

# Proizvodnja visokofruktoznog sirupa

---

Šabić, Irena

Undergraduate thesis / Završni rad

2015

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://um.nsk.hr/um:nbn:hr:109:293970>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-05**

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

Irena Šabić

Proizvodnja visokofruktoznog sirupa

završni rad

Osijek, 2015.

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU  
PREHRAMBENO-TEHNOLOŠKI FAKULTET OSIJEK

PREDDIPLOMSKI STUDIJ PREHRAMBENA TEHNOLOGIJA

Nastavni predmet  
Tradicionalna biotehnologija

**Proizvodnja visokofruktoznog sirupa**  
Završni rad

Mentor: izv. prof. dr. sc. Vinko Krstanović

---

Student: **Irena Šabić**

MB: 3134/09

Mentor: izv. prof. dr. sc. Vinko Krstanović

Predano:

Pregledano:

---

**Ocjena:**

**Potpis mentora:**

---

# Proizvodnja visokofruktoznog sirupa

## Sažetak

Visokofruktozni sirup se dobiva iz kukuruznog škroba, a proizvodnja se sastoji od želatinizacije, likvefakcije, saharifikacije i izomerizacije. Tri enzima ( $\alpha$ -amilaza, glukoamilaza i glukoza izomeraza) su ključna u ovom procesu. Enzim  $\alpha$ -amilaza (dodan u fazi likvefakcije) skraćuje duge lance glukoze; enzim glukoamilaza (dodan u fazi saharizacije) rastavlja lance na molekule glukoze; glukoza izomeraza (u fazi izomerizacije) pretvara određeni postotak glukoze u fruktozu. Krajnji je rezultat visokofruktozni sirup, korišten u industriji hrane umjesto saharoze i drugih sladila. Prema omjeru glukoze i fruktoze razlikuju se HFCS-42, HFCS-55 i HFCS-90 sirupi, korišteni u različitim proizvodima.

**Ključne riječi:** visokofruktozni sirup,  $\alpha$ -amilaza, glukoamilaza, glukoza izomeraza, HFCS

# Production of high fructose syrup

## Abstract

High fructose syrup is made from corn starch - the production consists of gelatinization, liquefaction, saharification and isomerization. Three enzymes ( $\alpha$ -amylase, glucoamylase and glucose isomerase) are essential in this process. The  $\alpha$ -amylase (added in the liquefaction phase) shortens the long glucose chains; glucoamylase (added in the saharification phase) breaks the glucose chains into glucose molecules; glucose isomerase (in the phase of isomerization) turns a certain percentage of glucose into fructose. The end result is high fructose corn syrup, used in food industry instead of sucroze and other sweeteners. Depending on the ratio of glucose and fructose, syrups HFCS-42, HFCS-55 and HFCS-90 are produced (each used in different products).

**Key words:** high fructose syrup,  $\alpha$ -amylase, glucoamylase, glucose (xylose) isomerase, HFCS

## Sadržaj

<b>1. UVOD</b> .....	1
<b>2. OD ŠKROBA DO SIRUPA</b> .....	3
2.1. Povijest i ekonomska pozadina .....	4
2.2. Kratak pregled enzimске obrade .....	5
2.3. Detaljna analiza procesa proizvodnje .....	7
2.3.1. Želatinizacija i likvefakcija.....	7
2.3.2. Saharifikacija .....	9
2.3.2.1. Klasifikacija enzima .....	9
2.3.2.2. Proizvodnja glukoznog sirupa .....	9
2.3.2.3. Proizvodnja maltoznog sirupa.....	10
2.3.3. Izomerizacija.....	10
2.4. Mjerenje šećera .....	12
2.5. Usporedba visokofruktoznog sirupa s ostalim sladilima.....	13
2.5.1. Šećer dobiven iz trske i repe.....	13
2.5.2. Med .....	14
2.5.3. Umjetna sladila.....	14
<b>3. ZAKLJUČCI</b> .....	15
<b>4. LITERATURA</b> .....	17

## **1. UVOD**

Zadatak ovog rada je na sažet i pregledan način opisati što je visokofruktozni sirup, zatim obuhvatiti proces njegove proizvodnje te ukratko opisati pojedine faze.

U prvom poglavlju daje se povijesni pregled s naglaskom na SAD, u kojem se prikazuje i ekonomska pozadina koja je dovela do rasprostranjenosti visokofruktoznog sirupa na tržištu.

U drugom poglavlju se daje pregled enzimske obrade, te se jasno pokazuje kako i zašto su tri enzima ( $\alpha$ -amilaza, glukoamilaza i glukoza izomeraza) ključna u ovom procesu. Zatim se posvećuje više pažnje pojedinim fazama u tvorničkoj obradi: želatinizacija, likvefakcija, saharifikacija i izomerizacija. Na kraju poglavlja se ukratko objašnjava načine na koje se mjeri šećere, a zatim se uspoređuje svojstva visokofruktoznog sirupa sa svojstvima meda, stolnog šećera i umjetnih sladila.

Nakon toga se iznosi zaključke.



## **2. OD ŠKROBA DO SIRUPA**

## 2.1. POVIJEST I EKONOMSKA POZADINA

Termin visokofruktozni sirup (HFCS, „high fructose corn syrup“ odnosno visokofruktozni kukuruzni sirup u SAD-u; glukoza-fruktoza u Kanadi; izoglukoza, glukozno-fruktozni sirup ili fruktozno-glukozni sirup u Europi) označava sirup dobiven iz škroba koji je enzimski procesuiran tako da se određeni postotak glukoze u njemu pretvori u fruktozu, čime se postiže željena slatkoća. Iako bi se za dobivanje sirupa teoretski mogli koristiti i drugi usjevi bogati škrobom (kao što je riža), kukuruz je logičan izbor zbog vrlo visokog postotka škroba – čak 80% zrna (Weingarten, 2008.).

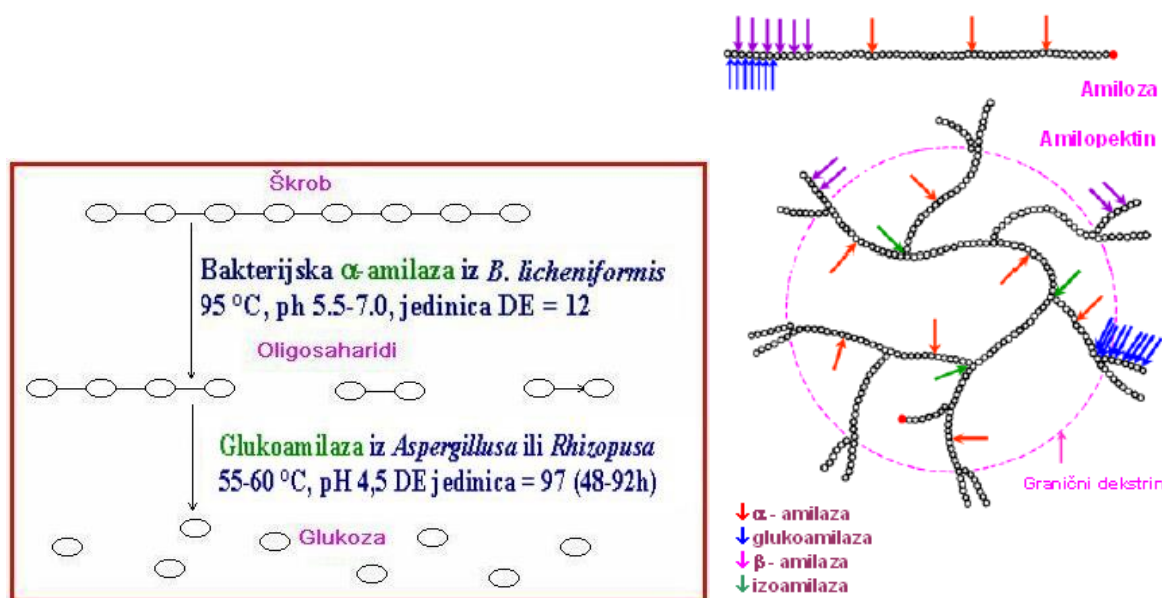
Visokofruktozni sirup je prvi put proizveden 1957. godine, a znanstvenici kojima je to pošlo za rukom su Richard O. Marshall i Earl R. Kooi. Oni međutim nisu bili uspješni u pokretanju masovne proizvodnje visokofruktoznog sirupa, ponajviše stoga što je za ključan proces koji su otkrili - glukoza izomeraza - bio potreban arsen, element vrlo toksičan za ljudski organizam. No već je 1961. japanski znanstvenik dr. Kei Yamanaka otkrio glukoza izomerazu koja nije iziskivala upotrebu iona arsena kao katalizatora. Daljnje usavršavanje industrijske proizvodnje je postigao dr. Yoshiyuki Takasaki između 1965. i 1970. godine (Theiss 2010.).

Zbog vladinog ograničavanja domaće proizvodnje šećera, subvencije na domaću proizvodnju kukuruza te visokog poreza na uvezeni šećer (još od 1977. godine), tržišna cijena saharoze u SAD-u i Kanadi je dvostruko veća od one u ostatku svijeta. Ovo je izravno utjecalo na isplativost visokofruktoznog sirupa koji je istisnuo saharozu (stolni šećer) iz američke industrije hrane i postao najčešće korišteno sladilo pri procesuiranju hrane i pića u SAD-u.

Prisutan je u proizvodnji kruha, mliječnih žitarica, energetskih čokoladica, jogurta, sokova (Coca-Cola i Pepsi ga koriste od 1980. godine), juha, začina itd. Štetnost visokofruktoznog sirupa po ljudski organizam je propitkivana od strane nutricionista i raznih potrošačkih udruga – mišljenja su podijeljena (Theiss 2010., GMA 2008.). U SAD-u, 4 korporacije (Archer Daniels Midland, Cargill, Staley Manufacturing Co, CPC International) kontroliraju 85% tržišta visokofruktoznog sirupa, vrijednog 2.6 milijardi dolara (Nwosu, 2012.). Europska Unija strože regulira uvoz i proizvodnju visokofruktoznog sirupa, no razlozi su tržišni a ne zdravstveni.

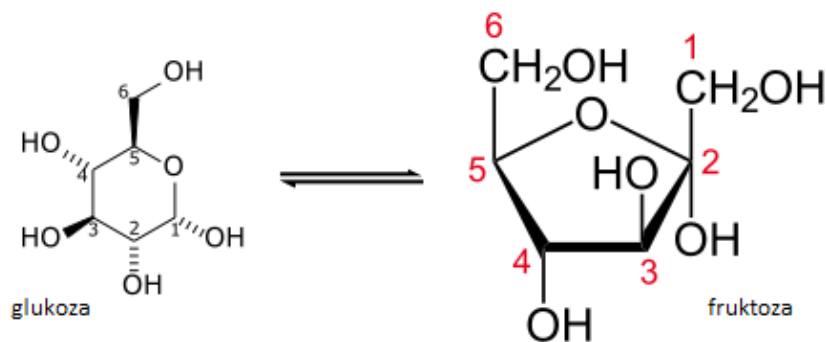
## 2.2. KRATAK PREGLED ENZIMSKE OBRADE

Da bi se iz kukuruznog škroba dobio kukuruzni sirup, miješa se s vodom pri čemu se dodaju enzimi (proizvedeni od strane bakterija i gljiva): bakterijska (*B. Licheniformis*)  $\alpha$ -amilaza koja rastavlja škrob u kraće lance glukoze, a zatim amiloglukozidaza tj. glukoamilaza plijesni (*A. niger*) koja dalje rastavlja kratke lance u molekule glukoze (**Slika 1**) (Porter, 1979.). Naknadnim dodavanjem enzima bakterijske (*B. acidopullulyticus*) pululanaze se potiče razgradnja graničnih dekstrina, što povećava prinos i čistoću gotovog proizvoda. Krajnji rezultat ovog dijela procesa je kukuruzni sirup, gotovo u potpunosti sastavljen od glukoze (Borges da Silva, 2006.).



**Slika 1.**  $\alpha$ -amilaza i glukoamilaza (Krstanović, 2005.)

Kako bi se od tako dobivenog sirupa dobio visokofruktozni sirup, kukuruzni sirup se izlaže enzimu bakterijske (*B. coagulans*) glukoza (ksiloza) izomeraze (**Slika 2**) koji 42% molekula glukoze u sirupu pretvara u molekule fruktoze dok 53% sirupa ostaje glukoza, a preostalih 5% tvore ostali šećeri. Ovaj se sirup, nazvan HFCS-42, po slatkoći može mjeriti sa prirodnim, stolnim šećerom (saharozom), i koristi se u proizvodnji hrane. HFCS-42 se podvrgava tekućoj kromatografiji pri kojoj se obogaćuje fruktozom do razine od 90%, čime se dobiva HFCS-90 (Nwosu, 2012.). Ova 90-postotna fruktoza se onda miješa sa 42-postotnom fruktozom kako bi se dobio krajnji produkt koji sadrži 55% fruktoze. Ovako dobiven HFCS-55, je visokofruktozni sirup slađi od saharoze, a koristi se ponajviše u proizvodnji sokova (White, 2008.).

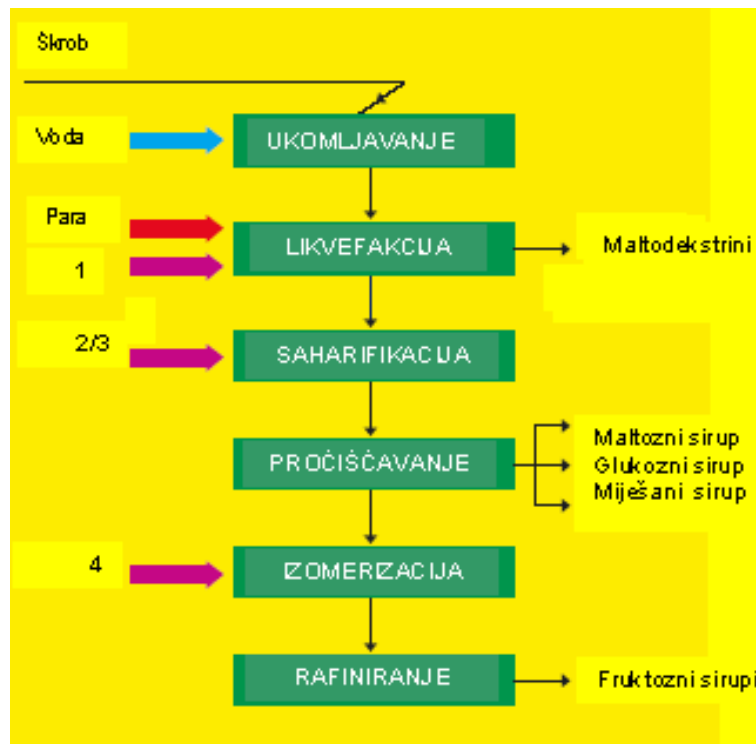


**Slika 2.** Glukoza (ksiloza) izomeraza (en.wikipedia.org, 2014.)

Postoje dakle tri glavna stupnja enzimske razgradnje škroba u visokofruktozni sirup (**Slika 3**):

1. Dodavanje bakterijske (*B. Licheniformis*)  **$\alpha$ -amilaze**, enzima za likvefakciju koji iz kukuruznog škroba proizvodi kraće šećerne lance – oligosaharide. Škrobna otopina sadrži 40% suhe tvari, i ima pH 6.5 – temperatura se zadržava na 105 °C oko 5-7 minuta. Iako oba tipa amilaze (a za razliku od ksiloza izomeraze) mogu biti prirodno proizvedena u mnogih životinja pa i ljudi, najčešća metoda industrijske proizvodnje je mikrobna fermentacija (Porter 1979.).
2. Dodavanje **glukoamilaze** plijesni (*A. niger*), koja razbija oligosaharide na jednostavni šećer glukozu. Razina pH se smanjuje na 4.5 a temperatura se snižava na 9.5 °C. Brzina reakcije katalizirane amiloglukozidazom je puno sporija od brzine reakcije katalizirane  $\alpha$ -amilazom, a duže vrijeme reakcije ima za posljedicu karamelizaciju šećera što rezultira procesnim gubicima i porastom primjesa (nečistoća) u gotovom proizvodu. Većina proizvođača koristi adsorpciju ugljikom kako bi uklonili ove nečistoće. Također su razna filtriranja, razmjene iona i isparavanja dio cjelokupnog procesa (Porter 1979.).
3. Dodavanje bakterijske (*B. coagulans*) **ksiloza (glukoza) izomeraze**, ima zadatak konverzije glukoze u fruktozu, stvarajući mješavinu od 42% fruktoze i 50-52% glukoze, uz još neke šećere. Ovaj enzim ima optimalnu aktivnost pri pH 7,5 - 8,0 i 65 °C, pa uvjete procesa treba shodno tome prilagoditi. Komercijalna glukoza izomeraza ima vrijeme poluživota oko 200 dana i manje je termički stabilna u odnosu na prethodno korištene enzime, a viša koncentracija Ca-iona je inhibira. (Borges da Silva, 2006.)

Glukoamilaza i  $\alpha$ -amilaza korištene u procesu dobivanja visokofruktoznog sirupa su genetski modificirane kako bi bile što otpornije na promjene temperature (Nwosu, 2012.).

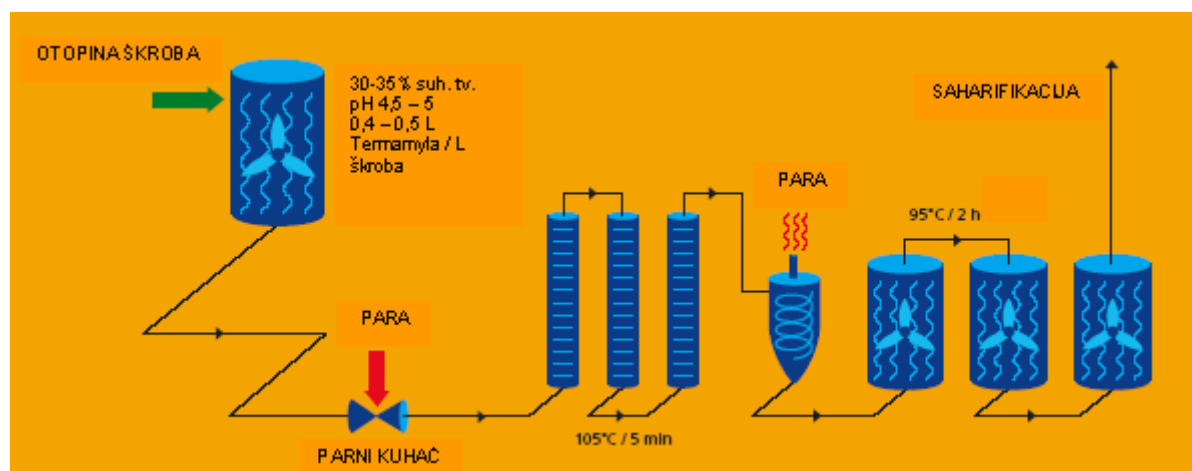


**Slika 3.** Proces proizvodnje; 1 =  $\alpha$ -amilaza; 2/3 = glukoamilaza/pululanaza; 4 = glukoza izomeraza (Krstanović, 2005.)

## 2.3. DETALJNA ANALIZA PROCESA PROIZVODNJE

### 2.3.1. Želatinizacija i likvefakcija

Proizvodnja visokofruktoznog sirupa sastoji se od nekoliko stadija - prije svega se samelje kukuruz (Cavette, 2009.), čime se dobije kukuruzni škrob, izgrađen od dugih lanaca glukoze.



**Slika 4.** Tehnološka shema procesa (Krstanović, 2005.)

Treba naglasiti da škrob nije jedinstven spoj (Considine, 1982.), već sadržava dva građom različita ugljikohidrata iste formule: amilozu (25%, nerazgranat polimer u kojem su jedinice glukoze povezane  $\alpha$ -1,4-glikozidnim vezama) i amilopektin (75%, razgranat – na tridesetak  $\alpha$ -1,4-glikozidnih veza dolazi po jedna dodatna  $\alpha$ -1,6-glikozidna veza; sadržava i nešto fosfatne kiseline).

Prvi korak u proizvodnji je želatinizacija (**Slika 4**), tj. proces rastvaranja škrobnih granula (5-25 $\mu$ m) u viskoznu suspenziju, a postiže se (slično kao pri kuhanju škrobaste hrane) grijanjem vrućom vodom. Granule škroba se nakon mokrog mljevenja suspendiraju u vodi (s oko 35% suhe tvari) pri pH 6.0-6.5 (s 20-80 ppm  $\text{Ca}^{2+}$  koji stabilizira i aktivira enzim) te im se dodaje  $\alpha$ -amilaza (termostabilna, npr. Termamyl). Ovime nastaju dekstrini i male količine oligosaharida. Suspenzija se pumpa kroz mlazni kuhač s otvorenom parom pri 105°C. Želatinizacija (bubrenje i pucanje granula škroba) se vrlo brzo odvija, te uz djelovanje enzima i značajnih sila smika započinje hidroliza. Nakon kratkog prolaza kroz mlazni kuhač djelomično želatinizirani škrob prolazi kroz seriju cijevi (105°C/5 min) i u potpunosti se želatinizira (Hui, 1992.).

Idući korak je likvefakcija, tj. djelomična hidroliza škroba uz istovremeno opadanje viskoziteta. Stupanj hidrolize se označava s DE (dekstrozni ekvivalent; dekstroza je sinonim za glukozu), a izražava omjer broja hidroliziranih glukozičnih veza i početnog broja glukozičnih veza u škrobu. Hidroliza do potrebnog DE stupnja se odvija u posudi s miješalom pri 90-100°C kroz 2 sata. Pod djelovanjem kiselina i enzima (najprije  $\alpha$ -amilaze koja rastavlja duge lance glukoze u kraće lance) škrob se onda može potpuno razgraditi u molekule glukoze, a međuprodukti su dekstrini i maltoza (Matz, 1991.).

## 2.3.2. Saharifikacija

### 2.3.2.1. Klasifikacija enzima

Ošećerivanje ili saharifikacija je priređivanje dobivene glukoze i maltoze daljnjom hidrolizom. Ošećerenje dekstrina se odvija glukoamilazama, koje kataliziraju hidrolizu različitih kraćih polimera do glukoze. Ako se želi dobiti maltoza, za hidrolizu se rabi biljna ili fungalna  $\beta$ -amilaza, a s ciljem dobivanja većeg udjela glukoze ili maltoznog sirupa se dodaje pululanaza.

Treba spomenuti kako postoji djelomična zbrka u klasifikaciji enzima korištenih tijekom različitih koraka u procesu. Npr. istim se EC brojem ponekad označavaju dva različita enzima, pa tako  $\alpha$ -amilaza može biti likveficirajuća i saharificirajuća amilaza. Razlog ovoj zabuni je činjenica da se u nomenklaturi koristi enantiomerna forma oslobođene reducirajuće grupe u produktu umjesto tip veza koji je hidroliziran. Na primjer, produkti bakterijske i fungalne  $\alpha$ -amilaze su u  $\alpha$ -konfiguraciji, a oni  $\beta$ -amilaze su u  $\beta$ -konfiguraciji, iako cijepaju  $\alpha$ -1,4 vezu između glukoznih jedinica.  $\alpha$ -amilaza (1,4- $\alpha$ -D-glukan glukanohidrolaza) je endohidrolaza, cijepa  $\alpha$ -1,4 vezu bez određenog reda, ne hidrolizira, ali može zaobići  $\alpha$ -1,6 vezu na mjestu grananja. Često je termostabilna na 90-95°C. Najstabilnija je  $\alpha$ -amilaza iz *B. licheniformis* (110°C s nazivom Termamyl) i stupnjem hidrolize DE do 40 – obično 10-12 DE (Porter, 1979.).

### 2.3.2.2. Proizvodnja glukoznog sirupa

Likveficirani škrob (8-12 DE) može poslužiti za priređivanje sirupa DE vrijednosti od 45-98 ili više. Provodi se glukoamilazom koja cijepa  $\alpha$ -1,4 i  $\alpha$ -1,6 veze. S niskom koncentracijom supstrata se postiže reakcija do DE 100. Obično se provodi do DE 96-98 (95-97% glukoze), te naknadnim uparavanjem dobivenog sirupa. Pri višim koncentracijama supstrata se zbog transglukozidazne aktivnosti dobivaju maltoza i izomaltoza. Uporabom pululanaze (koja razgrađuje  $\alpha$ -1,6 veze) se skraćuje vrijeme reakcije, koristi manje glukoamilaze, te se može voditi reakcija s višom koncentracijom supstrata – troši se manje energije za uparavanje, koristi se manje izomaltoze i maltoze, a štedi se i na glukoamilazi (Klibanov, Visuri, 1987.). Proces se provodi u reaktoru s miješanjem, obično šaržno zbog reakcije transglukozilacije. Ošećerani hidrolizat (glukoza) se bistri vakuum filtracijama i rafinira kombinacijom tretmana

aktivnim ugljenom (boja) i ionoizmjenom (uklanjanje kationa i aniona). Može se upariti do 75% suhe tvari, a 60% kristalizira u 3-4 dana hlađenjem na 20-30°C (Klibanov, Visuri, 1987.).

### 2.3.2.3. Proizvodnja maltoznog sirupa

Maltozni sirup se tradicionalno proizvodio iz ječmenog škroba s  $\beta$ -amilazom iz ječma. Visoko maltozni sirup se proizvodi iz likveficiranog škroba primjenom fungalne  $\alpha$ -amilaze (48 sati), a primjenom pululanaze kao dodatka se povećava koncentracija maltoze. Visoko maltozni sirup (40-50 DE; 45-60% maltoze i 2-7% glukoze) ne kristalizira ispod 0°C, relativno je nehigroskopan (služi za priređivanje tvrdih bombona i smrznutih deserta). Ovakav sirup ima visoki stupanj konverzije (60-70 DE; 30-37% maltoze, 35-43% glukoze, 10% altotrioze, 15% ostalih oligosaharida), zaslađivač je i ne kristalizira iznad 4°C. Enzimi koji se koriste su fungalna  $\alpha$ -amilaza (hidrolizira maltotriozu a ne maltozu) u kombinaciji s glukoamilazom. Stupanj konverzije se može kontrolirati grijanjem reakcijske smjese, čime se postiže inaktivacija enzima. Danas je prema potrebi moguće proizvesti škrobne hidrolizate s DE stupnjem od 1 do 100 u bilo kojem željenom sastavu primjenom bakterijske i fungalne  $\alpha$ -amilaze, te glukoamilaze i pululanaze (Klibanov, Visuri, 1987.).

### 2.3.3. Izomerizacija

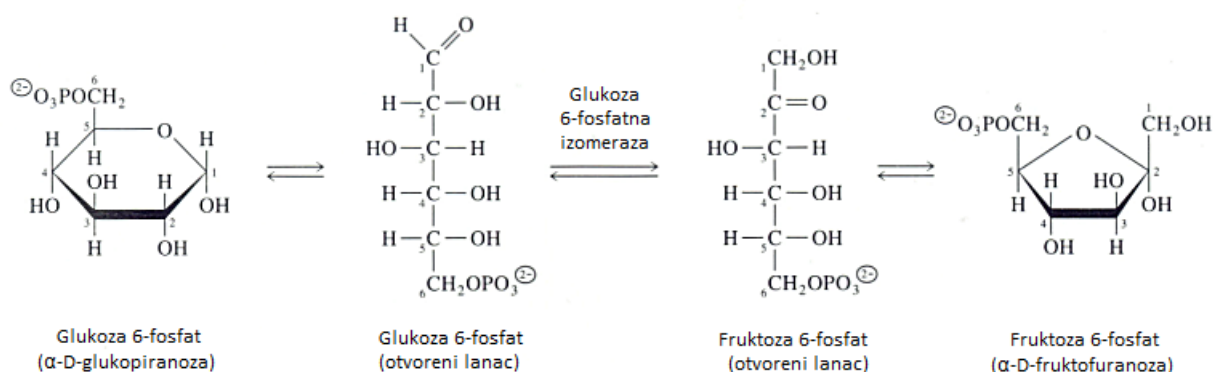
Enzim koji se koristi za katalizaciju i izomerizaciju glukoze u fruktozu je glukoza izomeraza (**Slika 5**) (*Streptomyces*, *Bacillus coagulans* i dr.) tj. ksiloza izomeraza – ona katalizira izomerizaciju D-ksiloze u ravnotežnu smjesu D-ksiluloze i D-ksiloze. Iako enzimi iz nekih mikroorganizama trebaju u komercijalnoj uporabi D-ksilozu kao indikator, većina suvremenih komercijalnih preparata ima gotovo podjednako specifičnost za glukozu i fruktozu kao i za ksilozu. Preparati glukoza izomeraze su vrlo otporni na toplinsku denaturaciju i mogu djelovati pri visokim koncentracijama supstrata. Enzim glukoza izomeraza je intracelularan i njegovo priređivanje zahtijeva razbijanje stanica te pročišćavanje ultrafiltracijom (McGraw-Hill, 1997.).

Glukoza izomeraza se koristi u imobiliziranom obliku: bakterijske stanice s intracelularnim enzimom se koncentriraju centrifugiranjem, razbijaju homogenizacijom (miješanje pri velikom broju okretaja), unakrsno povežu s glutaraldehidom i flokuliraju, ekstrudiraju, suše i prosijavaju (čestice 300 - 1000  $\mu\text{m}$ ). Imobilizacija topivog enzima se nakon razbijanja stanične



stijenke mikroorganizama i filtracije, provodi enzimom koncentriranim ultrafiltracijom i taloženjem. Nosač za vezanje enzima može biti npr. celuloza kombinirana s polistirenom i titan dioksidom (tzv. DEAE). Imobilizirani enzim se zatim melje na veličinu čestica 400 - 800  $\mu\text{m}$  (scribd.com, 2014.).

Glukoza (ksiloza) izomeraza se (za razliku od  $\alpha$ -amilaze i glukoamilaze) ne može pronaći kao prirodni proces u životinja, i pri standardnoj glikolizi se molekule glukoze izomeriziraju tek nakon fosforilacije u fruktoza 6-fosfate od strane glukoza 6-fosfatne izomeraze. Fruktokinaza fosforilizira molekule fruktoze koje tada ulaze u glikolitički proces. I dok se pri proizvodnji visokofruktoznog sirupa jeftine  $\alpha$ -amilaze i glukoamilaze dodaju izravno u emulziju i koriste samo jednom, skuplja glukoza (ksiloza) izomeraza se pakira u stupce preko kojih se pušta mješavina šećera, što omogućava višekratno korištenje izomeraze prije nego se potroši (Hui, 1992.).



**Slika 5.** Glukoza 6-fosfatna izomeraza (web.campbell.edu, 2014.)

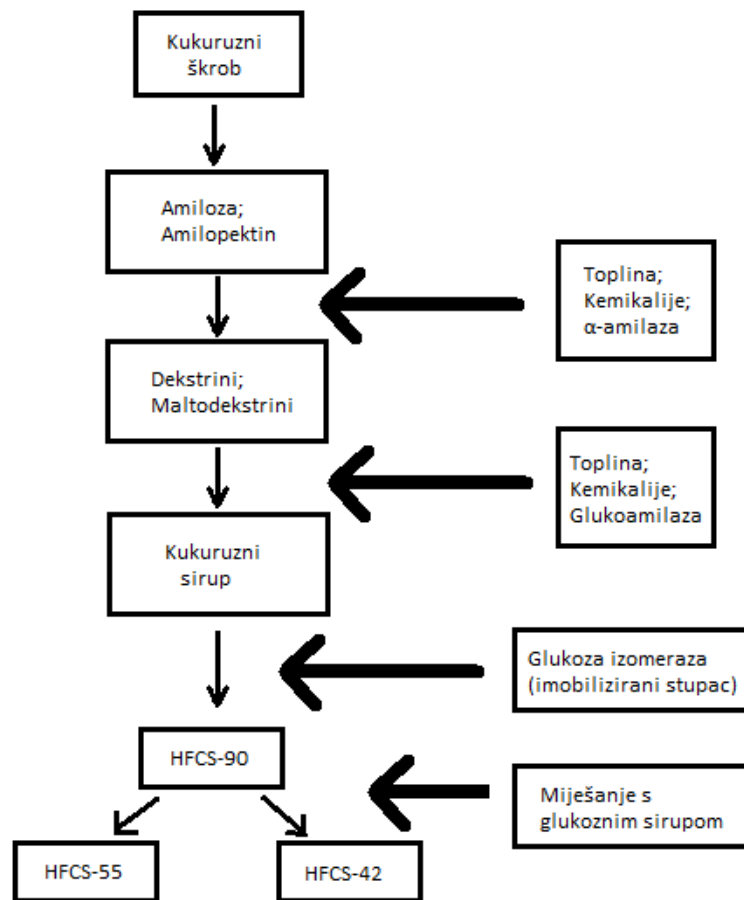
## 2.4. MJERENJE ŠEĆERA

Univerzalan i precizan način za mjerenje šećera (korišten i kod visokofruktoznih sirupa) su suhe tvari. Količina suhe tvari je definirana kao omjer mase suhih šećera u ukupnoj težini šećerne otopine.

Drugi način, korišten uglavnom za mjerenje saharoze, su stupnjevi Brix (simbol je °Bx), mjerna jedinica koja označava omjer mase otopljenog saharoze i vode. Otopina od 25 °Bx sadrži 25 grama saharoze na 100 grama otopine, ili drugim riječima: 100 grama otopine sadrži 25 grama saharoze i 75 grama vode.

Kada se koristi infracrveni Brix senzor, on mjeri vibracijsku frekvenciju molekula saharoze, dajući očitavanje u Brix stupnjevima. Ovo neće biti isto očitavanje kao pri korištenju indeksa gustoće ili refraktivnosti, jer će ciljano mjeriti koncentraciju otopljenog šećera umjesto svih otopljenih krutina. Kada se koristi refraktometar, rezultat se označava kao „refraktometrični osušeni spoj“ (RDS), npr. određena tekućina je 20 °Bx RDS. Ovo je mjerilo postotka u ukupnoj težini osušenih krutina i, iako tehnički nije isto kao Brix stupnjevi izmjereni infracrvenom metodom, daje točno mjerenje saharoze uzimajući u obzir da je većina osušenih krutina zapravo saharoza.

Pošto je Brix mjerna jedinica zasnovana na refraktivnom indeksu svjetla u molekuli saharoze, nije dovoljno precizna za mjerenje drugih šećera kao što su glukoza, maltoza i fruktoza (Wikipedia, 2014.).



Slika 6. Od škroba do visokofruktoznih sirupa (wiki.ubc.ca, 2012.)

## 2.5. USPOREDBA VISOKOFUKTOZNOG SIRUPA S DRUGIM SLADILIMA

### 2.5.1. Šećer dobiven iz trske i repe

Šećer dobiven iz šećerne trske i šećerne repe je gotovo čista saharoza. Dok su glukoza i fruktoza (dvije glavne sastavnice visokofruktoznog sirupa) monosaharidi, saharoza je disaharid u kojem su glukoza i fruktoza povezani relativno slabom glikozidnom vezom. Činjenica da su saharoza, glukoza i fruktoza unikatne, različite molekule, komplicira usporedbu između saharoze i visokofruktoznog sirupa. Molekula saharoze (kemijske formule  $C_{12}H_{22}O_{11}$ ) može biti rastavljena u molekulu glukoze ( $C_6H_{12}O_6$ ) i molekulu fruktoze (također  $C_6H_{12}O_6$  tj. izomer glukoze), u slaboj kiselini kroz proces inverzije. Saharozu se rastavlja tijekom probave u smjesu od 50% fruktoze i 50% glukoze kroz hidrolizu enzimom saharaze. Osobe s nedostatkom saharaze stoga ne mogu probaviti saharozu (Wikipedia, 2014.).

### 2.5.2. Med

Med je mješavina raznih vrsta šećera, vode i male količine drugih sastojaka. Omjer fruktoze i glukoze u medu je sličan onome u HFCS 55, no uz to sadrži i nešto saharoze i drugih šećera. Poput HFCS-a, med sadrži vodu – otprilike 3 kcal po gramu. Energija sadržana u 100 grama meda iznosi 1,272 kJ (304 kcal), dok je energija u 100 grama visokofruktoznog sirupa jednaka 1,176 kJ (281 kcal). Zbog sličnih svojstava i niže cijene, visokofruktozni sirup je često korišten ilegalno kako bi se „razvodnio“ med. Da bi se ovo spriječilo, testovi vršeni na medu više ne provjeravaju je li količina saharoze veća od dopuštene (jer ih ni visokofruktozni sirup ne sadrži), već traže male količine proteina koji se koriste za razlikovanje HFCS-a od meda (Wikipedia, 2014.).

**Tablica 1.** Nutricionalna vrijednost 100 g visokofruktoznog sirupa (en.wikipedia.org, 2014.)

		Vitamini		Metali	
				Kalcij	(1%) 6 mg
		B2	(2%) 0.019 mg	Željezo	(3%) 0.42 mg
Ugljikohidrati	76 g	B3	(0%) 0 mg	Magnezij	(1%) 2 mg
Vlakna	0 g	B5	(0%) 0.011 mg	Fosfor	(1%) 4 mg
Masnoća	0 g	B6	(2%) 0.024 mg	Potasij	(0%) 0 mg
Proteini	0 g	B9	(0%) 0 µg	Sodij	(0%) 2 mg
Voda	24 g	C	(0%) 0 mg	Cink	(2%) 0.22 mg

### 2.5.3. Umjetna sladila

Za razliku od visokofruktoznog sirupa, sladila kao što su sukraloza, aspartam i saharin su umjetni zaslađivači. Saharin je npr. prvi put proizveden u drugoj polovici 19. stoljeća. Njegova slatkoća je čak 300-500% veća od slatkoće stolnog šećera ili saharoze, a poput aspartama i sukraloze ima 0 kalorija po gramu (saharoza, med i visokofruktozni sirup imaju 4). Umjetna sladila su stabilnija u raznim rasponima temperature i pH vrijednostima, pa se stoga koriste u proizvodima koji mogu dugo stajati (Wikipedia, 2014.). Zabrinutost oko negativnog utjecaja umjetnih sladila na zdravlje je u znanstvenoj zajednici puno prisutnija od sličnih dilema u vezi visokofruktoznog i ostalih sirupa.

### **3. ZAKLJUČCI**

Visokofruktozni sirup se proizvodi iz (kukuruznog) škroba uz pomoć raznih enzima mikrobnog podrijetla. Iz škroba koji se sastoji od amiloze i amilopektina se prvo uz pomoć enzima  $\alpha$ -amilaze dobivaju dekstrini i oligosaharidi. Uz pomoć enzima glukoamilaze se tada dobiva glukozni sirup, koji se u zadnjoj fazi pretvara u fruktozni sirup pomoću glukoza (ksiloza) izomeraze. Tvornički proces proizvodnje visokofruktoznog sirupa tijekom kojeg se pravodobno dodaju enzimi se može podijeliti na želatinizaciju, likvefakciju, saharifikaciju, pročišćavanje, izomerizaciju i rafiniranje.

Oko 24% visokofruktoznog sirupa se sastoji od vode, dok su ostatak šećeri. S obzirom na konkretan omjer fruktoze i glukoze, postoje 3 glavne vrste sirupa (s različitim upotrebama): HFCS-55 (najčešće u sokovima), čiji je sastav 55% fruktoza i 42% glukoza; HFCS-42 (u pićima, raznoj hrani, mliječnim i pekarskim proizvodima) čiji je sastav 42% fruktoza i 53% glukoza; HFCS-90 (posebne primjene - uglavnom da bi se od HFCS-42 dobio HFCS-55), čiji je sastav čak 90% fruktoza i 10% glukoza (Weingarten, 2008.). I dok je slatkoća glukoze otprilike 62% slatkoće stolnog šećera (saharoze, tj. disaharida fruktoze i glukoze), relativna slatkoća sirupa HFCS-55 je podjednaka saharozi. Slijedom toga je HFCS-90 slađi od saharoze, dok je HFCS-42 manje sladak (Ensymm 2010.). Neka od svojstava visokofruktoznog sirupa koja se navodi kao prednost naspram stolnog šećera: kontrolira kristalizaciju i mikrobnog rast bolje od saharoze, čuva teksturu proizvoda, stabilan pri promjenama u temperaturi i kiselosti, niža točka smrzavanja (što pomaže pri miješanju sa smrznutim koncentratima), spremniji za fermentaciju od saharoze, te sama činjenica da je tekućina, čime je praktičniji za miješanje s drugim sastojcima.

## **4. LITERATURA**

Borges da Silva E., Ulson de Souza A., Rodrigues: *Analysis of the high-fructose syrup production using reactive SMB technology*, Chemical Engineering Journal 118, 2006.

<http://www.docin.com/>

Cavette C.: *How products are made – Corn Syrup*, 2009.

<http://www.madehow.com/>

Considine, D. M.: *Foods and Food Production Encyclopedia*, 1982.

Ensymm UG & Co.KG: *Abstract For High Fructose Syrup Production*, 2010.

<http://www.ensymm.com/>

Grocery Manufacturers Association: *High-Fructose Corn Syrup*, GMA science policy paper, 2008.

<http://www.gmaonline.org/>

Hui, Y.H.: *Encyclopedia of Food Science and Technology*, 1992.

Klibanov A., Visuri K.: *Enzymatic production of high fructose corn syrup (HFCS) containing 55% fructose in aqueous ethanol*, Biotechnology and Bioengineering 30-7, 917–920 str., 1987.

<http://onlinelibrary.wiley.com/>

Krstanović, V.: *Prezentacija Enzimi u prehrambenoj industriji*, 2005.

Matz, S. A.: *The Chemistry and Technology of Cereals as Food and Feed*, 1991.

McGraw-Hill: *Encyclopedia of Science and Technology*, 1997.

Nwosu V.: *High Fructose Corn Syrup – A Biotechnological Product of Biotransformation*, 2012.

[www.vcnwosu.blogspot.com/](http://www.vcnwosu.blogspot.com/)

Porter J.R.: *Bioconversion of Organic Residues for Rural Communities*, 1979.

<http://www.appropedia.org/>

Rolfes S., Whitney E.: *Understanding Nutrition*, 2012.

Theiss E.: *Nutritional maze grows more complicated with high-fructose corn syrup debate*, 2010.

<http://www.cleveland.com/fighting-fat/>

Weingarten H.: *The Secrets of Manufacturing High Fructose Corn Syrup*, 2012.

<http://blog.fooducate.com>

White J. S.: *Straight talk about high-fructose corn syrup: what it is and what it ain't*, The American Journal of Clinical Nutrition, 2008.

<http://ajcn.nutrition.org/>



[en.wikipedia.org](https://en.wikipedia.org) (2014.)

[scribd.com](https://scribd.com) (2014.)

[web.campbell.edu](https://web.campbell.edu) (2014.)

[wiki.ubc.ca](https://wiki.ubc.ca) (2012.)