


Mezőgazdasági iparok

Cukorgyártás

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudományi Tanszék
2021. május 13.



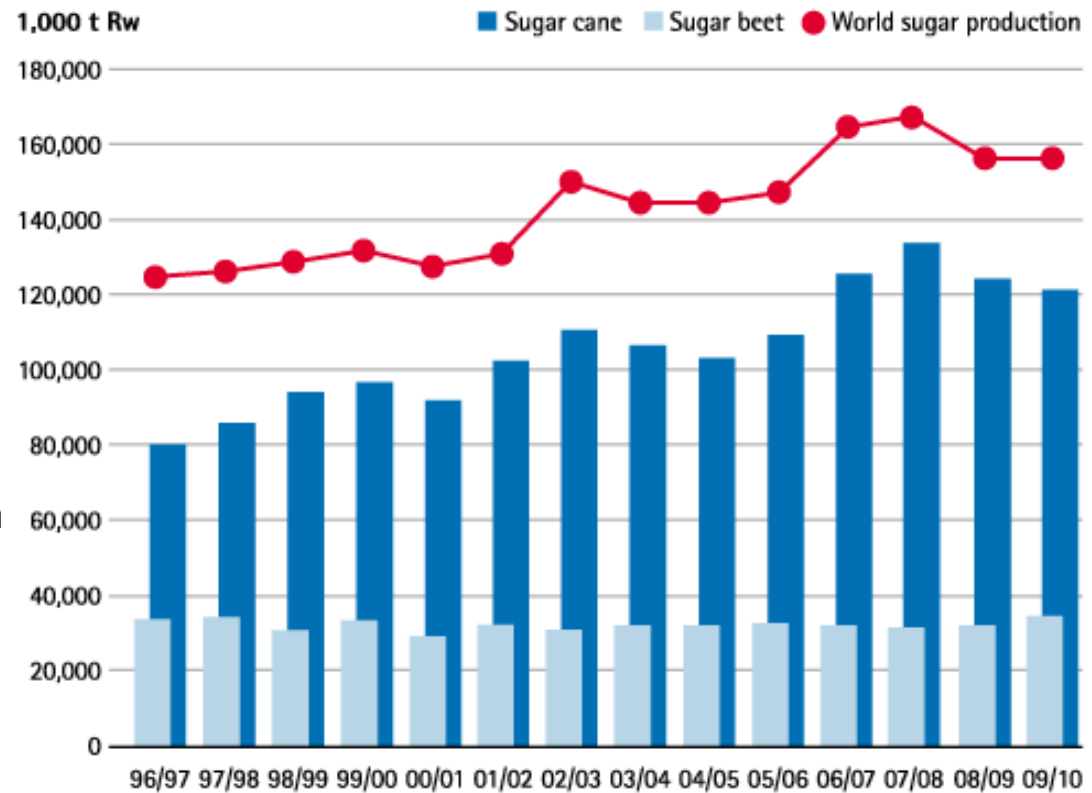
Cukorgyártás – alapanyagok

A cukor „gyártása”

- a növény gyártja
mi csak kivonjuk, tisztítjuk
klorofill: $\text{CO}_2 + \text{víz} + \text{napfény}$
→ cukor + O_2

Étkezési cukor

- cukornád → nádcukor
- cukorrépa → répacukor
a világ cukortermelésének kb. 20%-a
- (juharfa → juharcukor)



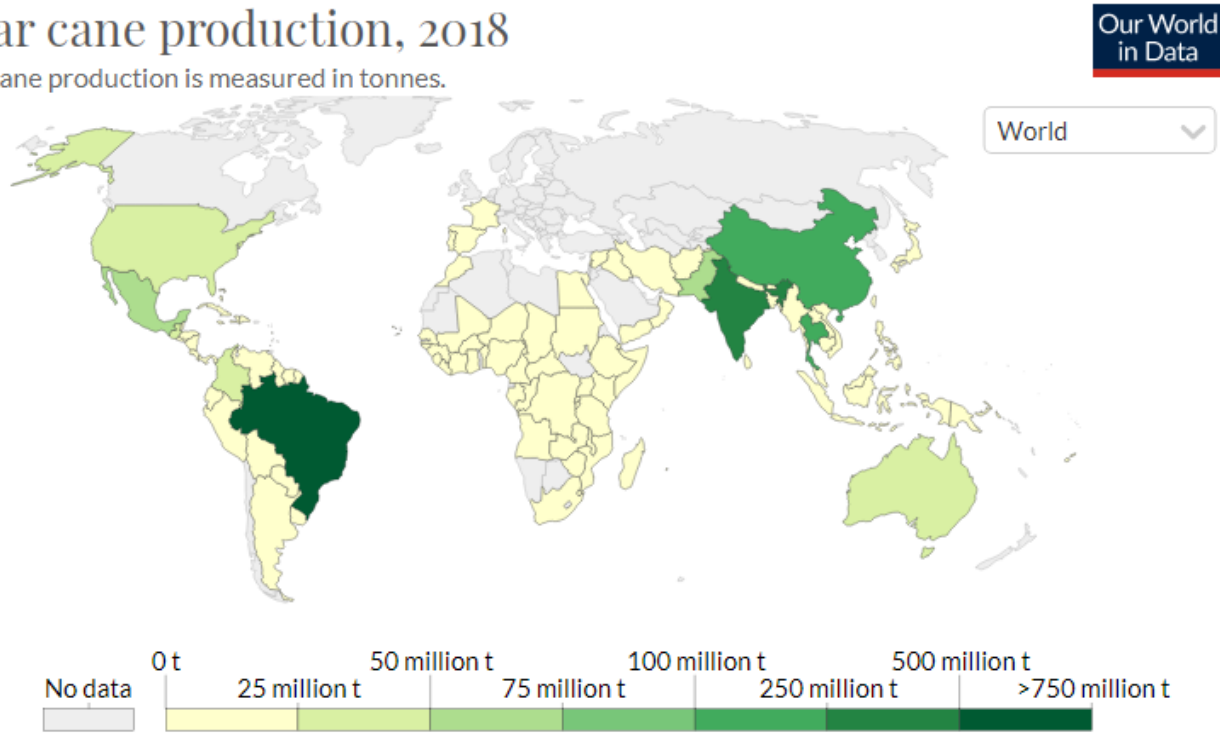


Cukorgyártás - alapanyagok

cukornád - *Saccharum officinarum*
termelési adatok: 2018

Sugar cane production, 2018

Sugar cane production is measured in tonnes.



Source: UN Food and Agriculture Organization (FAO)

OurWorldInData.org/agricultural-production • CC BY



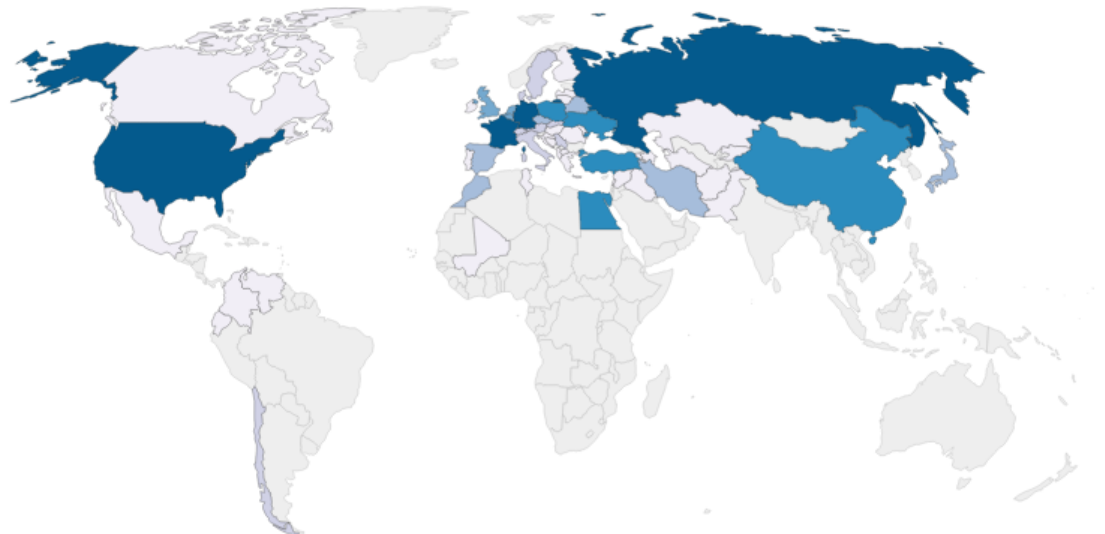
Cukorgyártás - alapanyagok

cukorrépa - *Beta vulgaris*
termelési adatok: 2018

Sugar beet production, 2018

Sugar beet production is measured in tonnes per year.

Our World
in Data



Source: UN Food and Agriculture Organization (FAO)

CC BY

Cukorgyártás - alapanyagok

cukorrépa - *Beta vulgaris*

Földközi-tenger partjain vadon termő

burgundi répából nemesítés által nyert változat
nemesítéssel cukortart. 6% → 17-20%

kétnyári növény, 1. évben cukorfelhalmozódás a
megvastagodott karógyökérben (1-2 kg)

cukorrépa levél: invertcukor → gyökérbe → répacukorrá alakul
cukortartalom = f (éghajlat, talaj és egyéb tényezők)

Összetétel

5% rost, 17% (12-24%) cukor, 3% nem-cukor, 75% víz

Nem-cukor anyagok

szerves savak sói (oxál-, tej-, vaj-, alma-, borkősav), fehérjék,
aminosavak, betain (trimetil-glicin),
glükózidok, zsír,
gyantaanyagok, nyálkaanyagok, enzimek





Szacharóz

α -D-glükózil(1,2)- β -D-fruktozid

Jellemzői

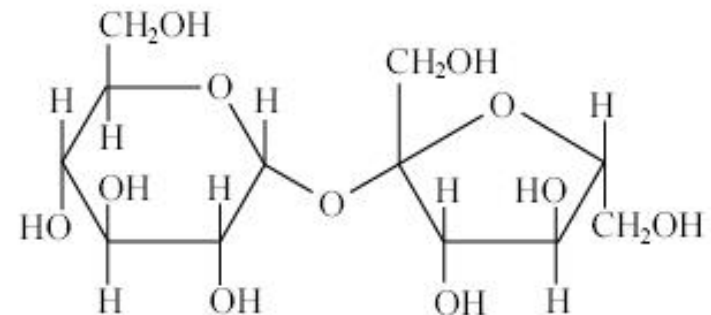
- összegképlete: $C_{12}H_{22}O_{11}$
- „1-2” kötés a két monomer között
- nem-redukáló diszacharid

a két monomer cukor glikozidos hidroxilcsoportja alkotja a kötést

⇒ sem a glükóz, sem a fruktóz gyűrűje nem képes felnyílni,

nem tud szabad oxocsoport kialakulni

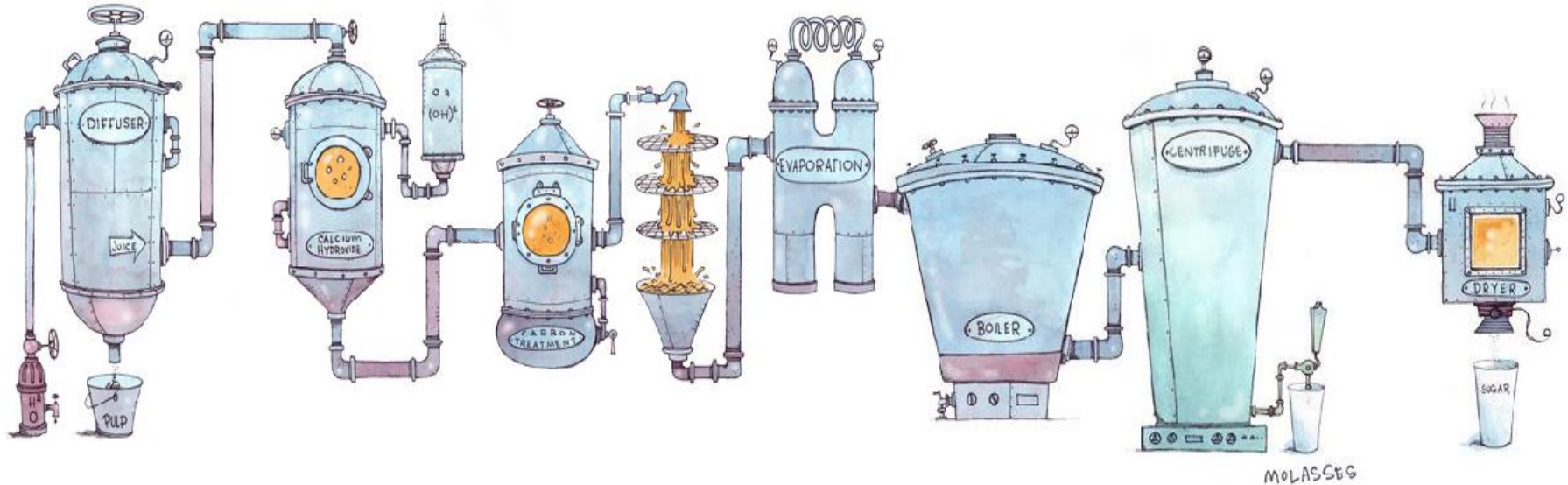
- melegítés $100-180^{\circ}\text{C}$ → megbarnul, bomlik: karamellizálódás
- hidrolízis → glükóz (szőlőcukor) + fruktóz (gyümölcscukor): invertcukor
inverzióveszély miatt a szacharóz tartalmú oldatokat pH 7-10 között kell tartani
inverzió veszély (hidrolízis): pH 6 alatt





A cukorkinyerés folyamata

<http://sweetscam.com/how-its-made/>





Technológiai lépések

Előkészítés, Tárolás

Betakarítás, előkészítés a beszállítás előtt

szedés, feldolgozás: októbertől

végső stádium a kedvező, mert a cukorraktározás még késő ősszel is folyik

fejelés: eltávolítják a répa kis cukortartalmú fej- és farokrészét

(kevés cukrot tartalmaz)

a leveles répafej értékes takarmány

Tárolás

tárolás prizmákban a tábla szélén (közút mellett)

vagy gyári átvevőhelyeken depózva

$h > 2 \text{ m}$ → levegőztetés

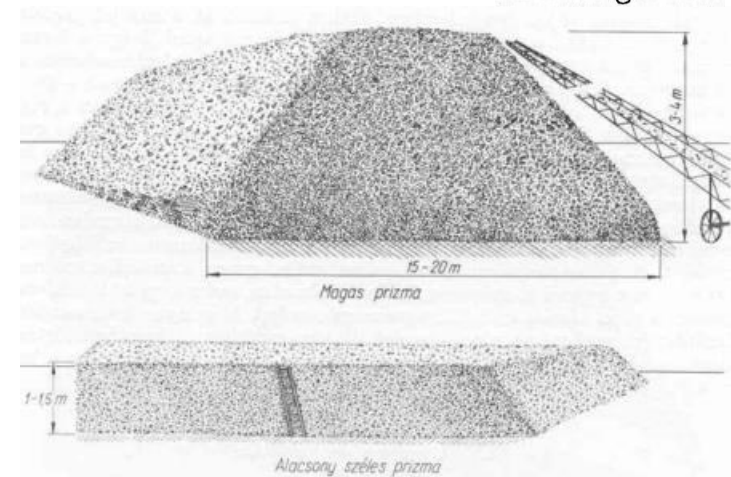
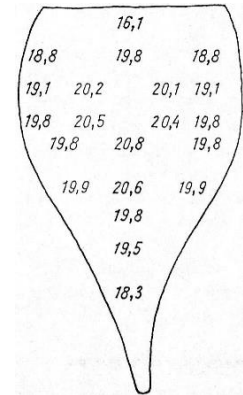
enzimtevékenység

→ cukortartalom csökkenése (0,015% naponta)

invertáz enzim → invert cukor → légzési enzimek bontják

⇒ tárolás: 0-3°C optimális

⇒ idényjellegű ipar, kampány: 80-100 nap





Technológiai lépések

Tisztítás

Tisztítás

gyárba szállított cukorrépa (közút/vasút) → mintázás (cukor, K, Na, N-tartalom)
tárolás prizmákba rakva vagy közvetlen feldolgozás

→ szállítószalagra → tárolás

→ hosszú, árokszerű csatornákba (6-8 m széles x 4-5 m mély): úsztatók

a tárolt répát víz szállítja be a gyárépületbe
részben eltávolítja a répára tapadt földet
kőfogó, gazfogó

→ mosógép





Technológiai lépések

Szeletelés, Lényerés

Szeletelés

tisztított répa → vágógépekbe (késes vágógépek) → vékony csíkok, szeletek

cél: a lényerés megkönnyítése

finomabb aprítás → szelet felülete ↑, kidiffundálás útja ↓ ⇒ kidiffundált cukor ↑

túlzott aprítás → nem-cukor ag. kiold. + mech. szil. ↓ (tömörödés, átjárhatóság ↓)

⇒ az aprítás mértékét optimalni kell

szeletelés minősége (szilin szám):

100 g szeletke együttes hossza m-ben (durvább 8-12 m, finomabb 20-25 m)



Lényerés (kilúgzás)

répaszelet (un. édes szelet): cukor az ép sejtek levében

→ kinyerés: diffúzióval történik (a sejtek dezintegrálása kerülendő)

diffúzió (tisztá vízzel): minél kevesebb idegen anyag kinyerése a cukor mellett

plazmolízis: hőhatás → sejtfehérjék koagulálása és a sejtmembrán átjárhatóvá válik

50-60°C: lassú, >80°C: sejtmembrán túlzott károsodása

optimális: 70-80°C (ideje kb. 10 perc)

Ca²⁺ adagolás, hogy a pektin ne oldódjon ki



Diffúzió hajtóereje

Fick I. törvénye:
$$S = D \cdot F \cdot \frac{C - c}{x} \cdot t$$

S – az F felületen átdiffundáló anyagmennyiség
D – diffúziós együttható
F – a felület, melyen a diffúzió végbemegy
C – tömény oldat koncentrációja (répaszeletben)
c – híg oldat koncentrációja (a kilúgzó lében)
x – diffúziós réteg vastagsága
t – diffúziós idő

} szilinszám
→ F, x
kilúgzó lé mennyisége és ellenáram
→ ΔC

hajtóerő a konc. gradiens: $\Delta C/x$, azaz az egységnyi távolságra eső konc. különbség

Einstein:
$$D = \frac{K \cdot T}{\eta}$$

K – állandó = f (molekulaméret)
T – absz. hőmérséklet
η – a víz viszkozitása adott hőmérsékleten

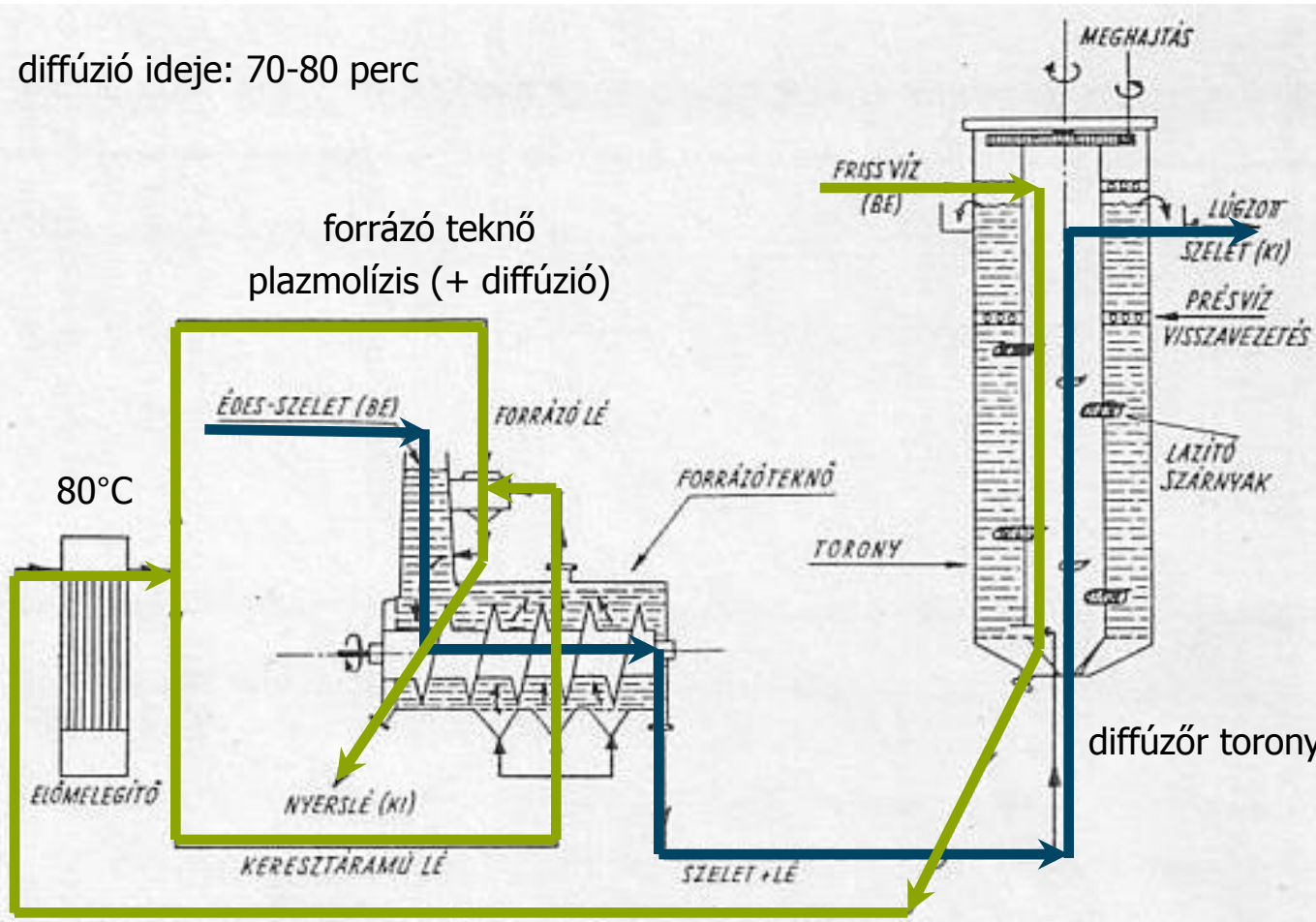


Technológiai lépések

Lényerés – diffúzor torony

diffúzió ideje: 70-80 perc

forrázó teknő
plazmolízis (+ diffúzió)



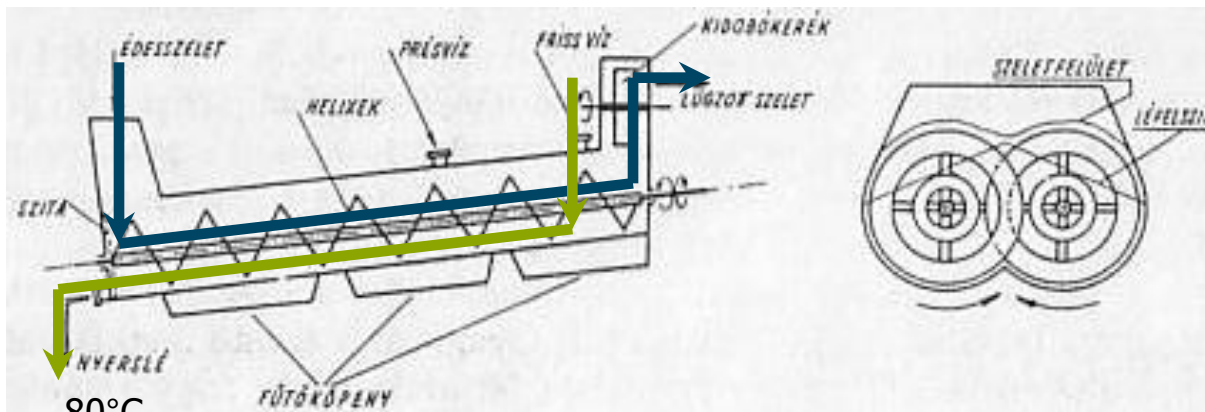
diffúzor torony



Technológiai lépések

Lényerés – fekvő diffúzor

plazmolízis + diffúzió



diffúziós teknő

120-140 perc ← szeletek törésének elkerülésére vastagabb szelettel üzemel

diffúzor tömege: répaszelettel és extraháló vízzel együtt több száz tonna

Léleházás: 100 tömegrész répaszeletből hány tömegrész nyerslé, % (jellemzően 110-120%)

Diffúziós veszteség: 0,2-0,3% a beérkező cukormennyiségre nézve



Diffúzió → zöldes szürke / majdnem fekete nyerslé

120-170 g/l cukoroldat

tisztasági hányados: cukor / összes szárazanyag → 85-88%

cukor mellett: invert cukor, szerves savak, kolloidok (fehérjék, pektin), szerves ionok

Létisztítás

nem-cukor anyagok eltávolítása

→ minimális cukorvesztés

→ a keletkező anyagok ne gátolják

- a bepárlást

- a kristályosítást

Meszes-szénsavas eljárás (kb. 700 tesztelt technológiából)

nyerslé + mésztej ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) → nem-cukor anyagok kicsapása

→ CO_2 bevezetés (szaturálás) → CaCO_3 szűrő-derítő anyag

→ jól szűrhetőek lesznek a kicsapott nem-cukor anyagok



Meszes-szénsavas eljárás

mészkeő égetés a cukorgyáron belül → mésztej és CO₂ eá.

I. Előderítés/derítés

1,5-2,5 kg/m³ CaO egyenérték mésztej → pH 10,8-11,2

→ fehérjék (kolloidok) kicsapása

→ oldott szerves savak és alkálisóik egy része → rosszul oldódó Ca-só csapadék

II. Főderítés/főmeszezés

+ 9-20 kg/m³ egyenérték mésztej

→ az invertcukor és savamidok elroncsolása

→ a kicsapott iszap szűréséhez szükséges CaCO₃-hoz elegendő mész biztosítása

III. Szénsavazás 1.

CO₂ bevezetés → pH 10,8-11,2 → előderítés csapadéka + kivált CaCO₃ szűrése

IV. Szénsavazás 2.

szűrllet + további CO₂ bevezetés → Ca²⁺ felesleg eltávolítása szűréssel



Technológiai lépések

Létisztítás - Derítés

Előderítés

fehérjék (kolloidok) a nyerslében:

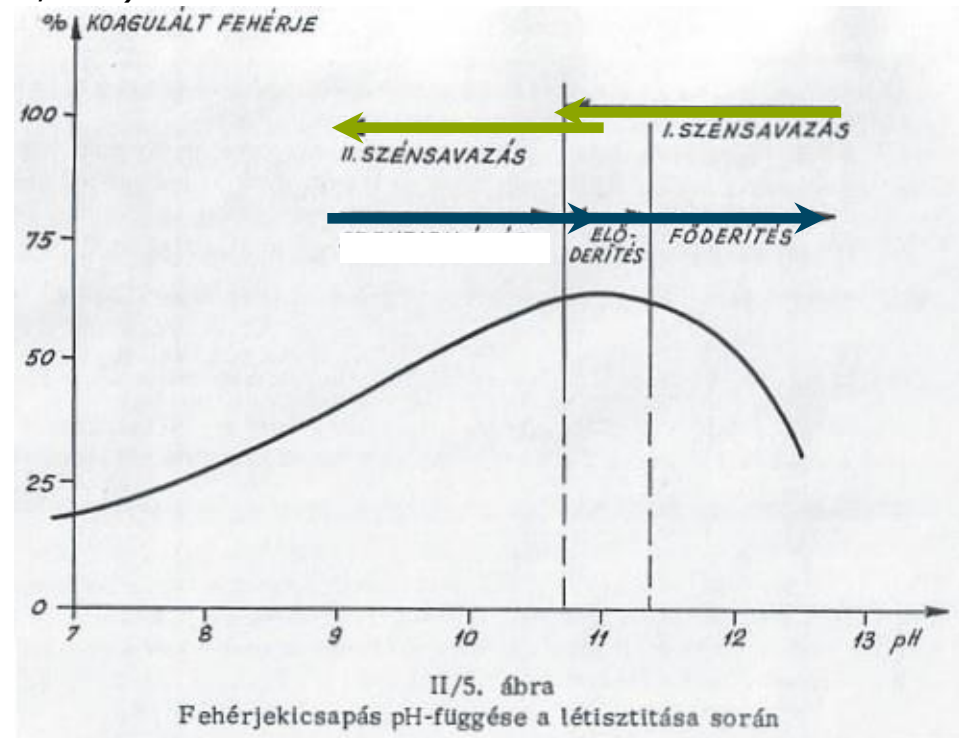
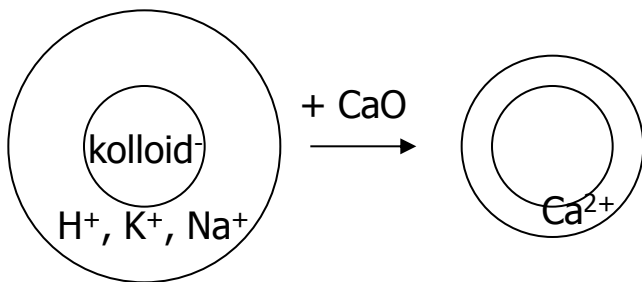
negatív töltés és pozitív töltésű hidrátburok (H^+ , K^+ , Na^+)

kicsapási maximum:

- pH 3,5 (izoelektromos pont)
- 10,8-11,2

savas közeg → inverzió

⇒ lúgos kicsapás: Ca^{2+} ioncsere →
a hidrátburok lecsökken →
kicsapódik





Technológiai lépések

Létisztítás - Derítés

Előderítés

Ca^{2+} ioncsere = f (idő)

hirtelen / egyenlőtlen meszezés

→ nem teljes Ca^{2+} ioncsere → nyálkás, nehezen szűrhető csapadék

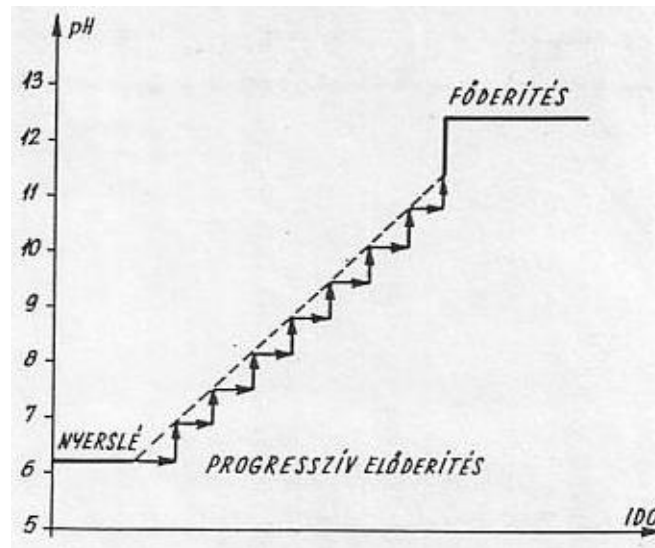
→ helyi túlmeszezés → kicsapódott kolloidok visszaoldódása

⇒ töbllépcsős (un. progresszív) derítőberendezés

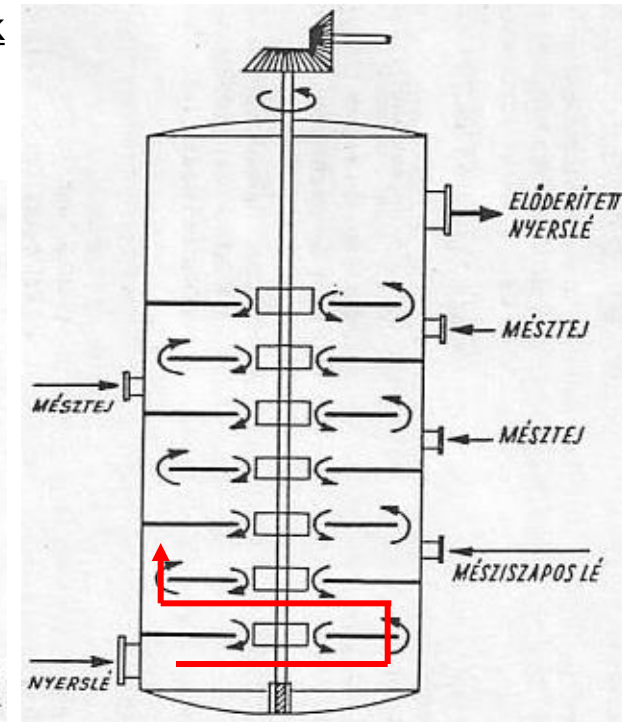
mésziszapos lé

visszavezetése

→ finomabb pH állítás



10-15 perc





Főderítés/főmeszezés

- nagyobb mészadaq: +9-20 kg/m³ CaO egyenérték mésztej
(↔ előderítés: 1,5-2,5 kg/m³)
- rövidebb idő: néhány perc
(↔ előderítés: 10-15 perc)
- 75-85°C

- invert cukor → szerves savak
de hátrányos folyamatok is:
 - szacharóz → szerves savak
 - kicsapódott kolloid fehérje visszaoldódása

- mégis szükséges mert a szaturáció során így kapható elegendő CaCO₃, mely:
jól szűrhetővé teszi az derítésnél kapott csapadékot
nagyfelületű, így adszorbeálja az invertbomlás és a nyerslé színes anyagait



Technológiai lépések

Létisztítás - Szénsavazás

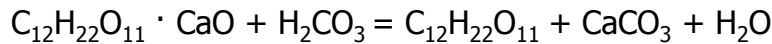
Szénsavazás/szaturáció

CO₂ bevezetése 2 lépésben

1. CO₂ → koloid kicsapáshoz optimális pH (pH 10,8-11,2) beállítása

CO₂ → CaCO₃ → szűrési segédanyag → lé szűrés, tisztulás

+ szacharóz visszanyerése a Ca-szacharátokból



CaCO₃ szemcseméret:

szűréshez elég durva

adszorpcióhoz elég finom, nagyfelületű

CO₂ → Ca²⁺ ionkonc. ↓

ha a szaturáció 1 lépésben történne → Ca²⁺ ionkonc. ↓↓

→ koagulált koloidok visszaoldódnának

⇒ optimális pH (Ca²⁺ ionkonc.) elérése → CO₂ bevezetés leáll → mézsziszap szűrése

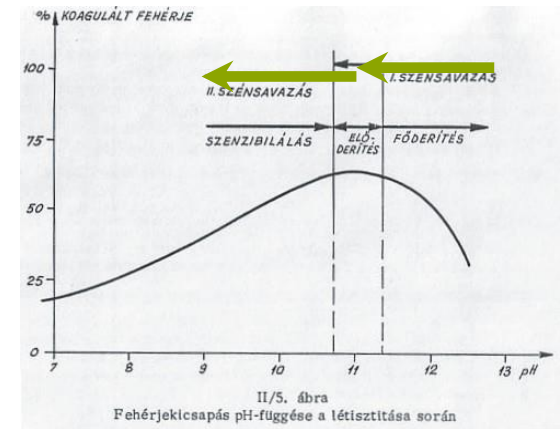
szűrés: ülepítők / zagysűrítő szűrők: 25-30% sza. zagy (ebből visznek az előderítésbe is) → a zagy vákuumdobszűrőre kerül

a lé tükrösre szűrése → szűrés kovaföld / perlit szűrőrétegen

2. további CO₂ bevezetése a mézsziszap eltávolítása után

pH 8,5-9,0 beállítása

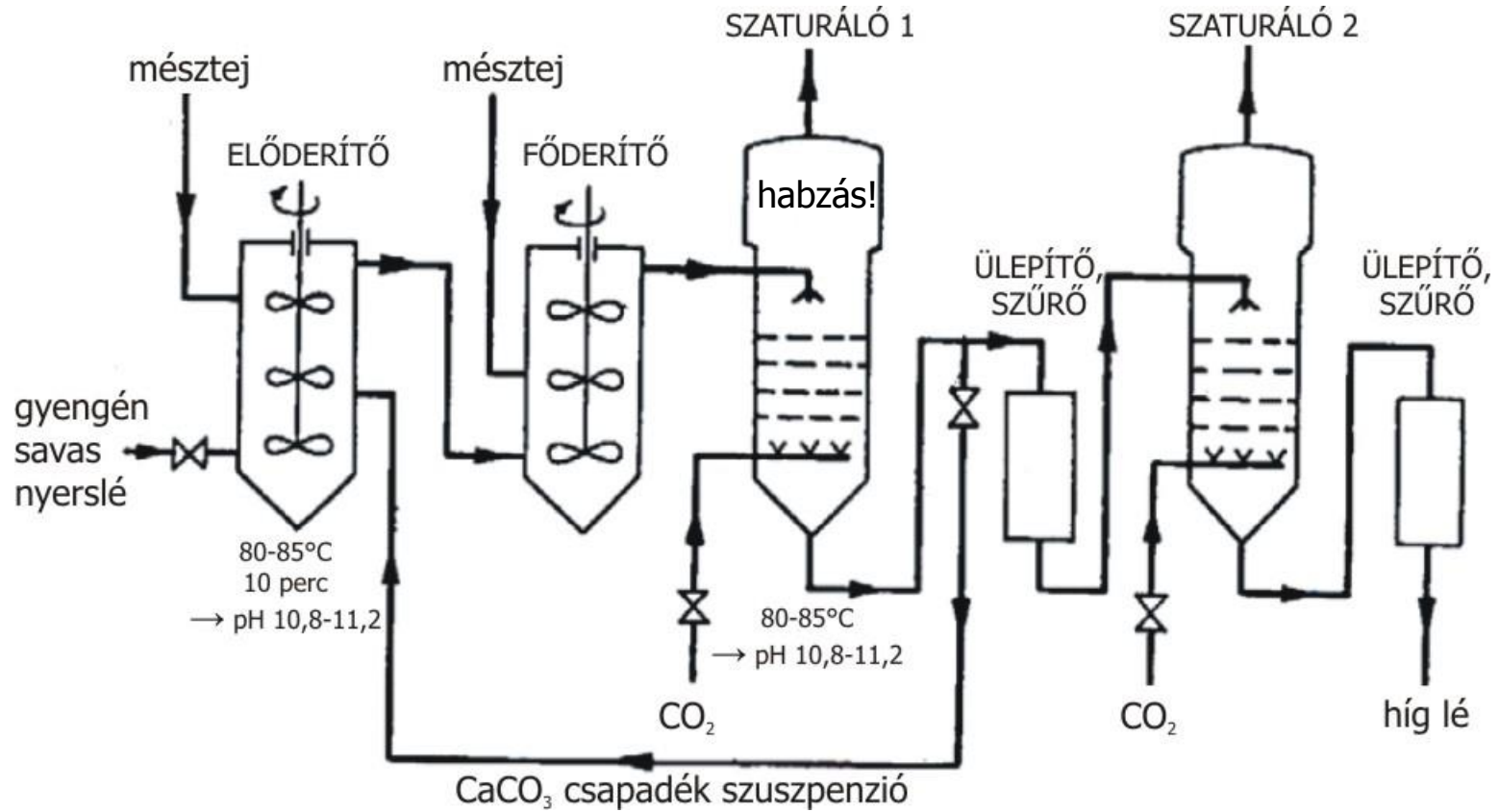
→ minimális maradék Ca²⁺





Technológiai lépések

Létisztítás





Ioncsérés tisztítás (opcionális)

ionos nem-cukor anyagok eltávolítása:
kation- és anioncserélő gyantákkal

Ca²⁺ és Mg²⁺

hátrányosak a bepárlásnál: lerakódások

előnyösek bepárlás után: szacharóz kristályosodási hajlama ↑

⇒ bepárlás előtt: $\text{Ca}^{2+} \rightarrow 2 \text{Na}^+$ ioncsere
bepárlás után: $2 \text{Na}^+ \rightarrow \text{Ca}^{2+}$ ioncsere



Technológiai lépések

Bepárlás

Létisztítás után híg lé

→ 130-160 kg/m³ cukorkonc.

Bepárlás

→ 600-650 kg/m³ cukorkonc.

szárazanyag növekedéssel arányosan nő a
sűrűség, viszkozitás

5+ fokozatú bepárló

nyomás alatti (>100°C) / vákuumrendszerű (60-70°C) / vegyes

- kémiai változások:

invertcukor, savamidok és karbonátok bomlása

→ CO₂ és NH₃ távozik

cukor karamellizálódása

→ pH ↓ → invertcukor képződése és bomlása + karamellizáció → lé sötétedése

⇒ szóda-adagolás → alkalitás pótlása

- mészsók kirakódása a fűtőfelületre



sűrűlé színe: mézsárga – sötétbarna



Kristálycukor gyártása

Gócképzés, kristálynövekedés

sűrűlé → kristályosítás

túltelítettségi tényező: $\alpha = \frac{H}{H_1}$

H – cukor tömege a túltelített oldatban

H₁ – cukor tömege a telített oldatban (adott hőmérsékleten és tisztasági hányados mellett)
az oldószer (víz) tömege H és H₁ esetén egyenlő

túltelített oldat → gócképződés

gócok / növekvő kristályok felületén átmeneti réteg (az épülő kristályrács felszíne)

azon kívül diffúziós réteg → ebből cukormolekulák lépnek a kristályrácsba ⇒ túltelítettség ↓

→ új molekulák vándorolnak a diffúziós rétegbe → diffúzió a sebesség meghatározó

Szakaszos vákuumfőző készülékben (a cukor hőérzékenysége miatt):

→ 1,2-1,25 túltelítettség (bepárlással érik el)

→ cukorpor adagolása → egyenletesebb kristálynövekedés (↔ spontán gócképződés)

→ sűrűlé beadagolás → 1,1-1,15 túltelítettség → kristálynövekedés (↔ gócképződés)

→ beadagolás → bepárlás → beadagolás → bepárlás → 90-93% sza.-tartalom

leengedett anyag → tárolás: pépkavaró → növekvő kristályok ne nőjenek össze

lehűlés: gyors túltelítődés → porképződés ⇒ hígítás vízzel / híg cukoroldattal



Kristálycukor gyártása

Centrifugálás

pépkavaró → **centrifugába**

→ lefolyó anyalúg: **zöldsörp/-szirup**

→ nyerscukor kristályok mosása vízzel és gőzzel: fedés (affinálás)

→ lefolyó cukros oldat: **fehészörp/-szirup**

cukorkristályok oldódnak bele ⇒ tisztább, mint a zöldsörp

1. kristályosítás → I. termék (a lében levő cukor 50-55%-a): kristálycukor

I. termék zöldsörp → kristályosítás → centrifugálás → II. termék (középtermék)

II. termék zöldsörp → lassú kristályosítás hűtéssel → centrifugálás → III. termék (utótermék)

III. termék zöldsörp: melasz

I. termék: megfelelő tisztaság ⇒ kristálycukor

II., III. termék → tisztítás: átkristályosítás / finomítás
vagy sűrűlébe keverve

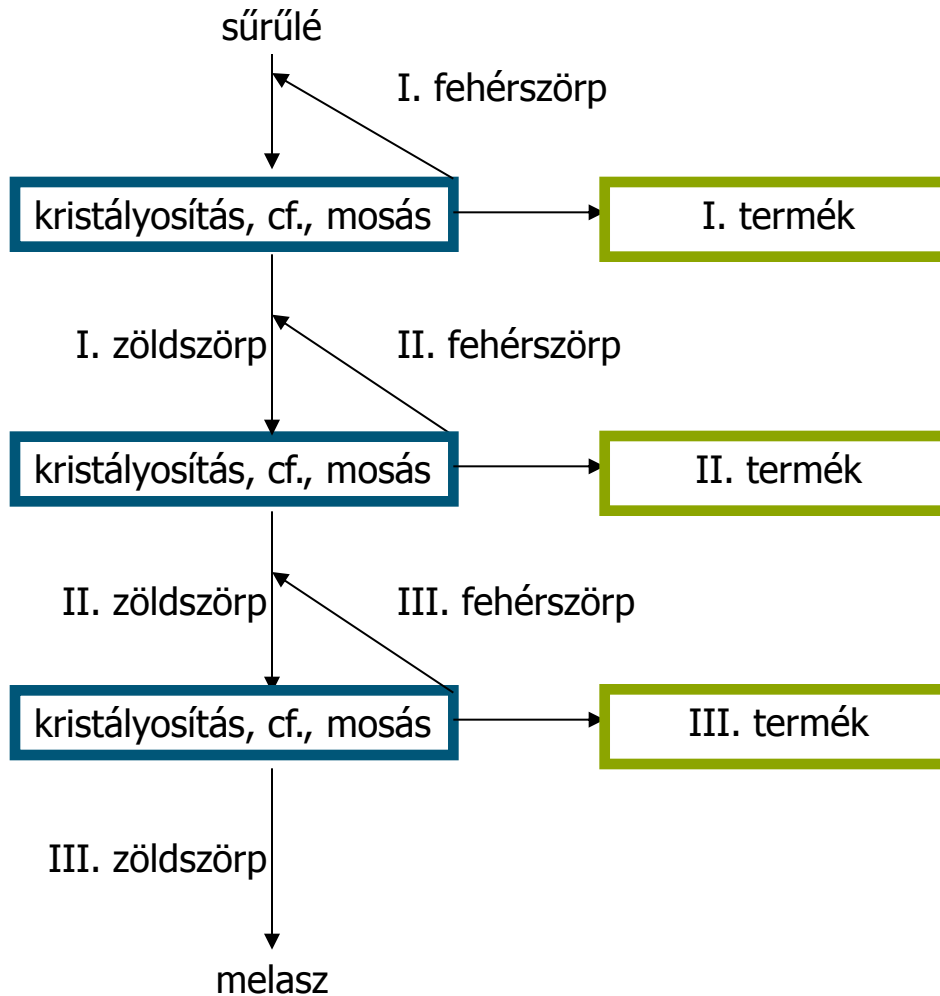
melasz: sok nem-cukor anyag ⇒ a cukor kristályosítással nem nyerhető ki
a diffúzióval kinyert cukor 15%-a a melaszba kerül

kb. 20% víz, 48% cukor, 32% nem-cukor anyag

tisztasági hányados: kb. 60%



Kristálycukor gyártása





Cukortermékek

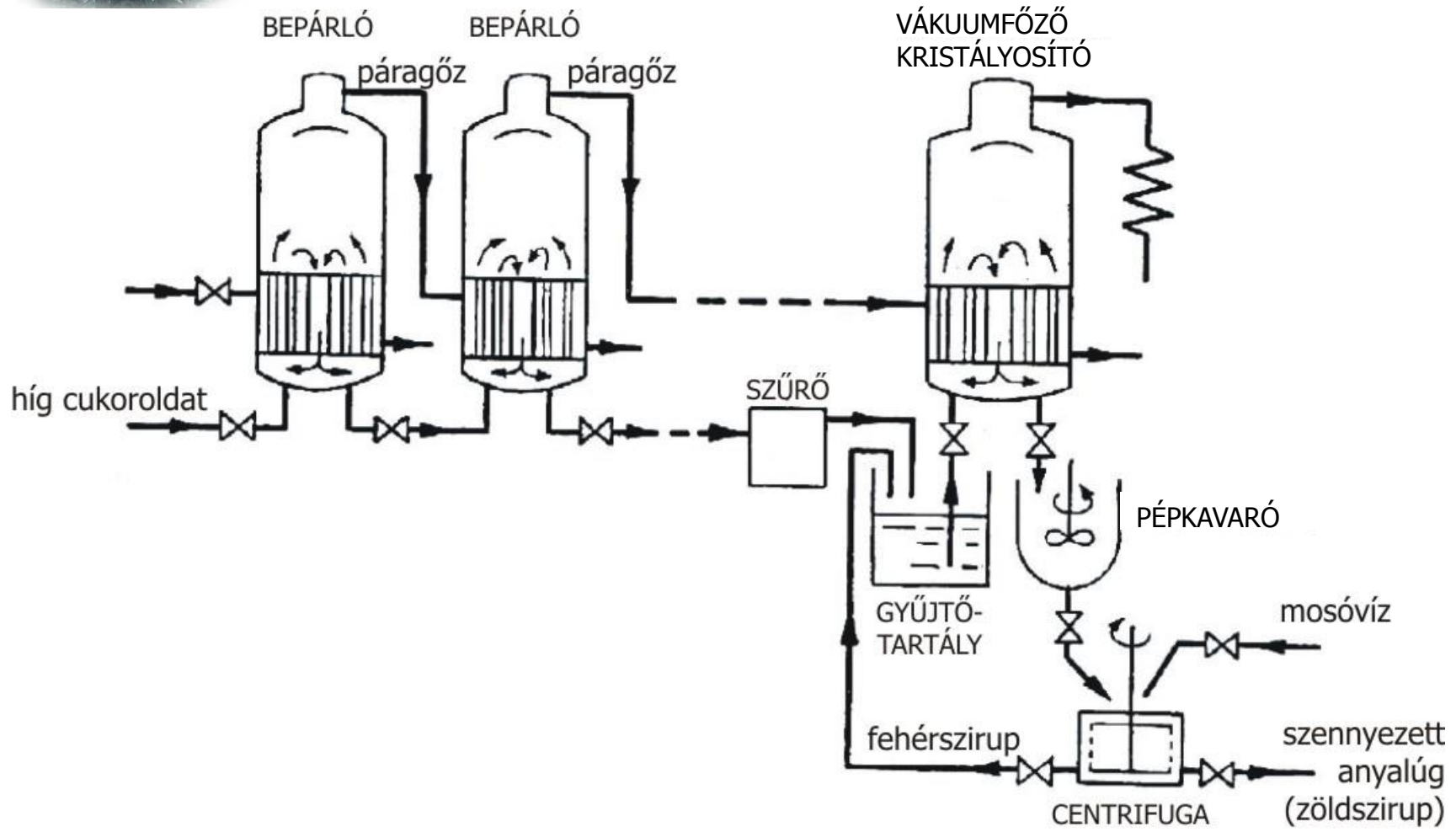
A nyerscukor és a melasz általános összetétele (%)

	I. termék nyerscukor	Utótermék nyerscukor	Melasz
Cukor	94	89	48
N-vegyületek	1	2	10
Egyéb szerves vegyület	1	2	13
Hamu	1	2	9
Víz	3	5	20



Technológiai lépések

Bepárlás - kristályosítás





Cukorfinomítás

Raffinálás

Az affinálás után nem-cukor anyagok zárványként \Rightarrow finomítás

II. és III. termék cukor \rightarrow feloldás \rightarrow tisztítás \rightarrow kristályosítás (anyalúgja: **fehérszörp**) \rightarrow kristálycukor, kockacukor (fedés telített cukoroldattal, préselés, szárítás, vágás)

Feloldás: tiszta vízzel / híg lével gőzzel fűtött keverős edényben
alkalitás beállítása mész adagolással 10 g/m³ CaO értékre (opcionális)

Tisztítás: csontszénnel / aktívszénnel / derítőgyantával

csontszén: megköti a színyanyagokat és sókat

nem köti meg a fehérjéket / azok bomlástermékeit

tornyok összekapcsolva \rightarrow telep

kimerült csontszén regenerálása: savas kezelés és izzítás

szükséges mennyiség: II. és III. termék cukormennyiség 80-100%-a

drága

aktívszén: nagy C-tartalmú alapanyagból aktiválással

N-tartalmú szennyeződések megkötése

a) bekeverés a derítendő lébe \rightarrow szűrés / b) szűrőfelületre rétegezés \rightarrow derítendő oldat átnyomása

szükséges mennyiség: cukormennyiség 0,05-0,4%-a

színtelenítő gyanta: erősen színezett utótermék finomítására, híg oldatban (25-40% sza.)

anioncserélők (megkötés semleges/savas, deszorpció lúgos közegben)



Termékek, Felhasználás

extrahált nyerslé,
préselt lé,
derített híg­lé,
bepárolt sűrűlé
közétermék nyers cukor
finomított cukor



Cukor felhasználása

Édesítésre

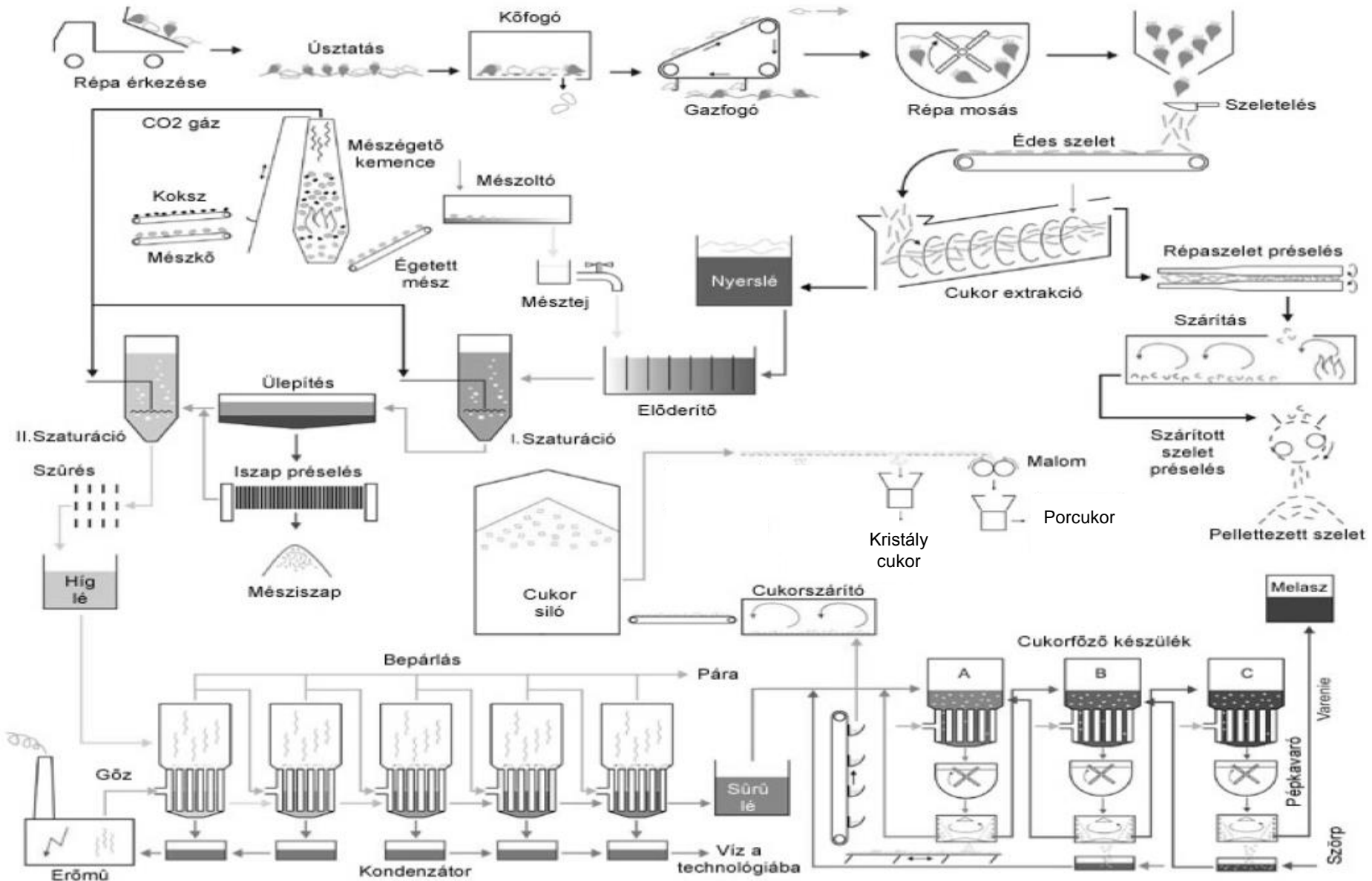
Kereskedelemben kapható cukor

- Répacukor kristály: fehér / barna (fehér+melasz)
- Nádcukor kristály: finomítatlan (barna), finomított (fehér)
- Cukorszirup: répaszeletek főzése, préselése után nyert, majd besűrített méz­szerű cukoroldat (Mo. nem)





A cukorgyártás folyamata





Melléktermékek hasznosítása

100 kg répából →

14 kg cukor

4 kg melasz

5 kg szelet szárazanyag

8 kg mézsiszap

Préselt szelet

kilúgzott szelet: 6-7% sz.a. → préselés (régén szárítás is)

→ biogáz

→ takarmányozás

→ pektin-gyártás

Melasz

a szó a görög mellas, azaz méz szóból származik
sűrűn folyó, sötét színű folyadék

→ fermentációs eljárások

→ takarmányozás

Mézsizap

protein, pektin, CaCO_3 , (50% sz.a.)

P és N-tartalom (a sz.a. 25%-a)

→ elsavanyodott talajok javítására





Préselt szelet jellemzői

Préselt szelet

kilúgzott szelet: 6-7% sz.a.

Préselés → 25-26% sz.a.

(Szárítás → 93% sz.a.)

sz.a. összetétele:

- 18-24% cellulóz
- 18-32% hemicellulóz
- 15-32% pektin
- 5-10% fehérje
- 3-6% cukor
- 3-12% hamu
- 3-6% lignin





Préselt szelet felhasználása

biogáz – bakteriális anaerob lebontás
hidrolízis → savképz. → acetátképz. → metánképz.

Cukoripar → melléktermék répaszelet és törmelék → állattenyésztés

- igény a takarmányozásra ↓
→ melléktermék lerakókba szállítása környezetterhelő, + többletköltség
- földgáz ára ↑
⇒ répaszelet → biogáz (maradék → talajjavító)

Kaposvár (osztrák Agrana / Magyar Cukor Zrt.)

a világ egyik legnagyobb biogáz üzeme: 2007 vége
egynemű alapanyagot hasznosít: répaszelet

→ 2 000 t préselt szelet és törmelék / nap

→ nagyobb részét biogázosítják (a többi takarmány)

→ **55% metántartalmú biogáz**

→ földgázfelhasználás csökkentése

cukorrépa-szelet → biogáz fűtőértéke: 2/3 a földgázénak ⇒ kazánokon kisebb műszaki átalakítások
kb. 4 év a megtérülési idő (1,7 Md Ft)



Préselt szelet felhasználása

biogáz – bakteriális erjedés
hidrolízis → savképz. → acetátképz. → metánképz.



2 db 13 000 m³ reaktor
(29 m magas, 25 m Ø)

2.500 m³ „léggömb”
gáztartály





Préselt szelet felhasználása

biogáz – bakteriális erjedés
hidrolízis → savképz. → acetátképz. → metánképz.



bővítés:

- utófermentor
→ további 7 000 m³ biogáz / nap
- 2012-ben 3. reaktor 16 000 m³
→ az energiaigény 80%-ának lefedése
2013-ban összesen 270 000 m³ biogáz / nap

legutóbbi fejlesztés:

- gáztisztítás (CO₂ elválasztás), utána a gáz betáplálható a földgázhálózatba



Magyarország

cukorgyártás történeti áttekintés

1808 Ercsi - mezőgazdasági cukorkészítő üzem

(1806 napóleoni kontinentális zárlat → a nádcukor nem juthatott be Európába → répacukor gyártás)

I. világháború kitöréséig Magyarországon 31 cukorgyár működött

I. világháború után az új határok között 12 cukorgyár maradt

II. világháborút követően a cukorgyárakat államosították

1979 Kabán létesített Hajdúsági Cukorgyár

rendszerváltozáskor Magyarországon 11 cukorgyár működött:

Kaposvár, Petőháza, Szerencs, Szolnok, Kaba, Hatvan, Sarkad, Mezőhegyes, Sárvár, Ács, Ercsi

1991- privatizáció → osztrák, brit, francia többségi tulajdon

EU-ba lépés, 2004 5 cukorgyár

2007 már csak 2 működő gyár: Kaposvár, Szerencs

2008 maradt 1 működő gyár: az osztrák Agrana (német Südzucker) - Magyar Cukor Zrt., Kaposvár

Magyarország cukorimportőr lett (a fogyasztás 1/3-át termeli a Magyar Cukor)

**2005 előtt** EU cukorpiac:

védte az Unió saját termelőit a világpiacon jelenlévő olcsóbb termékektől

- mesterségesen magasan tartott árak, kvótával szabályozott mennyiségek
- a külföldi verseny kizárása és az uniós piacon felhalmozott felesleg export értékesítése

2005 Világkereskedelmi Szervezet (WTO) eljárást indított az EU ellen:

- az EU exportot 1/5-ére csökkentve
- utat enged a fejlődő országokból érkező agrártermékeknek, így az olcsó nádcukornak is, cserébe az uniós ipari termékek korlátok nélküli és vámmentes exportjáért a harmadik világba

2006 EU cukorreform

- az Unió nem támogatja nádcukornál jóval nagyobb költséggel előállítható répacukrot
- az európai termelőket arra ösztönzik, hogy térjenek át más haszonnövények termesztésére
kompenzáció a gyáraikat felszámoló vállalatoknak és a termelésüket beszüntető gazdáknak
- az Unióban 79 cukorgyár zárt be



Cukorgyártás

cukornád - *Saccharum officinarum*

Felhalmozódás

4–6 méter hosszú, húsos, bütykös száranak levében

Összetétel, %

eltér a répától

aránylag sok invertcukrot és szabad növényi savakat, de kevesebb nitrogénvegyületet (fehérjét, aminosavat) tartalmaz

összetétel = f (fajta, éghajlat, művelés, talaj, időjárás)
→ 13-15% cukor + 0,2-0,6% invertcukor

Feldolgozás

apró darabokra (péppé) tört nád → sajtolás (vízzel újra) → cukor 60-90%-a

→ derítés mésztejjel (mennyisége a lé 0,1%-a)

→ melegítés 88°C-ra → fehérje és mézszó kiválás, habtakaró

→ hab eltávolítása → ülepités → szűrés

→ bepárlás → kristályosítás (→ finomítás)

melasz → erjesztés → pl. rum

