

# Škrob: struktura i utjecaj na kvalitetu prehrambenih proizvoda

---

Lipovac, Tea

Undergraduate thesis / Završni rad

2016

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:109:009117>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-28**

REPOZITORIJ

PTF OS

PREHRAMBENO-TEHNOLOŠKI FAKULTET OSIJEK

dabar  
DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU  
PREHRAMBENO – TEHNOLOŠKI FAKULTET OSIJEK

PREDDIPLOMSKI STUDIJ PREHRAMBENE TEHNOLOGIJE

Tea Lipovac

Škrob: struktura i utjecaj na kvalitetu prehrambenih proizvoda

Završni rad

Osijek, 2016.

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA  
PREHRAMBENO-TEHNOLOŠKI FAKULTET

PREDDIPLOMSKI STUDIJ PREHRAMBENA  
TEHNOLOGIJA

KEMIJA HRANE

**ŠKROB: STRUKTURA I UTJECAJ NA KVALITETU  
PREHRAMBENIH PROIZVODA**

Završni rad

Mentor: izv. prof. dr. sc. Mirela Kopjar

---

Studentica: Tea Lipovac

MB: 3337/10

Mentor: izv. prof. dr. sc. Mirela Kopjar

Predano:

Pregledano:

Ocjena:

Potpis mentora:  
\_\_\_\_\_

# Sadržaj

1. Uvod.....	1
2. Kemijska struktura .....	2
2.1. Amiloza .....	2
2.2. Amilopektin .....	4
3. Podjela.....	5
3.1. Podjela nativnog škroba.....	5
3.1.1. Podjela na temelju difrakcije rendgenskih zraka .....	5
3.1.2. Podjela na temelju aktivnosti enzima .....	6
3.2. Modificirani škrob .....	7
3.2.1. Oksidirani škrob .....	9
3.2.2. Umreženi škrob .....	9
3.2.3. Preželatinizirani škrob .....	9
4. Svojstva.....	10
4.1. Želatinizacija škroba.....	10
4.2. Retrogradacija škroba .....	11
5. Enzimi za razgradnju .....	12
5.1. Amilaze.....	12
5.1.1. $\alpha$ -amilaza .....	12
5.1.2. $\beta$ -amilaza .....	13
5.1.3. Glukoamilaza .....	14
5.2. Pululunaza .....	15
5.3. $\alpha$ -D-glukozidaza .....	15
6. Primjena u prehrambenoj industriji.....	16
7. Utjecaj na zdravlje .....	18
8. Škrob i utjecaj na kvalitetu prehrambenih proizvoda .....	19
9. Zaključak.....	21
10. Literatura.....	22

## **Škrob: struktura i utjecaj na kvalitetu hrane**

### **Sažetak**

Škrob je biljni rezervni materijal, koji se nakuplja u sjemenkama (žito) i gomoljima (krumpir) u obliku škrobnih zrnaca. Sastoji se od 25% nerazgranatog polisaharida, amiloze, i 75% razgranatog dijela koji se naziva amilopektin. Za ljudsku prehranu škrob je od velikog značenja, jer ljudski organizam uzima otprilike 500 g ugljikohidrata pretežito u obliku škroba iz žitarica i krumpira, ali i iz voća poput banana. Škrob je našao i svoju primjeru u biotehnologiji, kao regenerirajuća i razgradiva sirovina, ali i kao sirovina za proizvodnju glukoze i za proizvodnju kemijske modificirane glukoze, odnosno produkata koji se primjenjuju u raznim industrijama poput tekstilne, za proizvodnju deterdženta i ambalažu za pakiranje, te kao dodatak sintetičkim polimerima. U prehrambenoj industriji škrob ima primjenu u vrlo širokom spektru različitih proizvoda, a najčešće se koristi kao sastojak za postizanje odgovarajuće teksture te kao nosač za određene komponente.

**Ključne riječi:** škrob, svojstva, primjena u prehrambenoj industriji

## **Starch: structure and influence on the quality of food products**

### **Summary**

Starch is a reserved material for plants and it accumulates in grains (seed) or in bulbs (potatoes) in a shape of starch grains. Starch consists of 25% of unextended polysaccharide, amylose, and of 75% of extended part called amylopectin. For human diet starch has an essential meaning because organism takes approximately 500 g of carbohydrates in the shape of starch from cereals and potatoes and from fruit like bananas. Starch has found its usage in biotechnology like a regenerated and disintegrated raw material but also as a raw material for production of glucose and for the chemically modified glucose that is used in various industries such as textile industry, for detergent manufacturing and packaging product and also as an additive for synthetic polymers. In food industry, starch has application in wide varieties of products, but mainly it is used for modification of texture, and for encapsulation of some compounds.

**Key words:** starch, properties, application in food industry

# 1. Uvod

Čovječanstvo je još od davnih vremena otkrilo važnost prehrambenih namirnica koji su ih opskrbljivali energijom kao što je krumpir i kukuruz. Tada nije bio poznat kao škrob već kao amylon. Prvim ga je tako nazvao Dioskurides, jer se on ne dobiva u mlinu kao ostali brašnasti proizvodi.

Škrob je jedan od najbogatijih skladišnih polisaharida u biljkama, kloroplastima lišća, aminoplastima, sjemenkama, leguminozama i gomoljima u obliku organiziranih škrobnih zrnaca, raznih oblika i veličina, ovisno o vrsti biljke. On je za ljudski organizam glavni izvor ugljikohidrata, odnosno izvor energije. Osim što je škrob „ljudsko gorivo“, on nalazi primjenu i u raznim industrijama, kao sirovina za proizvodnju glukoze, ljepila, pekarskih proizvoda i slično. Škrob, tako svojom širokom primjenom postaje jedan od glavnih sirovina na tržištu raznih industrija.

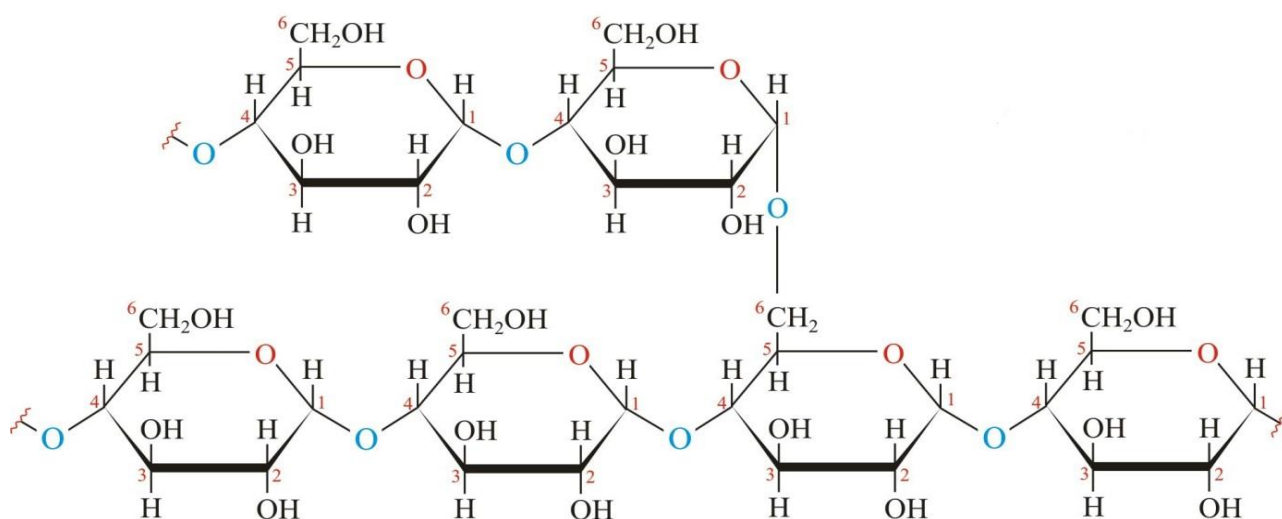
Kao što je ranije navedeno, škrob ima široku primjenu u industrijama zbog svojstava koji utječu na kvalitetu prehrambenih proizvoda. Tako s jedne strane može kod pekarskih proizvoda uzrokovati dizanje tijesta, ali utjecati i na sam oblik, te teksturu. S druge u kondiktorskim proizvodima, zadržava vlažnost, te poboljšava teksturu proizvoda i produžuje vijek trajanja.

## 2. Kemijska struktura

Škrob je biljni rezervni materijal, koji se nakuplja u sjemenkama (žito) i gomoljima (krumpir) u obliku škrobnih zrnaca (Karlson, 1984.). Maseni udio škroba u riži je 62-82%, u kukuruzu 65-72%, u pšenici 57-75% i u gomolju krumpira 12-24%.

Škrob je osnovni rezervni ugljikohidrat za većinu biljaka. Sriburi i sur. (1999.) istraživali su njegovu upotrebu u prehrambenim proizvodima kao što su rezanci i druge namirnice na bazi pšenice (Chen i sur., 2003; Noda i sur., 2006.), riblji krekeri (Cheow i sur., 2004.), dječja hrana (Sopade i Koyama, 1999.), kruh, stabilizatori u sladoledu i zgušnjivači u juhama i umacima (Silva, 1990.; Marques i sur., 2006.).

Škrob se obično javlja u obliku granula, razlikuje se po njihovom obliku i veličini, i ima različite fizikalno-kemijske i funkcionalne karakteristike (Tharanthan, 1995.). Škrob je polukristalični polimer sastavljen od dva polisaharida: amiloze i amilopektina (Tester i sur., 2004.). Osim amiloze i amilopektina, većina žitarica osim škroba sadrži lipide i fosfolipide (Slika 1).



Slika 1 Kemijska struktura škroba (Chaplin, 2007.)

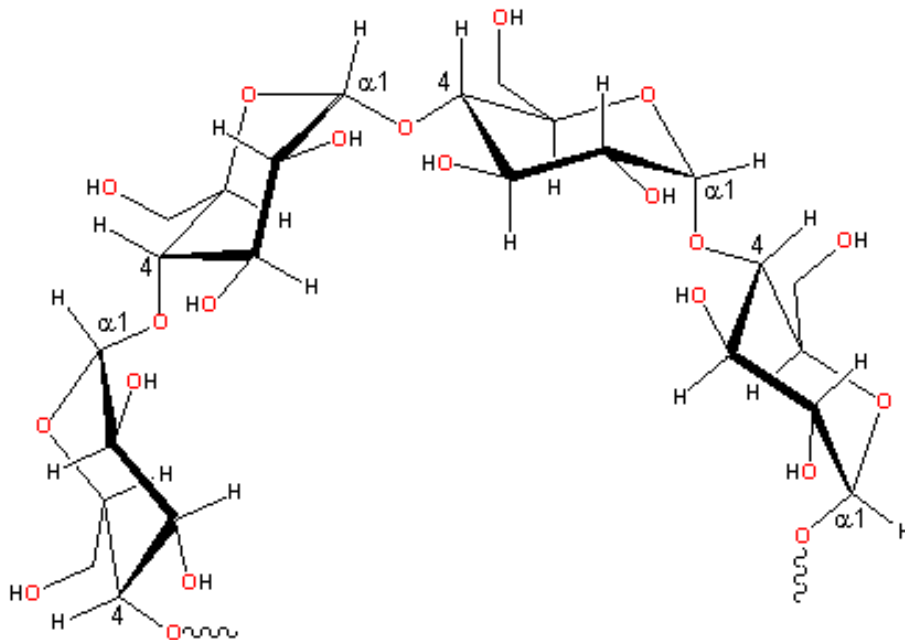
### 2.1. Amiloza

Amiloza je linearni polimer. Sastoji se od nerazgranatih lanaca u kojima se molekule  $\alpha$ -D-glukoze vežu  $\alpha(1,4)$ -glikozidnim vezama. Zbog te veze molekula nije izdužena, već je lanac u obliku heliksa. Postoje mjesta grananja, ali su vrlo rijetka, tako da amiloza zadržava svojstva ravnolančastog polimera i uvija se u strukturu dvostruke uzvojnice (BeMiller i Whister, 1996.).



Amiloza je slatkog okusa i netopljiva u vodi, a sadrži prosječno 200 glukoernih jedinica (**Slika 2**). Stupanj grananja amiloze ovisi o molekularnoj masi i raste s povećanjem molekularne mase. Razgranatost molekule može utjecati na učinkovitost hidrolize egzo-enzimom  $\beta$ -amilazom.

Molekule amiloze imaju hidrofobnu (lipofilnu) unutrašnjost što im omogućava formiranje kompleksa sa jodom. Jod (kao  $I_3^-$ ) stvara komplekse sa amilozom i amilopektinom. Amiloza-jod kompleks ima plavu boju što se koristi za određivanje škroba i količine amiloze u škrobu. Otopina je plave boje, jer se molekule joda smještaju u unutrašnjost lanca. Atomi joda tvore dugački lanac u tunelu amiloze. Zbog toga su osjetljivi, tako da iz bijele sunčeve svjetlosti apsorbiraju narančastu boju koju mi vidimo kao plavo-ljubičastu.

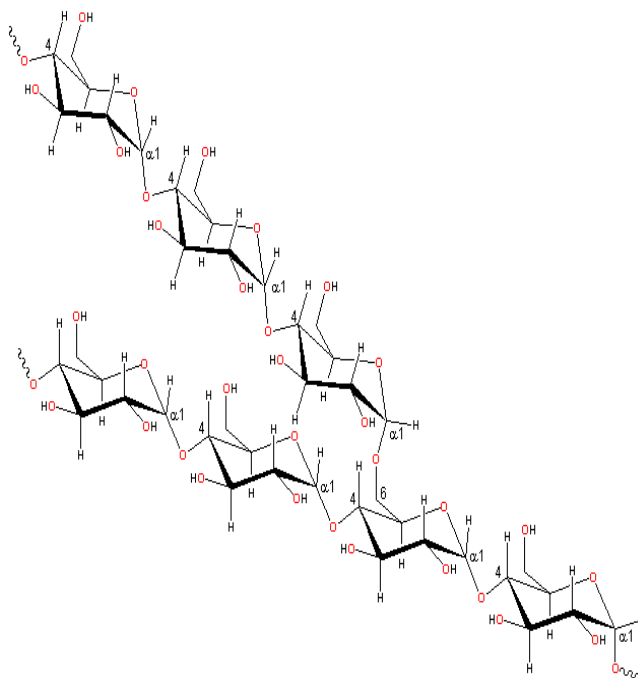


**Slika 2** Struktura molekule amiloze (Chaplin, 2007.)

Otopljeni molekuli amiloze pri nižim koncentracijama teže ka kristalizaciji (retrogradaciji), dok pri višim koncentracijama formiraju gel. Retrogradacija amiloze ovisi o stupnju polimerizacije, pa tako molekule stupnja polimerizacije oko 80 imaju najvišu tendenciju retrogradacije dok su molekule nižeg i višeg stupnja polimerizacije stabilnije. Stupanj polimerizacije slično utječe i na topljivost molekule (Walter, 1998.)

## 2.2. Amilopektin

Amilopektin je razgranati polimer u kojem su jedinice glukoze, osim  $\alpha$ -1,4-vezama u strukturi ravnog lanca, vezane i  $\alpha$ -(1,6) glikozidnim vezama na mjestima grananja (BeMiller i Whistler, 1996.). Lanac se grana u prosjeku nakon svakih 25 jedinica glukoze, a sadrži prosječno oko 1000 glukoznih jedinica (**Slika 3**). Amilopektin je s obzirom na amilozu topljiv u vodi i nije sladak. Amilopektin s jodom daje blijedo-crveno obojenje. Njegova razgranata struktura može tvoriti samo kratke spiralne odsječke, gdje odgovaraju s relativno kratkim jodnim lancima zbog čega otopina poprima crvenkasto obojenje.



**Slika 3** Struktura molekule amilopektina (Chaplin, 2007.)

### 3. Podjela

Škrob se može klasificirati u dvije velike skupine, nativni i modificirani škrob.

Nativni škrob, odnosno prirodni, je onaj kojeg kako i samo ime kaže nalazimo u prirodi. On je kemijsko, fizikalno i enzimski nepromijenjen, za razliku od modificiranog škroba. Nativni škrob sve više gubi na značaju jer u brojnim primjenama u proizvodnji hrane ima ograničenja koja se odnose na retrogradaciju i nestabilnost u kiselima uvjetima što rezultira sinerezom i nestabilnom teksturom te se javljaju problemi vezani za želatinizaciju, termičku degradaciju i viskoznost (Wurzburg, 1994.). Oko 90% nativnog škroba preradi se u različite hidrolizate (Šubarić i sur., 2005.).

#### 3.1. Podjela nativnog škroba

Sajilata i sur. (2006.) navode da se nativni škrob dijeli prema difrakciji rendgenskih zraka i prema aktivnosti enzima.

##### 3.1.1. Podjela na temelju difrakcije rendgenskih zraka

Postoje 3 tipa škroba, tip A, B i C, koji su otkriveni na temelju difrakcije rendgenskih zraka. Djelomično ovise o dužini lanca koji tvore strukturu amilopektina, gustoći između granula i prisutnosti vode (Wu i Šarko, 1978.). Tip A i B su prave kristalne modifikacije, dok je tip C miješani oblik.

Tip A ima amilopektin lanac dužine 23 do 29 molekula glukoze. Vodik koji je između hidroksilnih grupa je zaslužan za formiranje vanjske duple heliks strukture. Između tih micela linearni lanci amiloze tvore s vodom vanjski linearni lanac s amilopektinom. Najčešće se nalazi u žitaricama (Sajilata i sur., 2006.).

Struktura tipa B se sastoji od lanca amilopektina dužine 30 do 44 molekula glukoze s vodom unutar njega. Nalazi se u sirovom krumpiru i banani.

Tip C ima amilopektinski lanac dužine 26 do 29 molekula glukoze. On je kombinacija tipa A i B, koji se nalazi u grašku i mahunarkama.

Postoji još jedan oblik, tip V, koji se nalazi u nabubrenim zrnima (Sajilata i sur., 2006.).

### 3.1.2. Podjela na temelju aktivnosti enzima

Prema Berry-u (1986.), škrob se može klasificirati prema njegovom ponašanju kada se inkubira sa enzimima. Dijeli se na lako probavljivi, teško probavljivi i rezistentni škrob.

Lako probavljivi škrob (LPŠ), kako i samo ime kaže lako se i brzo probavlja. Lako probavljivi škrob se sastoji od amorfno i raštrkanog škroba koji se nalaze u hrani bogatoj škrobom kada se kuha na vrućoj pari. Vrijeme probavljanja iznosi 20 minuta. On se sastoji većinom od amorfno i raspršenog škroba i nalazi se u hrani poput kruha i krumpira (Englyst i sur., 1992.).

Teško probavljivi škrob (TPŠ) se teže i sporije probavlja. Potrebno je 100 minuta da se u cijelosti probavi (Englyst i sur., 1992.). On se sastoji od nepristupačnog amorfno škroba i sirovog škroba sa tipom A i C kristalne strukture, kao što su žitarice, i tipa B škroba, ili u zrcima ili retrogradnom obliku u kuhanoj hrani.

Naziv rezistentni škrob (RŠ) prvi je upotrijebio Englyst da bi opisao frakciju škroba koja je bila otporna na hidrolizu s  $\alpha$ -amilazom i pululunazom. Rezistentni škrob se ne hidrolizira nakon 120 minuta inkubacije (Englyst i sur., 1992.). Danas se rezistentni škrob definira kao frakcija dijabetičkog škroba, koji se ne probavlja u tankom crijevu. Kemijski se računa kao razlika između ukupnog škroba, dobivenog iz homogenih i kemijskih obrađenih uzoraka i zbroja između LPŠ i TBŠ, dobivenih iz nehomogenizirane hrane pri enzimskoj probavi.

$$R\check{S} = T\check{S} - (LP\check{S} + TP\check{S})$$

Probavljivost škroba varira među različitim vrstama škroba, te je škrob postupno privukao interes istraživača zbog svoje značajne uloge u liječenju dijabetesa koji ne ovisi o inzulinu (Jenkins i sur., 1988.). Probavljivost škroba ovisi o unutarnjim i vanjskim čimbenicima (Würzburg 1986.; Colonna i sur., 1992.). Varijacije u probavljivosti škroba pripisuju se raznim čimbenicima kao što je podrijetlo (Goni i sur., 1997.), fizikalno-kemijska svojstva (Panlasigui i sur., 1991.), omjer amiloze/amilopektina (Juliano i Goddard, 1986.).

Rezistentni škrob se ne može probaviti pomoću enzima u tijelu. Podijeljen je na četiri frakcije: rezistentni škrob 1 ( $R\check{S}_1$ ), rezistentni škrob 2 ( $R\check{S}_2$ ), rezistentni škrob 3 ( $R\check{S}_3$ ) i rezistentni škrob 4 ( $R\check{S}_4$ ). Oni se još nazivaju škrob I, II, III i IV.

$R\check{S}_1$  je otporan jer je u fizički nepristupačnom obliku kao što su djelomično mljevena zrnca i sjeme, kao i u nekoj procesiranoj hrani koja sadrži škrob. Kemijski se to izračunava kao razlika između glukoze koja se otpušta pomoću probavnih enzima iz uzorka homogenizirane hrane i

glukoze koja se otpušta iz uzorka nehomogenizirane hrane. RŠ<sub>1</sub> je otporan na toplinu u mnogim načinima kuhanja i može se koristiti kao sastojak u raznolikim jelima.

RŠ<sub>2</sub> se odnosi na škrob koji je u određenom zrnastom obliku i otporan na probavu pomoću enzima (Ring i sur., 1988.). Izračunava se kao razlika između glukoze koja se otpušta pomoću probavnih enzima iz uzorka ključale homogenizirane hrane i glukoze iz uzorka neključale nehomogenizirane hrane (Brown, 2004.). U neobrađenim zrnima škroba, škrob je tijesno postavljen u radijalan uzorak i relativno isušen. Ova čvrsta struktura ograničava dostupnost probavnih enzima, različitih amilaza, i razlog je za otporna svojstva RŠ<sub>2</sub>. U prehrani, neobrađeni škrob se unosi iz hrane kao što su banane. RŠ<sub>1</sub> i RŠ<sub>2</sub> predstavljaju ostatke škrobnih oblika, koji se probavljaju vrlo sporo i nepotpuno u tankom crijevu.

RŠ<sub>3</sub> predstavlja najotporniji škrob i to je većinom degenerirajuća amiloza koja se stvara tijekom hlađenja škroba. Nakon hlađenja, polimerni lanci se počinju ponovno povezivati u dvostruku spiralu, koja je stabilizirana vodikovim vezama (Wu i Šarko, 1978.). Tako većina hrane koja se priprema na vrućoj pari sadrži nešto RŠ<sub>3</sub>. Izračunava se kemijski kao dio koji je otporan na raspršivanje tijekom ključanja i na probavne enzime. Može se samo raspršiti s KOH ili dimetalsulfidom. RŠ<sub>3</sub> je u potpunosti otporan na probavu pomoću amilaze gušterače.

$$R\check{S}_1 = T\check{S} - (LP\check{S} + TP\check{S}) - R\check{S}_2 - R\check{S}_3$$

$$R\check{S}_2 = T\check{S} - (LP\check{S} + TP\check{S}) - R\check{S}_1 - R\check{S}_3$$

$$R\check{S}_3 = T\check{S} - (LP\check{S} + TP\check{S}) - R\check{S}_2 - R\check{S}_1$$

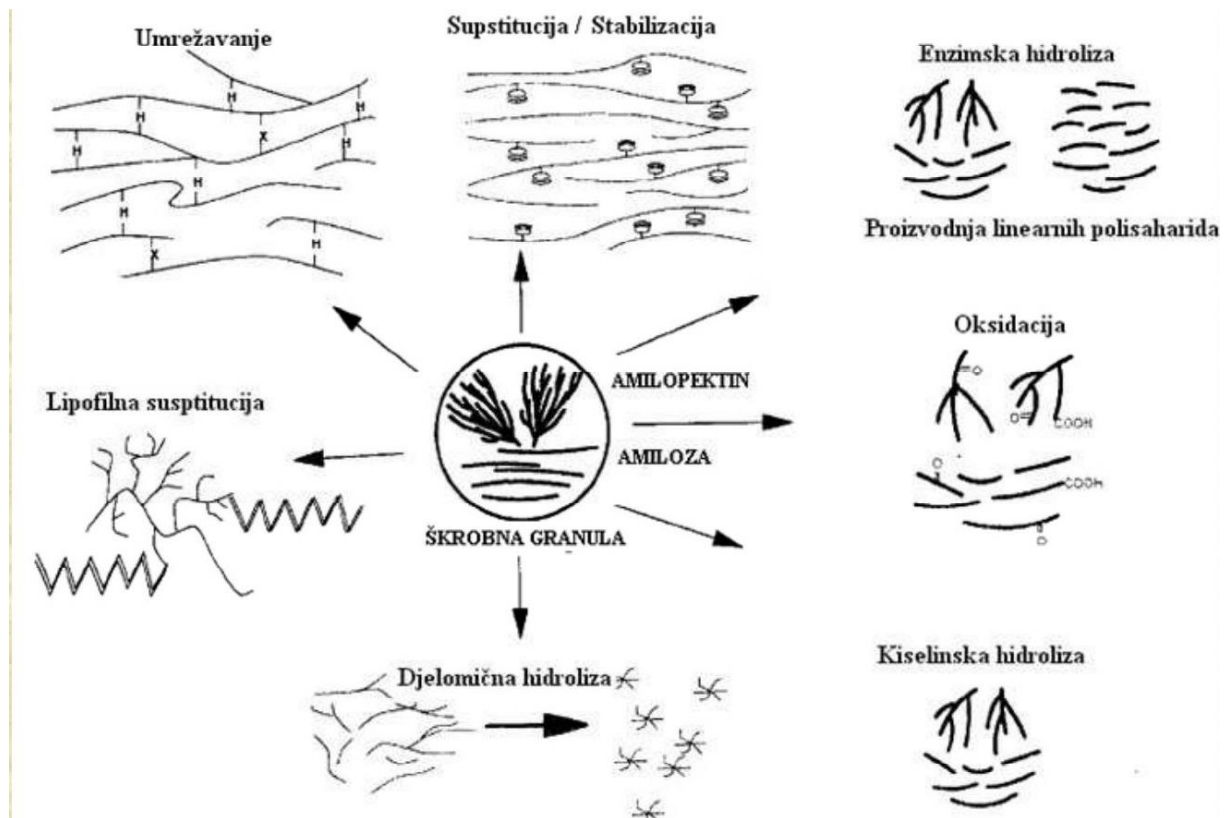
RŠ<sub>4</sub> je otporni škrob u kojem se, osim α(1,4) i α-(1,6) glukozidne veze, formiraju neispitane kemijske veze.

Rezistentni škrob ima malu veličinu čestica, bijeli izgled i blag okus, te poželjna fizikalno-kemijska svojstva (Fausto i sur., 1997.), kao što su o porast viskoznosti, tvorba gela, a kapacitet vezivanja vode je korisno u različitim vrstama hrane.

### 3.2. Modificirani škrob

Modificirani škrob nastaje fizikalnim, enzimskim i kemijskim procesima. Strukturu i karakteristike nativnog škroba modificirani škrob sadržava i nakon tih procesa. Ljudski organizam ga razgrađuje kao i nativni škrob.

Koristi se u prehrambenoj industriji, jer u odnosu na nativni škrob ima bolju stabilnost na temperaturu, kiseline i veću otpornost na zamrzavanje i čuvanje. Prehrambeni je sastojak, ali se deklarira brojevima, E 1400 - E 1451, tek kada je kemijski promijenjen. Pri fizikalnim, kao što su vrućine i tlak, ili enzimskim modifikacijama su također prehrambeni sastojci, ali nemaju broj.



Slika 4 Modificiranje škroba (Babić, 2007.)

Osnovni materijal za proizvodnju modificiranog škroba je nativni škrob. U Europi nativni se škrob nalazi u kukuruzu, pšenici i krumpiru. On, ovisno o karakteristikama koji se trebaju mijenjati podliježe raznim kemijskim procesima. Kod nekog modificiranog škroba se koristi više procesa jedan za drugim. Najčešće se poboljšava izdržljivost na povišenu temperaturu, hladnoću i/ili kiselinu, odnosno na promjenu pH vrijednosti. Fizikalni modificirani škrob je identičan nativnom, jer je samo termički obrađen, tj. kuhan. U **Tablici 1** nalazi se klasifikacija modificiranog škroba.

**Tablica 1** Klasifikacija modificiranog škroba (Ogura, 2004.; Thomas i sur., 1999.)

Tip modifikacije		Proizvodi
kemijska modifikacija	umrežavanje supstitucija	diškrob fosfat, i sl. škrobni esteri: acetilirani škrob, škrob fosfat, acetilsuksinatno tretirani škrob, škrobni eteri: hidroksipropilirani škrob, karboksimetilirani škrob, kationizirani škrob, i sl.
	konverzija	kiselo konvertirani škrob, oksidirani škrob, blanširani škrob, pirokonvertirani (dekstrinizirani): dekstrini, britanska guma, i sl.
fizikalna modifikacija	preželatinizacija termički brađeni mikrovalno zračenje	preželatinizirani škrob termički modificiran škrob prženi škrob mikrovalno modificiran škrob
enzimska modifikacija		maltodekstrini, ciklodekstrin, amiloza, itd.

### 3.2.1. Oksidirani škrob

Mnogi škrobovi podliježu oksidaciji, te dolazi do depolimerizacije molekula škroba, što rezultira manje viskozim pastama. Oksidirani škrob se koristi kao zaštitni filmovi za kandirano voće, čokoladne bombone, glazure za različite snack proizvode, emulgatore (Babić, 2007.).

### 3.2.2. Umreženi škrob

Umreženi škrob obično se proizvodi u kombinaciji sa drugim modifikacijama (acetiliranje, preželatinizacija), te imaju veliku primjenu u proizvodnji konzervirane hrane, proizvodnji keksa i snack proizvoda.

### 3.2.3 Preželatinizirani škrob

Proizvodnja preželatiniziranog škroba je najvažnija fizikalna modifikacija. Dobiva se želatinizacijom, te sušenjem škroba. Uporabu nalaze u proizvodnji pekarskih proizvoda, mesnih prerađevina, umaka.

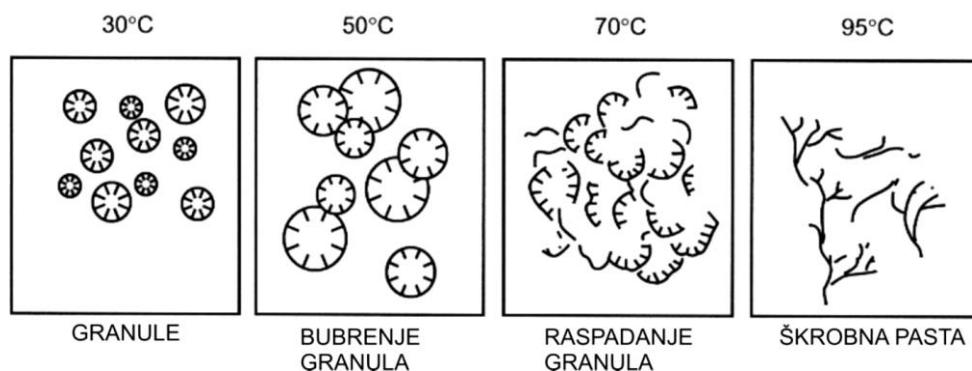
## 4. Svojstva

Škrob je visokomolekularni polisaharid  $(C_6H_{10}O_5)_n$ . Škrob nastaje kao zadnji produkt asimilacije  $CO_2$  (Calvin-Ciklus) u kloroplastima zelenih biljaka u obliku malih zrnaca, koji nastaju skladištenjem mnogih molekula škroba. Oni se pak razgrađuju u niskomolekularne šećere, da bi se u tom obliku mogli transportirati do amiloplasta, gdje se opet izgrađuju u škrobna zrnca (Eliasson, 2004.).

Nalazimo ga u prirodi u čvrstom obliku kao bezmirisni prah bijele ili žućkasto-bijele boje. Vrelište mu je  $200\text{ }^\circ\text{C}$ . U hladnoj vodi, alkoholu i eteru je netopljiv (amiloza), a u vrućoj vodi ( $95\text{ }^\circ\text{C}$ ) je djelomično topljiv (amilopektin) i daje gustu koloidnu otopinu (škrobno ljepilo). Sam prah čine škrobna zrnca koja imaju karakterističan oblik i veličinu ovisno o vrsti biljke, a promjer im iznosi 2 do 150 nm.

#### 4.1. Želatinizacija škroba

Prije same industrijske primjene škrob se mora otopiti. Otapanje je moguće samo u vodi pomoću zagrijavanja. Taj proces nazivamo želatinizacija. Želatinizacija se odvija u više faza. Na početku zagrijavanja suspenzije škroba dolazi do apsorpcije vode u granule; granule nabubre. Daljnjim zagrijavanjem započinje razaranje amorfnih dijelova granula te dolazi do dodatnog bubrenja. Daljnjim povišenjem temperature granule kontinuirano primaju vodu do određene granice nakon koje granule naglo ekspandiraju (Svihus i sur., 2005.). Djelovanjem naprezanja dolazi do raskidanja veza i u kristalnom području, dođe do potpune razgradnje granula i otapanja molekula (**Slika 4**).



**Slika 5** Želatinizacija granula škroba (Jonhed, 2006.)



Želatinizacija se odvija u određenom temperaturnom rasponu (60 do 80 °C). Razlog tomu su različite veličine i oblici granula. Manje granule se otapaju pri višim temperaturama, dok se veće otapaju pri nižim (Wianecki i Kolakowski, 2007.). Otapanjem škrobnih granula dolazi do povećanja viskoznosti i posljedice toga je pasta, koja se sastoji od otopljenih molekula amiloze i/ili amilopektina i neotopljenih dijelova granula. Hlađenjem paste dolazi do povećanja viskoznosti i pri dovoljnoj koncentraciji škroba nastaje gel (puding).

#### **4.2. Retrogradacija škroba**

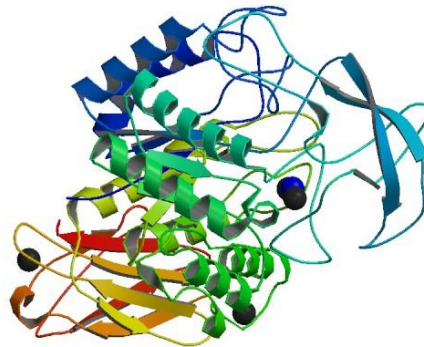
Retrogradacija je pojava do koje dolazi pri hlađenju škrobne paste pri čemu škrob djelomično rekristalizira iz amornog u uređenije kristalno stanje, formirajući talog ili viskoelastičan gel (Fennema, 2008.). Retrogradacija ovisi od nekoliko čimbenika: koncentraciji škroba, odnosa amiloze i amilopektina, porijeklu škroba, temperaturi zagrijavanja i hlađenja, pH, prisustvu i koncentraciji drugih sastojaka (Lee i sur., 1998.). Ako je koncentracija škroba visoka, vezanjem vodikovim vezama nastat će trodimenzionalna mreža u kojoj će se voda uklopiti u međuprostore i formirati strukturu gela. U razrijeđenoj otopini doći će do nastanka taloga (Wurzburg, 1994.). Retrogradacija uključuje amilozu i amilopektin, ali je kod amilopektina zanemarljiva, jer razgranatost i veličina molekula amilopektina sprečavaju reasocijaciju. Retrogradacija je općenito više nepoželjna nego poželjna pojava (Muhamedbegović, 2011.).

## 5. Enzimi za razgradnju

Škrob se pomoću probavnih enzima razgrađuje do glukoze. Amilaza je prisutna u našoj slini gdje počinje razgradnja škroba. Hrana koja sadrži visok udio škroba i malo šećera, kao što su krumpir i riža, pri žvakanju, blago slatki okus jer amilaza razgrađuje dio škroba u šećere. Amilaze koje sudjeluju u takvoj vrsti razgradnje nalazimo u životinjama i ljudima (jetri, slini) u biljkama i mikroorganizmima.

### 5.1. Amilaze

Amilaze su biokatalizatori koji spadaju u grupu hidrolaza i kataliziraju hidrolitičku razgradnju škroba, koriste se u mnogim industrijskim granama za pretvaranje škroba u različite produkte (**Slika 6**). Mogu se dobiti iz različitih izvora jer su prisutne u velikom broju živih organizmima. Razlikujemo tri vrste amilaza:  $\alpha$ -amilaza,  $\beta$ -amilaza i glukoamilaza.  $\alpha$ -amilaze se najviše primjenjuju u industriji (Bravo Rodriguez i sur., 2006.).



**Slika 6** Struktura  $\alpha$ -amilaze (Web 1)

#### 5.1.1. $\alpha$ -amilaza

$\alpha$ -amilaza (1,4- $\alpha$ -D-glukan glukanohidrolaza, EC 3.2.1.1) djeluje na škroba na unutrašnjim lancima i cijepa ih na kratke polimere glukoze.  $\alpha$ -amilaza katalizira hidrolizu unutrašnjih  $\alpha$ -(1,4) glikozidnih veza polisaharida koji sadrže 3 ili više  $\alpha$ -(1,4) povezanih D-glukoza. S

obzirom na podrijetlo  $\alpha$ -amilaze nisu jednake, odnosno imaju različit način djelovanja te daju različite produkte.

$\alpha$ -amilaza izolirana iz bakterija ima široku primjenu u industrijskoj proizvodnji alkohola i glukoznog sirupa iz škroba (Van der Maarel i sur., 2002.). Pošto je škrob topiv pri višim temperaturama (oko 100 °C), od velike je važnosti za industrijsku primjenu da  $\alpha$ -amilaza bude termostabilna (Violet i sur., 1989.).  $\alpha$ -amilaza iz *Bacillus licheniformis* pokazuje najveću stabilnost na visokim temperaturama (Buckow i sur., 2006.).

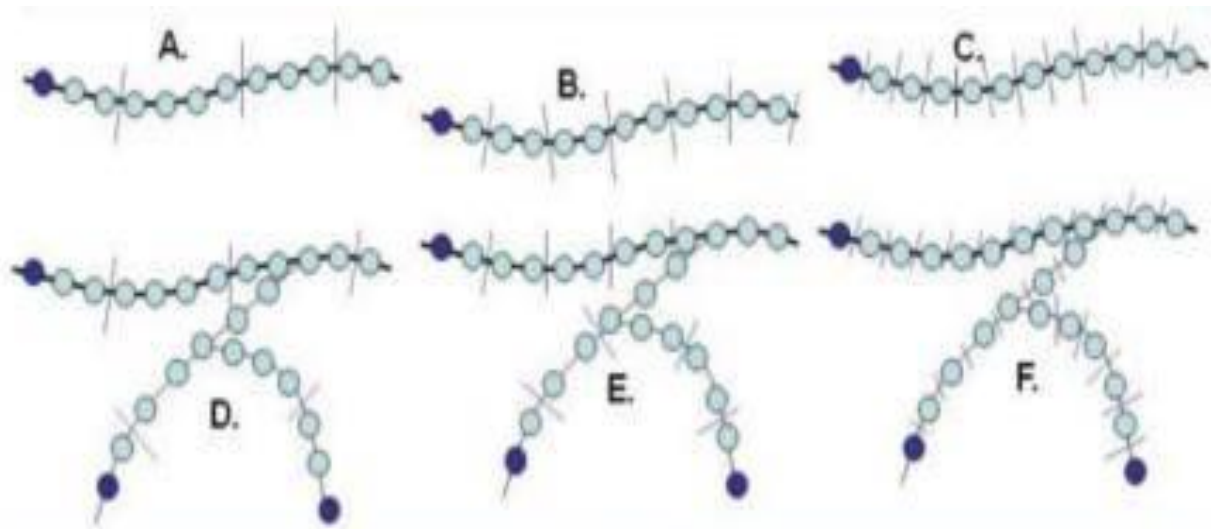
Sve  $\alpha$ -amilaze su kalcijevi metalo-enzimi. U svojoj molekuli sadrže 1-10 atoma kalcija koji su čvrsto vezani za molekulu.

### 5.1.2. $\beta$ -amilaza

$\beta$ -amilaza (1,4- $\alpha$ -D-glukan maltohidrolaza, EC 3.2.1.2) je enzim koji katalizira  $\alpha$ -(1,4) glikozidne veze u škrobu i glikogenu, djeluje od nereducirajućeg kraja molekule i posljedica cijepanja  $\alpha$ -(1,4) je nastaje maltoza- $\beta$  konfiguracije (**Slika 7**).  $\beta$ -amilaze nalazimo samo kod viših biljaka (slatki krumpir, pšenica, soja i sl.), a u posljednje vrijeme nađena je i kao ekstracelularni enzim kod mikroorganizama *Bacillus cereus*, *Bacillus poymyxa* i drugih.

Budući da  $\beta$ -amilaza cijepa svaku drugu glikozidnu vezu, maltoza je krajnji produkt koji nastaje pri hidrolizi linearne molekule sa parnim brojem glukoznih ostataka. Kod amiloze s neparnih stupnjem polimerizacije, osim maltoze, krajnji produkti su glukoza i maltotrioza.

$\beta$ -amiloliza razgranatih molekula je nepotpuna jer djelovanje  $\beta$ -amilaze prestaje kada se približi točkama grananja.  $\beta$ -amilaza ne može cijepati  $\alpha$ -(1,6) glikozidne veze između amilopektina i glikogena, niti takve veze može zaobići (Web 2).



Slika 7 Shematski prikaz djelovanja amilaza (Web 2)

- A- razgradnja amiloze pomoću  $\alpha$ -amilaze
- B- postepena razgradnja amiloze pomoću  $\beta$ -amilaze
- C- hidroliza amiloze pomoću glukoamilaze
- D- razgradnja amilopektina pomoću  $\alpha$ -amilaze
- E- postepena razgradnja amiloze pomoću  $\beta$ -amilaze
- F- hidroliza amilopektina pomoću glukoamilaze

### 5.1.3. Glukoamilaza

Glukoamilaza (1,4- $\alpha$ -D-glukan gluko hidrolaza, EC. 3. 2. 1. 3.) je enzim koji katalizira  $\alpha$ -(1,4) i  $\alpha$ -(1,6) glikozidne veze, a u nekim slučajevima može katalizirati  $\alpha$ (1,3) vezu. Glukoamilaza se najčešće izolira iz vrsta *Aspergillus* i *Rhizopus*. *Aspergillus niger* proizvodi dva izomera glukoamilaze koji se malo razlikuju u svojstvima (npr. elektroforetska mobilnost), ali na škrob djeluju na isti način i oba se koriste kao komercijalni preparati. Brzina cijepanja  $\alpha$ -(1,4) glikozidne veze je 15 do 30 puta veća od brzine cijepanja ostalih veza. Glukoamilaza može u potpunosti hidrolizirati škrob do D-glukoze, zbog čega ima važnu ulogu u proizvodnji škrobnih hidrolizata (Babić, 2007.).

Pristunost  $\text{Ca}^{2+}$  iona inhibira aktivnost glukoamilaze i dovodi do njenje denaturacije. Ovo svojstvo je bitno jer se u industriji za razgradnju škroba koristi  $\alpha$ -amilaza koju stabiliziraju Ca ioni, nakon koje se provodi tretman sa glukoamilazom čije djelovanje prisutnosti Ca iona inhibira. Zbog toga prije korištenja glukoamilaza kod supstrata moraju istaložiti kalcijeve ione.

## 5.2. Pululunaza

Pululunaza je enzim koji katalizira  $\alpha$ -(1,6) glikozidnu vezu polisaharida pululunana, škroba, amilopektina i graničnih dekstrina dajući ravnolančane produkte maltozu i maltotrioze.

## 5.3. $\alpha$ -D-glukozidaza

$\alpha$ -D-glukozidaza predstavlja krajnji enzim u metabolizmu škroba do D-glukoze. Može biti intracelularni ili ekstracelularni koji se pojavljuje kod mnogih gljiva (*Aspergillus niger*), kvasaca (*Saccharomyces cerevisiae*) i bakterija (*Bacillus spp.*).  $\alpha$ -D- glukozidaza je egzo enzim i djeluje na krajnje (1,4), (1,6) i (1,2) veze disaharida i oligosaharida uz oslobađanje  $\alpha$ -D-glukoamilaze (Web 2).

## 6. Primjena u prehrambenoj industriji

Za ljudsku prehranu škrob je od velikog značenja, jer ljudski organizam koristi otprilike 500 g ugljikohidrata pretežito u obliku škroba iz žitarica i krumpira, ali i iz voća poput banana. Škrob je našao i svoju primjeru u biotehnologiji, kao regenerirajuća i razgradiva sirovina, ali i kao sirovina za proizvodnju glukoze i za proizvodnju kemijske modificirane glukoze, koji se primjenjuje u raznim industrijama poput tekstilne, za proizvodnju deterdženta i ambalažu za pakiranje, te kao dodatak sintetičkim polimerima.

Oko 55% svjetske proizvodnje škroba koristi se u prehrambene svrhe dok je 45% našlo primjenu u industrijama lijekova, papira, tekstila, ljepila (DeCock, 1996.). Bitne škrobne vrste za ljudsku prehranu su krumpirov škrob, koji u trgovinama pronalazimo kao krumpirovo brašno. Škrob i škrobni hidrolizati su najviše korišteni probavljivi ugljikohidrati u ljudskoj prehrani.

Nativni i modificirani škrobovi se koriste u prehrambenoj industriji kao sredstva za povezivanje različitih sastojaka, stvaranje filma, stabiliziranje pjene, želiranje, zadržavanje vlage, zgušnjavanje, postizanje određene teksture, konzerviranje, itd (Denyer i sur., 2001.; Wischmann i sur., 2002.). Osim zbog funkcionalnih svojstava, škrob se sve više koristi i zbog niže cijene s obzirom na alternativne dodatke (Pietrasik, 1999.).

Škrobni sirupi se upotrebljavaju kao sladila, sredstva za postizanje određene viskoznosti, vezivanje vode, te sprečavanje kristalizacije saharoze ili laktoze. Za kondiktorsku industriju važan je bombonski sirup koji služi za proizvodnju bombona (Babić, 2007.).

Škrob je svoju primjenu našao i u pekarskim proizvodima. Za poboljšavanje svojstva brašna dodaje mu se škrob. Preželatinizirani škrob poboljšava suspendiranje čestica, smanjuje lijepljenje tijesta, olakšava rukovanje, povećava količinu vezane vode, vlažnost, te mekoću proizvoda (Little i Dawson, 1960.). Hidroksipropilirani škrob produljuje trajnost proizvoda. U proizvodnji bezglutenskih pekarskih proizvoda pšenično brašno može se zamijeniti nativnim kukuruznim, voštanim kukuruznim ili tapiokinim škrobom.

Škrob se u smjese za paniranje dodaje u svrhu kontrole viskoznosti i teksture, debljine sloja koji na proizvodu ostaje nakon paniranja, čvrstoće prijanjanja, izgleda, stabilnosti tijekom skladištenja (Šubarić i sur., 2010.).

Škrob koji ima i hidrofilna i lipofilna svojstva koristi se u koncentriranim emulzijama arome za bezalkoholna pića te radi stabilizacije emulzija (Šubarić i sur., 2010.). Škrob ima veliku ulogu

u konditorskoj industriji. Koristi se za postizanje željene konzistencije, teksture, za oblikovanje proizvoda. On s jedne strane oblikuje proizvod i s druge strane zadržava vlagu.

U mliječnoj industriji najčešće se koriste hidroksipropilirani škrob, jer je manje viskozan, te nakon 24 sata mliječnom proizvodu daje višu viskoznost nakon hlađenja, pri tome se stvori bogata kremasta tekstura (Šubarić i sur., 2010.). U namirnicama namijenjenima za pripravu u mikrovalnoj pećnici kod kojih miješanje tijekom kuhanja nije moguće, koristi se tzv. instant-škrob. U majonezama i preljevima za salatu škrob se koristi radi zgušćivanja i stabilizacije.

Rezistentni škrob se koristi zbog niskog kapaciteta vezivanja vode, u preradi, poboljšanju teksture u konačnom proizvodu. Koristi se kao sastojak koji poboljšava oštrinu u hrani u kojoj se primjenjuje visoke temperature na površini proizvoda za vrijeme obrade (francuski tost i vafli). Osim što poboljšava teksturu, može i poboljšati širenje u ekstrudiranim žitaricama i grickalicama, te povećati udio vlakna i smanjiti energetska vrijednost. Zbog niske kalorijske vrijednosti rezistentni škrob se može koristiti kao sredstvo za povećanje volumena u proizvodima sa smanjenim udjelom šećera ili masti. Rezistentni škrob ima i primjenu u proizvodnji majoneze, margarina, pahuljica za doručak, tjestenine, napitka za sportaše, termoreverzibilnih gelova, gelova visoke čvrstoće, vodonepropusnih filmova, kao sredstvo za zgušnjavanje i želiranje (Šubarić i sur., 2012.).

Škrobni esteri i eteri imaju široku primjenu u proizvodnji hrane prije svega za postizanje odgovarajuće teksture i stabilnosti prehrambenih proizvoda (Saartrat i sur., 2005).

Umreženi škrobovi upotrebljavaju se kada je potrebna stabilna, visoko-viskozna pasta koja je otporna na procesiranje pri visokim temperaturama ili niskim pH vrijednostima (Woo i Seib, 1997.).

Oksidirani škrobovi imaju najveću primjenu u papirnoj i tekstilnoj industriji, no zbog svoje male viskoznosti, visokoj bistroći i stabilnosti sve se više koristi u prehrambenoj industriji, i to za zgušćivanje, formiranje filma, povezivanje različitih sastojaka, te kao emulgator.

Preželatinizirani škrobovi koriste se kao dodaci u proizvodnji snack proizvodima, keksa, pekarskih proizvoda, mesnih prerađevina, umaka i drugih proizvoda gdje se koriste u svrhu postizanja određene teksture, povezivanje različitih sastojaka i vezanja vode.

Dodaci na bazi škroba imaju veliku primjenu u mesnoj industriji u svrhu vezivanja vode, kao emulgatori, kao zamjenske masti, za poboljšanje iskorištenja, stabilnosti, teksture mesnih proizvoda.

## 7. Utjecaj na zdravlje

Ako pogledamo prehrambene navike ljudi širom svijeta, dolazimo do zaključka da 70 do 80% energije dobivamo upravo iz različitih vrsta škrobova te možemo reći da on zauzima središnje mjesto u ljudskoj prehrani. Škrob je glavni izvor ugljikohidrata koji ljudski organizam opskrbljuje energijom. U velikoj mjeri škrob koji se nalazi u hrani može utjecati na probavu ili apsorpciju u gastrointestinalnom traktu. Prehrambena svojstva škroba u hrani se znatno razlikuju, a mogu biti od značaja za liječenje, kao i prevenciji od različitih bolesti kao što su dijabetes i kardiovaskularne bolesti. Škrob se u kuhanom krumpiru, većini vrsta kruha i žitarica za doručak, brzo probavlja i apsorbira. Za razliku od toga, škrob, u mahunarkama, tjestenini, te određenim vrstama riže ili proizvoda od žitarica polako probavlja i apsorbira. Probavljivost škroba u velikoj mjeri ovisi o vremenu i temperaturi skladištenja. Pri konstantnoj temperaturi, kraće skladištenje izaziva brzu retrogradaciju, a dulje skladištenje čini manji doprinos probavljivosti škroba, zbog sporije retrogradacije (Jenknis, 1995.).

Iako škrob ima toliko važnu ulogu, toliko može imati i negativan utjecaj na ljudsko zdravlje. Prevelike količine škroba uzrokuju debljanje i u krajnjem slučaju pretilost što pak dovodi do ozbiljnijih zdravstvenih problema.

Iako je škrob neophodan za život i održavanje ljudskog organizma ne treba pretjerivati u njegovom konzumiranju. Također treba obratiti pozornosti koji škrob unijeti u organizam.

Različiti modificirani škrobovi dostupni na tržištu nemaju štetnih utjecaja na zdravlje te nemaju nikakve veze s genetski modificiranim organizmima. Modifikacija se odnosi na promjenu funkcija škroba dodatkom kiselina ili djelovanjem enzima bez da se osnovna struktura znatno promijeni. Škrob je prirodno bez glutena te se može uključiti u prehranu osoba oboljelih od celijakije, ukoliko i drugi sastojci namirnice u koje se škrob dodaje također ne sadrže gluten.



## 8. Škrob i utjecaj na kvalitetu prehrambenih proizvoda

Škrob ima značajan utjecaj na kvalitetu prehrambenih proizvoda zbog želatinizacije. Kao prirodan sastojak, škrob doprinosi karakterističnim svojstvima prehrambenih proizvoda (pšenica, riža, kukuruz, krumpir i mahunarke). Modificirani škrobovi se dodaju u raznim oblicima kako bi proizvod bio što kvalitetniji (Odeku i Akinwande, 2012.).

Također škrob se često koristi kao funkcionalni sastojak u mnogim prehrambenim proizvodima kao što su umaci, pudinzi, slastice, proizvodi od mesa i nemasni mliječni proizvodi. Kako bi se zadovoljile potrebe pojedinih prehrambenih proizvoda, škrob se podvrgava kiselinskim ili enzimskim hidrolizama, te nastaju različiti modificirani škrobovi. Uloga škroba u nekim namirnicama je dobro poznata kao npr. stabilizator, sredstvo za zgušnjavanje juha, umaka (Whistler i BeMiller, 1997.). Škrob može utjecati i na druge sastojke, te može dovesti do poboljšanja u kvaliteti prehrambenih proizvoda.

U pekarskoj industriji se najčešće koristi prirodni škrob koji se nalazi u pšeničnom brašnu. Škrob u pekarskim proizvodima zadržava vlažnost i poboljšava njihovu strukturu, te povećava volumen i sprječava da se atomi zgrušavaju i produžuje rok trajanja. Škrob u tijestu, npr. u pizzi uzrokuje dizanje tijesta, upijajući vodu (Conde-Petit, 1992.). To povećava viskoznost, te stabilnost maslačne emulzije. Škrob povećava volumen pekarskih proizvoda zbog procesa želatinizacije. Ako se želatinizacija dogodi prerano, volumen izostaje te se pekarski proizvod ne digne; ako se dogodi prebrzo, stanice se ne stignu učvrstiti, pa se tijesto brzo spusti nakon što se naglo podiglo (Kulp i Loewer, 1990.). Na želatinizaciju se može utjecati mijenjajući razinu šećera kao dekstroza ili dodajući modificirani i/ili nemodificirani škrob ovisno o sastavu tijesta. Modificirani škrob se također koristi kao zamjena za masnoću ili ulje, utječe na glatku strukturu, smanjuje lijepljenje tijesta i upija višak masnoće.

Škrob u konditorskoj industriji se koristi za proizvodnju slatkiša npr. gumenih bombona, čokolade, kolača i sl. nemodificirani škrob ili prirodna tapioka škrob se u toj industriji koriste za postizanje efekta "žvake", a ako se želi postići čvrstoća i tekstura koristi se modificirani škrob deriviran od voštanog škroba (Zallie, 2003.). Veća količina škroba utječe na stabilnost i tvrdoću proizvoda koji se kuhaju na niskim temperaturama. Škrobni moduli se koriste za postizanje određenog oblika, te apsorpciju vlažnosti iz proizvoda. Ima li ga manje od 6%, škrob upija vodu jako brzo, što dovodi do čvrstoće i hrskavosti proizvoda; ima li ga više od 9%, vrijeme sušenja proizvoda, te vanjski sloj slatkiša postaje hrskaviji. U muffinama, škrob daje spužvastu

strukturu i mekano tijesto, utječe na volumen i oblik. U mješavinama za punjenja, škrob se koristi za postizanje velike viskoznosti i glatkoće. Škrob u većim količinama daje zrnastu strukturu. U glazurama za kolače, škrob stvara tanki i prozirni sloj na proizvodu; sprječava da vlažnost glazure dopire do tijesta.

U mliječnim proizvodima najviše se koristi zbog njegove tolerancije na temperaturu, zamrzavanje i kidanje proizvoda. U smrznutim mliječnim proizvodima, škrob pridonosi viskoznosti, glatkoći, kremastoj strukturi, kao zamjena za masnoću i ulje i sprječava koagulaciju proteina u mlijeku.

Mnogi snackovi sadrže velike količine škroba. Škrob i njegovi derivati imaju dugu povijest u korištenju grickalica kako bi se postigla različita tekstura proizvoda (Huang i Rooney, 2001.). Namjenski škrob može pružiti niz funkcionalnih prednosti u izradi snack proizvoda, poput promjene u ekspanziji, hrskavost, upija masnoću odnosno može utjecati na ukupnu kvalitetu proizvoda. U grickalicama se mogu dodati velike količine amiloze i amilopektina radi poboljšavanja teksture. Kukuruz i velika količina amiloze može se koristiti kada se želi postići povećana hrskavost proizvoda. Modificirani škrobovi, kao što su umreženi škrobovi, mogu se koristiti zbog otpornosti na smicanje i prekomjernu toplinu tijekom obrade. Djelovanje umreženosti škrobova smanjuje se sposobnost bubrenja škroba, što rezultira da snack proizvodi imaju smanjenje ekspanziju.

U mesnoj industriji škrob se koristi za zadržavanje vlažnosti, povećanje viskoznosti, poboljšanje teksture, te produljenje roka trajanja. Škrob je važan u japanskom jelu surimi u kojem služi za dobivanje punoće i zadržavanje kapaciteta vode, te smanjuje elastičnost i tvrdoću, ali povećava rok zamrzavanja proizvoda (Lawrie, 1985.). U mesnim proizvodima s malo masnoće, škrob je upravo ta "zamjenska masnoća". Modificirani kukuruzni voštani škrob je važan kod mesnih prerađevina gdje su njegova gelirajuća svojstva korisna kao vezivo za održavanje teksture i stabilnost prerađevina.

## **9. Zaključak**

Škrob se koristi kao sirovina, te kao dodatak različitim proizvodima. Kako bi se poboljšala svojstva škroba, te proširila njegova primjena, koriste se različiti postupci modifikacije. Modifikacijom škroba, on dobiva specifična svojstva koja se koriste za postizanje željenog efekta kao npr. viskoznost, glatkoća i volumen tijesta, zadržavanje vlažnosti i itd.

## 10. Literatura

Babić J: Modificirani škrob, 2007.

[http://studenti.ptfos.hr/Preddiplomski\\_studij/Tehnologija\\_prerade\\_sirovina\\_biljnog\\_podrijetla\\_I/konditori/SKROB-MODIFIKAC.pdf](http://studenti.ptfos.hr/Preddiplomski_studij/Tehnologija_prerade_sirovina_biljnog_podrijetla_I/konditori/SKROB-MODIFIKAC.pdf) [21.9.2016]

Babić J, Šubarić D, Ačkar Đ, Jozinović A, Miličević B, Panjin B, Aličić D: Primjena dodataka na bazi škroba u mesnoj industriji. *Prvi hrvatski časopis o mesu*, 3:209-213, 2015.

BeMiller JN, Whistler RL: Starch; *Chemistry & Technology*, 3rd Ed. Academic Press, SAD, Kanada, UK, 2009.

Belitz H.-D, Grosch W, Schieberle P: Carbohydrates. U *Food Chemistry*, 3th edition. Springer Verlag Berlin Heidelberg, 315-325, 2004.

Berry CS: Resistant starch-formation and measurement of starch that survives exhaustive digestion with amylolytic enzymes during the determination of dietary fiber. *Journal Cereal Science* 4:301–314, 1986.

Bhat R, AA Karim (2009): Impact of Radiation Processing on Starch. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 8(2): 44-58.

Bravo RV, Jurado AE, Martinez F, Reyes RA, Garcia AI: Enzymatic Hydrolysis of Soluble Starch with an  $\alpha$ -Amylase from *Bacillus licheniformis*. *Biotechnology Prog* 22:718-722, 2006.

Brown IL: Applications and uses of resistant starch. *Journal of AOAC International* 7(3):727–729, 2004.

Buckow R, Weiss U, Heinz V, Knorr D: Stability and Catalytic Activity of  $\alpha$ -Amylase From Barley Malt at Different Pressure-Temperature Conditions. *Biotechnol Bioeng* 97:1-11, 2000.

Chaplin M: The memory of water; an overview. *Homeopathy* 96:143,150, 2007

Chen Z, Schols HA, Voragen AGJ: Starch granule size strongly determines starch noodle processing and noodle quality. *Journal Food Science* 68:1584–89, 2003.

Cheow CS, Kyaw ZY, Howell NK, Dzulkifly MH: Relationship between physicochemical properties of starches and expansion of fish cracker 'keropok'. *Journal Food Quality* 27:1–12, 2004.

Colonna P, Leloup V, Buleon A: Limiting factors of starch hydrolysis. *European Journal Clinical Nutrition* 46:127-128, 1992.

Conde-Petit B (1992): Interaktionen von Stärke mit Emulgatoren in wasserhaltigen Lebensmittel- Modellen, PhD Thesis No 9875, Swiss Federal Institute of Technology (ETH), Zürich.

Cui SW: Food Carbohydrates. CRC Press, Boca Raton, SAD, 2005.

DeCock P: Functional properties of starch/ Methods and applications. *Agro-Food-Industry Hi-Technology*. 7(4):18-22, 1996.

Denyer K, Johnson P, Zeeman S, Smith AM: The control of amylose synthesis. *Journal Plant Physiology* 158:479-487, 2001.

Eduardo M, Svanberg U, Ahrné L: Effect of hydrocolloids and emulsifiers on the shelf-life of composite cassava-maize-wheat bread after storage. *Food Science & Nutrition* 4:636-644, 2016.

Elgar And M, Bakar J, Zaidul ISLAM, Rahman Abdul R, Abbas KA, Hashim DM, Karim R: Thermal Behavior of Selected Starches in Presence of Other Food Ingredients Studied by Differential Scanning Calorimetry (DSC)–Review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 3:195-201, 2009.

Eliasson A.-C: *Starch in Food*. Woodhead Publishing Ltd., Cambridge, Velika Britanija, 2004.

Englyst HN, Kingman SM, Cummings JH: Classification and measurement of nutritionally important starch fractions. *European Journal Clinical Nutrition* 46:33–50, 1992.

Fausto FD, Kacchi AI, Mehta D: Starch products in confectionery. *U Bev Food World* 24(4):4–16, 1997.

Fennema OR: *Food Chemistry*, 4 rd edition. CRC Press Taylor & Francis Group, Boca Raton, Florida, 2008.

Fredriksson H, Silverio J, Andemon R, Eliasson AC, Aman P: The influence of amylose and amylopectin characteristics on gelatinization and retrogradation properties of different starches. *Carbohydrate Polymers*, 35:119-134, 1998.

Goni I, Garcia-Alonso A, Saura-Calixto F: A starch hydrolysis procedure to estimate ~ glycemic index. *Nutrition Reviews* 17:427–437, 1997.

Huang DP, Rooney LW: *Starches for Snack Food*. U Snack Food Processing. CRC Press, Boca Raton, Florida, 2001.

Jenkis DJA, Jenkins AL: Nutriron principles and diabetes: a role for 'lente carbohydrate'? *Diabetes Care*, 18:1491-149, 1995.

Jenkins DJA, Wolever TMS, Buckley G, Lam KY, Giudici S, Kalmusky J, Jenkins AL, Patten RL, Bird J, Wong GS, Josse RG: Low-glycemic-index starchy foods in the diabetic diet. *American Journal Clinical Nutrition* 48:248–54, 1988.

Juliano BO, Goddard M: Cause of varietal differences in insulin and glucose responses to ingested rice. *Qualitas Plantarum Plant Foods for Human Nutrition* 36:35–41, 1986.

Jonhed A: *Starch. U Properties of modified starches and their use in the surface treatment of paper*. Karlstad University Studies Sweden, 20-21, 2006.

- Karlson P: Biokemija. Školska knjiga, Zagreb, 1984.
- Kulp K, Loewer R: Batters and Breading in Food Processing. American Association of Cereal Chemists, St.Paul, MN, 1990.
- Lawrie RA: Meat Science, 4th ed. Pergamon Press, New York, 1985.
- Lee MR, Swanson Barry G, Bai B-K: Influence of Amylose Content on Properties of Wheat Starch and Breadmaking Quality of Starch and Gluten Blends 78:701-706, 2001.
- Little R, Dawson EH: Histology and histochemistry of raw and cooked rice kernels. *Food Research* 25:611,1960.
- Marques PT, Per' ego C, LeMeins JF, Borsali R, Soldi V: Study of gelatinization process ' and viscoelastic properties of cassava starch: effect of sodium hydroxide and ethanol glycol diacrylate as cross-linking agent. *Carbohydrate Polymers* 66:396-407, 2006.
- Muhamedbegović B: Uticaj modificiranja na reološka i termofizikalna svojstva škroba iz različitih izvora. *Doktorski rad*. Tehnološki fakultet, Tuzla, 2011.
- Noda T, Tsuda S, Mori M, Takigawa S, Matsuura-Endo C, Kim S-J: Determination of the phosphorus content in potato starch using an energy-dispersive X-ray fluorescence method. *U Food Chemistry* 95:632-7, 2006.
- Odeku OA, Akinwande BL: Effect of the mode of incorporation on the disintegrant properties of acid modified water and white yam starches. *Saudi Pharmaceutical Journal* 20(2):171-175, 2012.
- Panlasigui LN, Thompson LU, Juliano BO, Perez CM, Yiu SH, Greenberg GR: Rice varieties with similar amylose content differ in starch digestibility and glycemic response in humans. *American Journal Clinical Nutrition* 54:871-877, 1991.
- Pietrasik Z: Effect of content of protein, fat an modified starch on binding textural characteristics, and colour of comminuted scaled sausages. *Meat Science* 51:17-25, 1999.
- Ring SG, Gee JM, Whittam M, Orford, P, Johnson: Resistant Starch. Its chemical form in foodstuffs and effect on digestibility in vitro. *U Food Chemistry* 28:97-109, 1988.
- Saartrat S, Puttanlek C, Rungsardthong V, Uttapap D: (2005) Paste and gel properties of low-substituted acetylated canna starches. *Carbohydrate Polymers* 61:211-221, 2005.
- Sajilata MG, Singhal RS, Kulkarni PR: Resistant starch – A Review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 5:1-17, 2006.
- Sajilata MG, Singhal RS: Specialty starches for snack foods. *Carbohydrate Polymers* 59:131-51, 2006.
- Silva JL (1990): Sweet potatoes. *U Remy KH*, editor. Processing and products Mississippi State University Mississippi. p 15.

- Svihus, B, Uhlen AK, Harstad OM: Effect of starch granule structure, associated components and processing on nutritive value of cereal starch: a review. *Animal Feed Science and Technology* 122:303-320, 2005.
- Sopade PA, Koyama K: The effect of fortification with peanuts (*Arachis hypogea*) on the relationship between viscosity and rotational speed of karamap saksak a sago-based traditional Papua New Guinean food. *Food Journal* 29:10–13, 1999.
- Sriburi P, Hill SE, Mitchell JR: Effects of l-ascorbic acid on the conversion of cassava starch. *Journal Food Hydrocology* 13:177–83, 1999.
- Šubarić D, Babić J, Ačkar Đ: Modificiranje škroba radi proširenja primjene. *Radovi Zavoda za znanstveni i umjetnički rad u Požegi*, 1:247-258, 2012.
- Tester, RF, Karkalas JK, Qi X: Starch - composition, fine structure and architecture. *Journal of Cereal Science* 39:151–165, 2004.
- Tegge G: Stärke und Stärkederivate. Behr's Verlag GmbH & Co.KG., Hamburg, 2004.
- Tharanathan RN: Starch- a polysaccharide of high abundance and usefulness. *Journal of Scientific and Industrial Research* 54:452–8, 1995.
- Thomas DJ, Atwell WA: Starchers. St. Paul Minn, USA, 1999.
- Thompson DB: Strategies for the manufacture of resistant starch. *Trends in Food Science and Technology* 11:245-253, 2000.
- Tomasik P: Chemical and Functional of Food Saccharides. *Chemical and Functional Properties of Food Components Series*, 7: 90-110, 2004.
- Van der Maarel MJEC, Van der Veen B, Uitdehaag JCM., Leemhuis H, Dijkhuizen L: Properties and applications of starch-converting enzymes of the  $\alpha$ -Amylase family. *Journal Biotechnology* 2:137-155, 2002.
- Violet M, Meunier JC: Kinetic study of the irreversible thermal denaturation of *Bacillus licheniformis*  $\alpha$ -Amylase. *Biochemistry Journal* 26:665-670, 1989.
- Zallie J: Specialty in the Dairy Industry. Technical Bal. National Starch and Cemial Company, Bridgewater, New York, 2003.
- Walter RH: Polysaccharide association structures in food, Marcel Dekker, Inc. New York, SAD, 1998.
- Wang X, Brown IL, Khaled D, Mahoney MC, Evans AJ, Conway PL: Manipulation of colonic bacteria and volatile fatty acid production by dietary high amylose maize (amylomaize) starch granules. *Journal of Applied Microbiology* 93: 390-397, 2002.

Wianecki M, Kołakowski E: Gelatinization parameters of starch and some cereal products, as determined thermomechanically from torque measurements. *Electronic Journal od Polish Agricultural Universities* 10:4, 2007.

Wischamnn B, Norsker M, Adler-Nissen J: Food product developed to evaluate starch as food ingredient. *Nahrung/Food* 46:167-173, 2002.

Wo K, Seib PA: Crosslinking of wheat starch and hydroxpropilated wheat starch in alkaline slurry whit sodium trimeta phospate. *Carbohydrate Polymers* 33:263-271, 2007.

Wu HC, Sarko A: The double helical molecular structure of crystalline Aamylose. *Carbohydrate Research* 61:7, 1978.

Wurzburg OB: Modified Starches; Properties and Uses, CRC Press, Boca Raton, Florida, 1986.

Web 1 [http://www.rcsb.org/pdb/images/1e43\\_bio\\_r\\_500.jpg](http://www.rcsb.org/pdb/images/1e43_bio_r_500.jpg) [21.9.2016]

Web 2 <https://www.scribd.com/doc/36442551/Tehnologija-skroba>[21.9.2016]

Web 3

[http://www.agrif.bg.ac.rs/files/subjectfiles/89/TEHNOLOGIJA\\_SECERA\\_I\\_SKROBA\\_2\\_2009.pdf](http://www.agrif.bg.ac.rs/files/subjectfiles/89/TEHNOLOGIJA_SECERA_I_SKROBA_2_2009.pdf) [21.9.2016]