

59. srečanje mladih raziskovalcev Slovenije 2025

**VPLIV ORGANSKIH KISLIN NA HIDROLIZO
ŠKROBA**

Raziskovalno področje: Kemija in kemijska tehnologija

Raziskovalna naloga

Avtorica: Vita Žigart Rubelj

Mentorica: Sanja Cvar

Šola: II. gimnazija Maribor

Maribor, 2025

Kazalo vsebine

Povzetek	V
Zahvala	VI
1 Uvod.....	1
1.1 Opredelitev problema	1
1.2 Namen, hipoteze in cilji	2
2 Teoretični del.....	3
2.1 Prebavni sistem	3
2.2 Ogljikovi hidrati	4
2.2.1 Škrob	5
2.2.2 Prebava škroba	5
2.2.3 Glikemični indeks	7
2.2.4 Kruh.....	7
2.2.5 Drugi viri škroba	8
2.3 Organske kisline v prehrani.....	8
2.3.1 Kis	8
2.3.2 Limona	9
2.4 Kisline in hidroliza ogljikovih hidratov	9
2.5 Zdravstveni vidiki zaviranja prebave škroba	10
2.5.1 Sladkorna bolezen	11
2.5.2 Raziskave o povezavi organskih kislin s krvnim sladkorjem	12
3 Metodologija dela.....	14
3.1 Metode določanja glukoze po hidrolizi škroba	14
3.1.1 Spektrofotometrija.....	15
3.1.2 Metoda z DNSA reagentom	16
4 Eksperimentalni del.....	17
4.1 Načrt dela – hidroliza škroba	17
4.2 Seznam kemikalij in laboratorijske opreme	19
4.2.1 Kemikalije	19
4.2.2 Laboratorijska oprema.....	19
4.3 Potek dela	19
4.3.1 DNSA reagent	20
4.3.2 Pufri.....	20
4.3.3 Slina.....	21
4.3.4 Škrobovica.....	21
4.3.5 Sestava vzorcev	21
4.3.6 Kontrola.....	22
4.3.7 Umeritvena črta	22
4.5 Poskus v realnem življenju.....	24
4.5.1 Priprava	24
4.5.2 Prvi testni obrok	25

4.5.3	Drugi testni obrok.....	25
4.5.4	Tretji testni obrok.....	25
5	Rezultati	27
5.1	Hidroliza škroba z α -amilazo pri različnih pH.....	27
5.1.1	Sprememba barve.....	27
5.1.2	Spektrofotometrija.....	28
5.1.3	Umeritvena črta.....	29
5.1.4	Določitev nastale glukoze	29
5.2	pH sline	31
5.3	Poskus – s senzorjem CGM	31
5.3.1	Prvi testni obrok	31
5.3.2	Drugi testni obrok.....	33
5.3.3	Tretji testni obrok.....	35
5.3.4	Dodatna potrditev	36
6	Razprava.....	37
7	Družbena odgovornost	39
8	Zaključek.....	41
9	Viri in literatura.....	42
9.1	Bibliografija	42
9.2	Viri slik.....	45
10	Priloga.....	47

Kazalo slik

Slika 1: Vrednost pH v različnih delih prebavnega trakta	4
Slika 2. Amiloza in amilopektin.....	5
Slika 3: Hidroliza škroba.....	6
Slika 4: Ocetna kislina.....	10
Slika 5: Citronska kislina	10
Slika 6: Zvišanje koncentracije glukoze v krvi po obroku in vpliv na organizem.....	11
Slika 7: Vpliv limoninega soka na koncentracijo glukoze v krvi	13
Slika 8: Predposkus: hidroliza škroba – test z jodovico.....	14
Slika 9: Shematski prikaz spektrofotometra.....	15
Slika 10: Reakcija DNSA z reducirajočim sladkorjem	16
Slika 11: Načrt dela	18
Slika 12: DNSA reagent	20
Slika 13: Vodna kopel vzorcev z raztopino sline, pufru in škrobovice tik po dodatku DNSA	22
Slika 14: Guardian™ 4.....	24
Slika 15: Barvne spremembe po hidrolizi škroba z α -amilazo pri različnih pH in po reakciji z DNSA	27
Slika 16: Kontrole	28
Slika 17: 1. testni obrok, s kisom	31
Slika 18: 1. testni obrok, brez kisa ali limone	31
Slika 19: Primerjava s kisom in brez za 1. testni obrok	32
Slika 20: 2. testni obrok, s kisom	33
Slika 21: 2. testni obrok, z limono	33
Slika 22: 2. testni obrok, brez kisa ali limone	33
Slika 23: Primerjava s kisom in brez za 2. testni obrok	34
Slika 24: 3. testni obrok, s kisom	35
Slika 25: 3. testni obrok, z limono	35
Slika 26: 3. testni obrok, brez kisa ali limone	35

Kazalo tabel

Tabela 1: Primerjava očetne in citronske kisline	10
Tabela 2: Pufri	20
Tabela 3: Sestava standardnih raztopin	23
Tabela 4: Absorbance vzorcev in kontrol	28
Tabela 5: Koncentracija nastale glukoze.....	30
Tabela 6: Koncentracije glukoze, 1. testni obrok.....	32
Tabela 7: Koncentracije glukoze, 2. testni obrok.....	33
Tabela 8: Koncentracija glukoze, 3. testni obrok.....	35

Kazalo grafov

Graf 1: Umeritvena črta.....	29
Graf 2: Odvisnost koncentracije glukoze od pH vzorca	30

POVZETEK

Organske kisline, med katere spada tudi očetna kislina v jedilnem kisu, imajo v kulinariki dolgo tradicijo. V zadnjem času se povečuje zanimanje za njihove morebitne pozitivne vplive na zdravje. Raziskave nakazujejo, da kis lahko zavira delovanje encima α -amilaza, upočasni hidrolizo škroba in posledično zmanjša hitrost sproščanja glukoze v krvni obtok. Ta pojav je še posebej pomemben za diabetike. V raziskovalni nalogi sem tako preučevala vpliv pH sline na hidrolizo škroba. Ugotovitve, pridobljene z raziskavo »*in vitro*«, sem prenesla tudi »*in vivo*« ter s senzorjem za neprekinjeno merjenje glukoze v medceličnini primerjala raven glukoze po škrobnem obroku z in brez dodatka kisline. Ker se je uživanje kisa izkazalo kot učinkovito sredstvo pri uravnavanju glikemije po škrobnih obrokih, menim, da bi bilo smiselno razmisliti o vključitvi kisa kot enega izmed ukrepov za izboljšanje glikemije pri sladkorni bolezni, ob tem pa zagotoviti ustrezno izobraževanje o njegovi uporabi.

Ključne besede: škrob, kis, organske kisline, sladkorna bolezen

ZAHVALA

V tem delu bi se rada zahvalila vsem, ki so mi bili pri pisanju raziskovalne naloge v oporo. Zahvaljujem se tudi družini.

Posebej pa bi se rada zahvalila predvsem mentorici, ki mi je s svojim strokovnim znanjem in koristnimi nasveti izredno pomagala pri izvedbi raziskave. Prav tako se ji zahvaljujem za ves trud in čas, ki mi ga je namenila.

1 UVOD

1.1 Opredelitev problema

Organske kisline, med katere spada tudi jedilni kis, imajo v kulinariki dolgo tradicijo. V zadnjem času pa se povečuje zanimanje za njihove morebitne pozitivne vplive na zdravje. Raziskave nakazujejo, da kis, kot predstavnik organskih kislin, lahko zavira delovanje encima α -amilaza, kar upočasni hidrolizo škroba in posledično zmanjša hitrost sproščanja glukoze v krvni obtok. Ta pojav je še posebej pomemben za osebe s sladkorno boleznijo, saj lahko prispeva k počasnejšemu porastu krvnega sladkorja.

Ravno ta vidik delovanja kisa me je pritegnil k dodatnemu raziskovanju. Sama imam namreč sladkorno bolezen tipa 1, zato mi vzdrževanje urejene ravni krvnega sladkorja predstavlja vsakodnevni izziv. Bi res lahko neka tako vsakdanja sestavina, kot je kis, imela viden vpliv na krvni sladkor? Bi le žlica kisa pred obrokom prispevala k boljši glikemiji? Ta vprašanja so me navdihnila, da podrobneje raziščem mehanizem delovanja te vsakodnevne in hkrati zelo zanimive sestavine.

1.2 Namen, hipoteze in cilji

Namen raziskovalne naloge je raziskati vpliv organskih kislin na hidrolizo ogljikovih hidratov in s tem njihov vpliv na raven krvnega sladkorja.

Cilji raziskovalne naloge so:

- ugotoviti vpliv organskih kislin na hidrolizo škroba;
- raziskati vpliv pH na aktivnost encima α -amilaza;
- povezati ugotovitve poskusa hidrolize škroba z delovanjem kisa v človeškem telesu.

Zastavila sem si naslednje hipoteze:

H1: Kisline upočasnijo hitrost hidrolize škroba.

H2: Kis lahko upočasni porast glukoze v krvi po škrobnem obroku.

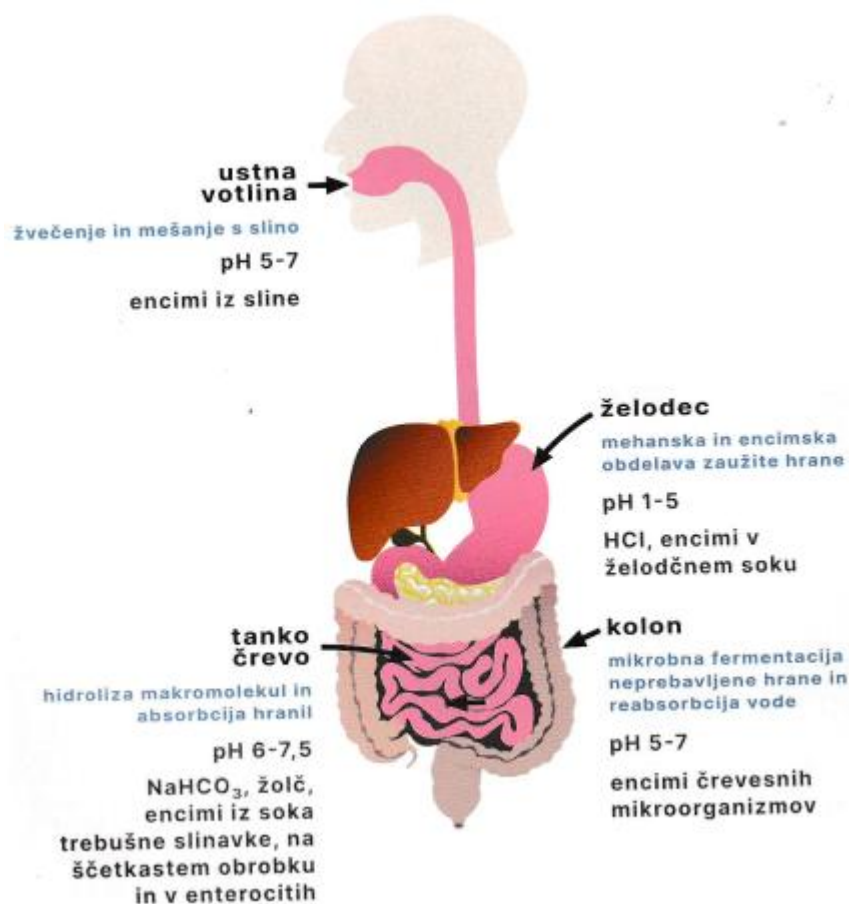
H3: Kis bi bilo smiselno večkrat vključiti v našo prehrano.

2 TEORETIČNI DEL

2.1 Prebavni sistem

Prebavni trakt skupaj z dodatnimi organi tvori prebavni sistem. Ena izmed njegovih nalog je hidroliza razgradljivih sestavin hrane v osnovne gradnike in njihova absorpcija. Pomembno je poudariti, da se prebava začne že v ustni votlini. Hrana vstopa v prebavni trakt v obliki različno velikih delcev, ki so sestavljeni tako iz manjših kot iz makromolekul. Da se uspešno razgradi, pri prebavi potekata dva procesa, mehanski in kemični. Mehanska razgradnja ne spremeni kemične zgradbe snovi, temveč zgolj razbije večje delce na manjše in s tem omogoča učinkovitejšo kemijsko razgradnjo. Pri kemijski razgradnji imajo pomembno vlogo encimi, ki katalizirajo reakcijo hidrolize večjih molekul, pri tem pa nastanejo osnovni gradniki (Plemenitaš & Žakelj Mavrič, 2022).

Za optimalno delovanje encimske razgradnje hrane so potrebne ustrezne razmere za normalno delovanje prebavnih encimov. Eden izmed najpomembnejših dejavnikov je pH. Ta se razlikuje glede na posamezne dele prebavnega trakta. Najnižji pH je v želodcu (pH 1–5), v ostalih delih prebavnega trakta pa blizu nevtralnega (pH 7) (Plemenitaš & Žakelj Mavrič, 2022).



Slika 1: Vrednost pH v različnih delih prebavnega trakta

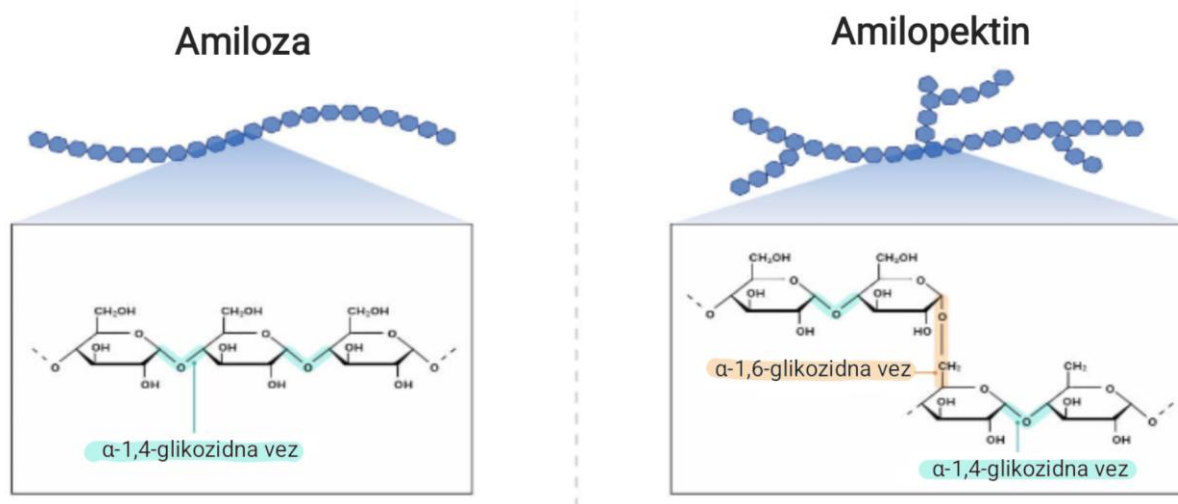
(Plemenitaš & Žakelj Mavrič, 2022)

2.2 Ogljikovi hidrati

Ogljikovi hidrati organizmu zagotavljajo energijo in so najpomembnejše hranilo. Ogljikovi hidrati naj bi predstavljali malo manj kot polovico dnevnega kaloričnega vnosa hrane. Prednost bi morali dati sestavljenim ogljikovim hidratom, ki so bogatejši s prehranskimi vlakninami. Enostavne ogljikove hidrate pa omejiti, saj povzročijo hitrejši porast glukoze v krvi. To pa je pomembno tako za ljudi s sladkorno boleznijo kot tiste brez nje (Bratina & Širca Čampa, 2014).

2.2.1 Škrob

Med razgradljivimi ogljikovimi hidrati, ki jih zaužijemo s hrano, je približno dve tretjini škroba. Škrob je rastlinski polisaharid, ki za rastline predstavlja glavno zalogo hrane. Nahaja se v koreninah, semenih in gomoljih (Vrtačnik, Zmazek, & Boh, 2014).



Slika 2. Amiloza in amilopektin

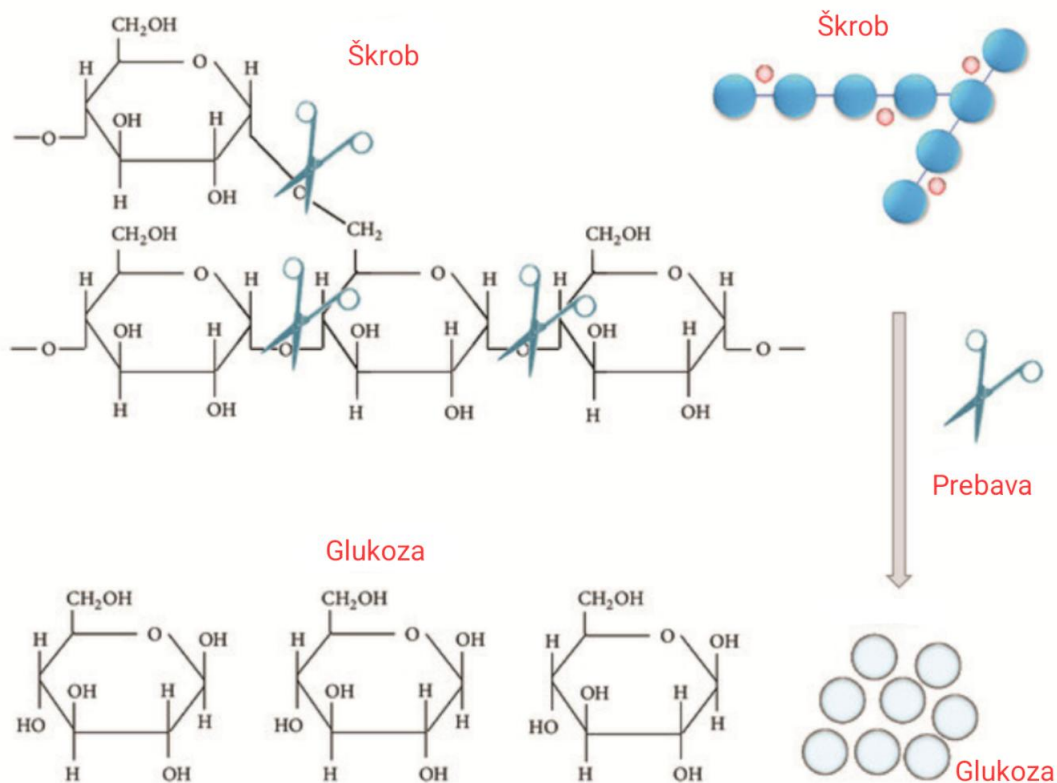
(Shrestha, 2023)

Škrob sestavljata amiloza in amilopektin. Amiloze je v škrobu od 20 do 25 %, amilopektina pa od 75 do 80 %. Makromolekulo amiloze, ki je nerazvejana, sestavljajo glukozne enote, povezane z α -1,4-glikozidnimi vezmi. Makromolekula amilopektina pa je razvejana, saj so poleg α -1,4-glikozidnih vezi v molekuli tudi α -1,6-glikozidne vezi, kar povzroči razvejanost molekule na vsakih 24 do 30 glukoznih enot (Vrtačnik, Zmazek, & Boh, 2014).

2.2.2 Prebava škroba

Prebava škroba se začne v ustni votlini. Za našo raziskavo se osredotočamo na ta del prebave.

V ustni votlini se nahaja α -amilaza, ki jo proizvajajo žleze slinavke. α -amilaza je encim iz razreda hidrolaz. Hidrolaze cepijo C-O, C-N ali C-S vezi z vključitvijo vode, poteče torej hidroliza (iz grščine "hidro" = voda in "liza" = prekinitvev) (Jeraj, 2014).



Slika 3: Hidroliza škroba

(BioMed Research International, 2017)

α -amilaza katalizira cepitev α -1,4-glikozidne vezi v škrobu in glikogenu. Ne omogoča pa prebave celuloze in cepitve α -1,6-glikozidnih vezi glikogena in amilopektina. Končni produkti hidrolize so maltoza, maltotrioza in dekstrini. Delovanje α -amilaze iz slin je omejeno na področje ust in požiralnika, saj jo inaktivira veliko močnejši kisli pH želodca. Šele ko se želodčna kislina nevtralizira v dvanajstniku, se α -amilaza iz trebušne slinavke ponovno aktivira in nadaljuje s prebavo škroba. Pred vstopom v tanko črevo se z amilazo iz slin prebavi 30 do 40 % kompleksnih ogljikovih hidratov (Jeraj, 2014).

α -amilaza ima nizko molekulsko maso. Aktivna je v širokem območju pH 3,8–9,4, optimalno delovanje pa doseže blizu nevtralnega, pri pH 6,7–7,2. Je termostabilna in deluje tudi pri 50 °C (Jeraj, 2014).

Tako ji človeška slina predstavlja ustrezno okolje, saj je njen pH blizu nevtralnega oz. pH med 6,2 in 7,6 (Hawryluk, 2022).

2.2.3 Glikemični indeks

Glikemični indeks je število, ki nam pove, kako hitro pride do prebave in absorpcije zaužitega živila, ki vsebuje ogljikove hidrate. Torej kako hitro bo imelo živilo vpliv na krvni sladkor (Bratina & Širca Čampa, 2014).

Živila lahko na osnovi glikemičnega indeksa razdelimo v tri skupine:

1. Nizek glikemični indeks = 0–55.
2. Srednje visok glikemični indeks = 56–69.
3. Visok glikemični indeks = 70 in več.

Manjše, kot je število, bolj priporočljivo je uživati živilo, saj to pomeni, da z zaužitjem ne bomo povzročili nenadnega porasta in padca krvnega sladkorja (FutuNatura, 2024).

2.2.4 Kruh

Kruh je eno izmed osnovnih živil. V prehrani povprečnega Evropejca in Američana se znajde vsaj enkrat na dan. Njegove glavne sestavine so moka, voda in kvas. Kruh velja za eno najstarejših pripravljenih živil. Prve dokaze o peki kruha najdemo že pred 30 000 leti. Žito pa je postalo osnovna surovina za kruh v neolitiku (okoli 10 000 let pr. n. št.), ko so ljudje začeli s poljedelstvom (Wikipedia, 2024).

Kruh velja za vir ogljikovih hidratov. V večini, ne glede na vrsto moke, 50 % mase kruha predstavljajo ogljikovi hidrati. Povprečna žemlja ima maso 60 g in tako vsebuje 30 g ogljikovih hidratov (Bratina & Širca Čampa, 2014).

Na osnovi moke, iz katere je napravljeno testo, ločimo več vrst kruha. Različne vrste imajo tudi nekoliko različne lastnosti. Tako imata kruh iz bele in polnozrnate moke različen glikemični indeks. Razlog je v sestavi polnozrnate moke, ki vsebuje veliko večji delež amiloze v škrobu. Molekule amiloze, ki prevladujejo v polnozrnati moki, se v našem telesu veliko počasneje prebavljajo, zato veliko počasneje preidejo v krvni obtok, kar pomeni počasnejši porast krvnega sladkorja. To je za delovanje telesa zelo pozitivno (Jamšek, in drugi, 2014).

Ravno nasprotno velja za amilopektin, ki ga človeško telo veliko hitreje prebavlja, posledično se raven glukoze v krvi dvigne sunkovito, energija v telesu hitro naraste, izločanje hormona inzulina se naglo dvigne, vendar tudi hitro pade. Enako velja za našo energijo. Raven energije v telesu najprej naraste, zatem pa hitro pade. Posledica je, da smo hitreje lačni, največkrat pa

posežemo po živilih z visokim glikemičnim indeksom, po nezdravih in redilnih hranilih, kot so sladkarije, beli riž in beli kruh. Beli kruh zato v primerjavi z polnozrnatim kruhom veliko bolj redi (Jamšek, in drugi, 2014).

2.2.5 Drugi viri škroba

Razen kruha so s škrobom bogata še številna druga ogljikohidratna živila.

Živila, bogata s škrobom, so:

- nekatere vrste zelenjave (krompir, korenje, buče, sladki krompir ...),
- žita (ječmen, ajda, koruza, proso, oves, riž, pšenica ...) in
- izdelki iz žit (kruh, kosmiči ...) ter
- stročnice (fižol, leča, čičerika, grah) (Bratina, 2012).

2.3 Organske kisline v prehrani

V vsakdanjem življenju se velikokrat srečujemo z organskimi kislinami. Kisline najdemo v nekaterih mlečnih izdelkih (mlečna kislina), jabolkih (jabolčna kislina), grozdju (vinska kislina), citrusih (citronska kislina) in seveda v kisu (ocetna kislina). Največji delež kislin v prehrani predstavljata ravno zadnji dve kislini (Jamšek, in drugi, 2014).

2.3.1 Kis

Kis je razredčena ocetna kislina in se kot začimba v kuhinji uporablja že tisočletja. Beseda "vinegar" (slo. kis) izhaja iz francoskega izraza "*vin aigre*", ki v prevodu pomeni kislo vino. Legenda opisuje odkritje kisa, ko je bilo pozabljeno vino nekaj mesecev v skladišču, zaradi česar je fermentiralo in se skisalo. Kis namreč nastane kot produkt alkoholne in očetno kislinske fermentacije (The Nutrition Source, 2019).

Znani so tudi domnevni zdravilni učinki kisa na zdravje. Poročali so o številnih medicinskih uporabah, vključno z zniževanjem holesterola, izboljšanjem glikemije pri sladkorni bolezni in povečanjem sitosti (Forouhar & Sack, 2012).

V kuhinji najpogosteje uporabljamo jabolčni ali vinski kis. Kupljen kis običajno vsebuje 5 % očetne oz. etanojske kisline.

V 10. členu Pravilnika o kakovosti kisa in razredčene očetne kisline je določeno, da mora vinski kis vsebovati najmanj 60 g očetne kisline na liter, druge vrste kisa najmanj 50 g/L. Torej standardizirani kisi ne vsebujejo manj kot 5 oz. 6 % očetne kisline.

2.3.2 Limona

Limone pogosto enačimo s kislim okusom, ki je posledica prisotnosti organskih kislin. Večinski delež organskih kislin v limoni predstavlja citronska kislina, v manjši meri pa še jabolčna kislina. Limone vsebujejo tudi visoke koncentracije vitamina C, zaradi česar jih pogosto dodajamo v prehrano (Bunning, 2014).

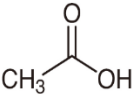
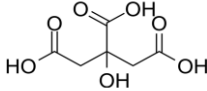
Limonin sok vsebuje od 5 do 6 % citronske kisline s pH okoli 2,2 (Nacionalni portal o hrani in prehrani, 2022).

2.4 Kisline in hidroliza ogljikovih hidratov

Na hidrolizo ogljikovih hidratov vplivajo številni dejavniki.

Številne pretekle študije so pokazale pozitiven učinek uživanja kisa pred obrokom, bogatim z ogljikovimi hidrati, na raven glukoze v krvi. Točen mehanizem delovanja kislin na izravnavo glukoze krivulje še vedno ni jasen. Podatki in vitro kažejo, da očetna kislina, ki je glavna sestavina kisa, zaradi znižanja pH slin začasno deaktivira delovanje α -amilaze v slini. Posledično se škrob počasneje pretvarja v glukozo, ta pa blažje prizadene naše telo. Podoben učinek ima tudi limona, njena glavna sestavina je citronska kislina. (Kot drugi pomemben razlog so podatki pokazali, da kis vpliva na hitrost praznjenja želodca, vendar se naša raziskava osredotoča na prej opisan učinek kisa.) (Santos, de Moraes, da Silva, Prestes, & Schoenfeld, 2019).

Tabela 1: Primerjava očetne in citronske kisline

	Kis	Limonin sok
Kislina	Očetna	Citronska
Molekulska formula	C ₂ H ₄ O ₂	C ₆ H ₈ O ₇
Strukturna formula	 Slika 4: Očetna kislina (TCI, 2024)	 Slika 5: Citronska kislina (Makabo, 2025)
Število karboksilnih skupin (COOH)	ena (monokarboksilna)	tri (trikarboksilna)
Reakcija disociacije	CH ₃ COOH ⇌ CH ₃ COO ⁻ + H ⁺	C ₆ H ₈ O ₇ ⇌ C ₆ H ₇ O ₇ ⁻ + H ⁺ C ₆ H ₇ O ₇ ⁻ ⇌ C ₆ H ₆ O ₇ ²⁻ + H ⁺ C ₆ H ₆ O ₇ ²⁻ ⇌ C ₆ H ₅ O ₇ ³⁻ + H ⁺
pKa	4,7	3,1, 4,7 in 6,4

Tako očetna kot citronska kislina sta šibki organski kislini. Očetna kislina je monokarboksilna kislina, kar pomeni, da ima eno karboksilno skupino in s tem le eno stopnjo disociacije. Medtem ima citronska kislina tri karboksilne skupine in s tem tri stopnje disociacije (Wikipedia, 2025; Journal of Industrial and Engineering Chemistry, 2022).

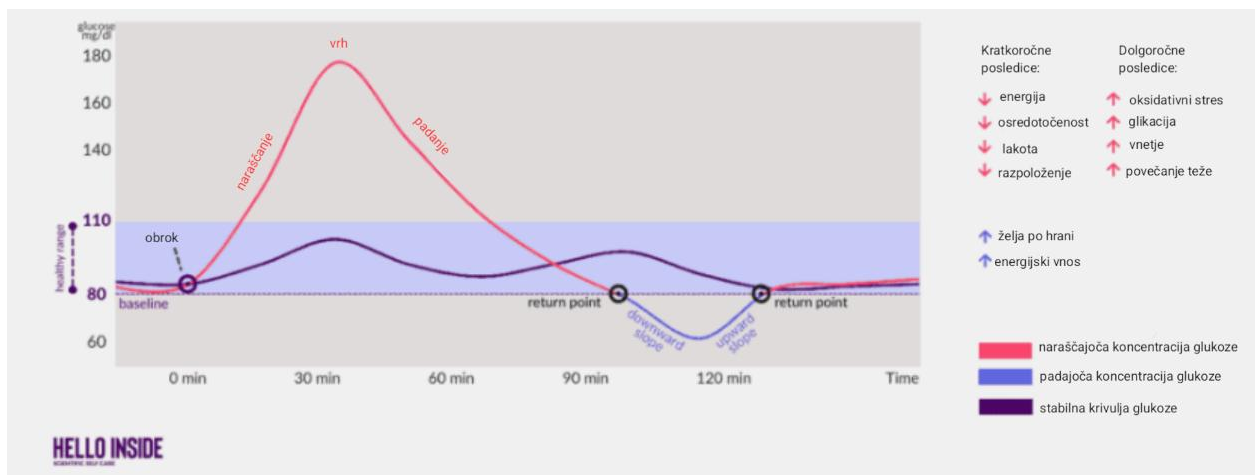
Opomba: Upoštevanje vpliva fruktoze v limoninem soku na učinek pri dvigu glukoze ni smiselno, saj je njen delež zanemarljiv (2,5 g na 100 g) (Nacionalni portal o hrani in prehrani, 2022).

2.5 Zdravstveni vidiki zaviranja prebave škroba

V praksi torej, kot že večkrat omenjeno, zaviranje prebave škroba povzroči počasnejši porast koncentracije glukoze v krvi. Zakaj je to sploh pomembno?

Človeško telo za optimalno delovanje potrebuje ustrezno količino energije. Glavni vir energije v človeškem telesu predstavlja glukoza. Kot že prej opisano, največ glukoze človeško telo dobi z razgradnjo ogljikovih hidratov oz. škroba. Vendar pa prekomerna koncentracija glukoze v

telesu predstavlja tveganje za zdravje in je škodljiva. Ugotovljeno je bilo, da je najprimernejša koncentracija glukoze v krvi 5,5 mmol/L oz. območje med 3,5 do 6,5 mmol/L (Bratina, 2012). Raven glukoze se najbolj skokovito poveča po obroku, bogatem z ogljikovimi hidrati. Pri zdravih posameznikih poskuša trebušna slinavka z izločanjem hormona inzulina raven glukoze ves čas uravnati znotraj zaželenega območja. Vendar ima to vpliv na celotni organizem. Ljudje lahko tako ob hitrem porastu glukoze občutimo akutne zaplete, kot so nenaden padec energije, lakota, žeja, težave s spanjem, zaspanost, možganska megla ali hormonske težave. Ob ponavljajočih dvigih glukoze lahko pride do kroničnih zapletov, kot so povečanje telesne mase, pospešitev glikacije (staranja) in drugih pridruženih bolezni (Huber, 2023).



Slika 6: Zvišanje koncentracije glukoze v krvi po obroku in vpliv na organizem

(Huber, 2023)

2.5.1 Sladkorna bolezen

Porasti glukoze pa lahko povečajo tudi tveganje za razvoj sladkorne bolezni tipa 2. Nenadni in sunkoviti porasti namreč preobremenijo trebušno slinavko in lahko sčasoma oslabijo njeno delovanje. Pride do tako imenovane inzulinske rezistence. Celice razvijejo odpornost (rezistenco) na nenehno povišano raven inzulina. Inzulin pa tako ne more več vstopiti v celice. Posledično izloča trebušna slinavka še več inzulina, da bi lahko spravila presežek glukoze čim prej iz krvi v celice, celice pa so tako vedno bolj odporne na inzulin (Turnšek, 2021).

Posledice porasta glukoze so pa še očitnejše pri ljudeh s sladkorno boleznijo, kjer telo ne proizvaja inzulina (tip 1) ali pa so celice nanj odporne (tip 2). Sladkorni bolniki si zato inzulin

aplicirajo sami z inzulinskim peresnikom ali jim pri tem pomaga inzulinska črpalka. V obeh primerih telo samo ne uravnava ravni glukoze in tako težje vzdržujejo njeno raven znotraj optimalnega območja. Tako imajo veliki skoki glukoze, zraven že prej omenjenih negativnih učinkov na organizem, na osebe s sladkorno boleznijo še toliko večji vpliv.

2.5.2 Raziskave o povezavi organskih kislin s krvnim sladkorjem

Študije in vivo, izvedene na živalih, zdravih prostovoljcih in ljudeh s sladkorno boleznijo tipa 1 in tipa 2, so dokazale, da uživanje kisa lahko izboljša glikiran hemoglobin (HbA_{1c}), zmanjša najvišjo raven glukoze v krvi po jedi ter zamakne njen vrh (torej povzroči nižji glikemični indeks obroka) (Santos, de Moraes, da Silva, Prestes, & Schoenfeld, 2019).

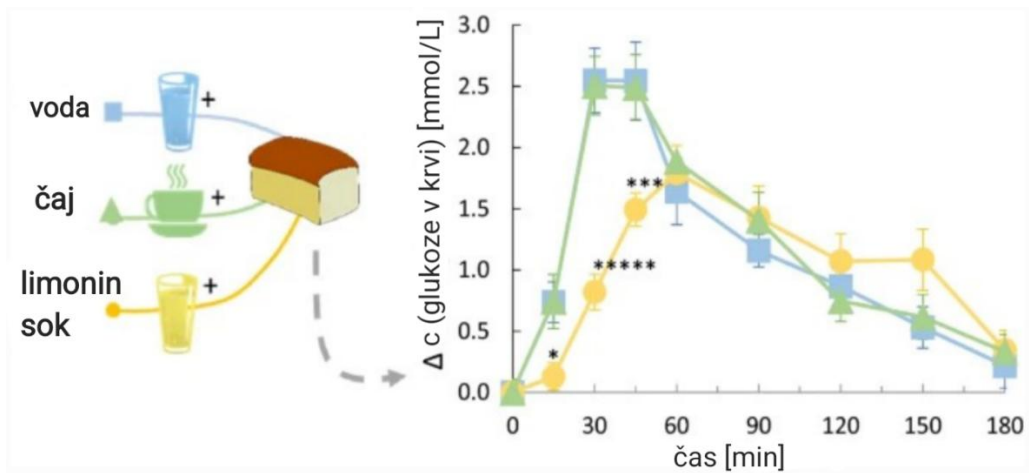
Najpomembnejši pokazatelj dolgoročne urejenosti sladkorne bolezni je HbA_{1c} . Gre za laboratorijsko preiskavo, ki meri povprečno koncentracijo krvnega sladkorja v zadnjih 2 do 3 mesecih, kar ustreza življenjski dobi rdečih krvničk (Bratina, 2012).

Študije, ki so ocenjevale učinek uživanja kisa od 8 do 12 tednov, so pokazale znižanje HbA_{1c} za najmanj 0,14 odstotne točke. Podaljšana uporaba kisa bi lahko povzročila večje zmanjšanje (Javaid Siddiqui, in drugi, 2018).

Za kratkoročne rezultate je študija pokazala, da je imela skupina, ki je jemala kis, po 30 minutah vrednosti koncentracijo glukoze v krvi za skoraj 1 mmol/L nižje kot kontrolna skupina. V kasnejših časovnih točkah se je statistična pomembnost sicer izgubila, vendar je povprečno ostalo nižja še po 120 minutah (Javaid Siddiqui in drugi, 2018).

Pretekle študije so pokazale, da ima tudi limonin sok (podobno kot kis) pozitiven vpliv na glikemijo. Izvedena je bila randomizirana navzkrižna študija z enakimi porcijami kruha (100 g) in 250 mL vode, črnega čaja ali limoninega soka. Koncentracijo glukoze v kapilarni krvi so spremljali 180 minut z metodo vboda v prst. Rezultati so pokazali, da čaj ni vplival na glikemični odziv. Limonin sok je znižal povprečno najvišjo koncentracijo glukoze v krvi za 30 % in jo odložil za več kot 35 minut (Freitas in drugi, 2021).

Rezultate raziskave prikazuje slika 7.



Slika 7: Vpliv limoninega soka na koncentracijo glukoze v krvi

(National Library of Medicine, 2021)

3 METODOLOGIJA DELA

V okviru raziskovalne naloge sem pregledala do sedaj izvedene raziskave o vplivu kisa na krvni sladkor ter tako določila glavni predmet raziskave. V eksperimentalnem delu sem se zato osredotočila na vpliv pH na aktivnost encima α -amilaze in s tem na hidrolizo škroba. Ugotovitve "in vitro" sem prenesla tudi v poskus "in vivo" ter tako merila in primerjala raven glukoze v medceličnini s pomočjo senzorja CGM (ang. continuous glucose monitor).

3.1 Metode določanja glukoze po hidrolizi škroba

Glavni produkt hidrolize škroba je enostavni sladkor – glukoza. V raziskavi sem za določitev koncentracije nastale glukoze uporabila spektrofotometrijo in metodo z DNSA reagentom (3,5-dinitrosalicilno kislino).

Spektrofotometrija je bila izbrana zaradi njene natančnosti in primernosti za moj poskus. Pred izbiro primerne metode sem namreč izvedla predposkuse, ki so vključevali določitev nastale glukoze na podlagi različnih metod. Med drugim sem izvedla predposkus (Royal Society of Biology, 2011) z uporabo raztopine joda. Želela sem meriti čas, potreben za razgradnjo škroba z α -amilazo iz sline.

Iz reakcijske zmesi škrobovica – slina sem v intervalih po 10 sekund odvezemala po kapljico vzorca in jo dodala kapljici raztopine joda. Dokler je v vzorcu še škrob, nastaja temno moder kompleks.



Slika 8: Predposkus: hidroliza škroba – test z jodovico

(Lastni vir, 2024)

Metoda se je izkazala za premalo zanesljivo. Barvne razlike so bile namreč težko zaznavne, prav tako bi pa lahko prišlo do odstopanj zaradi zamude pri vzorčenju. Tako sem kot najprimernejšo metodo določila spektrofotometrijo, saj omogoča natančno in hitro določanje koncentracije glukoze v vzorcih.

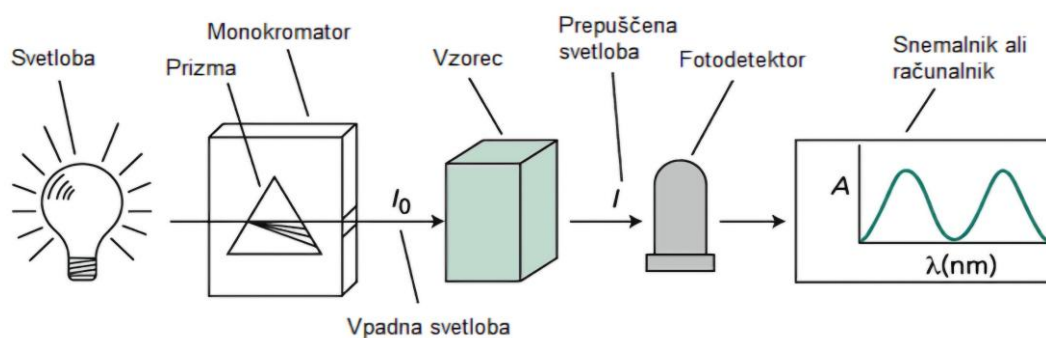
3.1.1 Spektrofotometrija

Spektrometrija izkorišča razliko v optičnih lastnostih molekul v različnih področjih elektromagnetnega spektra. Najbolj razširjeni sta ultravijolična (UV) in vidna (VIS) spektrometrija, s katerima merimo absorpcijo svetlobe neke snovi v področju ultravijoličnega in vidnega dela svetlobnega spektra. Ko UV ali vidna svetloba prehaja skozi snov, se del svetlobnega spektra absorbira, ker spodbudi elektrone, da prehajajo na višji energijski nivo (Zvonar, 2011).

Del svetlobnega spektra, ki ga neka snov absorbira, lahko povežemo s koncentracijo te snovi v raztopini. Na podlagi te zakonitosti lahko s spektrometrom kvantitativno določimo koncentracijo snovi v bistri raztopini (Zvonar, 2011).

Pred merjenjem pripravimo slepi vzorec. S tem umerimo intenziteto vhodnega žarka, saj pri prehodu svetlobe skozi raztopino prihaja zraven absorpcije svetlobe še do drugih fizikalnih pojavov (EMŠ Farmacija, 2018).

Kot je razvidno iz slike 9, svetloba iz vira prehaja skozi kiveto z vzorcem. Del svetlobe se absorbira, preostali del pa doseže detektor. Količino absorbirane svetlobe izrazimo z absorbanco (Zvonar, 2011).



Slika 9: Shematski prikaz spektrofotometra

(Zvonar, 2011)

Beer-Lambertov zakon opisuje zvezo med absorbanco in koncentracijo snovi v kivetu. Absorbanca (A) je premo sorazmerna s koncentracijo snovi (c), dolžino optične poti svetlobnega žarka (I) in molarnim absorpcijskim koeficientom (ϵ), ki je značilen za določeno snov (Zvonar, 2011).

Beer-Lambertov zakon:

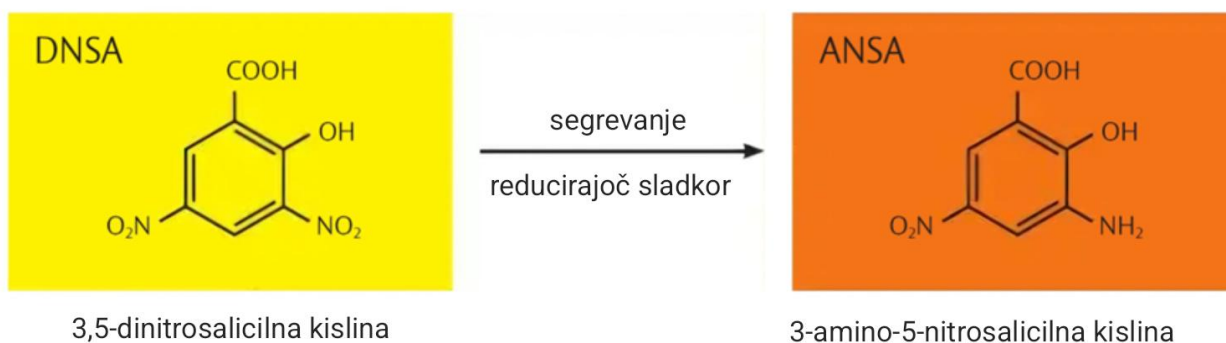
$$A = c * I * \epsilon$$

Za določanje koncentracije snovi izberemo valovno dolžino, pri kateri je absorbanca največja. Koncentracijo snovi določimo posredno z metodo umeritvene krivulje (EMŠ Farmacija, 2018).

3.1.2 Metoda z DNSA reagentom

Pri segrevanju rumene 3,5-dinitrosalicilne kisline (DNSA) v prisotnosti reducirajočih sladkorjev (glukoze) nastane rdečerjav produkt, 3-amino-5-nitrosalicilna kislina (ANSA). Kot je razvidno iz slike 10, se pri segrevanju v prisotnosti sladkorjev (glukoze) 3-nitro skupina (NO_2) reducira in nastane amino skupina (NH_2) (Kapun Dolinar & Štrumbelj Drusany, 2010).

Čim višja je koncentracija glukoze, tem več oranžnega produkta nastane. Intenzivnost razvite barve merimo s spektrofotometrom pri 540 nm valovne dolžine (Kapun Dolinar & Štrumbelj Drusany, 2010).



Slika 10: Reakcija DNSA z reducirajočim sladkorjem

(SCRIBD, 2016)

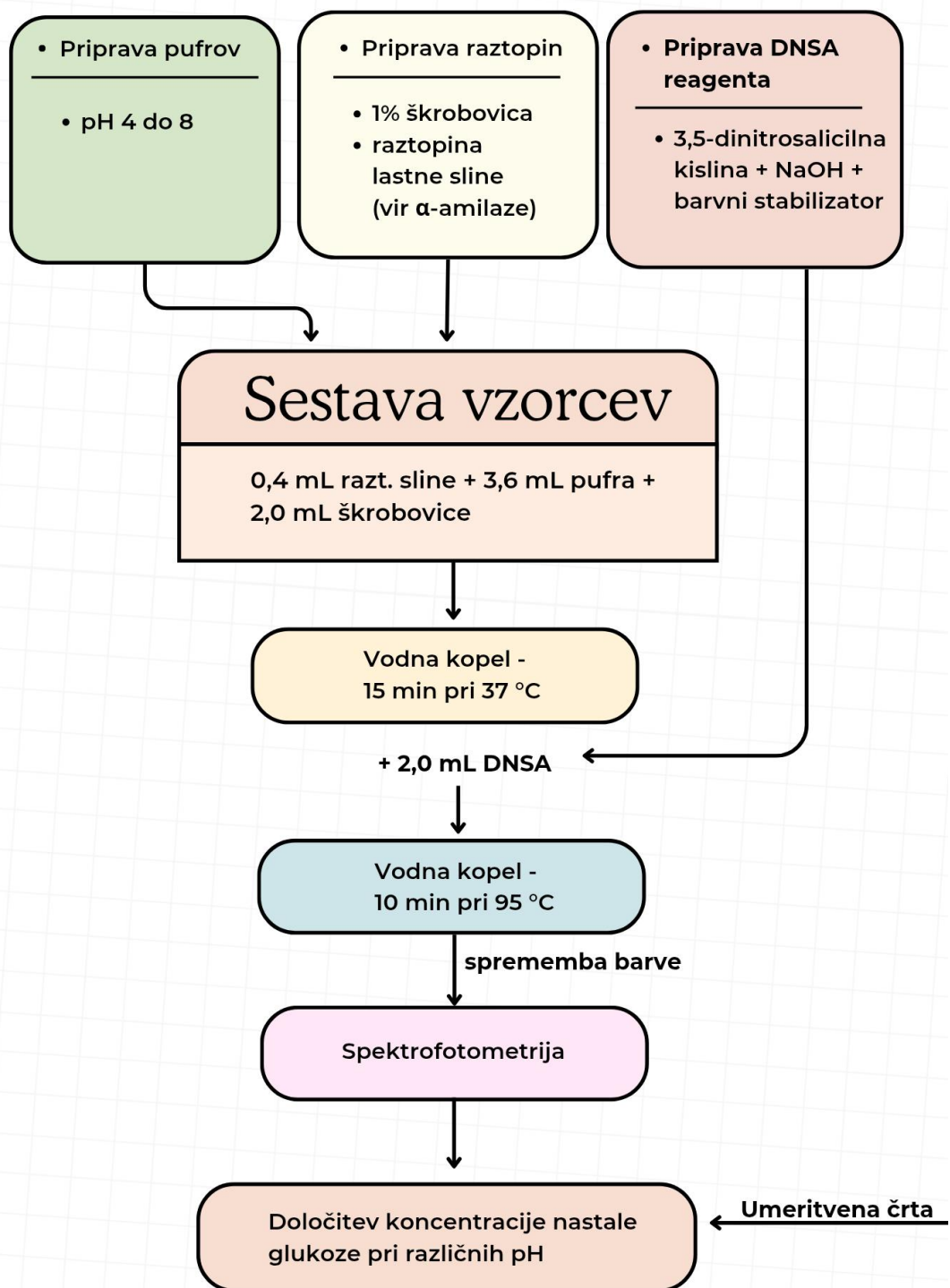
4 EKSPERIMENTALNI DEL

V eksperimentalnem delu sem ugotavljala vpliv pH na aktivnost encima α -amilaze in s tem na hidrolizo škroba. Ugotovitve sem prenesla tudi v realno življenje ter si tako merila in primerjala raven glukoze v medceličnini s pomočjo senzorja CGM, brez in z zaužitjem kisa pred škrobnim obrokom.

4.1 Načrt dela – hidroliza škroba

Poskus sem opravila v šolskem laboratoriju, kjer sem upoštevala vsa navodila za varno delo. V raziskavi sem uporabljala lastno slino in sem zato laboratorijske pripomočke po uporabi ustrezno očistila.

Namen raziskave je bil ugotoviti vpliv pH na aktivnost encima α -amilaza. Tako sem pripravila pufre pH vrednosti 4 do 8, dodala raztopino lastne sline, 1-% škrobovico in 3,5-dinitrosalicilno kislino (DNSA). Po segrevanju v vodni kopeli sem s spektrofotometrom izmerila absorbanco ter vrednosti primerjala z umeritveno črto za določitev količine nastalega produkta glukoze. Načrt dela prikazuje naslednja shema.



Slika 11: Načrt dela

(Lastni vir, 2024)

V nadaljevanju predstavljam podrobnejši postopek dela.

4.2 Seznam kemikalij in laboratorijske opreme

4.2.1 Kemikalije

Pri raziskavi sem uporabila naslednje kemikalije:

- škrob ($C_6H_{10}O_5$)_n, p.a., Merck,
- glukoza ($C_6H_{12}O_6$), p.a., Fluka,
- K-hidrogenftalat, p.a., Sigma-Aldrich,
- K-dihidrogenfosfat, p.a., Kemika Zagreb,
- kalijev natrijev tartrat tetrahidrat ($KNaC_4H_4O_6 \cdot 4H_2O$), p.a., Fluka,
- 3,5-dinitrosalicilna kislina – DNS ($C_7H_4N_2O_7$), p.a., Sigma-Aldrich,
- natrijev hidroksid (NaOH), 1,0 mol/L in 0,10 mol/L
- deionizirana voda (H_2O),
- lastna slina – vir α -amilaze.

4.2.2 Laboratorijska oprema

Uporabila sem naslednjo laboratorijsko opremo:

- pH meter Vernier,
- spektrofotometer Vernier SpectroVis,
- digitalni termometer Hanna Checktemp
- ter običajno laboratorijsko steklovino in pripomočke.

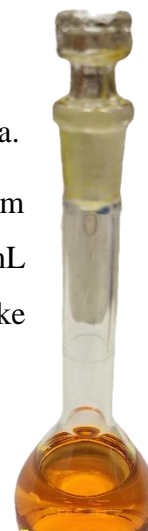
4.3 Potek dela

Pred izvedbo meritev sem si pripravila: DNSA reagent, pufre, raztopino sline in raztopino škroba.

4.3.1 DNSA reagent

Pripravila sem DNSA reagent, čigar glavna sestavina je 3,5-dinitrosalicilna kislina.

Zatehtala sem 0,50 g DNSA in jo raztopila v 20,0 mL NaOH. Raztopino sem segrevala ter mešala in nato dodala 14,1 g $\text{KNaC}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ raztopljenega v 25 mL vode. Raztopino sem prenesla v 50 mL merilno bučko, dopolnila z vodo do oznake in premešala.



Slika 12: DNSA reagent

(Lastni vir, 2024)

4.3.2 Pufri

Pripravila sem devet pufrov, vsakega s prostornino po 25 mL.

Pufre pH vrednosti 4,0 do 6,0 sem pripravila z dodatkom 12,50 mL K-hidrogenftalata (0,100 mol/L), pufre z vrednostmi 6,6 do 8,0 pa z dodatkom 12,50 mL K-dihidrogenfosfata (0,100 mol/L). Dodala sem še ustrezno količino natrijevega hidroksida (NaOH, 0,100 mol/L) ter destilirane vode. Sledila sem navodilom za pripravo pufrov iz Laboratorijskega priročnika. Po pripravi sem jim s pH metrom izmerila točen pH. Podatki za vsak puffer so prikazani v tabeli.

Tabela 2: Pufri

V (NaOH, 0,100 mol/L) [mL]	V (K-hidrogenftalata, 0,100 mol/L) [mL]	V (K-dihidrogenfosfata, 0,100 mol/L) [mL]	V (destil. vode) [mL]	Predviden pH	Izmerjen pH
0,10	12,50	/	12,40	4,00	3,95
3,04	12,50	/	9,46	4,60	4,60
5,96	12,50	/	6,54	5,00	5,03
9,96	12,50	/	2,54	5,60	5,69
11,40	12,50	/	1,14	6,00	6,14
4,45	/	12,50	8,05	6,60	6,61
7,41	/	12,50	5,09	7,00	6,97
10,70	/	12,50	1,80	7,60	7,44
11,70	/	12,50	0,80	8,00	7,74

4.3.3 Slina

V poskusu sem uporabila α -amilazo iz lastne sline. Za pripravo raztopine sem naredila več predposkusov, saj nisem poznala koncentracije α -amilaze v slini pa tudi ne optimalne koncentracije α -amilaze za preučitev vpliva pH na hidrolizo škroba.

Na koncu sem določila, da je najprimernejša 0,05 % raztopina sline.

S pipeto sem prenesla 0,12 mL pljunka (100 % slina) v čašo in dodala 2,30 mL deionizirane vode. Zmes sem dobro premešala s stekleno palčko.

To raztopino sem nato stokratno razredčila – 0,10 mL sem odpipetirala v 10 mL merilno bučko in dodala deionizirano vodo do oznake.

4.3.4 Škrobovica

Pripravila sem 1 % raztopino škroba. V čašo sem zatehtala 0,50 g škroba ter dodala 49,5 mL vode. Raztopino sem temeljito mešala, jo nekoliko segrela v mikrovalovni pečici in spet mešala, dokler se ni škrob v celoti raztopil.

4.3.5 Sestava vzorcev

Po pripravi osnovnih raztopin in pufrov sem pripravila devet epruвет. V vsako sem odmerila 0,4 mL 0,05 % raztopine sline, 3,6 mL ustreznega pufra in 2,0 mL škrobovice. Vzorci so se med seboj razlikovali po različnih pH vrednostih pufra.



Slika 13: Vodna kopel vzorcev z raztopino sline, pufra in škrobovice tik po dodatku DNSA

(Lastni vir, 2024)

Epruvete sem dala v vodno kopel pri 37 °C za 15 minut. Po 15 minutah sem v vsako izmed epruvet dodala 2,0 mL DNSA ter epruvete ponovno dala v vodno kopel pri 95 °C za 10 minut.

4.3.6 Kontrola

Za kontrolo sem pripravila raztopine brez vsebnosti α -amilaze. V epruvete sem tako odmerila 4,0 mL izbranega pufra in 2,0 mL škrobovice. In ponovila enak postopek vodnih kopeli kot pri epruvetah z vzorci. Kontrolo sem pripravila s pufri okvirne vrednosti pH 4, 5, 6, 7 in 8.

4.3.7 Umeritvena črta

Za interpretacijo in analizo rezultatov sem določila umeritveno črto.

Pripravila sem založno raztopino glukoze. V čašo sem zatehtala 1,81 g glukoze ($C_6H_{12}O_6$), jo prenesla v 100 mL bučko in dodala vodo do oznake. Tako sem dobila raztopino koncentracije 100 $\mu\text{mol/mL}$. Raztopino sem razredčila 1 : 50. Zato sem odpipetirala 2,00 mL raztopine v

drugo 100 mL bučko in dopolnila z vodo do oznake. S tem sem dobila založno glukozno raztopino koncentracije 2,00 $\mu\text{mol/mL}$.

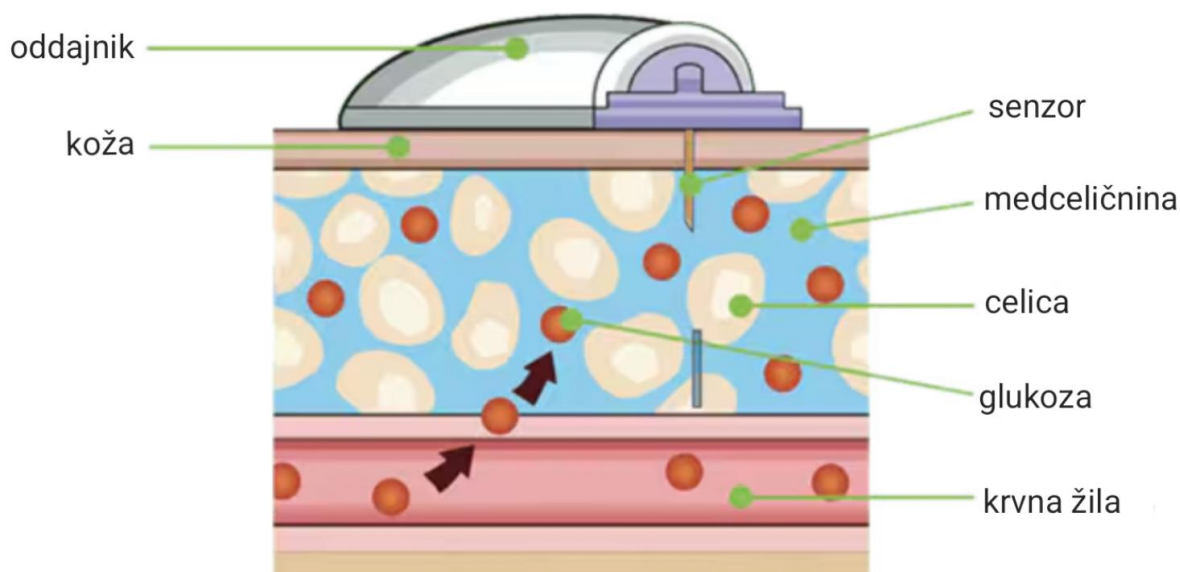
Nato sem z razredčevanjem pripravila standardne raztopine glukoze. V 13 epruvt sem dodala ustrezno prostornino založne raztopine glukoze in vode, kot je razvidno iz tabele 3, ter 2,00 mL DNSA. Epruvete sem dala v vodno kopel temperature 95 °C za 10 minut.

Tabela 3: Sestava standardnih raztopin

	V (C ₆ H ₁₂ O ₆ , 2,00 $\mu\text{mol/mL}$) [mL]	V (H ₂ O) [mL]	V (DNSA) [mL]	c (C ₆ H ₁₂ O ₆) [$\mu\text{mol/mL}$]
0	0,00	6,00	2,00	0,00
1	0,50	5,50	2,00	0,13
2	1,00	5,00	2,00	0,25
3	1,50	4,50	2,00	0,38
4	2,00	4,00	2,00	0,50
5	2,50	3,50	2,00	0,63
6	3,00	3,00	2,00	0,75
7	3,50	2,50	2,00	0,88
8	4,00	2,00	2,00	1,00
9	4,50	1,50	2,00	1,13
10	5,00	1,00	2,00	1,25
11	5,50	0,50	2,00	1,38
12	6,00	0,00	2,00	1,50

4.5 Poskus v realnem življenju

Ugotovitve po izvedbi poskusa sem preverila tudi v realnem življenju. Primerjala sem vpliv obroka brez in z zaužitjem kisa na dvig glukoze. Glukozo sem merila v medceličnici s senzorjem Guardian™ 4.



Slika 14: Guardian™ 4

(Medtronic, 2023)

Senzor je vstavljen v podkožje in tako meri raven glukoze v medceličnici. Omogoča neprekinjeno spremljanje glukoze in tako zagotavlja zelo natančne podatke. Podatke prikazuje s krivuljo, ki je uporabniku dostopna na pametnem telefonu (Medtronic, 2023).

Za boljši pregled sem podatke iz aplikacije prenesla v mrežo, ki sem jo oblikovala za lažjo primerjavo med obroki (slike uporabljene v poglavju Rezultati).

4.5.1 Priprava

Pripravila sem testne obroke in enak obrok zaužila dva zaporedna dneva, ob enakem času. Po obroku za zanesljivejše rezultate nisem bila telesno aktivna, niti ne pod vplivom drugih

dejavnikov, ki bi lahko vplivali na rezultate (stres, bolezen ...). Obroke sem zaužila na tešče in tako preprečila potencialni vpliv drugih živil.

Glavni vzrok dviga glukoze v mojih testnih obrokih predstavljajo škrobna živila (kruh).

Kruh je priljubljeno živilo, večina ljudi ga dnevno vključuje v svojo prehrano. Sama sem pa po njegovem zaužitju vedno znova opažala velike poraste glukoze v krvi. Kruh ima namreč visok do srednji glikemični indeks, odvisno od vrste. Glikemični indeks belega kruha je 70, polnozrnatega 45 (Bratina, 2012).

To pomeni, da kruh povzroči hiter porast glukoze v krvi. S tem se mi je kruh zdel primerno živilo za raziskavo.

4.5.2 Prvi testni obrok

Za 1. testni obrok sem zaužila 51 g ogljikovih hidratov. Obrok je bil sestavljen iz 50 g pirinega toasta, 75 g rumene paprike, 45 g klobas piščančje prsi, 20 g sira, 200 mL mleka in 5 g kakava (brez sladkorja). Prvi dan sem 18 minut pred obrokom popila še 15 mL 4 % vinskega kisa, razredčenega v 200 mL vode.

4.5.3 Drugi testni obrok

Za 2. testni obrok sem zaužila 55 g ogljikovih hidratov. Obrok je bil sestavljen iz 60 g polnozrnate žemlje, 80 g svežega paradižnika, 350 mL čaja z mlekom (brez sladkorja) ter 25 g piščančje paštete. Drugi dan sem tik pred obrokom popila še 15 mL 5 % jabolčnega kisa, razredčenega v 200 mL vode. Tretji dan pa 15 mL limoninega soka, razredčenega v 200 mL vode.

4.5.4 Tretji testni obrok

Za tretji testni obrok sem preizkusila še vpliv kisa in limone na obrok, ki ima manjši delež škroba, vendar zaradi drugih sestavin še vedno dvigne krvni sladkor.

Obrok je tako vseboval ajdov rogljiček, mleko, 4 rezine klobase in 3 češnjeve paradižnike. Skupaj 50 g ogljikovih hidratov. Porast krvnega sladkorja je bil tako v največji meri posledica

škroba in sladkorja (v rogljičku). Prvi dan sem pred obrokom popila 15 mL 5 % jabolčnega kisa, razredčenega v 200 mL vode. Tretji dan pa sem tik pred obrokom popila še 15 mL limoninega soka, razredčenega v 200 mL vode.

5 REZULTATI

5.1 Hidroliza škroba z α -amilazo pri različnih pH

5.1.1 Sprememba barve

Že pred meritvijo absorbanc sem opazila spremembo barve vzorcev. Pri segrevanju DNSA v prisotnosti sladkorjev (glukoze), kot že prej omenjeno, namreč nastane rdečerjav produkt, 3-amino-5-nitrosalicilna kislina.

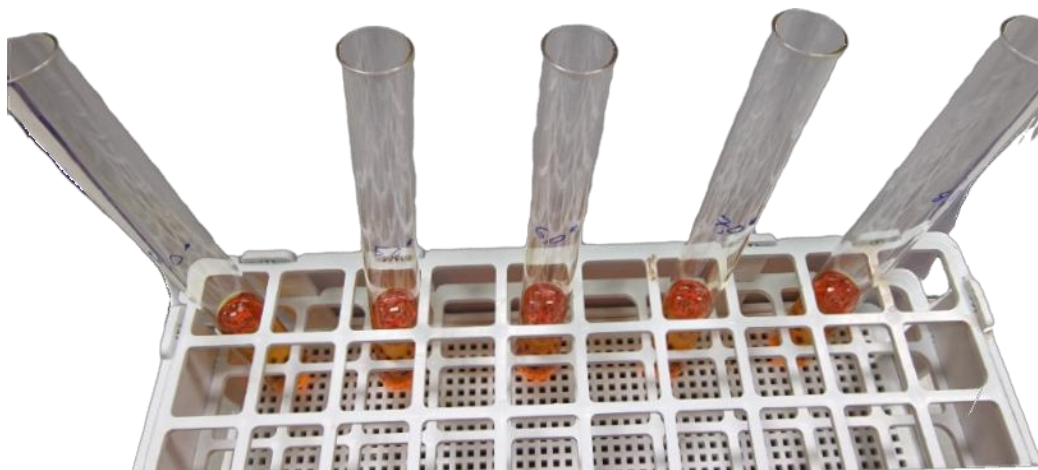
Intenzivnejša barva je tako ponazorila večjo količino nastale glukoze. Najtemnejši so bili vzorci pH 5,6 do 7,6. Najsvetlejši je bil vzorec s pH 4,0.



Slika 15: Barvne spremembe po hidrolizi škroba z α -amilazo pri različnih pH in po reakciji z DNSA

(Lastni vir, 2024)

Medtem ni bilo opazne nikakršne barvne razlike vzorcev pri kontrolnih epruvetah.



Slika 16: Kontrole

(Lastni vir, 2024)

5.1.2 Spektrofotometrija

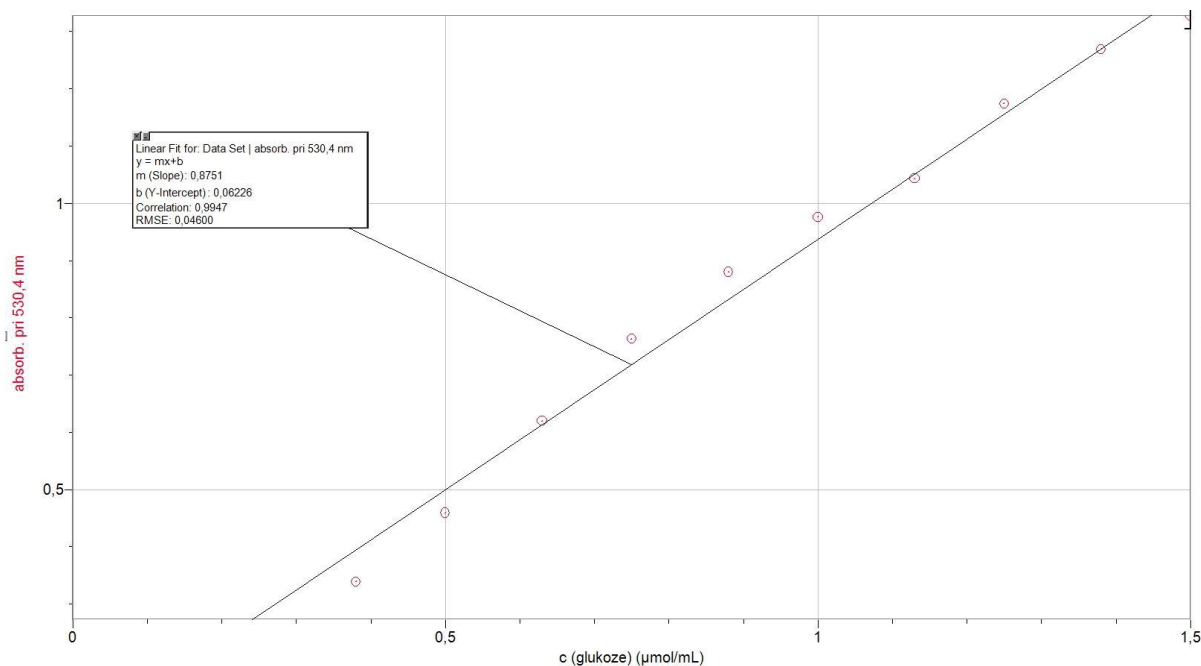
Po končanem postopku hidrolize škroba sem izmerila vrednost absorbance vzorcev s spektrofotometrom v kivetah. Vse meritve so bile izvedene brez večjih časovnih zamikov pri sobni temperaturi. Absorbance vzorcev in kontrol prikazuje spodnja tabela. Absorbanco sem merila na valovni dolžini 530,4 nm.

Tabela 4: Absorbance vzorcev in kontrol

pH	Absorbanca vzorcev z α -amilazo pri 530,4 nm	Absorbanca kontrolnih vzorcev pri 530,4 nm
3,95	0,382	0,381
4,60	0,501	/
5,03	0,725	0,433
5,69	1,620	/
6,14	1,750	0,510
6,61	1,650	/
6,97	1,554	0,434
7,44	1,265	/
7,74	0,868	0,408

5.1.3 Umeritvena črta

Po 10-minutni vodni kopeli sem s spektrofotometrom pri valovni dolžini 530,4 nm izmerila absorbance standardnih raztopin glukoze z DNSA.



Graf 1: Umeritvena črta

(Lastni vir, 2024)

Dobila sem linearno funkcijo, z enačbo premice: $\text{abs. pri } 530,4 \text{ nm} = 0,8751 * x + 0,06226$

Tako sem dobila podatke, na podlagi katerih sem lahko določila koncentracijo glukoze v epruveh po hidrolizi škroba.

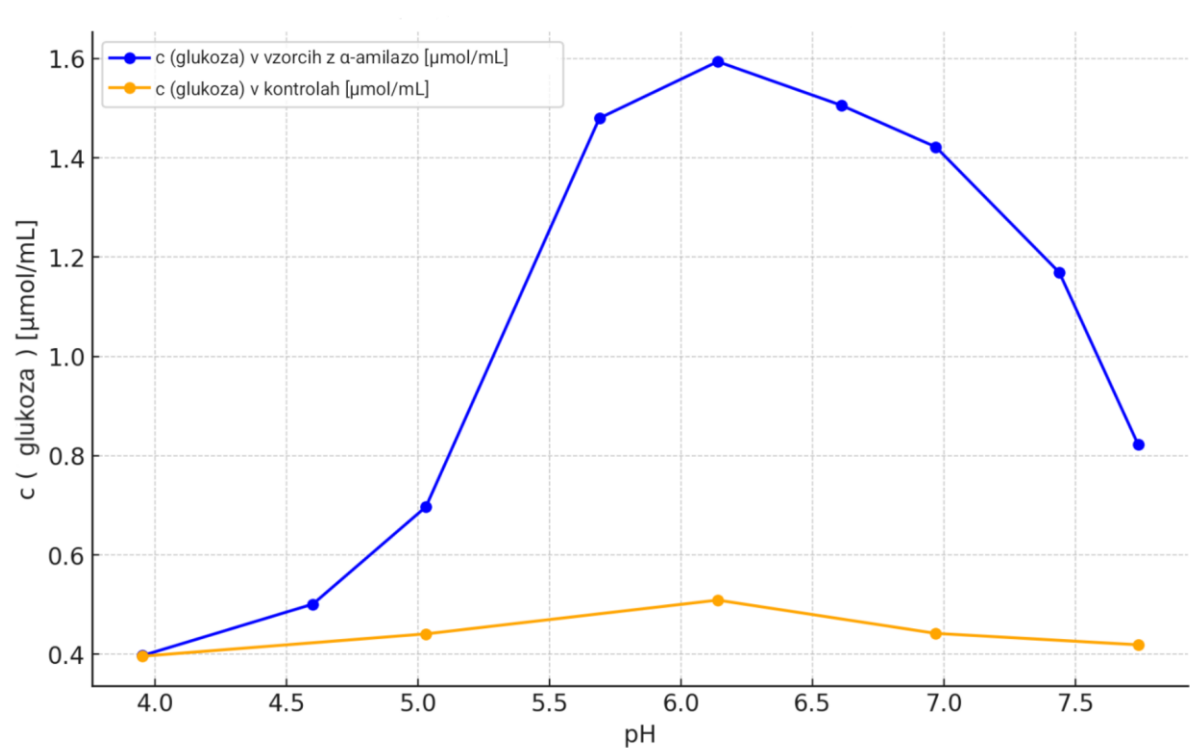
5.1.4 Določitev nastale glukoze

Na podlagi umeritvene črte in vrednosti absorbance vzorcev sem določila koncentracijo nastale glukoze po hidrolizi škroba. Tabela 5 prikazuje vrednosti vzorcev za posamezne pH vrednosti ter kontrole.

Tabela 5: Koncentracija nastale glukoze

pH	c (C ₆ H ₁₂ O ₆) v vzorcih z α-amilazo [μmol/mL]	c (C ₆ H ₁₂ O ₆) v kontrolah [μmol/mL]
3,95	0,397	0,396
4,60	0,501	/
5,03	0,697	0,441
5,69	1,480	/
6,14	1,594	0,509
6,61	1,506	/
6,97	1,422	0,442
7,44	1,169	/
7,74	0,822	0,419

S podatki iz tabele sem izrisala graf 2. Oranžna krivulja prikazuje kontrolne vzorce, modra krivulja pa prikazuje odvisnost koncentracije nastale glukoze od pH vzorca.



Graf 2: Odvisnost koncentracije glukoze od pH vzorca

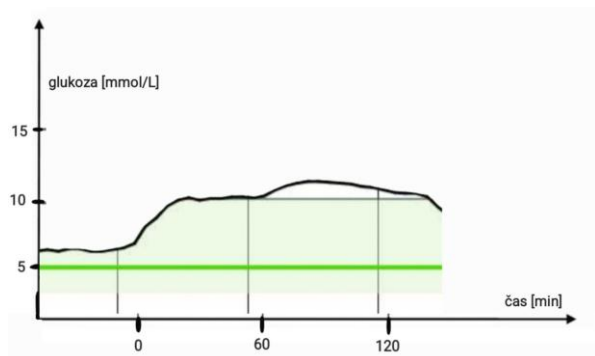
5.2 pH sline

V okviru eksperimentalnega dela sem s pH metrom izmerila tudi pH lastne sline in s tem podatke poskusa primerjala z okoliščinami v realnem življenju. Tako sem popila 15 mL jabolčnega kisa, razredčenega v 200 mL vode. Pred zaužitjem je bil pH sline 7,63; takoj po zaužitju 6,22; deset minut po zaužitju 7,00; dvajset minut po zaužitju pa 7,35.

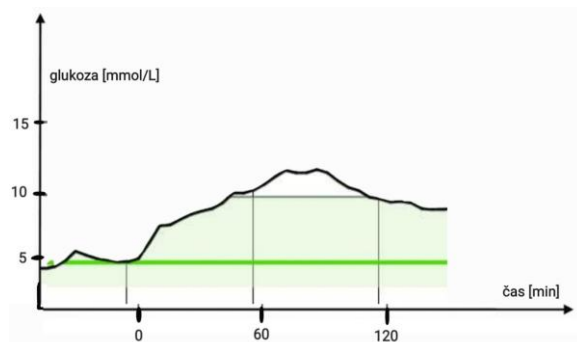
5.3 Poskus – s senzorjem CGM¹

Podatke senzorja sem prenesla v svojo mrežo in ustvarila spodnje slike. Osredotočila sem se na raven glukoze pred obrokom, najvišjo raven glukoze ter raven glukoze po 120 minutah od obroka.

5.3.1 Prvi testni obrok



Slika 17: 1. testni obrok, s kisom



Slika 18: 1. testni obrok, brez kisa ali limone

Sprememba glukoze je bila prvi dan (s kisom) 4,4 mmol/L. Vrh je dosegla 110 minut po obroku. Drugi dan (brez kisa) je bila sprememba glukoze 6,2 mmol/L. Vrh je dosegla 90 minut po obroku.

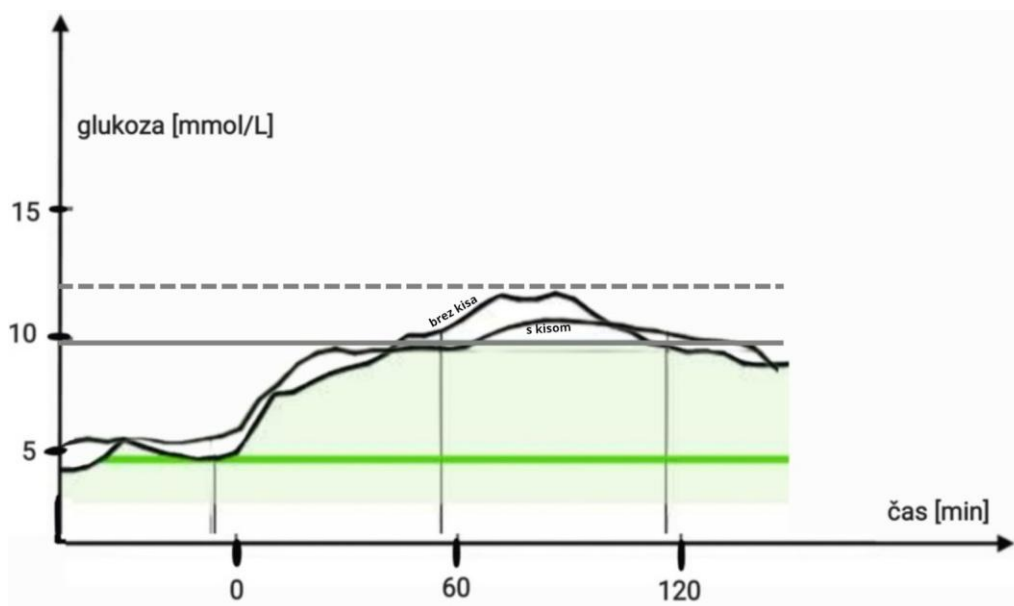
Natančnejše koncentracije glukoze so prikazane v tabeli 6.

¹ Vse slike v tem poglavju so lastni vir. Zaradi nazornosti sem ta podatek v naslovih slik izpustila.

Tabela 6: Koncentracije glukoze, 1. testni obrok

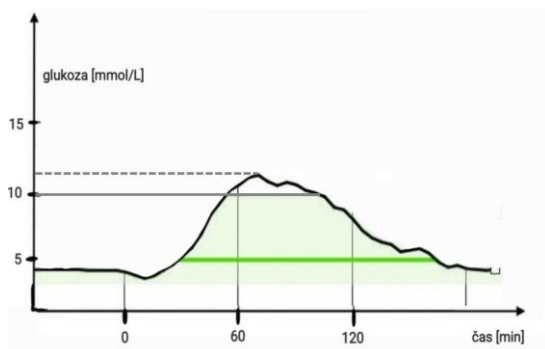
	začetna konc. (C ₆ H ₁₂ O ₆) [mmol/L]	najvišja konc. (C ₆ H ₁₂ O ₆) [mmol/L]	sprememba konc. (C ₆ H ₁₂ O ₆) [mmol/L]	konc. (C ₆ H ₁₂ O ₆) po 120 minutah [mmol/L]
S kisom	6,8	11,2	4,4	10,1
Brez kisa	5,7	11,9	6,2	9,8

Za lažjo primerjavo prilagam še sliko primerjave dviga glukoze pri obroku z in brez dodatka kisa za prvi testni obrok.

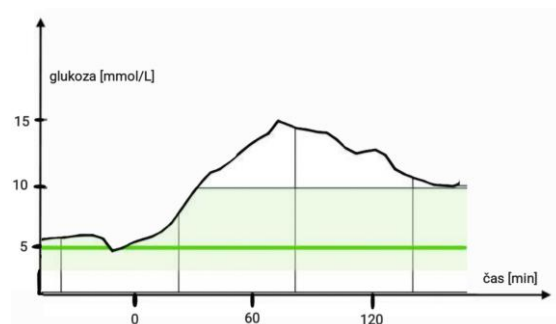


Slika 19: Primerjava s kisom in brez za 1. testni obrok

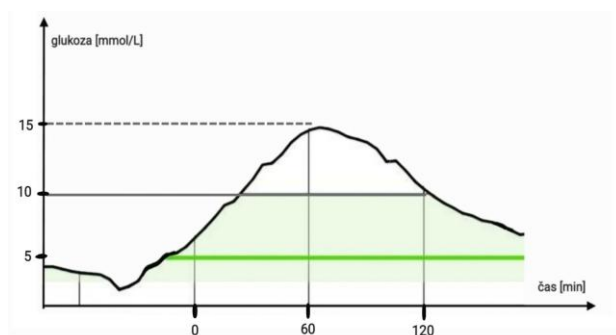
5.3.2 Drugi testni obrok



Slika 20: 2. testni obrok, s kisom



Slika 21: 2. testni obrok, z limono



Slika 22: 2. testni obrok, brez kisa ali limone

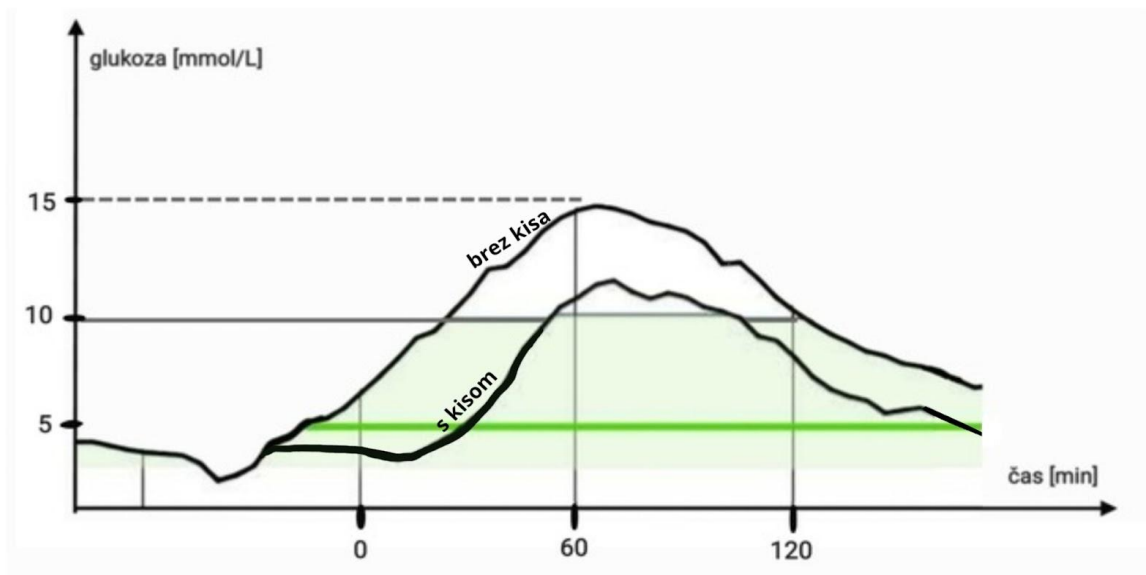
Sprememba glukoze je bila prvi dan (brez kisa) 9,7 mmol/L. Vrh je dosegla po 70 minutah od začetka obroka. Drugi dan (s kisom) je bila sprememba glukoze 7,1 mmol/L. Vrh je dosegla po 80 minutah od obroka. Tretji dan (z limoninim sokom) je bila sprememba glukoze 9,0 mmol/L. Vrh je dosegla 85 minut od obroka.

Natančnejše koncentracije glukoze so prikazane v spodnji tabeli.

Tabela 7: Koncentracije glukoze, 2. testni obrok

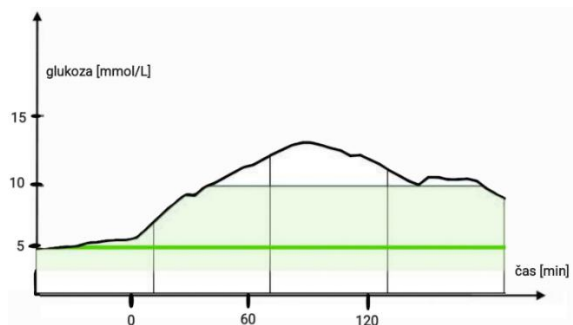
	začetna konc. (C ₆ H ₁₂ O ₆) [mmol/L]	najvišja konc. (C ₆ H ₁₂ O ₆) [mmol/L]	sprememba konc. (C ₆ H ₁₂ O ₆) [mmol/L]	konc. (C ₆ H ₁₂ O ₆) po 120 minutah [mmol/L]
S kisom	4,3	11,4	7,1	8,2
Z limono	6,0	15,0	9,0	12,5
Brez vsega	5,0	14,7	9,7	10,0

Za lažjo primerjavo prilagam še sliko primerjave dviga glukoze pri obroku z in brez kisa za drugi testni obrok.

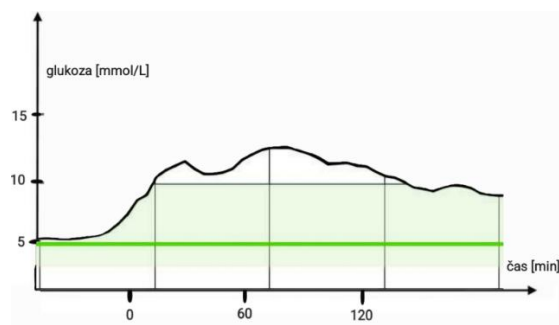


Slika 23: Primerjava s kisom in brez za 2. testni obrok

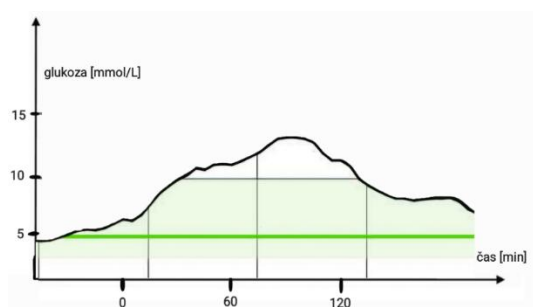
5.3.3 Tretji testni obrok



Slika 24: 3. testni obrok, s kisom



Slika 25: 3. testni obrok, z limono



Slika 26: 3. testni obrok, brez kisa ali limone

Sprememba glukoze je bila prvi dan (s kisom) 6,9 mmol/L. Vrh je dosegla po 100 minutah od začetka obroka. Drugi dan (brez kisa) je bila sprememba glukoze 7,1 mmol/L. Vrh je dosegla po 80 minutah od obroka. Tretji dan (z limoninim sokom) je bila sprememba glukoze 6,5 mmol/L. Vrh je dosegla 70 minut od obroka. Natančnejše koncentracije glukoze so prikazane v spodnji tabeli.

Tabela 8: Koncentracija glukoze, 3. testni obrok

	začetna konc. (C ₆ H ₁₂ O ₆) [mmol/L]	najvišja konc. (C ₆ H ₁₂ O ₆) [mmol/L]	sprememba konc. (C ₆ H ₁₂ O ₆) [mmol/L]	konc. (C ₆ H ₁₂ O ₆) po 120 minutah [mmol/L]
S kisom	6,3	13,2	6,9	12,2
Brez kisa	6,1	13,2	7,1	10,2
Z limono	6,2	12,7	6,5	10,9

5.3.4 Dodatna potrditev

Enostavno izvedbo prej opisanega poskusa sem ponovila tudi s pomočjo sošolke. Želela sem namreč preveriti, ali dodatek kisa oz. limone na enak način deluje tudi pri osebah brez diabetesa, torej kjer so porasti glukoze že v osnovi manj izraziti. Testni obrok je bil sestavljen iz 425 g kuhanega zdroba in je tako vseboval 65 g ogljikovih hidratov. Koncentracijo glukoze sem spremljala s pomočjo enostavnega CGM senzorja Libre, ki ga sama več nisem potrebovala.

Začetna koncentracija glukoze je bila prvi dan (brez vsega) 4,2 mmol/L, vrh je z 7,5 mmol/L dosegla po 30 minutah. Drugi dan (z 15 mL limoninega soka razredčenega v 200 mL vode) je bila začetna koncentracija glukoze 5,2 mmol/L, vrh je dosegla s 7,00 mmol/L po 30 minutah. Tretji dan (z 15 mL kisa razredčenega v 200 mL vode) je bila začetna koncentracija glukoze 4,3 mmol/L, vrh je dosegla po 80 minutah s koncentracijo glukoze 6,00 mmol/L.

Razlike koncentracije glukoze v krvi so bile tako prvi dan (brez vsega) 3,3 mmol/L (vrh po 30 minutah), drugi dan (limonin sok) 1,8 mmol/L (vrh po 30 minutah), tretji dan (kis) 1,7 mmol/L (vrh po 80 minutah).

6 RAZPRAVA

Zastavila sem si tri hipoteze, ki sem jih preverila z izvedbo poskusa »*in vivo*« in »*in vitro*«.

H1: Kisline upočasnijo hitrost hidrolize škroba.

Prvo hipotezo lahko potrdim. Rezultati poskusa hidrolize škroba pri različnih pH so namreč pokazali najmanjšo koncentracijo glukoze, pri enaki količini škroba, v vzorcu z najnižjim (najbolj kislim) pH. Razgradnja škroba je tako potekala najpočasneje v najbolj kislem vzorcu. Ker kisline znižujejo pH, to posledično pomeni, da so odgovorne za upočasnitev hidrolize škroba.

H2: Kis lahko upočasni porast glukoze v krvi po škrobnem obroku.

Tudi drugo hipotezo lahko potrdim. Upočasnitev hidrolize škroba namreč posledično pomeni počasnejše sproščanje glukoze v krvni obtok in s tem počasnejši porast krvnega sladkorja. Hipotezo sem dodatno potrdila tudi z izvedbo poskusa s senzorjem za neprekinjeno merjenje glukoze v medceličnici, kjer sem primerjala raven glukoze po škrobnem obroku z in brez dodatka kisline. Rezultati so pokazali pozitiven učinek kisa na raven glukoze po škrobnem obroku. Podoben vpliv je imela tudi limona, vendar v manjši meri, kar je verjetno posledica manjše spremembe pH v ustni votlini. Pri uživanju sem namreč opazila močno razliko v kislosti obeh pripravljenih raztopin.

Z merjenjem pH lastne sline sem ugotovila, da ta ostane pomembno spremenjen še približno dvajset minut od zaužitja kisa. Tukaj je treba še poudariti vpliv kisa na začetni del prebave škroba. V želodcu je prisotna želodčna kislina, ki ima veliko nižji pH in s tem večjo koncentracijo oksonijevih ionov, kar premakne ravnotežje disociacije očetne kisline v smer proti nedisociirani obliki, zaradi česar očetna kislina v tem okolju izgubi svoj vpliv.

Pri tretjem testnem obroku sem testirala še vpliv kislin na dvig glukoze pri obrokih, ki so vsebovali manj škroba in več saharoze. Večjih razlik v spremembi glukoze po teh obrokih ni bilo opaziti. Kot najboljša izbira se je sicer izkazala limona, ampak je bila sprememba glukoze manjša zgolj za 0,4 mmol/L kot pri kisu oz. 0,5 mmol/L kot pri obroku brez dodatka kisa ali limone. Kis prav tako ni povzročil vidnega nižjega porasta glukoze, vendar pa je vidno zamaknil njen vrh ter povzročil postopnejši porast in padec. Tako bi lahko imel kljub temu pomemben vpliv na nivo energije po kombiniranem (škrobnoglukoznem) obroku, telo pa bi se na rast glukoze tudi lažje odzvalo. Najverjetneje je to posledica vpliva enostavnih sladkorjev

v hrani na rast koncentracije glukoze v krvi in sočasni vpliv kisa na postopnejšo razgradnjo škroba.

S tem lahko zaključim, da ima kis viden vpliv na porast koncentracije glukoze v krvi po večinsko škrobnem obroku, vendar ima njegovo uživanje prednosti tudi pri kombiniranih obrokih.

H3: Kis bi bilo smiselno večkrat vključiti v našo prehrano.

Na podlagi rezultatov celotne raziskave lahko potrdim tudi zadnjo hipotezo. Kis bi bilo smiselno večkrat vključiti v našo prehrano predvsem bolj načrtovano. Največji vpliv bo, kot je razvidno iz rezultatov, imel na škrobne obroke. Tako bi bilo smiselno, da ljudje dodajo kis v solatni preliv, marinade ali omake, ki jih uživajo s škrobnimi jedmi, kot so kruh, testenine, riž ali krompir.

To velja tako za osebe s sladkorno boleznijo kot tudi za tiste brez nje. Seveda bo neposreden učinek opaznejši pri diabetikih, pri katerih so porasti glukoze v krvi težje obvladljivi. Kljub temu se mi zdi pomembno poudariti, da so nihanja krvnega sladkorja prisotna pri vseh ljudeh in da lahko, če so nenadna in sunkovita, povzročijo kratkoročne in dolgoročne negativne posledice.

Seveda pa je treba biti pri uživanju kisa tudi previden. Prekomerno uživanje kisa lahko povzroči neželene učinke, kot so zgaga ali prebavne težave. Zato je pomembna predvsem zmernost. Treba pa je poudariti, da kis, zaradi zdravstvenih težav za nekatere ljudi ni primeren, zato se je treba pred redno uporabo posvetovati z zdravnikom.

Pri večini ljudi so tveganja minimalna, uživanje kisa pa ima vidne pozitivne posledice na naše zdravje, zato menim, da bi ga bilo dobro večkrat strukturirano vključiti v našo prehrano.

7 DRUŽBENA ODGOVORNOST

V sodobni družbi se soočamo s porastom kroničnih nenalezljivih bolezni, kot so debelost, sladkorna bolezen tipa 2 in druge presnovne motnje. Pri tem ima pomembno vlogo tudi prehrana, saj zahodna dieta pogosto temelji na uživanju živil z visokim deležem škroba. Škrobna živila pa povzročajo sunkovite poraste ravni glukoze v krvi, kar ima negativne posledice za zdravje.

Hitri porasti glukoze po obroku povzročajo nenadno povečanje energije, ki mu pogosto sledi hiter padec. To lahko vodi do povečanega občutka lakote in naknadno prekomernega vnosa hrane, kar prispeva k razvoju debelosti.

Hitre poraste glukoze občutijo predvsem diabetiki, ki sami uravnavajo raven glukoze v krvi, kar pa sunkoviti porasti dodatno otežijo. Dolgotrajno povišan krvni sladkor (hiperglikemija) lahko povzroči tudi resne zdravstvene zaplete, kot so diabetična ketoacidoza, kronični zapleti in celo smrt. Zato je urejena glikemija za diabetike ključnega pomena.

Ker se je uživanje kisa pred obrokom pokazalo kot učinkovito, se mi zdi ključnega pomena rezultate preprosto, vendar še vedno znanstveno pravilno, predstaviti širši publiki. Vendar je pomembno, da mehanizem delovanja kisa pravilno razumemo. Kis ne "znižuje" krvnega sladkorja neposredno, temveč upočasnjuje pretvorbo škroba v glukozo, kar vodi do nižjega zvišanja glukoze po obroku. Kot sem ugotovila, je ta učinek posledica zaviranja delovanje encima α -amilaza, ki je ključen za razgradnjo škroba. Učinek kisa je zato opazen predvsem pri obrokih, ki vsebujejo škrobno živilo, ki je glavni vzrok za dvig sladkorja. Medtem, ko na živila z nizko vsebnostjo škroba nimajo enakega vpliva.

Da bi lahko informacije o vplivu kisa na presnovo uporabljala širša javnost, je nujno, da so te jasno predstavljene in znanstveno utemeljene. Napačno razumevanje, na primer trditev, da kis "zdravi" sladkorno bolezen, lahko vodi do neučinkovitih pristopov in zavajajočih pričakovanj. Poleg tega uživanje kisa ne more biti nadomestilo za inzulin ali druga zdravila. Lahko pa služi kot pomembno dodatno orodje za obvladovanje glikemije, zlasti pri prehrani, bogati s škrobnimi živili.

Zaradi potencialnih koristi in minimalnih tveganj je smiselno razmisliti o vključitvi kisa kot enega izmed ukrepov za izboljšanje glikemije pri sladkorni bolezni, ob tem pa zagotoviti ustrezno izobraževanje o njegovi uporabi.²

² Primer izobraževalnega letaka (Zakaj pred obrokom piti kis?) prilagam v prilogi.

8 ZAKLJUČEK

Z raziskavo sem ugotovila, da kisline zaradi znižanja pH zavirajo delovanje encima α -amilaze, ki je odgovoren za pretvorbo škroba v glukozo. Rezultati laboratorijskega poskusa so pokazali, da je tvorba glukoze najmanjša pri najnižjem pH in največja pri pH blizu nevtralnega. To potrjuje, da kis upočasni hidrolizo škroba, kar posledično zmanjša hitrost sproščanja glukoze v krvni obtok. Rezultati eksperimenta »*in vitro*« so se izkazali kot relevantni tudi v vsakdanjem življenju, saj so meritve ravni glukoze v medceličnini po zaužitju škrobnega obroka z dodatkom kisa pokazale manjši porast krvnega sladkorja v primerjavi z obrokom brez kisa.

Na podlagi rezultatov lahko tako sklepamo, da je uživanje kisa pred škrobnim obrokom koristno pri obvladovanju glikemije, kar je še posebej pomembno za diabetike. Zaradi obetavnih rezultatov in minimalnih tveganj menim, da bi bilo uživanje kisa smiselno vpeljati v naš vsakdan. Čeprav uživanje kisa ni vedno privlačno, obstajajo praktične rešitve, kot je dodajanje kisa solatam, juham, omakam ali uporaba vloženihih živil. Pomembno pa je poudariti dejstvo, da bo imel kis vpliv na škrobne obroke in da sam od sebe ne »*znižuje*« krvnega sladkorja.

Na osnovi obetavnih ugotovitev bi bilo smiselno nadaljnje raziskovanje vpliva različnih vrst kislin na hidrolizo škroba ter njihovega širšega vpliva na metabolne procese v človeškem telesu. Takšne raziskave bi prispevale k celovitejšemu razumevanju vpliva kislin na metabolizem ter omogočile razvoj prehranskih strategij za boljše uravnavanje krvnega sladkorja.

9 VIRI IN LITERATURA

9.1 Bibliografija

Bratina, N. (2012). *SLADKORČKI: vse, kar ste želeli vedeti o sladkorni bolezni*. Ljubljana: Društvo za pomoč otrokom s presnovnimi motnjami.

Bratina, N., & Širca Čampa, A. (2014). *Sladkorčki kuhamo slastno - s sladkorno ali brez nje*. Ljubljana: Društvo za pomoč otrokom s presnovnimi motnjami.

Brunning, A. (3. marec 2014). *Sourness & Scurvy – The Chemistry of a Lemon*. Pridobljeno 20. december 2024 iz Compound Interest: <https://www.compoundchem.com/2014/03/03/sourness-scurvy-the-chemistry-of-a-lemon/>

EMŠ Farmacija. (2018). *Molekulska absorpcijska spektrometrija*. Pridobljeno 20. december 2024 iz Študentski.net: https://studentski.net/gradivo/ulj_ffa_fa1_ank_vaj_molekulska_absorbcijska_spektrometrija_01

Forouhar, E., & Sack, P. (julij 2012). *Non-traditional therapies for diabetes: fact or fiction*. Pridobljeno 20. december 2024 iz National Library of Medicine: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC3714056/#CIT0015>

Freitas, D., Boué, F., Benallaoua, M., Airinei, G., Benamouzig, R., & Le Feunteun, S. (Februar 2021). *Lemon juice, but not tea, reduces the glycemic response to bread in healthy volunteers: a randomized crossover trial*. Pridobljeno iz National Library of Medicine: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32201919/>

FutuNatura. (2024). *Članki in enciklopedije*. Pridobljeno 12. december 2024 iz FutuNatura: <https://www.futunatura.si/glikemicni-indeks>

Hawryluk, A. (21. september 2022). *The relationship between Saliva and pH*. Pridobljeno 20. december 2024 iz St. Lawrence Dentistry: <https://www.stlawrencedentistry.com/blog/oral-health/the-relationship-between-saliva-and-ph/>

- Huber, M.-L. (6. julij 2023). *Glucose Curves Explained: Spikes, Drops and Symptoms*. Pridobljeno 7. januar 2025 iz Hello inside: <https://helloinside.com/en/blogs/insider/glucose-curves-explained>
- Jamšek, S., Sajovic, I., Godec, A., Vrtačnik, M., Wissiak Grm, K., Boh, B., & Glažar, S. (2014). KEMIJA 9 i-učbenik za kemijo v 9. razredu osnovne šole. Ljubljana. Pridobljeno 28. november 2024 iz <https://eucbeniki.sio.si/kemija9/1101/index.html>
- Javaid Siddiqui, F., Nkouibert Assam, P., Nisa de Souza, N., Sultana, R., Dalan, R., & Shih-Yen Chan, E. (maj 2018). *Diabetes Control: Is Vinegar a Promising Candidate to Help Achieve Targets?* Pridobljeno 20. december 2024 iz National Library of Medicine: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC5954571/#bibr8-2156587217753004>
- Jeraj, M. (2014). Določanje aktivnosti amilaze in lipaze pri bolnikih z akutnim in kroničnim pankreatitisom. Pridobljeno 28. november 2024 iz https://www.ffa.uni-lj.si/fileadmin/datoteke/Knjiznica/diplome/2014/Jeraj_Marija_dipl_nal_2014.pdf
- Journal of Industrial and Engineering Chemistry. (2022). *Citric Acid*. Pridobljeno 28. november 2024 iz Science Direct: <https://www.sciencedirect.com/topics/chemical-engineering/citric-acid>
- Kapun Dolinar, A., & Štrumbelj Drusany, I. (2010). *Določanje glukoze*. Pridobljeno 20. december 2024 iz AnalChem: <http://www.kii3.ntf.uni-lj.si/analchemvoc2/file.php/1/HTML/slo/spektra/food10.htm>
- Medtronic. (2023). *Guardian 4*. Pridobljeno januar. 7 2025 iz Medtronic: <https://www.medtronic-diabetes.com.au/products/g4system>
- Nacionalni portal o hrani in prehrani. (julij 2022). *Limona*. Pridobljeno 20. december 2024 iz Prehrana.si: <https://www.prehrana.si/clanek/603-limona>
- Plemenitaš, A., & Žakelj Mavrič, M. (2022). *Metabolizem tkiv in organov pri človeku*. Ljubljana: DZS.
- Pravilnik o kakovosti kisa in razredčene očetne kisline, *Uradni list RS, št. 10820/21*.
- Royal Society of Biology. (2011). *Investigating the effect of pH on amylase activity*. Pridobljeno 7. januar 2025 iz <https://practicalbiology.org/bio-molecules/factors-affecting-enzyme-activity/investigating-the-effect-of-ph-on-amylase-activity>

- Santos, H. O., de Moraes, W., da Silva, G., Prestes, J., & Schoenfeld, B. (avgust 2019). *Vinegar (acetic acid) intake on glucose metabolism: A narrative review*. Pridobljeno 20. december 2024 iz Science Direct:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2405457719303055>
- The Nutrition Source. (oktober 2019). *Vinegar*. Pridobljeno 28. november 2024 iz The Nutrition Source: <https://nutritionsource.hsph.harvard.edu/food-features/vinegar/>
- Turnšek, T. (8. avgust 2021). *Inzulinska rezistenca in visok krvni sladkor: vzroki, simptomi, testi, preventiva*. Pridobljeno 20. december 2024 iz Tanja Turnšek:
<https://tanjaturnek.si/prehrana/inzulinska-rezistenca-in-visok-krvni-sladkor-vzroki-simptomi-testi-preventiva/>
- Vrtačnik, M., Zmazek, B., & Boh, B. (2014). KEMIJA 3 i-učbenik za kemijo v 3. letniku gimnazije. Ljubljana. Pridobljeno 17. december 2024 iz
<https://eucbeniki.sio.si/kemija3/1276/index4.html>
- Wikipedia. (2024). *Kruh*. Pridobljeno 20. december 2024 iz Wikipedia:
<https://sl.wikipedia.org/wiki/Kruh>
- Wikipedia. (2025). *Etanojska kislina*. Pridobljeno 7. januar 2025 iz Wikipedia:
https://sl.wikipedia.org/wiki/Etanojska_kislina
- Zvonar, S. (2011). *Kvantitativno določanje redukcijjskih sladkorjev z DNS reagentom*. Pridobljeno 28. november 2024 iz DKUM:
<https://dk.um.si/IzpisGradiva.php?id=19096&lang=slv>

9.2 Viri slik

Slika 1: Vrednost pH v različnih delih prebavnega trakta (Plemenitaš, A., & Žakelj Mavrič, M. (2022). Metabolizem tkiv in organov pri človeku. Ljubljana: DZS.)

Slika 2: Amiloza in amilopektin (Shrestha, P. (2023). Starch: Structure, Composition, Properties, Uses, Types. Pridobljeno 7. januar 2025 iz Microbe Notes: <https://microbenotes.com/starch/>)

Slika 3: Hidroliza škroba (BioMed Research International. (2017). Biotechnological Processes in Microbial Amylase Production. Pridobljeno 7. januar 2025 iz Research Gate: https://www.researchgate.net/figure/Scheme-for-the-hydrolysis-of-starch-by-amylase-Starch-is-a-polysaccharide-made-up-of_fig3_313544416)

Slika 4: Ocetna kislina (TCI. (2024). Acetic Acid. Pridobljeno 5. december 2024 iz TCI: <https://www.tcichemicals.com/US/en/p/A2035>)

Slika 5: Citronska kislina (Makabo. (2025). Citronska kislina - 2kg pakiranje. Pridobljeno 7. december 2024 iz Makabo: <https://www.makaboshop.si/acidi-citronska-kislina-2kg>)

Slika 6: Zvišanje koncentracije glukoze v krvi po obroku in vpliv na organizem (Huber, M.-L. (2023). Glucose Curves Explained: Spikes, Drops and Symptoms. Pridobljeno 7. januar 2025 iz HELLO INSIDE: <https://helloinside.com/en/blogs/insider/glucose-curves-explained>)

Slika 7: Vpliv limoninega soka na koncentracijo glukoze v krvi (National Library of Medicine. (2021). Lemon juice, but not tea, reduces the glycemic response to bread in healthy volunteers: a randomized crossover trial. Pridobljeno 7. januar 2025 iz National Library of Medicine: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32201919/>)

Slika 8: Predposkus: hidroliza škroba – test z jodovico (Lastni vir, 2024)

Slika 9: Shematski prikaz spektrofotometra (Zvonar, S. (2011). Kvantitativno določanje redukcijskih sladkorjev z DNS reagentom. Pridobljeno 28. oktober 2024 iz Univerza v Mariboru: <https://dk.um.si/Dokument.php?id=22929&lang=eng>)

Slika 10: Reakcija DNSA z reducirajočim sladkorjem (SCRIBD. (2016). DNSA reagent. Instructions for preparation and use. Pridobljeno 12. december 2024 iz SCRIBD: <https://www.scribd.com/document/422757888/DNS-a-Instructions>)

Slika 11: Načrt dela (Lastni vir, 2024)

Slika 12: DNSA reagent (Lastni vir, 2024)

Slika 13: Vodna kopel vzorcev z raztopino sline, pufra in škrobovice tik po dodatku DNSA (Lastni vir, 2024)

Slika 14: Guardian™ 4 (Medtronic. (2023). Sensor glucose vs. blood glucose: Why sensor glucose does not equal blood glucose. Pridobljeno 7. januar 2025 iz Medtronic: <https://www.medtronicdiabetes.com/customer-support/sensors-and-transmitters-support/why-sensor-glucose-does-not-equal-blood-glucose>)

Slika 15: Barvne spremembe po hidrolizi škroba z α -amilazo pri različnih pH in po reakciji z DNSA (Lastni vir, 2024)

Slika 16: Kontrole (Lastni vir, 2024)

Slika 17: 1. testni obrok, s kisom (Lastni vir, 2025)

Slika 18: 1. testni obrok, brez kisa ali limone (Lastni vir, 2025)

Slika 19: Primerjava s kisom in brez za 1. testni obrok (Lastni vir, 2025)

Slika 20: 2. testni obrok, s kisom (Lastni vir, 2025)

Slika 21: 2. testni obrok, z limono (Lastni vir, 2025)

Slika 22: 2. testni obrok, brez kisa ali limone (Lastni vir, 2025)

Slika 23: Primerjava s kisom in brez za 2. testni obrok (Lastni vir, 2025)

Slika 24: 3. testni obrok, s kisom (Lastni vir, 2024)

Slika 25: 3. testni obrok, z limono (Lastni vir, 2024)

Slika 26: 3. testni obrok, brez kisa ali limone (Lastni vir, 2024)

Zakaj pred obrokom piti kis?



1

Škrob je polisaharid in hitro razpade na glukozo, kar **povzroči hitri dvig krvnega sladkorja**.

2

Hitri dvigi krvnega sladkorja imajo negativne učinke na telo. Povzročajo **utrujenost, lakoto, motnje pozornosti...**

3

Kis zavira delovanje encima za razgradnjo škroba (alfa-amilaza) in s tem **pripomore k postopnejšemu dvigu sladkorja ter stabilnejši energiji**.

2 žlici kisa + škrobni obrok = urejen krvni sladkor

Povzeto po raziskovalni nalogi avtorice.

