26,2	27,6	26,6	27,1	26,6

Graf 1: Transmitanca



Iz grafa je razvidno, da transmitanca s starostjo kruha postopoma narašča pri obeh vrstah kruha. Njena vrednost pa je bila pri kruhu z večjo količino soli vedno manjša kot pri kruhu z normalno količino soli (z izjemo meritve pri starosti 1 dan, kjer sta bili približno enaki). Iz tega lahko sklepamo, da sol upočasni razpad škroba v pečenem kruhu.

Kakšna je razlika med kruhom, zgnetenim na roke in na strojček?

Tabela 6: Razlika med kruhom, zgnetenim na roke in na strojček.

kruh	gnetenje	čas gnetenja [min]	vzhajanje	pečen kruh
1	Na strojček.	6	Lepo vzhaja in se ne razleze.	Naraste, ima veliko majhnih mehurčkov, razporejenih po celotni sredici.
2	Na roke.	22	Lepo vzhaja in se ne razleze.	Naraste, ima veliko majhnih mehurčkov, razporejenih po celotni sredici.

Najprej sem pripravila kruh na strojček. V skledo sem presejala moko, naredila jamico in vanjo dodala suhi kvas in vodo ter ob robu sol. Nato sem začela z mešanjem – najprej 2 minuti na najnižji hitrosti (hitrost 1), nato pa na višji hitrosti (hitrost 2), toliko časa, da se je testo začelo oblikovati v hlebček, 4 minute. Vse skupaj se je testo na strojček gnetlo 6 minut.



Slika 33: Kruh, zgneten na strojček, med gnetenjem.

Kruh je še dvakrat vzhajal, nato pa sem ga dala v pečico.



Slika 34: Kruh, zgneten na strojček, po prvem vzhajanju.



Slika 35: Kruh, zgneten na strojček, po drugem vzhajanju.



Slika 36: Pečen kruh, zgneten na strojček.



Slika 37: Prerezan pečen kruh, zgneten na strojček.

Nato sem začela s pripravo drugega kruha. Na mizo sem presejala moko, v jamico dodala suh kvas, vodo in ob rob sol. Začela sem z gnetenjem. Za to, da je nastal lep hlebček, ki se mi ni več lepil po rokah in se je lepo oblikoval v kroglico, sem porabila 22 minut. Kruh je še dvakrat vzhajal, nato pa sem ga dala v pečico.



Slika 38: Kruh, zgneten na roke, med gnetenjem.



Slika 39: Kruh, zgneten na roke, po prvem vzhajjanju.



Slika 40: Kruh, zgneten na roke, po drugem vzhajjanju.



Slika 41: Pečen kruh, zgneten na roke.



Slika 42: Pečen kruh, zgneten na roke.

Kakšnih večjih ali opaznejših razlik med prvim in drugim kruhom ni bilo. Oba sta lepo vzhajala in med peko narasla. Razlik torej med gnetenjem na roke in gnetenjem na strojček ni, razen v času, ki ga sama priprava zahteva. Gnetenje na roke zahteva več časa in energije, zato je veliko lažje, če se odločimo za gnetenje na strojček, ki je hitrejše in nas sploh ne utrudi.

Kako različno število vzhajanj vpliva na pečen kruh?

Najprej sem pripravila kruh, ki je vzhajal samo enkrat. Ko sem pripravila testo, sem ga dala v košarico za vzhajanje. Vzhajal je toliko časa, da je narastel na dvakratno velikost, približno 40 minut, nato pa sem ga dala v pečico. Kruh je pred peko narastel na dvakratno velikost, vendar je po pečenju narastel zelo neenakomerno. Hlebček ni bil lep okrogel, temveč z izboklinami. Mehurčki niso bili enakomerno razporejeni.



Slika 43: Kruh, ki je vzhajal enkrat, preden gre v pečico.



Slika 44: Pečen kruh, ki je vzhajal samo enkrat.



Slika 45: Prerezan pečen kruh, ki je vzhajal samo enkrat.

Nato sem pripravila kruh, ki je vzhajal dvakrat. Ko sem pripravila testo, sem ga dala v posodo. Vzhajal je toliko časa, da je narastel na dvakratno velikost. Nato sem ga pregneta in dala v košarico, kjer je vzhajal še enkrat. Skupno je vzhajal dvakrat po približno 40 minut. Nato sem ga dala v pečico.

Kruh je vzhajal enakomerno, tudi po peki. Ohranil je lepo okroglo obliko. Mehurčki so bili enakomerno razporejeni.



Slika 46: Kruh, ki je vzhajal dvakrat, preden gre v pečico.



Slika 47: Pečen kruh, ki je vzhajal dvakrat.



Slika 48: Prerezan pečen kruh, ki je vzhajal dvakrat .

Nato sem pripravila kruh, ki je vzhajal trikrat. Ko sem pripravila testo, sem ga dala v posodo, kjer je vzhajal toliko časa, da je narastel na dvakratno velikost. Nato je v posodi vzhajal še enkrat, potem pa ga sem ga dala v košarico, kjer je vzhajal še zadnjič. Skupno je vzhajal trikrat po približno 40 minut. Nato sem ga dala v pečico.

Kruh je enakomerno narastel, tudi po peki. Ohranil je lepo okroglo obliko. Mehurčki so bili kar enakomerno razporejeni.



Slika 49: Kruh, ki je vzhajal trikrat, preden gre v pečico.



Slika 50: Pečen kruh, ki je vzhajal trikrat.



Slika 51: Prerezan pečen kruh, ki je vzhajal trikrat.

Nazadnje sem pripravila kruh, ki je vzhajal kar štirikrat. Ko sem pripravila testo, sem ga dala v posodo. Vzhajal je toliko časa, da je narastel na dvakratno velikost. Nato je v posodi vzhajal še dvakrat, potem pa sem ga dala v košarico, kjer je vzhajal še zadnjič. Skupno je vzhajal štirikrat po približno 40 minut. Nato sem ga dala v pečico.

Kruh je po četrtem vzhajanju precej narastel. Po peki ni ohranil tako lepe oblike, ker se je razlezel.



Slika 52: Kruh, ki je vzhajal štirikrat, preden gre v pečico.



Slika 53: Pečen kruh, ki je vzhajal štirikrat.



Slika 54: Prerezan pečen kruh, ki je vzhajal štirikrat.

Kruh, ki je vzhajal samo enkrat, ni bil nikoli pregneten. Tako se mehurčki plina niso razporedili enakomerno, zato je imel pečen kruh izbokline. Večkrat kot kruh vzhaja, več ogljikovega dioksida nastane, torej kruh bolj naraste. Kruh, ki je vzhajal kar štirikrat, je sicer imel mehurčke, vendar se je razlezel in ni imel lepe okrogle oblike. Najboljši kruh je bil kruh, ki je vzhajal dvakrat oziroma trikrat.

Kako temperatura peke vpliva na kruh?

Tabela 7: Kako temperatura peke vpliva na kruh.

kruh	čas in temperatura peke	največja velikost [cm]	vzhajanje med peko (1 - najmanj, 3 - največ)
1	15 min na 220 °C → 15 min na 180 °C	5,9	3
2	30 min na 200 °C	5,7	2
3	15 min na 180 °C → 15 min na 220 °C	5,5	1

Vsi hlebčki so narasli, razlika je le v tem, za koliko. Prvi hlebček, ki se je pekel najprej na 220 °C in nato na 180 °C, je narastel za največ. Njegova največja velikost je bila 5,9 cm. S prednje strani je razvidno, kako se je testo »pretrgalo« in je zelo narastel.



Slika 55: Kruh št. 1.



Slika 56: Prerezan kruh št. 1.

Drugi hlebček, ki se je ves čas pekel na 200 °C, je največ narastel na višino 5,7 cm. S prednje strani je razvidno, da je kar narastel, vendar ne tako zelo v primerjavi s prvim kruhom, prav tako je bil pretrg manjši in bolj enakomerno razporejen po večjem delu spodnje površine kruha.



Slika 57: Kruh št. 2.



Slika 58: Prerezan kruh št. 2.

Tretji hlebček, ki se je najprej pekel na 180 °C in nato na 220 °C, je narastel za najmanj. Njegova največja velikost je bila 5,5 cm. Pretrg je bil malo manjši kot pri drugem hlebčku in izrazito manjši v primerjavi s prvim.



Slika 59: Kruh št. 3.



Slika 60: Prerezan kruh št. 3.

V procesu peke se kruhu spremeni tekstura. Iz mehkega testa postane trdna tekstura. V prvih nekaj minutah se najprej izsuši in trdna postane zgornja plast. Kruh med vzhajanjem narašča zaradi nastalega ogljikovega dioksida, ki ga proizvajajo glice kvasovke. Ogljikov dioksid v testu še vedno ostane ujet, tudi ko ga damo v pečico. Zaradi visoke temperature se prostornina ogljikovega dioksida veča in veča.

Optimalna temperatura peke je glede na rezultate najprej na višji in nato na nižji temperaturi, torej najprej na 220 °C in nato na 180 °C. Čas peke pa je seveda odvisen od količine samega testa.

Razprava in zaključek

Rezultati, ki sem jih dobila med eksperimentalnim delom se ujemajo s podatki, ki sem jih našla v literaturi.

Sedaj lahko potrdim oziroma ovрžem hipoteze, ki sem jih zastavila na začetku raziskovanja.

- *Aktivnost kvasa je večja pri višji temperaturi kot pri nižji.*

Optimalna temperatura vode za največjo aktivnost kvasa je od 35 do 40 °C. Pri višji temperaturi encimi v kvasovkah denaturirajo, zato alkoholno vrenje ne poteka več.

- *Kruh iz svežega kvasa vzhaja bolje kot kruh iz suhega kvasa.*

Bistvenih razlik med kruhom, narejenim iz svežega in suhega kvasa, ni.

- *Kruh iz kvasa vzhaja bolje kot kruh iz droži.*

Kruh z drožmi ima kiselkast okus, v primerjavi s kruhom iz kvasa pa bolj naraste, po sredici ima večje mehurčke, se ne drobi toliko in dlje časa ostane svež.

- *Kruh z večjo količino vode vzhaja manj in se, ko je pečen, manj drobi.*

Drži, večja količina vode poleg vzhajanja vpliva tudi na teksturo pečenega kruha.

- *Kruh z manj soli ne vzhaja tako dobro kot kruh z večjo količino soli.*

Drži, saj sol utrdi lepek in preprečuje prehitro delovanje kvasovk.

- *Sol vpliva na hitrost razpada škroba pri pečenem kruhu.*

Drži. Pri pečenem kruhu z večjo količino soli škrob razpada počasneje kot pri kruhu z normalno količino soli.

- *Med gnetenjem na roke in gnetenjem na strojček ni razlike.*

Drži, razlika je samo v času, ki ga priprava zahteva.

- *Če kruh vzhaja večkrat, manj naraste.*

Z večjih številom vzhajanj nastane več ogljikovega dioksida, torej kruh bolj naraste. Če pa kruh vzhaja prevečkrat, se razleže.

- *Višja temperatura peke pripomore k hitrejšemu vzhajanju kruha.*

Drži, optimalna temperatura peke je najprej na višji in nato na nižji temperaturi.

Zanimivo bi bilo podrobnejše raziskati, kako na aktivnost kvasovk in vzhajanje kruha poleg temperature vode vpliva temperatura okolice.

Viri in literatura

Vir 1: PRAJNER, Marija, 2011: Kruh vsakdanji in praznični. 1. izdaja. Ljubljana: Mladinska knjiga.

Vir 2: GOLJAT, Andrej, 2004: Kruh/ Bread. Ljubljana: Kmečki glas.

Vir 3: ŠUMER, Anita, 2020: Drožomanija : knjiga o peki kruha in peciva z drožmi. 3., dopolnjena in razširjena izdaja. Slovenj Gradec: Ars verbi.

Vir 4: <https://www.compoundchem.com/2016/01/13/bread/> (dostopno: 28. 10.2022)

Vir 5: <https://www.chemistrylearner.com/chemical-reactions/maillard-reaction> (dostopno: 28. 10.2022)

Vir 6: <https://www.nagwa.com/en/videos/739169868543/> (dostopno: 20. 2. 2023)

Vir 7: <https://www.termania.net/> (dostopno 21. 2. 2023)

Viri slik:

<https://cwsimons.com/wp-content/uploads/2018/03/Gluten.jpg>

<https://www.celignis.com/img/amylase.png>

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/9c/Amylase_reaction.png

<https://oertx.highered.texas.gov/editor/images/1965>

https://letstalkscience.ca/sites/default/files/styles/width_800px/public/2019-11/Fermentation_of_glucose_by_yeast.png?itok=8vbOCgh1

<https://thebreadmaidendotcom.files.wordpress.com/2016/02/bb16d-kneading.jpg>

<https://www.chemistrylearner.com/wp-content/uploads/2020/11/Maillard-Reaction.jpg>

<https://www.chemistrylearner.com/wp-content/uploads/2020/11/Maillard-Reaction-Mechanism.jpg>

<https://cdn1.sph.harvard.edu/wp-content/uploads/sites/30/2016/04/Whole-Grain-Promo.jpg>

osebni arhiv