

Š

ŠEĆERI (saharidi), ugljikohidrati iz skupine monosaharida i disaharida (v. *Ugljikohidrati*), kristalne prirodne tvari slatka okusa. Uz bjelancevine i masti, šećeri i škrob glavni su sastojci ljudske hrane. Važnost je šećera u prehrani u prvom redu u tome što je organizmu potreban kao izvor kemijske energije. Šećeri se u velikim količinama upotrebljavaju u prehrambenoj industriji za proizvodnju slatkiša i čokolade, za preradbu i konzerviranje voća, za proizvodnju likera, zatim u plastičarstvu, kuharstvu i medicini.

Kao i ostali ugljikohidrati, i šećeri su izgrađeni od ugljika, vodika i kisika. Po kemijskoj su naravi karbonilni derivati viševalentnih alkohola. Radikali molekula jednostavnih šećera (monosaharida) strukturne su jedinice svih ugljikohidrata. Međutim, monosaharidi, koji su razmjerno jednostavni kemijski spojevi, relativno su malobrojni. Od šećera industrijsku i komercijalnu važnost imaju samo neki monosaharidi (glukoza i fruktoza) i disaharidi (saharoza, laktoza i maltoza). U ovom se članku opisuju upravo ti šećeri, sirovine za njihovu proizvodnju, njihova proizvodnja i statistički podaci o proizvodnji i potrošnji. Njihov sastav, građa i svojstva bit će opisani posebno (v. *Ugljikohidrati*).

SAHAROZA

Od svih šećera svakako je najvažnija saharoza (obični konzumni šećer, slador). To je najsladši disaharid koji služi kao svakodnevna ljudska hrana, a u običnom govoru i u industrijskoj praksi naziva se šećerom. Saharoza je važna za prehranu, energijska joj je vrijednost velika (16,8 kJ/g), lako se probavlja, nije štetna za normalan, zdrav organizam ako se ne jede duže vremena u prevelikoj količini, ima ugodan sladak okus koji se dobro kombinira s drugim okusima (npr. s kiselim okusom voća, gorkim okusima čokolade i kave), u velikim koncentracijama djeluje konzervantno (zbog velikog osmotskog tlaka svojih otopina). Ubrzava tvorbu pektinskih gelova.

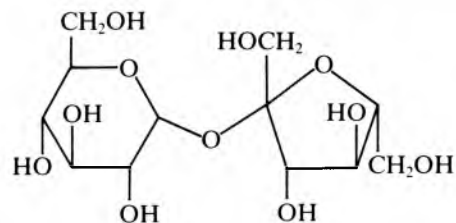
Prva sirovina za dobivanje šećera bila je šećerna trska. Vjerojatno potječe iz Nove Gvineje, a odatle je prenesena u istočnu Aziju i Indiju. Oko 640. godine Arapi su, preko Arabije i Perzije, prenijeli šećernu trsku iz Indije u Egipat. Poslije je, oko 400. godine, iz Indije prenesena i u Kinu. Izolacija je šećera iz šećerne trske bila poznata već oko 300. godine.

Vjeruje se da je Kolumbo prilikom svoga drugog putovanja prenio šećernu trsku na Haiti, a kolonijalne su sile proširile uzgoj i preradbu šećerne trske u sirovi šećer i u druga područja tropskog pojasa. Odatle se sirovi šećer dopremao u Evropu i preradio u rafinerijama u lučkim gradovima. Jedna je takva rafinerija podignuta 1752. u Rijeci.

Njemački je kemičar A. S. Marggraf objavio 1747. da se i u soku korijena divlje morske blitve (*Beta maritima* L.) nalazi isti šećer kao i u šećernoj trski. Od divlje blitve uzgojene su šećerna i krmna repa, cikla i vrtna blitva, pa je 1802. godine F. C. Achard podigao u Šleskoj prvu tvornicu za proizvodnju šećera iz repe. Blokada kontinenta za vrijeme Napoleonovih ratova dala je toliko snažan poticaj toj proizvodnji da je već 1813. u Evropi radilo više od 300 malih tvornica koje su proizvodile sirovi šećer iz repe, a on se zatim rafinirao u rafinerijama tršćanog šećera. Već tijekom prošlog stoljeća proizvod-

nja šećera iz repe razvila se u veliku industriju, a nastavila je rasti i dalje, tako da je nakon II. svjetskog rata činila ~40% od ukupne svjetske proizvodnje šećera. Istodobno s razvojem te proizvodnje razvijala se i selekcija novih sorti šećerne repe. Uzgojene su sorte koje uz velike prinose (~50 t/ha) imaju i velik udio šećera (18...20%).

Saharoza je po svojoj kemijskoj građi disaharid, α -D-glukopiranozil- β -D-fruktofuranozid. Sastoji se, dakle, od po jednog radikala molekula D-glukoze i D-fruktoze, koji su atomom kisika međusobno povezani glikozidnom vezom:



α -D-glukopiranozil- β -D-fruktofuranozid
Saharoza

Saharoza kristalizira u monoklinskim prizmama gustoće 1,589 g/cm³. Dobro je topljiva u vodi (tabl. 1). Međutim, za proizvodnju šećera važna je njena topljivost u otopinama s drugim tvarima, koja dosta odstupa od topljivosti u čistoj vodi. Za proizvodnju je šećera također vrlo važna i viskoznost njegovih otopina. Šećer lako kristalizira iz prezasićenih otopina, što je povoljno pri njegovoj proizvodnji.

Tablica 1
TOPLJIVOST SAHAROZE U VODI
(prema G. Vavrinetzu)

Temperatura °C	Maseni udio saharoze %	Maseni omjer, dijelovi saharoze na dio vode
10	65,43	1,893
20	66,72	2,005
30	68,29	2,154
40	70,10	2,345
50	72,12	2,586
60	74,26	2,886
70	76,48	3,222
80	78,68	3,690
90	80,77	4,200

Zagrijavanjem na više temperature saharoza se, kao i većina šećera, termički razgrađuje, pri čemu nastaju degradacijski proizvodi smeđe boje (karamelizacija). Pri 160 °C saharoza se najprije rastali, a zatim skrutne u staklastu masu, tzv. *ječmeni slador*. Ugrijava dalje i do 210 °C otpušta vodu, posmeda i prelazi u *karamel*, staklastu, smeđercvenu tvar ugodna mirisa, lako topljivu u vodi. Daljim zagrijavanjem karamel prelazi u šećerni ugljen. S ionima alkalijskih i

zemnoalkalijskih metala sahara reagira kao slaba kiselina dajući saharate. Hidrolizom molekule sahara u nazočnosti kiseline ili enzima oslobađaju se molekula glukoze i molekula fruktoze. Saharozu pozitivno zakreće ravninu polarizirane svjetlosti ($[\alpha]_D^{20} = 66,53$). Smjer zakretanja za vrijeme hidrolize kontinuirano se mijenja zbog negativnog zakretanja fruktoze. Zbog promjene smjera zakretanja taj se proces naziva inverzijom, a njena brzina ovisi o temperaturi i koncentraciji vodikovih iona u otopini. Tako dobivena smjesa glukoze i fruktoze naziva se *invertnim šećerom*. Sladak je otprilike kao sahara, a mnogo teže kristalizira.

Sirovine za proizvodnju šećera. Osnovne su sirovine šećerna repa i šećerna trska, a male se količine dobivaju i iz nekih javora, šećernog prosa, palmi i datulja. Danas se u svijetu oko 2/3 proizvedene količine šećera dobiva iz trske, a 1/3 iz repe. Trska se uzgaja u tropskim predjelima, dok repa uspijeva u umjerenom pojasu i uzgaja se u cijeloj Evropi, osim u južnoj Španjolskoj. Proizvodnja šećera iz tih sirovina sastoji se od separacijskih operacija koje služe za pripremu i čišćenje sirovog soka i od izdvajanja šećera iz soka.

Šećerna trska (Saccharum officinarum L.) višegodišnja je biljka iz roda *Saccharum* iz porodice trava (*Gramineae*). Ima jak korijen. Stablo joj naraste do visine od ~5 m i debljine do 5 cm. Boja mu je žuta, ljubičasta, crna ili crvenkasta.

Šećerna se trska u uzgoju razmnožava sadnjom reznica stabla u studenom ili prosincu, obično u plodoredu (npr. u Indiji i Burmi poslije sezama, riže, zelenih leguminoza; prinosi su monokulturnog uzgoja šećerne trske maleni). Iz koljenaka zasađenih reznica šećerne trske niču pupoljci, pa uz dovoljno vlage i uz prikladne agrotehničke mjere trska sazrijeva za preradbu za oko godinu dana od sadnje, jer joj u prosincu sljedeće godine ili u siječnju druge godine nakon sadnje udio sahara doseže maksimum, pa je to i najpovoljnije doba za njenu sječu. Posječena se stabla šećerne trske čiste od lišća i otpremaju za preradbu. Proizvod suvremene mehanizirane žetve šećerne trske toliko je zaprljan da se mora prati već na plantažama.

Glavni su proizvođači šećerne trske Indija, Kuba, Portoriko i Brazil. Od evropskih zemalja samo je Španjolska proizvođač šećerne trske, i to u malim količinama. Otpaci od poljoprivredne proizvodnje šećerne trske upotrebljavaju se za stočnu hranu.

Šećerna repa (Beta vulgaris saccharifera) dvogodišnja je biljka. U prvoj joj se godini iz sjemena razvija korijen i lišće, a u drugoj iz korijena stablo s cvatom, plodom i sjemenom. U uzgoju se obično razmnožava sijanjem, ali se može razmnožavati i sadnjom. U našim se krajevima sije od sredine ožujka do sredine travnja.

Za proizvodnju repinog šećera upotrebljava se korijen jednogodišnjih biljaka. Izgrađen je od raznih vrsta staničnog tkiva, najviše parenhimnog (do 75%), u kojemu se deponirala sahara. (Ona služi biljci kao rezervna hrana.) U prosjeku korijen repe sadrži 23,6% suhe tvari (16,5% šećera, 5% netopljive srži, a ostalo čine dušični i drugi spojevi, te anorganske tvari). Vegetacijsko razdoblje razvoja korijenja šećerne repe do zrelosti za preradbu traje 140-180 dana. (Dvogodišnje se biljke uzgajaju za proizvodnju sjemena.) Vadenje šećerne repe za preradbu traje najviše 60 dana. Glavni činioci prinosa i kakvoće šećerne repe jesu: njena sorta, klimatski uvjeti i agrotehničke mjere pri uzgoju, te svojstva zemljišta na njenim plantažama. Najvažnije agrotehničke mjere uzgoja šećerne repe jesu: priprema zemljišta, vrijeme sjetve i formiranje povoljnog *sklopa biljaka* (njihova broja na nekom zemljištu), prikladna gnojdba i zaštita od korova, bolesti i štetočina.

Morfološki se na korijenu šećerne repe razlikuje glava, vrat i tijelo. Glava mu je nad zemljom i iz nje raste lišće. Ona se pri vadenju repe iz zemlje odsijeca, pa se zajedno s lišćem upotrebljava kao stočna hrana. Skoro se uvijek tvornice za proizvodnju šećera iz repe grade tolikog kapaciteta da im trajanje cijele preradbe godišnjeg uroda (kampanja) bude duže od trajanja vadenja, pa se jedan dio korijenja mora neko vrijeme skladištiti. (Uzima se da je optimalno

trajanje kampanje ~90 dana. Ponegdje se u SAD kapacitetima tvornica za proizvodnju šećera iz repe ekonomizira tako da se u područjima uzgoja repe grade tvornice s postrojenjima za dobivanje koncentriranoga šećernog sirupa, koji se ne kviri, kapaciteta dovoljnog da se kampanja završi kad i vadenje, te s postrojenjima za dobivanje šećera iz tog sirupa kojima je kapacitet tolik da proizvodnja teče stalno. Tada repu nije potrebno skladištiti.)

Pri skladištenju treba u prvom redu spriječiti gubitak šećera biološkim procesima, tzv. *disanjem korijena*. Budući da intenzitet toga disanja raste s temperaturom, korijenje se šećerne repe za vrijeme skladištenja hladi propuhivanjem zraka kroz sloj u koji je složeno.

Kakvoća se šećerne repe ocjenjuje raznim pokazateljima, u prvom redu udjelom šećera, udjelom reduktivnih šećera, udjelom dušičnih organskih tvari (*N-supstancija*), udjelom mineralnih tvari (na osnovi količine pepela dobivenog spaljivanjem) te udjelom šećera u ukupnoj suhoj tvari (tzv. *koeficijentom čistoće*).

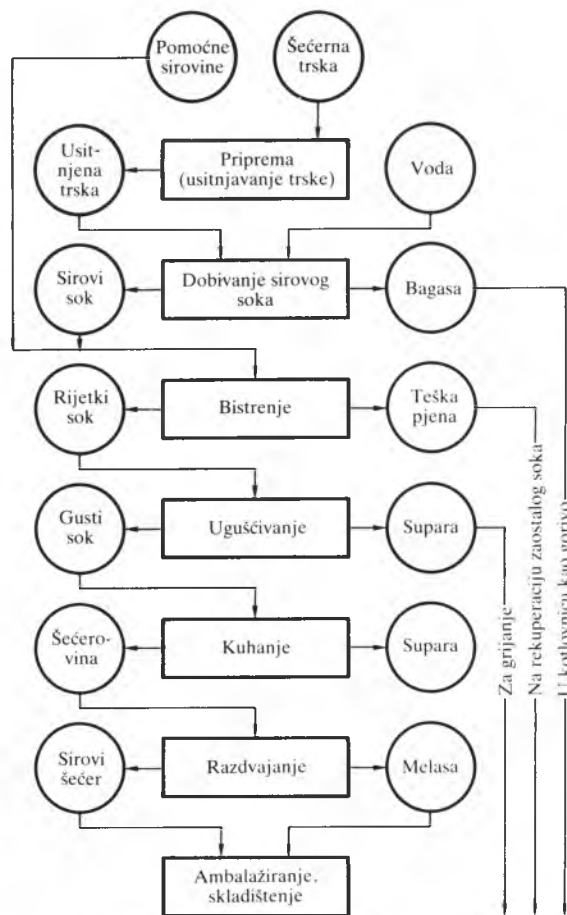
Z. Gerić

PROIZVODNJA ŠEĆERA IZ ŠEĆERNE TRSKE

Suvremeni se procesi proizvodnje šećera iz trske dijele na proizvodnju u užem smislu (pod tim se razumijeva proizvodnja sirovog šećera) i na rafinaciju. Ta su dva dijela proizvodnje šećera i danas često na odvojenim lokacijama.

Dobivanje sirovog šećera

Operacije dobivanja sirovog šećera iz trske mogu se svrstati u nekoliko procesnih faza; to su: priprema sirovine, dobivanje *sirovog soka*, njegovo čišćenje, čime se dobiva *rijetki sok*, koncentriranje (ugušćivanje) rijetkog soka u sirup (*gusti sok*), kristalizacija, tj. dobivanje *šećerovine* (sladorače), smjese kristala šećera i ostatka matičnog luga šećera (*melasa*),



Sl. 1. Shema proizvodnje sirovog šećera iz šećerne trske

daljim koncentriranjem (tzv. kuhanjem), razdvajanje šećerovine i skladišne operacije (sl. 1). Za vođenje proizvodnje šećera općenito je vrlo važna bilanca materijala.

Priprema sirovine. Budući da se pri mehaniziranoj žetvi trska mora prati već na plantažama, priprema sirovine zapravo počinje prije nego što ona dospije u šećeranu. Pranje trske na plantažama je skupo jer povećava troškove proizvodnje, a i zbog neizbježnih gubitaka šećera (1,5% od šećera prisutnog u sirovini prije pranja).

Priprema šećerne trske za preradbu obuhvaća dvije operacije sitnjenja, koje se, kao i dobivanje soka, danas vode kontinuirano. One se razlikuju prema operacijama kojima se dobiva sirovi sok. Ako je to isprešavanje (tiještenje), trska se sitni komadanjem, rezanjem i drobljenjem. Obično se trska prvo sitni s dva različita valjka s noževima. Valjci se nalaze u zatvorenom koritu za hranjenje postrojenja i jedan su od drugoga dosta udaljeni. Za drobljenje se upotrebljavaju ili drobilice s valjcima s dosta razmaknutim zupcima ili kidalice. Ti strojevi dalje sitne trsku bez pretjeranog isprešavanja soka. Za dobivanje sirovog soka luženjem sirovina se sitni drobljenjem, kidanjem ili mljevenjem (obično čekićarima).

Dobivanje sirovog soka. Za dobivanje sirovog soka iz šećerne trske još se upotrebljava i stariji postupak isprešavanja (u praksi zvan mljevenjem), ali se primjena novijeg postupka luženjem (u praksi zvanog difuzijom) sve brže širi (v. *Isprešavanje*, TE 6, str. 573; v. *Luženje*, TE 7, str. 572).

Za dobivanje sirovog soka isprešavanjem (sl. 2) upotrebljavaju se baterije trovaljčanih mlinova (tzv. *tandemi* ili *trenovi*). Ti mlinovi imaju masivna kućišta u koja su zatvoreni njihovi valjci, razmješteni u trokut (dva dolje, jedan gore), s plaštevima na kojima su žljebovi za vođenje soka u korita pod baterijom. Broj mlinova u tim baterijama varira od 3 do 5. Unutar tih baterija čvrsti se procesni materijal giblje od

mlina do mlina kroz široka zatvorena korita pod utjecajem rada valjaka. Za poboljšanje iscrpka šećera i povećanje njegove koncentracije u sirovom se soku cirkulacija kapljevite procesne faze u tim baterijama vodi približno protustrujno od cirkulacije čvrste procesne faze. Tako se u prikazanom primjeru, osim procesnim materijalom, preposljednji mlin hrani još i vodom, a sok koji se u njemu dobiva recirkulira se u drugi mlin. Sok koji se dobiva posljednjim mljevenjem recirkulira se u prvi mlin. Sirovi sok za dalju preradbu nastaje miješanjem sokova od prvoga i drugog mljevenja. Ostatak od mljevenja (*bagasa*) obično se upotrebljava za gorivo u tvorničkoj kotlovnici.

Od postrojenja za dobivanje rijetkog soka *luženjem* najprije su se (nakon prvoga svjetskog rata) upotrebljavale difuzijske baterije (v. *Luženje*, TE 7, str. 577, 578). Međutim, danas se za to isključivo upotrebljavaju kontinuirani ekstraktori (tzv. *difuzeri*). To su perkolacijski ekstraktori s beskrajnom trakom ili karuselni (v. *Luženje*, TE 7, str. 578, 579). Ispred mjesta na kojem se hrane sirovinom oni imaju registarske vage. Radne im temperature variraju unutar 65...75 °C. Toplina potrebna za postizanje tih temperatura dovodi se procesnom sustavu vodom koja služi kao ekstrahent i za tu se svrhu grije u izmjenjivačima topline. Sirovi sok koji se dobiva tim postupkom sadrži ~15% šećera. Obično se naziva *difuzijskim sokom*.

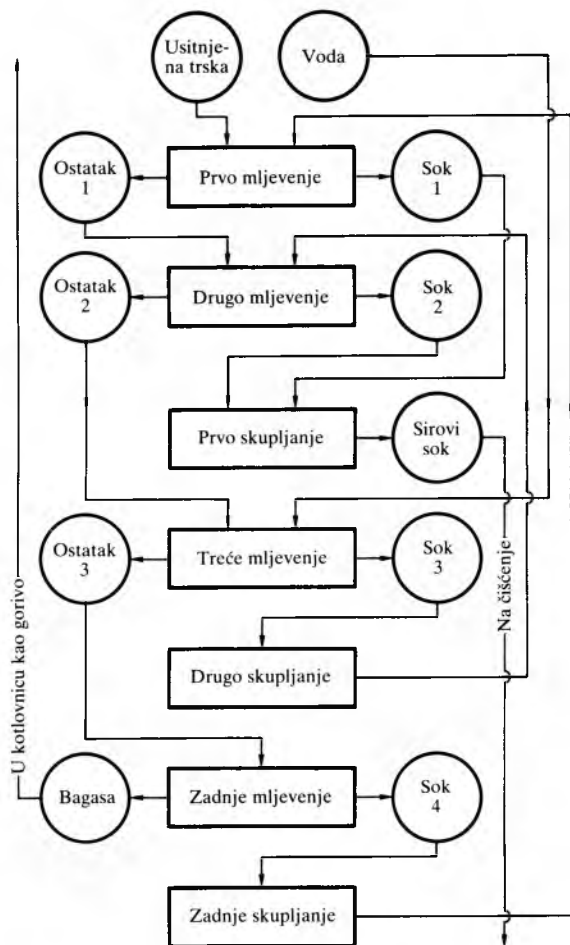
Prednosti su dobivanja soka luženjem što ono omogućuje postizanje većeg iscrpka šećera (karuselnim ekstraktorima obično više od 97% od prisutnog u sirovini), veću čistoću, a time i jednostavnije čišćenje soka, te što su gubici šećera zbog djelovanja bakterija manji (zbog viših procesnih temperatura), a manji su i troškovi proizvodnje. Najveći je nedostatak toga postupka što se njime dobiva bagasa previše mokra da bi se mogla izravno spaljivati, pa je prije treba sušiti.

Čišćenje sirovog soka zapravo je izdvajanje nekih koloida i inertnih tvari iz njega. Osnovni mehanizam pri tome je flokulacija koloida s inkluzijom inerta u flokulama. Postiže se kombinacijom vrlo blagog alkaliziranja (obično vapnenim mlijekom do vrijednosti pH u blizini neutralnog područja), grijanja i taloženja nekim redosljedom koji nije uvijek isti.

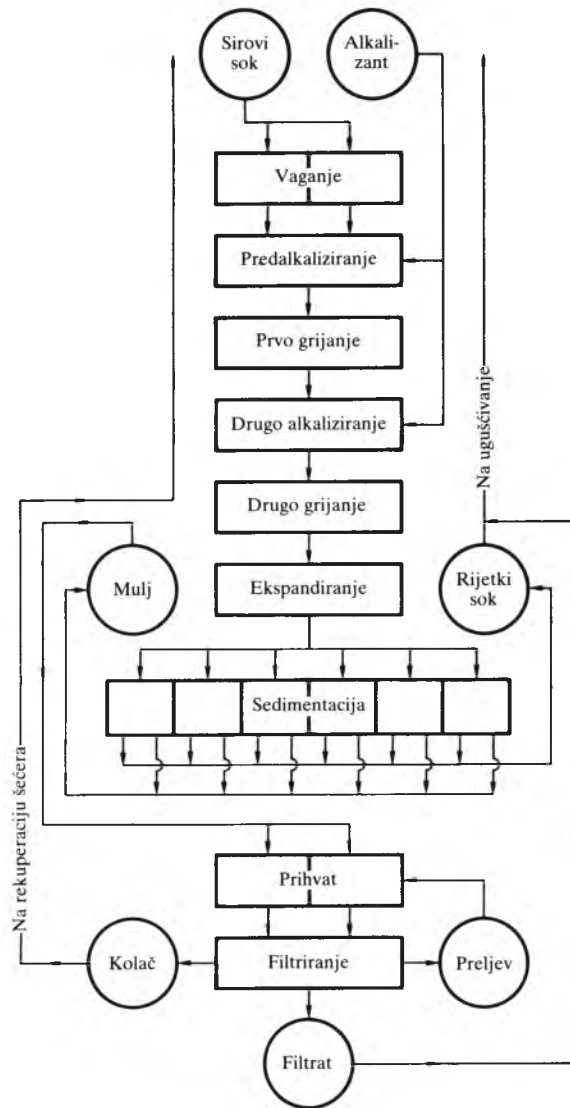
Blagi uvjeti alkaliziranja pri bistrenju sirovog soka prije svega su diktirani time što mu je udio invertnog šećera velik (5...10%, računano na bazi saharoze), pa bi njegovo razaranje bilo neekonomično.

Nekoć se nakon alkaliziranja brzo grijalo, obično do vrelišta. Danas za to postoje različiti postupci. Jedan od tih koji je izrađen za postizanje boljih učinaka jest postupak dvostupanjskim alkaliziranjem (sl. 3). Postupak počinje vaganjem sirovog soka. Na to slijedi predalkaliziranje vapnenim mlijekom do pH ~6,3 u otvorenom tanku. Tako alkalizirani sok tlačí se crpkom kroz izmjenjivač topline za prvo grijanje (obično na 95...100 °C). Ugrijani alkalizirani sok što istječe iz tog izmjenjivača prihvaća se u drugi, otvoreni kotao, gdje se dalje alkalizira (do pH ~7,5). Odatle se također crpkom tlačí kroz drugi izmjenjivač, gdje se grije obično na temperature više od 100 °C i zbog toga pod tlakom. Budući da se taloženje (bistrenje u užem smislu) u tom postupku vodi sedimentacijom (v. *Sedimentacija*), sok se što istječe iz tog izmjenjivača mora prethodno ekspandirati. Za to služi posuda s dimnjakom za odvod pare koja se pritom razvija. Sedimentacija se vrši baterijom od šest taložnika najjednostavnije konstrukcije (otvorenih kotlova), dimenzioniranih tako da se proces u jednom taložniku uvijek može završiti prije nego što se zaposjednu svi ostali. Iz taložnika u kojem je sedimentacija dovršena dekantira se rijetki sok, pa se odmah vodi na ugušćivanje, a mulj se prihvaća u jedan od rezervoara koji služe kao prihvatne posude prije filtriranja. To se radi filtrom s bubnjem (v. *Filtracija*, TE 5, str. 389). Preljev iz korita filtra vraća se u jednu od prihvatnih posuda. Filtarski kolač koji se skida s bubnja upućuje se na rekuperaciju šećera.

Rekuperacija šećera iz tog kolača obuhvaća razrjeđivanje vodom, a zatim preradbu, u osnovi jednaku čišćenju. Međutim, sok koji se dobiva tom rekuperacijom obično je



Sl. 2. Shema dobivanja sirovog soka u proizvodnji šećera iz trske jednim od postupaka četverostupanjskog tiještenja



Sl. 3. Proizvodnja šećera iz trske, postupak čišćenja sirovoga rijetkog soka dvostupanjskim alkaliziranjem

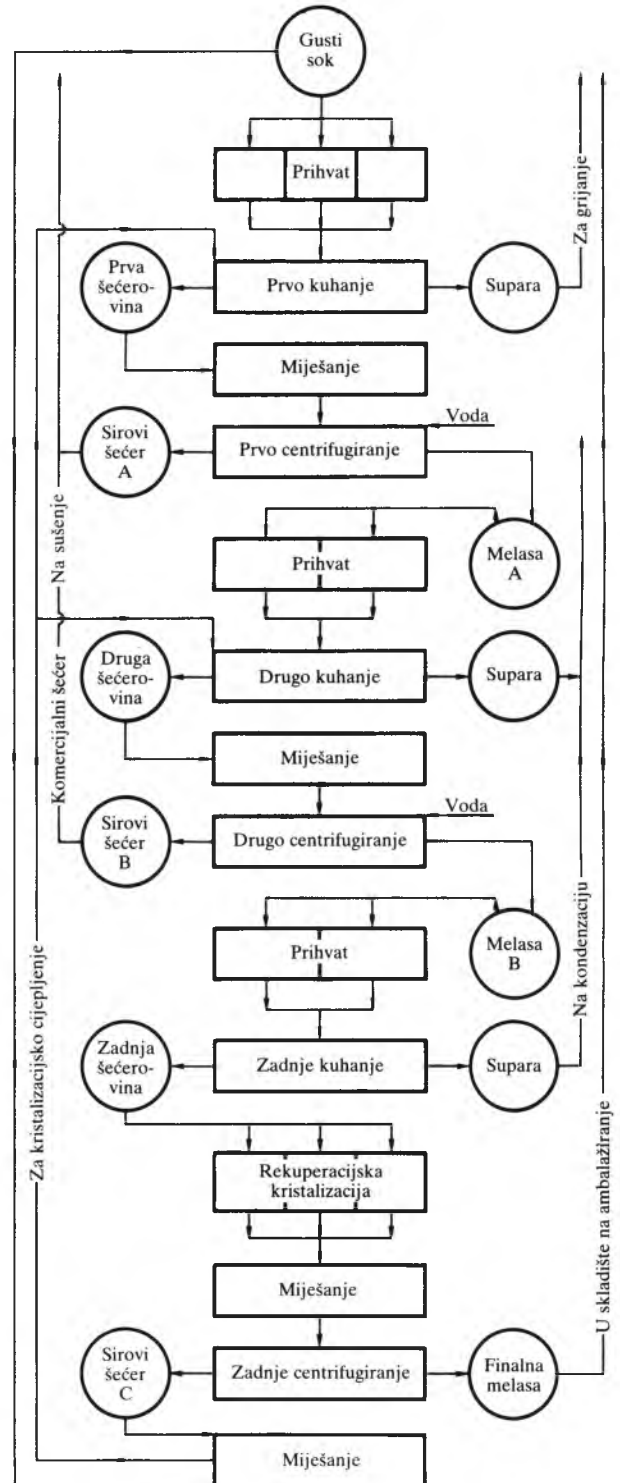
još premutan za izravno ugušćivanje, pa se vraća na čišćenje zajedno sa sirovim sokom. Mulj što se izvodi iz tih taložnika ponovno se razrjeđuje i opet filtrira. Filtrat nakon te operacije dovoljno je bistar, pa se spaja s glavnom strujom rijetkog soka, a kolač se tretira kao koristan sporedni proizvod (obično se upotrebljava kao gnojivo).

Ponegdje se učinak alkaliziranja sirovog soka poboljšava dodavanjem elektrolita (u prvom redu fosfata) alkalizantu. Često se, umjesto vapnenog mlijeka, kao alkalizant upotrebljava magnezij-hidroksid. Time se izbjegava inkrustiranje ogrjevnih površina kamencem, što u procesu s vapnenim mlijekom postepeno smanjuje prijenos topline, a time i učinak isparivača za koncentriranje. Međutim, klarifikacijski su učinci alkalizanta na bazi magnezij-hidroksida slabiji. Ponegdje se, osobito u tvornicama koje proizvode sirovi šećer za izravnu potrošnju, alkalizant za podešavanje pH modificira i natrij-karbonatom.

Uz navedene, brojne su i aparturne varijacije postrojenja za čišćenje sirovog soka. Tako se umjesto jednostavnih taložnika za to upotrebljavaju klarifikatori, a umjesto filtara s bubnjevima i filterske preše.

Ugušćivanje rijetkog soka potrebno je za koncentriranje, i to od manje od 20% na više od 60% šećera u soku. Time se dobiva sirup (gusti sok). Ugušćuje se u baterijama (isparivačkim stanicama) sa 2-6 isparivača, obično s okomitim kratkim cijevima i uzlažećim filmom (v. *Isparivanje*, TE 6, str. 540), uz odsisavanje potrebno za rad pod sniženim

tlakom. Ti su isparivači međusobno spregnuti tako da sok cirkulira od jednoga do drugog. Prvi se grije parom, a ostali suparama od prethodnih. Prvi radi s nadtlakom, a ostali s podtlakom, što se obično stvara pomoću termokompresije parnim ejektorom na odušku posljednjeg isparivača i barometrijskim kondenzatorom. (Isparivači moraju imati vakuumske crpke za povremeno odsisavanje nekondenzabilnih plinova što se s vremenom nakupljaju u parnom prostoru, dospijevajući u njega kroz spojeve dijelova aparature i unošenjem sa sokom.) Tako se, npr., u nekim četverostupanjskim isparivačkim stanicama za ugušćivanje rijetkog soka održava režim u kojem se u prvom isparivaču proces vodi na ~105 °C pod



Sl. 4. Shema jednog od trostupanjskih postupaka kuhanja i izdvajanja šećera iz sirupa pri proizvodnji iz trske

~110 kPa, u drugom na ~96 °C pod ~87 kPa, u trećem na ~82 °C pod ~50 kPa, a u četvrtom na ~52 °C pod ~20 kPa.

Kuhanje gustog soka također se vrši u baterijama isparivača. Za razliku od ugušćivanja pri dobivanju sirupa, za kuhanje je nuždan intermitentan proces, jer zahtijeva razdvajanje šećera od melase (sirupa) iz njihove smjese (šećerovine) ne samo na kraju nego i u svakom pojedinom isparivaču prije nego što se nastavi kuhanje u sljedećem isparivaču (sl. 4).

I isparivači za kuhanje obično su s kratkim cijevima. Nekima je tijelo iznad cijevi prošireno. Osim njih, upotrebljavaju se još i isparivači s impelerima za usmjeravanje strujanja u sredini prema dolje, jer se time postiže povoljnija cirkulacija materijala za vrijeme procesiranja.

Radni ciklus isparivača za kuhanje počinje hranjenjem procesnim materijalom (prvog isparivača sirupom, ostalih melasom) uz odsisavanje. Grijati se počne kad površina materijala u aparatu dosegne potrebnu razinu. Zatim se režim hranjenja, procesne temperature i podtlaka isparivača održava takvim da se pri kraju radnog ciklusa dobiva količina šećerovine koja približno odgovara predviđenom maksimalnom punjenju aparata, s time da su dimenzije kristala šećera onakve kakve se zahtijevaju za komercijalni proizvod. Razvoj kristala u tom procesu inicira se cijepljenjem sitnozrnatim kristalnim jezgrama šećera koji se dobiva iz zadnje šećerovine kad je lug u isparivaču u metastabilnom stanju (unutar područja omeđenog linijama stupnja prezasićenosti 1,0 i 1,2, kako je prikazano na sl. 5). Pri dobrom vođenju kuhanja dobivena šećerovina sadrži ~50% šećera u čvrstoj fazi, a ostatak u kapljevitj. Za takvo je kuhanje potrebno iskustvo zaposlenog osoblja. Na osnovi uzoraka što se uzimaju iz uređaja za to ugrađenog na plaštu isparivača ocjenjuje se da li kuhanje teče prema predviđanjima i kakve mjere treba eventualno poduzeti da se uspostavi takav tok. Radni ciklus isparivača za kuhanje završava prekidom grijanja i odsisavanja, te ispuštanjem šećerovine.

Za tamponske posude između kontinuiranog postrojenja za ugušćivanje i intermitentne isparivačke stanice postrojenja za kuhanje služe prihvatni rezervoari (u prikazanom primjeru po tri za zalihi sirupa, iz kojih se hrani prvi isparivač, i po dva za zalihe melase I i II, iz kojih se hrane drugi i zadnji isparivač).

Postupci kuhanja razlikuju se prema broju aparata u isparivačkoj stanici, karakteristikama sirovina što se prerađuju

i prema zahtjevima za kakvoću proizvoda. Osim trostupanjskog postupka, upotrebljavaju se i dvostupanjski i četverostupanjski postupci kuhanja.

Budući da je kristalizacija općenito to sporija što je matični lug manje čist, za potpun rast kristala šećera A, B i C potrebno je različito dugo vrijeme, pa su prema tome i radni ciklusi isparivača za kuhanje kraći ili duži, ili se za kristalizaciju upotrebljavaju još i posebni, tzv. *rekuperacijski kristalizatori*. Isparivači za produženu kristalizaciju obično su aparati s prinudnom cirkulacijom. U njima se nakon kuhanja obustavlja grijanje, a cirkulacija se održava mehanički dok kristali ne narastu koliko je potrebno. Rekuperacijski kristalizatori obično su cilindrične posude, koje u procesu služe ujedno i za tamponiranje između isparivačke stanice i postrojenja za izdvajanje šećera. Njihov se broj i dimenzije određuju prema količinama šećerovine što se ispuštaju iz isparivača, prema radnom taktu postrojenja i vremenu potrebnom za zadržavanje šećerovine u njima. Posljednje može dosta varirati. Tako je, npr., u jednom četverostupanjskom procesu ono 6...8 h u prvom kuhanju, 12...16 h u drugom, 30...36 h u trećem i do 72 h u četvrtom kuhanju.

Ipak, rekuperacijska se kristalizacija najčešće primjenjuje samo iza zadnjeg isparivanja, s tri kristalizatora. Iza prethodna dva kuhanja šećerovina se obično ispušta iz isparivača u miješalice koje služe kao tamponske posude između isparivača i aparature za izdvajanje šećera te za sprečavanje sedimentacije šećera, koja bi uzrokovala smetnje prije razdvajanja.

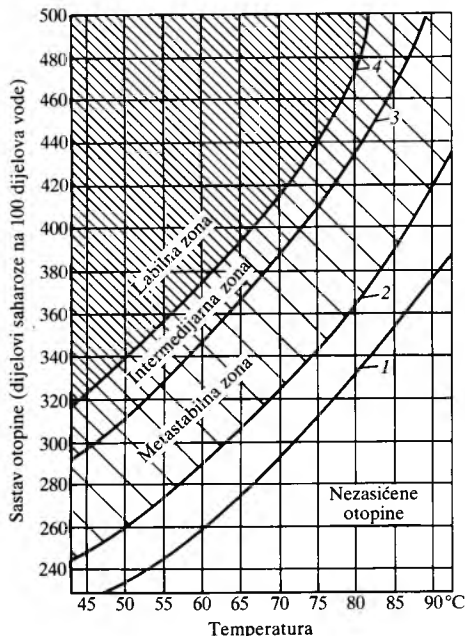
Razdvajanje šećerovine osniva se na centrifugiranju (v. *Centrifugiranje*, TE 2, str. 590). Za to se upotrebljavaju različite centrifuge, diskontinuirane i kontinuirane. U razdvajanju vrlo nečiste šećerovine preradbeni učinak jedne kontinuirane centrifuge može biti jednak učinku triju diskontinuiranih centrifuga. Međutim, u razdvajanju čiste šećerovine taj se omjer mnogo ne razlikuje od 1:1, a šećer izdvojen diskontinuiranim centrifugama bolje je kakvoće. Glavne su prednosti primjene kontinuiranih centrifuga niži investicijski troškovi i troškovi održavanja, te što one mogu uspješno razdvajati i šećerovine koje uz kristale željenih dimenzija sadrže još i vrlo fine kristale (to nije moguće činiti na zadovoljavajući način diskontinuiranim centrifugama).

Radi skidanja naslage melase kojom su još obloženi kristali šećera šećerovina se centrifugira obično uz ispiranje vodom, a ponekad parom na kraju radnog ciklusa. Time se nešto šećera vraća ponovo u proces, ali mu se zato poboljšava kakvoća. U proizvodnji sirovog šećera za rafinaciju ne smije se pretjerati s ispiranjem. Ostavlja se tanka naslaga melase da štiti šećer od štetnih djelovanja. Ispiranje također poskupljuje proizvodnju, jer oprani izdvojeni šećer valja jače sušiti (v. *Sušenje*).

Vlažnost šećera, o čemu najviše ovisi njegova postojanost, običava se prikazivati tzv. *faktorom sigurnosti* (udjelom vode u nesaharoznim sastojcima šećera). Obično se uzima da taj faktor ne smije biti veći od 0,25. Ponegdje se dopušta da bude i do 0,3. Dakako, zadnji se šećer ne ispir, jer bi to imalo za posljednju nepotrebne gubitke šećera sa zadnjom melasom.

Skladištenje i transport sirovog šećera. Nekoć se sirovi kristalni šećer prije skladištenja stavljao u vreće, ali se danas skladišti i transportira rasuto, jer su opasnost od požara i posljedice od gašenja požara u skladištima šećera u vrećama mnogo veće. Skladišta sirovog šećera moraju biti suha i dobro ventilirana. U njima se šećer slaže u duge hrpe visoke do 10 m. U skladištima se sirovi šećer transportira beskrajnim trakama.

Sporadni produkti proizvodnje sirovog šećera. U dobro vođenoj proizvodnji sirovog šećera iz trske bagasa je ne samo dovoljna za proizvodnju pare nego ostaje i kao višak. Taj se višak može upotrijebiti za proizvodnju električne energije i kao sirovina za različite svrhe, npr. za proizvodnju ljepečke, polimernih materijala i furfurala. Glatka i sjajna pokožica šećerne trske tvrdi je vosak koji se može upotrijebiti jednako kao i drugi kvalitetni biljni voskovi (v. *Voskovi*). Može se rekuperirati iz otpadnog mulja šećerane i rafinirati. Najvažniji sporedni proizvod pri dobivanju šećera iz trske jest melasa.



Sl. 5. Ovisnost stupnja zasićenosti vodenih otopina saharoze o temperaturi. 1 linija stupnja zasićenosti 0,9 (nezasićena otopina), 2 linija stupnja zasićenosti 1,0 (zasićena otopina), 3 linija stupnja prezasićenosti 1,2, 4 linija stupnja prezasićenosti 1,3

Prije se mnogo upotrebljavala kao sirovina za proizvodnju ruma i općenito za proizvodnju alkohola, ali ju je odatle istisnula proizvodnja sintetskog etanola. Danas se melasa najviše upotrebljava kao sirovina za proizvodnju stočne hrane.

Rafinacija sirovog šećera iz trske

Sirovi se šećer rafinira postupcima (sl. 6) kojima je većina osnovnih procesnih faza jednaka ili vrlo slična osnovnim procesnim fazama njegove proizvodnje. Ti postupci obuhvaćaju afinaciju, otapanje, čišćenje, dekoloriranje, kristalizaciju, izdvajanje, te neke pomoćne operacije.

Afinacija. Pod afinacijom se razumijeva odvajanje posljednjeg sloja melase s kristala sirovog šećera. Za tu se svrhu najprije od sirovog šećera miješanjem s toplim sirupom od ispiranja u sljedećoj, glavnoj fazi afinacije priredi tzv. *umjetna šećerovina*. Time se sloj melase na kristalima ovlaži pa se dobiva poluproizvod koji se može dalje procesirati afinacijom u užem smislu. Posljednje je centrifugiranje, obično diskontinuiranim centrifugama. Njime se najprije odvaja sirup s melasom otopljenom s kristala šećera, koji se dalje prerađuje filtriranjem i zasebnom kristalizacijom. Zatim se sloj šećera u centrifugama ispire toplom vodom, a dobiveni sirup

recirkulira kako je već navedeno. Za učinak rafinacije šećera afinacija je njena najvažnija operacija. Njome se dobiva šećer koeficijenta čistoće ~98.

Otapanje afinata. Za daljnje čišćenje afinat se mora otopiti. Kao otapala pri tom se upotrebljavaju tzv. *slatke vode* (razrijeđene otopine šećera koje se dobivaju kao efluent od nekih kasnijih, osobito rekuperacijskih operacija rafinacije). Da se ograniči recirkulacija tvari koje treba ukloniti iz šećera, slatke vode ne smiju sadržavati toliko nešećernih tvari da bi to smanjilo čistoću šećera postignuta afinacijom. Taj uvjet zadovoljavaju slatke vode dobivene nakon rekuperacije iz mulja od bistenja, od ispiranja šećerne prašine od sušenja, ali ne i slatke vode od regeneracije adsorbenta.

Tako dobivena otopina grubo se filtrira na sitima, pa joj se podešava koncentracija (također slatkom vodom ili samo običnom vodom) i ponovno se filtrira na sitima te se upućuje na čišćenje.

Čišćenje otopine afinata najprije se obavljalo tlačnom filtracijom na inertnim pomoćnim filterskim sredstvima. Nedostaci su tog postupka bili u tome što se njime nije postizao nikakav dekolorantni učinak i što je njegovo vođenje zahtijevalo mnogo ručnog rada. Već su sve rafinerije sirovog šećera iz trske koje su se počele graditi sredinom dvadesetih godina primjenjivale noviji postupak čišćenja fosfatiranjem. Nakon dužeg razdoblja pojavio se i postupak karbonatacijom. Ipak, tlačna se filtracija inertnim pomoćnim sredstvima zadržala kao završna operacija čišćenja novijim postupcima, jer se njome dobiva vrlo bistra otopina šećera.

Čišćenje fosfatiranjem obuhvaća obradu otopine afinata najprije vapnenim mlijekom (suspenzija kalcij-hidroksida u vodi), a zatim fosfatnom kiselinom u nekom reaktoru, te odvajanje tako nastalog flokulata u zasebnom sedimentatoru i, eventualno, još filtriranje. Osnovni mehanizam tog čišćenja jest inkluzija nepoželjnih tvari u čestice kalcij-fosfata koji nastaje reakcijom. U starijoj varijanti postupka sva se kapljevinna koja se dekantirala iz sedimentatora morala filtrirati, što je bilo dugotrajno i povezano s dobivanjem prevelikih količina slatke vode, te je zahtijevalo mnogo rada. Novija varijanta tog postupka jest flotacija (v. *Flotacija*, TE 5, str. 460) pahuljica precipitata okluzijom zraka u klarifikatorima specijaliziranim za vrhjenje pjene. Glavna je prednost te varijante što se njome dobivena izbistrena otopina može izravno dekolorirati.

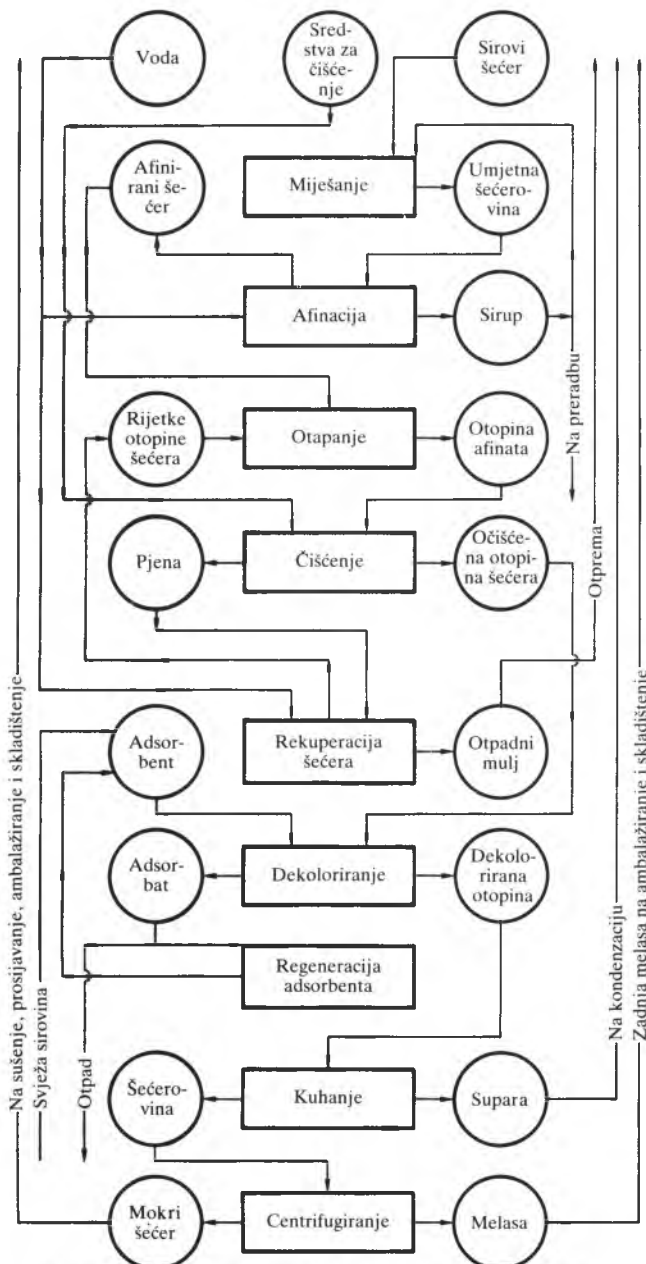
Šećer se mora rekuperirati iz tako dobivene pjene, jer se u njoj nalazi ~5% od njegove količine koja ulazi u klarifikator. Najdjelotvorniji postupci za to zasnivaju se na centrifugiranju. Glavne su prednosti takvih postupaka, u usporedbi s filtracijom, što se njima dobiva manje slatkih voda, što su brži, pa su gubici inverzijom šećera pritom manji, i što zahtijevaju manje ljudskog rada. Nedostaci su im veći investicijski troškovi i troškovi održavanja.

U **čišćenju karbonatacijom** precipitira se kalcij-karbonat uvođenjem karbonatnijskog plina (plin s ~40% ugljik(IV)-oksida, CO₂) u alkaliziranu otopinu, što ima mnoge prednosti. U prvom redu to su velik dekolorantni učinak, malen trošak za pomoćne sirovine i lakše filtriranje karbonatnog precipitata koji se dobiva tim postupkom. Glavni je nedostatak toga postupka što je potrebna filtracija.

Dekoloriranje očišćene otopine šećera zasniva se na adsorpciji (v. *Adsorpcija*, TE 1, str. 1), najbolje koštanim ugljenom kao adsorbentom. Osim košanog ugljena za adsorbent se pritom upotrebljavaju još i aktivni ugljen i smolni izmjenjivači iona.

Ta se adsorpcija najčešće vodi intermitentnim postupcima s nepomičnim slojem adsorbenta. Adsorberi za taj postupak velike su zatvorene uspravne cilindrične posude, s otvorima za punjenje adsorbentom i za odvođenje adsorbata, koje su u unutrašnjosti podijeljene na komore za dovod očišćene otopine, za adsorbent i za prihvatanje dekolirane otopine, kakve su uobičajene za slične adsorpcijske operacije u kapljevitaj fazi.

Radni ciklus tih adsorbentara počinje punjenjem koštanim ugljenom. Kad se to završi, adsorberi se zatvaraju, pa



Sl. 6. Shema jednog od postupaka rafinacije sirovog šećera iz trske

započinje perkolacija očišćenom otopinom. Perkolacija se vodi do granice ekonomičnosti djelovanja šarže adsorbenta. Kad se ona dosegne, prekida se dovod otopine šećera, pa istiskuje njezin ostatak. Nakon toga se izlužuje vrućom vodom, najprije radi rekuperacije šećera. I taj se dio radnog ciklusa adsorbera vodi do granice ekonomičnosti (dok koncentracija šećera u efluentu ne dostigne granicu ispod koje je dalje izluživanje neekonomično). Tada se zatvori odvod slatke vode na preradbu, a efluent se ispušta u kanalizaciju sve dok se iz adsorbata potpuno ne izluži šećer i dok se ne postigne optimum desorpcije vezane anorganske tvari. Perkolacija se zatim obustavi, efluent ocijedi dokraja i isprazni adsorber, pa može početi novi radni ciklus. Isprani se adsorbat upućuje na regeneraciju.

Slatka voda izlužena iz adsorbata pri dekoloriranju šećera sadrži previše nešećernih tvari, pa se ne smije upotrijebiti za otapanje afinata. Zato se upućuje na zasebnu dalju preradbu u proizvod kakvoće sirovog šećera. Taj se šećer zasebno otapa i tako dobivena otopina vraća se na čišćenje zajedno s otopinom afinata.

Danas se smatra da su etažne peći (v. *Reakcijske peći*, TE 11, str. 489) najprikladniji aparati za regeneriranje koštanog ugljena iz njegovih adsorbata nakon dekoloriranja šećera. Zato se one obično grade sa 9 etaža, od kojih gornja ima funkciju sušionika, a donje dvije hladnjaka. Maksimalne procesne temperature u njima dosežu do ~540 °C. Nakon regeneracije koštani se ugljen klasira (v. *Klasiranje*, TE 7, str. 130), te se odbacuju najfinije i najteže frakcije. Ostatku se dodaje svježi koštani ugljen u količini jednakoj onoj koja je odbačena, pa se ta smjesa vraća u proces.

Glavna je prednost dekoloriranja šećera u nepomičnom sloju adsorbenta što pritom u dekoloriranoj otopini nema suspendiranih finih čestica adsorbenta kao u dekoloriranim otopinama dobivenim postupcima u pomičnom sloju, jer nepomični sloj djeluje kao filtersko sredstvo. Komplikirane operacije filtriranja dekoloriranih otopina šećera dobivenih u pomičnom sloju adsorbenta kojima se otopina mora obraditi prije kristalizacije čine te postupke slabo konkurentnim postupcima u nepomičnom sloju. (Među postupcima dekoloriranja šećera u pomičnom sloju ima ih i potpuno kontinuiranih.)

Operacije izdvajanja rafiniranog šećera analogne su već opisanim odgovarajućim operacijama proizvodnje sirovog šećera i vode se istim vrstama aparature. Međutim, u rafinerijama šećera taj se dio procesa može voditi u više linija, prema već spomenutom principu odvajanja nešećernih tvari iz sirupā različitog sastava, i to posebno, prema stupnju njihove čistoće. Linije za izdvajanje šećera iz glavne struje tih materijala obično su četverostupanjnske. Šećer koji ide na doradbu pripravlja se miješanjem šećera od svakog kuhanja u glavnoj liniji.

Doradba rafiniranog šećera obuhvaća sušenje i klasiranje. Za sušenje rafiniranog šećera upotrebljavaju se različiti kontinuirani aparati s protustrujom vrućeg osušenog zraka, najčešće rotacione ili turbinske sušare. Sušenje mora biti polagano, jer se inače na površini tankog sloja sirupa kojim su obloženi kristali šećera može stvoriti tvrda korica suhih kristala, pa tako inkludirana voda može kasnije uzrokovati međusobno sljepljivanje kristala i stvrdnjavanje šećera. Također se teži konstrukcijama sušionika koji manje oštećuju kristale šećera.

U tvornicama koje proizvode šećer u kockama izdvojeni se mokri šećer preša u kalupe, pa se tek onda suši. Ambalažira se odmah nakon toga, prije skladištenja.

Jedna od operacija klasiranja šećera, izdvajanje fine šećerne prašine iz njega, obično se vodi istodobno sa sušenjem. Prašina se odvodi zrakom, već prije upotrijebljenim za sušenje, otapa se i vraća u proces. Da se dobije komercijalni proizvod, osušeni se šećer dalje klasira prosijavanjem. Time se, uz glavnu frakciju kristala šećera ujednačenih dimenzija, dobivaju još i finije frakcije za desertne proizvode, prašina s kojom se postupa kao i s prašinom od sušenja, te frakcija s grubim kristalima, od koje se mljevenjem dobiva

šećerni prah. Da se spriječi sljepljivanje čestica šećernog praha, on se prije ambalažiranja pomiješa s ~3% škroba.

Za skupljanje šećerne prašine pri doradbi šećera upotrebljavaju se razni aparati (v. *Čišćenje plinova*, TE 3, str. 115). Najdjelotvorniji su tzv. mokri skupljači prašine, ali lako postaju izvor vrlo nepoželjenog onečišćenja bakterijama.

Skladištenje, ambalažiranje i transport rafiniranog šećera. Rafinirani se šećer prihvaća u skladišta rasut, a često se tako i transportira. Za rasuto skladištenje i transport rafiniranog šećera najprikladnije su cilindrične posude koničnog dna, koje imaju uređaje za propuhivanje šećera suhim zrakom i za ispušt.

Rafinirani se šećer ambalažira u sitne paketiće od jedne kavene žlice ili u pakete za kućanstvo (obično od 1 kg) te u vreće (obično namijenjene većim potrošačima).

Ž. Viličić

PROIZVODNJA ŠEĆERA IZ ŠEĆERNE REPE

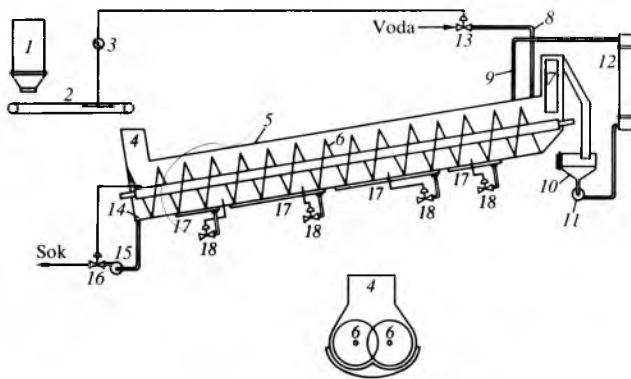
Korijenje šećerne repe istovaruje se iz dopremnih tansportnih sredstava najčešće mlazom vode. Mlaz odnosi korijenje u tzv. *kinetu*, kanal za transport na preradbu i grubo čišćenje korijenja (izdvajanje kamenja i pijeska, a zatim slame i lišća). Iz kinete se centrifugalnom pumpom ili elevatorom korijenje diže u stroj za pranje od zemlje; to su obično koritasti praonici ili vibracijski s tuševima.

Oprano se korijenje skuplja u prihvatni lijevak iznad stroja za rezanje, koji se iz lijevka i hrani. U našim se tvornicama šećera upotrebljavaju rezalice s horizontalnom rotacijskom pločom s noževima. U njima se repino korijenje reže u duge, uske komadiće, *rezance*. Da bi se učinak rezanja mogao usklađivati s učinkom postrojenja za dobivanje soka, upotrebljavaju se rezalice s tirstorskim istosmjernim elektromotorima kojima se lako regulira brzina vrtnje.

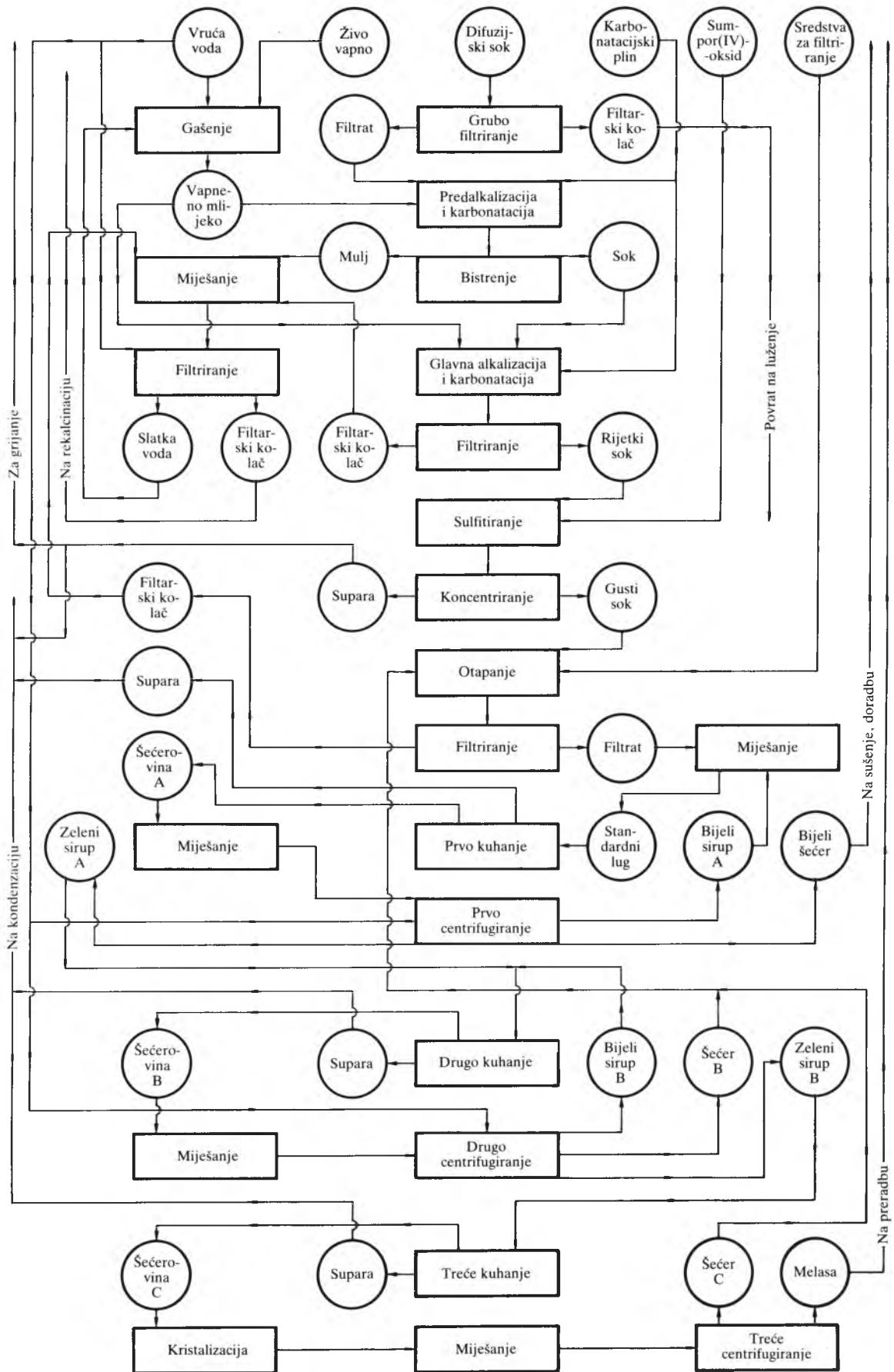
Dobivanje sirovog soka. U proizvodnji šećera iz repe sirovi se sok dobiva samo luženjem vodom. Osnovni je razlog tome što se tako, u usporedbi s tiještenjem, iz repe zajedno sa šećerom izlužuje mnogo manje proteina, visokomolekulnih tvari i drugih primjesa koje treba ukloniti prije kristalizacije.

Pri luženju šećer difundira iz rezanaca kroz stanične membrane u vodu. Zbog toga se sok od luženja rezanaca naziva *difuzijskim sokom*. Da se olakša difuzija šećera, mora se termički razoriti stanična građa rezanaca. To se postiže miješanjem rezanaca s velikom količinom vrućeg soka u ekstratoru. Procesna je temperatura luženja 70-75 °C. Važni činioci režima luženja rezanaca još su i njihova kakvoća i kakvoća vode koja se upotrebljava. Uz svježu vodu za luženje se rezanaca upotrebljava i vrlo razrijeđeni sok koji se tiješti iz mokrih, izluženih rezanaca.

Više od sto godina šećer se iz rezanaca lužio u difuzijskim baterijama (v. *Luženje*, TE 7, str. 577, 578). Pedesetih godina



Sl. 7. Postrojenje tvrtke De Danske Sukkerfabriker za luženje šećera iz repe. 1 prihvatna posuda za rezance, 2 transporter s beskrajom trakom, 3 automatska vaga, 4 usipni koš za rezance, 5 korito, 6 pužni transporteri, 7 uređaj za izvlačenje izluženih rezanaca, 8 dovod svježe vode, 9 povratna voda s preša, 10 preša za izlužene rezance, 11 pumpa za vodu istiješenu iz izluženih rezanaca, 12 predgrijač, 13 regulacijski ventil, 14 sito ispusta soka iz ekstraktora, 15 pumpa, 16 regulacijski ventil odvoda soka, 17 parni plaštev, 18 regulacijski ventil dovoda pare



Sl. 8. Shema jednog od procesa za dobivanje šećera iz difuzijskog soka nakon luženja rezanaca šećerne repe

one su potpuno zamijenjene kontinuiranim postrojenjima. Danas se ta postrojenja grade s dnevnim kapacitetima od 3·10 kt, s vremenom zadržavanja rezanaca u njima između 90 i 120 min. Među njima ima mnogo postrojenja s perkolacijskim ekstraktorima. Od kontinuiranih postrojenja za dobivanje difuzijskog soka s imerzijskim ekstraktorima mnogo se upotrebljavaju (i u Jugoslaviji su najviše zastupljena) postrojenja tvrtke DDS (De Danske Sukkerfabriker, sl. 7).

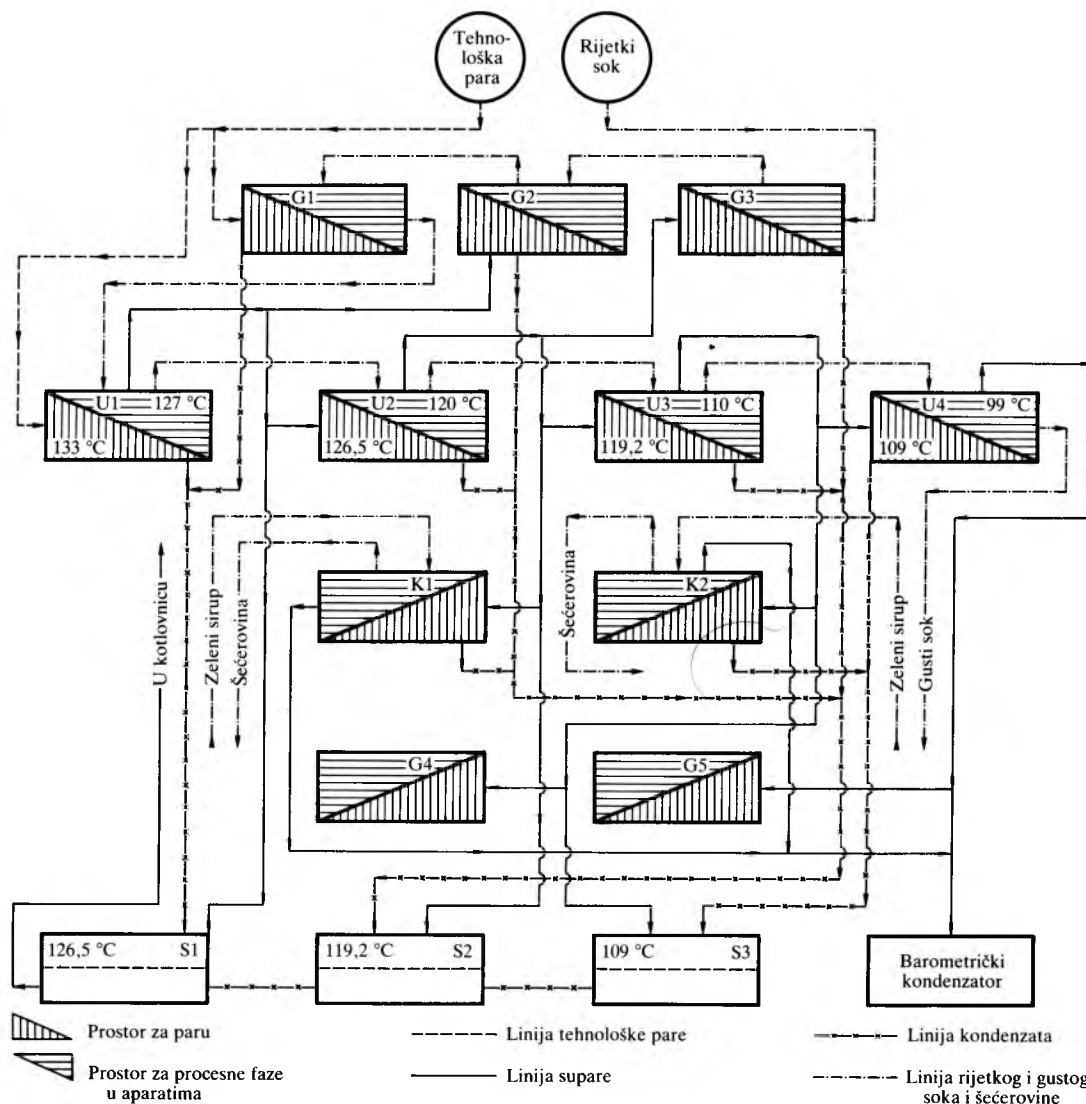
Ekstraktor tog postrojenja nagnuto je korito u kojemu rotiraju dva zavojita pužnika, transportirajući time rezance odozdo nagore. Rezanci im se privode transporterom s beskrajnom trakom koji ima automatsku vagu za registriranje mase sirovine privedene luženju, a služi kao osjetilo proporcionatora vode potrebne za luženje. S transportera svježi rezanci dospijevaju u usipni koš, pa u donji dio ekstraktora. Na gornjem kraju ekstraktora nalazi se uređaj za odvod izluženih rezanaca i dovod svježje vode, a nešto niže od toga i dovod povratnog soka nakon isprešavanja rezanaca. Gotov difuzijski sok izvodi se ispumom sa sitom na donjem kraju ekstraktora. Količina difuzijskog soka prema količini privedene sirovine iznosi 100·125%, a sadrži ~13% saharoze.

Izluženi rezanci prije tiještenja sadrže 8·9% suhe tvari, a pogača nakon toga 20·23%. Sok koji se iz njih tiješti sadrži 0,6·0,8% šećera. Pogača od isprešanih rezanaca rijetko se izravno upotrebljava za stočnu hranu. Obično se prije upotrebe doraduje.

Čišćenje difuzijskog soka. Luženjem repinih rezanaca ne difundira u vodu samo šećer nego i mnoge druge, nešećerne tvari topljive u vodi. To su različite kiseline i soli, topljive bjelancevine, organske baze i sl. Zbog tih je sastojaka difuzijski sok mutan, smeđe je boje i neugodna vonja. Osim toga, te tvari ometaju kristalizaciju šećera i zbog toga se moraju što potpunije ukloniti. To se postiže tako da se talože dodavanjem vapnenog mlijeka i zasićivanjem difuzijskog soka ugljik(IV)-oksidom (sl. 8).

Vapneno mlijeko (suspenzija kalcij-hidroksida, $Ca(OH)_2$, u vodi) dodaje se difuzijskom soku zagrijanom na 80·90 °C. Time se iz soka talože bjelancevinske i pektinske tvari, jer u alkalnom mediju postaju netopljive, neutraliziraju se slobodne kiseline (u prvom redu fosfatna i oksalatna) i talože njihove kalcijске soli, te razaraju bjelancevine koje su topljive u alkalijama. Osim toga, suspenzija mehanički taloži i sitne djeliće staničevine i bjelancevina koje su se koagulirale zagrijavanjem soka. Međutim, kako se vapneno mlijeko dodaje u suvišku, dio se saharoze veže u kalcij-monosaharat.

U tako obrađeni difuzijski sok uvodi se plin koji sadrži ugljik(IV)-oksid, CO_2 . Zasićivanje soka tim plinom naziva se i *karbonatacijom*, a plin *karbonatacijskim plinom*. Naziv potječe od stvaranja karbonata, što je osnovna svrha uvođenja ugljik(IV)-oksida. Karbonatacijom se iz soka uklanja višak kalcijskih iona taloženjem u netopljivi kalcij-karbonat, zatim karbonati i drugih nešećernih tvari koje iz soka nisu bile ranije



Sl. 9. Jedan od principa ekonomiziranja tehnološkom parom u postrojenjima za koncentriranje rijetkog i kuhanje gustog soka u proizvodnji šećera iz repe. G1, G2 i G3 predgrijači rijetkog soka, U1·U4 isparivači za koncentriranje, K1 i K2 isparivači za kuhanje, G4 i G5 grijači vode, S1·S3 skupljači kondenzata

instalovane vapnenim mlijekom i oslobađa se saharoza vezana u kalcij-monosaharatu.

Opisani se postupak zatim još jednom ponavlja, pa se soku odvojenom od mulja nastalog predalkalizacijom i prvom karbonatacijom dodaje pri glavnoj alkalizaciji nova količina vapnenog mlijeka (2% računano kao kalcij-oksidi) te se zagrijava do 80 °C. Time se razgrađuju neke nesaharidne tvari (u prvom redu invert i amidi). Da se spriječi tvorba topljivog kalcij-hidrogenkarbonata, druga se karbonatacija vodi na 100 °C do alkalnosti soka koja odgovara udjelu kalcij-oksida od 0,2% (pH 9).

Jedna od varijanata čišćenja difuzijskog soka jest i *alkali-karbonatacija*. Osnovna joj je karakteristika istodobno dodavanje vapnenog mlijeka i uvođenje karbonatacijskog plina u difuzijski sok.

Karbonatacijski se muljevi od soka odvajaju kontinuiranim sedimentacijskim i filtracijskim operacijama. Za prve se operacije danas najviše upotrebljavaju tzv. filtri ugušćivači, a za druge vakuumske filtri.

Sok koji se dobiva čišćenjem difuzijskog soka također se naziva rijetkim sokom. U nekim suvremenim tvornicama on se prije koncentriranja obrađuje i izmjenom iona (v. *Izmjena iona*, TE 6, str. 576), a ponekad još i sulfitanjem.

Obradba rijetkog soka izmjenom iona u prvom redu služi za dekalifikaciju. To je operacija slična mekšanju vode. Njome se sprečava inkrustiranje ogrjevnih površina koje su za procesa u kontaktu sa sokom.

Postupkom *Quentin* za izmjenu iona alkalijskih metala može se pomoću iona magnezija povećati iscrpak šećera za 0,5% s obzirom na repu. Potpunom deionizacijom iscrpak se šećera može jako povećati, a time se smanjuje i proizvodnja melase. Vrlo bazni, anionski izmjenjivači upotrebljavaju se za dekoliranje, a vrlo kiseli, kationski, za invertiranje u proizvodnji invertnog šećera.

Sulfitanje rijetkog soka služi za sprečavanje njegova tamnjenja Maillardovom reakcijom između ostataka inverta i aminokiselina za vrijeme koncentriranja i kuhanja. To se čini uvođenjem malih količina sumpor(IV)-oksida u rijetki, a ponekad i u gusti sok.

Koncentriranje rijetkog soka postiže se isparivanjem. To se provodi aparaturom vrlo sličnom onoj u proizvodnji šećera od trske, ali, iz već navedenih razloga, pri znatno višim procesnim temperaturama i, zbog vrlo velike potrošnje pare, uz visok stupanj ekonomiziranja grijanjem ne samo u postrojenju za koncentriranje nego i u čitavoj tvornici (sl. 9). Tada se troši 450...500 kg tehnološke pare tlaka ~300 kPa za preradu jedne tone repe.

Kuhanje gustog soka i centrifugiranje šećerovine obavlja se obično trostupanjiskim postupkom kao i u proizvodnji šećera od trske. Prvom linijom postrojenja, nakon ukuhavanja soka i centrifugiranja radi odjeljivanja kristala šećera od sirupa, dobiva se komercijalni šećer (tzv. bijeli šećer), matični lug (tzv. zeleni sirup A), koji se dalje prerađuje u drugoj liniji, i spirine od pranja centrifugiranjem izdvojenog šećera vodom (tzv. bijeli sirup A), koji se vraća na prvo kuhanje zajedno s gustim sokom. Analogan se postupak ponavlja u preradbi zelenog sirupa A drugom linijom i zelenog sirupa B trećom linijom postrojenja za kuhanje i centrifugiranje. Za razliku od postupka u prvoj liniji u kojoj se šećerovina (smjesa kristala šećera i sirupa) izdvaja obično odmah, dok je još vruća, šećerovina B obično se prepušta još i kristalizaciji hlađenjem do ~60 °C, a šećerovina C ostaje u rekuperacijskim kristalizadorima do 24 sata. Iz šećerovine B dobivaju se šećer B, zeleni sirup B i bijeli sirup B, a iz šećerovine C samo šećer C i melasa (sirup preostao nakon treće kristalizacije i centrifugiranja). Šećer se od sirupa iz šećerovine A i B obično odvajaju potpuno automatiziranim diskontinuiranim, a iz šećerovine C kontinuiranim centrifugama. Šećeri B i C vraćaju se natrag u proces.

Bijeli se šećer upućuje na rafinaciju i doradbu. Njegov iscrpak varira unutar 14...15% s obzirom na repu. Melasa se upućuje na skladištenje kao sporedni proizvod za prodaju ili za dalju preradu.

Rafinacija i doradba. Sirovi repin šećer neugodna je okusa i vonja, žute je boje i nije u obliku prikladnom za izravnu potrošnju. Zbog toga se sirovi šećer ne smatra konzumnom (potrošnom) robom i ne prodaje se potrošačima, nego se prvo prerađuje rafinacijom, ili u istim tvornicama u kojima se proizvodi, ili se kao predmet trgovine na veliko prodaje posebnim rafinerijama.

Šećer dobiven iz repe rafinira se i doraduje na jednak način kao i šećer iz trske (v. o rafinaciji i doradbi sirovog šećera iz trske u ovom članku).

Konzumni rafinirani šećer proizvodi se kao *kristalni šećer* (prema krupnoći kristala u tri vrste), *šećer u kockama* (obično u dvije veličine kocka), *šećer u prahu* (dobiven mljevenjem sitnih komadića šećera nakon rezanja šećernih ploča u kocke) i *kandis-šećer* ili *ledenac* (dobiven kristalizacijom, obično na tekstilnoj niti, iz vruće koncentrirane otopine šećera).

Melasa se često prerađuje u peletiziranu stočnu hranu. Ponegdje se melasa prethodno još i odšećerava. U Steffenovu postupku odšećeravanja melasa se obrađuje živim vapnom. Time se taloži kalcij-saharat ($C_{12}H_{22}O_{11} \cdot 3CaO$), koji se vraća u proces kao alkalizant umjesto živog vapna. Gašenjem se iz njega također dobiva vapneno mlijeko, ali se istodobno oslobađa saharoza.

U tvornicama šećera iz repe u kojima se melasa ne prerađuje, melasa se mora skladištiti do otpreme. Prodaje se kao sirovina za dobivanje raznih proizvoda industrijske fermentacije.

Za sušenje pogača nakon tiještenja mokrih izluženih rezanaca također se obično upotrebljavaju rotacijske sušare, ali se u njima suši istosmjernom strujom dimnih plinova.

Skladištenje proizvoda. I u tvornicama šećera iz repe kristalni se šećer ambalažira u vreće (obično od 50 kg) za velike potrošače ili se sprema rasut u silosne posude, odakle se uzima za ambalažiranje u pakete, već prema zahtjevima drugih potrošača.

I osušeni se rezanci skladište rasuto. Njihove peletizirane preradevine obično se skladište u vrećama.

Prateća postrojenja tvornica šećera iz repe

Uz već spomenutu veliku potrošnju energije jedna je od osnovnih karakteristika proizvodnje šećera iz repe njena velika potrošnja vode, vapna i karbonatacijskog plina. Zbog toga šećerane imaju vlastite energane sa sustavima za ekonomiziranje iskorištavanje u njima proizvedene pare i postrojenja za proizvodnju vapna i karbonatacijskog plina. Osim toga za šećerane je karakterističan i visok stupanj kontrole procesiranja.

Postrojenja za proizvodnju energije. U energanama suvremenih šećerana obično se najprije proizvodi visokotlačna pregrijana para (od 5...8 MPa, 400...500 °C). Ona se troši za pogon turbogeneratora za proizvodnju električne energije. Niskotlačna (tehnološka) para potrebna za proces dobiva se kao otpadna para od te proizvodnje.

Postoje mnogi prijedlozi za dalje ekonomiziranje energijom u šećeranama. Prema jednom od njih (T. Balog) za pogon njihovih generatora električne energije služila bi plinska turbina. Dimni plinovi temperature ~500 °C upotrebljavali bi se za sušenje izluženih rezanaca. Osim za uobičajene pogonske svrhe, proizvedena električna energija služila bi još i za komprimiranje supara isparivačkih stanica za koncentriranje i kuhanje. Tada ne bi bilo potrebno proizvoditi visokotlačnu paru u kotlu velikog kapaciteta. Bio bi dovoljan mnogo manji niskotlačni parni kotao. Prema proračunu autora u takvom bi postrojenju potrošnja energije bila upola manja.

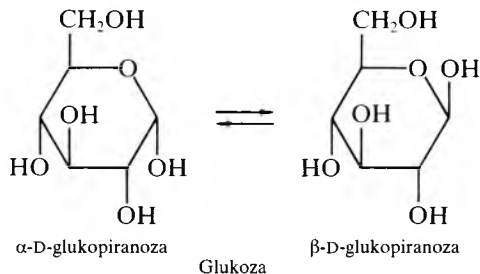
Proizvodnja vapna i karbonatacijskog plina. U šećeranama se živo vapno i karbonatacijski plin proizvode u vapnenim pećima. Živo se vapno gasi u rotirajućim bubnjevima. Tako dobiveno vapneno mlijeko čisti se prije upotrebe cijedenjem preko sita i zatim hidrociklonima.

Postrojenja za kontrolu procesa. Proizvodnja šećera jedna je od najstarijih industrija, pa je ona vodila razvoj čitave procesne tehnike u njenim počecima, osobito u području

upravljanja procesom. U tom su veliku ulogu odigrali i visoki zahtjevi za kontrolu procesa koji proistječu iz osjetljivosti šećera prema kemijskim i mikrobiološkim utjecajima. Zbog toga je suvremena proizvodnja šećera visoko kompjutorizirana i automatizirana.

OSTALI KOMERCIJALNO VAŽNI ŠEĆERI

Glukoza (groždani šećer, dekstroza, glikoza, škrobni šećer, krvni šećer) monosaharid je iz skupine aldoheksoza. Ima strukturu šesteročlanog prstenastog poluacetalna, koji može biti u dva oblika (α i β). Ti se oblici međusobno razlikuju po konfiguraciji na poluacetalnom (anomernom) ugljikovu atomu:



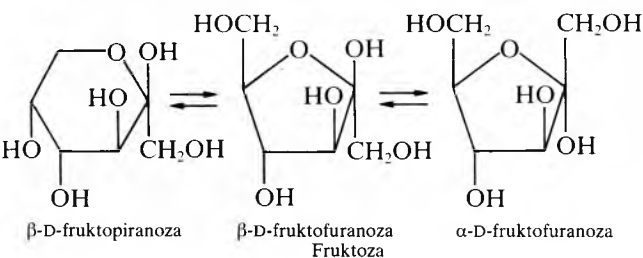
Glukoza nije samo vrlo raširen ugljikohidrat nego i najrašireniji organski spoj u prirodi uopće. Nalazi se u svim biljnim sokovima, u krvi i ostalim tjelesnim tekućinama. Glukoza i drugi monosaharidi su komponente mnogih glikozida, disaharida (saharoz, laktoze i maltoze), mnogih oligosaharida i najvažnijih polisaharida (celuloze, škroba, glikogena, dekstrana).

U prirodi se nalazi uvijek samo D(+)-glukoza, tj. onaj izomer koji zakreće ravninu polarizirane svjetlosti udesno (odatle i sinonim dekstroza). Specifični kut zakretanja svježe otopine α -D(+)-glukoze iznosi $[\alpha]_D^{20} = +112,2^\circ$, a svježe otopine β -D(-)-glukoze $[\alpha]_D^{20} = +18,7^\circ$. U otopini ti izomeri mutarotiraju, mijenjaju se jedan u drugi, pa nastaje ravnotežna smjesa kojoj je kut zakretanja $[\alpha]_D^{20} = +52,7^\circ$.

Iz prezasićenih otopina glukoza kristalizira kao fini prah ili u igličastim kristalima. Industrijska se proizvodnja glukoze zasniva na hidrolizi škroba pomoću kiselina ili enzima (v. Škrob). Od tih se postupaka danas najviše upotrebljava kombinirana kiselinskoenzimska hidroliza. Od kiselina se za tu svrhu obično upotrebljava kloridna kiselina, a od enzima amilaze i glukozidaze mikrobnog porijekla (v. Enzimi, TE 5, str. 334).

Glukoza se mnogo upotrebljava kao pomoćni supstrat za fermentaciju u proizvodnji tzv. dizanih tijesta (osobito u pekarstvu) i slatkovine u pivarstvu, jer je vrlo podložna aktivnosti mikroorganizama. Proizvodi su reakcija glikolize u tim procesima alkohol i kiselina (octena, mliječna i maslačna). Osim toga, velike se količine glukoze troše i za proizvodnju sorbitola i askorbinske kiseline (v. Vitamini).

D(-)-fruktoza (voćni šećer, sluzni šećer, levuloza) monosaharid je iz skupine ketoheksoza. Za razliku od glukoze, fruktoza zakreće ravninu polarizirane svjetlosti ulijevo (odatle i sinonim levuloza). Poznat je samo jedan kristalni oblik fruktoze, za koji se vjeruje da je β -D-piranozni oblik sa šesteročlanim prstenom. Međutim, u vodenim otopinama uspostavlja se mutarotacijom ravnoteža između triju oblika, od kojih su dva s peteročlanim, furanoznim prstenom, a jedan sa šesteročlanim, piranoznim prstenom:



Postojanje preostale moguće α -D-fruktopiranoze nije potvrđeno.

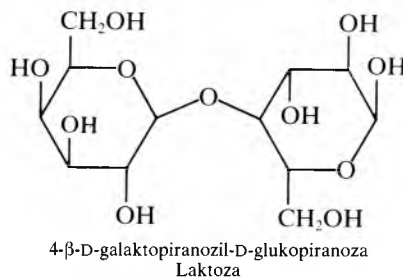
D-fruktoza se nalazi u biljkama, osobito u slatkom voću i među zajedno s glukozom, a njeni radikali vezani u saharozu i u neke polisaharide (npr. *inulin*).

Fruktoza se može dobiti hidrolizom (*inverzijom*) saharoze pomoću kiselina, enzima i izmjenjivača iona, te izomerizacijom glukoze pomoću enzima glukoze izomerase. Te se reakcije vode u vodenoj otopini. Prvom se dobiva otopina ekvimolarne smjese glukoze i fruktoze (*invertni šećer*), a drugom otopina smjese od 54% glukoze i 46% fruktoze kojoj je $[\alpha]_D^{20} = -20,5^\circ$. Oba su ta proizvoda ekvivalentna po slatkosti. Pomoću izmjenjivača iona fruktoza se može koncentrirati u tim otopinama, pa iz njih kristalizirati u čistom stanju.

Za standardni kut zakretanja ravnine polarizirane svjetlosti β -D-fruktofuranoze obično se uzima vrijednost $[\alpha]_D^{20} = -133^\circ$. Ravnotežna smjesa koja nastaje mutarotacijom u otopini ima $[\alpha]_D^{20} = -92^\circ$.

Fruktoza služi za zaslađivanje, umjesto saharoze, u dijeti za dijabetičare. Ona je najslađa vrsta šećera (tabl. 2).

Laktoza (mliječni šećer) disaharid je kojemu se molekula sastoji od radikala glukoze i galaktoze:

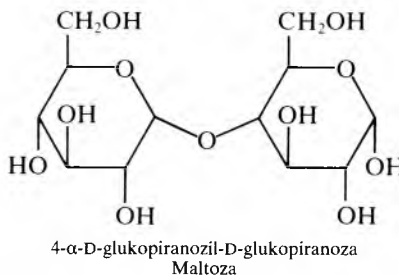


Pojavljuje se u α i β -obliku, a može se dobiti u tri kristalna oblika. Iz vodenih otopina pri temperaturi manjoj od $93,5^\circ\text{C}$ kristalizira laktoza-monohidrat, koji pri višim temperaturama gubi vodu. Nakon mutarotacije standardni kut optičke rotacije laktoze iznosi $+55,4^\circ$. Za razliku od drugih šećera laktoza nije jako slatka.

Laktoza se nalazi u mlijeku svih sisavaca. Tako je udio laktoze u ženinu mlijeku 4...8,3%, a u kravljem 2,9...5,3%. Dobiva se iz slatke sirutke koncentriranjem i kristalizacijom. Sirovi proizvod može sadržavati ~2% bjelančevina, pa stajanjem poprimiti neugodan vonj. Rafinira se otapanjem, koagulacijom i precipitacijom bjelančevina, dekoliranjem (obično aktivnim ugljenom) i rekristalizacijom.

Laktoza se upotrebljava kao supstrat u fermentacijskim procesima, osobito u proizvodnji antibiotika, zatim u proizvodnji tabletiranih lijekova, kao dodatak nekim prehrambenim proizvodima (osobito hrani za djecu) i kao sirovina za proizvodnju nekih eksploziva.

Maltoza je disaharid kojega se molekula sastoji od dva radikala glukoze spojenja vezom α -1,4:



Topljiva je u vodi i mutarotira do konačne vrijednosti kuta optičke rotacije $+137^\circ$. Slatkoća joj je malena (1/3 slatkosti saharoze).

Maltoza se rijetko nalazi u svježim prirodnim tvarima, ali često u proizvodima nepotpune hidrolize škroba, pa se tako i dobiva od škroba iz ječmenog, pšeničnog i kukuruznog zrna.

Tablica 2
STUPANJ SLATKOSTI NEKIH ŠEĆERA
S OZIRANOM NA SAHAROZU

Šećer	Stupanj slatkosti
Laktoza	0,4
Galaktoza	0,7
Glukoza	0,7
Fruktoza	1,2
Invertni šećer	1,0

Ti su hidrolitički procesi u prvom redu enzimni, a zasnivaju se na upotrebi amilaza slada, plijesni ili bakterija. Tako se, npr., enzimom β -amilazom gljivica *Aspergillus niger* ili *Aspergillus oryzae* može konvertirati pšenično brašno u maltozu s iscrpkom od 75–85%, npr. za dobivanje supstrata za proizvodnju piva i drugih alkoholnih pića. Od njih se deproteinizacijom i dekoloriranjem aktivnim ugljenom dobivaju i otopine maltoze koncentracije do 75% (maltozni sirupi). Ti se sirupi upotrebljavaju za dobivanje bezalkoholnih pića, proizvoda na bazi tijesta, konditorskih proizvoda, dječje i dijetne hrane, sladoleda i čokolade, te kao supstrati za dobivanje kvasca.

PROIZVODNJA I POTROŠNJA ŠEĆERA

Šećer je danas jedna od osnovnih namirnica. U industrijaliziranim zemljama šećerom se podmiruje 10–15% dnevne potrošnje energije ljudskog organizma. Zbog toga se šećer proizvodi u golemim količinama koje su veće od proizvedenih količina bilo koje druge čiste organske kemikalije. Sredinom prošlog stoljeća ukupna svjetska proizvodnja šećera bila je ~1 Mt, potkraj stoljeća već ~10 Mt, a danas je već blizu 100 Mt. Udio šećera iz repe u toj je proizvodnji bio najveći pred prvi svjetski rat, više od 50%, ali je kasnije stalno bio manji od udjela tršćanog šećera. Zadnjih se dvadesetak godina taj odnos bitno ne mijenja; 2/3 ukupno proizvedenog šećera potječe od trske, a 1/3 od repe. Najveći proizvođači šećera iz trske jesu Kuba, Brazil i Indija, a šećera iz repe bivši SSSR, SAD i Francuska (tabl. 3). Prosječna godišnja potrošnja šećera po stanovniku u svijetu je ~20 kg, u Americi 40 kg, u Europi 38 kg, u Africi 13 kg, a u Aziji 9 kg.

Tablica 3
NAJVEĆI PROIZVOĐAČI ŠEĆERA U SVIJETU

Zemlja	Proizvodnja u 1988. god.		Godišnja potrošnja po stanovniku ¹⁾ kg
	Sirovi šećer kt	Rafinirani šećer kt	
SSSR	9240	12056	42,4
Brazil	7905	2522	46,2
Kuba	8119	614	48,4
Indija	9100	~9000	
SAD	6260	~7000	39,7
Francuska	4600	~500	36,1
SR Njemačka	3130		35,1
Poljska	1872	1684	
Meksiko	3822	~1300	
Turska	1595	1332	
Argentina	1150	~1300	37,2
Italija	1607	1465	30,5
Južnoafrička Republika	1370	1297	
Velika Britanija	1417	1304	41,8
Pakistan	1936	1771	

¹⁾1984. godine

Na ovim je prostorima preradba šećerne repe počela tek 1904, kad je preuređena rafinerija sirovog šećera, podignuta u Beogradu 1896. godine. Prije drugoga svjetskog rata u Jugoslaviji je bilo 7 tvornica šećera, 1977. bilo ih je 13, a 1985. godine 23.

Proizvodnja šećera u SFRJ, i pored velikih preradbenih kapaciteta, bila je dosta niska. Godine 1955. proizvedeno je 117000 t, 1965. 337000 t, 1975. 525000 t, a 1987. 872000 t šećera. Osim toga, proizvedeno je 272000 t melase i 11870 t kristalne glukoze.

Godišnja potrošnja šećera po stanovniku u SFRJ nije bila ujednačena. Kretala se unutar granica od 15 kg (u Crnoj Gori) do 50 kg (u Sloveniji), a posljednjih je godina u prosjeku bila 35 kg.

LIT.: E. O. Whittier, B. H. Webb, By-Products from Milk. Reinhold Publ. Co., New York 1950. – P. Honig (ed.), Principles of Sugar Technology. Elsevier Publ. Co., New York 1953, 1959, 1963. – G. P. Meade, Cane Sugar Handbook. J. Wiley and Sons, New York 1963. – G. H. Jenkins, Introduction to Cane Sugar Technology. Elsevier Publ. Co., Amsterdam 1966. – S. Šušić, E. Guralj, Osnovi tehnologije šećera. Naučna knjiga, Beograd 1965. – F. Schneider (ed.), Technologie des Zuckers. M. U. H. Schaper, Hannover 1968. – J. Lehmann, Chemie der Kohlenhydrate. Thieme, Stuttgart 1976. – R. Khan, The Chemistry of Sucrose. u: Advances in Carbohydrate Chemistry and Biochemistry, Vol. 33. Academic Press, New York 1976. – P. Kuhnert, W. Polert, K. A. Schroeder, Lebensmittel-Zusatzstoffe. Deutscher Fachverlag GmbH, Frankfurt/Main 1978. – M. R. Jenner, Sucrose, u: djele: Developments in Food Carbohydrate, sv. 2. Applied Science Publisher, London 1980. – H. M. Pancoast, W. R. Junk, Handbook of Sugars. A VI Publ. Comp., Westport 1980. – Grupa autora, Priručnik za industriju šećera, I i II. Savez hemičara i tehnologa Jugoslavije, Beograd 1980. – R. A. McGinnis, Beet-Sugar-Technology. Beet-Sugar Development Foundation, Fort Collins 1982. – O. R. Fennema, Food Chemistry. Marcel Dekker, New York 1985.

Z. Gerić Ž. Viličić

ŠKOLSKE ZGRADE, građevine u kojima se obavlja organizirano odgajanje i obrazovanje. Pod školskom zgradom u širem smislu razumijeva se i školski kompleks koji, osim zgrade, sadrži i dvoranu za tjelesni odgoj, vanjska vježbališta, športske terene, školski vrt, ogledne čestice i površine za rekreaciju.

U tradicionalnim školskim sustavima nastava se obavlja samo u školskoj zgradi, odnosno na školskom kompleksu, a u suvremenim sustavima organizira se i na mjestima izvan školske zgrade, npr. u bibliotekama, muzejima, kazalištima, proizvodnim pogonima, računarskim centrima i dr., zavisno od nastavnih sadržaja.

Prva vijest o školi potječe iz sredine III. tisućljeća u Egiptu, a prvi oblici organizirane nastave pojavljuju se u Egiptu, Babilonu, Kini, Indiji i antičkoj Grčkoj (sl. 1). Prvi oblici nastave izvode se u prirodi i u prostorijama vjerskih i rezidencijskih građevina.

U aristokratskoj ratničkoj državi Sparti organiziran je vojno-gimnastički odgoj, koji se izvodio u građevinama odgojnih zavoda. U demokratskoj Ateni formira se državni sustav općeg obrazovanja, koji se provodi u namjenski građenoj palestri (grč. *παλαίστρα* palaistra *vralište*), a djeca imućnijih roditelja pohađaju gimnazij (grč. *γυμνασίον* gymnásion *vježbalište*), gdje izučavaju politiku, filozofiju i književnost (sl. 2). U republikanskoj rimskoj državi osnivaju se škole za osnovno obrazovanje (ludus) i retorske škole (humanitas), a nastava je u prostorima izgrađenim u kompleksu terma. Uz zatvorene prostore takvi kompleksi sadrže veće površine za vježbališta, igrališta i rekreaciju. Prve građevine namijenjene za nastavu imaju identična arhitektonska obilježja kao i druge javne zgrade onog vremena. To pokazuju arheološka istraživanja palestara u Olimpiji, Epidauru i Pompejima, a gimnazija u Aleksandriji, Hijerapolisu i Efezu. U antičkoj Grčkoj terme se grade primjenom jednostavnih arhitektonskih oblika, a u Rimu one postaju monumentalne i raskošne građevine (sl. 3).

U srednjem vijeku stagnira razvoj, pa se prekidaju i demokratski procesi razvoja obrazovanja započeti u antici. Nadzor nad cjelokupnim obrazovnim sustavom preuzima crkva, tako da je šire intelektualno obrazovanje dostupno



Sl. 1. Nastava u školi. Grčka vaza. Nepoznati antički slikar. Staatliche Museen, Berlin