

**Osnovna šola Ljubečna**

# **PRIMERJAVA RAZGRADNJE RAZLIČNIH TESTENIN S POMOČJO ENCIMOV TREBUŠNE SLINAVKE**

**RAZISKOVALNA NALOGA**



**Avtorja:**  
**Svit Janc,**  
**Sergej Jančič, oba 9.b**

**Mentorica:**  
**Marjeta Gradišnik Mirt,**  
**predmetna učiteljica**

**Mestna občina Celje, Mladi za Celje**

**Celje, marec 2022**

**Osnovna šola Ljubečna**

**PRIMERJAVA RAZGRADNJE RAZLIČNIH  
TESTENIN S POMOČJO ENCIMOV  
TREBUŠNE SLINAVKE**

**RAZISKOVALNA NALOGA**

**Avtorja :  
Svit Janc,  
Sergej Jančič, oba 9.b**

**Mentorica:  
Marjeta Gradišnik Mirt,  
predmetna učiteljica  
Jezikovni pregled:  
Petra Merc, prof.  
slovenskega jezika**

**Mestna občina Celje, Mladi za Celje**

**Celje, marec 2022**

## Vsebina

|                                                                                                                                                   |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| SEZNAM SLIK, TABEL IN GRAFOV .....                                                                                                                | 2  |
| <b>POVZETEK</b> .....                                                                                                                             | 3  |
| <b>1 UVOD</b> .....                                                                                                                               | 4  |
| 1.1 NAMEN NALOGE .....                                                                                                                            | 4  |
| 1.2 HIPOTEZE .....                                                                                                                                | 5  |
| 1.3 METODE RAZISKOVANJA .....                                                                                                                     | 5  |
| <b>2 RAZGRADNJA OGLJIKOVIH HIDRATOV</b> .....                                                                                                     | 6  |
| 2.1 OGLJIKOVI HIDRATI.....                                                                                                                        | 6  |
| 2.2 PREBAVA HRANE PRI ČLOVEKU.....                                                                                                                | 8  |
| 2.3 POMEN TOPLOTNE OBDELAVE TESTENIN PRI ZDRAVI PREHRANI .....                                                                                    | 8  |
| <b>3 OPIS RAZISKOVALNEGA DELA</b> .....                                                                                                           | 10 |
| 3.1 PRVO LABORATORIJSKO DELO: ALI ENCIMI TREBUŠNE SLINAVKE IZ PREHRANSKEGA DOPOLNILA PANCREAZIM RAZGRAJUJEJO TESTENINE? .....                     | 10 |
| 3.2 DRUGO LABORATORIJSKO DELO: KAKO NARAŠČA KOLIČINA GLJUKOZE V 20 MINUTAH DELOVANJA PREBAVNIH ENCIMOV?.....                                      | 13 |
| 3.3 TRETJE LABORATORIJSKO DELO: KAKO SE SPREMINJA MASA OBORINE, KI NASTANE S FEHLINGOVIM REAGENTOM, V 20 MINUTAH DELOVANJA PREBAVNIH ENCIMOV?.... | 14 |
| 3.4 ČETRTO LABORATORIJSKO DELO: KAKO POVEČATI NATANČNOST?.....                                                                                    | 15 |
| <b>4 REZULTATI</b> .....                                                                                                                          | 17 |
| 4.1 REZULTATI 1. LABORATORIJSKEGA DELA .....                                                                                                      | 17 |
| 4.2 REZULTATI 2. LABORATORIJSKEGA DELA .....                                                                                                      | 18 |
| 4.3 MASA OBORINE $\text{Cu}_2\text{O}$ GLEDE NA ČAS DELOVANJA ENCIMOV TREBUŠNE SLINAVKE PANCREAZIM NA TESTENINE .....                             | 20 |
| 4.4 MASA OBORINE $\text{Cu}_2\text{O}$ NA ZAČETKU DELOVANJA ENCIMOV NA TESTENINE IN PO 30 MINUTAH DELOVANJA .....                                 | 22 |
| <b>5 RAZPRAVA IN POTRDITEV HIPOTEZ</b> .....                                                                                                      | 29 |
| 5.1 POTRDITEV HIPOTEZ .....                                                                                                                       | 31 |
| <b>ZAKLJUČEK</b> .....                                                                                                                            | 31 |
| <b>LITERATURA</b> .....                                                                                                                           | 33 |

## SEZNAM SLIK, TABEL IN GRAFOV

|                                                                                                                               |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Slika 1: Ali se polnozrnat testenine počasneje prebavljajo kot testenine iz bele moke?.....                                   | 4  |
| Slika 2: Laboratorijsko delo v naravoslovni učilnici.....                                                                     | 5  |
| Slika 3: Enačba reakcije za Fehlingov test glukoze.....                                                                       | 7  |
| Slika 4: Škrob v obliki amiloze.....                                                                                          | 9  |
| Slika 5: Škrob v obliki amilopektina.....                                                                                     | 9  |
| Slika 6: Prehranski dodatek Pancreazim in njegova deklaracija .....                                                           | 10 |
| Slika 7: Vzorca testenin iz bele in polnozrnat moke.....                                                                      | 10 |
| Slika 8: Reagenti in testi za dokaz škroba in glukoze .....                                                                   | 11 |
| Slika 9: Kuhanje testenin .....                                                                                               | 12 |
| Slika 10: Vzorci v pasteurizatorju .....                                                                                      | 13 |
| Slika 11: Oborina bakrovega (I) oksida, ki je nastala s Fehlingovim reagentom.....                                            | 14 |
| Slika 12: Segrevanje vzorcev na magnetnem mešalu .....                                                                        | 16 |
| Slika 13: Dokaz prisotnosti škroba v vseh vzorcih pred dodatkom encimov.....                                                  | 17 |
| Slika 14: Masa oborine bakrovega (I) oksida sva stehtalana tej analitski tehnici. ....                                        | 21 |
| Slika 15: Nastanek oborine bakrovega (I) oksida v vroči vodni kopeli .....                                                    | 24 |
| Slika 16: Ohlajanje vzorcev bakrovega (I) oksida v eksikatorju .....                                                          | 26 |
| Slika 17: Vzorci testenin v vodi pred dodatkom encimov .....                                                                  | 28 |
|                                                                                                                               |    |
| Tabela 1: Vrste ogljikovih hidratov .....                                                                                     | 7  |
| Tabela 2: Rezultati 1. laboratorijskega dela pred delovanjem encimov .....                                                    | 17 |
| Tabela 3: Rezultati 1. laboratorijskega dela po 20 minutah delovanja encimov.....                                             | 18 |
| Tabela 4: Rezultati 1. laboratorijskega dela po 40 minutah delovanja encimov.....                                             | 18 |
| Tabela 5: Rezultati 2. laboratorijskega dela po 5 minutah delovanja encimov.....                                              | 19 |
| Tabela 6: Rezultati 2. laboratorijskega dela po 10 minutah delovanja encimov.....                                             | 19 |
| Tabela 7: Rezultati 2. laboratorijskega dela po 15 minutah delovanja encimov.....                                             | 20 |
| Tabela 8: Rezultati 2. laboratorijskega dela po 20 minutah delovanja encimov.....                                             | 20 |
| Tabela 9: Mase oborin Cu <sub>2</sub> O pri prvem sklopu poskusov v odvisnosti od časa delovanja prebavnih encimov .....      | 21 |
| Tabela 10: Mase oborin Cu <sub>2</sub> O pri drugem sklopu poskusov v odvisnosti od časa delovanja prebavnih encimov .....    | 22 |
| Tabela 11: Mase oborin bakrovega (I) oksida pri prvem A sklopu poskusov .....                                                 | 23 |
| Tabela 12: Mase oborin bakrovega (I) oksida pri drugem B sklopu poskusov .....                                                | 25 |
| Tabela 13: Povprečne mase bakrovega (I) oksida iz A in B sklopov poskusov.....                                                | 27 |
|                                                                                                                               |    |
| Graf 1: Masa oborine Cu <sub>2</sub> O na začetku in po 30 minutah delovanja encimov na testenine pri A sklopu poskusov.....  | 24 |
| Graf 2: Masa oborine Cu <sub>2</sub> O na začetku in po 30 minutah delovanja encimov na testenine pri B sklopu poskusov ..... | 26 |
| Graf 3: Povprečna masa oborine Cu <sub>2</sub> O po 30 minutah delovanja encimov na različne testenine .....                  | 28 |

## POVZETEK

Zdravje je naša največja vrednota. Ozaveščeni posamezniki ga varujemo tudi preko uživanja zdrave in uravnotežene prehrane. Eno od priporočil sladkornim bolnikom, velja pa tudi kot splošno pravilo zdrave prehrane, je uživanje živil iz polnozrnate moke in priprava hrane, ki je kuhana »na zob« oziroma »al dente«. V svoji raziskovalni nalogi sva s poskusi raziskovala, ali se »na zob« pripravljene testenine s pomočjo prebavnih encimov trebušne slinavke res počasneje razgrajujejo v glukozo kot razkuhane. Prav tako naju je zanimalo, ali to drži tudi za polnozrnate testenine v primerjavi s testeninami iz bele moke. Testenine sva skupaj s prebavnimi encimi segrevala v vodni kopeli s temperaturo 40° C. Predpostavila sva, da se škrob razgradi v glukozo, ki je dobro topna v vodi. Nato sva iz raztopine odvzela vzorce v določenih časovnih presledkih, jih prenesla v označene epruvete in jim dodala Fehlingov reagent. V vroči vodni kopeli se je pojavila rdečerjava oborina bakrovega (I) oksida, ki sva jo iz raztopine ločila z izparevanjem. Vzorce sva sušila do konstantne mase. Pokazalo se je, da se je v »na zob« kuhanih in polnozrnatih testeninah škrob res počasneje razgrajeval, zato je nastalo manj glukoze in s tem s Fehlingovim testom tudi manj bakrovega (I) oksida.

## SUMMARY

Health is our greatest wealth. Individuals who are aware of that fact protect it also by eating healthy and balanced food. One of the recommendations for diabetics, which is also considered as a general rule of healthy food, is to eat wholemeal flour products and to prepare food that should be cooked "to the tooth" or "al dente". In our research project, we used different experiments to find out if pasta prepared "al dente" is really more slowly broken down into glucose by the digestive enzymes of the pancreas than well cooked pasta. Moreover, we wanted to check if this is also true for wholemeal pasta in comparison to white pasta. The pasta was heated together with the digestive enzymes in a water bath at a temperature of 40 °C. We assumed that the starches would be broken down into glucose, which is well soluble in water. After that, we took samples from the solution at regular time intervals, transferred them to labelled tubes in which added Fehling's reagent. In the hot water bath, a reddish-brown copper (I) oxide precipitate appeared and then, we could separate it from the solution by evaporation. We dried the samples to constant mass. It turned out that the starches in the "al dente" and wholemeal pasta had really been degraded more slowly, so less glucose had been produced and thus less copper (I) oxide with the Fehling test.

## 1 UVOD

Na naše zdravje in dobro počutje poleg športa, svežega zraka in dovolj spanja v veliki meri vpliva tudi zdrava prehrana. Zdrava prehrana je sestavljena iz uravnoteženih obrokov, ki vsebujejo ustrezno mero ogljikovih hidratov, beljakovin in maščob. Pomembni so tudi vitamini in minerali, ki jih dobimo z uživanjem sadja in zelenjave. Telesu je potrebno zagotoviti dovolj vode ter balastnih snovi. Posebno skrb morajo prehrani posvečati sladkorni bolniki in športniki. Pri pripravah na tekmovanje iz sladkorne bolezni sva v pisnem viru Abecedarij sladkorne bolezni prebrala zanimiv zapis o priporočilih zdrave prehrane. V tem zapisu sva bila pozorna na priporočilo, da naj sladkorni bolniki v prehrano vključujejo več polnozrnatih škrobnih živil in da naj bodo te kuhane na zob oz. »al dente«. V tem primeru se škrob počasneje razgrajuje s pomočjo prebavnih encimov v glukozo, ki bolj enakomerno prehaja v kri. Zanimalo naju je, ali se na zob kuhane testenine res počasneje razgrajujejo s pomočjo prebavnih encimov v primerjavi z malce razkuhanimi. Vprašala sva se, kako prebavni encimi razgrajujejo testenine iz bele moke v primerjavi s polnozrnatimi.



*Slika 1: Ali se polnozrnatne testenine počasneje prebavljajo kot testenine iz bele moke?*

(Vir slike: osebni arhiv)

### 1.1 NAMEN NALOGE

Iz uvodoma predstavljene problematike sva v svoji raziskovalni nalogi želela ugotoviti tri stvari. Zanimalo naju je, kako se s prebavnimi encimi iz trebušne slinavke, ki jih vsebuje prehranski dodatek za pse in mačke Pancreazim, razgrajujejo na zob kuhane testenine v primerjavi z razkuhanimi testeninami. Pri tem sva želela zasledovati, kako se v določenem času spreminjata količina škroba in glukoze. Spraševala sva se, kako se v določenem času s pomočjo prebavnih encimov trebušne slinavke povečuje količina glukoze in zmanjšuje količina škroba med polnozrnatimi testeninami in belimi testeninami. Želela sva izvedeti, ali bodo encimi iz pripravka Pancreazim delovali tudi pri najinih eksperimentih. Uprašeni pripravek Pancreazim sva kupila v veterini Tačka v Planetu Tuš. Pancreazim se uporablja kot dodatek prehrani pri psih in mačkah, ki imajo zaradi različnih vzrokov odkrito pomanjkanje

encimov iz trebušne slinavke. Vsebuje različne prebavne encime, med njimi tudi amilazo, ki je pomembna za razgradnjo ogljikovih hidratov.

## 1.2 HIPOTEZE

Glede na namen naloge sva v svoji raziskovalni nalogi imela tri hipoteze.

V prvi hipotezi pričakujemo, da bodo prebavni encimi iz pripravka Pancreazim, ki se uporablja kot dodatek hrani pri psih in mačkah, delovali tudi pri najinih eksperimentih. To pomeni, da bo v njihovi prisotnosti škrob razpadel na glukozo.

V drugi hipotezi domnevamo, da bo glukosa iz škroba počasneje nastajala pri testeninah, kuhanih na zob kot pri razkuhanih testeninah, ko jim bova dodala encime trebušne slinavke.

V tretji hipotezi predvidevamo, da bo glukosa iz škroba počasneje nastajala pri polnozrnatih testeninah kot pri belih testeninah, ko jim bova dodala encime trebušne slinavke.

## 1.3 METODE RAZISKOVANJA

Izbira primerne metode raziskovanja je zelo pomembna, saj vodi do pridobitve informacij, ki omogočajo rešitev zastavljenega problema. Najprej sva si postavila raziskovalna vprašanja in ob njih preučevala različne pisne in spletne vire. Na osnovi novega znanja sva oblikovala tri hipoteze. Pri svojem delu sva uporabila laboratorijske metode dela, ki so vsebovale izvajanje laboratorijskih poskusov, merjenje mase, urejevanje in matematično obdelavo podatkov. Del poskusov sva opravila v učilnici za naravoslovje, drugi del pa v laboratoriju Srednje šole za kemijo, elektrotehniko in računalništvo Celje. Podrobneje bova svoje delo opisala v poglavju Opis raziskovalnega dela.



*Slika 2: Laboratorijsko delo v naravoslovni učilnici*

(Vir slike: osebni arhiv)

## 2 RAZGRADNJA OGLJIKOVIH HIDRATOV

Živali in človek dobijo potrebne snovi iz hrane, rastline pa si lahko same izdelajo hrano, to je organske snovi. V zelenih delih rastlin iz ogljikovega dioksida in vode nastaneta pri fotosintezi glukoza in kisik. Za proces je potrebna svetlobna energija (Graunar, 2016, str. 82). Fotosintezo poenostavljeno zapišemo z enačbo:



Hranilne snovi delimo na dve kategoriji. Makrohranila so tiste hranilne snovi, ki jih v telo vnašamo v večjih količinah. Sem uvrščamo vodo, ki predstavlja velik delež vseh živih organizmov. V vodi potekajo vse reakcije in voda predstavlja osnovno topilo v vseh živih celicah. Poleg vode so makrohranila še ogljikovi hidrati, beljakovine in maščobe. Uravnotežena prehrana mora vsebovati vsa mikrohranila. V nasprotju z makrohranili pa potrebujemo bistveno manj mikrohranil, med katere uvrščamo vitamine in minerale (Pucko, 2021, str. 53).

Zdrava prehrana mora biti uravnotežena, kar pomeni, da mora biti čim bolj pestra in primerna našim energijskim potrebam. Vsebovati mora ravno toliko kalorij, da bosta lahko hitrost presnove in stopnja aktivnosti posameznika uravnoteženi. Ali je človek debel, suh ali ravno pravi, je odvisno od razmerja med vnosom energije s hrano in dejansko porabo energije (Pucko, 2021, str. 52).

Ko govorimo o uravnoteženi prehrani, za večino ljudi velja, da naj polovico krožnika pri obroku zavzema zelenjava, četrtno beljakovinska živila in četrtno škrobna živila. Obrok naj vsebuje še skodelico solate, kozarec napitka ali svežega sadja. Vsak obrok mora vsebovati tudi neenergijsko bogate sestavine, kot so vitamini, minerali in vlaknine. Te spojine so potrebne le v majhnih količinah, so pa bistvene sestavine encimov in drugih molekul, ki sodelujejo v življenjskih procesih (Pucko, 2021, str. 54).

### 2.1 OGLJIKOVI HIDRATI

Ogljikovi hidrati so zelo razširjene spojine v naravi. To so različni sladkorji v sadju, medu, sladkorni pesi ali trsu. Žita, krompir in riž vsebujejo predvsem škrob. Glikogen je v mišicah in jetrih živali. Celuloza daje oporo stebлом rastlin, zunanje ogrodje členonožcev pa je iz hitina. Vse naštetih predstavnikov ogljikovih hidratov lahko razdelimo v tri skupine. Najpreprostejša skupina so monosaharidi, med katere spadajo glukoza, fruktoza in galaktoza. Druga skupina so oligosaharidi. Najbolj poznani med njimi so disaharidi s predstavniki saharozo, maltozo in laktozo, ki se nahaja v mleku. Iz največjih molekul so zgrajeni polisaharidi, kamor uvrščamo škrob, celulozo, glikogen in hitin (Graunar, 2016, str. 83).

V molekulah ogljikovih hidratov so vezani atomi kisika, ogljika in vodika. Njihovo ime pove, da je razmerje med vodikom in kisikom v molekulah 2:1, tako kot v molekulah vode. Vendar novejša definicija vključuje med ogljikove hidrate tudi spojine, kjer razmerje med vodikom in kisikom ni nujno 2:1, v molekulah pa sta lahko vezana tudi dušik in žveplo. Monosaharide oz. enostavne sladkorje razdelimo na heksoze (glukoza, fruktoza, galaktoza, manosa) in pentoze (riboza, ribuloza itd.). V črevesju se lahko absorbirajo le monosaharidi. Disaharidi so



sestavljani iz dveh monosaharidnih enot, ki sta povezani z etrsko vezjo. Polisaharidi so sestavljeni iz zelo velikega števila monosaharidnih enot, ki je običajno glukoza (<https://eucbeniki.sio.si/kemija9/1951/index.html>, 10. 12. 2021).

Tabela 1: Vrste ogljikovih hidratov

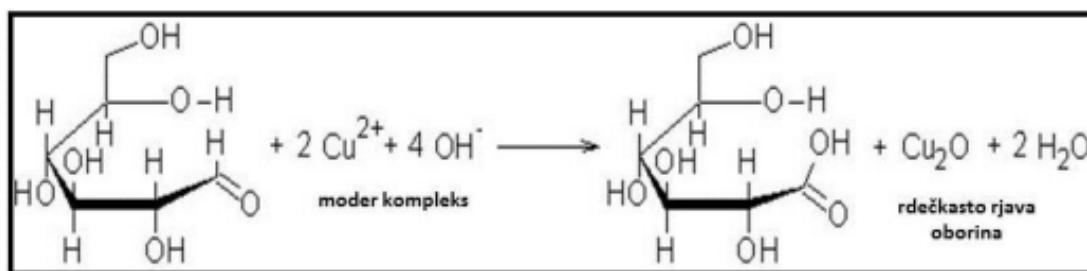
| OGLJIKOVI HIDRATI                                                        |                                                                      |                                                                                                                                   |
|--------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| MONOSAHARIDI                                                             | OLIGOSAHARIDI (DISAHARIDI)                                           | POLISAHARIDI                                                                                                                      |
| Glukoza v grozdju in medu, fruktoza sadju, galaktoza v mlečnih izdelkih. | Saharoza v sladkorni pesi, maltoza v kalečih žitih, laktoza v mleku. | Škrob v krompirju in rižu, celuloza v steblih in listih rastlin, glikogen v mišicah in jetrih živali, hitin v ogrođu členonožcev. |

(Vir: Graunar, 2016, str. 83)

Količino hranil v živilih določajo v ustanovah, ki se ukvarjajo z nadzorom živil. Poznamo tudi nekaj preprostih poskusov, s pomočjo katerih lahko dokažemo prisotnost hranil v živilih. Škrob lahko dokažemo s pomočjo jodovice. Epruveto s suspenzijo živila v vodi postavimo v vročo vodno kopel. Epruveto ohladimo in dodamo kapljico jodovice. Modro obarvanje je znak prisotnosti škroba. Glukoza v živilih dokažemo tako, da vzorcu v epruveti dodamo Fehlingov reagent in ga segrevamo na vodni kopeli. Če raztopina vsebuje glukozo, se pojavi rumena do rdečerjava oborina (Graunar, 2016, str. 80).

Fehlingov reagent dobimo z mešanjem raztopine Fehling I in Fehling II. Fehling I je raztopina bakrovega sulfata. Fehling II je raztopina kalijeve in natrijeve soli vinske kisline. Glukoza reducira ione  $\text{Cu}^{2+}$  do dibakrovega oksida  $\text{Cu}_2\text{O}$ , ki je oborina rdečerjave barve (<https://eucbeniki.sio.si/kemija9/1951/index4.html>, 21. 1. 2022).

Pri tem poteka kemijska sprememba, ki jo prikazuje spodnja reakcijska shema.



Slika 3: Enačba reakcije za Fehlingov test glukoze

(Vir: [https://www.fkkt.um.si/egradiva/faili/Biokemija in Molekularna biologija 2014.pdf](https://www.fkkt.um.si/egradiva/faili/Biokemija%20in%20Molekularna%20biologija%202014.pdf), 21. 1. 2022)

## 2.2 PREBAVA HRANE PRI ČLOVEKU

Kako poteka prebava hrane, smo se učili pri biologiji v 8. razredu. Da bi še bolj razumela, kaj se dogaja s prebavo ogljikovih hidratov v naših prebavilih, sva ta proces preučila iz učbenika Biologija človeka za gimnazije, katerega avtor je Peter Stušek.

V ustih se začne prebava hrane tako, da se mehansko zdrobi z žvečenjem, hkrati pa se začne tudi kemično razgrajevati. Pri mehanski obdelavi hrane sodelujejo žvekalne mišice in zobje. Med žvečenjem se hrana prepoji s slino, v kateri je prebavni encim amilaza, ki začne razgrajevati škrob v preproste sladkorje (Stušek, 2005, str. 191).

Po obdelavi hrane v ustih zdrsne grižljaj po žrelu v požiralnik. Hrano potiskajo v želodec po požiralniku močni valovi mišičnih krčenj, ki jih imenujemo peristaltika (Stušek, 2005, str. 192).

Grižljaji hrane, ki drsijo po požiralniku, se ustavijo v želodcu. Ta leži takoj pod trebušno prepono, torej zelo visoko v trebušni votlini. Prazen želodec ima prostornino od 50 do 100 mililitrov, med prehranjevanjem pa se počasi napolni do vsebine 1 litra. Želodec deluje na dva načina. Nekatere sestavine hrane razgradi kemično s pomočjo encimov, ki najbolje delujejo v kislem pH, in s pomočjo mehanskega gnetenja želodčne kaše. Želodčni sok, ki je glavni dejavnik pri razgrajevanju hrane, sestoji iz vode, razredčene klorovodikove kisline, sluzi in encimov. Sluz prekriva želodčno sluznico in preprečuje, da bi želodec prebavil samega sebe. Klorovodikova kislina in encimi pa so spojine, ki so nujno potrebne za nadaljnjo prebavo hrane. V želodcu deluje encim pepsin, ki razgrajuje peptidno vez in cepi beljakovine v manjše enote, peptide. Poleg tega encima se sprošča tudi encim, ki razgrajuje maščobe (Stušek, 2005, str. 193, 194).

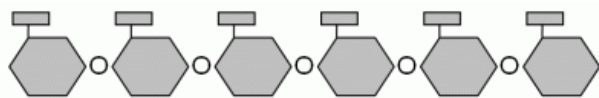
Iz želodca preide želodčna kaša v tanko črevo. Tanko črevo se začne tik pod spodnjo mišico zapiralko želodca, vratarjem, konča pa se v slepem črevesu, ki je začetek debelega črevesja. V tankem črevesju se prebava nadaljuje, začne pa se tudi vsrkavanje ali absorpcija prebavljenih molekul. V prebavilih je absorpcija aktivno ali pasivno prehajanje primerno razgrajenih hranilnih molekul iz prebavne votline v celice prebavila in iz teh v kri oz. mezgo ter od tod v različna tkiva oz. organe. Prvi odsek tankega črevesja je dvanajstnik. V dvanajstnik vodi izvodilo trebušne slinavke ter skupno izvodilo jeter in žolčnika. V črevesnem soku so prebavni encimi, ki razgrajujejo maščobe, beljakovine in ogljikove hidrate. Imenujejo se lipaza, tripsin in amilaza. Ti encimi delujejo najbolje v bazičnem okolju, zato morajo sokovi, ki se izločajo v notranjost črevesja, ustvariti ustrezen bazičen pH (Stušek, 2005, str. 196, 197).

Zadnji del prebavne cevi je debelo črevo, ki se konča z danko. Tanko črevo se z desne strani priključi na debelo črevo, ki se v eno smer povečuje v kratek žepast odsek, ki ga imenujemo slepo črevo, v drugo smer pa v dolgo zavito debelo črevo ali kolon. Dolgo je približno 1,5 m in debelejšje od tankega črevesa. V debelem črevesu je več milijard bakterij, ki živijo na račun preostanka hrane in tvorijo za telo pomembne vitamine K in B. S svojimi encimi razkrajajo ostanke hrane in jih spreminjajo v blato (Stušek, 2005, str. 205).

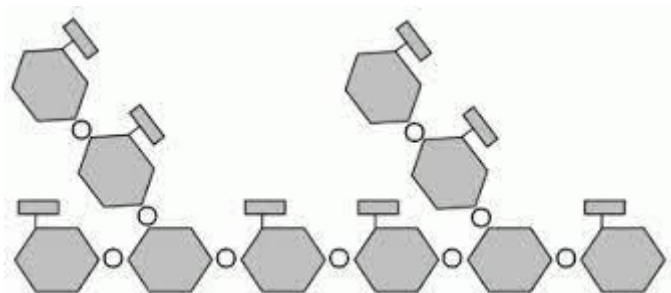
## 2.3 POMEN TOPLOTNE OBDELAVE TESTENIN PRI ZDRAVI PREHRANI

Prehrana ima zelo pomembno vlogo pri razvoju sladkorne bolezni. Preobilna prehrana ob nezadostni telesni aktivnosti hitro vodi v razvoj debelosti. Ta pa je lahko vzrok zgodnjega razvoja sladkorne bolezni in drugih motenj presnove. Preseneča dejstvo, da se priporočena prehrana za sladkorne bolnike ne razlikuje od sicer priporočene zdrave prehrane, ki naj bi jo užival vsakdo izmed nas. Pomembno je uživati mešano in ne premastno hrano, s primerno

vsebnostjo hranilnih snovi. Ogljikovi hidrati naj bi po priporočilih pokrivali okoli 60 % dnevnih energetskih potreb, maščobe največ 30 % in beljakovine 10 do 15 % energetskih potreb. Nujno je jesti dovolj presne in kuhane zelenjave ter presnega sadja, da zagotovimo zadosten vnos vitaminov, mineralov in zaščitnih snovi (antioksidantov). Hrana mora vsebovati tudi dovolj prehranskih vlaknin. To so ogljikovi hidrati, ki jih človeško telo s prebavnimi encimi ne more razgraditi, zato ugodno vplivajo na hitrost in potek prebave ter zmanjšujejo porast krvnega sladkorja po obroku. Nahajajo se v zelenjavi, sadju, polnozrnatih žitnih izdelkih, oreščkih in stročnicah. Poleg vnosa enostavnih sladkorjev, ki se nahajajo na primer v sladkarijah in sladkih pijačah, je pomembno prilagoditi tudi vnos sestavljenih ogljikovih hidratov. To so večje molekule, zgrajene iz več enostavnih sladkorjev. Sestavljene ogljikove hidrate najdemo v škrobnih živilih in stročnicah, na primer v kruhu, krompirju, rižu, testeninah in kašah. Bolj priporočljivo je uživati polnozrnat kruh namesto belega, manj kuhane testenine (»al dente«) namesto razkuhanih, kuhan krompir v oblicah namesto pireja (Skvarča, 2015, str. 19, 20).



Slika 4: Škrob v obliki amiloze



Slika 5: Škrob v obliki amilopektina

Vir slike 4 in 5: <http://www.kii3.ntf.uni-lj.si/e-kemija/file.php/1/output/polisaharidi/index.html>, 2. 2. 2022

Najpomembnejša faza naše prehrane se dogaja v tankem črevesju, kjer se hrana na največji možni površini razdrobi na najmanjše možne koščke. Naši prebavni encimi na tej zadnji etapi delajo kakor neznansko majcane škarje: hrano razgrajujejo tako dolgo, dokler je ne spravijo na najmanjši skupni imenovalec s celicami našega telesa. Namizni sladkor ne potrebuje posebne encimske obdelave, temveč primerno nasekljan že prispe v tanko črevo, tako da lahko kar takoj preide v kri. Toda prevelika količina čistega sladkorja naenkrat povzroči začasno zasladev krvi. Sladkor iz belega kruha encimi predelajo razmeroma hitro, pri polnozrnatem kruhu pa se to dogaja veliko počasneje. Tam je namreč sladkor zgrajen iz posebno kompliciranih sladkornih verig, ki jih morajo encimi marljivo razstavljati drugo za drugo. Polnozrnat kruh zato ni sladkorna bomba, temveč dobrodejno sladkorno skladišče. Na nenadno zasladev krvi se mora telo odzvati mnogo siloviteje, da bi čim prej spravilo vse skupaj spet v zdravo ravnovesje. Zato se takrat sprošča velika količina hormonov, predvsem inzulina, zaradi česar smo po taki končni reševalni akciji hitreje znova utrujeni. Sladkor, ki ga telo ne sprejme prehitro, pa je pomembna surovina, ki ga telo uporabi tako za energijo kot tudi za gradbene snovi (Enders, 2015, str. 52, 53).

### 3 OPIS RAZISKOVALNEGA DELA

V tem poglavju bova natančneje opisala svoje praktično delo, ki temelji na eksperimentih, zbiranju podatkov preko opazovanj in meritvah.

#### 3.1 PRVO LABORATORIJSKO DELO: ALI ENCIMI TREBUŠNE SLINAVKE IZ PREHRANSKEGA DOPOLNILA PANCREAZIM RAZGRAJUJEJO TESTENINE?

Prvo laboratorijsko delo je potekalo dne 24. 9. 2021 v učilnici za naravoslovje. Pri tem laboratorijskem delu sva želela ugotoviti, ali encimi trebušne slinavke prehranskega dodatka Pancreazim, ki sva jih kupila v veterini Tačka, razgrajujejo škrob v testeninah v glukozo.



Slika 6: Prehranski dodatek Pancreazim in njegova deklaracija

(Vir slike: osebni arhiv)

Za laboratorijsko delo sva si izbrala dva vzorca testenin:

- polnozrnate testenine Barilla Integrale (sušene testenine iz polnozrnatega pšeničnega zdroba),
- testenine Barilla Penne Rigate iz bele moke (sušene testenine iz pšeničnega zdroba durum).



Slika 7: Vzorca testenin iz bele in polnozrnate moke

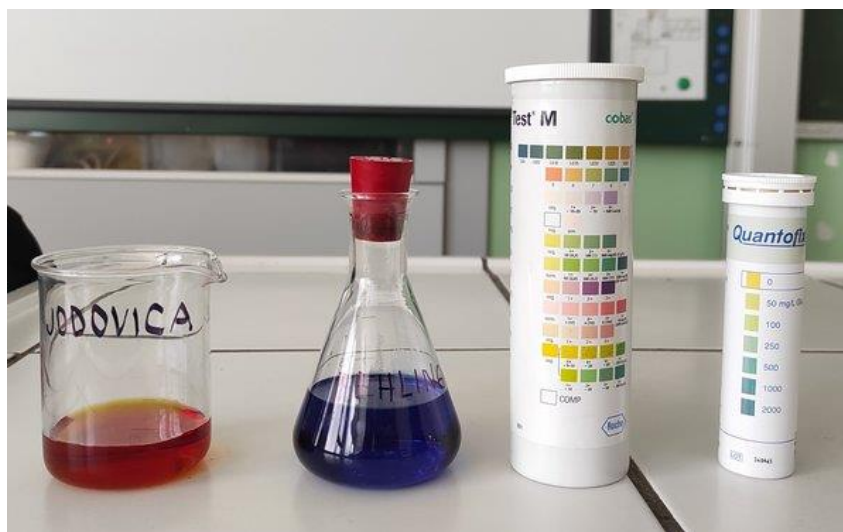
(Vir slike: osebni arhiv)

Za eksperimentalno delo sva potrebovala naslednje pripomočke:

- dva električna grelnika,
- dve posodi za kuhanje testenin,
- sekljalnik za zelenjavo,
- čaše,
- epruvete,
- stojala za epruvete,
- žličke,
- steklene palčke,
- tehtnico,
- tehtne lističe,
- pasterizator,
- termometer in
- uro.

Škrob in glukozo sva dokazovala z naslednjimi reagenti in glukoznimi testi:

- jodovica,
- Fehlingov reagent,
- glukozni test Quantofix,
- Combur<sup>10</sup>Test M za glukozo in druge sestavine v urinu.



Slika 8: Reagenti in testi za dokaz škroba in glukoze

(Vir slike: osebni arhiv)

Najprej sva si pripravila dva grelnika in dve posodi z vodo. Posodi z vodo sva postavila na grelnika, da je voda zavrela. Ko je voda zavrela, sva v prvo posodo vsula bele testenine, v drugo posodo pa polnozrnate testenine. Polnozrnate testenine sva kuhala osem minut in jih nato polovico vzela iz posode, drugo polovico sva pustila kuhati še dvanajst minut. Čas kuhanja sva izbrala glede na priporočilo na embalaži. Priporočilo na embalaži je bilo devet minut, da pa sva dobila na zob kuhane polnozrnate testenine, sva jih kuhala eno minuto manj. Bele testenine sva kuhala deset minut in jih nato polovico vzela iz posode, drugo polovico sva kuhala še deset minut. Tudi tukaj sva čas kuhanja izbrala glede na priporočilo na embalaži, ki je bilo enajst minut, in tudi tukaj sva jih kuhala eno minuto manj, da so bili kuhani na zob.



*Slika 9: Kuhanje testenin*

(Vir slike: osebni arhiv)

Dobila sva štiri vzorce:

- polnozrnate testenine, kuhane na zob,
- testenine iz bele moke, kuhane na zob,
- razkuhane polnozrnate testenine,
- razkuhane testenine iz bele moke.

Vse štiri vzorce sva nato zmlela s sekljalnikom za zelenjavo v drobne delce, da bi simulirala mehansko prebavo v ustni votlini. Nato sva vsak vzorec dala v označeno čašo. Del vsakega vzorca sva prenesla v tri epruvete in jih razredčila z destilirano vodo. V prvi epruveti sva z jodovico dokazovala prisotnost škroba. V drugi epruveti sva s pomočjo Fehlingovega reagenta raziskovala prisotnost glukoze. V zadnji epruveti pa sva z glukoznimi testi merila količino glukoze.

Vsak vzorec testenin sva stehtala in ga prenesla v novo označeno čašo. V vsako čašo sva dala 5 g vzorca testenin, 50 ml destilirane vode in 5 g prebavnih encimov trebušne slinavke (Pancreazim). Nato sva vse vzorce postavila v pasterizator, v njem sva temperaturo vode nastavila na 40 °C. To temperaturo sva izbrala na podlagi notranje telesne temperature, da bi imeli encimi enake pogoje kot v tankem črevesju. Čas segrevanja vzorcev je bil 20 in 40 minut. Po 20 minutah segrevanja sva del vzorcev vzela iz pasterizatorja in ponovno preverjala prisotnost škroba in glukoze v vzorcih. Z glukoznimi testi sva poskušala kvantitativno oceniti količino glukoze. Enako sva nato naredila tudi z vzorci, ki so bili v pasterizatorju 40 minut. Za ugotavljanje prisotnosti škroba v vzorcih sva uporabljala jodovico. Ali se je škrob po delovanju encimov razgradil v glukozo, sva ugotavljala s Fehlingovim reagentom. Držala sva se napotkov iz delovnega zvezka Kemija danes 2.

Postopek za Fehlingov test je potekal na naslednji način. Odpipetirala sva 2 ml vzorca in ga prenesla v označeno epruveto. Dodala sva 4 ml Fehlingovega reagenta. Epruveto sva za nekaj minut postavila v vročo vodno kopel. Ko se je pojavila rdečerjava oborina, sva epruveto zaprla in jo postavila v stojalo (povzeto po navodilu v DZ Kemija 2, str. 53).



### 3.2 DRUGO LABORATORIJSKO DELO: KAKO NARAŠČA KOLIČINA GLUKOZE V 20 MINUTAH DELOVANJA PREBAVNIH ENCIMOV?

Drugo laboratorijsko delo je potekalo dne 22. 10. 2021 v učilnici za naravoslovje. Za laboratorijsko delo sva potrebovala enak kemijski pribor kot pri prvem laboratorijskem delu, le da sva pri tem laboratorijskem delu uporabila še pipeto in žogico za pipetiranje. Ker sva pri prvem laboratorijskem delu ugotovila, da encimi trebušne slinavke Pancreazim delujejo že v krajšem času, sva želela ugotoviti, kako narašča količina glukoze pri razgradnji škroba v prvih dvajsetih minutah.

Najprej sva si pripravila dva grelnika in dve posodi z vodo. Posodi z vodo sva postavila na grelnika, da je voda zavrela. Ko je voda zavrela, sva v prvo posodo vsula bele testenine, v drugo posodo pa polnozrnate testenine. Polnozrnate testenine sva kuhala osem minut in jih nato polovico vzela iz posode, drugo polovico sva pustila kuhati še dvanajst minut. Bele testenine sva kuhala deset minut in jih nato polovico vzela iz posode, drugo polovico sva kuhala še deset minut. Tako kot pri prvem laboratorijskem delu sva čas kuhanja izbrala na podlagi priporočila na embalaži.

Tudi tokrat sva dobila štiri vzorce:

- polnozrnate testenine, kuhane na zob,
- testenine iz bele moke, kuhane na zob,
- razkuhane polnozrnate testenine,
- razkuhane testenine iz bele moke.

Pri drugem laboratorijskem delu sva za razliko od prvega laboratorijskega dela vzorce ohladila in jih nato z močnejšim sekljalnikom zmlela bolj na grobo. Nato sva vsak vzorec dala v označeno čašo. Zatem sva v vsako od štirih označenih čaš dala 5 g testenin iz vsakega od štirih vzorcev. Vsakemu vzorcu sva dodala 5 g prebavnih encimov Pancreazim in 100 ml destilirane vode, ki sva jo odmerila z merilnim valjem.

Nato sva vse štiri čaše postavila v pasterizator in temperaturo vode v njem nastavila na 40 °C iz istih razlogov kot pri prvem laboratorijskem delu. Pri drugem laboratorijskem delu sva spremenila čas segrevanja vzorcev v pasterizatorju, in sicer prvi vzorec sva iz vsake čaše odvzela po petih minutah, drugi vzorec po 10 minutah, tretji vzorec po 15 minutah in četrti vzorec po 20 minutah segrevanja v vodni kopeli.

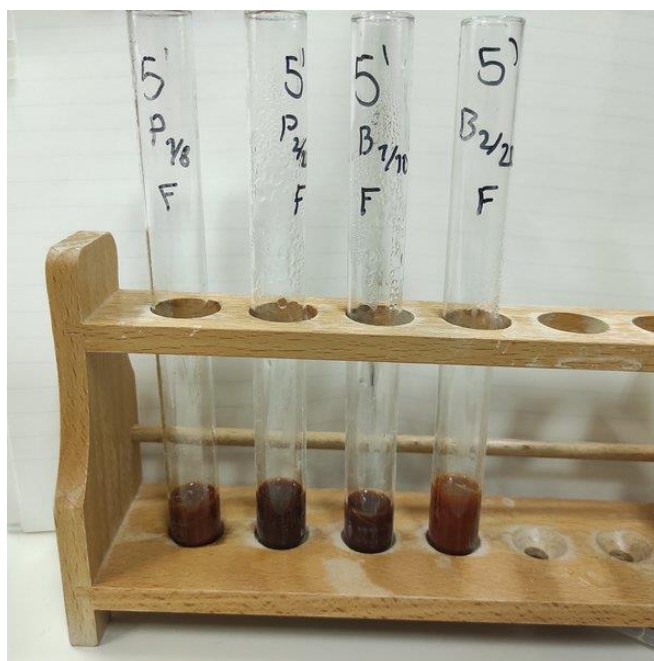


Slika 10: Vzorci v pasterizatorju

V odvzetih vzorcih, ki jih je bilo 16, sva z jodovico ugotavljala prisotnost škroba, s Fehlingovim reagentom prisotnost glukoze, z glukoznim testom pa sva ocenjevala količino nastale glukoze.

### 3.3 TRETJE LABORATORIJSKO DELO: KAKO SE SPREMINJA MASA OBORINE, KI NASTANE S FEHLINGOVIM REAGENTOM, V 20 MINUTAH DELOVANJA PREBAVNIH ENCIMOV?

Celoten zgoraj opisani postopek sva še dvakrat ponovila na enak način, da bi zagotovila ponovljivost poskusa. Za nadaljnje delo je bilo pomembnih dvakrat po 16 vzorcev epruvet, v katerih je nastala rdečerja oborina bakrovega oksida,  $\text{Cu}_2\text{O}$ , ki je nastal pri reakciji glukoze s Fehlingovim reagentom. Zanimalo naju je, ali se, glede na čas izpostavljenosti prebavnim encimom trebušne slinavke, količina glukoze razlikuje. Ugotavljala sva, kako se glukoza spreminja pri prebavi »al dente« kuhanih testenin v primerjavi z razkuhanimi oziroma pri prebavi polnozrnatih testenin v primerjavi s testeninami iz bele moke. Za cilj sva si zadala, da rjavo oborino  $\text{Cu}_2\text{O}$  iz vsakega vzorca epruvete stehtava.



Slika 11: Oborina bakrovega (I) oksida, ki je nastala s Fehlingovim reagentom po petih minutah delovanja encimov.

(Vir slike: osebni arhiv)

Postopek smo ob pomoči profesorja Sebastjana Klovarka zasnovali na Srednji šoli za kemijo, elektrotehniko in računalništvo Celje.

Pri postopku sva najprej z deionizirano vodo vsebino epruvet z bakrovim (I) oksidom sprala v označene in stehtane čaše. Nato sva jih postavila na magnetno mešalo z gretjem in jih segrevala toliko časa, da je skoraj vsa voda izhlapela. Pazila sva, da sva čaše z magnetnega mešala z gretjem odstranila, še preden je začelo brizgati iz njih. Nato sva čaše za dva dni postavila v sušilnik na temperaturo  $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ , da je izhlapela še preostala voda. Ko je v čaši ostal le še bakrov (I) oksid, jih je bilo potrebno prestaviti v eksikator, da bi preprečili vezavo vlage ob ohlajanju. Ko sva ponovno prišla na Srednjo šolo za kemijo, elektrotehniko in računalništvo, sva čaše tik pred tehtanjem vzela iz eksikatorja in jih stehtala na analitski tehtnici. Nato sva jih ponovno za dve uri postavila v sušilnik, jih ohladila in ponovno stehtala. Ugotovila sva, da se masa čaše z vzorcem ni spremenila, kar sva štela za veljaven rezultat. Od mase vzorca in čaše, ki sva jo stehtala, sva na koncu odštela maso čaš ter tako dobila maso oborine bakrovega (I) oksida.



### 3.4 ČETRTO LABORATORIJSKO DELO: KAKO POVEČATI NATANČNOST?

Ker so bili rezultati poskusov tretjega eksperimentalnega dela povsem neuporabni, sva se vprašala, kaj še lahko storiva, da bi potrdila svoje hipoteze. Ob vsem najinem prizadevanju se je pojavila še ena težava, in sicer da so imeli prebavni encimi trebušne slinavke Pancreazim pozitiven rezultat na Fehlingov test. Vedela sva, da razgradnjo škroba omogoča encim amilaza iz Pancreazima. Najprej sva želela prebavne encime Pancreazim zamenjati z amilazo, ko pa sva v spletni trgovini Micro Polo ugotovila, kako vrtoglavo visoka je cena čiste amilaze, sva to zamisel opustila. Konec koncev naju zanimajo spremembe in ne natančna količina glukoze, ki nastane pri razgradnji škroba s pomočjo prebavnih encimov. Zanima naju, ali pri razgradnji v razkuhanih testeninah nastane več glukoze, ki jo dokažemo s Fehlingovim reagentom, kot v testeninah, kuhanih na zob. To lahko ugotoviva z merjenjem mase rjave oborine bakrovega (I) oksida, ki pri Fehlingovem testu nastane v epruveti. Prav tako naju zanima, ali pri razgradnji testenin iz bele moke s prebavnimi encimi nastane več glukoze kot pri razgradnji polnozrnatih testenin. Z dodatkom enake količine encimov trebušne slinavke Pancreazim v posamezne vzorce to ne bi smelo vplivati na končne rezultate, do katerih sva želela priti. Nove poskuse sva izvajala v mesecu decembru 2021.

Pri četrtem laboratorijskem delu sva imela tri vzorce testenin:

- polnozrnate domače testenine, ki smo jih pripravili doma;
- polnozrnate testenine Barilla iz trgovine;
- testenine Barilla iz bele moke iz trgovine.

Za vsako vrsto testenin sva pripravila en vzorec na zob kuhanih makaronov in en vzorec razkuhanih makaronov. Da bi bile testenine res »al dente«, sva se odločila, da jih kuhava tri minute manj od priporočenega časa. V treh lončkih sva izbrane testenine kuhala na istem kuhalniku. Vse ostalo sva naredila tako kot pri prvem laboratorijskem delu. Sprememba je bila le ta, da sva tokrat snovi v šoli tehtala s tehtnico na tri decimalke natančno. Ko sva petim gramom vseh vzorcev (5,000 g) dodala enako maso prebavnih encimov Pancreazim (5,000 g) in 50 ml destilirane vode, sva vsebino premešala. Od vsakega vzorca sva odvzela nekaj ml tekočine, jo filtrirala, odmerila 2 ml in jo prenesla v označeno epruveto. Dvema ml tekočine sva dodala 4 ml Fehlingovega reagenta in vsebino segrevala na vodni kopeli. V vseh vzorcih je nastala oborina bakrovega (I) oksida. Te oborine so nastale iz neznanih dodatkov sladkorjev prehranskemu dodatku Pancreazumu. Epruvete sva zamašila z zamaški in jih postavila v stojalo.

Nato sva vzorce različnih testenin, pripravljenih na zob in razkuhanih, skupaj s prebavnimi encimi za 30 minut vstavila v vodno kopel v pasterizatorju, v katerem sva nastavila temperaturo na 40 °C. Ko sva po 30 minutah vzorce vzela iz pasterizatorja, sva iz vsake čaše šestih vrst vzorcev odvzela nekaj mililitrov tekočine, jo filtrirala in odmerila 2 ml, ki sva jih prenesla v označeno epruveto. V vsako epruveto sva dodala 4 ml Fehlingovega reagenta in jo segrevala na vodni kopeli, dokler ni nastala rdečerjava oborina bakrovega (I) oksida. Nato sva epruveto odvzela iz vodne kopeli, jo zamašila z zamaškom in postavila v stojalo.

Celoten poskus sva še enkrat ponovila in dobila dva sklopa vzorcev, kar je zneslo skupaj 24 epruvet z bakrovim (I) oksidom. Prvi sklop poskusov sva označila s črko A na epruvetah, drugi sklop pa s črko B. Epruvete sva označila z okrajšavami, ki so opisovale vrsto vzorca:

- Pa: polnozrnate »al dente« kuhane testenine + encimi na začetku;

- Ba: testenine iz bele moke, »al dente« + encimi na začetku;
  - PDa: polnozrnate domače »al dente« kuhane testenine + encimi na začetku;
  - Pr: polnozrnate razkuhane testenine + encimi na začetku;
  - Br: testenine iz bele moke, razkuhane + encimi na začetku;
  - PDr: polnozrnate domače razkuhane testenine + encimi na začetku.
- 
- Pa, 30: polnozrnate »al dente« kuhane testenine + 30 minut delovanja encimov;
  - Ba, 30: testenine iz bele moke, »al dente« + 30 minut delovanja encimov;
  - PDa, 30: polnozrnate domače »al dente« kuhane testenine + 30 minut delovanja encimov;
  - Pr, 30: polnozrnate razkuhane testenine + 30 minut delovanja encimov;
  - Br, 30: testenine iz bele moke, razkuhane + 30 minut delovanja encimov;
  - PDr, 30: polnozrnate domače razkuhane testenine + 30 minut delovanja encimov.

Štiriindvajset skrbno zaprtih epruvet z bakrovim (I) oksidom, ki je nastal pri reakciji glukoze s Fehlingovim reagentom v vroči vodni kopeli, sva odnesla v laboratorij Srednje šole za kemijo, elektrotehniko in računalništvo, kjer sva bila dogovorjena z gospodom Klovarjem, ki naju je usmerjal pri delu. Najprej sva s precizno analitsko tehniko izmerila maso označenih čaš, v katere sva kasneje prelila vzorce iz epruvet. S segrevanjem na magnetnem mešalu sva dosegla izparevanje topila, vendar ne do konca.



*Slika 12: Segrevanje vzorcev na magnetnem mešalu*

(Vir slike: osebni arhiv)

Tik preden je vsa voda iz čaš izhlapela, sva čaše vzela s kuhalnika in jih za dva dni prestavila v sušilnik na temperaturo 150 °C. Posušene vzorce sva nato prestavila v eksikator, da so se ohladili. Ohlajene sva stehtala v analitski tehtnici. Nato sva jih še za nekaj časa prestavila v sušilnik in jih ponovno stehtala. Če masa ni odstopala od prve meritve, sva jo zabeležila kot končni rezultat.

## 4 REZULTATI

V četrtem poglavju bova predstavila svoja opažanja in meritve, ki so nastale v sklopu laboratorijskega dela na domači šoli in v laboratoriju Srednje šole za kemijo, elektrotehniko in računalništvo.

### 4.1 REZULTATI 1. LABORATORIJSKEGA DELA

Za kontrolo sva v najinih vzorcih pred dodatkom prebavnih encimov trebušne slinavke ugotavljala prisotnost škroba in glukoze. S pomočjo jodovice sva v vseh štirih vzorcih opazila pozitivno reakcijo na škrob, saj se je vsebina epruvete obarvala modrovijolično. S pomočjo Fehlingovega reagenta sva ugotovila, da na začetku glukoza v vzorcih ni prisotna, kar sva razbrala tudi z lističev glukoznega testa, ki niso spremenili barve. Opažanja sva zbrala v tabeli 2.

Tabela 2: Rezultati 1. laboratorijskega dela pred delovanjem encimov

| Reagenti                         | Test z jodovico                                     | Fehlingov test                                                        | Glukozni testi                 |
|----------------------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|--------------------------------|
|                                  | Dokaz prisotnosti škroba (modrovijolično obarvanje) | Dokaz prisotnosti glukoze (rdečerjava oborina $\text{Cu}_2\text{O}$ ) | Ocena količine glukoze (mg/dL) |
| Polnozrnat testenine na zob      | Da                                                  | Ne                                                                    | 0                              |
| Testenine iz bele moke na zob    | Da                                                  | Ne                                                                    | 0                              |
| Razkuhane polnozrnat testenine   | Da                                                  | Ne                                                                    | 0                              |
| Razkuhane testenine iz bele moke | Da                                                  | Ne                                                                    | 0                              |



Slika 13: Dokaz prisotnosti škroba v vseh vzorcih pred dodatkom encimov

(vir slike: osebni arhiv)

Rezultati 1. laboratorijskega dela po 20 minutah delovanju encimov trebušne slinavke so pokazali, da vzorci še vedno vsebujejo veliko škroba, test s Fehlingovim reagentom pa je pokazal pozitiven rezultat na glukozo, saj je v vseh štirih epruvetah, ki sva jih vzela iz vodne kopeli, nastala rdečerjava oborina  $\text{Cu}_2\text{O}$ . S testnimi lističi za glukozo sva ocenila, da je je v vseh štirih vzorcih 1000 mg/dL. Rezultate opažanj sva predstavila v tabeli 3.

*Tabela 3: Rezultati 1. laboratorijskega dela po 20 minutah delovanja encimov*

| Reagenti                         | Test z jodovico                                     | Fehlingov test                                                        | Glukozni testi                 |
|----------------------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|--------------------------------|
|                                  | Dokaz prisotnosti škroba (modrovijolično obarvanje) | Dokaz prisotnosti glukoze (rdečerjava oborina $\text{Cu}_2\text{O}$ ) | Ocena količine glukoze (mg/dL) |
| Polnozrnate testenine na zob     | Da                                                  | Da                                                                    | 1000                           |
| Testenine iz bele moke na zob    | Da                                                  | Da                                                                    | 1000                           |
| Razkuhane polnozrnate testenine  | Da                                                  | Da                                                                    | 1000                           |
| Razkuhane testenine iz bele moke | Da                                                  | Da                                                                    | 1000                           |

Rezultati 1. laboratorijskega dela po 40 minutah delovanja encimov trebušne slinavke so bili zelo podobni rezultatom po 20 minutah delovanja. Prikazuje jih tabela 4.

*Tabela 4: Rezultati 1. laboratorijskega dela po 40 minutah delovanja encimov*

| Reagenti                         | Test z jodovico                                     | Fehlingov test                                                        | Glukozni testi                 |
|----------------------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|--------------------------------|
|                                  | Dokaz prisotnosti škroba (modrovijolično obarvanje) | Dokaz prisotnosti glukoze (rdečerjava oborina $\text{Cu}_2\text{O}$ ) | Ocena količine glukoze (mg/dL) |
| Polnozrnate testenine na zob     | Da                                                  | Da                                                                    | 1000                           |
| Testenine iz bele moke na zob    | Da                                                  | Da                                                                    | 1000                           |
| Razkuhane polnozrnate testenine  | Da                                                  | Da                                                                    | 1000                           |
| Razkuhane testenine iz bele moke | Da                                                  | Da                                                                    | 1000                           |

## 4.2 REZULTATI 2. LABORATORIJSKEGA DELA

Po analizi rezultatov prvega laboratorijskega dela sva ugotovila, da encimi trebušne slinavke Pancreazim, ki sva jih kupila v lekarni za živali, delujejo. Delovali so hitreje, kot sva sprva

pričakovala. Zato sva skrajšala čas delovanja encimov in vzorce za analizo škroba in glukoze odvezemala na 5, 10, 15 in 20 minut.

Rezultati 2. laboratorijskega dela po petih minutah delovanja encimov so pokazali, da vzorci še vedno vsebujejo veliko škroba, s Fehlingovim reagentom pa sva ugotovila, da je prisotna tudi glukoza. S pomočjo glukoznega testa sva ocenila, da je je okoli 50 mg/dL. Razlik med vzorci ni bilo. Rezultate sva zbrala v tabeli 5.

*Tabela 5: Rezultati 2. laboratorijskega dela po petih minutah delovanja encimov*

| Reagenti                         | Test z jodovico                                     | Fehlingov test                                                   | Glukozni testi                 |
|----------------------------------|-----------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|--------------------------------|
|                                  | Dokaz prisotnosti škroba (modrovijolično obarvanje) | Dokaz prisotnosti glukoze (rdečerjava oborina Cu <sub>2</sub> O) | Ocena količine glukoze (mg/dL) |
| Polnozrnat testenine na zob      | Da (bolj intenzivna barva)                          | Da                                                               | 50                             |
| Testenine iz bele moke na zob    | Da (bolj intenzivna barva)                          | Da                                                               | 50                             |
| Razkuhane polnozrnat testenine   | Da                                                  | Da                                                               | 50                             |
| Razkuhane testenine iz bele moke | Da                                                  | Da                                                               | 50                             |

Rezultati 2. laboratorijskega dela po 10 minutah delovanja encimov so bili podobni kot pri petminutnem delovanju encimov, le da sva ocenila nekoliko večje količine glukoze. Opazanja in ocenjena vrednost količine glukoze v vzorcih so zbrani v tabeli 6. Videti je bilo, da je količina glukoze v razkuhanih testeninah iz bele moke nekoliko višja.

*Tabela 6: Rezultati 2. laboratorijskega dela po 10 minutah delovanja encimov*

| Reagenti                         | Test z jodovico                                     | Fehlingov test                                                   | Glukozni testi                 |
|----------------------------------|-----------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|--------------------------------|
|                                  | Dokaz prisotnosti škroba (modrovijolično obarvanje) | Dokaz prisotnosti glukoze (rdečerjava oborina Cu <sub>2</sub> O) | Ocena količine glukoze (mg/dL) |
| Polnozrnat testenine na zob      | Da (bolj intenzivna barva)                          | Da                                                               | 50/100                         |
| Testenine iz bele moke na zob    | Da                                                  | Da                                                               | 50/100                         |
| Razkuhane polnozrnat testenine   | Da (bolj intenzivna barva)                          | Da                                                               | 50/100                         |
| Razkuhane testenine iz bele moke | Da                                                  | Da                                                               | 100                            |

Rezultati 2. laboratorijskega dela po 15 minutah delovanja encimov trebušne slinavke so za škrob in glukozo, katerih prisotnost sva ugotavljala s Fehlingovim reagentom, podobni kot pri krajšem času delovanja encimov. Ocenila sva, da je količina glukoze narasla na 100 mg/dL. Opazanja in rezultati so zbrani v tabeli 7.

Tabela 7: Rezultati 2. laboratorijskega dela po 15 minutah delovanja encimov

| Reagenti                         | Test z jodovico                                     | Fehlingov test                                                   | Glukozni testi                 |
|----------------------------------|-----------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|--------------------------------|
|                                  | Dokaz prisotnosti škroba (modrovijolično obarvanje) | Dokaz prisotnosti glukoze (rdečerjava oborina Cu <sub>2</sub> O) | Ocena količine glukoze (mg/dL) |
| Polnozrnate testenine na zob     | Da                                                  | Da                                                               | 100                            |
| Testenine iz bele moke na zob    | Da                                                  | Da                                                               | 100                            |
| Razkuhane polnozrnate testenine  | Da                                                  | Da                                                               | 100                            |
| Razkuhane testenine iz bele moke | Da                                                  | Da                                                               | 100                            |

Rezultati 2. laboratorijskega dela po 20 minutah delovanja encimov so za test z jodovico in Fehlingov test podobni prejšnjim. S pomočjo lističev z glukoznega testa sva v vseh štirih vzorcih ocenila povečanje količine glukoze. Opazanja in rezultate sva zbrala v tabeli 8.

Tabela 8: Rezultati 2. laboratorijskega dela po 20 minutah delovanja encimov

| Reagenti                         | Test z jodovico                                     | Fehlingov test                                                   | Glukozni testi                 |
|----------------------------------|-----------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|--------------------------------|
|                                  | Dokaz prisotnosti škroba (modrovijolično obarvanje) | Dokaz prisotnosti glukoze (rdečerjava oborina Cu <sub>2</sub> O) | Ocena količine glukoze (mg/dL) |
| Polnozrnate testenine na zob     | Da                                                  | Da                                                               | 100/300                        |
| Testenine iz bele moke na zob    | Da (bolj intenzivna barva)                          | Da                                                               | 100/300                        |
| Razkuhane polnozrnate testenine  | Da                                                  | Da                                                               | 100/300                        |
| Razkuhane testenine iz bele moke | Da (bolj intenzivna barva)                          | Da                                                               | 100/300                        |

#### 4.3 MASA OBORINE Cu<sub>2</sub>O GLEDE NA ČAS DELOVANJA ENCIMOV TREBUŠNE SLINAVKE PANCREAZIM NA TESTENINE

V tabelah 9 in 10 sva zbrala podatke o masah bakrovega (I) oksida, ki je nastal po reakciji Fehlingovega reagenta na glukozo v različnih vzorcih testenin (polnozrnatih in iz bele moke, pripravljenih na zob in razkuhanih), ob različno dolgem času delovanja encimov trebušne slinavke Pancreazim. Pričakovala sva, da bo masa bakrovega (I) oksida naraščala s časom



delovanja prebavnih encimov na škrob v testeninah. Iz tabel 9 in 10 je razvidno, da meritve mas ne sledijo najinim pričakovanjem.

*Tabela 9: Mase oborin  $\text{Cu}_2\text{O}$  pri prvem sklopu poskusov v odvisnosti od časa delovanja prebavnih encimov*

| A poskus | Čas delovanja encimov (min) | Masa čaše (g) | Masa čaše + masa oborine (g) | Masa oborine bakrovega (I) oksida (g) |
|----------|-----------------------------|---------------|------------------------------|---------------------------------------|
| Pa       | 5                           | ni podatka    | 19,6922                      | ni podatka                            |
| Pa       | 10                          | 19,3788       | 20,2493                      | 0,8705                                |
| Pa       | 15                          | 19,0571       | 19,8903                      | 0,8332                                |
| Pa       | 20                          | 18,6263       | 19,559                       | 0,9327                                |
|          |                             |               |                              |                                       |
| Pr       | 5                           | 19,1645       | 20,0703                      | 0,9058                                |
| Pr       | 10                          | 18,8642       | 19,7364                      | 0,8722                                |
| Pr       | 15                          | 18,9437       | 19,7834                      | 0,8397                                |
| Pr       | 20                          | 19,1356       | 20,0193                      | 0,8834                                |
|          |                             |               |                              |                                       |
| Ba       | 5                           | 18,7669       | 19,5928                      | 0,8259                                |
| Ba       | 10                          | 21,1436       | 22,0042                      | 0,8606                                |
| Ba       | 15                          | 18,7633       | 19,5822                      | 0,8189                                |
| Ba       | 20                          | 19,1432       | 20,0219                      | 0,8787                                |
|          |                             |               |                              |                                       |
| Br       | 5                           | 21,4549       | 22,3246                      | 0,8697                                |
| Br       | 10                          | 18,6134       | 19,5568                      | 0,9434                                |
| Br       | 15                          | 21,3613       | 22,2319                      | 0,8706                                |
| Br       | 20                          | 20,9659       | 21,8585                      | 0,8926                                |

**Legenda k tabeli 9:**

Pa: polnozrnat testenine Barilla, kuhane na zob,

Pr: razkuhane polnozrnat testenine Barilla,

Ba: Barilla testenine iz bele moke, kuhane na zob,

Br: razkuhane Barilla testenine iz bele moke.



*Slika 14: Masa oborine bakrovega (I) oksida sva stehtala v tej analitski tehtnici.*

(vir slike: osebni arhiv)

Iz meritev ni možno razbrati, da se na zob kuhane testenine počasneje razgrajujejo s pomočjo encimov kot razkuhane. Prav tako ni možno razbrati, da se polnozrnate testenine počasneje razgrajujejo kot testenine iz bele moke. Spoznala sva, da bova morala vse eksperimente izvesti še bolj natančno še enkrat. Sklenila sva, da bova imela manj spremenljivk in da bova ugotavljala količino nastalega bakrovega (I) oksida le na začetku in na koncu po 30 minutah delovanja encimov.

*Tabela 10: Mase oborin Cu<sub>2</sub>O pri drugem sklopu poskusov v odvisnosti od časa delovanja prebavnih encimov*

| B poskus | Čas delovanja encimov (min) | Masa čaše (g) | Masa čaše + masa oborine (g) | Masa oborine bakrovega (I) oksida (g) |
|----------|-----------------------------|---------------|------------------------------|---------------------------------------|
| Pa       | 5                           | 19,2429       | 20,1911                      | 0,9482                                |
| Pa       | 10                          | 18,6631       | 19,6222                      | 0,9591                                |
| Pa       | 15                          | 19,0141       | 19,9685                      | 0,9544                                |
| Pa       | 20                          | 18,2837       | 19,1661                      | 0,8824                                |
|          |                             |               |                              |                                       |
| Pr       | 5                           | 20,7983       | 21,7351                      | 0,9413                                |
| Pr       | 10                          | 18,7589       | 19,6838                      | 0,9249                                |
| Pr       | 15                          | 19,1819       | 20,1175                      | 0,9356                                |
| Pr       | 20                          | 21,3611       | 22,2714                      | 0,9103                                |
|          |                             |               |                              |                                       |
| Ba       | 5                           | 18,7678       | 19,7005                      | 0,9327                                |
| Ba       | 10                          | 17,496        | 18,3848                      | 0,8888                                |
| Ba       | 15                          | 19,2919       | 20,2108                      | 0,9489                                |
| Ba       | 20                          | 19,158        | 20,0599                      | 0,9019                                |
|          |                             |               |                              |                                       |
| Br       | 5                           | 19,4157       | 20,3362                      | 0,9205                                |
| Br       | 10                          | 21,2592       | 22,2131                      | 0,9602                                |
| Br       | 15                          | 18,2491       | 19,1896                      | 0,9405                                |
| Br       | 20                          | 21,0165       | 21,9292                      | 0,9127                                |

**Legenda k tabeli 10:**

Pa: polnozrnate testenine Barilla, kuhane na zob,  
 Pr: razkuhane polnozrnate testenine Barilla,  
 Ba: Barilla testenine iz bele moke, kuhane na zob,  
 Br: razkuhane Barilla testenine iz bele moke.

#### 4.4 MASA OBORINE Cu<sub>2</sub>O NA ZAČETKU DELOVANJA ENCIMOV NA TESTENINE IN PO 30 MINUTAH DELOVANJA

V tabelah 11 in 12 sva zbrala podatke o masah bakrovega (I) oksida, ki je nastal po reakciji Fehlingovega reagenta na glukozo v različnih vzorcih testenin (kupljenih polnozrnatih, doma narejenih polnozrnatih in belih, pripravljenih na zob in razkuhanih) na začetku pred segrevanjem v vodni kopeli in po 30 minutah delovanja encimov trebušne slinavke Pancreazim. Pričakovala sva, da bo masa bakrovega (I) oksida naraščala s časom delovanja

prebavnih encimov na škrob v testeninah. Iz tabel 11 in 12 je razvidno, da meritve mase sledijo najinim pričakovanjem.

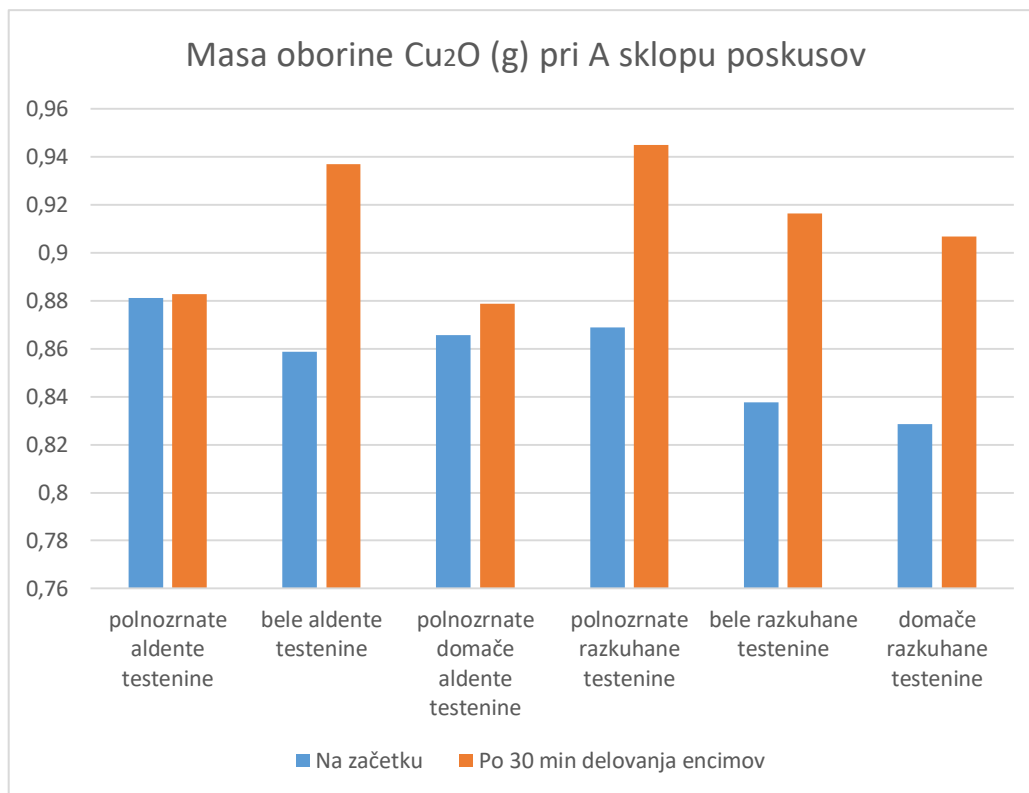
*Tabela 11: Mase oborin bakrovega (I) oksida pri prvem A sklopu poskusov*

| A poskus      | Masa čaše + masa oborine Cu <sub>2</sub> O (g) | Masa čaše (g) | Masa oborine Cu <sub>2</sub> O |
|---------------|------------------------------------------------|---------------|--------------------------------|
| <b>Pa</b>     | 19,7001                                        | 18,8188       | 0,8813                         |
| <b>Ba</b>     | 19,8364                                        | 18,9776       | 0,8588                         |
| <b>PDa</b>    | 19,7234                                        | 18,8576       | 0,8658                         |
|               |                                                |               |                                |
| <b>Pr</b>     | 19,4676                                        | 18,5985       | 0,8691                         |
| <b>Br</b>     | 20,1337                                        | 19,2959       | 0,8378                         |
| <b>PDr</b>    | 19,8700                                        | 19,0415       | 0,8285                         |
|               |                                                |               |                                |
| <b>Pa-30</b>  | 19,2635                                        | 18,3806       | 0,8829                         |
| <b>Ba-30</b>  | 19,9509                                        | 19,0139       | 0,9370                         |
| <b>Pda-30</b> | 19,2782                                        | 18,3994       | 0,8788                         |
|               |                                                |               |                                |
| <b>Pr-30</b>  | 21,9714                                        | 21,0264       | 0,9450                         |
| <b>Br-30</b>  | 19,9751                                        | 19,0586       | 0,9165                         |
| <b>PDr-30</b> | 20,0433                                        | 19,1365       | 0,9068                         |

**Legenda k tabeli 11:**

Pa: polnozrnat testenine na zob na začetku delovanja encimov,  
Ba: testenine iz bele moke na zob na začetku delovanja encimov,  
PDa: polnozrnat domače testenine na zob na začetku delovanja encimov,  
Pr: polnozrnat razkuhan testenine na začetku delovanja encimov,  
Br: razkuhan testenine iz bele moke na začetku delovanja encimov,  
PDr: polnozrnat domače razkuhan testenine na začetku delovanja encimov,  
Pa-30: polnozrnat testenine na zob po 30 minutah delovanja encimov,  
Ba-30: testenine iz bele moke na zob po 30 minutah delovanja encimov,  
Pda-30: polnozrnat domače testenine na zob po 30 minutah delovanja encimov,  
Pr-30: polnozrnat razkuhan testenine po 30 minutah delovanja encimov,  
Br-30: razkuhan testenine iz bele moke po 30 minutah delovanja encimov,  
PDr-30: polnozrnat domače razkuhan testenine po 30 minutah delovanja encimov.

V grafu 1 sva primerjala podatke ugotovljenih mas bakrovega (I) oksida v različnih vzorcih testenin v A poskusu. Z grafa 1 je razvidno, da po 30 minutah delovanja prebavnih encimov Pancreazim masa Cu<sub>2</sub>O pri polnozrnatih »al dente« testeninah ni narasla tako veliko kot pri belih »al dente« kuhanih testeninah. Iz rezultata lahko sklepava, da je pri razgradnji polnozrnatih na zob kuhanih testenin nastalo manj glukoze kot pri razgradnji na zob kuhanih testenin iz bele moke. Tudi pri domačih na zob kuhanih polnozrnatih testeninah je razlika v masi nastalega bakrovega (I) oksida manjša kot pri enako pripravljenih testeninah iz bele moke. Rezultati pri razkuhanih testeninah pa kažejo, da je razlika v masi Cu<sub>2</sub>O, ki je nastal pri Fehlingovem testu, na začetku in po 30 minutah delovanja prebavnih encimov zelo velika. Iz tega podatka lahko sklepava, da je pri razgradnji škroba v razkuhanih testeninah nastalo več glukoze kot pri razgradnji polnozrnatih testenin.



Graf 1: Masa oborine  $\text{Cu}_2\text{O}$  na začetku in po 30 minutah delovanja encimov na testenine pri A sklopu poskusov



Slika 15: Nastanek oborine bakrovega (I) oksida v vroči vodni kopeli

(vir slike: osebni arhiv)

Sledi tabela 12, v kateri so zbrani podatki o B sklopu poskusov. Zaradi ponovljivosti sva vse poskuse in meritve še enkrat izvedla na enak način kot v A sklopu in rezultate zbrala v tabeli, ki sledi. Tudi rezultati ponovljenih poskusov so sledili najinim pričakovanjem.

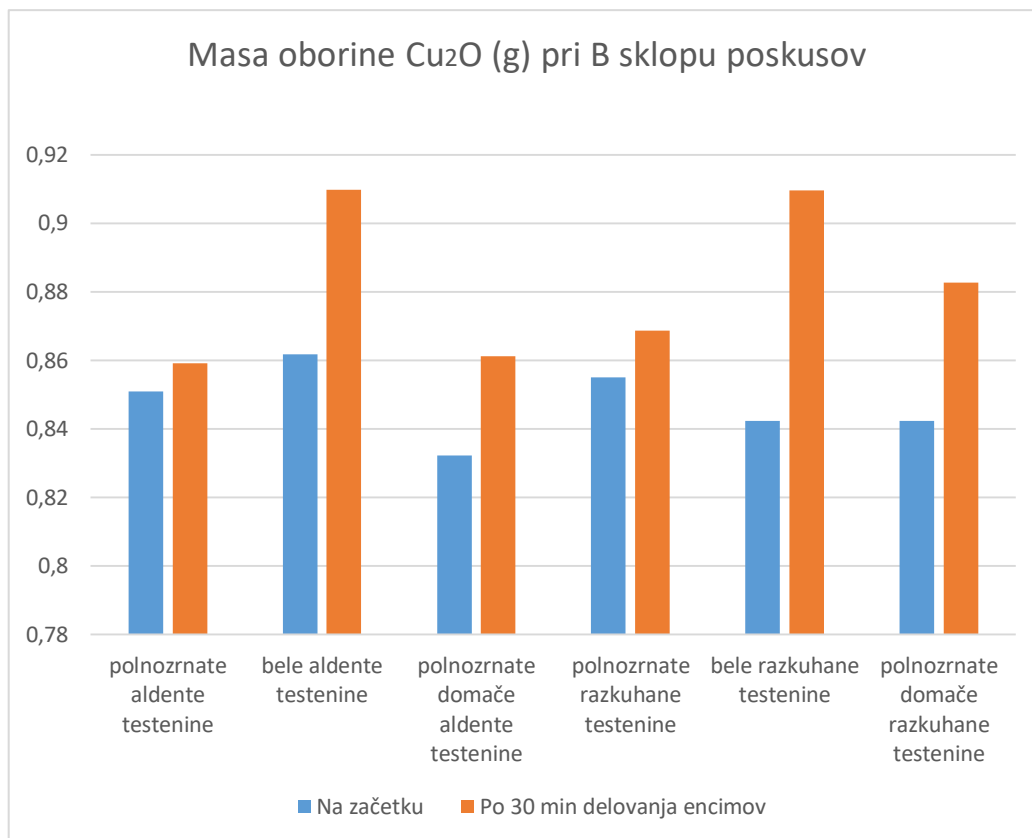
Tabela 12: Mase oborin bakrovega (I) oksida pri drugem B sklopu poskusov

| B poskus | Masa čaše + masa oborine Cu <sub>2</sub> O (g) | Masa čaše (g) | Masa oborine Cu <sub>2</sub> O |
|----------|------------------------------------------------|---------------|--------------------------------|
| Pa       | 21,9944                                        | 21,1435       | 0,8509                         |
| Ba       | 20,1141                                        | 19,2524       | 0,8617                         |
| PDa      | 19,6656                                        | 18,8533       | 0,8123                         |
|          |                                                |               |                                |
| Pr       | 22,2144                                        | 21,3593       | 0,8551                         |
| Br       | 19,5045                                        | 18,6621       | 0,8424                         |
| PDr      | 22,2861                                        | 21,4438       | 0,8423                         |
|          |                                                |               |                                |
| Pa-30    | 22,045                                         | 21,2127       | 0,8323                         |
| Ba-30    | 19,8125                                        | 18,9028       | 0,9097                         |
| Pda-30   | 21,8172                                        | 20,956        | 0,8612                         |
|          |                                                |               |                                |
| Pr-30    | 20,1141                                        | 19,2454       | 0,8687                         |
| Br-30    | 19,6126                                        | 18,7031       | 0,9095                         |
| PDr-30   | 19,6621                                        | 18,7795       | 0,8826                         |

**Legenda k tabeli 12:**

Pa: polnozrnat testenine na zob na začetku delovanja encimov,  
Ba: testenine iz bele moke na zob na začetku delovanja encimov,  
PDa: polnozrnat domače testenine na zob na začetku delovanja encimov,  
Pr: polnozrnat razkuhan testenine na začetku delovanja encimov,  
Br: razkuhan testenine iz bele moke na začetku delovanja encimov,  
PDr: polnozrnat domače razkuhan testenine na začetku delovanja encimov,  
Pa-30: polnozrnat testenine na zob po 30 minutah delovanja encimov,  
Ba-30: testenine iz bele moke na zob po 30 minutah delovanja encimov,  
PDa-30: polnozrnat domače testenine na zob po 30 minutah delovanja encimov,  
Pr-30: polnozrnat razkuhan testenine po 30 minutah delovanja encimov,  
Br-30: razkuhan testenine iz bele moke po 30 minutah delovanja encimov,  
PDr-30: polnozrnat domače razkuhan testenine po 30 minutah delovanja encimov.

Tudi na grafu 2 lahko vidimo, da je bila v obeh polnozrnatih na zob kuhanih testeninah manjša razlika v masi bakrovega (I) oksida kot v testeninah iz bele moke, kuhanih na zob. V B poskusu je bila manjša razlika v masi bakrovega (I) oksida tudi pri polnozrnatih razkuhanih testeninah, zelo velika razlika pa je bila v masi bakrovega (I) oksida, ki je nastala s Fehlingovim testom z vzorcem iz razkuhanih testenin iz bele moke. Modri stolpec prikazuje maso bakrovega (I) oksida, ki je nastal pri reakciji Fehlingovega reagenta z vzorcem testenin s prebavnimi encimi Pancreazim pred segrevanjem v vodni kopeli na 40 °C. Prebavni encimi Pancreazim so vsebovali snovi, ki so dale pozitivno reakcijo na Fehlingov test. Oranžni stolpci predstavljajo maso bakrovega (I) oksida, ki je nastal s Fehlingovim testom z vzorcem po 30 minutah delovanja prebavnih encimov Pancreazim na testenine v vodni kopeli pri 40 °C.



Graf 2: Masa oborine  $\text{Cu}_2\text{O}$  na začetku in po 30 minutah delovanja encimov na testenine pri B sklopu poskusov



Slika 16: Ohlajanje vzorcev bakrovega (I) oksida v eksikatorju

(vir slike: osebni arhiv)

Iz rezultatov poskusov sklopa A in rezultatov poskusov sklopa B sva izračunala povprečne vrednosti mas bakrovega (I) oksida, ki je nastal pri reakciji vzorcev s Fehlingovim reagentom. V prvem delu tabele 13 so povprečne mase  $\text{Cu}_2\text{O}$ , ki so s Fehlingovim reagentom nastale pred segrevanjem vzorcev, v drugem delu tabele pa povprečne mase  $\text{Cu}_2\text{O}$ , ki so nastale s Fehlingovim reagentom po 30 minutah delovanja encimov.

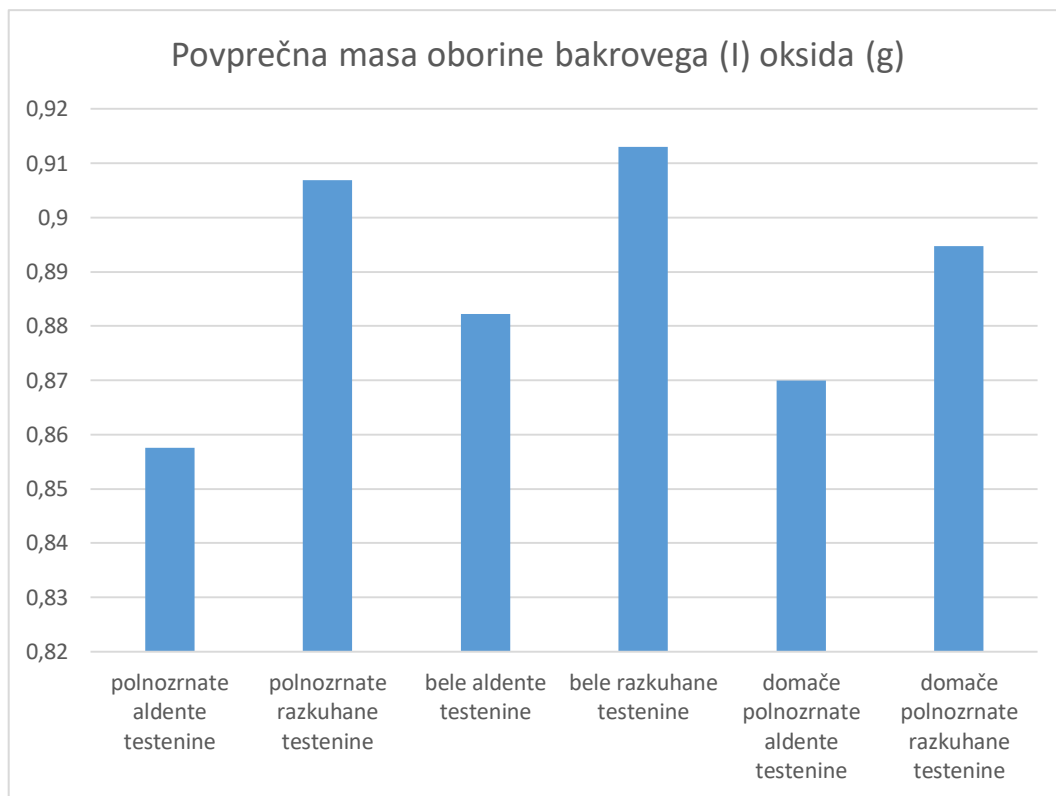
*Tabela 13: Povprečne mase bakrovega (I) oksida iz A in B sklopov poskusov*

| <b>Vzorci</b> | <b>Masa <math>\text{Cu}_2\text{O}</math> pri A<br/>sklopu poskusov (g)</b> | <b>Masa <math>\text{Cu}_2\text{O}</math> pri B<br/>sklopu poskusov (g)</b> | <b>Povprečna vrednost<br/>mase <math>\text{Cu}_2\text{O}</math> (g)</b> |
|---------------|----------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|
| <b>Pa</b>     | 0,8813                                                                     | 0,8509                                                                     | 0,8661                                                                  |
| <b>Ba</b>     | 0,8588                                                                     | 0,8617                                                                     | 0,8603                                                                  |
| <b>PDa</b>    | 0,8658                                                                     | 0,8123                                                                     | 0,8390                                                                  |
|               |                                                                            |                                                                            |                                                                         |
| <b>Pr</b>     | 0,8691                                                                     | 0,8551                                                                     | 0,8621                                                                  |
| <b>Br</b>     | 0,8378                                                                     | 0,8424                                                                     | 0,8401                                                                  |
| <b>PDr</b>    | 0,8285                                                                     | 0,8423                                                                     | 0,8354                                                                  |
|               |                                                                            |                                                                            |                                                                         |
| <b>Pa-30</b>  | 0,8829                                                                     | 0,8323                                                                     | 0,8576                                                                  |
| <b>Ba-30</b>  | 0,937                                                                      | 0,9097                                                                     | 0,9234                                                                  |
| <b>Pda-30</b> | 0,8788                                                                     | 0,8612                                                                     | 0,8700                                                                  |
|               |                                                                            |                                                                            |                                                                         |
| <b>Pr-30</b>  | 0,945                                                                      | 0,8687                                                                     | 0,9069                                                                  |
| <b>Br-30</b>  | 0,9165                                                                     | 0,9095                                                                     | 0,9130                                                                  |
| <b>PDr-30</b> | 0,9068                                                                     | 0,8826                                                                     | 0,8947                                                                  |

**Legenda k tabeli 13:**

Pa: polnozrnate testenine na zob na začetku delovanja encimov,  
Ba: testenine iz bele moke na zob na začetku delovanja encimov,  
PDa: polnozrnate domače testenine na zob na začetku delovanja encimov,  
Pr: polnozrnate razkuhane testenine na začetku delovanja encimov,  
Br: razkuhane testenine iz bele moke na začetku delovanja encimov,  
PDr: polnozrnate domače razkuhane testenine na začetku delovanja encimov,  
Pa-30: polnozrnate testenine na zob po 30 minutah delovanja encimov,  
Ba-30: testenine iz bele moke na zob po 30 minutah delovanja encimov,  
Pda-30: polnozrnate domače testenine na zob po 30 minutah delovanja encimov,  
Pr-30: polnozrnate razkuhane testenine po 30 minutah delovanja encimov,  
Br-30: razkuhane testenine iz bele moke po 30 minutah delovanja encimov,  
PDr-30: polnozrnate domače razkuhane testenine po 30 minutah delovanja encimov.





Graf 3: Povprečna masa oborine  $\text{Cu}_2\text{O}$  po 30 minutah delovanja encimov v različnih testeninah

V grafu 3 sva prikazala primerjavo mas bakrovega (I) oksida, ki je nastal s Fehlingovim reagentom, med na zob pripravljenimi testeninami in razkuhanimi testeninami. V vseh treh vzorcih je pri razgradnji razkuhanih testenin nastalo znatno več glukoze kot v testeninah, pripravljenih na zob, kar lahko razbereva iz rezultatov.



Slika 17: Vzorci testenin v vodi pred dodatkom encimov

(vir slike: osebni arhiv)

## 5 RAZPRAVA IN POTRDIČEV HIPOTEZ

Učenje z raziskovanjem naju je povsem prevzelo, čeprav se nama je pri delu tudi večkrat kaj zataknilo. Vedno znova sva se srečevala z novimi vprašanji in se trudila poiskati boljše rešitve, ki bi naju pripeljale do zelenega cilja. Ugotovila sva, da v raziskovanju bližnjic ni. Vsak korak mora biti načrtovan in natančno izveden, saj je v nasprotnem primeru površnost hitro kaznovana. Dobro se nama zdi, da sva z raziskovalnim delom začela že v mesecu septembru, ker nama je laboratorijsko delo, urejanje podatkov iz meritev in pisno poročanje vzelo veliko časa. Raziskovalno delo sva imela kar v urniku ob petkih po pouku, večkrat pa sva morala kakšno delo opraviti tudi med tednom. Zelo sva hvaležna sošolcema Jerneju in Zali, ki sta nama pri laboratorijskem delu večkrat pomagala.

Prvo laboratorijsko delo se nama je zdelo najbolj zanimivo. Z lahkoto sva v testeninah s pomočjo jodovice dokazala prisotnost škroba. Poskus sva izvedla v šoli z danimi pripomočki ob čim večji natančnosti. Ugotovila sva, da so prebavni encimi iz prehranskega dopolnila Pancreazima dobro delovali, saj sva že po 20 minutah s pomočjo Fehlingovega testa dokazala prisotnost glukoze. V vsakem vzorcu sva uporabila testne lističe, s pomočjo katerih sva določila količino glukoze v najinih štirih vzorcih. Uporabila sva dve vrsti glukoznih testov. Prvi glukozni testi so imeli območje od 50 do 2000 mg glukoze na liter. Žal smo jih imeli na šoli že več let, zato je rok uporabe potekel in si z njimi nisva mogla več pomagati. Drugi glukozni testi (Combur<sup>10</sup>Test M) so namenjeni preučevanju sestave urina. Z njihovo pomočjo sva lahko izmerila tudi prisotnost glukoze v mejah od 30 do 500 mg/dL. Ti so dobro delovali. Pokazala se je razlika v času delovanja encimov na testenine. Daljši, kot je bil čas delovanja prebavnih encimov, več je bilo glukoze. Problem je bil v tem, da je bil ta test premalo občutljiv, da bi pokazal razlike med razgradnjo polnozrnatih testenin in testenin iz bele moke. Prav tako se ni videlo razlike med testeninami, kuhanimi na zob, in razkuhanimi testeninami. Spraševala sva se, kako bi lahko s svojim znanjem in razumevanjem procesov dokazala, da se polnozrnat in na zob kuhane testenine res razgrajujejo počasneje. Že v šoli sva pomislila, da bi na nek način stehala rjavordečo oborino, ki nastane v vroči vodni kopeli med nastalo glukozo in Fehlingovim reagentom. Ob delovanju prebavnih encimov, natančneje alfa amilaze, ogljikovi hidrati razpadajo na glukozo. Glukoza potem reagira s Fehlingovim reagentom in nastane rjavordeča oborina bakrovega (I) oksida. Več, kot je glukoze, več je oborine. K sreči sva se po pomoč zatekla k strokovnjakom na Srednjo šolo za kemijo, elektrotehniko in računalništvo Celje. Prijazno so nama priskočili na pomoč. Prva ideja je bila, da bi oborino od raztopine ločila s filtriranjem pod znižanim tlakom, kar kemiki pogosto imenujejo »nučiranje«. To sva tudi poskusila, vendar je tudi skozi najfinejši filtrirni papir pobegnilo nekaj rjavordeče snovi. Tako nama ni preostalo drugega, kot da iz epruвет izlijeva usedlino v stehane čaše, epruветe spereva z majhno količino deionizirane vode in oborino od topila ločiva z izparevanjem. Problem, ki ga nisva pričakovala, se je pojavil, če sva vsebino čaše malo preveč segrevala, saj je v tem primeru vsebina brizgala iz nje. K sreči sva lahko več čaš hkrati segrevala na magnetnem mešalu, kjer je ob majhni toploti voda počasi izparevala. Naučili so naju, da vode ne smeva odpariti do suhega, saj proti koncu segrevanja tekočina brizga iz čaše in pride do izgub. Za ta namen so v laboratoriju imeli na voljo sušilnik, v katerem je tudi preostala voda iz čaše počasi izhlapela. Presenetilo naju je, da snov, ki jo vzamemo iz sušilnika, veže vlago iz zraka, zato je nujno, da se ohlaja v eksikatorju. V tej okrogli posodi so kristalčki silikagela, ki vežejo vodo. Čašo z vzorcem sva tik pred tehtanjem vzela iz eksikatorja in jo takoj namestila na analitsko tehtnico. Nisva si predstavljala, da je potrebno po prvem tehtanju čaše še enkrat

zapreti v sušilnik in ponoviti ves postopek. Šele takrat, ko se masa ne spreminja več, rezultat velja. Tako sva kar nekaj dopoldnevov preživela na Srednji šoli za kemijo, elektrotehniko in računalništvo. Iskreno sva hvaležna strokovnim delavcem te šole za strokovne usmeritve in pomoč. Neprecenljivo se nama zdi, da sva lahko uporabljala njihov laboratorij in številne laboratorijske pripomočke ter da so žrtvovali svoj čas za nesebično pomoč pri izvedbi postopka ločevanja bakrovega (I) oksida od vode in naju usmerjali pri tehtanju. Ko sva prvič pri njih ugotavljala maso oborine, ki nastane s Fehlingovim reagentom, so bili vzorci raznovrstnih testenin prebavnim encimom izpostavljeni 5, 10, 15 in 20 minut. Pričakovala sva, da bo glede na čas izpostavljenosti testenin prebavnim encimom naraščala masa oborine bakrovega (I) oksida. Pa ni, rezultati so bili skrajno zmedeni. Ampak se nisva vdala, postopek sva nekoliko poenostavila in povečala natančnost do največje možne mere. Trud je bil poplačan. V prvem in ponovljenem poskusu sva na koncu dokazala, da razgradnja polnozrnatih in na zob pripravljenih testenin poteka počasneje kot razgradnja testenin z belo moko in razkuhanih testenin.

Ena večjih stisk v raziskovanju se je pojavila takrat, ko sva ugotovila, da prehransko dopolnilo Pancreazim skupaj s prebavnimi encimi vsebuje tudi sladkorje, ki so dali pozitivno reakcijo s Fehlingovim testom. Pred uporabo Pancreazima sva na embalaži preverila sestavine, vendar ogljikovi hidrati niso bili navedeni v deklaraciji. Ker je več monosaharidov pozitivnih na Fehlingov test, še vedno ne veva, kateri sladkor je prisoten v tem prehranskem dopolnilu. Kot sva že omenjala, čista oblika encima amilaze, ki je bila nujna za izvedbo načrtovanih poskusov, stane zelo veliko, zato smo skupaj z mentorico opustili misel na nakup. Primorana sva bila uporabiti že kupljeno prehransko dopolnilo Pancreazim, ki je vsebovalo ustrezne encime za razgradnjo škroba. To je encim amilaza. Problem sva rešila tako, da sva vzorcem dodala vedno enako maso prehranskega dopolnila Pancreazim in izvedla Fehlingov test čisto na začetku, preden so encimi začeli delovati. Potem sva preverila, koliko več rjavordeče oborine bakrovega (I) oksida je nastalo po določenem času delovanja encimov, ko so bili vzorci segrevani v vodni kopeli na 40 °C.

Eden od večjih problemov je bil tudi ta, da si je bilo za izvedbo enega sklopa poskusov potrebno vzeti dovolj časa. Večkrat sva morala utrujena od šolskega dela izvajati eksperimente tudi pozno v popoldanski čas. Posledično je morda kdaj prišlo tudi do kakšne površnosti zaradi naglice, saj so naju kasneje čakale še druge obveznosti. Toda počasi sva ugotovila, kako zelo pomembna je natančnost, saj lahko le tak način privede do željenih rezultatov.

Pri šolskem delu običajno uporablja elektronsko tehtnico na dve decimalki natančno. Sprva se nama je zdelo, da bo takšna natančnost zadostovala, vendar sva v tretjem sklopu poskusov ugotovila, da so bile premalo natančne meritve v šoli vzrok, da nisva dobila željenih rezultatov za maso bakrovega (I) oksida, ki sva jih določala v laboratorijih Srednje šole za kemijo, elektrotehniko in računalništvo. Kljub velikim naporom, ki sva jih vložila v poskuse, sva morala vse izmerjene rezultate zavreči. Poskus sva morala narediti znova. V četrtem sklopu poskusov sva v šoli uporabila tehtnico, natančno na tri decimalke. Pri izvedbi sva si res vzela čas, da sva vse postopke opravila počasi in natančno. Lepljive testenine je bilo zelo težko stehtati na tri decimalke natančno. Dobra ideja je bila tudi ta, da sva vzorce pred dodatkom Fehlingovega testa filtrirala in s tem odstranila koščke nerazkrojenega škroba in druge primesi. Ponovno tehtanje mas bakrovega (I) oksida je dalo pričakovane rezultate.

## 5.1 POTRDITEV HIPOTEZ

V prvi hipotezi sva predvidevala, da bodo prebavni encimi iz pripravka Pancreazim, ki se uporabljajo kot dodatek hrani pri psih in mačkah, delovali tudi pri najinih eksperimentih. To pomeni, da bo v njihovi prisotnosti škrob razpadel na glukozo. To hipotezo lahko v celoti potrdimo. S pomočjo testnih lističev za glukozo sva že v prvem sklopu poskusov ugotovila, da se masna koncentracija glukoze v raztopinah, ki so bile dalj časa izpostavljene prebavnim encimom, povečuje. Rezultati so prikazani v tabelah od 2 do 8.

V drugi hipotezi sva domnevala, da bo glukozo iz škroba počasneje nastajala pri testeninah, kuhanih na zob, kot pri razkuhanih testeninah, ko jim bova dodala encime trebušne slinavke. Tudi to hipotezo lahko potrdimo. Dokazuje sva zbrala v tabeli 13 in grafu 3. Pri vseh treh vrstah testenin, ki sva jih kuhala dalj časa od priporočenega, je prišlo do hitrejše razgradnje škroba v glukozo ob prisotnosti encimov, saj sva v teh vzorcih ugotovila večje mase bakrovega (I) oksida kot v vzorcih testenin, pripravljenih na zob.

V tretji hipotezi predvidevava, da bo glukozo iz škroba počasneje nastajala pri polnozrnatih testeninah kot pri testeninah iz bele moke, ko jim bova dodala encime trebušne slinavke. Tudi tretjo hipotezo lahko potrdimo. Dokazi so zbrani v tabelah 11 in 12 ter grafih 1 in 2. Prikaz rezultatov v grafu 1 jasno pokaže, kako veliko bolj naraste masa bakrovega (I) oksida od začetne mase pri testeninah iz bele moke v primerjavi z polnozrnatimi testeninami. Iste rezultate sva dobila tudi pri ponovljenem poskusu (tabela 12, graf 2).

## ZAKLJUČEK

Na začetku svojega raziskovalnega dela sva se vprašala, kako lahko različno kuhane testenine vplivajo na naše zdravje. To vprašanje sva si postavila na podlagi preučevanja literature za tekmovalca iz sladkorne bolezni. Tam sva se naučila, da morajo ljudje, ki imajo sladkorno bolezen oziroma diabetes, jesti polnozrnatih testenine, kuhane na zob. Naju pa je zanimalo, zakaj je tako. Želela sva ugotoviti, kako hitro nastaja glukozo pri prebavi škroba iz različno pripravljenih testenin. Enkrat so bile kuhane na zob, drugič razkuhane. Prav tako naju je zanimalo, kako hitro nastaja glukozo pri prebavi škroba iz polnozrnatih testenin v primerjavi s testeninami iz bele moke. Naloge sva se lotila z veliko zagnanostjo, saj se oba veliko ukvarjava s športom in nama zdrava prehrana veliko pomeni.

V raziskovalni nalogi, ki sva jo naredila, se nama zdi zelo pomembno najino sodelovanje pri odkrivanju novega. Zdaj razumeva, zakaj bi morali vsi jesti več polnozrnatih testenin, ki so kuhane na zob, in čim manj testenin, ki so narejene iz bele moke ali pa so razkuhane. Seveda pa je to odvisno od potreb posameznika. Iz rezultatov najine raziskovalne naloge sklepava, da morajo ljudje, ki bi radi shujšali, imajo težave s sladkorno boleznijo ali pa bi samo radi živeli čim bolj zdravo, jesti polnozrnatih testenine, kuhane na zob, saj se pri njih škrob počasneje in bolj enakomerno pretvarja v glukozo in ima tako telo več časa, da glukozo porabi. Po drugi strani pa lahko športniki pred različnimi fizičnimi obremenitvami brez slabe vesti jedo testenine iz bele moke, ker se pri njih škrob hitreje pretvori v glukozo, ki jo potrebujejo mišice med aktivnostjo.

Če bi pri najini raziskovalni nalogi lahko kaj spremenila, bi to bila natančnejša preučitev sestavin prebavnih encimov trebušne slinavke v prehranskem dopolnilu Pancreazim. Že na začetku bi morala z jodovico in s Fehlingovim testom preveriti, ali prehransko dopolnilo, ki sva ga uporabila, vsebuje snovi, ki s tema reagentoma dajejo pozitivni rezultat. Zaradi te napake sva morala nato vse preizkuse ponoviti. Če bi raziskovalno nalogo delala še enkrat, bi verjetno tudi prej preizkusila testne lističe za glukozo, ki so se na koncu izkazali za nenatančne in neuporabne. K sreči sva v veterini Tačka ob nakupu Pancreazima dobila še brezplačne urinske testne lističe, ki merijo tudi masno koncentracijo glukoze, za kar se jim tudi iskreno zahvaljujema.

Velika zahvala gre tudi Srednji šoli za kemijo, elektrotehniko in računalništvo, kjer sva lahko opravila del poskusov in meritev. Posebej se zahvaljujema profesorju Sebastjanu Klovarju za potrpežljivo in nesebično usmerjanje ter pomoč pri najinem delu. Hvaležna sva za možnost izvedbe poskusov v moderno opremljenem laboratoriju, za ves kemijski pribor in naprave, ki so nama bile na razpolago, predvsem pa za vzpodbudo in prijaznost. Iskrena hvala tudi magistru Jerneju Jančiču, ki je poskrbel za organizacijo in logistiko glede izvajanja eksperimentov. Prav tako se iskreno zahvaljujema dr. Aniti Laznik, ravnateljici Srednje šole za kemije, elektrotehniko in računalništvo, za njeno razumevanje in podporo.

Ob koncu pa bi se rada še posebej zahvalila najini mentorici za vso pomoč, vodstvo in čas, ki ga je bila pripravljena vložiti v izvedbo najine raziskovalne naloge.

## LITERATURA IN SPLETNI VIRI

Dolenc, D., Graunar, M., Modec, B. (2015): Kemija danes 2, delovni zvezek. Ljubljana: DZS.

Enders, G. (2015): Čarobno črevesje. Ljubljana: Mladinska knjiga.

Graunar, M., Podlipnik, M., Mirnik, J. (2016): Kemija danes 2. Ljubljana: DZS.

Pucko, N., Režek Donev, N. (2021): Biologija 8, Ljubljana: DZS.

Skvarča, A. (2015): Abecedarij sladkorne bolezni. Ljubljana: Zveza društev diabetikov Slovenije.

Stušek, P. (2005): Biologija človeka za gimnazije. Ljubljana: DZS.

Kemija, I-učbenik za 9. razred osnovne šole, Ogljikovi hidrati, monosaharidi in disaharidi.

Najdeno dne 10. 12. 2021 na spletnem naslovu

<https://eucbeniki.sio.si/kemija9/1951/index.html>

Ogljikovi hidrati – polisaharidi. Najdeno dne 4. 2. 2022 na spletnem naslovu

<http://www.kii3.ntf.uni-lj.si/e-kemija/file.php/1/output/polisaharidi/index.html>

## IZJAVA

Mentor/-ica Marjeta Gradišnik Mirt v skladu z 20. členom Pravilnika o organizaciji mladinske raziskovalne dejavnosti »Mladi za Celje« Mestne občine Celje, zagotavljam, da je v raziskovalni nalogi z naslovom Primerjava razgradnje različnih testen in s pomočjo encimov trebušne slinavke, katere avtorja sta Svit Janc in Sergej Jančič:

- besedilo v tiskani in elektronski obliki istovetno,
- pri raziskovanju uporabljeno gradivo navedeno v seznamu uporabljene literature,
- da je za objavo fotografij v nalogi pridobljeno avtorjevo dovoljenje in je hranjeno v šolskem arhivu,
- da sme Osrednja knjižnica Celje objaviti raziskovalno nalogo v polnem besedilu na knjižničnih portalih z navedbo, da je raziskovalna naloga nastala v okviru projekta Mladi za Celje,
- da je raziskovalno nalogo dovoljeno uporabiti za izobraževalne in raziskovalne namene s povzemanjem misli, idej, konceptov oziroma besedil iz naloge ob upoštevanju avtorstva in korektnem citiranju,
- da smo seznanjeni z razpisni pogoji projekta Mladi za Celje.

Celje, 10.3.2022



Podpis mentorja

*Marjeta Gradišnik Mirt*

Podpis odgovorne osebe

*[Signature]*

## POJASNILO

V skladu z 20. členom Pravilnika raziskovalne dejavnosti »Mladi za Celje« Mestne občine Celje je potrebno podpisano izjavo mentorja (-ice) in odgovorne osebe šole vključiti v izvod za knjižnico, dovoljenje za objavo avtorja (-ice) fotografskega gradiva, katerega ni avtor (-ica) raziskovalne naloge, pa hrani šola v svojem arhivu.