

## "FAGYI-TUDOMÁNY" FAKULTATÍV INTEGRÁLT PROJEKT KÖZÉPISKOLÁSOKNAK

### "ICE-CREAM SCIENCE" – FACULTATIVE SCIENCE PROJECT FOR HIGH SCHOOL STUDENTS

Szente Judit<sup>1</sup>, Juhász András<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Eötvös Lóránt Tudományegyetem, Természettudományi Kar, hallgató

<sup>2</sup>Eötvös Lóránt Tudományegyetem, Természettudományi Kar, Anyagfizikai Tanszék.

#### ÖSSZEFOGLALÁS

*A fagylalt fizikai tulajdonságait, köznapi élvezeti értékét összetétele és mikroszerkezete határozza meg. A tulajdonságok, a szerkezet és a készítés műveleteinek összekapcsolása fontos diákjaink természettudományos szemléletének fejlesztése szempontjából.*

*A mindenki által kedvelt fagylalt sajátosságainak megismerése, az ennek során szerzett - a tantervi anyagot meghaladó- interdiszciplináris háttérismeretek és az elvégzett kísérletek, mérések jó lehetőséget kínálnak a kötelező iskolai munka kiegészítésére.*

#### ABSTRACT

*The physical features of ice-cream, as well as the quality of its flavour, are determined by its ingredients and microstructure. Combining these properties with its preparation and structure is important considering the development of students' scientific approach.*

*The knowledge of the peculiarities of ice cream-which we all like so much-and interdisciplinary background information thereby obtained offer a great opportunity to supplement compulsory schoolwork, and so doing experiments and measurements.*

#### KULCSSZAVAK/KEYWORDS

Fagylalkészítés, Többfázisú rendszer, Raoult-törvény

Preparation of the ice cream, Multiphased system, Raoult's law

#### BEVEZETÉS

A fagylaltot minden diák kedveli. A jó fagyi krémes, lágy, mégis tartása van, nem kezd csöpögni az első nyalás után, tartalmaz, érezni benne a valódi csoki, vanília, friss gyümölcsök ízét, illatát. A jó fagyi titka sajátosan összetett mikroszerkezetében illetve az azt biztosító készítési eljárásban van. Bízva abban, hogy a fagyi titkainak megismerése felkelti a fiatalok érdeklődését, a fagyi „tudományos” vizsgálatára fakultatív középiskolai projektet építettünk. Ennek során –a fagyihoz kapcsolva - számos olyan fizikai, kémiai, biológiai ismerettel foglalkozunk, amik a tantervi anyagból hiányoznak, vagy csak alig szerepelnek benne. A jelen keretek közt a program fizikai ismereteket tartalmazó részével foglalkozunk.

A fagyalt története évszázadokra nyúlik vissza. Érdekes kultúrtörténeti része a projektnek a fagy történetének, internetes kutatása, régi receptek keresése.

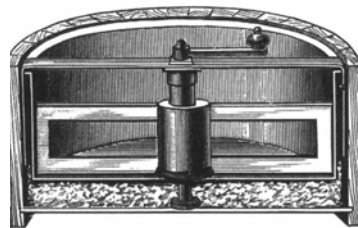
A receptek szerint érdemes megkülönböztetni a vizes gyümölcsfagyaltokat és a tejes krémfagyaltokat. Az előbbi lényegében édes, gyümölcsös jégkása, az utóbbi ennél összetételében és mikroszerkezetében is jóval bonyolultabb – és finomabb. A következőkben a tejes krémfagyaltokkal foglalkozunk.

A krémfagyaltok alapanyaga pasztörizált tej, tejszín, (víz, fehérje, tejsír), cukor, ízesítők (ez utóbbi lehet csokoládé, vanília, gyümölcs, stb.) Az iparilag előállított fagyaltporok mindezt optimális arányban tartalmazzák, adalékanyagokkal kiegészítve. Ez utóbbiaknak a fagyalt mikroszerkezetét stabilizálják, így hosszabb ideig megtartja élvezeti értékét.

A fagyaltkészítés legfontosabb része a ízesített tejes-tejszínes folyékony alapanyag állandó keverés mellett történő megfagyasztása. A fagyasztás hőmérsékletét és a keverést úgy kell szabályozni, hogy a víz apró különálló jégkristályok formájában váljon ki és az anyag megtartsa krémes puhaságát. Az alacsony hőmérséklet biztosítása manapság, a modern elektromos fagyasztógépek korában, a nyári melegben sem tűnik nehéz feladatnak, dédanyáink korában azonban annak számított. A fagyasztáshoz nem elég a tiszta jéggel elérhető 0 °C-os hőmérséklet, az anyagot jóval ez alá kell hűteni, hogy a jég kristályosodása meginduljon. A jégkristályok képződése érzékenyen függ a hőmérséklettől. Minél inkább a víz fagyáspontja alá hűtjük a keveréket, annál nagyobb számban és kisebb méretben válnak ki a jégzemcsék, annál krémesebb lesz a fagyalt. Az egyenletesen apró jégkristályok képződését segíti az is ha a fagyasztás közben folyamatosan keverik az anyagot. (A jelenséget értelmező kristályosodási mikromechanizmusok tárgyalása meghaladja a középiskolás szintű projekt lehetőségeit.) A fagyaltkeverék intenzív hűtését a régiek ún. „sós hűtőkeverékkel” biztosították. A klasszikus fagyaltkészítési eljárás kipróbálása és a hűtőkeverék „működésének” hátterében lévő fizikai-kémiai törvények kimérése fontos lépés projektünkben.

## FAGYALTKÉSZÍTÉS SÓ-JÉG KEVERÉKKEL

Az 1. ábrán egy régi, speciálisan fagyaltkészítésre készült edény látható, Nancy Johnson amerikai hölgy találmánya



1. ábra..  
Fagyaltkészítő edény 1846-ból



2. ábra.  
Taulókísérleti összeállítás

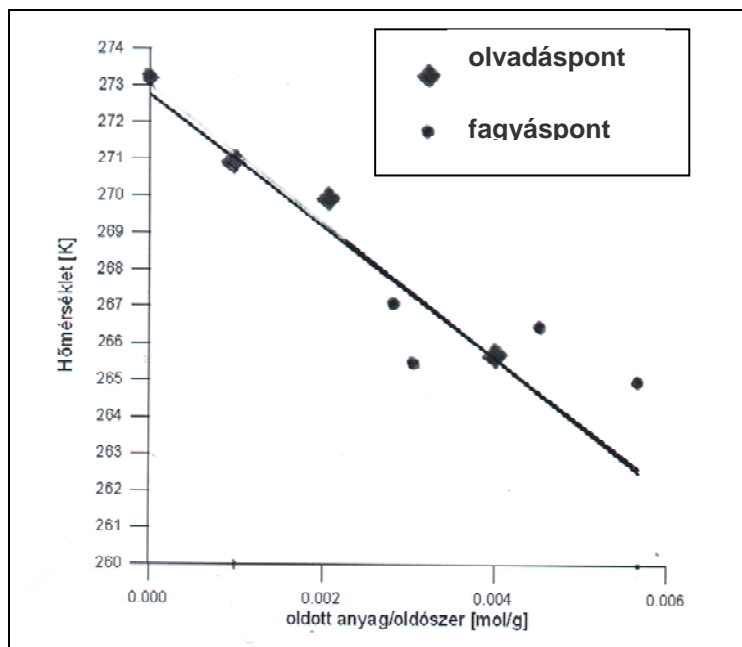
Az edény dupla falú a külső fal szigetelt, a belső jó hővezető vékony fémlemez. A két fal közti térbe töltötték a sós-jeges hűtőkeveréket, a belsőbe a fagyasztani kívánt, még folyékony

fagylalt alapanyagot. Hűlés közben az anyagot folyamatosan keverték az ábrán látható lyukas felületű forgó lapátokkal.

A 2. ábra fotója az általunk készített összeállítást mutatja felülnézetből. A fagylaltkészítő edényt házilag, egy nagyobb műanyagtálból és egy kisebb hengeres fém pohárból ragasztottuk össze. A külső műanyag edénybe tettük a sózott jeget, a fém pohárba a folyékony fagylaltkeveréket. Mindkét térrészben mértük a hőmérsékletet, miközben a fagylaltot gyakran, szakaszosan kevergettük. A  $-12\text{ °C}$ -os hűtőkeverékben kb. 20 perc alatt készült el az elfogadható keménységű  $-4.4\text{ °C}$ -os hőmérsékletű fagylalt.

*Miért, és mitől függően hűl le a só-jég keverék hőmérséklete a jég olvadáspontja alá?*

A jég olvadáspontja légköri nyomáson  $0\text{ °C}$ . Ha az olvadó jég-zúzalékhoz konyhasót keverünk, a keverék hőmérséklete  $0\text{ °C}$  alá csökken. A vizes sóoldat fagyáspontja ugyanis kisebb, mint a tiszta vízé – ez a jelenség a „fagyáspontcsökkenés”. Kísérletsorozattal vizsgáltuk a fagyáspontcsökkenés mértékének függését a sókoncentrációtól. Két csoportban, kétféle módon végeztünk méréseket. Vizsgáltuk különböző töménységű sóoldatok fagyáspontjának értékét elektromos fagyasztószekrényben történő fagyasztás során. A  $-22\text{ °C}$ -os fagyasztószekrénybe helyezett oldatok állapotát 5-10 percenként megnéztük, és megmértük azt a hőmérsékletet ahol az anyag „kásásodását” észleltük. A másik eljárás során szobahőmérsékleten dolgoztunk. Főzőpoharakba lemért tömegű olvadó jégkását tettünk és ehhez előre lemért mennyiségű konyhasót kevertünk (a keverék koncentrációját utólag határoztuk meg) A só hozzáadására, és alapos elkeverésére az olvadó jég kezdeti  $0\text{ °C}$ -os hőmérséklete lecsökkent, majd ahogy a jég olvadt és az oldat hígult lassan melegedett. A keverék hőmérsékletét akkor olvastuk le, amikor már alig volt jég az edényben. A kétféle mérési módszerrel mért fagyáspont – koncentráció adatokat együtt ábrázoltuk. A grafikont a 3. ábra mutatja (a koncentrációt mol / g egységekben tüntettük fel.)



3. ábra.

A mérési pontokra egyenes illeszthető, azaz a fagyáspontcsökkenés a sókoncentrációval egyenesen arányos. (Raoult-törvény).

A só-jég keverékkel elérhető hőmérséklet, maximális fagyáspontcsökkenés esetén,  $21\text{ °C}$ .

A sóhoz hasonlóan fagyáspontcsökkenést eredményez a vízben oldott cukor is. A fenti mérés cukoroldatokkal is elvégezhető. A cukros oldat koncentrációtól függő fagyáspontcsökkenésének jelentős szerepe van abban, hogy a hagyományos módon

(kb.  $-18\text{ °C}$  hőmérsékleten) készített fagylaltban a kifagyott jégzemcsék között ott marad a megnőtt cukortartalmú sűrűn folyó oldat is. Ez teszi lággyá, krémesé a fagyit.

A fagyasztógépekkel történő modern fagylaltkészítésnél ügyelnek arra, hogy az elegyet ne hűtsék le annyira, hogy a tömény cukoroldat szilárd üvegállapotúvá dermedjen.

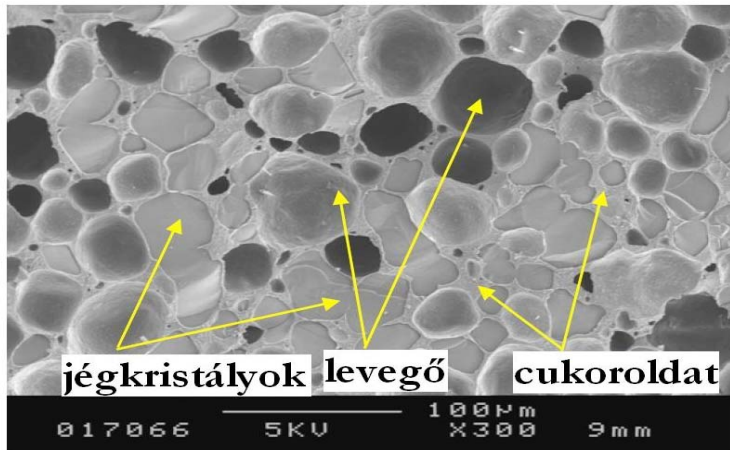
## FAGYLALTKÉSZÍTÉS FOLYÉKONY NITROGÉNNEL

A fagylaltkészítés látványos, extrém módja a nitrogénnel történő hűtés. A  $-196\text{ °C}$ -os cseppfolyós nitrogént állandó intenzív keverés mellett, óvatosan, vékony sugárban öntjük az előkészített fagylaltfolyadékhoz. A nitrogén intenzíven hűti az anyagot, miközben

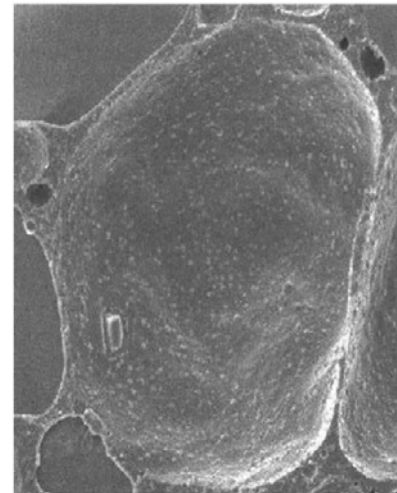
több-kevesebb része apró buborékokat képezve benn marad az egyre sűrűsödő keverékben. Óvatosan végezve a hűtést kellően jeges, mégis krémes habos fagylaltot kaphatunk.

## A FAGYLALT ÖSSZETETT MIKROSZERKEZETE

A fagylalt élvezeti értékét összetétele és mikroszerkezete határozza meg. Az előbbivel a fagylalt készítése kapcsán már foglalkoztunk. A fagylalt mikroszerkezete összetett. A jó fagylalt lényegében három különböző halmazállapotú fázis finom elegye. A szilárd fázist az apró kristályos jég adja, a folyadék fázist a víztartalom kikristályosodása miatt betöményedett viszkózus cukoroldat (ami a fagyáspontcsökkenés miatt nem fagy meg), a gáz-fázist az anyagban lévő nagyon apró légbuborékok képviselik (ez teszi a fagylaltot habossá). Nagyon fontos, hogy a jégzemcsék és a buborékok száma nagy, mérete kicsi legyen. J. Clark a fagylaltokkal foglalkozó kanadai professzor szerint a jó krémfagylalt egyetlen grammnyi mennyiségében  $8 \cdot 10^6$  db, átlagosan  $50\text{ }\mu\text{m}$  méretű jégzemcse, kb. ugyanennyi  $70\text{ }\mu\text{m}$  átmérőjű légbuborék található, amihez még  $1,5 \cdot 10^{12}$  db,  $1\text{ }\mu\text{m}$  méretű apró zsírcsepp is társul. Az  $1\text{ g}$  fagylaltban a különböző fázisokat több mint  $1,5\text{ m}^2$  belső határfelület választja el egymástól. A határfelületek energiatöbbletet jelentenek az anyagban (felületi feszültség) ezért a fagylaltokhoz hasonlóan finom diszperz rendszerek termodinamikai értelemben nem stabilak. Állás során a belső határfelületek csökkennek, ami a jégzemcsék és a buborékok növekedését, a fagylalt finom krémes jellegének csökkenését eredményezi. E folyamatok lassítására olyan speciális adalékanyagokat kevernek a fagyiba, amelyek a határfelületeken feldúsulva csökkentik a határfelületi energiát. Ilyen hatásuk van a nagyon apró zsírcseppeknek is, amelyek a levegőbuborékok felületére kirakódva csökkentik a felületi feszültséget. ....kanadai kutató által a fagylalt összetett mikroszerkezetéről készített pásztázó-elektronmikroszkópos felvételek láthatók a 4. és 5. ábrán. Az első, kisebb nagyítású felvétel a fagylalt fázisösszetevőit mutatja, a nagyobb nagyítással készített kép egyetlen apró, ( $40\text{ }\mu\text{m}$ ) levegőbuborékról készült, amelynek falán világos foltok jelzik a nagyon kicsi zsírcseppeket.



4. ábra  
A fagyalt többfázisú mikroszerkezete [1.]



5. ábra  
Apró zsírcseppek a  
légbuborék falán [1.]

## ISKOLAI PROJEKTFELADATOK

A fagy-téma feldolgozását fakultatív formában, szakköri keretek közt javasoljuk. A munka részben közvetlen tanári vezetéssel végzett alapozó ismeretbővítést, részben a diákok által önállóan végzett kiscsoportos projektfeladatokat jelent. Ez utóbbiakhoz az eredmények közös bemutatása is hozzátartozik.

*Közös feldolgozásra javasolt kiegészítő ismeretek:*

*Fizikából:* kristályosodás, olvadáspont-csökkenés, felületi feszültség, habok tulajdonságai

*Kémiából:* zsírok, fehérjék, cukrok, víz szerkezete, elegyedési tulajdonságaik, kolloid rendszer

*Biológiából:* Pasztörizálás

*Fizikához kapcsolódó kiscsoportos projektfeladatok :*

- A fagyalt története, Régi fagyireceptek gyűjtése
- Optimalizált hűtőkeverék készítése, só-jég rendszer olvadáspont-csökkenésének mérése
- A túlhűtés szerepének vizsgálata a kristályosodás során
- A cukortartalom hatása az olvadáspont-csökkenésre
- Diszperz rendszerek (emulziók, habok) vizsgálata, a határfelületi energia és a stabilitás szempontjából, adalékanyagok hatása
- Fagyaltkészítés hagyományos módon hűtőkeverékkel
- Fagyaltkészítés cseppfolyós nitrogénnel

### **IRODALOMJEGYZÉK**

1. Clark J.: The Science of the Ice Cream, The Royal Society of Chemistry Cambridge, UK, 2004.
2. Clark J.: Physics Education, May 2003,
3. Erdey-Grúz Tibor: A fizikai kémia alapjai, Műszaki Könyvkiadó, Budapest. 1969,

### **SZERZŐK**

Szente Judit, egyetemi hallgató, Eötvös Loránd Tudományegyetem, Természettudományi Kar, [judithszente@elte.hu](mailto:judithszente@elte.hu).

Juhász András, Eötvös Loránd Tudományegyetem, Természettudományi Kar, Anyagfizikai Tanszék, [juhy@ludens.elte.hu](mailto:juhy@ludens.elte.hu).