

Izolacija i karakterizacija škroba iz različitih sorti krumpira

Zmaić, Valentina

Master's thesis / Diplomski rad

2022

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, FACULTY OF FOOD TECHNOLOGY / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Prehrambeno-tehnološki fakultet Osijek**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:109:948493>

Rights / Prava: [Attribution-ShareAlike 4.0 International / Imenovanje-Dijeli pod istim uvjetima 4.0 međunarodna](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-19**

REPOZITORIJ

PTF OS

PREHRAMBENO-TEHNOLOŠKI FAKULTET OSIJEK

dabar
DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJ

Repository / Repozitorij:

[Repository of the Faculty of Food Technology Osijek](#)



**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU
PREHRAMBENO-TEHNOLOŠKI FAKULTET OSIJEK**

Valentina Zmaić

**IZOLACIJA I KARAKTERIZACIJA ŠKROBA IZ RAZLIČITIH SORTI
KRUMPIRA**

DIPLOMSKI RAD

Osijek, rujan, 2022.

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku
Prehrambeno-tehnološki fakultet Osijek
Zavod za prehrambene tehnologije
Katedra za tehnologiju ugljikohidrata
Franje Kuhača 18, 31000 Osijek, Hrvatska

Diplomski sveučilišni studij Prehrambeno inženjerstvo**Znanstveno područje:** Biotehničke znanosti**Znanstveno polje:** Prehrambena tehnologija**Nastavni predmet:** Tehnologija ugljikohidrata**Tema rada** je prihvaćena na VII. redovitoj sjednici Fakultetskog vijeća Prehrambeno-tehnološkog fakulteta Osijek u akademskoj godini 2021./2022. održanoj 28. travnja 2022.**Mentor:** izv. prof. dr. sc. *Antun Jozinović***Pomoć pri izradi:** *Mario Kovač*, mag. ing.**Izolacija i karakterizacija škroba iz različitih sorti krumpira***Valentina Zmaić*, 0111132221

Sažetak: U ovom diplomskom radu provedena je izolacija i karakterizacija škroba iz različitih sorti krumpira. Najprije je uzorcima krumpira određen osnovni kemijski sastav, a zatim se u laboratorijskim uvjetima napravila izolacija. Izolirani škrobovi su osušeni, a zatim usitnjeni i prosijani kroz sito otvora 400 µm. Dobivenim uzorcima određeno je sljedeće: osnovni kemijski sastav, boja, termofizikalna svojstva, kapacitet bubrenja i indeks topljivosti. Rezultati su pokazali da je najmanji sadržaj škroba imala sorta krumpira SL 13-25, a najveći sadržaj škroba sorta Stilleto. Sadržaj proteina, masti, pepela i sirovih vlakana je relativno nizak, što ukazuje na visoku čistoću svih izoliranih škrobova. Vrijednosti L* parametra za sve škrobove su blizu 100, što označava jako bijelu boju, a razlike između tih vrijednosti su male, pa je i razlika u boji škrobova teško uočljiva. Prijelazne temperature i entalpije retrogradacije su niže u odnosu na temperature i entalpije želatinizacije. Povišenjem temperature raste kapacitet bubrenja kao i indeks topljivosti kod svih uzoraka.

Ključne riječi: škrob, krumpir, izolacija, karakterizacija**Rad sadrži:** 42 stranice
18 slika
6 tablica
0 priloga
24 literaturne reference**Jezik izvornika:** hrvatski**Sastav Povjerenstva za ocjenu i obranu diplomskog rada i diplomskog ispita:**

- | | |
|--|---------------|
| 1. prof. dr. sc. <i>Drago Šubarić</i> | predsjednik |
| 2. izv. prof. dr. sc. Antun Jozinović | član-mentor |
| 3. prof. dr. sc. <i>Jurislav Babić</i> | član |
| 4. prof. dr. sc. <i>Đurđica Ačkar</i> | zamjena člana |

Datum obrane: 29. rujna 2022.

Rad je u tiskanom i elektroničkom (pdf format) obliku pohranjen u Knjižnici Prehrambeno-tehnološkog fakulteta Osijek, Franje Kuhača 18, Osijek.

BASIC DOCUMENTATION CARD

GRADUATE THESIS

Josip Juraj Strossmayer University of Osijek
Faculty of Food Technology Osijek
Department of Food Technology
Subdepartment of Carbohydrate technology
Franje Kuhača 18, HR-31000 Osijek, Croatia

Graduate program Food Engineering

Scientific area: Biotechnical sciences

Scientific field: Food technology

Course title: Technology of carbohydrate

Thesis subject was approved by the Faculty of Food Technology Osijek Council at its session no. VII. held on April 28, 2022.

Mentor: *Antun Jozinović*, PhD, associate prof.

Technical assistance: *Mario Kovač*, mag. ing.

Isolation and Characterization of Starch from Different Potato Varieties

Valentina Zmaić, 0111132221

Summary: In this graduate thesis, the isolation and characterization of starch from different potato varieties was carried out. First, the basic chemical composition of potato samples was determined, and then the isolation was done in laboratory conditions. The isolated starches were air-dried, then crushed and sieved through a 400 μm sieve. The basic chemical composition, color, thermophysical properties, swelling power and solubility index were determined in the obtained samples. The results showed that the potato variety SL 13-25 had the lowest starch content, and the Stilleto variety had the highest starch content. The content of protein, fat, ash and crude fiber is relatively low, which indicates the high purity of all isolated starches. The values of the L* parameter for all starches are close to 100, which indicates a very white color, and the differences between these values are small, so the difference in the color of the starches is hardly noticeable. The transition temperatures and enthalpies of retrogradation are lower compared to the temperatures and enthalpies of gelatinization. Increasing the temperature increases the swelling capacity as well as the solubility index of all samples.

Key words: starch, potato, isolation, characterization

Thesis contains: 42 pages
18 figures
6 tables
0 supplements
24 references

Original in: Croatian

Defense committee:

- | | |
|--|--------------|
| 1. <i>Drago Šubarić</i> , PhD, prof. | chair person |
| 2. <i>Antun Jozinović</i> , PhD, associate prof. | supervisor |
| 3. <i>Jurislav Babić</i> , PhD, prof. | member |
| 4. <i>Đurđica Ačkar</i> , PhD, prof. | stand-in |

Defense date: September 29th, 2022

Printed and electronic (pdf format) version of thesis is deposited in Library of the Faculty of Food Technology Osijek, Franje Kuhača 18, Osijek.

Zahvaljujem se mentoru izv. prof. dr. sc. Antunu Jozinoviću i Mariu Kovaču, mag. ing. na pomoći, prenesenom znanju i savjetima prilikom izrade ovog diplomskog rada.

Također, zahvaljujem svim svojim prijateljima koji su vjerovali i bili uz mene tijekom ovog razdoblja studiranja.

I na kraju, veliko hvala mojim roditeljima, braći, sestrama i Marku koji su mi bili najveća podrška svih ovih godina i bez kojih sve ovo što sam dosad postigla ne bi bilo moguće. Hvala im na strpljenju, razumijevanju i ohrabrenju kad god je bilo teško.

Veliko HVALA svima!

Sadržaj

1. UVOD	1
2. TEORIJSKI DIO	3
2.1. ŠKROB.....	4
2.1.1. Amiloza	5
2.1.2. Amilopektin.....	6
2.1.3. Škrobna granula	7
2.1.4. Želatinizacija	8
2.1.5. Retrogradacija.....	9
2.2. KRUMPIR	10
2.2.1. Formiranje gomolja.....	11
2.2.2. Anatomija gomolja.....	12
2.2.3. Kemijski sastav krumpira	13
2.2.4. Proces proizvodnje krumpirovog škroba	14
3. EKSPERIMENTALNI DIO.....	18
3.1. ZADATAK	19
3.2. MATERIJAL I METODE	19
3.2.1. Metoda izolacije škroba iz krumpira.....	19
3.2.2. Određivanje osnovnog kemijskog sastava	21
3.2.3. Određivanje boje škroba kromametrom	24
3.2.4. Određivanje kapaciteta bubrenja (KB) i indeksa topljivosti (IT) škrobova	25
3.2.5. Određivanje termofizikalnih svojstava	26
4. REZULTATI I RASPRAVA	28
4.1. OSNOVNI KEMIJSKI SASTAV ISPITIVANIH SORTI KRUMPIRA	29
4.2. OSNOVNI KEMIJSKI SASTAV IZOLIRANIH KRUMPIROVIH ŠKROBOVA	30
4.3. BOJA KRUMPIROVIH ŠKROBOVA.....	31
4.4. SVOJSTVA ŽELATINIZACIJE.....	32
4.5. SVOJSTVA RETROGRADACIJE	34
4.6. KAPACITET BUBRENJA (KB) I INDEKS TOPLJIVOSTI (IT)	35
5. ZAKLJUČCI	37
6. LITERATURA	39

Popis oznaka, kratica i simbola

DMK Diferencijalna motridbena kalorimetrija

SEM Scanning Electrone Microscope

KB Kapacitet bubrenja

IT Indeks topljivosti

AVEBE Aardappelzetmeel Verkoop Bureau

1. UVOD

Škrob ima sve veću primjenu u različitim industrijama (prehrambena, tekstilna, industrija papira,...). Vrlo je značajna primjena škroba u prehrambenoj industriji, gdje se koristi u svrhu ugušćivanja, zadržavanja vlage, vezanja arome, stabilizacije koloidnih sustava, kao sredstvo za želiranje, poboljšanje kakvoće proizvoda i dr. (Babić, 2007).

Škrob je ugljikohidrat opće formule $(C_6H_{10}O_5)_n$, građen od jedinica glukoze koje su povezane u dva polimerna lanca: amilozu i amilopektin. Biljke sintetiziraju škrob iz glukoze i pohranjuju ga u obliku škrobnih zrnaca te on čini glavni skladišni oblik energije biljaka. Osnovne sirovine koje se koriste za industrijsku proizvodnju škroba su: kukuruz, pšenica, krumpir, tapioka i riža. Godišnje se u svijetu proizvede oko 50 milijuna tona škroba. Iako je proizvodnja škroba iz krumpira mala u odnosu na ukupnu količinu proizvedenog škroba u svijetu, krumpirov škrob ima značajnu ulogu kako u prehrambenoj tako i u tekstilnoj industriji te industriji papira (Čančarević, 2021).

Krumpir u svom kemijskom sastavu ima oko 25 % suhe tvari, koju čine oko 18,5 % škroba, 2,1 % tvari s dušikom, 1,1 % vlakna, 0,9 % pepeo, 0,2 % masti i 2,2 % ostalo. Škrob predstavlja 70 % do 80 % suhe tvari krumpira, a udio škroba u krumpiru može varirati od 10 % do 30 %. Krumpir za preradu u škrob mora biti zdrav, ne smije proklijati te treba sadržavati najmanje 14 % škroba (Herceg, 2020).

Cilj ovoga diplomskog rada bio je ispitati utjecaj različitih sorti krumpira na svojstva škroba: boju škroba, kapacitet bubrenja, indeks topljivosti te termofizikalna svojstva škroba (želatinizaciju i retrogradaciju). U tu svrhu škrob je izoliran iz 8 sorti krumpira uzgojenih na području Osječko-baranjske županije u 2021. godini: Saprodi, Sofista, Stilleto, Dartiest, Sereno, Senata, Scala i SL 13-25.

2. TEORIJSKI DIO

2.1. ŠKROB

Škrob je polisaharid koji se sastoji od dva polimera α -D-glukoze: amiloze (20 – 30 %) i amilopektina (70 – 80 %). U prirodi škrob nastaje procesom fotosinteze u biljkama tijekom osvjetljenja. Glukoza je primarni produkt fotosinteze koji se kondenzira u netopljivi škrob da se osmotski tlak u stanici ne bi povećao. Škrob se tijekom noći postepeno razgrađuje i prelazi u druga tkiva te amiloplaste u kojima tvori granule rezervnog škroba. Prilikom zrenja voća te tijekom klijanja sjemenki i gomolja dolazi do razgradnje ovoga škroba te nastaju produkti koji se koriste kao izvor ugljika i energije (Eliasson, 2004). Škrob čini više od polovice ugljikohidrata u ljudskoj prehrani i 25 – 50 % ukupnog energetskeg unosa.

Škrob je fini prah, bijele boje, okusa po brašnu, bez mirisa, neutralan, netopljiv u hladnoj vodi (**Slika 1**) (Babić, 2007).

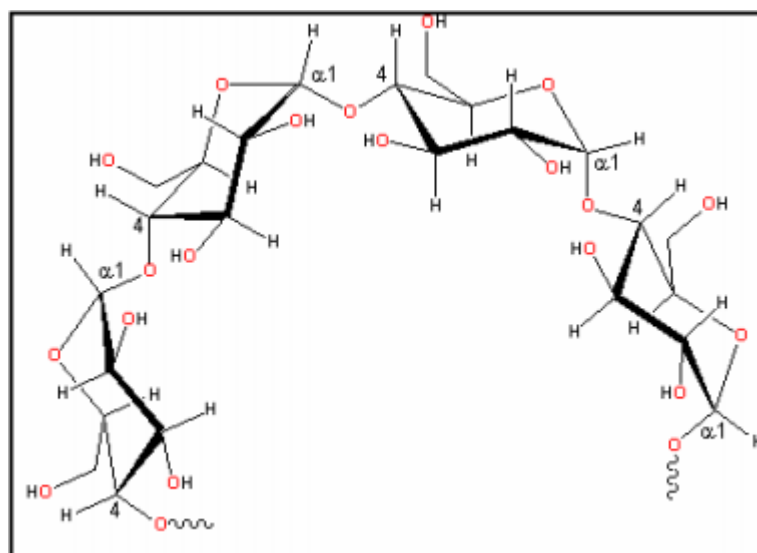


Slika 1 Škrob

2.1.1. Amiloza

Amiloza je uglavnom ravnolančana molekula izgrađena od jedinica glukoze koje su međusobno povezane α -1,4 glikozidnom vezom (**Slika 2**). Međutim, neki škrobovi sadrže i vrlo mali udio slabo razgranatih lanaca amiloze u kojima su glukozne jedinice na mjestima grananja povezane α -1,6 glikozidnom vezom. Stupanj grananja molekule amiloze raste s povećanjem molekulske mase (Babić, 2007).

Unutrašnjost molekula amiloze je hidrofobna te zbog toga imaju sposobnost formiranja kompleksa s jodom. Kompleks amiloza-jod je plave boje i koristi se za dokazivanje škroba u namirnicama te određivanje količine amiloze u škrobu (Walter, 1998).

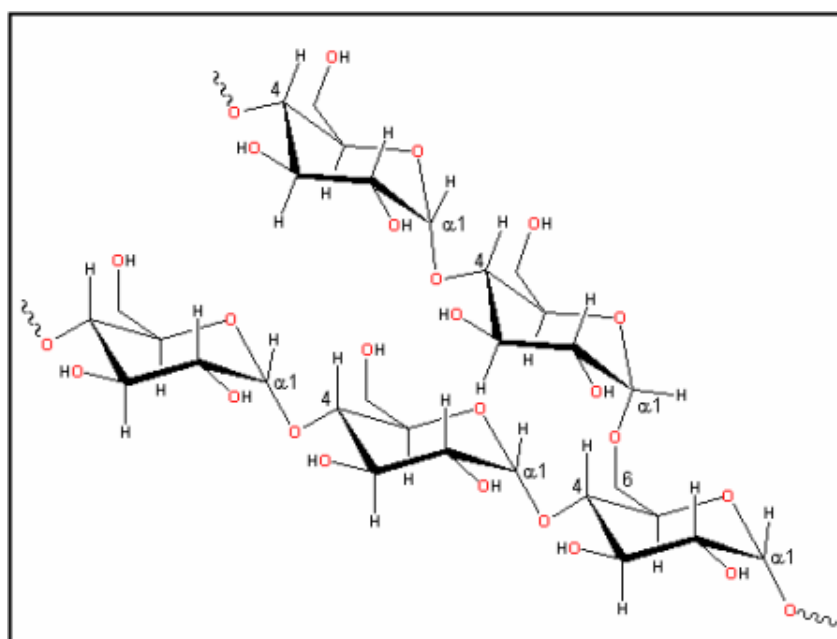


Slika 2 Struktura molekule amiloze (Babić, 2007)

Otopljene molekule amiloze pri višim koncentracijama imaju sposobnost formiranja gela, dok kod nižih koncentracija teže ka kristalizaciji (retrogradaciji). Na retrogradaciju amiloze utječe i stupanj polimerizacije, pa tako molekule stupnja polimerizacije oko 80 imaju najvišu tendenciju retrogradacije, a molekule nižeg i višeg stupnja polimerizacije su stabilnije. Stupanj polimerizacije slično utječe i na topljivost molekula. Molekule sa stupnjem polimerizacije od 80 do 100 su teško topljive, a topljivost se povećava povećanjem ili sniženjem stupnja polimerizacije (Ačkar, 2010).

2.1.2. Amilopektin

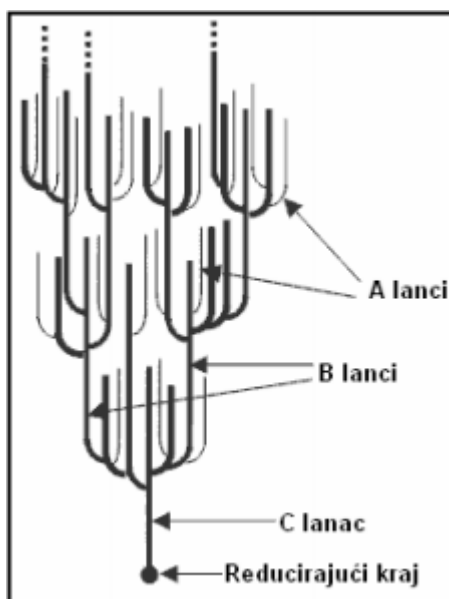
Amilopektin je jako razgranati polimer glukoze u kojem su jedinice glukoze vezane α -1,4 glikozidnom vezom u ravni lanac i α -1,6 glikozidnom vezom na mjestima grananja (**Slika 3**). Amilopektin je jedna od najvećih molekula u prirodi s molekulskom masom $10^7 - 10^9$ i stupnjem polimerizacije oko 2 milijuna (Ačkar, 2010). Sastoji se od nekoliko stotina lanaca gdje svaki lanac ima oko 20 – 25 jedinica α -D-glukoze. Molekule amilopektina škrobova žitarica imaju kraće lance od škrobova iz gomolja (Babić, 2007).



Slika 3 Struktura molekule amilopektina (Babić, 2007)

Slika 4 prikazuje 3 tipa lanaca koji izgrađuju molekulu amilopektina:

- A-lanci, ravnolančani dio u kojem su molekule glukoze povezane α -1,4 glikozidnim vezama, kraći su te mogu tvoriti dvostruku uzvojnicu, poredani su u grozdove;
- B-lanci, imaju na sebi jedan ili više A-lanaca, molekule glukoze povezane α -1,4 i α -1,6 glikozidnim vezama;
- C-lanci, sadrže reducirajući kraj molekule (Oates, 1997).



Slika 4 Tipovi lanaca kod molekule amilopektina (Babić, 2007)

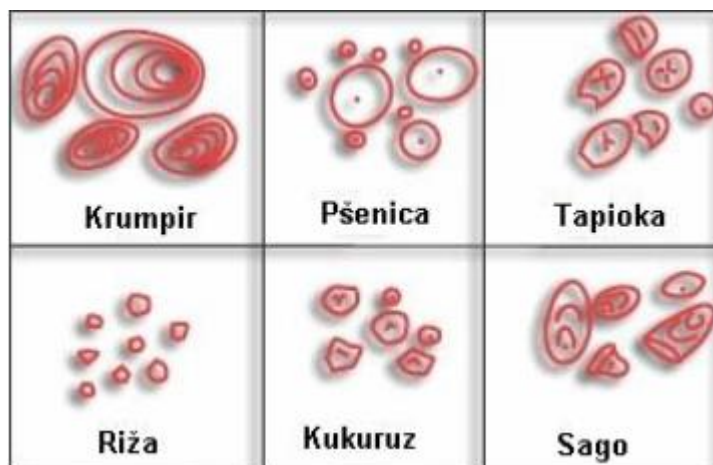
Razgranata struktura amilopektina onemogućuje mu formiranje stabilnih kompleksa s jodom, a zbog kratkih bočnih lanaca veže samo manju količinu joda u kompleks koji je crveno-smeđe boje (BeMiller i Whistler, 1996).

2.1.3. Škrobna granula

Amilopektin i amiloza radikalno se povezuju u škrobnu granulu te čine 98 – 99 % suhe tvari škroba. Omjer amiloze i amilopektina ovisi o botaničkom podrijetlu škroba te tako postoje:

- voštani škrobovi koji sadrže manje od 15 % amiloze,
- normalni škrobovi koji sadrže 20 – 35 % amiloze,
- visoko-amilozni škrobovi koji sadrže više od 40 % amiloze (Tester i sur., 2004).

Oblik i veličina škrobnih granula ovise o botaničkom podrijetlu škroba odnosno o biokemiji kloroplasta ili amiloplasta kao i o fiziologiji biljke. Granule škroba kukuruza, riže, krumpira i pšenice se veličinom i oblikom vrlo razlikuju što se može vidjeti SEM-om (engl. *Scanning Electrone Microscope*) (Singh i sur., 2003). Veličina škrobne granule može biti u rasponu od 1 do 100 μm (Babić, 2007). Na **Slici 5** prikazane su granule različitih vrsta škrobova, gdje se može uočiti da su granule krumpirovog škroba ovalnog i nepravilnog oblika (Singh i sur., 2003).



Slika 5 Mikroskopski izgled škrobnih granula različitih vrsta škrobova (Babić, 2007)

Osim amiloze i amilopektina u škrobnoj granuli se nalaze i neke neškrobne komponente, poput lipida, slobodnih masnih kiselina, proteina, minerala i fosfora. Navedene komponente čine od 1 do 2 % suhe tvari škroba (Babić, 2007; Ačkar, 2010). Fosfolipidi, iako su zastupljeni u maloj količini, ipak utječu na funkcionalna svojstva škroba. Fosfor je u škrobnoj granuli prisutan u obliku fosfatnih monoestera i fosfolipida. Bistrotću i viskoznost škrobne paste povećavaju fosfatni monoesteri, koji su povezani kovalentnim vezama za amilopektinski dio škrobne granule, dok prisutnost fosfolipida rezultira manje viskoznim i neprozirnim pastama. Fosfolipidi, također, imaju sklonost stvaranja kompleksa s amilozom i dugim razgranatim lancima amilopektina, što ograničava bubrenje škrobnih granula (Grgić, 2020).

2.1.4. Želatinizacija

Želatinizacija je jedno od najvažnijih fizikalnih svojstava za karakterizaciju škroba, koje uključuje otapanje škrobnih granula zagrijavanjem škrobne suspenzije u vodi (Sopade i sur., 2004). Tijekom želatinizacije dolazi do narušavanja kristalne strukture granule, što uzrokuje različite promjene kao što su ireverzibilno otapanje granule, povećanje probavljivosti škroba, gubitka kristalne strukture i optičke aktivnosti (Ačkar, 2010).

Proces želatinizacije se odvija u određenom temperaturnom rasponu, a taj temperaturni raspon ovisi o vrsti škroba i količini vode. Škrobovi koji sadrže više od 50 % amiloze želatiniziraju pri višim temperaturama i daju pastu veće viskoznosti, ali imaju veću tendenciju retrogradacije (Denyer i sur., 2001).

Želatinizacija škroba se odvija u 3 faze:

1. Na početku zagrijavanja škrobne suspenzije dolazi do apsorpcije vode u škrobnim granulama i povećanja mobilnosti polimera u amorfnim dijelovima granule;
2. Daljnjim zagrijavanjem dolazi do reorganizacije polimera u amorfnim dijelovima i stvaranja novih intermolekularnih veza;
3. Na kraju s povećanjem hidrotermičkog tretmana, polimeri postaju sve mobilniji, intermolekularne sile prestaju djelovati i gubi se struktura granule (Ačkar, 2010).

Za mjerenje parametara želatinizacije (temperature i entalpije) najčešće se koristi *diferencijalna motridbena kalorimetrija* (DMK; engl. *Differential Scanning Calorimetry, DSC*).

Kao rezultat mjerenja dobije se krivulja iz koje se očitavaju sljedeći podaci:

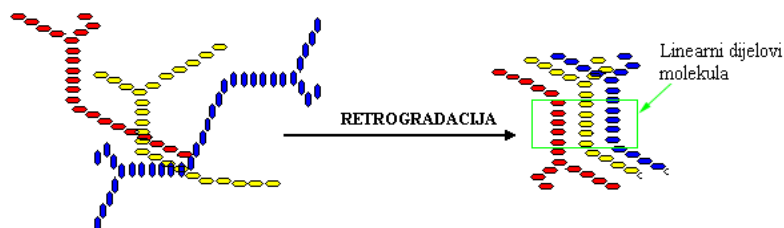
- početna temperatura želatinizacije (t_0 , engl. *onset temperature*)
- temperatura vrha (t_p , engl. *peak temperature*)
- završna temperatura želatinizacije (t_e , engl. *endset temperature*)
- entalpija želatinizacije (ΔH) (Ačkar, 2010).

Svojstva želatinizacije i bubrenja ovise o molekularnoj strukturi amilopektina (duljini lanca, stupnju grananja, molekularnoj masi), sastavu škroba (omjer amiloze i amilopektina, sadržaj fosfora) i stupnju kristaličnosti granule. Što je veći stupanj kristaličnosti te udio amilopektina i lipida, želatinizacija će se odvijati pri višim temperaturama (Singh i sur., 2003). Na želatinizaciju utječe i veličina škrobnih granula tako da velike škrobne granule imaju veću entalpiju želatinizacije u odnosu na male (Grgić, 2020).

2.1.5. Retrogradacija

Retrogradacija je proces do kojeg dolazi hlađenjem želatiniziranog škroba, pri čemu sustav škrob/voda spontano prelazi u stanje s manjim sadržajem energije te dolazi do povezivanja molekula škroba vodikovim vezama (**Slika 6**) (Babić, 2007). Tijekom procesa retrogradacije molekule amiloze formiraju dvostruku uzvojniciu od 40 do 70 glukoza jedinica, dok se molekule amilopektina međusobno povezuju kratkim vanjskim lancima (Hoover, 2001). Međusobno povezivanje otopljenih molekula dovodi do njihove rekristalizacije, pri čemu

molekule amilopektina zbog svoje razgranate strukture znatno slabije rekristaliziraju (Babić, 2007; Grgić, 2020).



Slika 6 Shematski prikaz procesa retrogradacije (Ačkar, 2010)

Na proces retrogradacije utječu čimbenici kao što su: priroda škroba, koncentracija škroba, temperaturni režimi kuhanja i hlađenja, pH, prisutnost otopljenih tvari (lipida, elektrolita i šećera) te uvjeti skladištenja (Walter, 1998).

Retrogradirani škrobovi pokazuju nižu temperaturu i entalpiju želatinizacije od nativnih škrobova zbog slabije kristaličnosti (Singh i sur., 2003).

Retrogradacija škroba može dovesti do promjena kao što su:

- porast viskoznosti,
- taloženje netopljivih čestica škroba,
- formiranje gela,
- pojava neprozirnosti i mutnoće te
- sinereza (Babić, 2007).

2.2. KRUMPIR

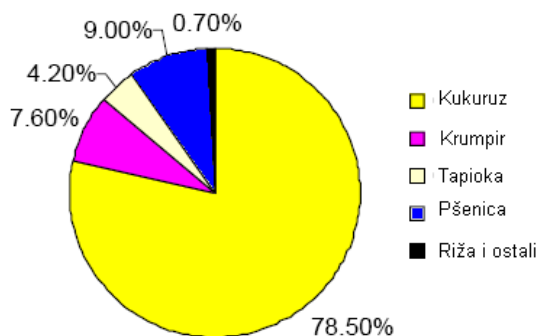
Krumpir je višegodišnja zeljasta biljka koja potječe iz Južne Amerike. Botanički naziv krumpira je *Solanum tuberosum* L. (Grommers i van der Krogt, 2009; Herceg, 2020). Nakon otkrića Amerike započinje povijest uzgoja krumpira u Europi, ali i drugdje u svijetu. Uzgoj krumpira u Europi započeo je u Nizozemskoj gdje se koristio uglavnom kao hrana, a zatim je dio poljoprivrednika počeo proizvoditi škrob iz krumpira za potrebe škrobljenja lana. Osim toga, škrob se koristio i za prašenje lica te perika. Kasnije započinje prerada krumpira u tvornicama, u kojima se proizvodio sladni alkohol od krumpira, nizozemski gin, a nakon toga se krumpirov škrob prerađivao u sirup. Godine 1919. osnovana je *Služba za prodaju krumpirovog škroba* -

AVEBE (niz. *Aardappelzetmeel Verkoop Bureau*). S povećanjem tržišne baze AVEBE-a započinju modifikacije krumpirovog škroba te danas AVEBE modificira oko 70 % krumpirovog škroba kojeg proizvodi (Grommers i van der Krogt, 2009).

Za učinkovitu proizvodnju škroba, krumpir treba sadržavati što više škroba. Zbog toga se u modernim tvornicama u Europi koriste posebne vrste industrijskog krumpira koje sadrže velike količine škroba te se iz tog razloga ni ne konzumiraju, jer nisu ukusne (Grommers i van der Krogt, 2009). U Europi vađenje i prerada krumpira počinje u kolovozu, a završava u ožujku ili travnju te se to razdoblje naziva „škrobnom kampanjom“ (Grommers i van der Krogt, 2009; Kovač i sur., 2022).

Krumpir se uzgaja u područjima gdje se može čuvati tijekom cijele zime, zbog toga se prosječna temperatura tijekom zime ne bi trebala previše razlikovati od temperature skladištenja krumpira koja iznosi 4 – 7 °C, kako bi se spriječili visoki troškovi (Grommers i van der Krogt, 2009).

Ukupna proizvodnja krumpirovog škroba mala je u usporedbi s ukupnom količinom škroba proizvedenog u svijetu, što je vidljivo na **Slici 7** (Babić, 2007).



Slika 7 Udio pojedinih sirovina u proizvodnji škroba (Babić, 2007)

2.2.1. Formiranje gomolja

Škrob se sintetizira u gomolju, zbog toga je gomolj vrlo važan u industriji proizvodnje škroba iz krumpira. Tijekom rasta krumpira, ispod tla uz glavnu stabljiku formiraju se i bočni ogranci (stoloni) koji tamo i ostaju. Kako biljka dalje raste krajevi stolona se počinju dijeliti i dolazi do

istežanja stanica, stanice bubre te nastaje gomolj. Formiranje gomolja ovisi o različitim čimbenicima poput sorte, duljine dana i vremenskih prilika (Čančarević, 2021).

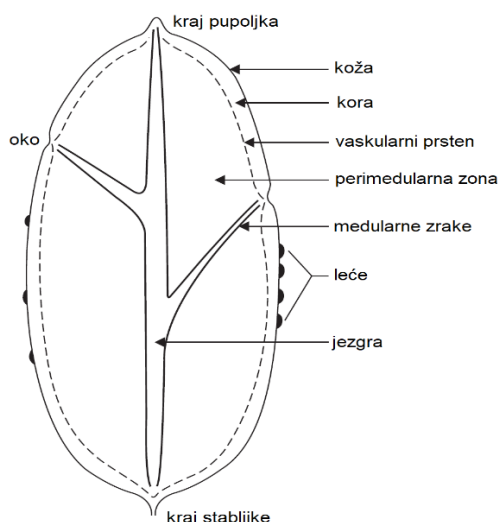
Oblik gomolja razlikuje se od sorte do sorte, ali ujednačenost oblika gomolja ovisi i o razmaku između biljaka, manji razmak daje ujednačenije gomolje. Također, gomolj može postati deformiran ukoliko dođe do stresa tijekom rasta kao npr. razdoblje suše praćeno obilnom kišom, pri čemu dolazi do sekundarnog rasta te se kao rezultat toga dobije deformirani, ali i „staklast“ gomolj, odnosno gomolj bez škroba (Grommers i van der Krogt, 2009).

2.2.2. Anatomija gomolja

Dijelovi gomolja su: koža (periderma) s lećama, oči, pupoljci i krajevi stabljike, kora, prsten vaskularnih snopova, perimedularna zona i jezgra s medularnim zrakama (**Slika 8**) (Kovač i sur., 2022).

Tijekom razvoja stolona u gomolj, na vanjskoj strani gomolja se počinju stvarati stanice kože (periderma). Periderma se sastoji od 2 sloja, vanjskog sloja (epiderme) koji se dijeli izvana prema unutra te unutrašnjeg sloja (hipoderme) koji se dijeli iznutra prema van, a sloj koji ih dijeli naziva se felogen. Stanice hipoderme stvaraju stanice parenhima koje kao rezervni materijal sadrže škrobne granule (skladišni parenhim). Povećanjem perimedularne zone dolazi do rasta gomolja. Kora krumpira sastoji se od šest do deset slojeva stanica. Leće nastaju na mjestu gdje su puči otvorene te su bitne za disanje gomolja. Stanične stjenke sastoje se od pektinskih tvari i mikrofibrila celuloze te su povezane središnjom lamelom koja je izgrađena uglavnom od pektina. Središnja lamela tvori međustanični prostor budući da je često isprekidana (Grommers i van der Krogt, 2009).

Granule škroba čine većinu (77 %) suhe tvari gomolja krumpira te predstavljaju rezervni materijal u gomolju za korištenje pri disanju i nicanju. Tijekom rasta gomolja sadržaj škroba se povećava, što je uzrokovano povećanjem broja granula te povećanjem veličine granula. Veličina granula škroba mogu biti u rasponu od 1 µm do 120 µm. Velike granule čine perimedularnu zonu, dok su manje granule uglavnom prisutne oko vaskularnog prstena (Grommers i van der Krogt, 2009).



Slika 8 Shematski prikaz anatomije gomolja (Kovač i sur., 2022)

2.2.3. Kemijski sastav krumpira

Količina škroba koja je prisutna u krumpiru je najbitniji čimbenik u industriji proizvodnje krumpirovog škroba kako bi ekonomičnost i iskorištenje bili što veći. Budući da većinu suhe tvari krumpira čini škrob postoji velika povezanost između sadržaja suhe tvari i sadržaja škroba u gomolju. Osim sadržaja škroba i suhe tvari, prerađivači krumpira moraju uzeti u obzir i sadržaj proteina. Svi ovi čimbenici ovise o sorti krumpira, ali i o uvjetima uzgoja (klima, tlo i dodatak gnojiva), pa tako npr. krumpir uzgojen na pjeskovitom tlu ima najmanji udio suhe tvari, dok krumpir uzgojen na muljevitom tlu ima najveći udio suhe tvari, što je povezano s dostupnošću vode biljci (Grommers i van der Krogt, 2009).

Količina škroba se određuje odmah prilikom isporuke krumpira u tvornicu i to metodom vaganja gomolja pod vodom. Težina pod vodom (engl. *The Under Water Weight* – UWW) jest težina pod vodom 5000 g krumpira. Sadržaj škroba može se dobiti izravno prema **formuli (1)**:

$$\% \text{ sadržaj škroba} = 0,0477 \times (\text{UWW} - 70,3) \quad (1)$$

gdje je:

UWW – težina pod vodom (engl. *The Under Water Weight*)

Prosječni sadržaj škroba, šećera, proteina i ostalih komponenti suhe tvari krumpira prikazana je u **Tablici 1** (Kovač i sur., 2022).

Tablica 1 Kemijski sastav krumpira (Kovač i sur., 2022)

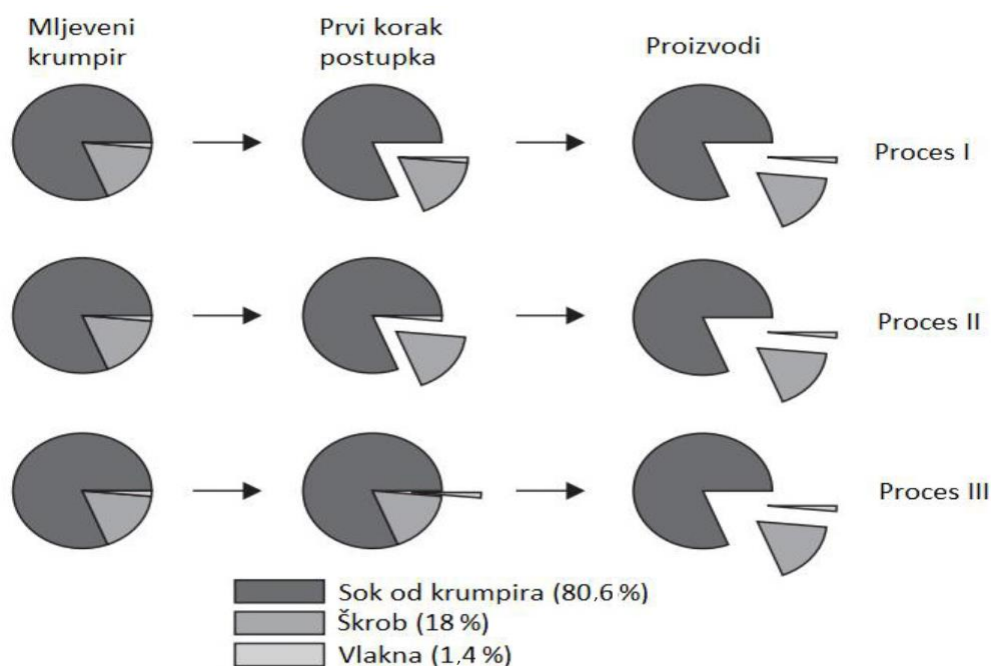
Komponenta	% suhe tvari
Škrob	76,6
Koagulirajući proteini	5,0
Slobodne aminokiseline	1,3
Amidi	1,8
Peptidi	1,3
Ukupno N spojeva	10,7
Fruktoza	0,5
Glukoza	1,1
Saharoza	1,2
Ukupni šećeri	2,7
Limunska kiselina	2,0
Jabučna kiselina	0,5
Oksalna kiselina	0,15
Ukupne organske kiseline	2,8
Kalij	1,8
Magnezij	0,1
Ukupni sadržaj pepela	4,0
Fosfor	0,2
Lipidi	0,4
Askorbinska kiselina	0,1
Fenolni spojevi	0,13
Klor	0,14
Sumpor	0,15
Nitrati	0,04

2.2.4. Proces proizvodnje krumpirovog škroba

Proizvodnja škroba iz krumpira u prvim koracima procesa je jednaka, počevši od isporuke krumpira, uzorkovanja, skladištenja, pranja i mljevenja, no nakon ovog koraka proces može ići u različitim smjerovima. Mljevenjem krumpira stanice se razbijaju te nastaje smjesa granula škroba, slomljenih staničnih stjenki i ostatka staničnog sadržaja, što uglavnom čini voda koja sadrži topljive proteine, aminokiseline, soli i šećere. Takva otopina se naziva „sok od krumpira“. U daljnjoj fazi prerade potrebno je odvojiti čvrste komponente (škrob i vlakna) od tekuće (krumpirovog soka). Razdvajanje ovih komponenata moguće je na tri načina koja su prikazana na **Slici 9**:

- proces I: najprije se odvaja krumpirov sok od vlakana i škroba, a zatim se odvaja škrob od vlakana,

- proces II: u prvom koraku se odstranjuje škrob iz mljevenog krumpira, a u drugom koraku se odvaja krumpirov sok od vlakana,
- proces III: prvo se iz mljevenog krumpira uklanjaju vlakna, a potom se krumpirov sok odvaja od škroba (Grommers i van der Krogt, 2009).



Slika 9 Načini prerade krumpira (Kovač i sur., 2022)

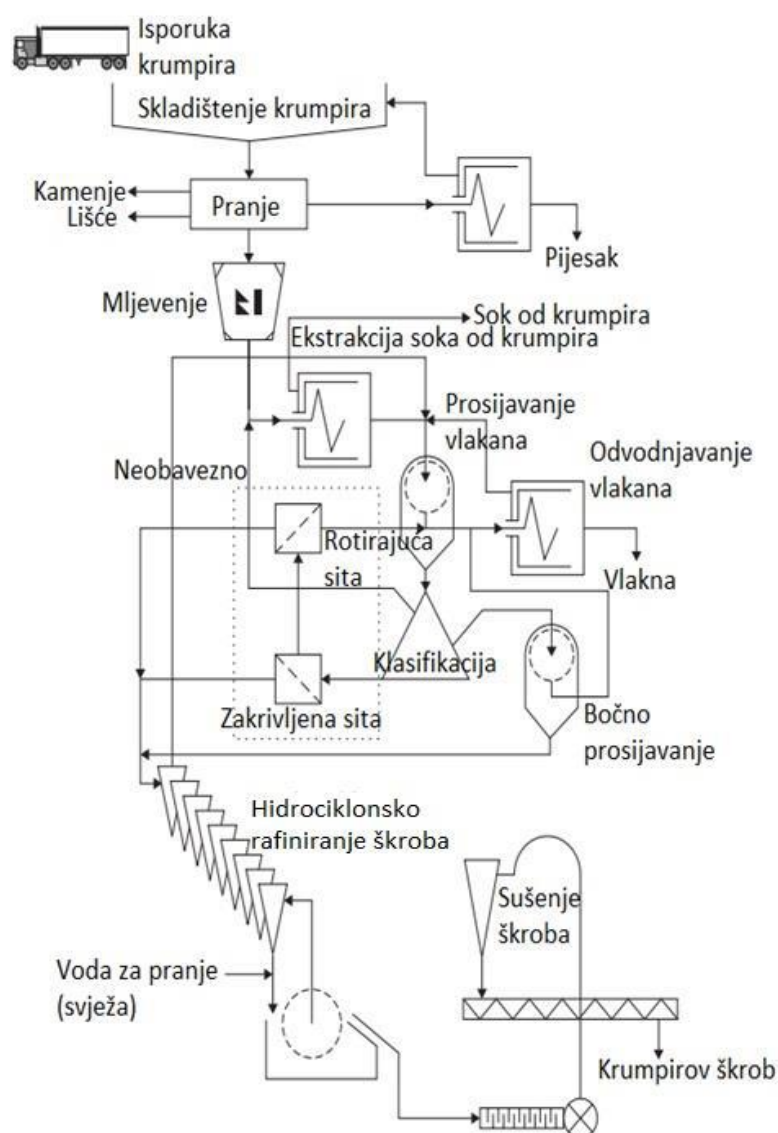
Postupak proizvodnje škroba iz krumpira sastoji se od sljedećih tehnoloških operacija:

1. *Pranje:* Provodi se pomoću pročišćene vode, te ovaj korak obuhvaća izdvajanje kamenja, lišća i pijeska.
2. *Mljevenje:* Ovaj korak provodi se s ciljem razbijanja stanica krumpira i oslobađanja škrobnih granula. Mljevenje se odvija u bubnjevima, gdje se krumpir usitnjava oštricama noža između bubnja i perforirane ploče. Mljevena kaša krumpira protječe kroz ploču sita i skuplja se u spremnik. Nepoželjno obojenje krumpirovog soka može se spriječiti na dva načina: dodatkom antioksidansa koji sprječava oksidaciju tirozina, dihidroksifenilalanina i/ili klorogenske kiseline, a koja je katalizirana polifenoloksidazom (enzimom prisutnim u krumpiru) i na taj način sprječava stvaranje melanina koji uzrokuje crveno-smeđu boju, ili mljevenjem krumpira u vakuumu, odnosno u uvjetima bez kisika.

3. *Ekstrakcija krumpirovog soka*: U ovom koraku se odvaja krumpirov sok (koji u svom sastavu sadrži proteine) od mljevenog krumpira. Postupak se provodi u dekanterskoj centrifugi, kontinuiranoj centrifugi koja se sastoji od cilindričnog bubnja i vijka. Dolazi do izdvajanja škrobnih granula (gustoće 1600 kg/m^3) i vlakana (gustoće 1100 kg/m^3) od krumpirovog soka (gustoće 1000 kg/m^3). Do odvajanja dolazi tako da se granule škroba i vlakna pritisnu na stjenke bubnja, a krumpirov sok teče preko prednjeg dijela uređaja. Proizvodi koji se dobiju u ovom koraku su kolač, kojeg čine škrob i vlakna, koji sadrži oko 40 % suhe tvari i krumpirov sok. Učinkovitost odvajanja krumpirovog soka ovisi o količini vode i broju ponavljanja uklanjanja vode.
4. *Ekstrakcija vlakana*: Ovaj postupak se provodi kako bi se vlakna odvojila od kolača dobivenog u prethodnoj fazi uz prihvatljiv gubitak škroba. Ekstrakcija se provodi pomoću centrifugalnih sita s perforacijama od $125 \mu\text{m}$. Količina škroba koja prolazi kroz sito je 97 %. Škrobno mlijeko sadrži 1,2 % vlakana. Učinkovitost postupka ovisi o površini sita, količini korištene vode za pranje i broju stupnjeva sita.
5. *Klasifikacija škroba*: Klasifikacija se provodi s ciljem oslobađanja škrobne kaše od vlakana. Postupak se provodi u centrifugalnim separatorima gdje se škrob koncentrira zbog djelovanja centrifugalne sile. Granule škroba najveće gustoće koncentriraju se ispred mlaznica, dok se škrobne granule manje gustoće i vlakna izlijevaju zajedno s procesnom vodom i topljivim komponentama. Jedine nečistoće koje zaostaju u škrobu su topljive komponente, kao što su proteini, aminokiseline, šećeri i soli.
6. *Rafiniranje škroba*: Provodi se s ciljem uklanjanja topljivih proteina iz škrobne kaše. Proteini se uklanjaju razrjeđivanjem s vodom, a potom koncentriranjem škroba u hidrociklonima, koji stvaraju tangencijalno strujanje. Princip je sljedeći: teže čestice (granule škroba) struje prema stjenkama hidrociklona, koncentrirana škrobna kaša izlazi na dno ciklona, a procesna voda bez škroba izlazi na vrh ciklona.
7. *Bočna ekstrakcija*: Cilj ovog postupka je vraćanje granula škroba koje su izgubljene prilikom prelijevanja kod klasifikacije škroba. Provodi se u konusnim rotirajućim sitima koja su korištena u ekstrakciji vlakana, ali s perforacijama od $70 \mu\text{m}$. Ukupno iskorištenje škroba je 96 %, 2 % se gubi tijekom procesa mljevenja, a 2 % u ostatku procesa.
8. *Uklanjanje vode iz škroba*: Cilj ovog koraka je ukloniti što više vode iz škroba, tako da se što manje mora ukloniti isparavanjem u sušioniku. Voda se uklanja pomoću rotirajućih vakuumskih filtera. Dobije se škrobni kolač s 40 % vlage koji se transportira u sušionik.

9. *Sušenje i skladištenje škroba:* Cilj ovog postupka je sušenje škroba do ravnotežnog udjela vlage od 20 %. Sušenje se odvija u pneumatskom sušioniku koji se sastoji od četiri dijela. Prvi dio uključuje zagrijavanje zraka na 150 °C pomoću pare u izmjenjivaču topline. Drugi dio predstavlja cijev u kojoj se škrob suši vrućim zrakom. Treći dio je separacijski dio u kojem se osušeni škrob odvaja od zraka. Četvrti dio je transportni element, gdje se kinetička energija za transport zraka i škroba dovodi pomoću ventilatora. Osušeni škrob se uglavnom hladi zrakom kako bi se spriječili problemi vezani uz kondenzaciju te se transportira pneumatskim putem u silos za skladištenje (Grommers i van der Krogt, 2009; Herceg, 2020).

Na **Slici 10** shematski je prikazan postupak proizvodnje škroba iz krumpira.



Slika 10 Postupak proizvodnje škroba iz krumpira (Kovač i sur., 2022)

3. EKSPERIMENTALNI DIO

3.1. ZADATAK

Zadatak ovog diplomskog rada bio je izolacija i karakterizacija škroba iz osam različitih sorti krumpira koji su uzgojeni na području Osječko-baranjske županije u 2021. godini. Prvo je uzorcima krumpira određen osnovni kemijski sastav, a nakon toga se u laboratorijskim uvjetima napravila izolacija škroba. Izolirani škrobovi su osušeni, a zatim usitnjeni i prosijani kroz sito otvora 400 μm . Na dobivenim uzorcima provedene su sljedeće analize: određivanje osnovnog kemijskog sastava, određivanje boje pomoću kolorimetra, određivanje kapaciteta bubrenja i indeksa topljivosti u vodi te određivanje termofizikalnih svojstava pomoću diferencijalne motridbene kalorimetrije.

3.2. MATERIJAL I METODE

3.2.1. Metoda izolacije škroba iz krumpira

Postupak izolacije škroba iz krumpira započeo je temeljitim pranjem gomolja krumpira u običnoj vodi, nakon čega su gomolji krumpira isprani u destiliranoj vodi. Zatim se krumpir rezao na male komadiće i vagao.

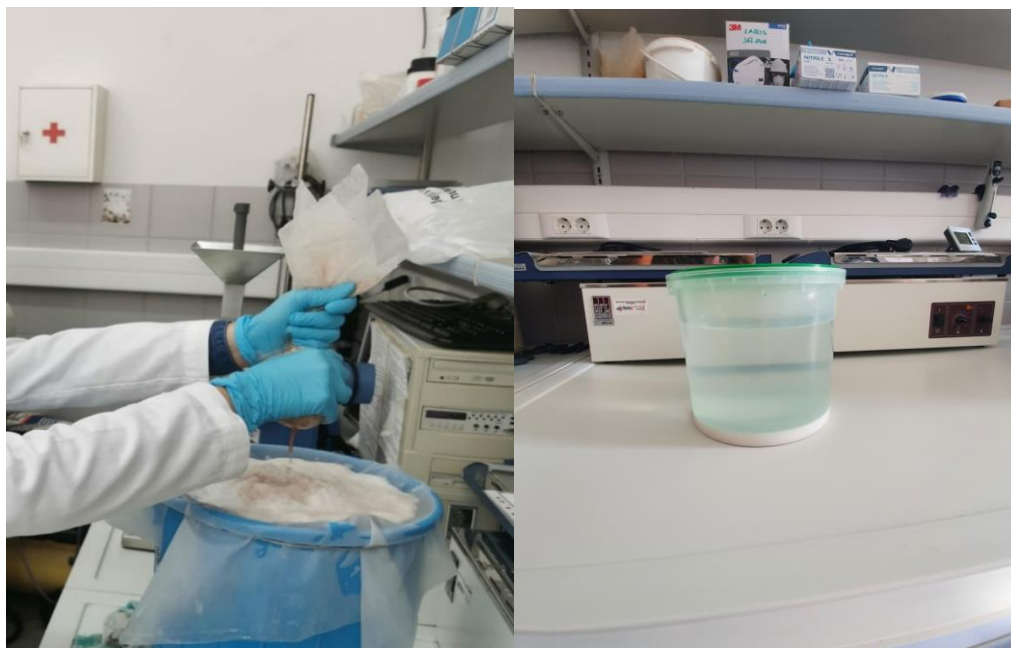
Odvagano je 0,5 kg usitnjenog krumpira koji je stavljen u laboratorijski blender Kenwood, gdje je dodano 250 mL destilirane vode. Blender je uključen na brzinu 5 oko 25 sekundi.

Sljedeći korak bio je ručno ispiranje škroba iz krumpirove pulpe. Sadržaj iz blendera je stavljen na škrobnu gazu sa simbolom 11xxx (132 μm), to je gaza za ispiranje škroba koja se koristi u industriji škroba. Zatim je postupak ispiranja škroba ponovljen 4-5 puta destiliranom vodom, sve dok škrob više nije sklizak i voda nije postala bistra. Postupak ručnog ispiranja škroba prikazan je na **Slici 11a**.

Otopina škroba je ostavljena preko noći (12 sati) da se škrob istaloži, a zatim je izlivena voda iznad taloga (pretakanje). Nakon toga je dodana nova destilirana voda, dobro izmiješano i ostavljeno na taloženje, a potom obavljeno pretakanje. Taj je proces izveden još dva puta, što znači da su škrobovi isprani ukupno 3 puta. U ovom procesu vrijeme je vrlo važan čimbenik, što je dulje vrijeme, manje se gubi škroba.

Tijekom četvrtog miješanja škroba s destiliranom vodom provedeno je rafiniranje, tj. suspenzija škroba i destilirane vode izlivena je kroz škrobnu gazu oznake 13xxx (104 μm), koja

se koristi za rafiniranje škroba. Nakon obavljenog procesa rafiniranja škrob se ponovno taloži (Slika 11b).



Slika 11 Postupak ručnog ispiranja škroba (a) i taloženje škroba (b)

Nakon što je posljednja voda izlivena preko taloga, mokri škrob je stavljen u plastične tacne na sušenje. Uzorci su sušeni u laboratorijskom sušioniku Memmert UFE 500 (Slika 12a) Schwabach, Njemačka, pri temperaturi od 30 °C. Osušeni škrob je samljeven u laboratorijskom mlinu IKA M20 (Slika 12b), Staufen, Njemačka, uz vrijeme mljevenja od 6 sekundi, a zatim je prosijan kroz sito s veličinom otvora od 400 μm .

Škrobovi su pakirani u polietilenske vrećice i čuvani 6 tjedana (sazrijevanje škroba), a zatim su im se određivala svojstva.



Slika 12 Laboratorijski sušionik Memmert UFE 500 (a) i mlin IKA M20 (b)

3.2.2. Određivanje osnovnog kemijskog sastava

3.2.2.1. Određivanje udjela suhe tvari (ISO 6540)

Udio suhe tvari u izoliranim krumpirovim škrobovima određen je sušenjem na 130 °C do konstantne mase u laboratorijskom sušioniku s ventilacijom, Memmert UFE 500, Schwabach, Njemačka. Izvaži se oko 5 g uzorka u prethodno osušene i izvagane aluminijske posudice za sušenje. Nakon sušenja posudice s uzorkom izvade se iz sušionika, hlade u eksikatoru te važu. Mjerenje je provedeno u dvije paralele za svaki uzorak, a udio suhe tvari ($w_{s.tv.}$) računa se prema **formuli (2)**:

$$w_{s.tv.}[\%] = \frac{m_2}{m_1} \times 100 \quad (2)$$

gdje je: $w_{s.tv.}$ – udio suhe tvari [%],
 m_1 – masa uzorka prije sušenja [g],
 m_2 – masa uzorka nakon sušenja [g].

3.2.2.2. Određivanje udjela pepela (ISO 5984)

Metoda se zasniva na spaljivanju ispitivanog uzorka u mufolnoj peći na temperaturi 550 ± 20 °C, dok ne sagori sva organska tvar i vaganju ostatka. Porculanski lončići za spaljivanje najprije se žare na temperaturi 550 °C u trajanju od 30 minuta, hlade u eksikatoru na sobnoj temperaturi i važu na analitičkoj vagi. U ohlađene i izvagane lončiće izvaže se 5 g uzorka (m_0), ako se očekuje manje od 1 % pepela na suhu tvar, ili 2 – 3 g, ako se očekuje više od 1 % pepela na suhu tvar. Najprije se provodi predspaljivanje na električnoj grijaćoj ploči dok uzorak ne karbonizira, zatim se lončići s uzorkom prebace u prethodno zagrijanu mufolnu peć (Nabertherm, Njemačka) na 550 °C i žare u trajanju od 180 minuta. Lončići se potom izvade i hlade na termorezistentnoj ploči 1 minutu, a potom prebace u eksikator. Ohlađeni lončići važu se na analitičkoj vagi. Mjerenje je provedeno u dvije paralele za svaki uzorak, a udio pepela računa se prema **formuli (3)**:

$$w_A [\%] = \frac{m_2 - m_0}{m_1 - m_0} \times 100 \quad (3)$$

gdje je: w_A – udio pepela [% s. tv.],
 m_0 – masa praznog lončića [g],
 m_1 – masa lončića s uzorkom [g],
 m_2 – masa lončića i pepela [g].

3.2.2.3. Određivanje udjela masti (ISO 6492)

Osnova određivanja udjela masti je njihova ekstrakcija iz uzorka organskim otapalom (petroleter) sa ili bez prethodne obrade uzorka kiselinom (HCl). Postupak ekstrakcije provodi se u ekstraktoru po Soxhletu. Tikvica po Soxhletu s nekoliko kuglica za vrenje prethodno se osuši na temperaturi 105 ± 2 °C, hladi u eksikatoru te potom važe na analitičkoj vagi. Izvaže se oko 5 g uzorka u odmašćeni tuljak za ekstrakciju te se tuljak stavi u ekstraktor, spoji se tikvica i doda petroleter. Ekstrakcija traje 4 sata i to tako da se osigura oko 10 prelijevanja po satu. Otapalo se potom predestilira, a ostatak ispari na vodenoj kupelji te se tikvica suši u sušioniku na 103 °C do konstantne mase, potom hladi u eksikatoru i važe na analitičkoj vagi. Mjerenje je provedeno u dvije paralele, a udio masti računa se prema **formuli (4)**:

$$w_M [\%] = \frac{m_M}{m_0} \times 100 \quad (4)$$

gdje je: w_M – udio masti [%],
 m_M – masa ekstrahirane masti [g],
 m_0 – masa uzorka [g].

3.2.2.4. Određivanje udjela proteina (ISO 5983-2)

Metoda se zasniva na određivanju udjela dušika po Kjeldahl-u i izračunavanju udjela proteina indirektno iz određenog udjela dušika množeći rezultat s konvencionalnim faktorom konverzije 6,25 za prehrambene proizvode.

Za analizu je korišten uređaj Kjeltec TM 2300, Foss, Danska. Postupak se sastoji od tri faze: vlažnog spaljivanja (digestije), destilacije i titracije. U Kjeldahl kivete za digestiju odvaže se 0,5 g uzorka, zatim se dodaju Kjeldahl tablete (sredstvo za povišenje vrelišta i katalizator sniženja energije aktivacije oksidacijskog procesa tijekom spaljivanja) i 20 mL 96 %-tne H_2SO_4 te se provede spaljivanje na bloku za digestiju. Pri tome dolazi do potpune oksidacije organske tvari, a dušik koji se pri tome oslobađa u obliku NH_3 sa H_2SO_4 daje $(NH_4)_2SO_4$. Zatim se u destilacijskoj jedinici provodi destilacija u kojoj se djelovanjem lužine (NaOH) na amonij-sulfat oslobađa amonijak, koji se predestilira u tikvicu s H_3BO_3 . Na kraju se provede titracija s 0,1 M HCl i izračuna se udio dušika prema **formuli (5)**:

$$w_N [\%] = \frac{\{(a-b) \times c_{kis} \times f_{kis} \times 1,4007\}}{m_{uzorka}} \quad (5)$$

gdje je: w_N – udio dušika [%],
a – volumen HCl-a utrošen za titraciju uzorka [mL],
b – volumen HCl-a utrošen za titraciju slijepe probe [mL],
c – molaritet kiseline [$molL^{-1}$],
f – faktor kiseline,
m – masa uzorka [g].

3.2.2.5. Određivanje udjela sirovih vlakana (ISO 6865)

Metoda se zasniva na definiciji sirovih vlakana prema kojoj se pod ovim pojmom podrazumijevaju sastojci u namirnicama koji ostaju kao neotopljeni ostaci nakon naizmjeničnog tretiranja razblaženim kiselinama i bazama, te nakon spaljivanja uzorka.

U osušenu, ohlađenu i izvaganu kapsulu (masa W_1) odvagano je 0,5 g samljevenog uzorka. Zatim je kapsula zatvorena i izvagana (masa W_2), te prenesena u nosač. Slijedi odmašćivanje sa 120 mL acetona tri puta po 30 sekundi. Nakon toga je izvršena ekstrakcija u kipućoj 1,25 % H_2SO_4 kroz 30 minuta, te ispiranje s vodom zagrijanom na 60 °C kroz 30 sekundi (3 puta). Slijedi ekstrakcija u kipućem 1,25 % NaOH kroz 30 minuta, te ponovno ispiranje s vodom zagrijanom na 60 °C kroz 30 sekundi (3 puta). Zatim je provedeno još jedno odmašćivanje s acetonom, te sušenje na 130 °C do konstantne mase (masa W_3). U izžareni i izvagani lončić za žarenje (masa W_4), prenesena je kapsula s uzorkom, te je izvršeno spaljivanje najprije na plameniku, a zatim u mufolnoj peći na 600 °C ± 10 °C kroz četiri sata. Na kraju su lončići sa spaljenim uzorkom izvagani (masa W_5). Određivanje je provedeno u tri ponavljanja, a rezultati su izračunati prema **formuli (6)** i prikazani kao srednja vrijednost ± standardna devijacija.

$$\% \text{vlakana} = \frac{W_3 - (W_1 \times C) - (W_5 - W_4 - D)}{W_2} \times 100 \quad (6)$$

C – korekcija za kapsulu (0,999)

D – ostatak od kapsule nakon spaljivanja (0,003)

3.2.3 Određivanje boje škroba kromametrom

Za određivanje boje škroba korišten je kromametar Konica Minolta CR-300 (**Slika 13**). Prije mjerenja boje u sustavima CIELab i LCh kromametar je kalibriran pomoću kalibracijske pločice. Za svaki uzorak provedeno je pet mjerenja.

U CIELab sustavu određuju se tri parametra boje:

- L^* , koji se kreće u rasponu 0 (crno) — 100 (bijelo)

- a^* , pokazuje odnos crveno (pozitivne vrijednosti) — zeleno (negativne vrijednosti)
- b^* , pokazuje odnos žuto (pozitivne vrijednosti) — plavo (negativne vrijednosti).

U CIELCh sustavu se, osim L^* parametra, koji je isti kao u CIELab sustavu, određuje još i C parametar koji predstavlja intenzitet ili zasićenost boje (engl. *chroma*) i kreće se u rasponu 0 do 100 (što su vrijednosti niže, zasićenost boje je slabija) i h° koji predstavlja ton boje (engl. *hue*), a izražava se u $^\circ$, pri čemu 0° označava crveno, preko 90° za žuto, 180° za zeleno, do 270° za plavo.



Slika 13 Kromametar Konica Minolta CR – 300

3.2.4. Određivanje kapaciteta bubrenja (KB) i indeksa topljivosti (IT) škrobova

Izolirani škrobovi važu se u kivete za centrifugiranje od 50 mL s konusnim dnom kako bi se pripravila 1,0 %-tna suspenzija (25 g suspenzije). Kivete se poklope čepom i dobro promiješaju te se suspenzija potom zagrijava na temperaturama od 55, 65, 75 i 85 $^\circ\text{C}$, u trajanju od 30 minuta u vodenoj kupelji s tresilicom (150 rpm), uz povremeno ručno miješanje kako bi se uzorak homogenizirao. Želatinizirani škrob se potom što prije ohladi u vodi s ledom na sobnu temperaturu te se centrifugira pri 4000 rpm u trajanju od 15 minuta. Nakon završetka centrifugiranja, supernatant se dekantira u prethodno osušene i izvagane aluminijske posudice za sušenje te suši pri 105 $^\circ\text{C}$ do konstantne mase. Na osnovi izvagane mase gela i određene suhe tvari u supernatantu kapacitet bubrenja (KB) i indeks topljivosti (IT) izračunaju se prema **formulama (7) i (8)**:

$$KB = \frac{W_G}{W_S} \text{ [g/g]} \quad (7)$$

- W_G – masa gela [g]
- W_S – masa suhe tvari škroba korištena za analizu [g]

$$IT = \left(\frac{W_{SS}}{W_S} \right) \times 100 \text{ [%]} \quad (8)$$

- W_{SS} – masa suhe tvari u supernatantu [g]
- W_S – masa suhe tvari škroba korištena za analizu [g]

3.2.5. Određivanje termofizikalnih svojstava

Za određivanje termofizikalnih svojstava uzoraka koristi se diferencijalni motridbeni kalorimetar (DMK) Mettler-Toledo DSC model 822e, a mjerenja se provode u atmosferi dušika čistoće 5.0 (Linde). Rezultati se prikazuju i obrađuju STARe software-om. Kontrola ili provjera (tzv. *check*) pouzdanosti instrumenta (modula), koja određuje razliku izmjerene i određene referentne vrijednosti temperature ili toplinskog toka ispitivanog referentnog materijala provodi se s indijem. Hlađenje se provodi s tekućim dušikom (kontejner od 100 L, Messer, Frankfurt).

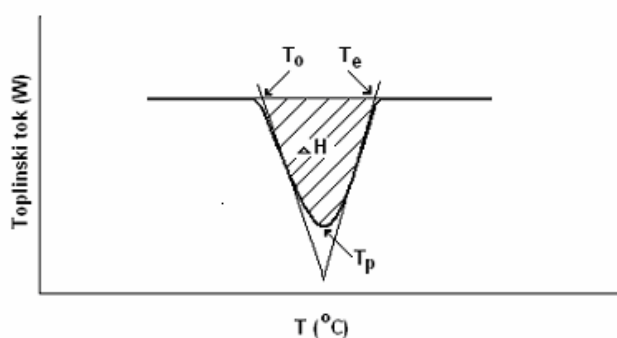
Priprema uzoraka i mjerenje termofizikalnih svojstava (želatinizacije i retrogradacije)

Za mjerenje termofizikalnih svojstava (želatinizacije i retrogradacije) važe se između 10 i 20 mg uzorka. Škrobovi se važu u standardnu aluminijsku posudu (40 μ L), a nakon toga se mikrošpicom dodaje destilirana voda kako bi se pripravila 30 %-tna suspenzija škroba. Posudica s uzorkom se nakon vaganja hermetički zatvori i ostavi 24 sata na sobnoj temperaturi, kako bi se uzorak uravnotežio prije mjerenja DMK instrumentom. Kod mjerenja svojstava želatinizacije uzorci se podvrgavaju temperaturnom programu zagrijavanja od 25 do 95 °C, brzinom zagrijavanja od 10 °C/min. Nakon zagrijavanja uzorak se hladi u DMK

instrumentu na 25 °C, izvadi iz uređaja i čuva 14 dana pri 4 °C, nakon čega se određuje retrogradacija škroba, mjerenjem entalpije pomoću DMK uređaja. Uzorci se podvrgavaju temperaturnom programu zagrijavanja od 25 do 95 °C, brzinom zagrijavanja od 10 °C/min. Za svaki uzorak provedena su dva mjerenja. Kao rezultat mjerenja dobivene su krivulje želatinizacije, odnosno retrogradacije.

Određivanje parametara želatinizacije i retrogradacije

DMK parametri želatinizacije i retrogradacije: promjena entalpije (ΔH), temperatura početka procesa (T_0), temperatura vrha krivulje (T_p) i temperatura završetka (T_e) se očitavaju iz DMK egzotermne krivulje želatinizacije, odnosno retrogradacije škroba pomoću «STARe» softvera (Slika 14).



Slika 14 Egzotermna DMK krivulja i parametri koji se određuju pomoću STARe softvera

4. REZULTATI I RASPRAVA

4.1. OSNOVNI KEMIJSKI SASTAV ISPITIVANIH SORTI KRUMPIRA

Tablica 2 Rezultati analize kemijskog sastava ispitivanih sorti krumpira

Uzorak	Suha tvar [%]	Proteini [%]	Masti [%]	Pepeo [%]	Škrob [%]	Sirova vlakna [%]
Saprodi	25,05 ± 0,29	2,53 ± 0,11	0,09 ± 0,01	1,24 ± 0,01	19,78 ± 0,17	1,08 ± 0,01
Sofista	24,43 ± 1,99	2,15 ± 0,13	0,09 ± 0,00	1,24 ± 0,01	19,91 ± 0,12	0,88 ± 0,04
Stilleto	28,54 ± 0,69	3,47 ± 0,16	0,10 ± 0,00	1,02 ± 0,01	22,49 ± 0,71	0,96 ± 0,00
Dartiest	21,95 ± 1,14	2,37 ± 0,06	0,10 ± 0,00	0,96 ± 0,01	17,42 ± 0,00	1,08 ± 0,01
Sereno	24,48 ± 0,76	3,37 ± 0,03	0,09 ± 0,00	1,20 ± 0,01	17,63 ± 0,43	1,18 ± 0,04
Senata	21,66 ± 0,97	1,79 ± 0,09	0,08 ± 0,00	1,11 ± 0,01	17,36 ± 0,32	1,07 ± 0,05
Scala	23,57 ± 0,84	2,15 ± 0,08	0,12 ± 0,00	1,14 ± 0,02	19,06 ± 0,70	0,90 ± 0,03
SL 13-25	23,48 ± 0,72	2,33 ± 0,09	0,16 ± 0,00	1,25 ± 0,03	17,26 ± 0,37	1,03 ± 0,04

Škrobovi za potrebe istraživanja izolirani su iz osam sorti krumpira čija su svojstva prikazana u **Tablici 2**. Iz tablice se može vidjeti da sorta Stilleto ima najveći udio suhe tvari te time i najveći udio škroba, što se moglo i pretpostaviti budući da se većina suhe tvari sastoji od škroba, dok je sorta Senata imala najmanji udio suhe tvari, međutim najmanji udio škroba imala je sorta SL 13-25. Najveći udio proteina opet je imala sorta Stilleto, a najmanji Senata. Najveći udio masti imala je sorta SL 13-25, a najmanji sorta Senata. Najveći udio sirovih vlakana imala je sorta Sereno, a najmanji udio sorta Sofista.

4.2. OSNOVNI KEMIJSKI SASTAV IZOLIRANIH KRUMPIROVIH ŠKROBOVA

Tablica 3 Rezultati analize kemijskog sastava izoliranih krumpirovih škrobova

Uzorak	Suha tvar [%]	Proteini [%]	Masti [%]	Pepeo [%]	Škrob [%]	Sirova vlakna [%]
Saprodi	84,66 ± 0,02	0,09 ± 0,00	0,01 ± 0,00	0,22 ± 0,00	82,67 ± 0,27	1,01 ± 0,03
Sofista	85,33 ± 0,02	0,10 ± 0,01	0,01 ± 0,00	0,26 ± 0,00	83,25 ± 0,41	0,77 ± 0,01
Stilleto	84,67 ± 0,01	0,09 ± 0,01	0,01 ± 0,00	0,22 ± 0,01	82,96 ± 0,06	0,95 ± 0,04
Dartiest	85,69 ± 0,02	0,10 ± 0,00	0,01 ± 0,00	0,21 ± 0,00	83,75 ± 0,13	0,70 ± 0,01
Sereno	84,33 ± 0,08	0,15 ± 0,03	0,01 ± 0,00	0,23 ± 0,01	82,51 ± 0,40	0,70 ± 0,02
Senata	84,92 ± 0,03	0,10 ± 0,01	0,01 ± 0,00	0,26 ± 0,00	83,32 ± 0,58	0,90 ± 0,01
Scala	84,95 ± 0,01	0,09 ± 0,00	0,01 ± 0,00	0,25 ± 0,00	82,95 ± 0,42	0,90 ± 0,01
SL 13-25	83,51 ± 0,13	0,09 ± 0,00	0,01 ± 0,00	0,21 ± 0,01	81,23 ± 0,10	1,02 ± 0,05

U **Tablici 3** prikazan je sadržaj proteina, masti, pepela i sirovih vlakana u izoliranim škrobovima. Sadržaj proteina u izoliranim krumpirovim škrobovima varirao je od 0,09 % do 0,15 %, te su ove vrijednosti vrlo niske u usporedbi s vrijednostima proteina u škrobovima koji su izolirani iz tri autohtona krumpira andske regije (Martínez i sur., 2019), što ukazuje na visoku čistoću (Alvani i sur., 2011). Udio masti je isti u svim škrobovima i iznosi 0,01 %, te je taj udio manji od onog u meksičkom krumpirovom škrobu (Jiménez-Hernández i sur., 2007) i krumpirovom škrobu iz Venezuele (Lovera i sur., 2017). Sadržaj pepela kretao se u rasponu od 0,21 % do 0,26 %, što je slično vrijednostima za škrobove autohtonih krumpira andske regije (Martínez i sur., 2019) i krumpirovom škrobu iz Venezuele (Lovera i sur., 2017). Raspon udjela sirovih vlakana bio je od 0,70 % do 1,02 %. Kemijski sastav škrobova ovisi o sorti krumpira, kao i o procesu izolacije škroba (Martínez i sur., 2019).

4.3. BOJA KRUMPIROVIH ŠKROBOVA

Tablica 4 Rezultati analize boje izoliranih krumpirovih škrobova

Uzorak	L*	a*	b*	C	h°
Saprodi	94,85 ± 0,31	-1,45 ± 0,19	2,29 ± 0,12	2,72 ± 0,05	122,36 ± 4,59
Sofista	94,08 ± 0,45	-1,32 ± 0,02	2,33 ± 0,07	2,67 ± 0,06	119,46 ± 0,88
Stilleto	93,71 ± 0,17	-1,21 ± 0,02	2,49 ± 0,04	2,77 ± 0,04	115,94 ± 0,59
Dartiest	94,49 ± 0,30	-1,15 ± 0,29	2,52 ± 0,14	2,79 ± 0,14	114,40 ± 6,06
Sereno	93,81 ± 0,56	-1,31 ± 0,04	2,65 ± 0,01	2,96 ± 0,02	116,35 ± 0,75
Senata	93,67 ± 1,19	-1,18 ± 0,26	2,93 ± 0,05	3,17 ± 0,11	111,86 ± 4,25
Scala	94,18 ± 0,25	-1,32 ± 0,02	2,31 ± 0,07	2,65 ± 0,05	119,77 ± 0,96
SL 13-25	94,85 ± 0,04	-0,79 ± 0,03	2,27 ± 0,04	2,41 ± 0,04	109,16 ± 0,51

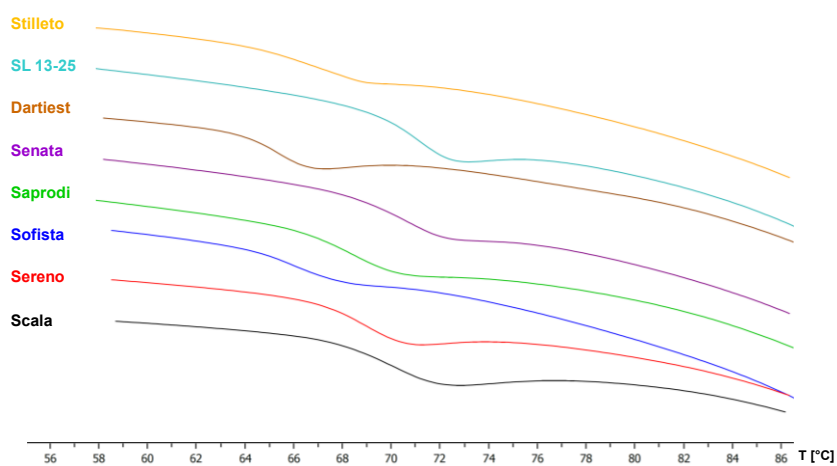
U **Tablici 4** prikazani su parametri boje izoliranih krumpirovih škrobova. Intenzitet bijele boje, odnosno svjetlina škroba se u CIELab sustavu izražava putem L* vrijednosti. Vrijednosti L* parametra kreću se u rasponu 0 (crno) – 100 (bijelo), a dobivene vrijednosti za sve škrobove bile su blizu 100, što ukazuje na jako bijelu boju. Parametar a* opisuje domenu boje, ukoliko je vrijednost pozitivna u domeni je crvene boje, a ukoliko je vrijednost negativna u domeni je zelene boje, te se iz tablice može očitati da su sve vrijednosti negativne, što znači da su uzorci u domeni zelene boje. Iz dobivenih rezultata vidljivo je da su vrijednosti parametra b* svih ispitivanih uzoraka pozitivne, što znači da su svi uzorci u domeni žute boje. Parametrom C se izražava zasićenost boje, a najveću vrijednost te ujedno zasićenost imao je škrob dobiven iz krumpira sorte Senata. Parametar h° predstavlja ton boje i izražava se u ° pri čemu 0° označava crveno, preko 90° za žuto, 180° za zeleno, do 270° za plavo. Prema rezultatima iz tablice može se vidjeti da su svi uzorci u domeni žute boje.

4.4. SVOJSTVA ŽELATINIZACIJE

Tablica 5 Parametri želatinizacije suspenzija izoliranih krumpirovih škrobova

Uzorak	T_o (°C)	T_p (°C)	T_e (°C)	ΔH (J/g)
Saprodi	64,80 ± 0,11	70,32 ± 0,36	74,24 ± 0,02	2,16 ± 0,04
Sofista	63,80 ± 0,18	67,56 ± 0,28	73,80 ± 0,13	1,22 ± 0,06
Stilieto	64,22 ± 0,42	68,27 ± 0,33	76,73 ± 0,21	1,15 ± 0,04
Dartiest	63,73 ± 0,16	66,21 ± 0,13	70,24 ± 0,08	2,27 ± 0,08
Sereno	67,08 ± 0,06	70,11 ± 0,06	74,62 ± 0,25	2,32 ± 0,05
Senata	68,45 ± 0,28	71,89 ± 0,12	75,94 ± 0,08	2,01 ± 0,08
Scala	67,52 ± 0,59	71,41 ± 0,06	77,05 ± 0,17	2,30 ± 0,04
SL 13-25	69,18 ± 0,15	71,84 ± 0,17	75,81 ± 0,49	2,21 ± 0,02

*Parametri želatinizacije: T_o - početna temperatura; T_p - temperatura vrha; T_e - završna temperatura; ΔH - entalpija želatinizacije



Slika 15 Krivulje želatinizacije suspenzija izoliranih krumpirovih škrobova

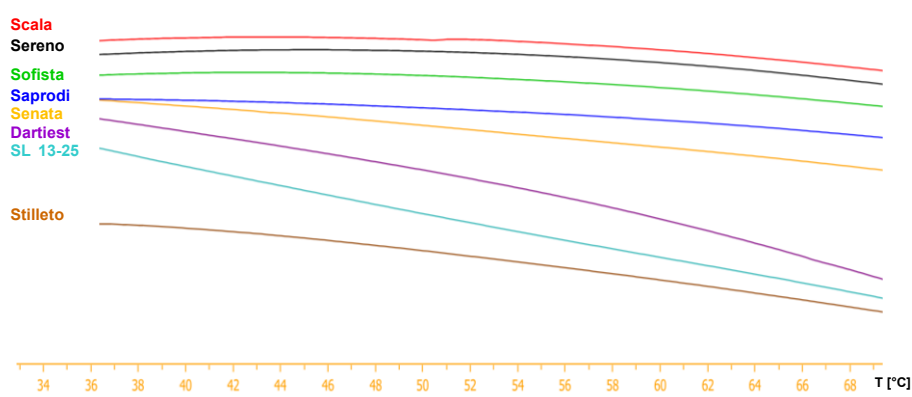
Tablica 5 i Slika 15 prikazuju parametre želatinizacije određene DMK-om. Temperatura početka želatinizacije kretala se u rasponu od 63,73 °C za škrob dobiven iz sorte Dartiest do 69,18 °C za škrob dobiven iz sorte SL 13-25. Temperature vrha želatinizacije bile su u rasponu od 66,21 °C za škrob dobiven iz sorte Dartiest do 71,89 °C za škrob dobiven iz sorte Senata, a temperatura završetka želatinizacije u rasponu od 70,24 °C za škrob dobiven iz sorte Dartiest do 77,05 °C za škrob dobiven iz sorte Scala. Najniže temperature želatinizacije pokazuje škrob izoliran iz sorte Dartiest, dok najviše temperature želatinizacije pokazuju škrobovi iz sorti SL 13-25, Senata i Scala. Temperature želatinizacije izoliranih škrobova veće su od temperatura želatinizacije škrobova dobivenih iz autohtonih krumpira andske regije (Martínez i sur., 2019), kao i od različitih krumpirovih škrobova iz Indije (Singh i sur., 2004). Razlike između prijelaznih temperatura želatinizacije škrobova dobivenih iz različitih sorti krumpira mogu se pripisati razlikama u stupnju kristaličnosti. Visoki stupanj kristaličnosti omogućava stabilnu strukturu granule i čini ju otpornijom na želatinizaciju, te su zbog toga temperature želatinizacije veće (Singh i sur., 2003). Veće temperature želatinizacije, također, mogu biti uzrokovane visokim dvostrukim spiralnim rasporedom između amiloznih i amilopektinskih lanaca te jakim interakcijama između amiloza-amiloza lanaca i amilopektin-amilopektin lanaca (Martínez i sur., 2019). Entalpije želatinizacije krumpirovih škrobova su znatno niže u usporedbi s entalpijama škrobova dobivenih iz autohtonih sorti krumpira andske regije te također različitih krumpirovih škrobova iz Indije (Martínez i sur., 2019; Singh i sur., 2004).

4.5. SVOJSTVA RETROGRADACIJE

Tablica 6 Parametri retrogradacije gelova izoliranih krumpirovih škrobova nakon 14 dana skladištenja pri 4 °C

Uzorak	T ₀ (°C)	T _p (°C)	T _e (°C)	ΔH (J/g)
Saprodi	44,57 ± 0,43	53,11 ± 0,49	58,89 ± 0,12	0,38 ± 0,00
Sofista	44,80 ± 0,27	51,23 ± 0,24	62,06 ± 0,07	0,35 ± 0,02
Stilleto	44,76 ± 0,26	55,56 ± 0,59	63,19 ± 0,17	0,28 ± 0,01
Dartiest	44,39 ± 0,70	55,11 ± 0,04	63,27 ± 0,29	0,29 ± 0,01
Sereno	44,70 ± 0,13	53,39 ± 0,24	62,23 ± 0,28	0,11 ± 0,04
Senata	42,40 ± 0,39	50,72 ± 0,35	61,53 ± 0,56	0,36 ± 0,01
Scala	45,27 ± 0,42	51,99 ± 0,13	63,09 ± 0,21	0,15 ± 0,01
SL 13-25	49,19 ± 0,08	52,64 ± 0,47	62,25 ± 0,08	0,42 ± 0,03

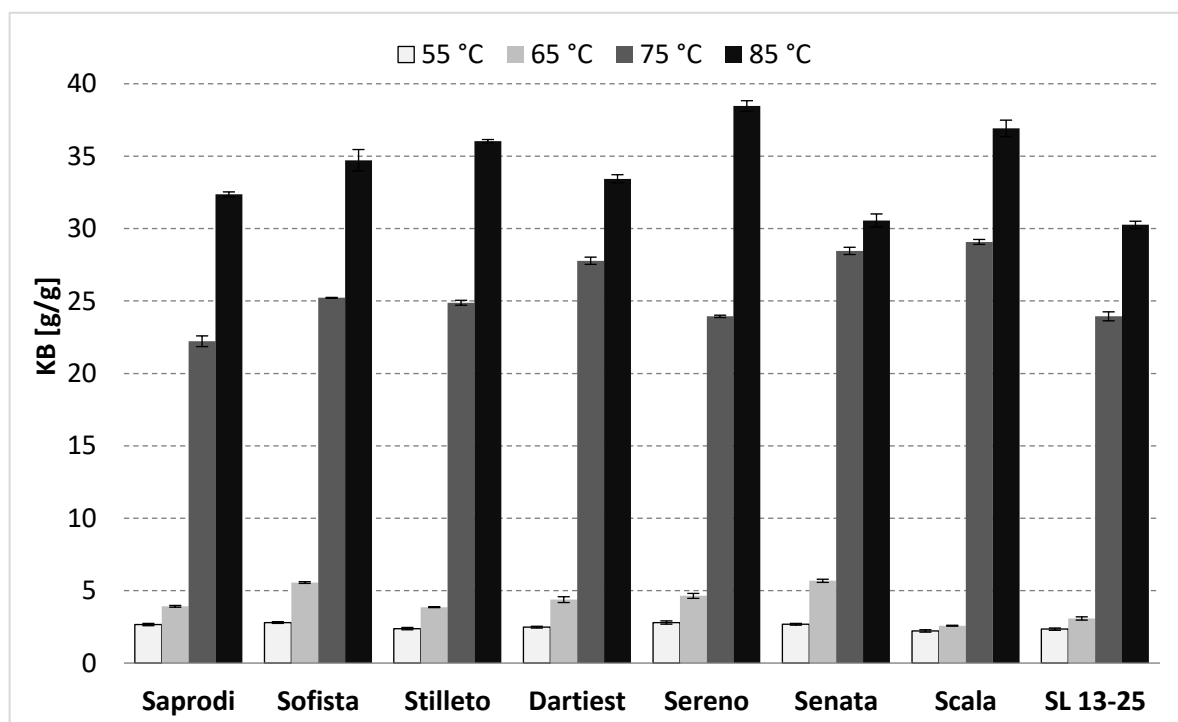
*Parametri retrogradacije: T₀ - početna temperatura; T_p - temperatura vrha; T_e - završna temperatura; ΔH - entalpija retrogradacije



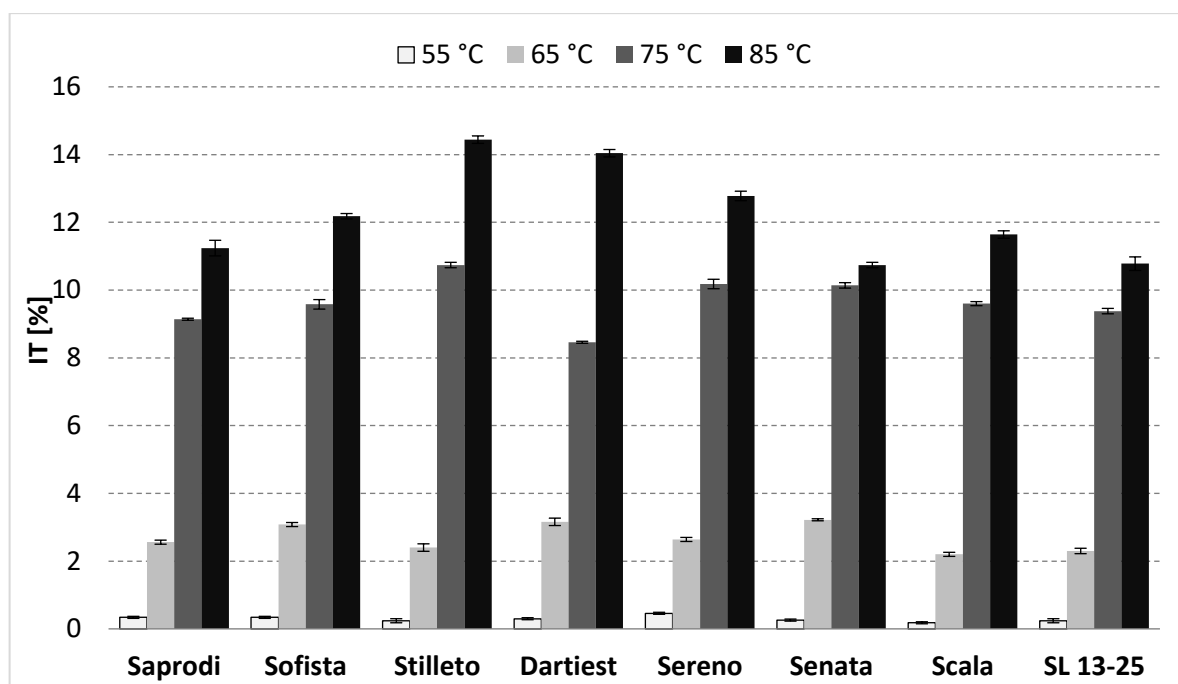
Slika 16 Krivulje retrogradacije gelova izoliranih krumpirovih škrobova

Tablica 6 i Slika 16 prikazuju vrijednosti početne temperature (T_0), temperature vrha (T_p), temperature završetka procesa (T_e) i entalpije retrogradacije (ΔH) gelova izoliranih krumpirovih škrobova nakon 14 dana skladištenja pri 4 °C. Najvišu početnu temperaturu ima gel škroba sorte SL 13-25, a najnižu gel škroba sorte Senata. Najvišu temperaturu vrha ima gel škroba sorte Stilleto, a najnižu gel škroba sorte Senata. Najvišu završnu temperaturu ima gel škroba sorte Dartiest, a najnižu gel škroba sorte Saprodi. Vrijednosti entalpija retrogradacije kretale su se od 0,11 J/g za gel škroba sorte Sereno do 0,42 J/g za gel škroba sorte SL 13-25. Prijelazne temperature, kao i entalpije retrogradacije na kraju perioda skladištenja su se značajno snizile u usporedbi s prijelaznim temperaturama i entalpijama tijekom želatinizacije. Rezultati su u skladu s rezultatima Karim i sur. (2007), gdje su prijelazne temperature i entalpije retrogradacije niže u odnosu na temperature želatinizacije. Nakon želatinizacije dolazi do ponovnog povezivanja molekula škroba i njihove rekristalizacije, pri čemu tvore slabije uređene strukture i zbog toga je potrebno manje energije za taljenje restrukturiranog kristala u retrogradiranom škrobu (Karim i sur., 2007).

4.6. KAPACITET BUBRENJA (KB) I INDEKS TOPLJIVOSTI (IT)



Slika 17 Kapacitet bubrenja (KB) izoliranih krumpirovih škrobova pri različitim temperaturama



Slika 18 Indeks topljivosti (IT) izoliranih krumpirovih škrobova pri različitim temperaturama

Kapacitet bubrenja i indeks topljivosti pokazuju međusobnu povezanost škrobnih lanaca unutar kristalnih i amorfnih regija škrobne granule koja je određena omjerom amilopektina i amiloze, sadržajem fosfora, njihovom konformacijom i stupnjem grananja (Grgić, 2020).

Slike 17 i 18 prikazuju kapacitet bubrenja i indeks topljivosti škrobova izoliranih iz različitih sorti krumpira pri temperaturama od 55 °C do 85 °C. Rezultati prikazani na slikama pokazuju izrazitu tendenciju porasta kapaciteta bubrenja, kao i indeksa topljivosti s povećanjem temperature tretiranja. Pri najvišoj temperaturi škrob sorte Sereno pokazuje najveću vrijednost kapaciteta bubrenja, a škrob sorte SL 13-25 pokazuje najnižu vrijednost, dok najveću vrijednost indeksa topljivosti pokazuje škrob sorte Stilleto, a najnižu vrijednost pokazuje škrob sorte Senata. Kapacitet bubrenja i indeks topljivosti ovise o vrsti škroba te omjeru amiloze i amilopektina. Vrijednosti kapaciteta bubrenja snižavaju se povećanjem udjela amiloze, a povećanjem udjela amilopektina se povećavaju te je takav škrob stabilniji na procese smrzavanja-odmrzavanja koji znatno ubrzavaju procese retrogradacije i sinereze. Škrob krumpira sastoji se od relativno velikih granula koje imaju relativno visoke vrijednosti kapaciteta bubrenja (Šubarić i sur., 2016). Morfološke karakteristike granula također mogu utjecati na kapacitet bubrenja i indeks topljivosti (Kaur i sur., 2002).

5. ZAKLJUČCI

Na temelju rezultata istraživanja provedenih u ovom radu može se zaključiti sljedeće:

1. Najveći sadržaj suhe tvari i škroba imala je sorta krumpira Stilleto, dok je najmanji sadržaj suhe tvari imala sorta Senata, a najmanji sadržaj škroba sorta SL 13-25.
2. Izolirani škrobovi iz svih sorti imali su visoku čistoću, što je vidljivo iz analize osnovnog kemijskog sastava dobivenih škrobova, gdje je sadržaj proteina, masti, pepela i sirovih vlakana relativno nizak.
3. Vrijednosti L^* parametra za sve škrobove su blizu 100, što označava jako bijelu boju. Najveću vrijednost L^* parametra ima škrob sorte Saprodi, a najmanju vrijednost škrob sorte Senata, no razlike između vrijednosti L^* parametra su vrlo male pa je i razlika u boji škrobova izoliranih iz različitih sorti krumpira teško uočljiva. Najveću zasićenost boje imao je škrob sorte Senata, a najmanju imao je škrob sorte SL 13-25. Prema rezultatima parametra a^* svi uzorci su u domeni zelene boje, a prema rezultatima parametra b^* i parametra h° svi uzorci su u domeni žute boje.
4. Najniže prijelazne temperature želatinizacije ima škrob sorte Dartiest, a najviše temperature želatinizacije pokazuju škrobovi dobiveni iz sorti SL 13-25, Senata i Scala. Najveću vrijednost entalpije želatinizacije ima škrob sorte Sereno, a najmanju vrijednost ima škrob sorte Stilleto.
5. Prijelazne temperature i entalpije retrogradacije su niže u odnosu na želatinizaciju. Najviše prijelazne temperature retrogradacije imaju gelovi škrobova sorti SL 13-25, Stilleto i Dartiest, a najniže vrijednosti pokazuju gelovi škrobova sorti Senata i Saprodi. Najmanju vrijednost entalpije retrogradacije ima gel škroba sorte Sereno, a najveću vrijednost ima gel škroba sorte SL 13-25.
6. S povišenjem temperature utvrđen je porast kapaciteta bubrenja kod svih uzoraka te je također zabilježen i proporcionalan rast indeksa topljivosti s povišenjem temperature.

6. LITERATURA

- Ačkar Đ: Izoliranje, modificiranje i karakteriziranje škroba pšenice. *Doktorski rad*. Prehrambeno-tehnološki fakultet, Osijek, 2010.
- Alvani K, Qi X, Tester RF, Snape CE: Physico-chemical properties of potato starches. *Food Chemistry*, 125:958–965, 2011.
- Babić J: Utjecaj acetiliranja i dodataka na reološka i termofizikalna svojstva škroba kukuruza i tapioke. *Doktorski rad*. Prehrambeno-tehnološki fakultet, Osijek, 2007.
- BeMiller JN, Whistler RL: Carbohydrates. U: Food Chemistry. O.R. Fennema (ur.), Marcel Dekker, Inc. New York, 191 – 204, 1996.
- Čančarević K: Proizvodnja škroba iz krumpira. *Završni rad*. Prehrambeno-tehnološki fakultet, Osijek, 2021.
- Denyer K, Johnson P, Zeeman S, Smith AM: The control of amylose synthesis. *Journal of Plant Physiology*, 158: 479-487, 2001.
- Eliasson AC: *Starch in Food*. Woodhead Publishing Ltd., Eng, 2004.
- Grgić I: Primjena visokonaponskog električnog pražnjenja i kemijskih postupaka pri modificiranju škrobova. *Doktorska disertacija*. Prehrambeno-tehnološki fakultet, Osijek, 2020.
- Grommers HE, van der Krogt DA: Potato Starch: Production, Modifications and Uses. U *Starch: Chemistry and Technology*, str. 511-539. (BeMiller J, Whistler R, eds.). Elsevier Inc., Burlington, 2009.
- Herceg K: Utjecaj visokonaponskog električnog pražnjenja i pulsirajućeg električnog polja na acetiliranje nativnog krumpirovog škroba. *Diplomski rad*. Prehrambeno-tehnološki fakultet, Osijek, 2020.
- Hoover R: Composition, molecular structure, and physicochemical properties of tuber and root starches: a review. *Carbohydrate Polymers* 45: 253-267, 2001.
- Jiménez-Hernández J, Salazar-Montoya JA, Ramos-Ramírez EG: Physical, chemical and microscopic characterization of a new starch from chayote (*Sechium edule*) tuber and its comparison with potato and maize starches. *Carbohydrate Polymers* 68:679–686, 2007.

- Kaur L, Singh N, Sodhi NS: Some properties of potatoes and their starches II. Morphological, thermal and rheological properties of starches. *Food Chemistry* 79:183–192, 2002.
- Karim AA, Toon LC, Lee VPL, Ong WY, Fazilah A, Noda T: Effects of Phosphorus Contents on the Gelatinization and Retrogradation of Potato Starch. *Journal of Food Science* 72:132–138, 2007.
- Kovač M, Šubarić D, Babić J, Ačkar Đ, Amidžić Klarić D, Klarić I, Jozinović A: Neke mogućnosti iskorištenja nusproizvoda iz proizvodnje krumpirovog škroba. U *Neke mogućnosti iskorištenja nusproizvoda prehrambene industrije-Knjiga 4.*, str. 159-183 Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Prehrambeno-tehnološki fakultet, Osijek, 2022.
- Lovera M, Pérez E, Laurentin A: Digestibility of starches isolated from stem and root tubers of arracacha, cassava, cush–cush yam, potato and taro. *Carbohydrate Polymers* 176:50–55, 2017.
- Martínez P, Peña F, Bello-Pérez LA, Núñez-Santiago C, Yee-Madeira H, Velezmoro C: *Physicochemical, functional and morphological characterization of starches isolated from three native potatoes of the Andean region. Food Chemistry: X*, 100030, 2019.
- Oates CG: Towards an understanding of starch granule structure and hydrolysis. *Trends in Food Science and Technology*, 8: 375-382, 1997.
- Singh J, Kaur L, Singh N: Effect of Acetylation on Some Properties of Corn and Potato Starches. *STARCH – STÄRKE* 56:586–601, 2004.
- Singh N, Singh J, Kaur L, Sing Sodhi N, Singh Gill B: Morphological, thermal and rheological properties of starches from different botanical sources. *Food Chemistry* 81: 219-231, 2003.
- Sopade PA, Halley PJ, Junming LL: Gelatinisation of starch in mixtures of sugars II. Application of differential scanning calorimetry. *Carbohydrate Polymers* 58: 311-321, 2004.
- Šubarić D, Babić J, Ačkar Đ: *Tehnologija škroba*. Prehrambeno-tehnološki fakultet, Osijek, 2016.
- Tester RF, Karkalas J, Qi X: Starch – composition, fine structure and architecture. *Journal of Cereal Science* 39: 151- 165, 2004.

Walter RH: *Polysaccharide association structures in food*. Marcel Dekker, Inc. New York, SAD, 1998.