



Élelmiszertudományi Kar

DOKTORI ÉRTEKEZÉS

Fagyasztott élelmiszer-emulziók stabilitásának vizsgálata

Készítette: Zeke Ildikó Csilla

Témavezetők:

Dr. Balla Csaba, egyetemi magántanár, PhD

Dr. Friedrich László egyetemi docens, PhD

**Készült a Budapesti Corvinus Egyetem
Élelmiszertudományi Karának
Hűtő- és Állattermék Technológiai Tanszékén**

Budapest, 2015

A doktori iskola

megnevezése: Élelmiszertudományi Doktori Iskola

tudományága: Élelmiszertudományok

vezetője: Dr. Felföldi József
egyetemi tanár, PhD
Budapesti Corvinus Egyetem

Témavezetők: Dr. Balla Csaba
egyetemi magántanár, PhD

Dr. Friedrich László
egyetemi docens, PhD

Hűtő- és Állattermék Technológiai Tanszék,
Élelmiszertudományi Kar,
Budapesti Corvinus Egyetem

A jelölt a Budapesti Corvinus Egyetem Doktori Szabályzatában előírt valamennyi feltételnek eleget tett, az értekezés műhelyvitájában elhangzott észrevételeket és javaslatokat az értekezés átdolgozásakor figyelembe vette, azért az értekezés nyilvános vitára bocsátható.

.....
Az iskolavezető jóváhagyása

.....
A témavezetők jóváhagyása

A Budapesti Corvinus Egyetem Élettudományi Területi Doktori Tanács 2015. év március 13-i határozatában a nyilvános vita lefolytatására az alábbi bíráló Bizottságot jelölte ki:

BÍRÁLÓ BIZOTTSÁG:

Elnöke:

Felföldi József, PhD

Tagjai:

Mohácsiné Farkas Csilla, PhD

Sáray Tamás, CSc

Némedi Erzsébet, PhD

Kárpáti Péter, PhD

Opponensek:

Somogyi László, PhD

Vozáry Eszter, PhD

Titkár:

Juhász Réka, PhD

Tartalomjegyzék

Jelölések jegyzéke	6
1. Bevezetés	7
2. Irodalmi áttekintés	10
2.1. Az élelmiszerek szerkezete.....	10
2.1.1. Habok	11
2.1.2. Szuszpenziók.....	12
2.1.3. Emulziók	12
2.1.4. Gélek	14
2.2. A témához kapcsolódó modell élelmiszerek	16
2.2.1. Margarin	16
2.2.2. Cukrászati krémek.....	17
2.2.3. Fagylalt.....	21
2.3. Élelmiszerek tartósítása gyorsfagyasztással	25
2.3.1. Fagyasztási módok	27
2.3.2. A fagyasztás hatásai	29
2.4. Élelmiszerek fagyasztásával kapcsolatos termofizikai jellemzők.....	31
2.4.1. Krioszkópos hőmérséklet	32
2.4.2. Olvadáspont.....	32
2.4.3. Kristályosodási hőmérséklet	33
2.4.4. Üvegesedési hőmérséklet	33
2.4.5. Ki nem fagyó víztartalom.....	33
2.5. Élelmiszerek reológiai vizsgálata	35
2.5.1. Reológiai alapmodellek.....	35
2.5.2. Ideális komplex reológiai testek.....	36
2.5.3. Reológiai mérési módszerek	37
2.6. Érzékszervi vizsgálat	45
3. Célkitűzés.....	47
4. Anyag és módszer	48
4.1. A kísérleti munka során felhasznált emulziók.....	48
4.1.1. Margarinok	48
4.1.2. Kihabosított margarin.....	49

4.1.3.	Cukrászati krémek.....	49
4.1.4.	Fagylalt.....	51
4.2.	A kísérleti munka során használt műszerek, módszerek	52
4.2.1.	Száranyagtartalom mérése	52
4.2.2.	Krioszkópos hőmérséklet meghatározása	52
4.2.3.	Hőfizikai tulajdonságok meghatározása.....	53
4.2.4.	Reológiai vizsgálatok	55
4.2.5.	Állománymérés	58
4.2.6.	Érzékszervi vizsgálatok.....	59
4.2.7.	Statisztikai elemzés	60
5.	Eredmények és értékelés.....	62
5.1.	Margarinok és cukrászati krémek eredményei	62
5.1.1.	Margarinok amplitúdó söprés eredményei.....	62
5.1.2.	Margarinok és cukrászati krémek hőmérsékletsöprés eredményei	63
5.1.3.	Kihabosított margarin amplitúdósöprés eredményei.....	68
5.1.4.	Cukrászati krémek amplitúdósöprés eredményei.....	70
5.1.5.	Kihabosított margarin állománymérés eredményei.....	72
5.1.6.	Cukrászati krém állománymérés eredményei	73
5.1.7.	Kihabosított margarin és cukrászati krém összehasonlítása	73
5.2.	Fagyasztott és fagyasztva tárolt cukrászati krémek mérési eredményei	77
5.2.1.	Hőfizikai eredmények	77
5.2.2.	Reométeres eredmények	81
5.2.3.	Állománymérés eredményei.....	83
5.2.4.	Érzékszervi teszt eredményei	84
5.3.	Fagylaltok mérési eredményei.....	88
5.3.1.	Hőfizikai eredmények	88
5.3.2.	Reométeres mérés eredményei.....	91
5.3.3.	Érzékszervi vizsgálatok eredményei	99
5.3.4.	Korrelációanalízis eredményei	100
5.4.	Új tudományos eredmények	102
6.	Következtetések és javaslatok.....	104
7.	Összefoglalás	105
8.	Summary	108
	Mellékletek.....	111

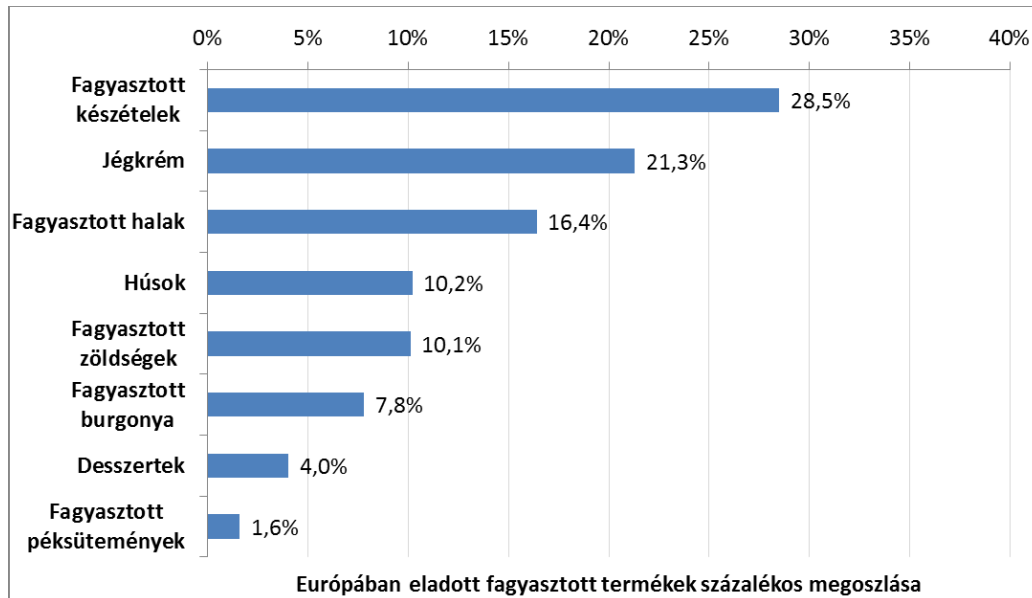
M1 Irodalomjegyzék.....	111
M2 Margarinok zsírtartalmának összetétele.....	124
M2 Cukrászati krémek korrelációs táblázata.....	125
M3 Cukrászati krém hőfizikai eredményei	126
M4 Cukrászati krémek reométeres eredményei	128
M5 Cukrászati krémek érzékszervi bírálati lapja	130
M6 Fagylaltok érzékszervi bírálati lapja	131
M7 Fagylaltok paramétereinek korrelációs táblázata.....	132

Jelölések jegyzéke

Jelölés	Mértékegység	Jelentés
O/V	-	olaj a vízben emulzió
V/O	-	víz az olajban emulzió
DSC	-	differentiális pásztázó kaloriméter
T_g	°C	üvegesedési hőmérséklet
T_{kr}	°C	krioszkópos hőmérséklet
T_{onset}	°C	intenzív olvadás kezdeti hőmérséklete
UFW	%; g/g _{sza}	ki nem fagyasztható víztartalom
FW	%; g/g _{sza}	kifagyasztható víztartalom
ΔH_{minta}	J/g	a vizsgált minta entalpiakülönbsége/olvadáshője
ΔH_{víz}	J/g	víz entalpiakülönbsége/olvadáshője
DM	g/100g; %	szárazanyagtartalom
W	g/100g; %	víztartalom
G'	Pa	rugalmassági modulus
G''	Pa	veszteségi modulus
G₀'	Pa	kezdeti rugalmassági modulus
G₀''	Pa	kezdeti veszteségi modulus
τ_{LVE}	Pa	nyírófeszültség a lineáris viszkoelasztikus tartomány végénél
γ_{LVE}	%	amplitúdó (kitérés) a lineáris viszkoelasztikus tartomány végénél
G_M'	Pa	G' és G'' görbék metszéspontja
τ_M	Pa	nyírófeszültség a G' és G'' görbék metszéspontjában
γ_M	%	amplitúdó (kitérés) a G' és G'' görbék metszéspontjában
η_M*	Pa	komplex viszkozitás a G' és G'' görbék metszéspontjában
S1	-	rugalmassági modulus
S2	-	veszteségi modulus
η*	Pa	komplex viszkozitás
G_v'	Pa	rugalmassági modulus végpontjának értéke
G_v''	Pa	veszteségi modulus végpontjának értéke
SMS	-	Stable Micro System, állománymérő készülék
F_{ext}	N	maximális extrúziós erő
W_{ext}	mJ	extrúziós munka
F_{adh}	N	minimális adhéziós erő
W_{adh}	mJ	adhéziós munka

1. Bevezetés

Az elmúlt években a fagyasztott élelmiszerek piacán nem csak világviszonylatban, hanem Európában is a jégkrémek és a fagyasztott desszertek is igen nagy mennyiségben kerültek eladásra. (1. ábra)



1. ábra 2013 márciusától– 2014 márciusáig Európában eladott fagyasztott élelmiszerek megoszlása (Forrás: www.statista.com)

A legnagyobb fagyasztott desszert gyártók – mint a jégkrémek, fagyasztott joghurtok és fagyasztott sütemények – a világon Észak Amerika és Ausztrália, míg Európában az Egyesült Királyság, Németország és Dánia. (www.richs.com) Ezek olyan mamutcégek, amelyek ipari méretekben állítják elő desszertjeiket, a legkülönbözőbb állománykialakítókat alkalmazzák, és olyan mérőműszer parkkal rendelkeznek, amellyel pontos képet kapnak a fagyasztott termékeik minőségváltozásairól. Így termékeik hosszan, minőségromlás nélkül fagyasztva tárolhatóak.

A hazai hűtőipar még napjainkban is főleg zöldség és gyümölcsfagyasztással, illetve kis mennyiségben félkész- és készételek gyártásával foglalkozik. A kampányidőszak (június-november) után viszont a nagyteljesítményű fagyasztó berendezések kihasználatlanul állnak a következő szezoniig, az üzemben legtöbbször csak a nyáron gyártott termékek fogyasztói kiszerezése történik. A külföldi fagyasztott desszertgyártókhöz hasonlóan a magyar ipar is kihasználhatná infrastruktúráját, ezzel egy igen jelentős piaci rést kihasználva. A fagyasztott sütemények fagyasztva tárolhatóságáról viszont nincs sok információnk. A külföldi cégek fejlesztései titkosak, ezért fontosnak tartom ezen termékek stabilitásának vizsgálatát a fagyasztás és fagyasztva tárolás során.

A hazai kézműves cukrászipar is nagy mennyiségben gyárt olyan típusú süteményeket, amelyek fagyasztásra alkalmasak, azonban ezek kezelése és fejlesztése csak tapasztalati úton valósult eddig meg kisüzemi méretekben. Fontos tudnunk azonban, hogy a fel nem használt krémekeket, süteményeket hogyan lehet tartósítani oly módon, hogy a kialakított stabil szerkezetét megtartsuk, és a majdani felhasználás során is megfelelő érzékszervi tulajdonságú termékeket kapjunk. Emiatt gyakran alkalmazzák a sütemények fagyasztását, azonban ezek a folyamatok nem szabályozottak, és míg a tejszínes sütemények krémjében a zselatin vagy a habtartósságot adó módosított keményítők, mint állománykialakítók jelen vannak, addig a margarinnal készült krémes sütemények krémje a kézműves termékek térhódítása okán és a legújabb trendek szerint nem tartalmaz állománykialakító adalékanyagokat. Ezért, ha nem megfelelően fagyasztjuk, tároljuk, illetve túl sokáig történik a fagyasztva tárolás, akkor olyan állománybeli változások következhetnek be a cukrászati krémekben, ami sem technológiai sem érzékszervi szempontból nem előnyösek.

Ezekben a süteményekben található margarinnal készült krémek olyan komplex rendszerek (pl. emulziók, habok, fagyasztott habok, stb), amelyekben a különböző élelmiszeripari műveletek hatására (pl. keverés, fagyasztás) szerkezetbeli változások bekövetkezhetnek. Ezek a szerkezetbeli változások negatívan befolyásolhatják mind a fogyasztói megítélést, mind a technológiai folyamatokat. Ezért fontos az ilyen típusú komplex élelmiszerek, komplex emulziók vizsgálata, és a megfelelő érzékenységű módszerek kifejlesztése, hogy a stabilitást befolyásoló tényezők meghatározhatóak, a nem kívánatos változások pedig már az érzékszervi változások előtt észlelhetőek legyenek.

Az emulziók és gélek, valamint az ezeket tartalmazó komplex élelmiszerrendszerek stabilitása főként a fagyasztás és felengedtetés után okoz gondot, ezért dolgozatomban fontosnak tartom bemutatni, hogy a különböző típusú emulziókat és az ezeket tartalmazó komplex élelmiszerek. Technológiai szempontból fontos ismernünk, hogy hogyan viselkednek különböző hőmérsékleten, valamint fagyasztás, fagyasztva tárolás hatására, illetve ha az emulziót befolyásoló összetevőkkel egészítjük ki azokat. Erre különböző modell élelmiszereket használtam.

Emellett az olyan komplex emulziók, mint a fagylaltok és jégkrémek ismerete fontos. A fagylaltokban használatos állománykialakító adalékanyagok felelősek a megfelelő emulzió kialakításáért és annak stabil megtartásáért. Azonban ha változtatunk a fagylalt összetételén (például változtatjuk a cukrok, fehérjék összetételét), akkor változni fog annak termofizikai és állománytulajdonsága is. A tejipar egyik mellékterméke a savanyú savó, mely nagy

mennyiségben tartalmaz laktózt, ásványi anyagokat és savófehérjéket. Ezt akár jégkrémekben, akár fagylaltokban fel lehet használni, így egy nagy mennyiségben keletkező magas táplálkozásbiológiai értékű melléktermék felhasználását lehetne megoldani. A jégkrémekben többféle emulgeálószer és stabilizátort használ az ipar, és mivel a jégkrémet gyakorlatilag szilárd állapotban fogyasztjuk, ezért ott nagyobb változásokat feltételezhetően nem okoz a savó. Viszont a fagylaltoknál, főleg a kézműves termékek esetében, ahol a gyártók próbálják az adalékanyagok mennyiségét minimálisra csökkenteni, ismerni kell, hogy milyen hatása van a fagylalt stabilitására, állományára és oladási tulajdonságaira, mivel ezeket a termékeket -10°C körüli hőmérsékleten fogyasztjuk, amelyen már egy kenhetőbb, puhább állapotot eredményez. Ezért vizsgáltam a savanyú savóval készített fagylaltok állományváltozását, oladási tulajdonságait és stabilitását a savó mennyiségének változása függvényében.

2. Irodalmi áttekintés

2.1. Az élelmiszerek szerkezete

Az élelmiszerek szerkezetét két fő csoportra oszthatjuk. Lehetnek homogén rendszerek, amelyek egyfázisúak, minden ponton azonosak és fizikailag egyneműek, vagyis az anyag minden része azonos fizikai állapotjelzőkkel rendelkezik. Ilyen homogén rendszer például a víz, a só- vagy cukoroldat. Azonban az élelmiszerek legnagyobb része a heterogén rendszerekhez tartozik, amelyek többfázisú, határfelületekkel elválasztott, szabad szemmel vagy mikroszkóppal felismerhető különböző anyagokból állnak.

A heterogén rendszerek lehetnek a részecskemérettől függően diszperz és kolloid rendszerek, melyek két vagy több komponensből álló keverékek, ezek közül az egyik diszpergált állapotban van a másik összefüggő diszperziós közegben. 500nm fölötti a diszpergált részecskék mérete a diszperz rendszernek, míg a kolloid rendszerek 1-500 nm közötti méretű részecskékből állnak. (FIGURA&TEIXTEIRA, 2007) Az 1. táblázatban összefoglalva láthatóak a diszperziós rendszerek csoportosítása.

1. táblázat Diszperz rendszerek csoportosítása (FIGURA&TEIXTEIRA, 2007; LEWIS, 1990, SCHRAMM, 2005)

diszperz fázis	folytonos fázis	diszperz rendszer	példa
szilárd	gáz	porok, füst, ömlesztett anyagok	keményítő, szójabab, kukorica
szilárd	folyadék	szól, kolloid oldat, szuszpenzió	vizes keményítő szuszpenzió, ketchup, kakaós ital, folyékony csokoládé (olvadt), jégkrém
folyadék	folyadék	emulzió	majonéz, tej, salátaszószok, jégkrém
folyadék	szilárd	szilárd emulzió, gél	vaj, margarin
folyadék	gáz	aeroszol	köd/pára, spray bevonatok
gáz	folyadék	hab	tejszínhab, jégkrém, tojásfehérje hab
gáz	szilárd	szilárd hab	marshmallow cukorka, kenyér, piskóta, jégkrém

A fenti rendszerek közös jellemzője, hogy a diszperz fázisnak nagy a felülete, amely a folytonos fázissal érintkezik. Ahhoz, hogy az ilyen típusú megnövelt felületű rendszereket létre tudjunk hozni, nagy energia befektetésre van szükség, amit általában nagy sebességű keverő vagy homogenizáló készülékekkel tudunk elérni. (FELLOWS, 2000) Így a diszpergálandó anyagot nagyon apró, különálló részecskékre bontjuk, és a diszperziós közegben eloszlatjuk. A különálló részecskék idővel újra összekapcsolódhatnak, átrendeződhetnek, ezért ezek a

rendszerek nem stabilak. A részecskék összekapcsolódásának okai lehetnek például a fajsúlykülönbség miatti szétválás, a felületi feszültség összehúzó ereje, a részecskék elektromos töltése, a van-der-Wals erők, vagy termikus hatás. A stabilitást különböző stabilizátorokkal lehet javítani.

Az élelmiszeriparban a lioszólok bírnak nagy jelentőséggel, ahol folyadék a diszperziós közeg, a kolloid rendszerek között pedig a géleknek van kiemelt szerepe. A lioszólok attól függően, hogy mi a diszpergált közeg lehetnek habok, szuszpenziók, emulziók, valamint a szilárd fázisban diszpergált folyadékcseppek a szilárd emulziók, amelyek általában a gélek csoportjába tartoznak.

2.1.1. Habok

Az élelmiszerhabok olyan kétfázisú kolloid rendszerek, melyek komponensei a folyékony folytonos fázisban diszpergált gázbuborékokból állnak. (DAMODARAN, 2005) A diszperz részecskék összes térfogata a diszperzióközeghez viszonyítva annak többszöröse, így egy speciális szerkezet alakul ki, ami a diszperz részecskék igen nagy koncentrációjának eredménye, és a diszperz részecskék felületén vékony folyadékhártya alakjában jelenik meg.

Termodinamikai szempontból ezek a rendszerek instabilak, a rendszer arra törekszik, hogy minél kisebb legyen a határfelülete. (WEGE et al. 2008) Ezért stabil hab kialakításához és megtartásához felületaktív anyagokra van szükség, amelyek a gázzészecskék felületén rugalmas és ellenálló adszorpciós réteget képeznek (ZHAO, 2009), és ezektől az anyagoktól folytonos folyadék vagy kváziszilárd fázisként is jellemezhető a hab. Ezek a felületaktív anyagok olyan habképző anyagok, amelyek tulajdonságaik alapján lehetnek tenzidek, makromolekulák és kolloid méretű szilárd anyagok. Az élelmiszerek esetén leggyakrabban ezek a felületaktív anyagok speciális fehérjék vagy nagymolekulájú szénhidrátok. (GÁBOR, 1987) Az élelmiszerhabok stabilitása korlátozott, amit különböző kis molekulájú emulgeálószerrel és habképzőkkel lehet a növelni. Ezek lehetnek Tween-ek (poliszorbátok), mono- és digliceridek, tej eredetű fehérjék funkcionális fehérjék, zsírkristályok, poliszacharid-alapú hidrokolloidok. (GREEN et al., 2013)

A habok általában mechanikusan keverés, rázás hatására alakulnak ki. (GÁBOR, 1987) Ilyen habok lehetnek például a tojáshab, tejszínhab vagy a kenyértészta. Vannak összetett szerkezetű élelmiszerhabok is, mint például a jégkrém, amely légbuborékokból, emulgeált zsírgolyócskákból, jégkristályokból és fagyott szérumból áll. (GOFF, 1997)

2.1.2. Szuszpenziók

Szuszpenzióknak azokat a diszperziós rendszereket nevezzük, amelyek diszperz részecskéi szilárd állapotúak, diszperziós közege pedig folyadék. Monodiszperz rendszerről beszélünk, ha azonos méretűek a szuszpendált részecskék, míg polidiszperz rendszerről, ha a szilárd részecskék különböző méretűek. (SCHRAMM, 2005)

A szuszpenziók különböző körülmények között jellegzetesen viselkedhetnek, például a részecske méretet a részecske-koncentráció változása vagy a hőmérséklet is befolyásolhatja. A szuszpenziók stabilitása függ a részecskék liofil-liofób jellegétől. A liofil diszperz részecskék oldószer-molekulákra kapcsolódnak így stabilitásuk nagyobb, mint a liofób részecskéké, amelyek termodinamikai szempontból is instabil rendszerek. A polidiszperz rendszerekre jellemző az ülepedés, a kolloid szuszpenziókra viszont az aggregálódás és a koagulálás. A stabilitás még a diszperz részecske és közeg jellegétől is függ. Ha azonos a jelleg (apoláros vagy poláros mindkettő) akkor egyfajta folytonosság alakul ki a részecskék és a közeg között. Ha ellentétes jellegű részecskékből és diszperziós közegből áll a rendszer, akkor megfelelő stabilizáló anyagok adagolásával lehet a kontinuitást kialakítani. (GÁBOR, 1987) Ilyen anyagok általában a hidrofíl kolloidok. A szuszpenziók létrehozása történhet például keveréssel vagy nedves őrléssel. Tipikus élelmiszer szuszpenziók a csokoládé, a zöldség és gyümölcslevek.

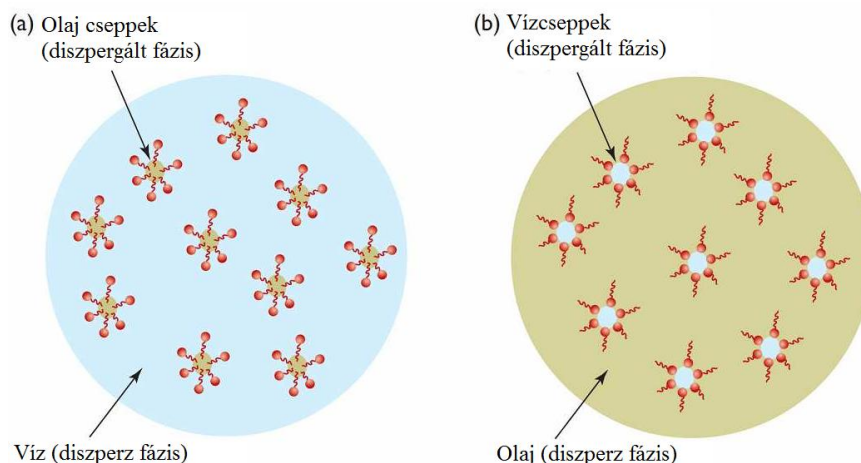
2.1.3. Emulziók

Az emulzió olyan szabad szemmel egyneműnek látszó kolloid diszperz rendszer, melyekben a diszpergált rész és a diszperziós közeg folyékony halmazállapotú, és a két folyadék nem elegyedik egymásban.

Két fő típusú folyadék-folyadék emulziót különböztetünk meg, amelyeknek jelentősége van az élelmiszeriparban, ezek az olaj a vízben (O/V), és víz az olajban (V/O) emulzió. Az O/V típusú emulzió például a tej, a tejszín, majonéz. A V/O típusú emulzióra példa a vaj, vagy a margarin, bár ezek a rendszerek nem folyékonyak, mert a gyártástechnológia során a két folyadék elegyedése után lehűtik a rendszert, amitől az olaj fázis kikristályosodik, így a szilárd rész a folytonos fázis, melyben a folyadék diszpergált állapotban van, így kváziszilárd lesz az élelmiszer. Ezeket a típusú rendszereket szilárd emulzióknak is nevezik emiatt.

Az emulzió jellegét általában nem a koncentrációk aránya, hanem a szerkezet adja meg. Keletkezésük ritkán spontán, létrehozásukhoz általában mechanikai erő és emulgeálószer szükséges. Termodinamikai szempontból ezek a rendszerek szintén instabil vagy meta-stabil rendszerek (THANASUKARN et al. 2006; ZHAO et al. 2009), ezért stabilizálni kell, amely szintén emulgeátorokkal történik. Az emulgeálószer felületaktív anyagok, melyek segítenek

kialakítani az emulziót, megszabják azok jellegét és stabilizálják a felületi feszültség csökkentésével. (GÁBOR, 1987)



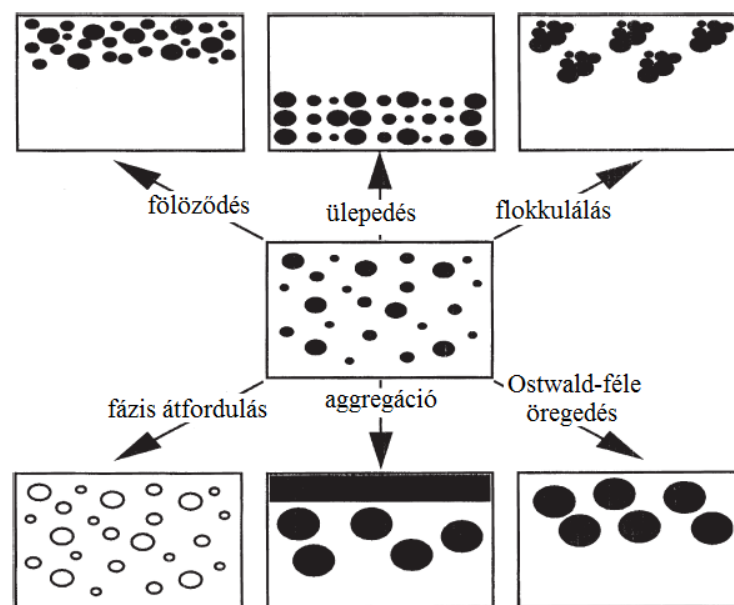
2. ábra Olaj a vízben és víz az olajban emulzió (<http://nsb.wikidot.com>)

Az 2. ábra a két fő emulzió típust mutatja be. A diszperz fázisban diszpergált fázist emulgeátor molekulák veszik körbe. A természetben előforduló fehérjék és foszfolipidek jó emulgeálószer, de az élelmiszerfeldolgozás a hatékonyabb szintetikus szereket is használja (glicerín észterei vagy szorbitán-zsírsav-észterek). Szintetikus emulgeálószerket poláris és nem-poláris típusokba sorolják. Azok, amelyek többnyire a poláros csoportokhoz kötődnek, vagyis a vizes részhez az O/V emulziók előállítására használhatóak. Az apoláros szerek adszorbeálják az olajokat, ezért ezek főleg a V/O emulziók előállítására használatosak. Ezeket az emulgeálószerket a hidrofíli-lipofíli egyensúlyi értékkel (HLB) szokták jellemezni. Ha a HLB érték 9 alatti, akkor az emulgeálószer lipofíli jellegű, tehát V/O emulziókhöz használható, melyeknek HLB értéke 8 és 11 között van, azok nedvesítő szerek, és azokat, amelyek magas HLB értékekkel (11-18) jellemezhetők, hidrofíli jellegű szerek, amiket O/V emulziók kialakítására használhatnak. A detergens HLB értéke 13-15 közötti. A szolubilizációt segítő szerek HLB értéke 15-18 közötti. (LEWIS, 1990; FELLOWS, 2000; SAHIN& SUMNU, 2006)

Az élelmiszer emulziók stabilitását befolyásolja az alkalmazott emulgeálószer típusa, a folytonos fázis viszkozitása, a diszpergált fázis részecskemérete, a zsírfázis határfelületi feszültsége, a diszpergált és folytonos fázis közötti sűrűségkülönbség, az élelmiszerkezelési technológiák, mint a fagyasztás, centrifugálás, a melegítés, illetve a tárolási idő. (GÁBOR, 1987)

A 3. ábrán az emulziók szétválásának lehetséges esetei láthatóak. A fölözés és ülepedés során a gravitációs vagy centrifugális erő hat az emulzióra, ami miatt koncentráció gradiens alakul ki a rendszerben. A nagyobb cseppek gyorsabban mozognak, így az edényzet alsó vagy felső rétegébe csoportosulnak a fázisok sűrűségkülönbségétől függően. Az aggregációt a

folyadékfilm rétegek elvékonyodása okozza, amelynek az az eredménye, hogy két vagy több csepp egybeolvad. A flokkulálás során a diszpergált cseppek egybeolvadás nélkül nagyobb egységekké összetapadnak. Ilyen esetben nincs elegendő taszítóerő a cseppek között. A fázis átfordulás során a diszperz és diszpergált fázisok közötti cserére kerül sor, vagyis például egy O/V emulzió idővel V/O emulzióvá alakul át. Sok esetben a fázis átfordulás egy átmeneti állapot, amelyek keretében komplex emulziók keletkeznek. Az Ostwald-féle öregedés azokra az emulziókra jellemző, ahol a folyadék fázisok kis mértékben oldódnak egymásba. Mivel az emulziók polidiszperz rendszerek, nagyon apró cseppekben oszlanak el a folyadékcseppek a folytonos fázisban, a kisebb cseppeknek pedig nagyobb az oldhatósága. Idővel a kisebb cseppek beoldódnak a diszperz fázisba és ráakódnak a nagyobb cseppek felületére. (TADROS, 2009)



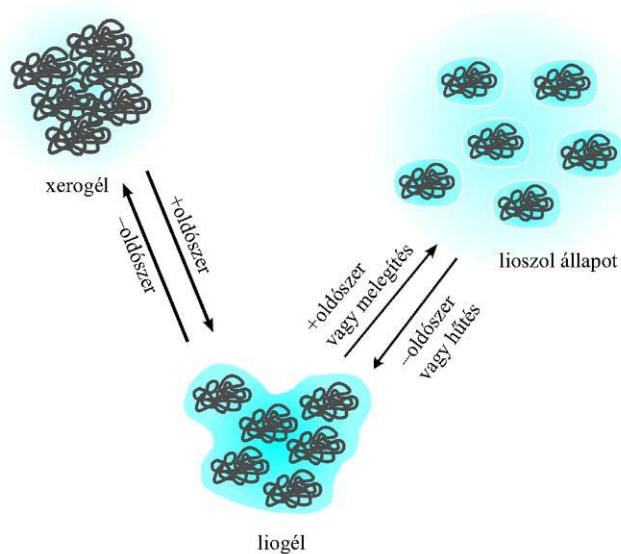
3. ábra Emulziók szétválása (TADROS, 2009)

2.1.4. Gélek

A gélek olyan kétfázisú, koherens rendszerek, melyek átmenetet képeznek a szilárd és a cseppfolyós halmazállapot között. Jellemzően alaktartóak, rugalmasak és kocsonyaszerűek. A szol olyan folyékony kolloid rendszer, amelyben a kolloid részecskék önálló oldószerburokban mozognak, így képesek egymáson elgördülni (pl.: hígított tojásfehérje, tej). A gélképződés szolból történik, gyakran lehűlés hatására képződnek úgy, hogy a szilárd fázis részecskéi egymáshoz kapcsolódva összefüggő vázat képeznek, térhálósodnak. A szol-gél átalakulás lehet reverzibilis, és irreverzibilis is.

Az élelmiszer gélek viszkoelasztikus anyagok, amelyek szilárd részecskéi proteinek vagy poliszacharidok. A térhálósodott anyagban a molekulákat összekötő erők általában gyenge

intermolekuláris kötések, például, hidrogén kötések, elektrosztatikus erők, a van der Waals kötések, vagy hidrofób kölcsönhatások. A poliszacharidok, beleértve a hidrokolloidokat is, általában erősen hidratált vizes közegben alakítanak ki gél struktúrát, amelyek azonban általában nem rendezett struktúrák. A gélesedés mechanizmusa a gélképző szerek természetétől függ, a gélképződést pedig a hőmérséklet, az ionok jelenléte, a pH, és a gélesítő anyagok koncentrációja befolyásolja. (4. ábra) A gélek tulajdonságait gyakran reológiai mérésekkel határozzák meg. Többkomponensű vagy vegyes gél rendszerek egy viszonylag új terület, amelyben két vagy több gélképző komponenst egyidejűleg használnak annak érdekében, bizonyos sajátos szerkezeti és funkcionális jellemzőket alakítsanak ki. (BANERJEE & BHATTACHARYA, 2012)



4. ábra Szol- gél állapot átalakulása (<http://tudasbazis.sulinet.hu>)

A gélekre jellemző a szinerézis, ami a gél mátrix zsugorodását, valamint a mátrixban levő folyadék kiszorítását jelenti. A sajtgyártás során ez a jelenség kedvező, de általában ez a gél öregedésére utal. (SAHIN& SUMNU, 2006)

2.2. A témához kapcsolódó modell élelmiszerek

A különböző élelmiszer-emulziók változásainak megismerésére különböző típusú modell emulziókat használhatunk. Tipikus V/O típusú emulzió a margarin, O/V típusú emulzió a margarinból készített cukrászati krém, míg a komplexebb emulziók csoportjába a fagyalt tartozik.

2.2.1. Margarin

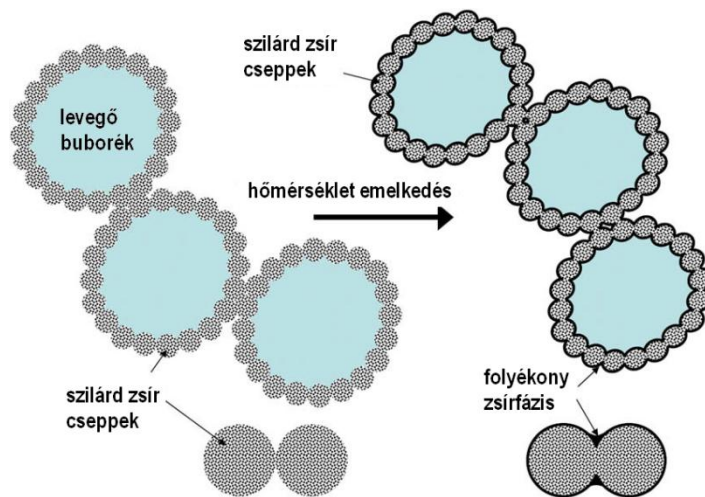
A margarin előállításánál V/O (víz-az-olajban) típusú emulzió létesítése a cél. A margarin apró vízcseppecskék elosztatott (diszpergált) fázisa az összefüggő réteget alkotó képlékeny (melegen folyékony) zsiradékban. (TIMMS, 2005, RØNHOLT et.al., 2014)

A margarint kezdetben a vaj pótlására kezdték gyártani. Alapvető különbség, hogy míg a vaj állati zsiradékból, addig a margarin növényi zsiradékból áll. 1869-ben Hippolyte Mège-Mouries, híres kutató-kémikus megalkotta és szabadalmaztatta az első margarint. Az 1800-as évek végén beindult iparszerű gyártása. (GUNSTONE, 2002)

A margarin alapvetően egy mesterséges, technológiai folyamattal létrehozott zsíremulzió, melyben a zsírtartalom 80 % feletti, azonban ezeket főleg az élelmiszeripar használja, a fogyasztók körében elterjedtek az alacsonyabb zsírtartalmú margarinok. A mai ipari gyakorlatban általában már nem hidrogénezéssel, hanem inkább átészterezéssel, és szilárdabb zsírok (pl. pálmazsír, kókuszzsír) felhasználásával történik a gyártás. A margarinyártás alaplépései a víz és zsírfázis emulgeálása, a zsírfázis kristályosítása hűtéssel, és a keverék átgyúrása, pihentetése. (GUNSTONE, 2002) A margarinok tehát olyan V/O emulziók, melyek kvázi szilárd állapotúak élelmiszeripari felhasználásukkor.

Az ipari margarinok közül kétféle típust különböztetünk meg, az egyiket a péksütemények tésztáihoz használják, ezek a típusú margarinok jellemzően keményebbek, rugalmasabbak. A másik típusú margarinok a cukrászsütemények töltelékének alapanyagai, az ún. krémmargarinok, melyek puhábbak és jó habosodási, krémesítési képességgel rendelkeznek. (LAI & LIN, 2006)

A margarin habosítása során levegőt viszünk be az V/O emulzióba. A szilárd zsír fázis az emulziós cseppekben elengedhetetlen ahhoz, hogy megfelelően tudjuk habosítani az adott emulziót. A kialakított habos emulzió gélszerű reológiai viselkedésű lesz, azáltal, hogy egy részben aggregálódott szerkezet alakul ki. A részleges aggregációt az okozza, hogy a szilárd zsírkristályok a keverés hatására behatolnak a folyékony zsírcseppekbe, és ezzel a részleges destabilizációval alakul ki a stabil habosított emulzió, ahol az aggregálódott emulziócseppek körbeveszik a levegőbuborékokat. (5. ábra)



5. ábra Habosított emulzió kialakulása (ARBOLEYA et al. 2009)

Ez egy viszonylag stabil szerkezet, amely függ a keverés mértékétől és a hőmérséklettől. A keverés során fellépő nyírési erő és a hőmérsékletnövekedés hatására a szilárd zsírfázis részben megolvad és ennek hatására egy stabil szerkezet alakul ki a levegőbuborékok körül. (GRAVIER et al. 2006) Van egy optimális hőmérséklet, ahol a megfelelő arányban tartalmazza az emulzió a szilárd és folyékony zsírfázist, hogy stabil térhálós szerkezet tudjon kialakulni a lebegőbuborékok körül. Ha túl sok zsírkristály olvad meg, akkor viszont nem jön létre a destabilizáció, nem tud kialakulni a habos szerkezet. (ARBOLEYA et al., 2009)

2.2.2. Cukrászati krémek

A cukrászatban a krémek, töltelékek állaga igen változatos lehet. Eltarthatóság szempontjából is különböznek, mely lehet 8-10 óra, másoké több nap vagy hét. Az eltarthatóság az összetételen kívül a tárolási hőmérséklettől is függ. Hűtve rövidebb, fagyasztva tárolva természetesen hosszabb ideig állnak el.

Megkülönböztetünk könnyű, laza szerkezetű, levegőbuborékokban gazdag és nehéz, tömör töltelékeket, krémeket. Ezek készülhetnek tejszín vagy margarin felhasználásával. Gyorsfagyasztásra szánt sütemények (torták, mignonok) töltésére többféle krémet használunk, de a tejszínes krémek csak állománymódosítók használatával tudnak megfelelő minőségűek maradni a felengedtetés után. Az cukrászati krémek, melyek alapanyaga a margarin, különböző adalékok használata nélkül is jól tűrik a fagyasztva tárolást a tapasztalatok szerint. Viszont fontos tudnunk, hogy a fagyasztva tárolás során milyen változásokon megy keresztül a krém szerkezete. Ezért dolgozatomban a margarinnal készített cukrászati krémek vizsgálatával is foglalkozom.

Ezen krémek előnye, hogy változatos ízesítéssel készülhetnek. Az alap krémet többféle módon is készíthetjük, így főtt cukorból, fondánból, tojáshab, illetve sárgakrém (puding) margarinnal történő lazításával. (FÖLDES & RAVASZ, 1998)

Az alap cukrászati krémet kezdetben az 50 % margarin és az 50 % cukor jelentette. Ezen technológiával előállított termék érzékszervi tulajdonságai nem voltak túl kedvezőek, a krém nehéz volt, alig kenhető, valamint a nem megfelelő egyneműsítés jelentősen rontott élvezeti értékén is. Később cukor helyett fondant alkalmaztak, ezzel már egy könnyebb, lazább szerkezetet értek el.

Az elmúlt évek táplálkozási tendenciája az alacsonyabb kalóriatartalmú élelmiszerek felé fordult. (BORTNOWSKA et al., 2014) Emiatt a kalória csökkentés és a könnyebb kezelhetőség miatt, az egyik elterjedt módja a cukrászati krém készítésnek, hogy pudingporból, vízből vagy tejből és cukorból pudingot főznek, majd kihülés után habosítják ki margarinnal.

A fent említett cukrászati krémek előállításához az ipar speciális krémmargarinokat használ. Alapvető követelmény, hogy könnyen kezelhető, jól keverhető és ízesíthető legyen mind a margarin, mind a belőle készült krém. Ezért napjainkban a fent említett alapkrémet készítik, majd a margarint megfelelő arányban belekeverik. Fontos az egyenletes eloszlás mellett az intenzív keverés, „habosítás”, melynek célja hogy apró levegőbuborékokat juttassunk a krémbe, így a térfogata megnő, az állaga laza és jól kenhető lesz. Ezt a cukrászati krémet ezután ízesítik a célnak megfelelően. Tehát a kifogástalan alapanyagok mellett fontos szerepe van a megfelelő elkészítési technológiának, hogy megfelelő minőségű terméket készíthessünk.

A margarint, mint „víz az olajban” rendszert a cukrászati krém készítése során a nagy mennyiségű folyadék hozzáadásával (melyet a keményítővel viszünk be a rendszerbe) átalakítjuk „olaj a vízben” típusú emulzióvá, emiatt változik a keménysége és a szilárd zsír tartalma (SFC), amely befolyásolja a termék viselkedését a különböző hőmérsékleteken (VERECKEN et al., 2010).

Megfelelő mennyiségű zsiradékfázisra szükség van, hogy egyrészt az emulzió stabil legyen, másrészt, hogy a kialakított cukrászati krém, mint töltelék össze tudja tartani a két térszárteget, amely közé töltjük. A másik tényező, amely a krém minőségét befolyásolja a szilárdzsír tartalom, ha túl magas hőmérsékleten olvadó zsírok vannak nagyobb mennyiségben, akkor a krém rideg, „török”, és nem tudja összeragasztani a két térszárteget, ha viszont a szilárd zsír mennyisége túl sok, akkor túl puha lesz a krém, elkenődő lesz és az alsó térszárteget nem tudja megtartani. Fontos, hogy a felhasznált margarinban levő zsírok maximum 33°C-on olvadjanak meg, mert különben a töltelék viaszos jellegű lesz, nem pedig krémes. Viszont

megfelelő szilárdzsír tartalommal kell rendelkeznie, hogy a krém keverése közben megfelelő mértékű habosítást el tudjunk érni. A habosítással lágyítani tudjuk a krémet. (LAI & LIN, 2006)

A margarinhoz adott emulgeálószer is befolyásolni tudja az előállított cukrászati krémek minőségét. Például a telítetlen monogliceridek megfelelő stabilitást tudnak adni egy olyan krémnek is, amelyhez cukrot és vizet is adunk, azonban a mono és trigliceridek használatával nem lehet ezeket a típusú cukrászati krémeket megfelelő mértékben habosítani. (WEYLAND & HARTEL, 2008)

A krém készítésénél fontos tényező, a margarin habosításának jellemzésénél már említett hőmérséklet. Megfelelő, szobahőmérsékletűnek kell lennie mind a margarinnak, mind a „pudingnak” ahhoz, hogy a keverés hatására a levegőbuborékok körül kialakuljon a részben destabilizálódott emulzió, amely megtartja a levegőbuborékokat, és kialakítja a gélszerű állományt.

A cukrászati krémek másik fő összetevője a keményítőből, illetve pudingporból főzött krém. A keményítőt az élelmiszeripar széles körben használja a megfelelő állomány kialakítására és stabilizálására.

A natív keményítő, mint tiszta, természetes élelmiszer összetevő a fogyasztókban nem vált ki ellenérzést, mint módosított társaik, vagy az egyéb állománykialakító adalékanyagok. Azonban korlátozottan használható fel a keményítő retrogradációja, a szinerézis jelensége valamint a savas közeg, a hőmérsékletváltozás és a keverés közben fellépő változások miatt. (AGUDELO et al., 2014)

A keményítő lineáris amilóz és elágazó láncú amilopektin molekulákból álló poliszacharid. (WALSTRA, 2003). A keményítő vizes szuszpenzióját melegítve a keményítőszemcsék duzzadása fokozódik és nő a rendszer viszkozitása. A keményítő 60°C-80°C közötti hőmérsékleten csirizedik. A csirizedés során mért reológiai tulajdonságok, mint a rugalmassági (G') és veszteségi modulus (G''), növekednek, és a csirizedés befejeztével elérik a maximális értékeket. A viszkozitás értékek is hasonlóan alakulnak. (MANDALA, 2012)

A csirizedés (gélesedés) után két lépcsőben történik meg a keményítő retrogradációja. Az első szakaszban a lehűtés hatására az amilóz molekulák a duzzadt keményítő szemcsékből kioldódnak, a duzzadt keményítőszemcsék közötti kölcsönhatást növelik, és létrejön a három dimenziós térhálós szerkezet (AGUDELO, 2014), esetünkben a „puding” mint rugalmas gél. E fázis időtartama akár 48 óra is lehet. A második fázisban, amely gyakorlatilag a keményítő öregedése, az amilopektin változása következik be. A kialakított amorf gélszerkezet kristályos szerkezetté rendeződik át, kiszorítja a víz egy részét. Ez a szakasz sokkal hosszabb, mint az

előző, a tárolási körülményektől függően több hét is lehet. A hűtés és rövid távú tárolás alatt megfigyelhető a G' és G'' modulusok növekvő tendenciája, amely arra utal, hogy a gélszerkezet feszesebbé válik. (MANDALA, 2012)

A keményítő retrogradációja függ a közeg pH-jától, a keményítő fajtájától (amilóz-amilopektin arány) és a hőmérséklettől. A kukoricakeményítő mely sok elágazó amilopektint tartalmaz jól hasznosítható az élelmiszeripar ezen területén is. (BORTNOWSKA, 2014) A tárolási hőmérséklet nagyon fontos tényező, ugyanis a legtöbb keményítő fajtánál $+7^{\circ}\text{C}$ és $+60^{\circ}\text{C}$ között megy végbe leggyorsabban a keményítő öregedése.

A fagyasztással késleltethetjük a keményítő retrogradációját, de felengedtetés után a folyamat gyorsabban végbemegy, mert amilóz és amilopektin retrogradációs folyamatai párosulnak a fagyasztás során a jégkristály növekedéssel és átkristályosodással. (NAVARRO, 1997) Arocas és munkatársai (2009) kísérletében különböző natív és módosított keményítők viselkedését vizsgálták besamel szószban fagyasztás és felengedtetés hatására. Azt az eredményt kapták, hogy a fagyasztás hatására a natív keményítőt tartalmazó szósz szerkezete merevebb lett, kisebb deformációt viselt el, mint fagyasztás előtt, míg ha különböző hidrokolloidokat adagolnak a rendszerhez, ez a hatás jelentősen csökkenthető. (AROCAS et al., 2009) Tehát a natív keményítő öregedését a fagyasztás befolyásolja.

Navarro és munkatársai (1996) is arra következtetésre jutottak, hogy a fagyasztott majd felengedtetett keményítőt tartalmazó élelmiszerek érzékenyebben reagálnak a deformációra. A zsírok jelenősen befolyásolhatják a keményítő retrogradációját, mivel az amilózzal komplexeket képeznek, és így stabilabbá teszik a rendszert, és ezáltal csökkentik a fagyasztás negatív hatását. Azonban a zsírsavösszetétel befolyásolja ezt a hatást. A lipidek jelenléte segített abban, hogy ne legyen a fagyasztott majd felengedtetett keményítő gél olyan merev, mint amely nem tartalmaz zsiradékot. Oszcillációs méréseik azt mutatták, hogy a nagymértékű deformációt a zsiradékot tartalmazó fagyasztott keményítő gél sem visel el, szemben a nem fagyasztott rendszerekkel. Lassú fagyasztással a keményítő gél (zsiradékkal és anélkül is) merev, amely a G' rugalmassági modulus értékekből látható. A lineáris viszkoelasztikus tartományon kívül a G' csökken, ami a struktúra törését mutatja. A lassú és gyorsfagyasztás során itt van különbség az értékek között, vagyis a fagyasztási sebességnek van hatása a szerkezetre. (NAVARRO et al., 1996)

A fentiek alapján tehát a cukrászati krémek állományát a feldolgozás és a tárolás során a megfelelő hőmérséklet kiválasztásával befolyásolhatjuk, hiszen ezek az összetett kolloidikai rendszerek reológiai tulajdonságai erősen hőmérsékletfüggők. (GASZTONYI & BOGDÁN, 1985)

2.2.3. Fagylalt

A fagylaltok, jégkrémek és egyéb fagyasztott desszertek nagyon népszerű édességek az egész világon. A mai fagylalt kb. 300 éve létezik, de sokkal régebről származik. Sok mitikus történet van az első fagylaltokról, a kínaiaknak, a rómaiaknak és a mongoloknak is tulajdonítják az elkészítését, de egyikre sincs írásos bizonyíték, tehát nem tudhatjuk, hogy ki, hol és mikor találta fel a fagylaltot. Az viszont biztos, hogy a fagylaltok és jégkrémek története szorosan kapcsolódik a hűtéstechnika fejlődéséhez. (CLARKE, 2004)

A fagylalt és a jégkrém pasztörözött alapanyag-keverékből fagyasztással készített szilárd, vagy krémszerű állományú termék. (KOXHOLT et al., 2001) A Magyar Élelmiszerkönyv szerint a hőkezeléssel, rendszerint homogénezéssel, szükség szerint érleléssel és hűtött állapotban végzett habosítással, ezt követő fagyasztással készülnek. Szilárd vagy pépes szerkezetű termék, amelyet fagyasztott állapotban tárolnak, szállítanak, árusítanak és fogyasztanak (MÉ, 2007).

A fagylalt és jégkrém (hazánkban) áprilistól-októberig az egyik legnépszerűbb készítmény, amely különleges helyet foglal el a fagyasztott élelmiszerek palettáján, hiszen míg a legtöbb terméknel a fagyasztást az eltarthatóságuk növelése érdekében végzik, addig a fagylaltoknál, jégkrémeknél ez a termék-előállítás lényege, illetve fagyasztott állapotban fogyasztjuk (BALLA & BINDER, 2002).

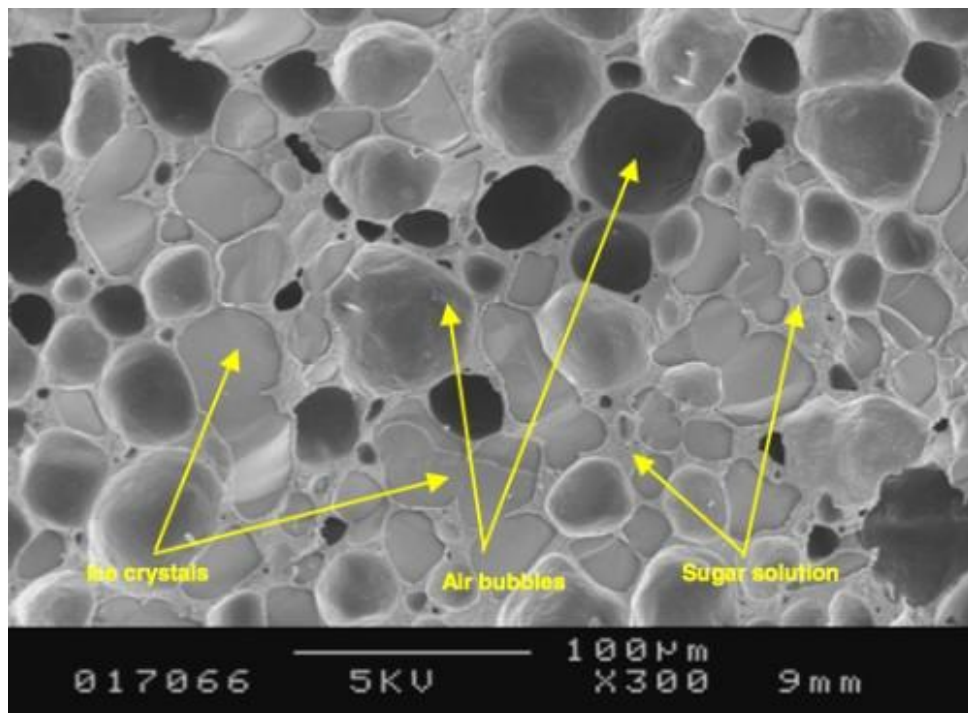
Állományuk alapján két csoportba sorolhatjuk ezeket a termékeket, így megkülönböztetünk lágy (fagylalt) és kemény fagylaltokat (jégkrém). A lágy fagylaltokat fagyasztás után általában 2 napon belül elfogyasztják, és egy krémes állományú termék, a kemény fagylaltokat azonban fagyasztás után adagonként csomagolják, keményítik, így egy szilárd állományú termékről beszélhetünk, mely megfelelő tárolási hőmérséklet mellett akár 6 hónapig eltartható. Összetételük hasonló, azonban gyártástechnológiájuk és tárolásuk is különböző, emiatt a két termékcsoporthoz a különbséget az állományuk, a habosítás mértéke és fogyasztási hőmérséklet, illetve az ebből adódó jéggé fagyott víz mennyisége és a minőség megőrzési idő adja (FENYVESSY, 2010).

A fagylaltokat és jégkrémeket csoportosíthatjuk összetételük alapján, így vannak tej, tejes, és vizes alapú készítmények. Az összetevők széles skálája pedig mind más funkciót tölt be, ezek lehetnek tej és tejeredetű alapanyagok, az ízesítéshez kapcsolódó ízesítő anyagok és gyümölcsök, különböző típusú cukrok, emulgeálószeresek és stabilizátorok.

A gyártástechnológia során az alapanyagok összemérése, keverése, pasztörözése és pihentetése a megfelelő emulzió kialakításhoz szükséges, ezután a fagyasztva habosítás következik, ahol az alapvető különbség a két termék között, hogy míg a fagylaltnál csak intenzív

keverést alkalmaznak, addig a jégkrémeknél levegő bevezetéssel habosítják a keveréket. A fagyasztva habosítás során tehát kialakítjuk a fagyalt/jégkrém jellegzetes szerkezetét. Ezt követi a keményítés, amely során a termék maradék víztartalmát fagyasztják ki, a fagyaltnál ez -18°C -ra történő utóhűtést, míg a jégkrémnél -30°C -os véghőmérsékletet jelent. Így kapják meg a termékek végső állományukat, amely fagyaltnál krémes, míg jégkrémnél szinte teljesen szilárd. A két termék szerkezete hasonló, vagyis a folytonos mátrixban (cukoroldatban) diszpergált állapotban vannak zsírcseppek, jégkristályok és gázbuborékok. (CLARKE, 2004) A különbség a stabilizáló anyagok minőségében valamint a jégkristályok és a gázbuborékok mennyiségében van. A jégkrémnél olyan stabilizátort adagolnak a rendszerhez, amely a kristálygócok növekedését gátolja, míg a fagyaltnál a kristálygócok képződésének elősegítése a cél.

A fagyalt elektronmikroszkópos képét és szerkezetét az 6. ábra mutat be. Ebben a nagyításban ($100\mu\text{m}$) láthatóak a cukoroldatban levő jégkristályok, és légbuborékok, azonban a zsírgolyócskák nem, ugyanis azok túl kicsik.



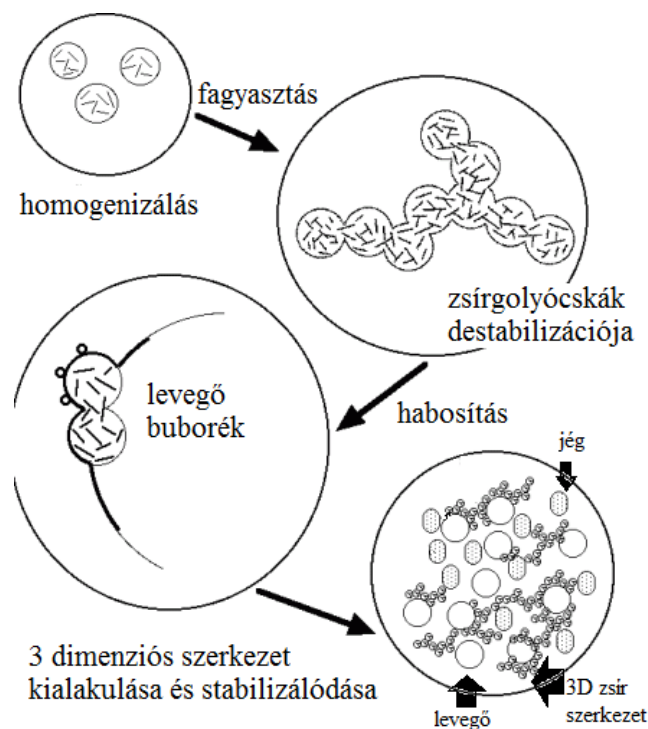
6. ábra Fagyalt pásztazó elektrtonmikroszkóppal készített képe (CLARKE, 2003)

A fagyaltok fagyasztásakor a termékben levő víz nagy része jégkristályokká alakul, amely nagyban befolyásolja a termék jellegét, állományát, hiszen ha a jégkristályok nagyméretűek ($>50\mu\text{m}$), akkor durva kristályos szerkezetet okoznak. (SZAKÁLY, 2001) A jégkristályok kialakulását, növekedését és átkristályosodását a fagyaltban levő egyéb nem kristályosodó összetevőkkel befolyásolhatjuk, ezek a különböző fehérjék, poliszaharidok és cukrok. (MILLER-LIVNEY&HARTEL, 1997) A stabilizálószerrek, mint pl. a szentjánoskenyér-mag liszt jelentősen

javítják a termék állományát, megkötik a szabad víz egy részét, továbbá csökkentik annak olvadákonyságát. (SZAKÁLY 2001) A különböző stabilizátorokkal (pl. guarumi) a tárolás alatti átkristályosodást is befolyásolhatjuk, és a fagyaltkeverék viszkozitásából következtetni tudunk a kristálynövekedés mértékére. (BOLLIGER et al., 2000/b)

A cukrok a fagyalt édes ízét és testességét biztosítják. Hatásukra csökken a keverékben levő víz fagyáspontja. A cukor mennyisége és minősége befolyásolja a fagyasztás jellemzőit, csökkenti a vizes oldat fagyáspontját, olvadáspontját, hatással van a kialakuló kristályméretre. Túl sok cukorral készült fagyalt kisebb hőmérsékleten fagy meg, és a fogyasztás optimális hőmérsékletén túlzottan olvadékonny lesz. Ha kevés cukrot használunk fel, a fagyalt állománya „hószzerű” lesz (FÖLDES & RAVASZ, 1998).

A fagyalt emulzió és hab is egyben. Ahhoz, hogy ezt a komplex szerkezetet ki tudjuk alakítani és stabilan meg tudjuk tartani, szükségünk van zsíradéokra és emulgeálószerre is. A 7. ábra a fagyaltban levő zsír szerkezetét mutatja be a gyártás alatt.



7. ábra A fagyalt szerkezetének kialakulása a gyártás alatt (Forrás: www.uoguelph.ca)

A homogenizálás során létrehozuk a nagyon apró zsírgolyócskákat és emulgeáljuk a keveréket. Az emulzió kialakítása és stabilitása a benne levő fehérjéknek és emulgeálószernek köszönhető, amelyek a zsírgolyócskák felületén adszorbeálódnak. A fagyasztás és levegőbekeverés során a zsírgolyócskák összetapadnak, részlegesen destabilizálódnak. Ha nem adunk a rendszerhez emulgeálószerrel a keverés, habosítás hatására a zsírgolyócskákat körülvevő membrán túl vékony lesz, és a zsírcseppek összefolynak, és az emulzió széteshet. Az

emulgeálószerrel stabilabb szerkezet alakítható ki, mert nem csak elősegítik a zsír és víz fázis összekapcsolódását, hanem a zsírcseppeket körülvevő membrán „erősítésével” megakadályozzák azok összefolyását. A fagyasztva habosítás hatására megtörténik a levegő felvétele, melytől a termék krémes állagát nyeri el. A levegőbuborékok felületén lévő összefüggő zsírszerkezet alakul ki, ennek és a fehérjemolekuláknak köszönhetően válik a fagyalt könnyedé illetve segít abban, hogy a terméket kevésbé hidegnek érezzük. (BOLLIGER et al., 2000/a) Az emulgeálószer segít a kisebb légbuborékok kialakulását, így kialakítva egy habos, kvázi-szilárd, sima állományú terméket. (MARSHALL & ARBUCKLE, 1996)

A tej zsír- és fehérjetartalma is hozzájárul a fagyalt krémességéhez, testességéhez, stabilitásához, illetve magas tápértékéhez (ALVAREZ et. al., 2005). A zsiradékok javítják a fagyalt állományát, segíti a levegőfelvételt, krémes szerkezetet eredményez, valamint sima érzet kialakításában vesz részt, tejszír esetén a fehérjekomponens is hozzájárul ennek kialakításához (BAER et. al., 1999). A fagyaltban levő fehérjék a vízkötésben vesznek részt, illetve kismértékű emulgeáló hatással is rendelkeznek. Emiatt az jégkrém gyártásban régóta használják a savófehérjéket is, kihasználva a fehérje-víz kölcsönhatásokat, így előállítható akár jó minőségű zsírsegény vagy zsírmentes jégkrém és lágyfagyalt is. (KILARA, 2004)

A tejsavó magas laktóz, fehérje és ásványianyag tartalommal rendelkezik, ezért értékes tápanyag. (MORR, 1989) Felhasználásának lehetőségei rendkívül széles skálán mozognak. A savóban lévő értékes szárazanyag-tartalom felhasználásával újabb termékek előállítására, illetve meglévő termékek dúsítására nyílik lehetőség. Így pl. a savóban lévő zsiradékból tejföl állítható elő, a savó tejszín leválasztásával savóvaj köpülhető, valamint a savófehérjék kicsapásával savósajt (pl. orda, ricotta) készíthető. A tejcukor speciális tulajdonságai alapján a gyógyszeripar is felhasználja pl. antibiotikum gyártására (SCHREINER, 1987), valamint a tejsavó permeátum bioetanol gyártás alapanyagaként is hasznosítható. (DRAGONE et al., 2011)

A feldolgozatlan folyékony savót a mezőgazdaságban is alkalmazzák, leggyakrabban haszonállatok ivóvizébe keverik (SISO, 1996), vagy műtrágyázáshoz használják (KOSIKOWSKI, 1979), illetve alapanyagul szolgálhat hagyományos termékek pl. a tejsavó alapú italok előállítására. A savó nedvességtartalmának elpárologtatásával savópor állítható elő, amit az előállított termékek tömegnövelése céljából is alkalmaznak (JELEN, 2011). Ezen kívül kellemes ízt kölcsönöz annak a terméknek, melyben felhasználják, így az édes savóporral pl. fagyaltok, pudingok, péksütemények, kenyérfélék, levesporok, a savanyú savóporral pedig gyümölcsitalok, salátaöntetek és sós kekszek táplálkozási és élvezeti értéke egyaránt növelhető (CSAPÓ & CSAPÓNÉ, 2002).

A jégkrém gyártásban a sajtgyártás melléktermékeként keletkező édes savót és annak koncentrátumát használják. Viszont a túrógyártás során keletkező savanyú savó is felhasználható lenne, mert hasonló előnyös tulajdonságokkal rendelkezik, mint az édes savó. Viszont magas tejsav tartalma erősen befolyásolja a termék ízét, ezért még nem alkalmazzák.

A mindkét típusú savóban nagy mennyiségben található laktóz, amely hozzájárul a fagyalt édességének kialakításához, viszont nagy mennyiségben kevésbé oldódik a fagyalt keverékben, mint a többi cukor. Ezért, ha kialakulnak laktóz kristályok a fagyaltban, akkor úgynevezett homokos állományú terméket kapunk, amit a speciális nyílvég alakú és nagyon kemény laktóz kristályok okoznak. (CLARKE, 2004)

A savó koncentrált változatát pékáruk, cukorkák gyártásánál régóta használják. Tejipari termékek esetében is egyre elterjedtebb a savó hozzáadása, ezáltal hasznosítása. Ezt támasztják alá azok a kísérletek is, melyben savó UF (ultraszűrt) koncentrátumát adták a fagyalathoz a fizikai tulajdonságok javítása és a beltartalmi értékek növelése céljából. Az UF-savókoncentrátum nagy előnye, hogy nagy a fehérje hozama, és alacsony a laktóz tartalma. (LEE & WHITE, 1991). A laktóztartalom redukálásával minimalizálódik a homokos állomány kialakulása, vagyis a savó tejfagyaltban alkalmazott mennyiségének a laktóz kristályosodásra való hajlama és az íz szab határt.

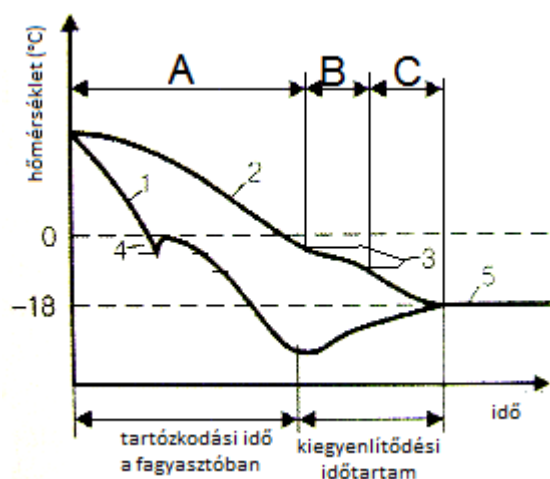
2.3. Élelmiszerek tartósítása gyorsfagyasztással

Az élelmiszerek megőrzése és eltarthatósága az emberiség kiemelt jellegű kérdése. Élelmiszereink romlékonyak, így a tárolás és a későbbi elfogyasztás csak különböző tartósítási eljárásokkal (fizikai, kémiai, biológiai stb.) oldható meg. Az egyik legelterjedtebb és legfontosabb mesterséges hideg alkalmazásán alapuló tartósítási módszer a fagyasztás, mellyel a termékek minőség-megőrzési idejét meghosszabbíthatjuk, emellett jó minőségét megőrizzük. (CHIEWCHAN, 2011; SARAVACOS&KOSTAROPOULOS, 2002) Tartósító hatása azon alapul, hogy a hőmérsékletet lecsökkentjük, ennek hatására a víz egy része jéggé alakul, a termékben maradó nagyobb koncentrációjú oldat vízáktivitása csökken, a legtöbb mikroba pedig alacsony hőmérsékleten és alacsony vízáktívitás érték mellett– néhány kivételtől eltekintve – nem szaporodik. (BALLA&SÁRAY, 2002; FELLOWS, 2000)

A fagyasztás a többi tartósítási eljáráshoz viszonyítva kisebb változásokat idéz elő az élelmiszerekben, megfelelő feldolgozás és nyersanyag mellett, valamint megfelelő felengedtetés és felhasználás esetében a fagyasztással kiváló érzékszervi és táplálkozási tulajdonságokkal rendelkező élelmiszer állítható elő, és gyakorlati célokra kielégítő tárolhatósági időtartamot biztosít. (DEGNER et al., 2014)

Fagyasztás/gyorsfagyasztás során az élelmiszerek víztartalmának egy jelentős része fázisváltozást szenved, mely során a vízmolekulák rendezett kristályszerkezetbe épülnek be. A folyamat kristálygócok képződésével indul meg. Fagyásponthoz közeli hőmérsékleten csak kevés kristálygóc képződik, a hőmérséklet további csökkentésével nő a kristályok száma és csökken a méretnövekedés esélye. A kristálynövekedés attól függ, hogy milyen gyorsan tudnak a vízmolekulák a kristálygócokhoz diffundálni, milyen mértékű a hőelvonás sebessége, hogyan alakul a hőelvonás időtartama, és milyen hőmérsékletet alkalmazunk a fagyasztás során. (BALLA, 2007)

A tartósítandó terméknel a hőelvonás hatására – az idő függvényében - néhány jellegzetes hőfizikai körülmény eredményeként (beleértve a fagyasztás előtt használt esetleges csomagolást is), lokálisan különböző hőmérsékleti mezővel kell számolnunk. A hőmérséklet a felszíni rétegben gyorsabban csökken. Ez az eltérés rövidebb-hosszabb ideig fenn is marad, később viszont kiegyenlítődik (8. ábra).



- A – előhűtés,
- B – fagyás,
- C - utóhűtés
- 1. felületi hőmérséklet,
- 2. maghőmérséklet,
- 3. maximális jégkristály-képződési zóna,
- 4. túlhűtési jelenség,
- 5. kiegyenlítődési hőmérséklet

8. ábra A termék hőmérsékletének alakulása a fagyasztás alatt, a fagyási folyamatok szakaszai (Forrás: BALLA&SÁRAY, 2002)

Az előhűtés során el kell távolítani a termék szenzibilis és látens hőjét, hogy lejjebb vigyük a termék kezdeti hőmérsékletét a fagyáspontig, addig a hőmérséklet tartományig, ahol elkezdődik a halmazállapot-változás. (FELLOWS, 2000) Az élelmiszerek túlhűthetőek, ezután az első jégkristály megjelenik, ekkor a kristályosodási hő miatt a hőmérséklet megemelkedik és megkezdődik a víz-jég átalakulás. (NESVADBA, 2008) Ezután a tényleges fagyasztási szakaszban (más néven maximális kristályképződési zóna) a víztartalom jelentős része jéggé alakul, a termék átlaghőmérséklete legalább -5°C -ra csökken. Itt alakul ki kristálygócok jelentős része, és itt megy végbe a jégkristályok növekedésének nagyobbik hányada. (SAHAGIAN&GOFF, 1996)

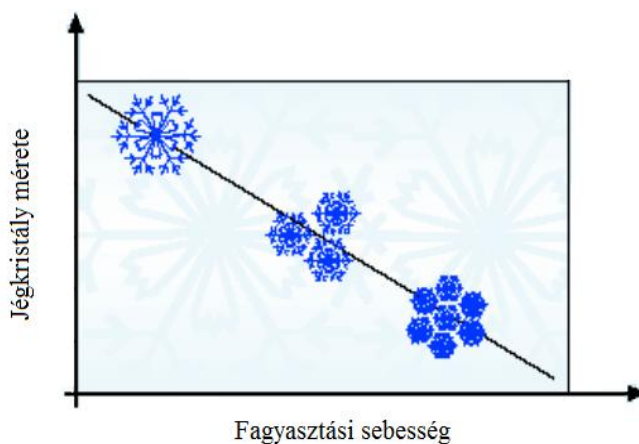
Az utóhűtés folyamán kismértékben folytatódik a fagyás folyamata és a termék a tárolási hőmérsékletre hűl. Ez a hőmérséklet a tartós tárolásra szánt, gyorsfagyasztott élelmiszerek esetében $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$. Hőmérséklet kiegyenlítődés szakaszának is nevezik, ugyanis a szükséges hőmennyiség elvonása megtörtént. (SAHAGIAN&GOFF, 1996)

2.3.1. Fagyasztási módok

Az iparszerű fagyasztási gyakorlatban alapvető kérdés, hogy mennyi idő szükséges a kívánt termék-hőmérséklet eléréséhez, mekkora az erre fordítandó energiaigény (költség), valamint milyen mértékű veszteség lép fel az eljárás során.

Az élelmiszerek fagypont alatti hőmérsékletre hűtése különböző sebességekkel történhet, ez alapján megkülönböztetünk lassú-, gyors és ultragyors fagyasztást. (FELLOWS, 2000)

Minél nagyobb a fagyasztási sebesség, annál finomabb jégkristályszerkezet alakul ki az élelmiszerekben (9. ábra), tehát a fagyasztás sebességének növelése kedvezően hat az élelmiszerekre. A legtöbb élelmiszer felengedtetés után jobb minőségű, ha a fagyasztás során a maximális kristályképződési zónán hamarabb túljutott.



9. ábra A fagyasztási sebesség és a jégkristályok mérete közötti összefüggés
(Forrás: KAPÁS, 2005)

A lassú- és a gyorsfagyasztás

Lassú fagyasztás során a sejtnedvből nagy, tű alakú jégkristályok képződnek, méretük meghaladhatja a sejt méretét, így a rugalmas sejtfalat keresztülszúrhatják. A sejtek közötti térben alakulnak ki az első jégkristályok, emiatt ott nő az oldat koncentrációja. A diffúzió hatására a sejtekből elkezd kiáramlani a víz, hogy a koncentráció-különbség kiegyenlítődjön. A keletkezett kristályok mérete növekszik, amelyek felsértik a sejtek falát, míg a sejtek víztartalma csökken, és gyakorlatilag kiszáradnak. (NESVADBA, 2008) Az így lefagyasztott élelmiszer felengedésekor a protoplazma nem nyeri vissza eredeti állapotát, mert a megsérült sejtfalon keresztül a

sejtnedvek jelentős része elfolyik. Az élelmiszer lazább szerkezetűvé válik, a folyamat tápanyagvesztéssel és minőségromlással (alak, szín, íz, illat) jár együtt. A lassú fagyasztás káros hatásai érvényesülnek a húsoknál, zöldségeknél és gyümölcsöknél. (JAMES, 2008) Azonban a különböző sütőipari termékek, illetve keményítőt tartalmazó élelmiszerek esetén terméktől függően előnyösebb lehet a lassú fagyasztást alkalmazni, hogy csökkentsük a keményítő retrogradációjának esélyét. (FELLOWS, 2000)

Gyors- és ultragyors fagyasztásnál a sejtekben tárolt víz gyorsabban fagy meg, mint a lassú fagyasztás esetében. A sejtek szabad víztartalma a hirtelen hideg hatására apró mikrokristályokká fagy, kismértékű térfogat-növekedésük során olyan kisméretű jégkristályok képződnek, melyek már nem károsítják a sejt szerkezetét. (JAMES, 2008) A kristályképződés szempontjából kritikus zóna a $-0,5$ és -5 °C közötti érték, a víz kb. 50-80%-a ekkor alakul át jéggé. Ahhoz, hogy a fagyasztás során apró szemcsés kristályokat kapjunk, szükséges, hogy ezen a „kritikus zónán” minél gyorsabban tovább hűtsük a terméket. Az így tartósított élelmiszerek megőrzik tápanyag és biológiai értékeiket, a termék felengedése után a fagyasztás előtti állapotával közel azonos lesz.

Ultragyors/Kriogén fagyasztás

A kriogén fagyasztás ultragyors fagyasztási mód. Fázisváltása miatt nagy hőfelvételre képes (párolgó, szublimáló) hűtőközeget közvetlenül érintkeztetjük a fagyasztandó áruval. A MÉ 1-3-89/108-as előírása szerint az élelmiszereket a közvetlen érintkezés miatt levegőn kívül csak nitrogénnel és szén-dioxiddal lehet fagyasztani. (MÉ, 2008)

A nitrogén semleges gáz, mely szokásos környezeti feltételek között nem lép reakcióba más anyagokkal, emiatt alkalmazható folyékony állapotában fagyasztásra. Megkövetelt tisztasága élelmiszer-fagyasztásra történő felhasználás esetén 99,995%. -196°C -on cseppfolyósodik légköri nyomáson. Az általunk belélegzett levegőnek mintegy 78%-át alkotja. Előállítása levegőszétválasztással történik. Szigetelt tartályban (Dewar-edény) légköri vagy 0,3-0,5 MPa túlnyomáson tárolják. A cseppfolyós gázt a fagyasztótérbe engedve a hőterhelés mértékének megfelelően hevesen forr. A halmazállapot változáshoz szükséges energiát a fagyasztandó élelmiszertől vonja el. Az így keletkező gáz hőmérséklete még -196 °C. A hideg gáz felmelegedéséhez szükséges hőt szintén az élelmiszertől vonja el. (PEARSON, 2008)

A szén-dioxid természetes forrásokból, vagy ipari folyamatokból származik. A fagyasztás során használhatunk szárazjeget mely $-78,5^{\circ}\text{C}$ -on szublimál, és cseppfolyós szén-dioxidot is, amely 5,1 barnál nagyobb nyomáson előállítható. Azonban élelmiszerek fagyasztásához

ritkábban használják, ugyanis érzékszervi változásokat okozhat bizonyos termékeknél (pl. sertéshús beszürkülhet). (MAGNUSSEN et al. 2008)

Kriogén fagyasztás alkalmazásával a termék fagyása sokkal gyorsabban megy végbe, mint a hagyományos eljárások esetén. Az ultragyors fagyás a sejtes- vagy szövetszerkezettel rendelkező termékek esetében számos előnnyel jár. A sejtfal a hirtelen hideg hatására megdermed, a vízmolekulák mozgékonyasága pedig olyan mértékben lecsökken, hogy a sejt víztartalma nem tud kidiffundálni a sejtből. A kristálygóc-képződés egyszerre indul meg a sejtben és a sejtek közötti járatokban, így a szövet egészében homogén kristályszerkezet alakul ki. Ennek eredményeképpen a sejtek alig roncsolódnak. Az extra gyors fagyasztással megakadályozható az áruk kiszáradása és a nemkívánatos súlyvesztés.

Ezek a berendezések nem kapcsolódnak szorosan a termelőüzemhez, vagyis az üzemtől függetlenül működtethetők, könnyű szerkezetük miatt egyszerűen elmozdíthatóak, mozgó, szállítható hűtőberendezések is létesíthetők velük. Helyigényük sem túl nagy és a beüzemelés kevés időt vesz igénybe. A beruházási költség lényegesen kisebb, mint a gépi hűtőberendezések esetén. (MALLET, 1993; FELLOWS, 2000).

Lehetőség van a kriogén és a hagyományos fagyasztás kombinálására is. Ekkor a kriogén fagyasztással a termék felületét gyorsan lehűtik, így a termék hőenergiájának akár $\frac{1}{4}$ -ét el lehet vonni. Ezt a fagyasztási módot olyan termékeknél használják, amelyeknél ha csak hagyományos fagyasztási technológiát alkalmaznak, akkor nem lenne megfelelő minőségű a késztermék. Agnelli & Mascheroni (2002) mérései szerint a kombinált fagyasztással sokkal jobb minőségű terméket lehet gyártani, mint csak hagyományos fagyasztással. Az árut először néhány másodpercre cseppfolyós nitrogénbe mártották, ahol a felületük megfagyott, majd ezután hagyományos szalagos vagy fluidizációs fagyasztóban fagyasztották meg teljesen a kívánt maghőmérsékletig. Az eljárással csökkent a felengedtetési csepegési lévesztés és a színváltozás is kisebb mértékű lett, néhány termék szerkezete pedig kevésbé sérült, mint a hagyományos fagyasztásnál. (AGNELLI&MASCHERONI, 2002)

2.3.2. A fagyasztás hatásai

A felengedtetés közben a fagyasztáskor jég formájában különváló vizet az élelmiszer újból felveszi, reszorbeálja. Ez azonban mégsem teljesen megfordítható folyamat. Különböző fizikai, szövettani elváltozások figyelhetők meg, amelyek mértéke megszabja a fagyasztás milyenségét. Egyrészt azért, mert az élelmiszer a víz egy részét nem veszi fel felengedés közben, másrészt mert az anyag vízkötése felengedés után mindig lazább, mint eredeti állapotban. Így esetleges súlycsökkenés léphet fel.

Fagyasztva tárolás során egyes élelmiszerekben színváltozás figyelhető meg. Megfelelő csomagolással és optimális tárolási feltételekkel az elváltozások, hibák csökkenthetők, elkerülhetők. (BALLA&SÁRAY, 2002)

A fagyasztási körülmények megválasztása (hőmérséklet, időtartam, sebesség, fagyasztási technika), de a tárolhatóság és a felengedettési viszonyok szempontjából is az élelmiszereket – figyelemmel a fizikai, kémiai és biológiai jellegű változásokra és azok kezelhetőségére – több csoportra oszthatjuk. Vannak összefüggő, jól definiálható szövetszerkezetű és vannak ezzel a jelleggel, felépítéssel természetszerűen nem rendelkező élelmiszerek, valamint olyan készítmények, amelyeket szövetszerkezettel rendelkező növényi vagy állati eredetű nyersanyagokból állítottunk össze, de a gyártástechnológia követelményeinek megfelelően eredeti szerkezetét megszüntettük (pl. gyúrt-hevített sajtok). (BALLA&SÁRAY, 2002) Ezeknél a termékeknél az összetevőktől függ, hogy a fagyasztás sebessége, a tárolás körülményei hogyan befolyásolják a felengedettés utáni szerkezetet és stabilitást.

Míg például Mozzarella sajtok szerkezetét kevésbé befolyásolják a fagyasztás körülményei, mint maga az érlelés (KUO et al., 2003), addig a jégkrémeknél és fagylaltoknál fontos, hogy mikrokristályos szerkezetet alakítsunk ki a megfelelő sima és homogén szerkezet érdekében, és a tárolás alatt ne legyen hőmérséklet-ingadozás, mert az átkristályosodás nemcsak a jégkristály szerkezetre van hatással, hanem a jégkrém és a fagylalt emulzióstabilitására is. (ZARITZKY, 2008; GOFF, 2008)

A keményítőt tartalmazó élelmiszerek - mint például a különböző szósok – fagyasztásakor és fagyasztva tárolásakor számolni kell a keményítő retrogradációjával, az amilopektin metastabilitása miatt, de csak -1 és -5°C közötti hőmérséklettartományban. (ZARITZKY, 2008)

Az emulziók stabilitása fagyasztás és fagyasztva tárolás során nagyban függ a víz és olaj fázisok viselkedésétől. A víz és olajfázis kikristályosodik, valamint fázisszétválás is megtörténhet. Ha az olaj fázis kristályosodása megelőzi a vízfázis kristályosodását, akkor részleges aggregáció történik és ez a rendszer destabilizációjához vezet. A zsírcseppek aggregációját segíti a hűtés közbeni keverés és a jégkristályok mennyiségének növekedése is. A felengedettés után a destabilizáció megjelenési formája többféle lehet, például csomósodás, olajos fázis megjelenése a felületen. A jégkristály növekedés szabályozásával, az üveges állapot elérésével, a felengedettés közbeni mechanikai behatások minimalizálásával, az összetevők gondos megválasztásával, emulgeálószerekkel és krioprotektív anyagokkal csökkenthető a fagyasztás okozta aggregáció jelensége. (DEGNER et al., 2014)

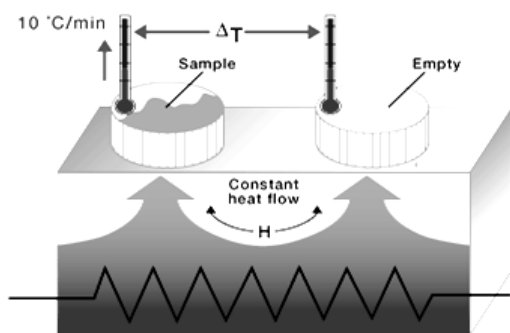
2.4. Élelmiszerek fagyasztásával kapcsolatos termofizikai jellemzők

Az élelmiszereink fagyasztásának, fagyasztva tárolásának és szállításának tervezéséhez egyes hőfizikai paraméterek ismerete szükséges. Ezek a paraméterek például a kriozkópos hőmérséklet, a fagyás illetve olvadáspont, az üvegesedésre való hajlam, a hőelvonáshoz szükséges hőmennyiség, vagy a kifagyasztható víztartalom mennyisége. Ezen tulajdonságokat DSC készülékkel meghatározhatjuk.

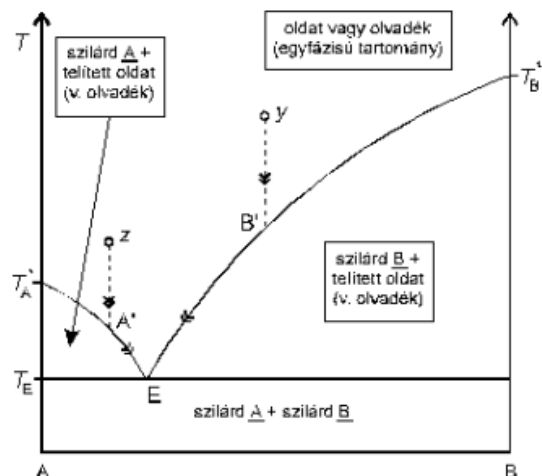
A DSC (Differential Scanning Calorimetry) vagy más néven differenciális pásztázó kalorimetria, olyan termoanalitikai módszer, amely az anyagátalakulási folyamatok hőáramának mérését teszi lehetővé a hőmérséklet, ill. az idő függvényében (FARKAS, 1994). A fagyás/olvadás jól érzékelhető exoterm-endoterm folyamat, ezért a dinamikus kaloriméterek alkalmazása fagyasztott élelmiszerek vízállapotának tanulmányozásánál gyakori. A módszer nagy előnye, hogy a mérendő minták akár előkészítés nélkül, eredeti állapotukban is vizsgálhatók (BALLA et. al., 1992).

A berendezés három nagy egységből áll. A mérőegység, amely a hőelnyelő blokkot tartalmazza a mérő és referencia cellákkal. A mérőblokk, ami a hűtés-fűtés közvetlen szabályozó rendszere, és végül egy a készülékhez tartozó szoftverrel ellátott számítógép. Ez utóbbi feladata az adatgyűjtés, a mérések elemzése és a kalorimetriás görbe megjelenítése.

A DSC a cellák hőelnyelő képességét, és a két cella közti hőmérséklet-különbséget méri. A rendszer arra törekszik, hogy a referencia és a minta cella közti hőmérsékletkülönbség zérus legyen. A két cella elhelyezkedését a 10. ábra szemlélteti.



10. ábra DSC működési elvének ábrázolása
(www.ultrac.com)



11. ábra Olvadáspont-összetétel diagram
(phys.chem.elte.hu)

A DSC technika egy minta számos jellemző tulajdonságának meghatározására használható. Megfigyelhetünk fúziós és kristályosodási folyamatokat, üvegesedési hőmérsékleteket, tanulmányozhatjuk az oxidációt és sok egyéb kémiai reakciót is. Példa erre az ausztráliai egyetem tudósainak kutatása, mely során a savófehérjék tulajdonságainak hőkezelésre bekövetkező változását vizsgálták. A DSC-vel kapott eredményeik a savófehérjék adalékanyagként való felhasználásában hoztak pozitív eredményt (DISSANAYAKE & VASILJEVIC, 2009).

2.4.1. Krioszkópos hőmérséklet

A víz a krioszkópos hőmérsékleten kezd el jég formájában kiválni az oldatból. A folyamat addig folytatódik, amíg el nem érjük az úgynevezett eutektikus vagy kriohidrátos pontot, amelyet az eutektikus hőmérséklet és az eutektikus összetétel jellemez. Az eutektikus pont az oldott anyag minőségének, koncentrációjának és az oldat hőmérsékletének függvénye. Az élelmiszerek nem csak egy ilyen ponttal rendelkezhetnek, hiszen több komponens együttes hatása érvényesül bennük. Az állati eredetű anyagok, mint pl. a tej és tejtermékek széles hőmérsékletsávban az eutektikumok folytonos sorozatát tartalmazzák. Az eutektikumok állandó arányban tartalmazzák a szilárd állapotban lévő vizet és a benne oldott egy, vagy több anyagot.

A NaCl- víz olvadáspont-összetétel diagramján (11. ábra) jól látható, hogy hűtéssel elérve egy adott elegy T_E eutektikus hőmérsékletét, az oldat (olvadékelegy) maga eutektikus összetételűvé válik, vagyis ezen a hőmérsékleten telített lesz mind az ábrán jelzett (A) és (B) komponensre nézve egyaránt. Az eutektikus összetételű oldat egyensúlyt tart mindkét szilárd komponenssel (BALLA & SÁRAY, 2002).

2.4.2. Olvadáspont

Az olvadáspont az a hőmérséklet, ahol a szilárd anyag folyékonyá válik. Kismolekulájú szilárd anyagok átalakulása nagyon gyorsan bekövetkezik, amikor az anyag hőmérséklete eléri az olvadáspontot. Az ilyen átalakulást a termodinamikában elsőrendű fázisátmenetnek nevezik. (BÁNHEGYI, 2005). Részlegesen kristályos polimerekben az olvadáspontot számos paraméter befolyásolja (elsősorban a kristályos fázisok mérete és rendezettsége), így nem lehet egy éles olvadáspontot kijelölni. Mivel a molekulák és a kristályok mérete bizonyos eloszlást mutat, és a kristályhibák is sokfélék lehetnek, inkább olvadási tartományról, mint olvadáspontról lehet beszélni. Az olvadási tartomány megismerésére lehetőséget ad, ha különféle hőmérsékleteken mérni tudjuk a minta aktuálisan kifagyasztható víztartalmát és az olvadásához szükséges látens hő mennyiségét (AKTAS et al., 1997).

2.4.3. Kristályosodási hőmérséklet

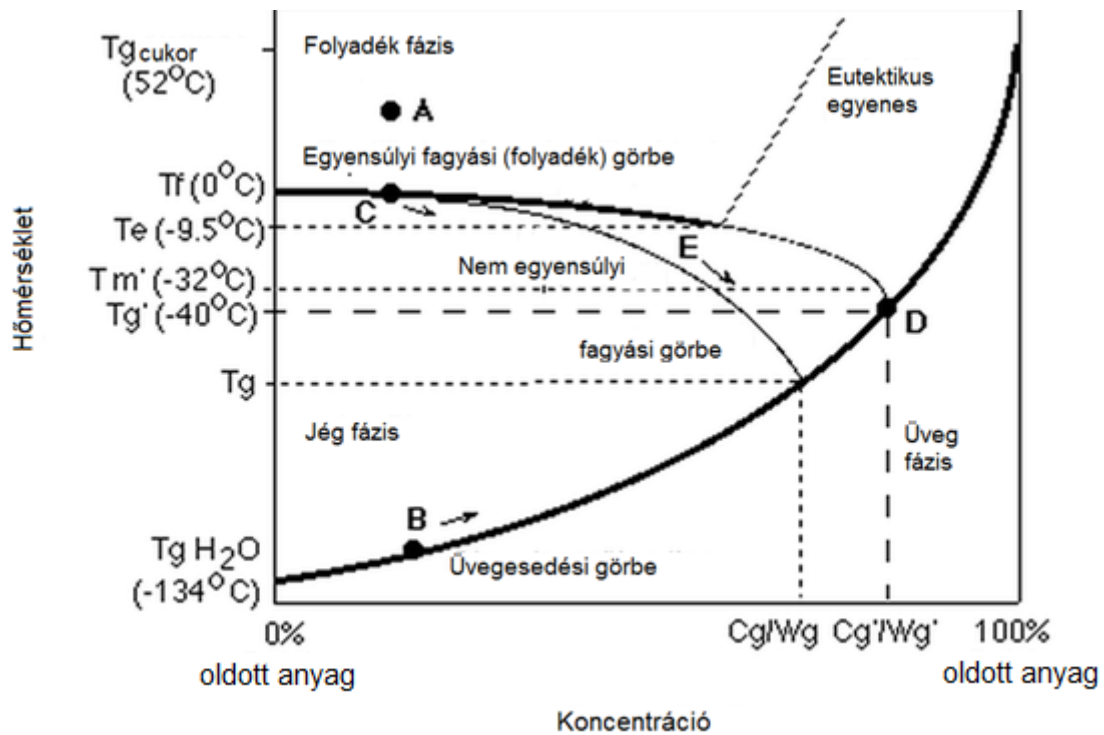
Fontos termikus jellemző a kristályosodási hőmérséklet, amelyet az olvadás fordítottjának tekinthetünk (BÁNHEGYI, 2005). Kismolekulájú anyagok esetében ez megegyezik az olvadásponttal, a makromolekulákat tartalmazó oldatokban azonban jelentős kristályosodás általában alacsonyabb hőmérsékleten indul csak meg, mint az olvadás, ami a makromolekulák korlátozott mozgékonyságának a következménye. Az élelmiszerek fagyasztásakor a víztartalom a benne oldott anyagokkal a krioszkopos hőmérsékleten kezd el jég formájában kiválni és az eutektikus hőmérsékletig tart, ahol már több víz nem tud kifagyni és a koncentrált oldat is megfagy.

2.4.4. Üvegesedési hőmérséklet

Az üvegesedési hőmérséklet (T_g) azt a hőmérsékletet jelenti, amely alatt a makromolekulák mozgékonyága kicsi, az anyag kemény és rideg (üvegszerű). Ezen a hőmérsékleten gyakorlatilag dermedés következik be, fázisváltozás nélkül. E hőmérséklet felett viszont a molekulák mozgékonyága fokozatosan nő, és végül a rendszer folyadékká alakul át. Egyes irodalmakban egyébiránt nem is üvegesedési hőmérsékletről, hanem üvegesedési tartományról beszélnek (BROSTOW et al., 2008), hiszen a maga a jelenség még a részlegesen kristályos anyagok olvadásánál is szélesebb hőmérséklet-tartományon belül következik be.

2.4.5. Ki nem fagyó víztartalom

Az élelmiszerekben a víz szabad, illetve kötött formában van jelen. Amikor egy élelmiszert elkezdünk fagyasztani, a víz jég formában kezd kiválni a rendszerből, a maradék víztartalom a benne található oldott anyagokkal kezd koncentrálni az egyensúlyi görbe mentén (12. ábra). Amikor eléri az oldat az üvegesedési görbét már nem tud több víz kifagyni a rendszerből. Tehát a szabad víz képes kifagyni, viszont a kötött víz oldatban marad. Az üvegesedési hőmérsékleten megdermed, fázisváltozás nélkül amorf szerkezetet vesz fel, és üveghez hasonló merev tulajdonságot mutat. (RAHMAN, 2006)



12. ábra Élelmiszer fázisdiagramja (Forrás: www.uoguelph.ca)

A ki nem fagyasztható víz a mikrobiológiai és a kémiai folyamatok számára sem hozzáférhető víztartalmat jelenti. (KASAPIS, 2006) A ki nem fagyó víztartalom meghatározza a rendszer instabilitását és utal a fagyasztott termék kívánatos tárolási hőmérsékletére, vagy hőmérséklet-tartományára. A kifagyó víz mennyiségét az élelmiszer vízben oldott anyagainak mennyisége, illetve krioszkoپos hőmérséklete határozza meg. Mennyiségének kiszámítására több lehetőség is van. Az egyik megoldás, amelyet GONI és munkatársai (2007) alkalmaztak a csirimojó gyümölcs (*Annona cherimola*) érésekor a víz állapotváltozásának megfigyelésére. Felvették víz és a gyümölcs hőáramgörbéjét DSC készülékkel, majd a kalkulált görbe alatti területekből a következő képlet alapján számolták a ki nem fagyasztható víztartalmat:

$$UFW = \frac{W_{v\acute{z}} - (\Delta H_{minta} / \Delta H_{v\acute{z}})}{DM}$$

A képletből látszik, a ki nem fagyó víztartalom (unfreezable water = UFW) $g_{v\acute{z}}/g_{sz\acute{a}razanyag}$ – ban a minta víztartalma g-ban, a mérésekor kapott hőáramok hányadosa és a g-ban megadott szárazanyag- tartalom (DM = dry matter content) alapján egyszerűen megkapható (GONI et al., 2007).

Kiválóan használható ilyen mérések során a DSC, amely segítségével különböző hőmérsékleteken is információt kaphatunk az adott élelmiszer mintáknál a kifagyó víz mennyiségéről (MACNAUGHTAN & FARHAT, 2008; AKTAS et al., 1997).

Fontos megállapítás, hogy a ki nem fagyó víztartalom és az átkristályosodás között lineáris összefüggés van. Minél nagyobb ki nem fagyó víztartalom, annál magasabb az átkristályosodás mértéke. Stabilizátorok felhasználásával azonban csökkenthető. Ez derül ki a Hagiwara és Hartel kutatásából is, akik fagyaltban édesítőszeres és stabilizátoros kristályosodást befolyásoló hatását vizsgálták (HAGIWARA & HARTEL, 1996).

2.5. Élelmiszerek reológiai vizsgálata

A reológia a deformációkkal, a deformációkat és az azokat előidéző erők közötti törvényszerűségekkkel, a deformációk és az erők időfüggésével, illetve a reológiai jelenségek hőmérséklet és nyomásfüggésével foglalkozik (TÓTH, 2000).

A deformáció a testet alkotó részecskék, vagy magának a test egyes részeinek egymáshoz viszonyított elmozdulása, miközben az anyag folytonossága nem szakad meg. Általában két nagy csoportját különböztethetjük meg, ezek a rugalmas és a viszkózus deformációk. A deformációt akkor tekintjük „ideálisan rugalmasnak”, ha a testre ható erő hatására kialakuló feszültség csak pillanatnyi deformációt hoz létre, és a feszültség megszűnte után a deformáció azonnal megszűnik. Akkor tekintjük „ideálisan viszkózusnak”, ha testre ható erő állandó sebességű deformációt, folyást hoz létre. (GASZTONYI & BOGDÁN, 1985).

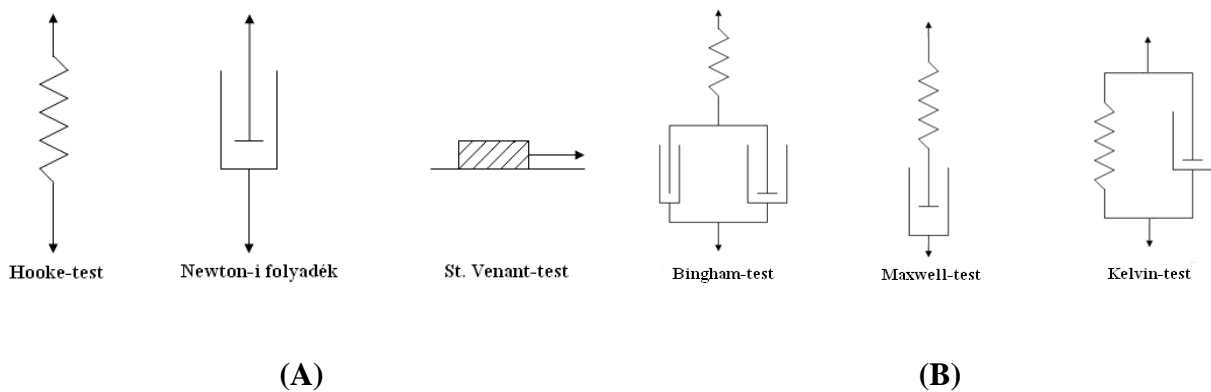
A legtöbb reális anyagban a rugalmas és viszkózus viselkedés egyidejűleg van jelen, és vizsgálati körülmények közt határozható meg, hogy az adott anyag általános viselkedésében mely tulajdonságok válnak meghatározóvá. Ilyenkor az ún. reális testeket vesszük alapul, melyeknél gyakran előfordul, hogy egyik másik reológiai tulajdonsága olyan kicsi, hogy az szinte elhanyagolható, így jól megközelíti az ideális reológiai testek tulajdonságait (TÓTH, 2000).

2.5.1. Reológiai alapmodellek

A reológiai modellek olyan idealizált alapmodellek, amelyek célja, hogy a folyadékok, illetve viszkózus anyagok külső erők hatására bekövetkező deformációit mutassák be. Ilyenek a Hooke-test, a Newtoni-folyadékok és a St. Venant-test. (13. (A) ábra)

- **Hooke-test:** modellje egy rugó, mely terhelés hatására pillanatszerű, ám reverzibilis deformációt szenved. Ez a test a szilárd anyagok modellezésére használható.
- **Newtoni-folyadék:** modellje egy hengerben mozgó dugattyú, melyben terhelés hatására kezdetben gyorsulás lép fel, melyet később egyenletes sebességű mozgás vált fel. Az ideális folyadékok modellezésére használható.

- **St. Venant-test** (plasztikus test): adott nyírófeszültségig nem szenved változást, fölötte viszont gyorsulva folyik. A súrlódás jelensége köthető hozzá. (GASZTONYI & BOGDÁN, 1985)



13. ábra Ideális alap (A) és ideális komplex (B) reológiai testek mechanikai modelljei

(Forrás: FETTER, 2004)

2.5.2. Ideális komplex reológiai testek

Az ideális komplex reológiai testek a fentebb említett három alaptest kombinációjából állíthatók elő. Ezek közül gyakorlati szempontból csak néhánynak van jelentősége.

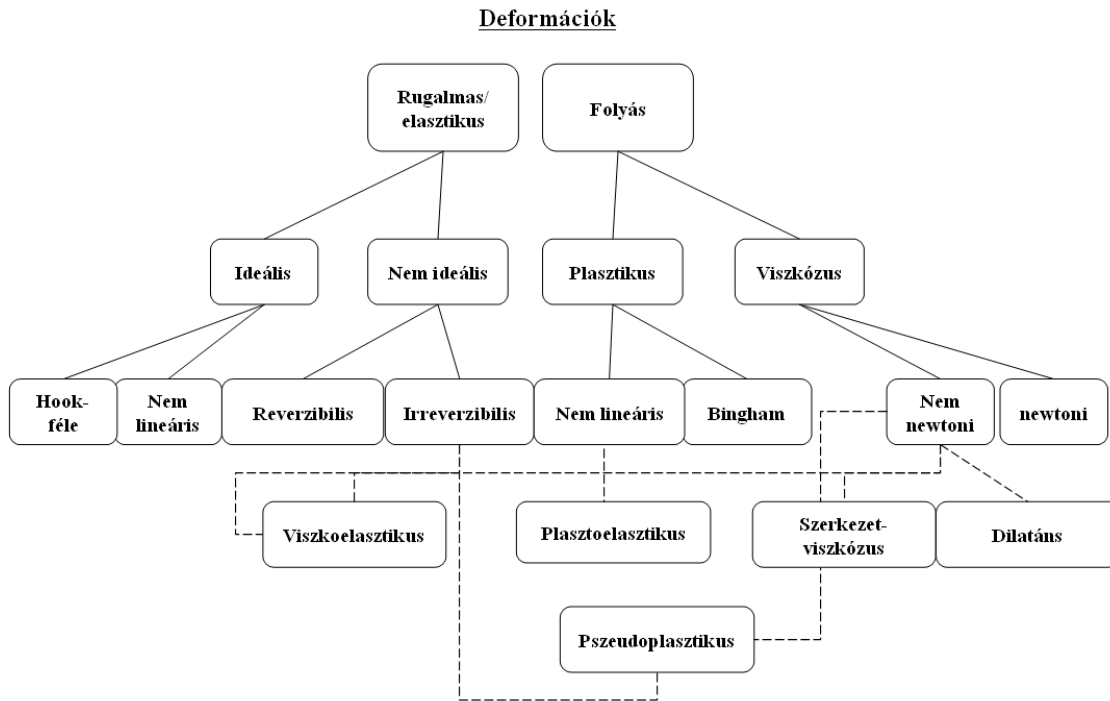
A **Bingham-test** egy bizonyos nyírófeszültség-értékig rugalmas testként viselkedik, majd ezt az értéket túllépve folyás lép fel (viszkózus folyás), amely dinamikai egyensúlyra vezet. A test két reológiai állandóval jellemezhető: a határfeszültséggel és a viszkozitással.

A **Maxwell-testnél** egyszerre tapasztalhatunk viszkózus és elasztikus tulajdonságokat. E két alapelem sorba kapcsolásával (rugó és csillapító elem) jutunk el a kívánt modellhez. Reológia egyenlete a Hook-test (elasztikus) és a newtoni folyadék (viszkózus) egyenletének kombinációja.

Az **Kelvin-testnél** ugyancsak viszkózus és elasztikus tulajdonságokat tapasztalhatunk, ám ezek már párhuzamosan vannak kapcsolva (rugó és csillapító elem). A rugó korlátot szab a deformációnak (megnyúlása azonos a dugattyúéval) így folyás nem léphet fel, ezért a modell szilárd testként viselkedik (LÁSZTITY, 1987; LÁSZLÓ, 2003).

A Maxwell és a Kelvin modellek részletes vizsgálata azt bizonyítja, hogy a viszkoelasztikus alakváltozást egyik modell sem írja le pontosan. Már az is javíthatja a modellek pontosságát, ha nem két, hanem három elemből tevődnek össze. Ilyen modell a 13. (B) ábrán is látható Bingham-test, amely az élelmiszeripari alkalmazás szempontjából is fontos, (LÁSZLÓ, 2003), mivel az élelmiszerek jelentőshányada viszkoelasztikus tulajdonságokkal rendelkezik.

A deformációk csoportosítását és a különböző reológiai modellek közötti átmeneteket a 14. ábra szemlélteti.



14. ábra A deformációk csoportosítása (forrás: saját)

2.5.3. Reológiai mérési módszerek

A reológiai mérések célja a vizsgált anyagok reológiai viselkedésének megismerése és jellemzése reológiai állandókkal. Ehhez olyan mérőműszerekre és eszközökre van szükség, melyek abszolút egységekkel való jellemzésre használhatók. Sok esetben e helyett olyan mérőmódszereket alkalmaznak, amelyek viszonylagos empirikus mérőszámokkal fejezik ki a reológiai viselkedést. Ez utóbbi bonyolult reológiai viselkedésű anyagoknál, valamint gyors összehasonlító vizsgálatoknál alkalmas, mely egy konkrét technológiai lépést vagy nyersanyag ellenőrzést céloz meg. Nemzetközi összehasonlításra, átszámításra csak az abszolút értékek alkalmasak.

Viszkozimetria

A reológia elsősorban folyadékokkal és szilárd testekkel foglalkozik, amelyek jellemzésében a viszkozitás a legfontosabb tulajdonság. A gyakorlatban viszont emellett megjelennek a plasztikus tulajdonságok is. Ilyenkor határfeszültség és plasztikus viszkozitás mérése szükséges, melyeket úgynevezett plasztométerekkel mérünk. A viszkozitás mérésének négy fő módszere a kapilláris, esőgolyós, rotációs és oszcillációs mérési módszerek. A kapilláris viszkoziméterekkel a kinematikai viszkozitás, míg a rotációs és oszcillációs reométerekkel a dinamikai viszkozitás mérhető.

➤ Kapilláris viszkoziméterek

Alapja, hogy a meghatározott térfogatú vizsgálandó folyadékot adott méretű és keresztmetszetű kapillárison áramoltassuk. Adott idő alatt átáramlott folyadék mennyiségéből és az áramlás törvényei segítségével (pl.: Hagen-Poiseuille összefüggés) számolható a viszkozitás.

➤ Esőgolyós viszkoziméterek

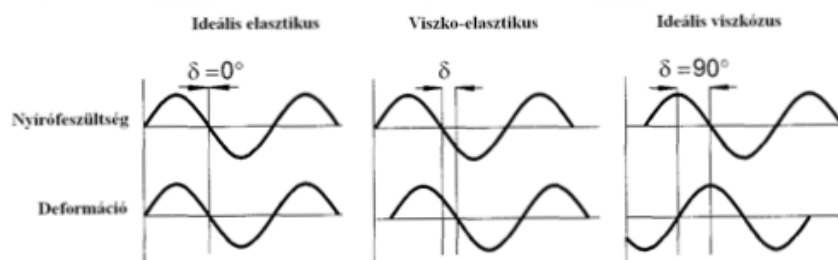
Az esőgolyós viszkoziméterrel ismert sugarú és sűrűségű golyó alakú test folyadékban történő süllyedési sebessége mérhető, majd Stokes-törvény segítségével számolható a viszkozitás. Minél nagyobb a folyadék viszkozitása, annál lassabb lesz a gömb esési sebessége. (FETTER, 2004; LÁSZTITY, 1987)

➤ Rotációs viszkoziméterek és reométerek

A rotációs viszkoziméter abszolút viszkozitások mérésére alkalmas műszer, bizonyos feltételek mellett. Mérés során a vizsgálni kívánt folyadékba forgó testet helyeznek, mely ez által méri az anyag fékezónyomatékát a szögsebesség függvényében. A rotációs reométerrel mért folyadékok esetében közvetlen összefüggéseket kapunk a nyírófeszültség és a nyírósebesség között, mert ezeknél a műszereknél a forgó fej sebessége változtatható.

➤ Oszcillációs reométerek

A mérőtest kialakítása szempontjából megegyezik a rotációs reométerrel, de azok mozgása nem egyenletes sebességgel és nem egy irányba történik. A vizsgálandó mintát két különböző sebességgel mozgó mérőelem közé helyezik, amelyből rendszerint az egyik nem végez mozgást, míg a másik elem meghatározott sebességgel mozog, így idézve elő deformációt az anyagban. A mérőtest tengelye adott amplitúdóval és periódusidővel oszcillációt végez, tehát forgatása adott frekvenciával, sinusfüggvény szerint oszcillálva történik. Az 15. ábrán jól látható, hogy a két fázisszög, ha 0° , akkor Hooke féle rugalmas, míg ha 90° , akkor Newton féle viszkózus anyagokra jellemző. Viszkoelasztikus mintánál e két érték közé esik a fáziskésés, melyet a műszer érzékel. (FETTER, 2004)



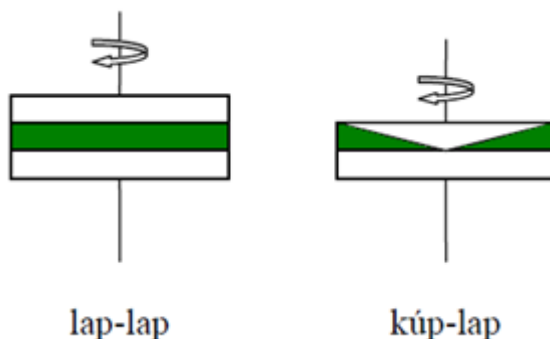
15. ábra Különböző tulajdonságú anyagok viselkedése az oszcillációs nyíróerő hatására
(FIGURA & TEIXEIRA, 2007)

Az ábrán látható fázisváltozás a következő, egyszerű képlettel írható le:

$$\tan \delta = \frac{G''}{G'}$$

Ahol: δ a „fáziskésés”
 G' a rugalmassági modulus [Pa]
 G'' a veszteségi modulus [Pa]

Általában lap-lap vagy kúp-lap mérőfejjel végézik a mérést (16. ábra), amely során a fellépő nyírófeszültségből a feszültség-amplitúdó, a deformáció-amplitúdó, a fáziskésés és a szögsebesség, amelyekből a komplex modulus, a tárolási és a veszteségi modulus is származtatható. (JUHÁSZ et al., 2011). Az oszcillációs méréseket dinamikus mechanikai méréseknek is nevezik.



16. ábra Mérőtest-kombinációk (FETTER, 2004)

A mérés nagyon érzékeny, így kiválóan alkalmas például gélek keménységének, keményítő csirizedésének, vagy akár az üvegesedési hőmérséklettel összefüggő jelenségek vizsgálatára is (STEFFE, 1996).

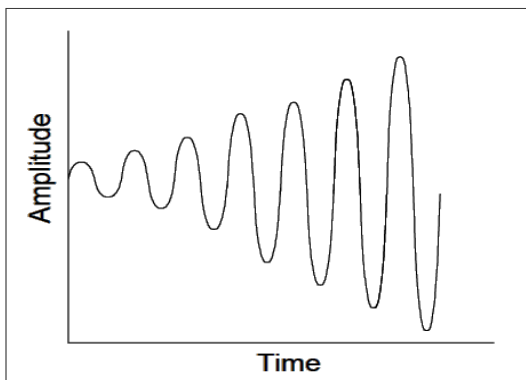
Oszcillációs viszkozimetria

A legtöbb anyagban tehát a rugalmas és viszkózus tulajdonságok együtt vannak jelen. Mindkét viselkedésre egyaránt jellemző, hogy a feszültség és az általa létrehozott deformáció, illetve deformáció sebesség között lineáris kapcsolat van. Az oszcillációs elven alapuló módszerek alkalmasak viszkoelasztikus folyadékok és szilárd anyagok viszkózus és elasztikus tulajdonságainak meghatározására (JUHÁSZ et al., 2010). Nagy előnye a módszernek, hogy jól reprodukálható mérések végezhetők vele. (MEZGER, 2006)

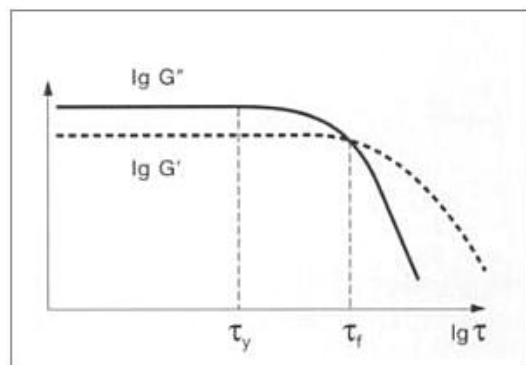
Az oszcillációs technika leggyakrabban alkalmazott módszerei, melyek az élelmiszerek vizsgálatában is különösen fontos szerepet játszanak: az amplitúdó söprés (amplitude sweep), a frekvencia söprés (frequency sweep) és a hőmérsékletfüggés (temperature sweep) vizsgálata.

➤ Amplitúdó söprés

Az amplitúdó söprés lényege, hogy állandó szögsebesség mellett változtatjuk az amplitúdó (kitérés) értékét (17. ábra), így mérve a nyírófeszültséget. Ezzel a módszerrel meghatározhatjuk a vizsgált anyag rugalmassági modulusát (G'), amely elasztikusságot, rugalmasságot és a tárolási modulusát (G''), amely viszkózus tulajdonságát jellemzi. A mérés során megfigyelhetjük, hogyan alakul e paraméterek változása a nyírófeszültség, vagy kitérés függvényében. A 18. ábra egy jellemző görbét ábrázol. Kismértékű deformáció esetén mind a két modulus értéke konstans. Ez a szakasz az ún. lineáris viszkoelasztikus tartomány. Fontos információt a mérés során ennek a szakasznak a végpontja és a G' , G'' görbék metszéspontja adhat (MEZGER, 2006).



17. ábra Amplitúdó söprés módszere (STEFFE, 1996)



18. ábra Amplitúdó söprés módszerének jellemző görbéje (MEZGER, 2006)

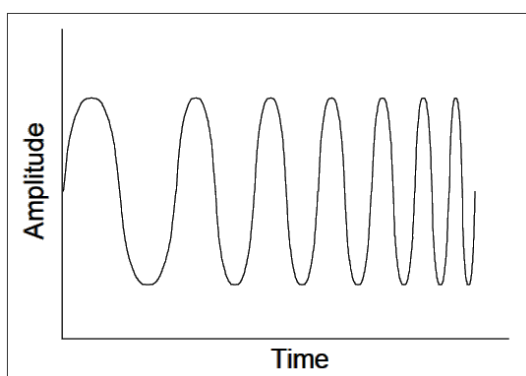
Tehát ha az anyag szilárd, kvázi szilárd akkor a veszteségi és rugalmassági modulus hányadosa 1-nél kisebb érték, míg folyadékok esetében 1-nél nagyobb (GUGGISBERG et al., 2007).

Az amplitúdó söprés módszerét Wildmoser és munkatársai úgynevezett előkísérletként végezték annak érdekében, hogy megállapítsák a fagylaltmintáik lineáris viszkoelasztikus tartományának végét. Erre azért volt szükség, hogy a frekvencia söprés módszerénél felhasznált állandó amplitúdó értéket meghatározhassák, amelynek az állandó viszkoelasztikus tartományba kell esnie. Ugyancsak ezzel a módszerrel határozta meg Ramchandran és Shah is ezt a konstans értéket, majd ennek ismeretében használták a frekvencia söprés módszerét (WILDMOSER et al., 2004; RAMCHANDRAN & SHAH, 2009). Az amplitúdó söprés módszerét alkalmazta Guggisberg és munkatársai is alacsony zsírtartalmú (0,1%) és teljes (3,5%) tejből készült joghurtok vizsgálatára. A termékek cukortartalmát (szacharóz, izomaltulóz) hasonlították össze édesítőszer kombinációjával, azaz Actilight® - stevia (Actilight® rövid szénláncú fructo-oligoszacharidokból álló készítmény) keverékével és azt figyelték, ezek az anyagok befolyásolják-e az így kapott termékek viszkoelasztikus tulajdonságait. A vizsgálatok során arra

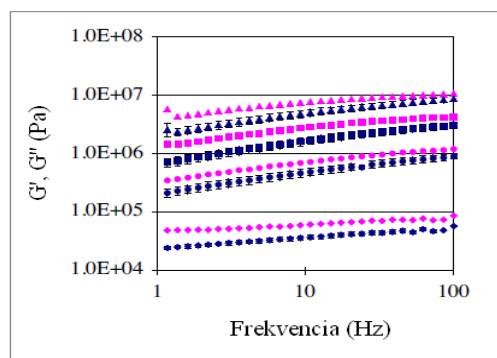
a megállapításra jutottak, hogy egyik édesítőszer sem befolyásolja a joghurtok ezen tulajdonságait (GUGGISBERG et al., 2011).

➤ Frekvenciasöprés

A frekvenciasöprés alkalmazása során a frekvencia értéke változik, miközben a deformáció vagy a nyírófeszültség amplitúdójának értéke konstans (19. ábra). A maximális kitérést az amplitúdó söprés módszerével állapíthatjuk meg, amely értéknek a lineáris viszkoelasztikus tartományba kell esnie (ebben a tartományban a minta nem szenvedhet irreverzibilis változást). Azt vizsgáljuk, hogyan változnak a rugalmassági és a veszteségi modulusok (G' és G'' paraméterek) a változó frekvencia függvényében (MEZGER, 2006). Ezzel a módszerrel a különböző minták időfüggő viselkedése és a szerkezeti stabilitása határozható meg. A módszerre jellemző reogramot a következő, 20. ábra szemlélteti.



19. ábra Frekvencia söprés módszere (STEFFE, 1996)



20. ábra Frekvencia söprés módszerének jellemző görbéje (WILDMOSER et al., 2004)

Az alacsony frekvencián mért értékek a lassú, míg a nagy frekvencia értékek mellett kapott eredmények a gyors feszültségváltozás hatásait mutatja, tehát alkalmazható például élelmiszerek időfüggő tulajdonságainak vizsgálatára. (STEFFE, 1996) A frekvencia söprés hasznos módszer ezen kívül különféle polimerek olvadákonyságának vizsgálatára.

Ezzel a mérési módszerrel leggyakrabban gél szerkezetű anyagok és emulziók stabilitását és viszkoelasztikus tulajdonságainak változását vizsgálják. A kis deformáló erők hatására a minták nem szenvednek irreverzibilis változást, és ezzel a mérési móddal lehet számszerűsíteni azt is, hogy milyenek az élelmiszer érzékszervi tulajdonságai a szájban a rágás előtt. (KEALY, 2006)

Ezt a módszert alkalmazták Adapa és munkatársai (2000) is annak céljából, hogy megállapítsák, milyen hatással van a tejsír és a tejsírt helyettesítő anyagok (szénhidrát vagy fehérjék) a fagyalt mixek és a fagyaltok viszkoelasztikus tulajdonságaira. Arra a megállapításra jutottak, hogy ha megfelelő arányban keverik a tejsírt, a szénhidrátot és a fehérjéket, akkor

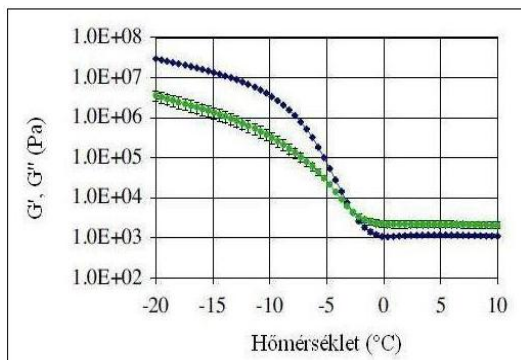
kedvezőbben befolyásolhatja a fagylaltok állományát, mint ha csak az egyik komponens adagolná a tejszírhoz. Valamint, hogy a 12%-os zsírtartalom hozzájárult ahhoz, hogy jobb elasztikus tulajdonságot biztosítsanak a fagylaltoknak (ADAPA et al., 2000). Frekvencia söprés módszerét alkalmazták Quinchia és munkatársai (2011) is pudingok eltarthatósági idejének vizsgálatára (QUINCHIA et al., 2011), illetve a kenhető típusú ömlesztett sajtok viszkoelasztikus tulajdonságait a kémiai összetétel függvényében vizsgálták (DIMITRELI & THOMAREIS, 2008).

➤ Hőmérsékletfüggés vizsgálat

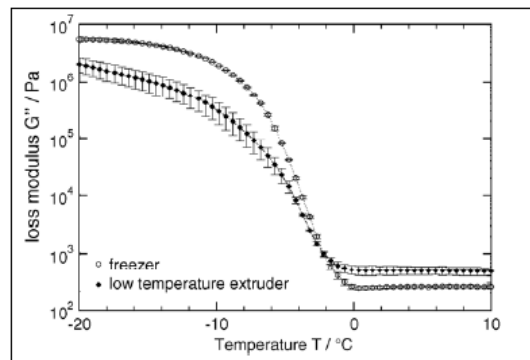
A hőmérsékletfüggés elnevezésű módszer, melyet szakirodalmakban szokás dinamikus-mechanikus termoanalízis tesztként is említeni, a minták hőmérsékletfüggését vizsgálja. A hőmérsékletfüggés mérése élelmiszerek, így fagylaltok minőségének vizsgálatában, a megfelelő technológia kiválasztásában hasznos eredményeket szolgáltat. (WILDMOSER, 2004)

A hőmérsékletfüggés vizsgálata esetén konstans frekvencia és amplitúdó értékek mellett végzünk méréseket, ahol a hőmérséklet a változó paraméter. A gyakorlatban állandó sebességű hőmérsékletváltozás mellett mind a hűtési, mind a fűtési program beállítható, leggyakrabban a hűtés-fűtés sebessége 1K/min. (MEZGER, 2006). A kisebb sebességű hőmérsékletváltozás azért fontos, hogy a hőmérsékletkiegyenlítődés a minta egészén megtörténjen és a reológiai jellemzőket a mérés során a minta valós hőmérsékletének függvényében tudjuk értékelni, a mért értékek a minta tényleges hőmérsékletét mutassák a mérés során.

Az előző mérésekkel szemben itt nem kell az anyagot folyásra kényszeríteni, hanem a minta szilárd halmazállapotában is végezhetünk méréseket. A hőmérsékletfüggés jellemző reogramjait láthatjuk a következő 21. ábrán.



(WILDMOSER et al., 2004)



(EISNER et al., 2005)

21. ábra Hőmérsékletfüggés módszerének jellemző görbéi

A (G') és a (G'') változását szemlélteti a hőmérséklet függvényében a fenti két ábra, ami a mintákban lejátszódó szerkezetbeli változásokra utal. A rugalmassági modulus (G') a vizsgált

anyag elasztikus, míg a veszteségi modulus (G'') a viszkózus tulajdonságára utal itt is. Az anyag viszkoelasztikus tulajdonsága kifejezhető a G' és G'' paraméterek értékével és egymáshoz való viszonyával a $(tg\delta)$ is (MEZGER, 2006). A szilárd és kvázi szilárd (gélszerű) anyagok esetén a veszteségi és a rugalmassági modulus hányadosa, a $tg\delta$ 1-nél kisebb, míg folyadékok esetén 1-nél nagyobb értékű. A két görbe metszéspontjában a minta tehát már teljes mértékben felolvadt. Fagylaltok esetében bizonyos hőmérsékletemelkedés hatására olvadni kezd a minta, így ha a rugalmassági és veszteségi modulus meredeken csökkenni kezd, ez egyfajta oladási határként értelmezhető.

Állománymérés

Az állomány, az íz és a megjelenés olyan érzékelhető elemek, amelyek hatással vannak a fogyasztókra. Míg az íz és a külső megjelenés a minőségellenőrzés hagyományos eleme, az állag a termékek elfogadhatóságának viszonylag új kritériuma. Az állományt többféle módon lehet jellemezni (szájjal, szemmel, tapintással) a termékek tulajdonságainak meghatározására. (SZCZESNIAK, 2002)

Az állomány érzékszervi és műszeres módszerekkel is értékelhető, de az érzékszervi vizsgálatok költségesek és nehezen reprodukálhatóak, míg a műszeres mérések könnyen megismételhetők, kevésbé költségesek és időigényesek.

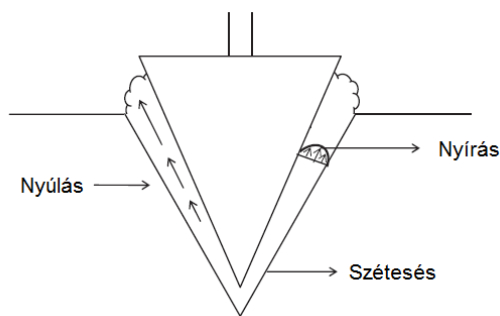
Az állomány karakterisztikájának változását különböző tulajdonságokkal fejezhetjük ki, ezek pl.: keménység, rugalmasság, rághatóság, kenhetőség, törékenység, viszkózusság. (SZCZESNIAK, 2002)

A keménység például nem más, mint az az erő, amely egy meghatározott mértékű deformációhoz szükséges. A tapadósság pedig azzal a munkával arányos mennyiség, amely a minta és a mérőtest felülete közötti attraktív erők legyőzéséhez szükséges (MAGYAR, 2001).

A margarink és a cukrászati krémelek meghatározó állománytulajdonságai a keménység, a kenhetőség és a tapadósság, amely meghatározza a minták minőségét. Már a XX. század elején születtek kísérletek a vaj keménységének és kenhetőségének vizsgálatára vonatkozóan Hunziker és munkatársai az 1900-as évek elején megjelent munkájukban leírták, hogy kialakítottak egy 1 hüvelyk átmérőjű és magasságú próbatestet, majd 300 g súllyal 20 másodpercig nyomták a vizsgált mintát, közben mérve a keménység mértékét. (BOURNE, 2002)

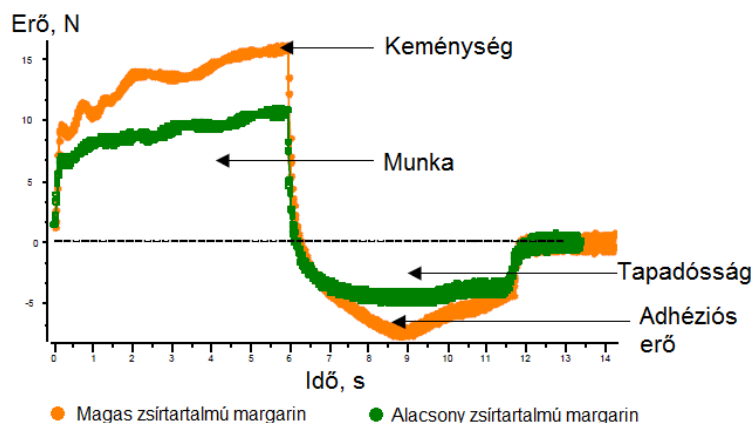
Huebner és Thomsen 141 vajmintát vizsgált meg és szoros korrelációt találtak a keménység és a kenhetőség között, vagyis minél puhább a vaj, annál kenhetőbb. (HUEBNER & THOMSEN, 1957)

Azóta a tudomány és a műszerek fejlődése lehetővé teszi, hogy ezeket a jellemzőket számszerűsítsük, pontos minőség meghatározásra is alkalmasak. Az egyik meghatározó mérési módszer a penetrációs mérés, amely során az anyagban fellép a nyúlási erő, a nyírési erő és a szerkezet megtörik. Emiatt a nagy alakváltozás miatt a zsírkristályok mikroszerkezetét ezzel a módszerrel nem tudjuk vizsgálni, viszont az érzékszervi vizsgálatok eredményével jól korrelálnak az kapott adatok. (ROGERS et al., 2008) A kenhetőségi vizsgálatokat különböző átmérőjű hengerekkel, vagy különböző nyílásszögű kúppal végezhetik. (SAHIN&SUMNU, 2006) A penetrációs mérést illusztrálja a 22. ábra. A mérés során, ahogy a kúp behatol a mérendő mintába, az anyag először kissé deformálódik, majd ahogy a kúp mélyebbre hatol egyre több anyagot présel ki, és fellép a nyírás és nyúlás jelensége is.



22. ábra A penetrációs mérés szemléltetése (Forrás: SAHINC&SUMNU, 2006)

A penetráció mélységétől függ a minta tömörödése, a nyírás és az esetleges törés mértéke. Ezekből az „összetevőkből” meghatározható a minta keménysége és kenhetősége. A 23. ábrán látható penetrációs görbe egy ilyen mérés eredménye. A görbék közül nemcsak a minták keménységére lehet következtetni, hanem a kúp visszahúzásánál fellépő adhéziós erőből és munkából a minták tapadósága is mérhető.



23. ábra Különböző margarinok penetrációs görbéje (Forrás: www.brookfieldengineering.com)

A margarinok állományát és mechanikai tulajdonságait a zsírok kristályszerkezete nagymértékben befolyásolja. A margaringyártás során fontos hogy milyen mértékű a lehűtés, illetve az az utáni tárolás. ekkor alakul ki a margarin textúráját meghatározó zsírkristály hálózat. Ezen kívül főleg a magas víztartalmú margarinoknál fontos a vízcseppek mérete és eloszlása is. Ezek együttesen határozzák meg a margarinok keménységét és kenhetőségét. Ezek mérése történhet penetrációs mérési móddal, és nyomon követhető ezáltal a margarinok utókristályosodása. Azonban nem mindegy, hogy milyen penetrációs feltétellel mérjük a mintákat. Hengeres feltétellel más eredményt kaphatunk, mint kúp feltétellel, ugyanis ha a mérőfej és a minta hőmérséklete különböző, mivel a kúp felülete nagyobb, ezért, a kúp felmelegítheti azt, és így kisebb keménységi értékeket kapunk. (POTHIRAJ et al., 2012)

2.6. Érzékszervi vizsgálat

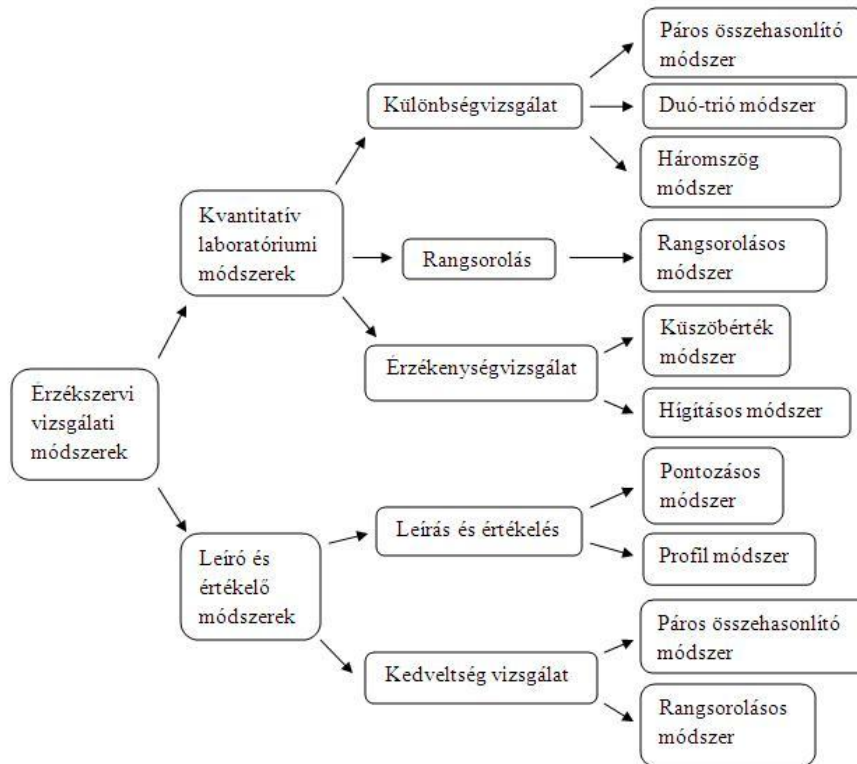
Az érzékszervi vizsgálati módszerekkel hasonló információkat kaphatunk egy vizsgált élelmiszerről, mint a mérőműszerrel kapott adatok. Azonban különleges követelményeket állítanak mind a vizsgálati körülményekkel, mind a vizsgáló személlyel szemben, hiszen az így kapott eredmények nagyban függenek a vizsgáló személy szubjektív véleményétől, az érzékszervi teljesítőképességétől és a rendelkezésre álló módszerektől.

Az emulziók állománya meghatározza érzékszervi tulajdonságait is, amelyet a fogyasztó is érzékel. A cseppek mérete és eloszlása nemcsak a stabilitást határozza meg ezeknél a típusú termékeknél, hanem a szájban keltett érzetet is. (McCLEMENTS, 2002) Az apró kristályokat (pl. jégkristályok, laktóz kristályok) tartalmazó rendszerek, mint például a fagyalt, tulajdonságait a benne található szilárd részecskék alakja és olvadási sebessége határozza meg. A fagyaltok, jégkrémek állománya akkor megfelelő, ha a jégkristályok mérete nem haladja meg az 50 μ m-t, ugyanis ha túl nagyok a jégkristályok, akkor a fagyalt túl kemény durva, inhomogén szerkezetű lesz. A laktóz kristályok mérete nem lehet nagyobb mint 15 μ m, mivel ezek a részecskék ebben a rendszerben nehezen oldódnak és a fagyalt homokos állományú lesz. (CLARKE, 2004; HARTEL, 2008)

A fagyasztott majd felengedett termékek vizsgálatánál célunk, hogy a friss termék minőségéhez hasonló terméket kapjunk, ezért olyan vizsgálati módszert kell választanunk, amellyel össze tudjuk hasonlítani a friss és a fagyasztva tárolt mintákat.

Az érzékszervi vizsgálati módszerek között alapvetően két módszercsoportot különíthetünk el. Az első a kvantitatív laboratóriumi módszerek, amelyekkel általában egyes érzékszervi tulajdonságokat vizsgálunk kvalitatív jelleggel. A második pedig a leíró és értékelő módszerek, ahol külön-külön és összhatásukban is vizsgálhatóak az egyes érzékszervi tulajdonságok, illetve

tulajdonságcsoporthok, mint például az illat, íz, külső megjelenés, stb. E két módszer csoportosítását a következő, 24. ábra szemlélteti (MOLNÁR, 1991).



24. ábra Érzékszervi vizsgálati módszerek csoportosítása (forrás: saját)

Buriti és munkatársai (2010) prebiotikus guava habokat készítettek, fagyasztva tárolták, és az volt a céljuk, hogy többek között érzékszervi bírálatokkal meghatározzák, hogy a fagyasztva tárolás hatással van-e a termékre. Vizsgálatukhoz leíró jellegű pontozási módszert alkalmaztak. Megállapították, hogy a fagyasztva tárolás befolyásolja a termék szerkezetét, de az érzékszervi tulajdonságokat jelentősen nem rontja (BURITI et al., 2010).

A fagyaltok és a cukrászati krémek esetében a legfontosabb, hogy a fogyasztó szemszögéből is értékeljük a termékeket, amelyre például a leíró jellegű pontozási bírálati módszer alkalmas. (MANISHA, et al., 2012)

3. Célkitűzés

Munkám során cukrászati krémeket és fagylaltokat vizsgáltam, és arra kerestem a választ, hogyan hat a krémekek esetén a fagyasztás és fagyasztva tárolás, illetve a fagylaltoknál a hozzáadott savanyú savókoncentrátum a termofizikai tulajdonságokra és az állományra.

Célkitűzéseim ezek alapján a következők:

Cukrászati krémekek esetében

- meghatározni, hogy van-e különbség a fagyasztási módok és a fagyasztva tárolás időtartamában, különös tekintettel a termofizikai és szerkezetbeli változások feltérképezésével, valamint, hogy ezek a különbségek milyen módszerekkel mutathatók ki,
- meghatározni, hogy a termofizikai és állományvizsgálati fizikai mérési módszerek alkalmasak-e a cukrászati krémekek fagyasztás hatására bekövetkező stabilitás változásának kimutatására,
- és meghatározni a megfelelő fagyasztási technikát és a maximális fagyasztva tárolási időtartamot.

Fagylaltok esetében

- a savanyú savókoncentrátum befolyásolja-e a fagylaltok szerkezetét és fizikai tulajdonságait,
- meghatározni, hogy a termofizikai és állományvizsgálati mérési módszerek alkalmasak a bekövetkező változások kimutatására, és a fagylaltok fizikai tulajdonságainak, szerkezetbeli változásainak feltérképezésére,
- és meghatározni a maximálisan felhasználható savanyú savókoncentrátum mennyiségét, amely érzékszervi és technológiai szempontból megfelelő.

4. Anyag és módszer

4.1. A kísérleti munka során felhasznált emulziók

Munkám során többféle emulziótípust, és azok stabilitását vizsgáltam reológiai és termofizikai szempontból. A különböző emulziókhoz különböző modell élelmiszereket alkalmaztam. Ezek a következők:

- margarinkok: víz az olajban típusú emulziók, melyben az olaj fázis dermedéspont alá hűtésével alakul ki a „kváziszilárd” szerkezet
- kihabosított margarin: víz az olajban emulzió, melyben a levegő diszpergált állapotban van
- cukrászati krémek: olaj a vízben típusú emulzió, melyben a levegőbuborékok diszpergált állapotban vannak, a vízfázist gélle alakított keményítő rész tartja az emulzióban
- fagylaltok: speciális fagyott állapotú olaj a vízben típusú emulzió, amely három különböző halmazállapotú fázis finom elegye. A szilárd fázis a jégkristály szerkezet, a folyadék fázis a ki nem fagyasztott víztartalom, mely az oldott anyagokat tartalmazza, a gáz fázis az apró légbuborékok, amelyek a fagylaltot habossá teszik.

4.1.1. Margarinok

2009-ben norvégiai tanulmányutam során egy olyan kutatócsoporthoz csatlakoztam, ahol különböző kereskedelmi forgalomban kapható csészés és krémekhez ajánlott margarintípusok fizikai tulajdonságait és a minták közötti különbségeket vizsgáltuk. Ezért mértem ezeket a margarinkokat (2. táblázat) többféle oszcillációs módban. A margarinkok és az összetételük a 2. táblázatban található, zsírtartalmuk összetételét az M2 mellékletben szerepeltetem. Az első három margarin csészés, a többi 5 pedig krémek készítéséhez ajánlott. Ezen minták mérésével és bemutatásával a célom, hogy felmérjem az adott mérési módszer alkalmas-e a minták közötti különbségek, illetve a stabilitásban bekövetkező változások kimutatására.

2. táblázat Margarinok és jellemzőik

Margarin neve	típusa	zsír%	víz%	fehérje%	szénhidrát%
Vita hjertego	napraforgó olajat tartalmaz	70	~30	0,5>	0,5>
Soft oliven	olivaolajat tartalmaz	40	~60	0,5>	0,5
Brelett omega 3	halolajat tartalmaz	27	63	7	3
Melange	31% szója olajat tartalmaz	80	~20	<0,5	<0,5
Soft Flora	36% szója olajat tartalmaz	80	~20	<0,5	<0,5
Soft Light	28% szója olajat tartalmaz	40	~60	<0,5	<0,5
Brelett Lettmargarin	tejet tartalmaz	40	51	7	2
Bremykt	a zsíradéktartalom 70% vajjal és 30% repce olajjal	82	16	1	1

4.1.2. Kihabosított margarin

További vizsgálataimhoz Meistercreme extra típusú speciális cukrászati célmargarint használtam fel. Ez a margarintípus alkalmas megfelelő cukrászati krém kialakítására és fagyasztásra, fagyasztva tárolásra. Összetétele a következő: növényi olajok és zsírok (80%-ban), víz, soványtej (5,5%), emulgeálószer (mono és digliceridek zsírsavészterei), savanyúságot szabályozó anyag: tejsav, tartósítószer: kálium-szorbát, só, aromák, színezék: béta-karotin. Zsirtartalmának pontos összetételéről nincs információ, viszont mivel speciális margarin, az irodalomban található információ az ilyen típusú termékek zsírsavösszetételéről, amelyet az M2 mellékletben szerepeltetek.

A margarint konyhai robotgéppel habosítottam ki, így könnyítve állományán, hogy oszcillációs mérésre alkalmas legyen. Az általam használt viszkoziméterrel (Physica MCR51) 12°C alatt ezt a margarint nem tudtam mérni, az értékek méréshatáron kívül estek, túl kemény volt a minta.

4.1.3. Cukrászati krémek

Vizsgálataim során 5 féle norvég (Melange, Soft Flora, Soft Light, Brelett Lettmargarin, Bremykt) krémnek ajánlott margarinnal és a Meistercreme extra típusú margarinnal készítettem pudingporral (P) / natív kukorica keményítővel (K) cukrászati krémeket, a következő a gyakran használt receptúra szerint: 1 l tej (1,5% zsirtartalmú), 0,14 kg Dr Oetker vaníliás pudingpor vagy natív kukoricakeményítő, 0,3 kg cukor, 1,4 kg margarin. (FÖLDES & RAVASZ, 1998)

A norvég margarinok közül azért csak a fenti 5 féle margarinnal készítettem krémeket, mert a csészés margarinokból nem lehetett megfelelő terméket előállítani. A kukorica keményítőt azért választottam, mert jó gélképző és jó víztartó képességgel rendelkezik, alkalmas cukrászati krémek készítéséhez, megfelelő stabil emulzióképzéshez. A pudingport azért választottam, mert a cukrászipar ezt használja krémkészítéshez, ezért fontos tudni, hogy hogyan viselkedik cukrászati krémekben, illetve hogy viseli a fagyasztást és fagyasztva tárolást. Összetétele szerint kukoricakeményítő, színezék és aroma, de mivel előcsirézített kukorica keményítőt is tartalmaz ismeretlen mennyiségben, amely a gyorsabb gélképződést segíti elő, így ismernünk kell, hogy a fagyasztás hatására milyen viselkedést mutat.

Hagyományos úton készítettem a krémeket, vagyis a tejet a cukorral felforraltam, majd a pudingporral illetve a kukoricakeményítővel készre főztem, lehűtés után az adott mennyiségű margarinnal habosítottam egyforma térfogatra. A minták jelölése a dolgozat további részében a következő: a pudingporral készült krémek esetében a margarin neve és P (pl. Melange P), a kukoricakeményítővel készült krémeké pedig a margarin neve és K (pl. Melange K)

A különböző margarinkból készült cukrászati krémeket reométerrel mértem, hőmérsékletsőprés módszerével, hogy megvizsgáljam, melyek azok a minták, amik jól fagyaszthatóak. A további kísérleteket csak a Meistercreme típusú margarinnal és az abból készült krémekkel készítettem, mert ezek a krémegek túrték legjobban a fagyasztást, illetve speciális margarin lévén ebből készült a legjobb minőségű krém, és az ipar is ilyen típusú margarinokat használ.

Cukrászati krémegek fagyasztása

Két cukrászati krémtípust (az egyik kukorica keményítővel a másik pudingporral készült, Meistercreme extra margarinnal habosítva) három fagyasztási móddal fagyasztottam és fagyasztva tároltam 6 hónapig, -24°C -on. A tárolás alatti változásokat DSC (differenciális pásztázó kaloriméter) és SMS (Stable Micro System állománymérő) készülékkel, valamint oszcillációs reométerrel követtem nyomon. A mintákat fagyasztás előtt, majd a tárolás alatt havonta vizsgáltam.

A cukrászati krémegek egy részét a műszeres vizsgálatokra készítettem elő, míg másik részüket az érzékszervi vizsgálatokra réteges süteménynek elkészítve tároltam. Ezt a süteményt, valamint a műszeres vizsgálatokra szánt mintákat 3 féle módszerrel fagyasztottam le.

Lassú fagyasztás során háztartási fagyasztószekrényt alkalmaztam, a fagyasztó -24°C -os hőmérsékletű volt.

Áramló levegőben történő fagyasztás során a 25. ábrán látható Nortech QCF 103 típusú sokkoló fagyasztót használtam, -35°C -on fagyasztottam a mintákat csomagolás nélkül $2\text{--}3\text{m/s}$ légsebesség mellett.

Kriogén fagyasztás során a 26. ábrán látható CES-BFLIN/LCO²-140L-S típusú kriogén fagyasztószekrényt alkalmaztam. A fagyasztáshoz folyékony nitrogént használtam, és a fagyasztót -60°C -on működtettem.

A 3 féle fagyasztás után LDPE polietilén tasakokba csomagoltam a mintákat és -24°C -on fagyasztva tároltam a mintákat 6 hónapig, havonta mintát véve belőlük.



25. ábra Sokkoló fagyasztószekrény



26. ábra Kriogén fagyasztószekrény

4.1.4. Fagylalt

Munkám során hidegen készített tejes fagylaltok reológiai és termofizikai tulajdonságait is vizsgáltam, melyeknél az alap receptúrában található tej mennyiségét különböző mennyiségben savanyú savó koncentrátumával helyettesítettem. A savanyú savó koncentrátumot a Magyar Tejgazdasági Kísérleti Intézet Kft biztosított számomra. A savanyú savó koncentrátum paraméterei a 3. táblázatban szerepelnek.

3. táblázat A savanyú savó koncentrátum paraméterei

savanyú savó koncentrátum összetevői	Összetevők mennyisége (g/100g)
Összes szárazanyag-tartalom (g/100g)	25,07
Fehérje (g/100g)	0,90
Szénhidrát (g/100g)	21,50
ebből tejcukor (g/100g)	11,50
Ásványi anyag (g/100g)	2,65
Tejsav (g/100g)	1,53

A tejes fagylaltok elkészítéséhez szükséges recepteket az 4. táblázat tartalmazza. A táblázatban megnevezett minták számjelzése azt jelenti, hogy hány százalékban helyettesítettem az adott minta eredeti tejtartalmát savanyú savó koncentrátummal. Ezeket a jelzéseket használtam a dolgozatom során.

4. táblázat Tejes fagylaltok receptúrái

Tejes fagylalt	Savanyú savó koncentrátum aránya az eredeti tejtartalom függvényében					
	F0 [kg]	F20 [kg]	F40 [kg]	F60 [kg]	F80 [kg]	F100 [kg]
Savanyú savó koncentrátum	0	0,132	0,264	0,396	0,528	0,66
Tej	0,66	0,548	0,43	0,318	0,207	0,092
Tejszín	0,14	0,15	0,161	0,171	0,182	0,192
Emulgeálószer (MEC+3)	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
Ízesítő paszta (vanília)	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Cukor	0,15	0,12	0,095	0,065	0,033	0,006

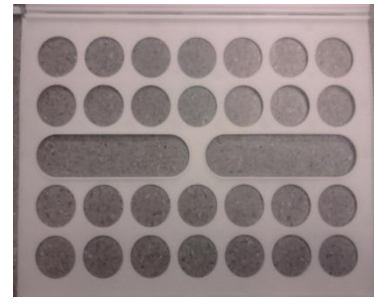
A fenti receptúrák alapján az összetevőket konyhai robotgép segítségével homogenizáltam, majd pihentettem 1 órát. A fagyasztást a 27. ábrán látható Andretti CRM Gel5 típusú fagylaltgépben végeztem. Ezután az elkészült fagylaltokat Nortech QCF 103 típusú sokkoló fagyasztóban (28. ábra) keményítettem -30°C-on. Az oszcillációs viszkoziméteres méréshez meghatározott küllemű mintára volt szükség. Ehhez 50 mm átmérőjű, 2 mm vastag sablont használtam (29. ábra), ami pontosan megegyezik a viszkoziméter PP50/S 50 mm átmérőjű mérőfejének méretével, mely alá fóliát terítettem, majd a mintákat a sablonra kentem és sokkoló fagyasztó segítségével fagyasztottam készre.



27. ábra Fagylaltgép



28. ábra Sokkoló fagyasztó



29. ábra Minta előkészítő sablon

A margarínokat, a habosított margarint, a cukrászati krémeket és a fagylaltokat DSC készülékkel és oszcillációs reométerrel több módszerrel vizsgáltam, amelyek részletes leírását a következő 4.2. fejezetben mutatom be.

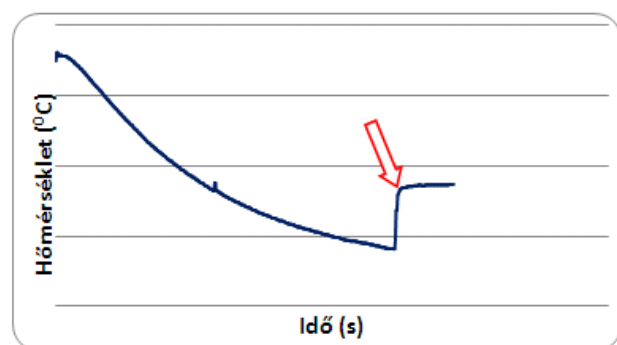
4.2. A kísérleti munka során használt műszerek, módszerek

4.2.1. Szárazanyagtartalom mérése

A fagylalt és cukrászati krém minták szárazanyag-tartalmának meghatározását Kern MSL típusú gyors nedvesség-meghatározó mérőműszer segítségével végeztem.

4.2.2. Krioszkópos hőmérséklet meghatározása

A fagylaltminták krioszkópos hőmérsékletének megállapításához egy -15°C -os hűtőközegű kriosztátot (hűthető termosztát) és egy Testo 452 adatgyűjtőhöz csatlakoztatható termoelemet (30. ábra), valamint az adatgyűjtő szoftverét használtam. A mérés során a hőmérsékletváltozást az idő függvényében mértem. Minden mintánál 3-3 párhuzamos mérést végeztem.

30. ábra Kriosztát és a Testo 452 mérőkör
(forrás: saját fotó)

31. ábra Fagylaltok tipikus fagyási görbéje

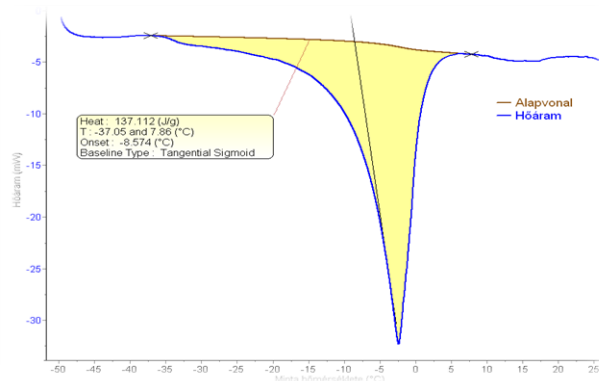
A mérés alatt a fagylaltkeverék a nyugvó rendszerben túlhűl a fagyáspontján és még folyékony állapotban van, majd kb. -10°C -on megjelennek a jégkristálygócok, beindul a fagyás folyamata, és a rendszer hőmérséklete visszaemelkedik a fagyás jellemző hőmérsékletére, ez a krioszkópos hőmérséklet. (31. ábra, piros nyíl). Abban a tartományban, ahol a görbe majdnem vízszintessé válik, megkezdődik a jégkristály-képződés szakasza, vagyis a fagyás.

4.2.3. Hőfizikai tulajdonságok meghatározása

Méréseim során a különböző tejes fagylalt minták, illetve a fagyasztva tárolt cukrászati krém minták (az egyik kukorica keményítővel a másik pudíngporral készült, Meister Creme margarinnal habosítva) intenzív olvadásának kezdeti hőmérsékletét, üvegesedési hőmérsékletét és a ki nem fagyasztható víztartalmát Setaram DSC 131 evo típusú műszer (továbbiakban DSC) segítségével határoztam meg (32. ábra). Minden minta esetén 3-3 párhuzamos mérést végeztem.



32. ábra Setaram DSC evo 131 típusú kaloriméter (www.setaram.com)



33. ábra Tipikus hőáram görbe

A referencia és a mérendő minta a DSC készülék mérőcellájába lévő platina lemezre kerül közös térben. A referencia cella egy üres, lezárt tartó, míg az mintacellába kismennyiségű (néhány mg) minta kerül. Mérés során a 100 μ l-es mintatartókba 30-40 mg mintát mértem mind a fagylaltokból mind a cukrászati krémekből.

Vizsgálataim során a minták hőmérsékletét $+30^{\circ}\text{C}$ -ról -50°C -ra csökkentettem $5^{\circ}\text{C}/\text{perc}$ sebességgel, majd 15 percig -50°C -on tartás után a felfűtési szakasz következett. Ekkor a fagylalt mintákat -50°C -ról $+30^{\circ}\text{C}$ -ra $2^{\circ}\text{C}/\text{perc}$ felfűtési sebességgel melegítette a műszer, míg a cukrászati krém mintákat -50°C -ról $+50^{\circ}\text{C}$ -ra melegítette fel szintén $2^{\circ}\text{C}/\text{perc}$ felfűtési sebességgel. A mérés során a minta hőmérsékletének függvényében rögzítettem a hőáram változás adatait.

A kiértékelést a felfűtési szakaszban a hőmérséklet függvényében mért hőáram görbéken végeztem Callisto Processing 1.076 verziójú programmal. A kiértékelés során a felfűtési szakaszt vizsgáltam. „Tangenciális sigmoid” típusú alapvonal görbére való illesztése után meghatároztam a görbe alatti területet, mely a minta felolvasáshoz szükséges hőmennyiséget adja meg J/g-ban (ΔH_{minta}). Az olvadáspont meghatározását a program automatikusan elvégzi úgy, hogy az intenzív olvadási szakaszra egyenest illeszt, az illesztett egyenes és az alapvonal metszéspontja a minta olvadás / fagyáspontja. Összetett élelmiszereknél ez az intenzív olvadás kezdeti hőmérséklete (T_{onset}). A 33. ábra egy kiértékelt hőáramgörbét ábrázol.

Ki nem fagyasztható víztartalom kiszámítása

Az élelmiszerekben a víz szabad és kötött formában van jelen, míg a szabad vizet ki tudjuk fagyasztani, addig a kötött vizet nem. Ez a kötött víztartalom tehát az élelmiszerekből ki nem fagyasztható víztartalom, amelyet DSC módszerével meg tudunk határozni. A minták görbe alatti területéből illetve a víz olvadáshőjéből számolható. Az első számítási módszernél ATKAS és munkatársai (1997) által leírt képlet alapján a szárazanyag-tartalomra vonatkoztatva adtam meg, melynek számítási módja a következő:

$$UFW = \frac{W - (\Delta H_{\text{minta}} / \Delta H_{\text{víz}})}{DM} \quad (\text{ATKAS et al., 1997})$$

Ahol:	UFW	ki nem fagyasztható víztartalom (g/g _{szárazanyag})
	W	víztartalom (g/100g)
	ΔH_{minta}	a minta olvadáshője, entalpiakülönbség (kJ/kg)
	$\Delta H_{\text{víz}}$	a víz olvadáshője: 330kJ/kg
	DM	szárazanyag-tartalom (g/100g)

A másik számítási módszernél a teljes víztartalomra adtam meg az értéket százalékban kifejezve, melynek számítási módja a következő:

$$UFW\% = 100 - \left[\frac{\Delta H_{\text{minta}}}{(\Delta H_{\text{víz}} \cdot (W / 100))} \cdot 100 \right]$$

Ahol:	UFW%	ki nem fagyasztható víztartalom (% az összes víztartalomra vonatkoztatva)
	W	víztartalom (%)
	ΔH_{minta}	a minta olvadáshője (kJ/kg)
	$\Delta H_{\text{víz}}$	víz olvadáshője: 330kJ/kg

A DSC görbék segítségével megállapítható, hogy adott hőmérsékleten mennyi a kifagyasztható víztartalom pillanatnyi víz-jég fázis aránya. Ezért meghatároztam, hogy hogyan alakul a vízjég arány fagyaltok esetében a -18°C-os tárolási és a -10°C-os fogyasztási hőmérsékleten.

4.2.4. Reológiai vizsgálatok

Oszcillációs reometriával a margarinok, cukrászati krémek és fagylaltok reológiai jellemzőit mértem. A sokféle mérési mód és minta miatt a következő 5. táblázatban összefoglalom a margarinok és cukrászati krémek mérési módjait.

5. táblázat Margarin és cukrászati krém minták reométeres mérési módjai

Minta	Amplitúdó söprés	Hőmérséklet söprés
Vita hjertego	4°C-on	20°C⇔-18°C⇔20°C
Soft oliven	4°C-on	20°C⇔-18°C⇔20°C
Bretelett omega 3	4°C-on	20°C⇔-18°C⇔20°C
Melange	-	20°C⇔-18°C⇔20°C
Soft Flora	-	20°C⇔-18°C⇔20°C
Soft Light	-	20°C⇔-18°C⇔20°C
Brelett Lettmargarin	-	20°C⇔-18°C⇔20°C
Bremykt	-	20°C⇔-18°C⇔20°C
Meister Creme	12°C, 14°C, 16°C, 18°C, 20°C	-
Melange P		20°C⇔-18°C⇔20°C
Melange K		20°C⇔-18°C⇔20°C
Soft Flora P		20°C⇔-18°C⇔20°C
Soft Flora K		20°C⇔-18°C⇔20°C
Soft Light P		20°C⇔-18°C⇔20°C
Soft Light K		20°C⇔-18°C⇔20°C
Brelett Lettmargarin P		20°C⇔-18°C⇔20°C
Brelett Lettmargarin K		20°C⇔-18°C⇔20°C
Bremykt P		20°C⇔-18°C⇔20°C
Bremykt K		20°C⇔-18°C⇔20°C
Meister Creme P	4°C, 6°C, 8°C, 10°C, 12°C, 14°C, 16°C, 18°C, 20°C	20°C⇔-18°C⇔20°C
Meister Creme K	4°C, 6°C, 8°C, 10°C, 12°C, 14°C, 16°C, 18°C, 20°C	20°C⇔-18°C⇔20°C

Margarinok és cukrászati krémek reométeres vizsgálata

A Norvégiában mért margarinok közül a napraforgó olajat tartalmazó margarint (Vita hjertego), az olivaolajat tartalmazó margarint (Soft oliven) és a halolajat tartalmazó margarint (Bretelett omega 3) oszcillációs módban amplitúdó söprés módszerével, míg a Melange, Soft Flora, Soft Light, Brelett Lettmargarin, Bremykt margarinokat hőmérsékletsöprés módszerével mértem. A méréseket a Physica UDS 200 (Paar Physica) típusú viszkoziméterrel végeztem (34. ábra). A mérések kiértékelése a hozzá tartozó US200/32 (version 2.50) szoftverrel történt.

Az oszcillációs mérések közül az amplitúdó söprés módszerével mértem a 3 féle margarint (Vita hjertego, Soft oliven, Bretelett omega 3) lap-lap mérőrendszerrel, 4°C-on, MP 31/P típusú, 50 mm átmérőjű érdes (homokfúvott) felületű lappal. A mérőcella típusa TEK 180 lap, a lap-lap közötti távolság 1,00 mm. A körfrekvencia értéke állandó 10 1/s; és a kitérést a két lap közötti távolság mértékének 0,01% és 200% között változtattam. A mérés során a rugalmassági (G' , Pa)

és veszteségi modulus (G'' , Pa) értékét, valamint a komplex viszkozitást (η^* , Pa.s) vizsgáltam. Ezekből az értékekből a kezdeti rugalmassági (G'_0) és veszteségi modulus (G''_0) értékét, lineáris viszkoelasztikus tartomány vége (γ_{LVE} , τ_{LVE}), a rugalmassági és veszteségi modulus görbék metszéspontjában a nyírófeszültség (τ_M) és komplex viszkozitás (η_M^*) értékek határozhattam meg.

Az oszcillációs mérések közül hőmérséklet söprés módszerével mind a 8 féle norvég margarint (Vita hjertego, Soft oliven, Bretelett omega 3, Melange, Soft Flora, Soft Light, Brelett Lettmargarin, Bremykt) és az 5 féle norvég margarinból illetve a Meister Creme margarinból kukoricakeményítővel és pudingporral készült cukrászati krémekeket mértem kúp-lap mérőrendszerrel, MK 22 típusú kúp mérőfejjel (1°), ami 50 mm átmérőjű és sima felületű. A mérő cella típusa TEK 150P, sima felületű lap, a hőmérséklet-szabályozás Peltier-elemmel történt. A kúp-lap közötti távolság 0,05 mm volt. A mérés során a kitérés konstans 0,1 % volt, a körfrekvencia szintén konstans 10 1/s.

A méréssel a fagyasztás és felengedetés közben történő állományváltozásokat lehet felderíteni. A hőmérsékletprogram 3 fázisból állt. Az első fázisban 20°C -ról -18°C -ra történt a lehűtés $4^\circ\text{C}/\text{perces}$ lehűtési sebességgel, a második fázisban -18°C -on 10 percig tartottam, majd a harmadik fázisban -18°C -ról 20°C -ra melegítettem $4^\circ\text{C}/\text{perces}$ felfűtési sebességgel. A mérés során a rugalmassági (G' , Pa) és veszteségi modulus (G'' , Pa), értékét, valamint a komplex viszkozitást (η^* , Pa.s) mértem a hőmérséklet függvényében. Ezekből az értékekből a következő paraméterek határozhatóak meg: kezdeti (G'_K , G''_K) és végső (G'_V , G''_V) rugalmassági és veszteségi modulus értékek, végső és kezdeti rugalmassági és veszteségi modulus értékek hányadosa (G'_V/G'_K).



34. ábra Physica UDS 200 típusú viszkoziméter (Forrás: saját fotó)



35. ábra Physica MCR51 típusú viszkoziméter (Forrás: saját fotó)

MCR51 típusú Physica viszkoziméterrel mértem (35. ábra) a Meister Creme kihabosított margarint 12°C, 14°C, 16°C, 18°C és 20°C-on. 12°C alatt ezt a kihabosított margarint nem tudtam mérni, a minta keménysége miatt az értékek a műszer méréshatárán kívül estek. Ezzel a viszkoziméterrel mértem a Meister Creme típusú margarinból készült kétféle cukrászati krémet (Meister Creme P és Meister Creme K) a következő hőmérsékleteken: 4°C, 6°C, 8°C, 10°C, 12°C, 14°C, 16°C, 18°C, 20°C.

A vizsgált cukrászati krémekeket fagyasztva tároltam 6 hónapig. A fagyasztva tárolt mintákból havonta végeztem vizsgálatot. A mintákat felengedtettem és 10°C-on, illetve a 6 hónapos tárolás végén 4°C, 10°C és 20°C-on mértem a reológiai jellemzőiket. Az adatok kiértékelése Rheoplus szoftverrel történt. A hőmérsékletet PT100 típusú feltét szabályozta. Az oszcillációs méréseket amplitúdó söprés módszerével végeztem lap-lap mérőrendszerrel PP50/S típusú, 50 mm átmérőjű homokfűvott (érdes) felületű lappal. A mérő cella típusa PTD200, sima felületű lap, a két lap közötti távolság 1 mm volt. Az amplitúdót a két lap közötti távolság mértékének 0,01 és 200%-a között változtattam, konstans körfrekvencia (10 1/s) és hőmérséklet mellett. A mérés során a növekvő nyírófeszültség függvényében a rugalmassági modulust (G') és a veszteségi modulust (G'') határoztam meg. Ezekből az értékekből meghatározhatók voltak a kezdeti rugalmassági (G'_0) és veszteségi modulus (G''_0) értéke, lineáris viszkoelasztikus tartomány vége (γ_{LVE} , τ_{LVE}), a rugalmassági és veszteségi modulus görbék metszéspontjában a nyírófeszültség (τ_M) és komplex viszkozitás (η_M^*) értékek és a G'_M értéke, valamint a rugalmassági (S_1) és veszteségi (S_2) modulus görbék metszéspont utáni szakaszára illesztett érintők meredeksége (S_1 , S_2).

Fagylaltok reométeres mérése

A fagylaltok oszcillációs viszkoziméteres jellemzőit Physica MCR51 típusú viszkoziméterrel mértem (26. ábra). A hőmérsékletet PT100 típusú feltét szabályozta. Az oszcillációs méréseket lap-lap mérőrendszerrel PP50/S típusú, 50 mm átmérőjű homokfűvott (érdes) felületű lappal végeztem, a mérő cella típusa PTD200, sima felületű lap volt, a két lap közötti távolságot 2 mm-re állítottam. 4 mérési móddal mértem a mintákat.

A nyomaték teszt elvégzése azért volt szükséges, mert ezzel a módszerrel állapítottam meg, hogy melyik az a hőmérséklet, amelyen elvégezhetem az oszcillációs viszkozimetriás méréseket. Ezt a módszert állandó körfrekvencia (10 1/s) és állandó nyomaték (250 μ Nm) értékek mellett változó hőmérsékleten alkalmaztam, amely először -15°C-ról 0°C-ra melegítette a mintákat, majd onnan visszahűtötte a kiindulási hőmérsékletre (-15°C) azokat. A visszahűtés

során ahol a szögelfordulás értékek állandósultak, abból a hőmérséklettartományból választott hőmérsékleti értéken történt a fagyaltok oszcillációs mérése a továbbiakban.

Az amplitúdó sörpés módszere során az amplitúdót a két lap közötti távolság mértékének 0,001 és 40%-a között változtattam, konstans 10 1/s körfrekvencia és konstans -10°C hőmérséklet mellett. A mérés során a növekvő nyírófeszültség függvényében a rugalmassági modulust (G') és a veszteségi modulust (G'') határoztam meg. Ezekből az értékekből a kezdeti rugalmassági (G'_0) és veszteségi modulus (G''_0) értékét, lineáris viszkoelasztikus tartomány végét (γ_{LVE} , τ_{LVE}), a rugalmassági és veszteségi modulusa a görbék metszéspontjában a nyírófeszültség (τ_M) és komplex viszkozitás (η_M^*) értékeket határoztam meg.

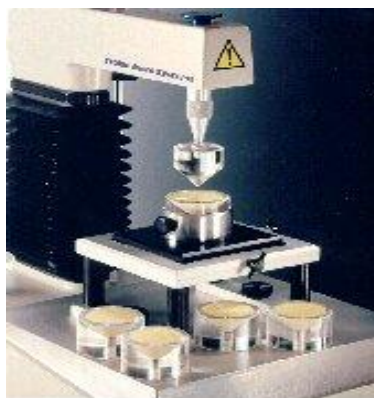
A frekvencia sörpés során konstans 0,002% amplitúdó és 10-től 100 Hz-ig növekvő frekvencia értékek és állandó -10°C -os hőmérséklet mellett végeztem a méréseket. Az amplitúdó értékét az amplitúdó sörpés mérésekből határoztam meg úgy, hogy az biztosan a lineáris viszkoelasztikus tartományba essen. A mérés során a rugalmassági modulust (G') és a veszteségi modulust (G'') határoztam meg a frekvencia függvényében. Ezekből az értékekből meghatározható volt a kezdeti és végső frekvencia értékeknél levő rugalmassági modulus (G'_0 , G'_v), és ezek hányadosa (G'_v / G'_0).

A hőmérsékletsörpés módszerét konstans 0,005% amplitúdó és konstans 10 1/s körfrekvencia-érték mellett vizsgáltam. A mérés növekvő hőmérséklet mellett történt, -15°C -tól 0°C -ig tartott. Itt a hőmérséklet függvényében a rugalmassági és veszteségi modulust határoztam meg. Ezekből az értékekből a kezdeti rugalmassági (G'_0) és veszteségi (G''_0) modulust, a komplex viszkozitást (η^*) -10°C -on és a G' és G'' görbék metszéspontjában határoztam meg.

4.2.5. Állománymérés

Cukrászati krémekek vizsgálata

A kihabosított Meister Creme margarint és a Meister Creme margarinnal készült cukrászati krémekek különböző hőfokokon ($4,6,8,10,12,20^{\circ}\text{C}$) vizsgáltam a TA.XTPlus (Stable Micro System) típusú precíziós állománymérő műszerrel. A kísérlethez a TTC Spreadability Rig feltétet használtam (36. ábra).



36. ábra Állománymérő műszer (Forrás: www.stablemicrosystem.com)

Ez a kenhetőségi feltét viszkózus és plasztikus élelmiszerek állománymérésére szolgál, plexiből készült és két részből áll. A keresztfejhez illesztett 45 mm átmérőjű, 90°-os nyílásszögű kúp pontosan beleillik az álló, speciális befogóba rögzített (mintatartó) hengerben lévő kivágásba. A keresztfej maximális elmozdulását úgy állítják be, hogy a mozgó ill. álló feltét között 1-2 mm rés maradjon. A feltéttel a vizsgálati anyag kenhetősége és a tapadása is mérhető.

A vizsgálati anyag az álló hengerbe kerül. A keresztfej lefelé mozdulásakor a kúp eléri a minta felületét, majd elkezdti azt a két felület közti résen át 45 fokos szögben kifelé préselni. A maximális extrúziós erő (F_{ext} , N) a minta kenhetőségével arányos. A keresztfej visszahúzásakor mérhető tapadási erő (F_{adh} , N) a résnek megfelelő vastagságúra összepréselt anyagréteg szétszakításához szükséges erő. A görbe alatti területek az extrúziós (W_{ext} , J) ill. a tapadási munkát (W_{adh} , J) adják. A nagyobb zsírtartalmú anyagok vizsgálatánál, így különösen a vajak, margarinok esetében fontos a minták egyforma hőmérséklete, ezt termosztálással biztosítottam. A próbatest, 50 mm mély és a teszt során 48 mm-re nyomjuk bele a mérőfejet. A mérőcella 500 N erejű, a mérőfej 2mm/s sebességgel halad a mintában. Az adatok kiértékelése a készülékhez tartozó Exponent szoftverrel történt.

4.2.6. Érzékszervi vizsgálatok

Cukrászati krém minták érzékszervi vizsgálata

Annak érdekében, hogy egy összképet kapjak általánosságban a cukrászati krémek fagyasztva tárolhatóságáról, egy piskótából és a cukrászati krém mintákból (melyeket ízesítettem erdei gyümölcsös pasztával, MEC3) réteges süteményt készítettem, és az érzékszervi bírálatához így fagyasztva tároltam a mintákat.

Az érzékszervi bírálatot átlagosan 10 szakértő bírálóval végeztem havonta, pontozásos módszert alkalmaztam és a cukrászati krém mintákat három szempont alapján értékelték. A hőmérséklet minden esetben azonos 10°C volt. Ezek a szempontok a cukrászati krém állományára kérdeztek rá. (6. táblázat)

6. táblázat Érzékszervi bírálat szempontjai

<i>1 pont</i>	<i>5 pont</i>
kemény	puha
nehéz	könnyű
grízes(szétesett emulzió)	homogén

Minden tulajdonságot 1-5 pontig lehetett értékelni. Minél nagyon pontszámot kapott egy minta annál jobb minőségűnek találták a bírálók.

Az összehasonlíthatóság érdekében minden hónapban elkészítettem egy-egy friss mintát, és a három különböző fagyasztási móddal fagyasztott és 1-6 hónapig tárolt, majd felengedett mintákat a bírálók ezzel a friss mintával együtt bírálták. A bírálati lap a M5 mellékletben található.

Fagylalt érzékszervi vizsgálata

A fagylaltok érzékszervi bírálati során pontozásos módszert alkalmaztam, hogy összehasonlítsam a mintákat, abból a célból, hogy megtudjam, a fogyasztók által már érzékelhető illetve tolerálható savanyú savó koncentrációját meghatározzam a fagylaltban. 15 szakértő bíráló kóstolta a hat fagylalt mintát. Az értékelő lapokhoz két táblázatot készítettem. Az első táblázat az általános tulajdonságokat tartalmazta, melyek az íz (max: 10 pont), szín (max: 10 pont), állomány (max: 20 pont) és összbenyomás (max: 10 pont), míg a második táblázat az állományra vonatkozó főbb jellemzőket, a kanalazhatóságot, olvadákonyságot, homogenitást és krémességet foglalta magába. Ez utóbbi táblázat összes tulajdonságára maximálisan 10 pontot lehetett adni. A bírálati lapot az M6 melléklet tartalmazza.

4.2.7. Statisztikai elemzés**Cukrászati krémek**

Student féle kétmintás páronkénti t-próbát alkalmaztam a mintákra, hogy van-e különbség a különböző hőmérsékleten mért minták közt. A különbségeket következőként jelöltem: táblázatban alkalmazott betű jelöli, hogy van-e különbség a két egymás melletti hőmérséklet között. Ha nincs különbség a betűjelzések között, akkor nincs különbség az adott paraméterek közt, ha van különbség a betűjelzések közt, akkor 95%-os valószínűségi szinten szignifikáns különbség van az egyes hőmérsékleten mért értékek között.

Emellett Pearson-féle korreláció-analízist végeztem az állománymérési módszerek összefüggéseinek megállapítására. A korrelációanalízist a hőmérséklet függvényében végeztem, hogy látni lehessen, hogy a hőmérséklet hatására változó állományú cukrászati krém

tulajdonságai hogyan változnak, illetve a különböző tulajdonságok változásai a mérési módszerek között mutatnak-e lineáris összefüggést.

Fagylaltok

Eredményeim kiértékelését minden esetben kétmintás páronkénti t-próbával végeztem 95%-os konfidencia szinten, hogy megállapíthassam, van-e különbség a referencia fagylalt minták és a savanyú savó koncentráttal készült fagylaltok között.

A különböző fagylaltok minőségét befolyásoló jellemzők kapcsolatának feltárására Pearson-féle korreláció-analízist végeztem. A savanyú savó koncentráttal függvényében vizsgáltam, hogy a minták egyes termofizikai és állományt jellemző tulajdonságai, illetve a savanyú savó koncentráttal függvényében van-e lineáris kapcsolat az egyes jellemzők között.

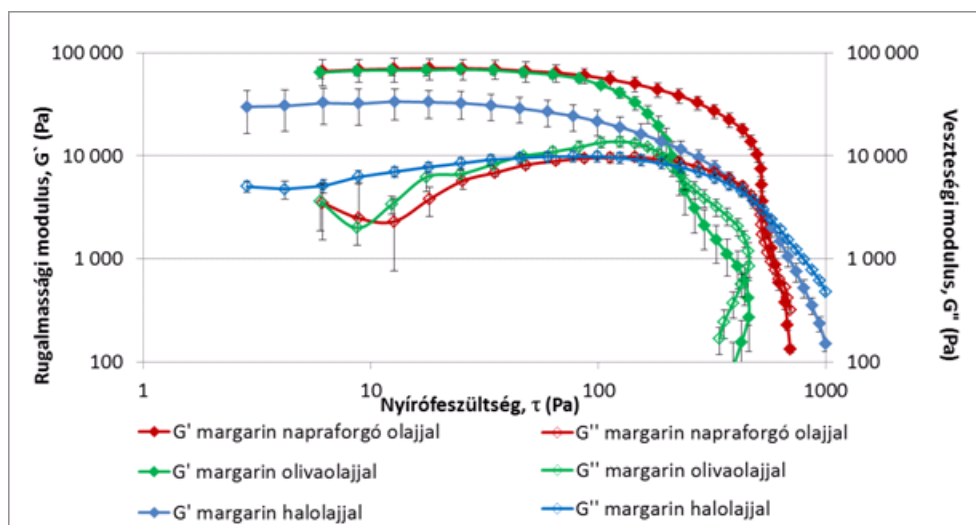
5. Eredmények és értékelés

5.1. Margarinok és cukrászati krémek eredményei

5.1.1. Margarinok amplitúdó söprés eredményei

2009-ben norvégiai tanulmányutam során oszcillációs viszkozimetriás mérési módszerekkel különböző margarinokat, valamint ezekből készült cukrászati krémeket mértem. A mérésekkel a célom az volt, hogy a margarinok mérhetőek-e reométeres módszerekkel, és kimutathatóak-e kis különbségek is.

A 37. ábrán a 3 féle margarin oszcillációs módban amplitúdó söprés módszerével mért görbéi láthatóak.



37. ábra Amplitúdó söprés módszerével mért margarinok reogramjai

A kezdeti rugalmassági modulus (G_0') és a kezdeti veszteségi modulus (G_0'') értékei a mérés kezdeti szakaszában olvashatók le, amelyek a vizsgálandó minta nyugalmi állapotára jellemzőek. Növekvő deformációs erő hatására a rugalmassági modulus (G') értéke csökkenni kezd. Azt a kitérést, ahol a kiindulási értékhez képest a rugalmassági modulus 5%-kal csökken ($0,95 \cdot G_0'$), a lineáris viszkoelasztikus tartomány (G_{LVE}') végének nevezzük. Tehát e határ alatt fellépő erő hatására a minta nem szenved irreverzibilis változást, azaz, ha a deformáló erő megszűnne, az anyag a kiindulási helyzetéhez hasonló állapotba jutna vissza. A minta „erősségét” és „szilárdságát” e pontban mért amplitúdó (γ_{LVE}) és nyírófeszültség (τ_{LVE}) jellemzi. Ez után a pont után a növekvő deformáló erő hatására a minták G' - G'' értékei csökkenni kezdenek. Ekkor figyelhető meg a G' és G'' görbék metszéspontja (G_M), amely egyfajta „folyáshatár”-ként értelmezhető, amely ponttól a minta nem viszkoelasztikus szilárd anyagként

értelmezhető, hanem viszkoelasztikus folyadékként viselkedik. Az ebben a pontban mért nyírófeszültség (τ_M) és komplex viszkozitás (η_M^*) értékek a mintára jellemzőek.

A következő táblázat az amplitúdó söprés kiértékelt paramétereit mutatja be.

7. táblázat Margarínok amplitúdó söprés paramétereit

	G_0' [Pa]	G_0'' [Pa]	G_{LVE}' [Pa]	γ_{LVE} [%]
margarín napraforgó olajjal (Vita hjertego)	66220±1898	3488±1954	62909±18032	0,14±0,04
margarín olívaolajjal (Soft oliven)	64560±8521	3578±1711	61332±8095	0,11±0,03
margarín halolajjal (Bretelett omega 3)	23367±5052	5040±625	22198±4799	0,05±0,008
	τ_{LVE} [Pa]	G_M [Pa]	τ_M [Pa]	η_M^* [Pa.s]
margarín napraforgó olajjal (Vita hjertego)	83±3,59	689±51,6	631±78,1	97,5±7,29
margarín olívaolajjal (Soft oliven)	65,7±13,2	6974±608	228±75,1	988±87,1
margarín halolajjal (Bretelett omega 3)	13,3±1,76	2841±350	548±53,9	404±49,6

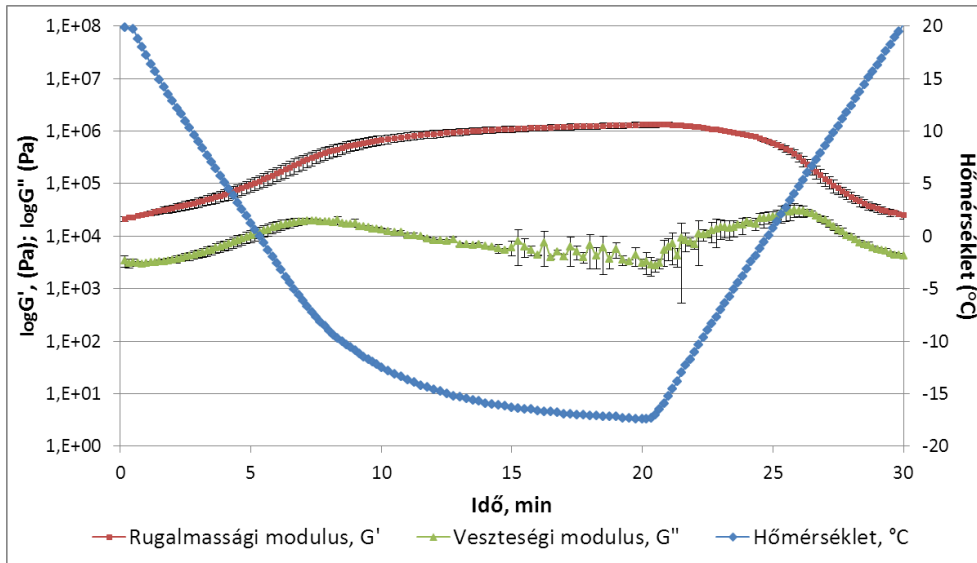
Az adatokat elemezve látszik, hogy a napraforgóolajjal és az olívaolajjal készült margarínok hasonlítanak egymásra, a halolajjal készült margarín puhább, ami az alacsonyabb zsírtartalomnak köszönhető. Viszont nagyobb deformáló erő hatására a napraforgó olajjal és halolajjal készített margarínok „erősebb” szerkezetűek, nagyobb erő kell a metszéspont eléréséhez, vagyis stabilabbak nagyobb erőbehatásra, mint az olívaolajjal készült margarín. A leolvasott paraméterek alapján tudunk a minták reológiai tulajdonságaira következtetni, valamint a margarínok jól elkülöníthetőek, tehát kis különbségek kimutatására is alkalmas a módszer.

5.1.2. Margarínok és cukrászati krémek hőmérsékletsöprés eredményei

A margarínok víz a zsírban emulziók, és összetételtől – például az alkalmazott emulgeálószerrel – függően a magasabb zsírtartalmúak jobban, míg a magasabb víztartalmúak kevésbé tolerálják a fagyasztást, ami azt jelenti, hogy az emulzió a felengedtetés után szétválk, tehát apró cseppekben kiválk a víz. Ez sem esztétikailag, sem pedig technológiai szempontból nem előnyös. A cukrászati krémek viszont zsír a vízben emulziók, ahol a víz a hozzáadott keményítőhöz kötődik, ezért tudja a margarín a nagy mennyiségű vizet megfelelő elkészítési technológia során felvenni és stabil emulzióban tartani. Viszont a fagyasztás a krémekben levő keményítő retrogradációjára hatással van, amely miatt a rendszer elvesztheti stabilitását, a keményítő kikristályosodik és elengedi az addig magához kötött vizet és a krém „grízessé, ikrássá” válhat, tehát az emulzió szétválk. Ezért a következőkben a fagyasztás margarínokra és cukrászati krémekre gyakorolt hatását mutatom be, hőmérséklet söprés módszerével, amely Russ

és munkatársai (2014) szerint is az anyagok hőmérséklet változására bekövetkező stabilitás változásáról ad információt. (RUSS et al., 2014)

A 38. ábrán a hőmérséklet söprési programmal mért, napraforgó olajjal készült margarin rugalmassági és veszteségi modulus értékei és a hőmérsékletprofil látható az idő függvényében.



38. ábra Hőmérsékletsöprés módszerrel mért Vita hjertego margarin reogramja

Az ábrán megfigyelhetjük, hogy ahogy a hőmérséklet csökken a G' és G'' értékek elkezdenek növekedni, vagyis a termék a hőmérsékletcsökkenés hatására keményedik. A G'' veszteségi modulus érték a negatív hőmérsékleti tartományban nehezen mérhető, ami arra utal, hogy a margarinminta inkább rugalmas, mint viszkózus anyag. A minta fagyasztás előtti és felengedtetés utáni állapota, vagyis a kezdeti és végső G' , G'' értékeket megfigyelve tudunk következtetni arra, hogy a termék hogyan viselkedik a fagyasztás hatására. Ha nem történik számottevő változás a kezdeti és végső értékekben, akkor a minta szerkezete jól tűri a fagyasztást. Ez a végső és kezdeti G' és G'' értékek hányadosával fejezhető ki. A mérések és a cukrászati krémminták alapján, azon minták szerkezetében nem történt számottevő változás, ahol ezek az értékek 0,8 és 1,2 között voltak.

Tehát a margarinok jól tűrték a fagyasztást és felengedtetést, míg a cukrászati krémek közül csak néhány minta bizonyult a fagyasztás után is stabil rendszernek. A 39. ábrán egy fagyasztást jól tűró (Melange P) és egy fagyasztás hatására széteső emulziójú (Bremykt P) cukrászati krém fotóit mutatom be fagyasztás előtti és felengedtetés utáni állapotban. A fotókon is megfigyelhető, hogy míg a Melange P típusú krémben számottevő változás nem történt, addig a Bremykt P típusú cukrászati krém, mint emulzió nem tolerálta a fagyasztást és a felengedtetést, a zsír a vízben emulzió szétvált, aminek köszönhetően mintából kivált a víz, a zsírcseppeket körbevette, emiatt a minta „grízes” állagú lett. Ez esztétikai szempontból nem előnyös, technológiai szempontból pedig azért nem megfelelő, mert az ilyen típusú cukrászati krémekkel

nehéz dolgozni, mert nehezen kenhetőek, megcsúsznak az eszközök felületén, így nehézkes akár a keverés, egyenmősítés (pl ízesítő anyagok eloszlatása), vagy az egyenletes rétegvastagság kialakítása, valamint az egyes rétegek elcsúszhatnak egymáson és így például egy több rétegű sütemény rétegei szétszúszhatnak, emiatt deformálódhat a termék.



Melange P típusú cukrászati krém fagyasztás előtt



Melange P típusú cukrászati krém fagyasztás után

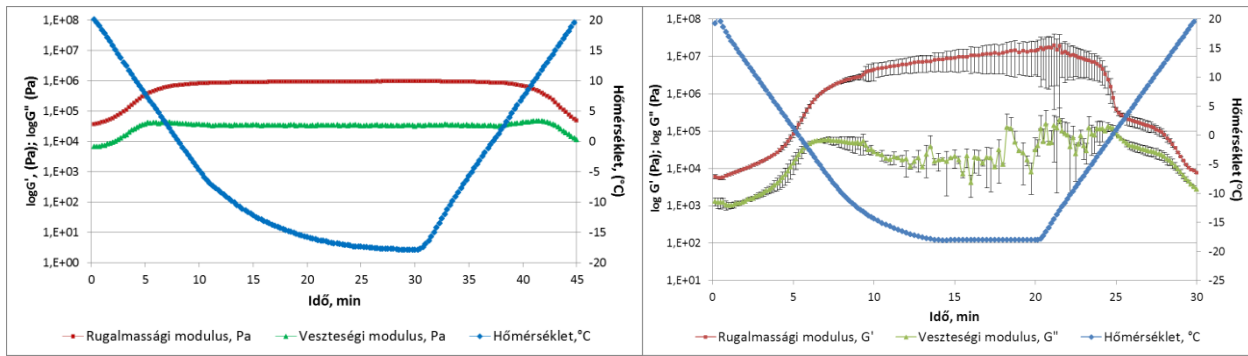


Bremykt P típusú cukrászati krém fagyasztás előtt



Bremykt P cukrászati krém fagyasztás után

39. ábra Különböző típusú cukrászati krémek fagyasztás előtt és után (Forrás: saját fotó)



A

B

40. ábra Hőmérsékletsöprés módszerrel mért Meister Creme P és Bremykt P típusú cukrászati krémek reogramja

A 40. /A ábrán a Meister Creme P típusú cukrászati krém reogramja látható. A G' értékek egy nagyságrenddel nagyobbak a G'' értékeknél, úgy ahogy a margarinok esetében is. A minta jól mérhető, a végső és a kezdeti G' értékek hányadosa 1-hez közeli érték, vagyis a Meister Creme margarinnal készült cukrászati krémek jól tűrik a fagyasztást. Ezzel szemben a 40. /B ábrán látható Bremykt P típusú krémet már a fagyasztás közben sem lehetett jól mérni, amely nemcsak a nagy szórás értékekből, hanem a görbék lefutásából is jól látható. Tehát ez a típusú cukrászati krém nem fagyasztható, illetve fagyasztás és felengedtetés után emulziószétválás következik be.

A 8. táblázatban levő margarin és cukrászati krém minták adatait értékelve megfigyelhető, hogy a margarinok és a cukrászati krémek kiindulási adatai közt is nagy különbségek vannak, a minták különböző keménységűek 20°C -on. A G' rugalmassági modulus értékek minden esetben egy nagyságrenddel nagyobbak, mint a G'' veszteségi modulus értékek.

A mérés során az amplitúdó és frekvencia értékek állandóak voltak, tehát ha az adott margarin vagy cukrászati krém jól tűri a fagyasztást, vagyis az eredeti emulzióban nem történik számottevő változás, akkor a végső és kezdeti G' értékek hányadosa 1 körüli érték, amelytől tapasztalataim alapján maximum 20 %-kal térhet el. Tehát ha akár pozitív akár negatív irányban 20%-nál nagyobb mértékben eltér ez a hányados az 1 értéktől, akkor az emulzió már nem stabil. Összességében a margarinok viszonylag jól viselték a fagyasztást és a felengedtetést. A cukrászati krémeknél viszont, ha nem megfelelő a margarin, akkor a kialakított O/V emulzió nem stabil, tehát szétválhatnak a fázisok különböző behatások esetén. Ilyen lehet a fagyasztás és felengedtetés. A 8. táblázat alapján azok a cukrászati krém minták stabilabbak, amelyek kezdeti és végső G' és G'' értékei nagyobbak voltak, vagyis a minták keményebbek voltak, illetve jól mérhetőek. Ha túl alacsonyok akár a kezdeti, akár a végső értékek, akkor az arra utal, hogy vagy túl puha a minta, vagy az emulzió szétesett, és a mérőfej megcsúszik a mintán.

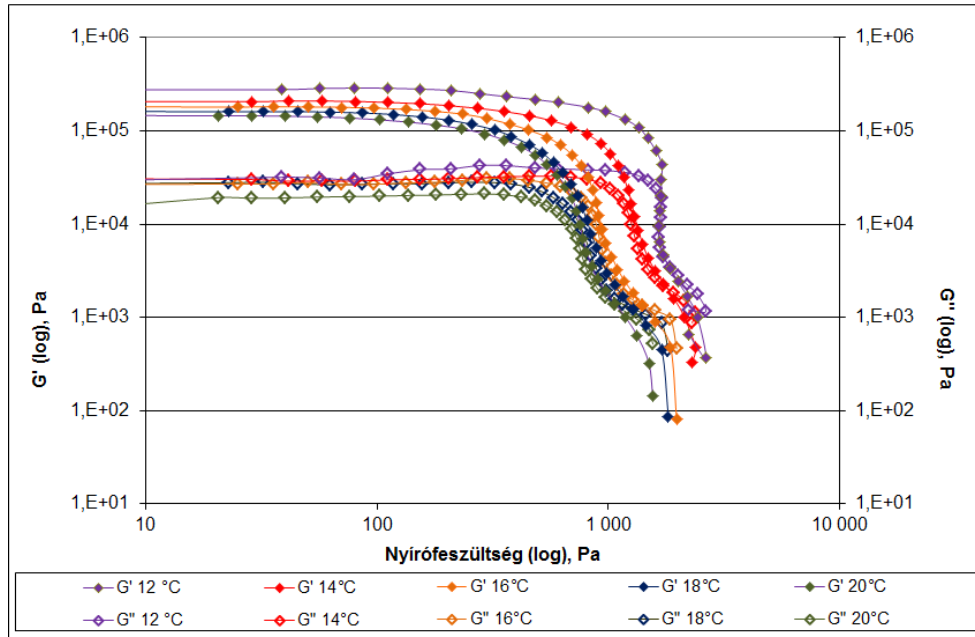
8. táblázat Norvég margarinok (V/O emulzió) és cukrászati kréme (O/V emulzió) hőmérséklet söprés paraméterei

	G'_o	G''_o	G'_v	G''_v	G'_v/G'_o	G''_v/G''_o
Vita hjertego	21400±2193	3390±843	24833±3415	4267±387	1,16	1,26
Soft oliven	23200±990	6035±1520	26000±7071	6570±2729	1,12	1,09
Bretelett omega 3	5075±1096	1470±424	5375±643	1570±269	1,06	1,07
Melange	655000±27055	53133±15570	736000±195732	47967±2991	1,12	0,90
Soft Flora	405500±43134	59550±354	477000±32527	43900±849	1,18	0,74
Soft Light	18400±5567	4793±2091	16733±2902	4467±1378	0,91	0,93
Brelett Lettmargarin	11670±4197	3920±1379	9347±2012	3473±542	0,80	0,89
Bremykt	9493±1825	1517±246	7637±868	2507±272	0,80	1,65
Melange P	20350±2333	5425±1181	24350±71	5920±325	1,20	1,09
Melange K	18942±5798	13542±813	17558±849	11538±148	0,93	0,85
Soft Flora P	33550±12092	8155±785	41500±14849	9100±2687	1,24	1,12
Soft Flora K	32250±3748	7470±226	36450±9263	7970±1188	1,13	1,07
Soft Light P	855±120	272±60	1150±28	288±8	1,35	1,06
Soft Light K	1850±184	571±11	2295±78	664±34	1,24	1,16
Brelett Lettmargarin P	907±140	357±52	1365±611	491±193	1,51	1,38
Brelett Lettmargarin K	1004±308	338±62	1497±263	490±75	1,49	1,45
Bremykt P	6035±757	1315±332	7835±601	2725±219	1,30	2,07
Bremykt K	4965±2590	1225±2588	9715±4931	2925±4897	1,96	2,39
Meister Creme P	37100±895	10360±152	42900±1805	16000±832	1,15	1,54
Meister Creme K	40200±1006	6240±433	48000±1255	10900±269	1,19	1,75

A cukrászati krémekek közül a pudingporral és a keményítővel készült minták között azonos típusú margarint használva számottevő különbséget nem találtam a Melange P és Melange K mintákat kivéve. Ennél a típusnál a keményítővel készült minta G' és G'' értékei között volt különbség. Ezért a következő kísérleteim során mind pudingporral, mind keményítővel elkészítettem a cukrászati krémekeket, speciális célmargarint használva (Meister Creme) és megvizsgáltam, hogy a minták hogyan viselkednek különböző hőmérsékleteken, illetve a fagyasztást és fagyasztva tárolást milyen mértékben tolerálják.

5.1.3. Kihabosított margarin amplitúdósöprés eredményei

A következőkben a kihabosított Meister Creme típusú célmargarin amplitúdó söprés eredményeit ismertetem. Céлом bemutatni, hogy a kihabosított margarin, melyet a továbbiakban a cukrászati krémekhez is használtam, hogyan viselkedik különböző hőmérsékleteken. Technológiai szempontból fontos, hogy az adott alapanyag mennyire keverhető, illetve kenhető, ezáltal az ideális felhasználási hőmérséklet meghatározható. A méréseket 12°C, 14°C, 16°C, 18°C és 20°C-on végeztem.



41 ábra Kihabosított margarin reogramjai 12 és 20°C között

A 41. ábrán jól látszik, hogy van különbség a kihabosított margarin reológiai viselkedésében különböző hőmérsékleteken. A 9. táblázat a leolvasható illetve számított paraméterek értékeit mutatja be. Kétmintás t-próbát végeztem a hőmérséklet okozta különbségek feltárására, úgy hogy az összehasonlítás az egymás mögötti minták között történt (pl. 12°C-14°C; 14°C-16°C). A különböző hőmérsékleten mért minták egyes paramétereit közti különbségeket az értékek mögötti betűjelzéssel szerepeltettem. A kiértékelt paraméterek a 9. táblázatban találhatóak.

Megfigyelhető, hogy a kezdeti G' és G'' értékek között számottevő különbség nincs, a 12 és 14°C-on valamint a 16-18-20°C-on szignifikáns különbséget nem találtam. Viszont ahogy növeljük a deformációt, a lineáris viszkoelasztikus tartomány végét elérve már tapasztalható különbség, a növekvő hőmérséklet hatására az értékek csökkennek, tehát a termékünk puhul, kisebb erő kifejtés kell a minta elkenéséhez. A két görbe metszéspontjában mért komplex viszkozitás értékekben látszik, hogy a hőmérséklet mennyire befolyásolja azt. 12°C-on még igen

nagy erő szükséges, hogy a mintát „folyásra” készítsük, míg 14°C és a felett körülbelül fele akkora erő kifejtése szükséges. Tehát technológiai szempontból, ha a margarint például keverjük, akkor érdemes 12°C fölötti hőmérsékletet alkalmazni.

A görbék metszéspont utáni szakaszát a szakirodalom nem említi. Azonban ilyen típusú krémeknél ekkora erő kifejtés a minta elkenéséhez szükséges erő, ezért értékeltem a görbék csökkenő szakaszára illesztett egyenes meredekségeit, amelyek a 9. táblázatban az a S1 és S2 paraméterek. Ezek az értékek a hőmérséklet hatására növekvő tendenciát mutatnak. Az S1 és S2 paraméterek a minta kenhetőségére utalnak, amely egyenes arányosságot mutat a hőmérséklet változásával. Tehát minél magasabb a minta hőmérséklete, annál kenhetőbb az adott termék. Megfigyelhető, hogy 16°C, 18°C és 20°C-on a metszéspontban mért komplex viszkozitás értékek hasonlóak, vagyis a fogyasztási hőmérséklet szempontjából a három hőmérséklet között nincs számottevő különbség.

9. táblázat Kihabosított margarin amplitúdó söprés paraméterei

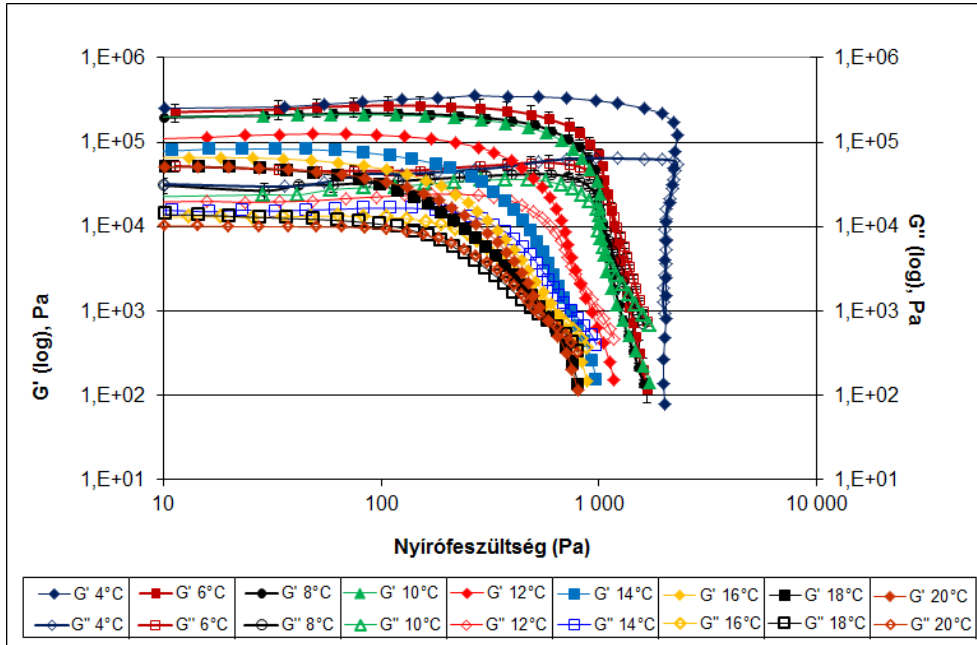
Minta	G_0' [Pa]	G_0'' [Pa]	γ_{LVE} [%]	τ_{LVE} [Pa]	G'_M [Pa]
12°C	232750±44207a	27800±6340a	0,100±0,02a	247,3±13,81a	3037±723,1a
14°C	206600±25118a	30550±4989a	0,074±0,014b	153,0±24,97b	2062±693,5b
16°C	180600±20695b	26760±4509a	0,059±0,015b	115,9±11,38c	1352±65,79c
18°C	161200±15562b	27320±1571a	0,066±0,003b	101,5±2,61d	1215±6,89d
20°C	146400±19113b	16200±5144b	0,069±0,01b	91,7±4,86e	1507±562,2d

Minta	γ_M [%]	τ_M [Pa]	η_M [Pa]	S ₁	S ₂
12°C	2018±246,6a	55,89±11,62a	502667±115314a	-1,15±0,015a	-0,67±0,005a
14°C	1572±22,7b	68,97±10,63a	283555±87876b	-1,14±0,02a	-0,67±0,009b
16°C	1405±38,86c	73,52±1,82a	188400±6465,3c	-1,11±0,02b	-0,66±0,004c
18°C	1289±4,97 d	74,99±0,53a	171400±547,7d	-1,06±0,011c	-0,63±0,006d
20°C	1169±90,4e	67,71±4,65a	205400±59885d	-1,03±0,03d	-0,61±0,014e

Azonos betűjelölés esetén az egymás melletti hőmérsékletek között nincs szignifikáns különbség, ha változik a betűjelzés, akkor szignifikáns a különbség az egymás melletti hőmérsékletek között

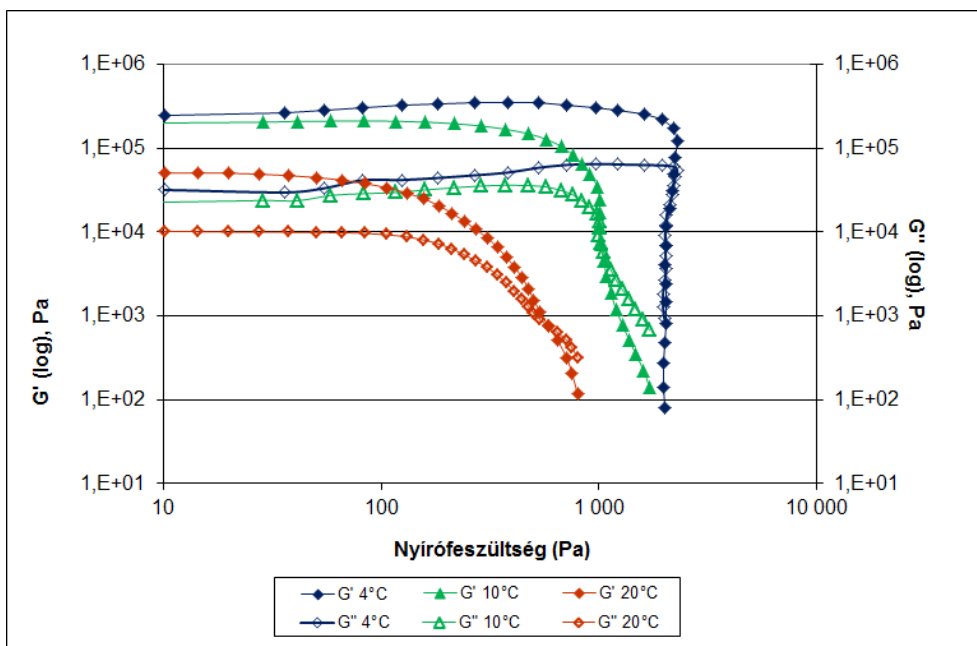
5.1.4. Cukrászati krémek amplitúdósörés eredményei

A Meister Creme célmargarinból készült cukrászati krém minták közül a pudingporral készített mintáknál készítettem amplitúdó söprés módszerével egy hőmérsékletprofilt 4°C és 20°C között, melynek reogramjait a következő ábrán mutatom be.



42. ábra Pudingporral készített cukrászati krém reogramjai 4 és 20°C között

A reogramok lefutása hasonló, viszont a hőmérséklet növekedésével a G' és G'' értékek csökkenő tendenciát mutatnak. A görbesereg három különálló csoportra tagolódik, ezért a jobb átláthatóság kedvéért a 45. ábrán a 4°C-on a 10°C-on és a 20°C-on mért görbékét is ábrázoltam.



43. ábra Pudingporral készített cukrászati krém reogramjai 4°C, 10°C és 20°C-on

A 10. táblázatban a kiértékelt paraméterek láthatóak, melyekkel szintén párosított t-próbát végeztem, annak felderítésére, hogy az egymás melletti hőmérsékleteken mért paraméterek között van-e különbség, vagyis milyen hatása van a hőmérsékletváltozásnak a krémek reológiai tulajdonságaira.

10. ábra Cukrászati krémek amplitúdó söprés paraméterei

Minta	G_0' [Pa]	G_0'' [Pa]	γ_{LVE} [%]	τ_{LVE} [Pa]	G'_M [Pa]
4°C	235667±22898a	52467±14784a	0,047±0,005a	428,7±72,9a	19465±3215a
6°C	228000±57585a	52333±7529a	0,037±0,001a	245,3±59,7b	18300±5808a
8°C	197333±15885a	30867±5865b	0,116±0,029b	141,3±42,4c	11973±863a
10°C	134400±38045b	21460±1897b	0,040±0,019c	119,8±34,8c	8196±1083b
12°C	109000 ± 7549b	19466 ± 2650b	0,147 ± 0,009d	122,3 ± 63,6c	2274±273,1c
14°C	75733 ± 6689c	15633 ± 568b	0,099 ± 0,019e	77,1 ± 10,2d	1022±44,9d
16°C	62233 ± 13410c	13566 ± 1361c	0,05 ± 0,019f	32,5 ± 13,8e	806 ± 33,5e
18°C	47325 ± 5135c	14775 ± 1875c	0,073 ± 0,013f	35,7 ± 4,8e	705 ± 49,2f
20°C	31800 ± 5408d	11125 ± 763d	0,037 ± 0,019g	17,1 ± 9,6f	492 ± 21,2g

Minta	τ_M [Pa]	γ_M [%]	η_M [Pa]	S_1	S_2
4°C	2176±90,3a	6,54±2,91a	1760000±48934a	-1,47±0,101a	-0,80±0,042a
6°C	1141±73,1b	4,76±1,71a	325953±33561b	-1,21±0,105b	-0,74±0,043a
8°C	1033±86,4b	6,12±0,74a	169453±12392c	-1,16±0,009b	-0,72±0,017a
10°C	1092±184,5b	9,48±1,46b	154250±33866c	-1,11±0,031b	-0,69±0,031a
12°C	814 ± 33,3c	25,46 ± 1,96c	145666 ± 41765c	-1,03±0,005c	-0,64±0,001b
14°C	742 ± 11,4d	51,37 ± 1,74d	140667 ± 2081c	-0,96±0,004d	-0,61±0,001c
16°C	673 ± 34,6e	59,02 ± 4,31e	124000 ± 5196d	-0,91±0,015e	-0,58±0,008d
18°C	615 ± 16,6f	61,62 ± 2,76e	99825 ± 18148e	-0,88±0,004f	-0,56±0,004e
20°C	687 ± 6,3g	73,01 ± 2,72f	86100 ± 33943e	-0,85±0,006g	-0,55±0,009f

Azonos betűjelölés esetén az egymás melletti hőmérsékletek között nincs szignifikáns különbség, ha változik a betűjelzés, akkor szignifikáns a különbség az egymás melletti hőmérsékletek között

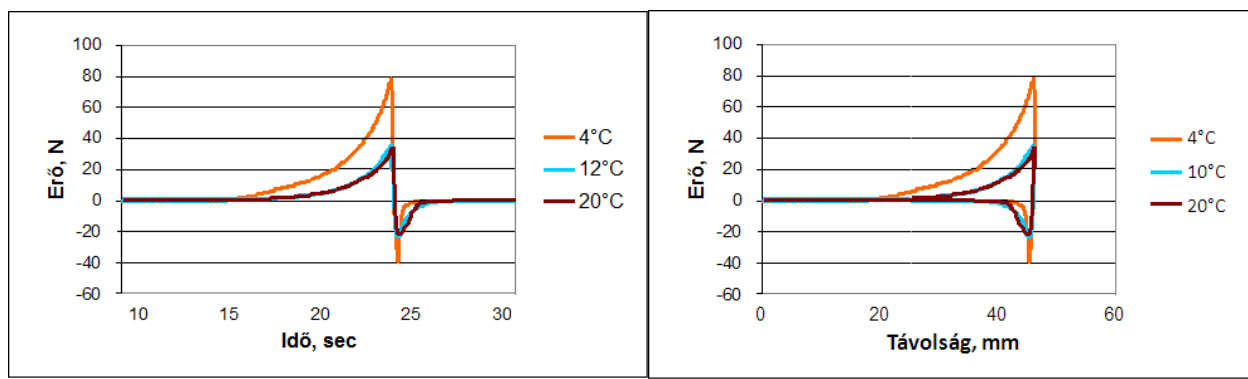
A 43. ábrát és a 10. táblázatot együtt értékelve jól látható, hogy a kezdeti rugalmassági (G_0') és veszteségi (G_0'') modulus értékek csökkennek a növekvő hőmérséklet hatására. A lineáris viszkoelasztikus tartomány végénél mért amplitúdó értékek (γ_{LVE}) nem mutatnak ennyire egyértelmű tendenciát, viszont a frekvenciasöprés mérési módszer maximális kitérés értékének beállítását meg lehet határozni. Az ennél a mérési pontnál meghatározott nyírófeszültség értékek

azonban egyértelmű csökkenést mutatnak. A két görbe metszéspontjában meghatározott G'_M érték és a nyírófeszültség szintén csökkenő tendenciát mutatott, vagyis puhul a termék. Erre utal a látszólagos viszkozitás értékek csökkenése is.

Az S1 és S2 paraméterek, melyek a két görbe meredeken csökkenő szakaszára illesztett egyenes meredekségét fejezik ki, egyértelmű növekedése is arra utal, hogy a hőmérséklet emelkedése kenhetőbbé teszi a krémeket.

5.1.5. Kihabosított margarin állománymérés eredményei

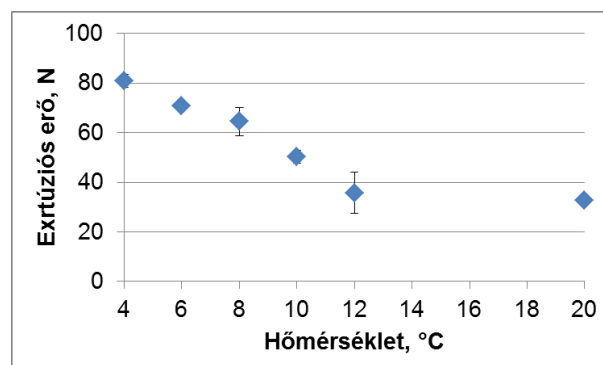
Az kihabosított margarin állománymérését különböző hőmérsékleteken (4,6,8,10,12,20°C) végeztem, 10 párhuzamos mintával dolgoztam. A következő, 44. ábrán a könnyebb átláthatóság érdekében 4°C, 12°C és 20°C-on mért állomány görbéket ábrázoltam.



44. ábra Kihabosított margarinok állománygörbéi 4°C, 12°C és 20°C-os hőmérsékleten

A mérés első szakaszának görbe alatti területe jelenti az extrúziós munkát. Jól látható, hogy ez a terület a hőmérséklet növekedésével egyre csökken, tehát a maximális kompresszió eléréséhez szükséges munka egyre kevesebb. A második szakasz görbe alatti területe a hőmérséklet növelésével kissé növekszik, ezek az értékek jelentik a minta és a mérőfej szétválásához szükséges munkát. A pozitív csúcshoz tartozó maximális erő a keménységet, kenhetőséget, a negatív csúcshoz tartozó minimális erő és görbe alatti terület pedig a tapadóságot jellemzi.

Az következő ábrán az extrúziós erő (45. ábra) alakulása látható különböző hőfokokon.



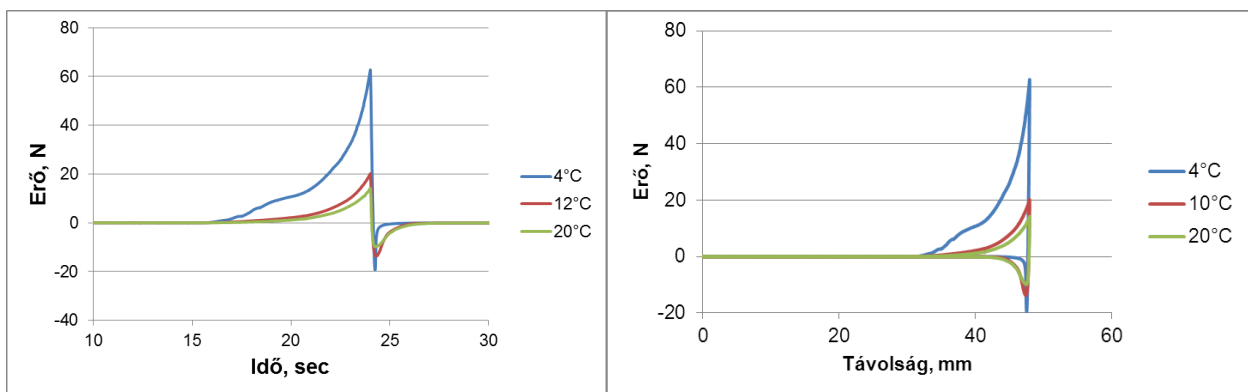
45. ábra Az extrúziós erő a hőmérséklet függvényében

Az extrúziós erő a hőmérséklet emelkedésével csökkent, azonban 12°C felett nem változik nagymértékben. Az adhéziós erő jellemzi az alaplap és a mérőfej között összepréselt minta szétszakadásának kezdetét, valamint az ahhoz szükséges erőt. Megfigyelhető, hogy a hőmérséklet emelkedésével szintén csökkenő tendenciát mutat ez az érték. 12 és 20°C-on számottevő különbség nem látható a minták ezen értékeiben, viszont az adhéziós munka növekszik a hőmérséklet emelkedésével. Vagyis 12°C-on és a felett már puha, jó kenhető, de tapadós tulajdonságú a kihabosított margarin.

Az állománymérés eredményei tehát összhangban vannak az amplitúdó söprés eredményeivel, bizonyos hőmérséklet felett a kihabosított margarin kenhetősége nem változik, ez a szerkezetbeli változás azonban amplitúdó söprés módszerével pontosabban meghatározható.

5.1.6. Cukrászati krém állománymérés eredményei

A pudingporral készített cukrászati krém állománymérését is különböző hőmérsékleteken (4,6,8,10,12,20°C) végeztem. Szintén 4°C, 12°C és 20°C-on mért állomány görbéket ábrázoltam.



46. ábra Cukrászati krém állománygörbéi 4°C, 12°C és 20°C-os hőmérsékleten

A mérések alapján elmondható, hogy a hőmérséklet növekedésével csökken az extrúziós erő, tehát minél magasabb volt egy minta hőmérséklete, annál kisebb erő szükséges a deformálásához, emellett a hozzá tartozó munka a hőmérséklet növekedésével szintén fokozatosan csökken. Az adhéziós erő értékei közel azonosak voltak. Az adhéziós munka a hőmérséklet növelésével kismértékű növekvő tendenciát mutat. Ez tehát azt jelenti, hogy minél magasabb a hőmérséklet, annál kenhetőbb és tapadósabb a minta.

5.1.7. Kihabosított margarin és cukrászati krém összehasonlítása

A következőkben a kihabosított margarin és a belőle készült cukrászati krém közötti összefüggéseket, illetve a hőmérsékletek közötti különbségeket mutatom be mind az amplitúdó

söprés mind az állománymérés szemszögéből. A 11. ábrán az amplitúdó söprés méréseit hasonlítottam össze 12°C és 20°C között.

11. ábra Margarin és cukrászati krém amplitúdó söprés eredményeinek hőmérséklet szerinti összehasonlítása

Hőmérséklet [°C]		G_0' [Pa]	G_0'' [Pa]	γ_{LVE} [%]	τ_{LVE} [Pa]	G_M' [Pa]
Margarin	12	232750 ± 44207a	27800 ± 6340a	0,10 ± 0,02a	247 ± 13,8a	3037 ± 723,1a
	14	206600 ± 25118a	30550 ± 4989a	0,07 ± 0,014b	153 ± 24,9b	2062 ± 693,5b
	16	180600 ± 20695b	26760 ± 4509a	0,06 ± 0,015b	116 ± 11,4c	1352 ± 65,79c
	18	161200 ± 15562b	27320 ± 1571a	0,07 ± 0,003b	101 ± 2,61d	1215 ± 6,89d
	20	146400 ± 19113b	16200 ± 5144b	0,07 ± 0,01b	92 ± 4,86e	1507 ± 562,2d
Cukrászati krém	12	109000 ± 7549a	19466 ± 2650a	0,15 ± 0,009a	159 ± 2,83a	227 ± 273,1a
	14	75733 ± 6689b	15633 ± 568a	0,10 ± 0,019b	77 ± 10,2b	1022 ± 44,86b
	16	62233 ± 13410b	13566 ± 1361b	0,05 ± 0,019c	32 ± 13,8c	806 ± 33,52c
	18	47325 ± 5135b	14775 ± 1875b	0,07 ± 0,013c	36 ± 4,84c	705 ± 49,17d
	20	31800 ± 5408c	11125 ± 763c	0,04 ± 0,019d	17 ± 9,56d	492 ± 21,19e

Hőmérséklet [°C]		τ_M [Pa]	γ_M [%]	η_M^* [Pas]	S_1	S_2
Margarin	12	2018 ± 246,6a	55,89 ± 11,62a	502667 ± 115314a	-1,14 ± 0,015a	-0,67 ± 0,005a
	14	1572 ± 22,7b	68,97 ± 10,63a	283555 ± 87876b	-1,14 ± 0,02a	-0,67 ± 0,009b
	16	1405 ± 38,86c	73,52 ± 1,82a	188400 ± 6465c	-1,11 ± 0,02b	-0,66 ± 0,004c
	18	1289 ± 4,97 d	74,99 ± 0,53a	171400 ± 547,7d	-1,05 ± 0,011c	-0,63 ± 0,006d
	20	1169 ± 90,4e	67,71 ± 4,65a	205400 ± 59885d	-1,03 ± 0,03d	-0,61 ± 0,014e
Cukrászati krém	12	814 ± 33,26a	25,46 ± 1,96a	302333 ± 10692a	-1,03 ± 0,005a	-0,64 ± 0,001a
	14	742 ± 11,38b	51,37 ± 1,74b	140667 ± 2081b	-0,96 ± 0,004b	-0,61 ± 0,001b
	16	673 ± 34,64c	59,02 ± 4,31c	124000 ± 5196c	-0,91 ± 0,015c	-0,58 ± 0,008c
	18	615 ± 16,62d	61,62 ± 2,76c	99825 ± 18148d	-0,88 ± 0,004d	-0,56 ± 0,004d
	20	687 ± 6,27e	73,01 ± 2,72d	86100 ± 33943d	-0,85 ± 0,006e	-0,55 ± 0,009e

Azonos betűjelölés esetén az egymás melletti hőmérsékletek között nincs szignifikáns különbség, ha változik a betűjelzés, akkor szignifikáns a különbség az egymás melletti hőmérsékletek között

A G_0' a rugalmassági modulus, a minta „szilárd jellegére” utal, míg a G_0'' a vizsgált minták viszkózus tulajdonságait, „folyékony jellegét” jellemzi. Jól látható, hogy a hőmérséklet emelkedésével csökkennek ezek az értékek, statisztikailag azonban néhány hőmérséklet között egyezést találtam, melynek oka, hogy a kis hőmérséklet különbségeknél (2°C) van ugyan eltérés, de nem számottevő. A két paraméter aránya adja a szilárd-folyékony fázis jelenlétét a mintában. Ez az arány a hőmérséklet emelkedésével csökken margarin és a cukrászati krém esetében is.

A lineáris viszkoelasztikus tartomány végét jellemzi a τ_{LVE} paraméter, mely az erősséget, szilárdságot fejezi ki. Ezek az értékek szintén csökkenő tendenciát mutatnak, valamint statisztikai szempontból is jól látható a különbség. A τ_M paraméter a folyáshatár pontjában mérhető nyírófeszültség. Jól látható, hogy margarin vizsgálata során ezek az értékek minimum

kétszeresei a cukrászati krém eredményeinek, minden egyes hőmérsékleten. Ennek oka a cukrászati krém szerkezetében keresendő, emiatt a folyáshatár eléréséhez sokkal kisebb deformáló erőre van szükség.

Komplex viszkozitás (η_{M^*}) a mérési szakasz bármely pontjában mérhető, de a leginformatívabb mérési pont a folyáshatár. Az ezen ponthoz tartozó komplex viszkozitás megmutatja az anyag rugalmassági és viszkózus tulajdonságait is. Mindkét minta esetében jól látszik a csökkenő tendencia.

A növekvő deformáló erő hatására a rugalmassági és veszteségi modulus értékek csökkenő tendenciát mutatnak, az erre a szakaszra illesztett egyenes meredeksége (S_1 illetve S_2) a minták kenhetőségére utal. Megfigyelhető, hogy csökken a meredekség a hőmérséklet emelkedésével, tehát minél magasabb a hőmérséklet, annál könnyebb, kenhetőbb a minta. Jól látszik, hogy margarin vizsgálata során a két szélső hőmérsékletű minta esetében nincs akkora különbség, mint cukrászati krémnél. Ez is arra utal, hogy a margarin egy keményebb, nehezebben puhuló állománnyal rendelkezik. Statisztikai szempontból elmondható, hogy minden egyes hőmérsékleten vizsgált minta között különbség van.

A 12. táblázatban a kenhetőségi feltétellel mért állománymérési adatok láthatóak. Mérési eredményeim alapján elmondható, hogy az extrúziós erő a hőmérséklet növekedésével jelentősen csökken, mind margarin, mind pedig cukrászati krém esetében. A hozzá tartozó extrúziós munka szintén mindkét vizsgálat során csökken a hőmérséklet emelkedésével.

12. ábra Margarin és cukrászati krém hőmérséklet szerinti összehasonlítása az állománymérés eredményeivel

Termék neve	Hőmérséklet (°C)	Extrúziós erő (N)	Extrúziós munka (mJ)	Adhéziós erő (N)	Adhéziós munka (mJ)
Margarin	4	80,90 ± 2,7 ^a	303 ± 11,4 ^a	-36,48 ± 2,5 ^a	-13,76 ± 2,3 ^a
	6	70,90 ± 1,84 ^b	253,2 ± 7,89 ^b	-33,70 ± 2,81 ^b	-16,48 ± 2,40 ^b
	8	64,50 ± 5,64 ^c	211,2 ± 21,85 ^c	-33,89 ± 1,89 ^b	-15,12 ± 1,92 ^b
	10	50,37 ± 2,55 ^d	164,1 ± 12,45 ^d	-30,30 ± 1,00 ^c	-24,88 ± 5,38 ^c
	12	35,76 ± 5,39 ^e	115,3 ± 30,80 ^e	-22,96 ± 2,88 ^d	-25,09 ± 5,54 ^c
	20	32,70 ± 1,53 ^e	104,9 ± 5,73 ^e	-21,72 ± 1,21 ^d	-27,89 ± 4,46 ^c
Cukrászati krém	4	65,60 ± 6,13 ^a	238,6 ± 18,90 ^a	-24,74 ± 4,20 ^a	-7,78 ± 0,78 ^a
	6	62,75 ± 7,93 ^a	203,8 ± 23,45 ^b	-28,39 ± 3,03 ^b	-8,72 ± 0,89 ^b
	8	42,75 ± 3,81 ^b	129,2 ± 16,97 ^c	-26,93 ± 1,41 ^c	-18,37 ± 2,80 ^c
	10	34,52 ± 5,61 ^c	119,4 ± 16,00 ^d	-23,66 ± 3,26 ^d	-17,39 ± 5,16 ^c
	12	35,45 ± 5,61 ^c	112,5 ± 19,05 ^c	-21,17 ± 2,00 ^e	-17,71 ± 6,07 ^c
	20	11,65 ± 1,68 ^d	34,06 ± 5,25 ^e	-8,36 ± 1,12 ^f	-20,08 ± 1,76 ^c

Azonos betűjelölés esetén az egymás melletti hőmérsékletek között nincs szignifikáns különbség, ha változik a betűjelzés, akkor szignifikáns a különbség az egymás melletti hőmérsékletek között

Az adhéziós erő mindkét mérésorozat esetében csökken a hőmérséklet emelkedésével. Ezzel szemben a hozzá tartozó adhéziós munka növekszik a hőmérséklet emelkedésével. Margarin vizsgálata során megfigyelhető, hogy 12 és 20°C között statisztikailag sincs eltérés az egyes paraméterek között. Cukrászati krém esetében 12 és 20°C között nagyobb eltérést tapasztaltam, melynek oka, hogy a hozzáadott keményítőtől megváltoztatta a margarin szerkezetét. Ezek alapján technológiai szempontból a margarin feldolgozása 12°C feletti hőmérsékleten, míg a cukrászati krémekek 10-12°C-on ideális.

A két mérési módszer paraméterei és a hőmérsékletváltozás között kerestem összefüggést korreláció analízis segítségével a cukrászati krémekeket vizsgálva. Ezáltal, a minta szerkezetéről több információt adó amplitúdó söprés módszerével összehasonlítható az inkább érzékszervi állománybeli tulajdonságokat mutató állománymérés. Így megbecsülhető, hogy a minta kenhetőségét és tapadosságát (összetartó erejét) mely tulajdonságok befolyásolják. A korrelációanalízis táblázata az M2 mellékletben található.

A hőmérséklet szinte minden paramétert befolyásol, szoros korrelációt tapasztaltam a vizsgált paraméterekkel. Növekedésével csökken a rugalmassági és veszteségi modulusok kezdeti értéke, a lineáris viszkoelasztikus tartományhoz és a metszésponthoz tartozó paraméterek értéke, azonban a S1 és S2 paraméterek (a reogramok csökkenő szakaszára illesztett érintők meredekségi értékei) növekvő tendenciát mutatnak. A minták a hőmérséklet növekedés hatására puhulnak, és kisebb deformációt képesek elviselni. Az állománymérés paraméterei is szoros korrelációt mutatnak a hőmérséklettel, a kenhetőség növekvő tendenciát mutat növekvő hőmérsékletnél (minél kisebb az extrúziós erő és munka annál kenhetőbb a termék), azonban a tapadosságot kifejező adhéziós munka esetében a tapasztalat, hogy a növekvő hőmérséklet hatására a minta jobban tapadt a mérőfejre, nehezebben vált el a mintától.

A kezdeti G' és G'' értékek valamint a két görbe metszéspontjához tartozó G' értékek szoros korrelációt mutattak az állománymérés paramétereivel, amely arra utal, hogy a minták keménysége és összetartó ereje becsülhető akár amplitúdó söprés módszerével az ilyen típusú élelmiszereknél.

Ami talán ezeknél a termékeknél a legfontosabb, a kenhetőségük. Szoros korrelációt találtam az extrúziós erő és munka, mint a kenhetőséget jellemző paraméterek, és az amplitúdó söprésrel mért S1 és S2 paraméterek között. Ezzel becsülhető a minták kenhetőségi tulajdonsága, így tulajdonképpen egy mérési móddal vizsgálhatóak a cukrászati krémekek.

Összességében a két módszerrel a termékek szerkezetét, állományát tudjuk vizsgálni. A hőmérséklet ezeknél a termékeknél kulcsfontosságú. Az amplitúdó söprés és az állománymérés eredményeiből is következtethetünk a minták szilárdságára és kenhetőségre. Mind az oszcillációs mérések, mind az állománymérés alkalmas arra, hogy ezeknek a termékeknek az optimális

feldolgozási és fogyasztási hőmérsékleteit meghatározzuk. Az amplitúdó söpréssel kisebb különbségek is kimutathatóak, az állományméréssel pedig a minták tapadosságát is vizsgálhatjuk. Így a minták keverését, feldolgozását, valamint a szájban történő érzékelést is becsülhetjük.

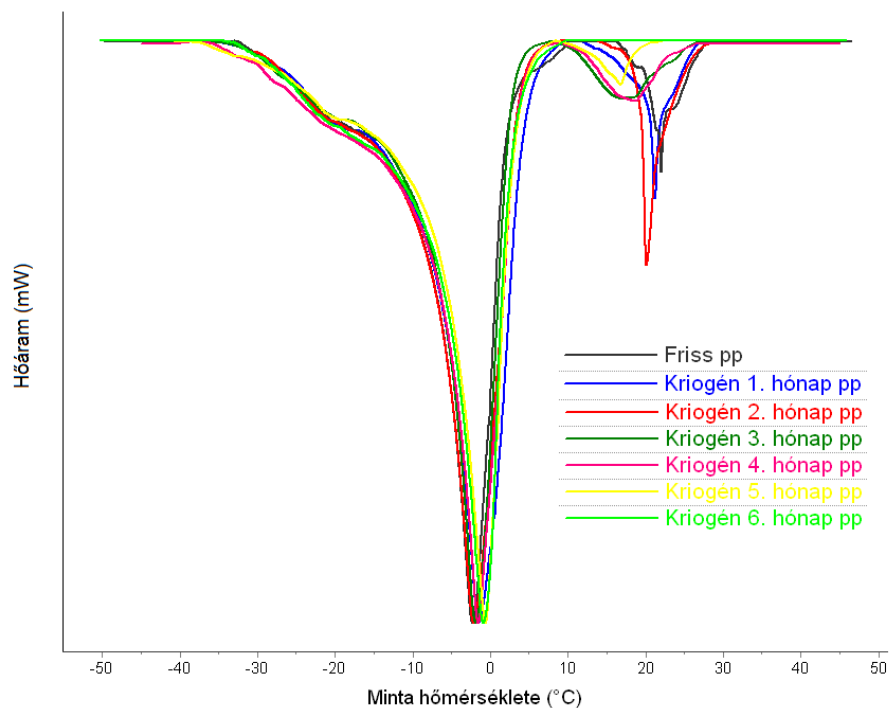
5.2. Fagyasztott és fagyasztva tárolt cukrászati krémek mérési eredményei

Kísérleteim során kétféle cukrászati krém (pudingporral és kukoricakeményítővel készített) három féle fagyasztási móddal történő fagyasztása és fagyasztva tárolása során bekövetkező változásokat vizsgáltam. A kísérletek során mértem a minták szárazanyagtartalmát, amely mindkét minta esetében 39-40% között alakult, és a tárolási kísérletek során nem tapasztaltam változást.

5.2.1. Hőfizikai eredmények

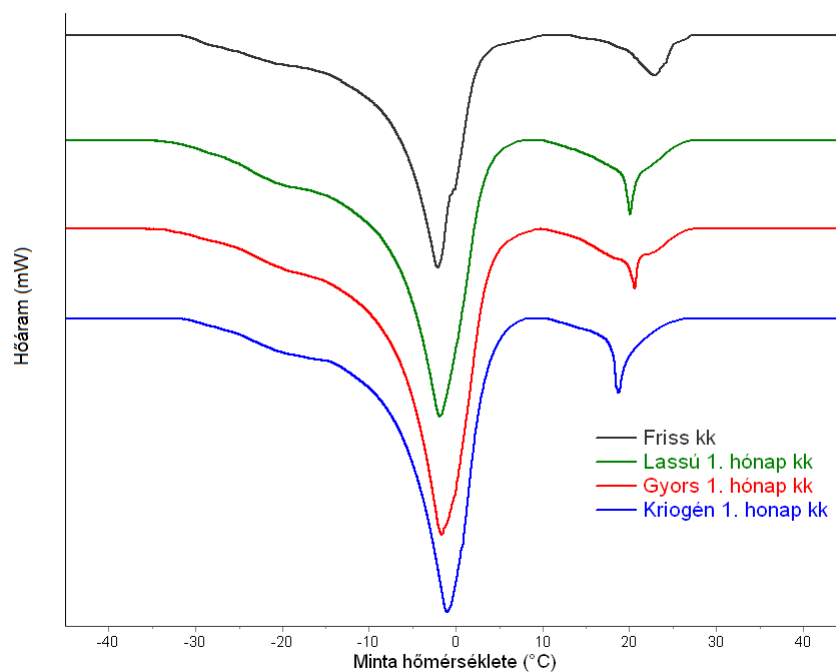
A 47. ábrán a pudingporral (pp) készített cukrászati krémek közül a friss és a kriogén technikával fagyasztott és 1-6 hónapig tárolt minták DSC (differenciális pásztázó kaloriméter) készülékkel mért hőáramgörbék láthatóak.

A görbék első szakaszán megfigyelhető egyfajta üvegesedési tulajdonság -20°C és -30°C között. Az első csúcs mely a víz olvadását jelzi, a fagyasztva tárolás során negatív irányba mozdul el. A második csúcs, amely a zsírfázis olvadását jelzi, a tárolási idő előrehaladtával csökken, majd a tárolás végére nem kimutatható. Ez minden minta és minden fagyasztási mód esetében megfigyelhető, amely a fagyasztás és tárolás során bekövetkező szerkezeti változásoknak köszönhető.



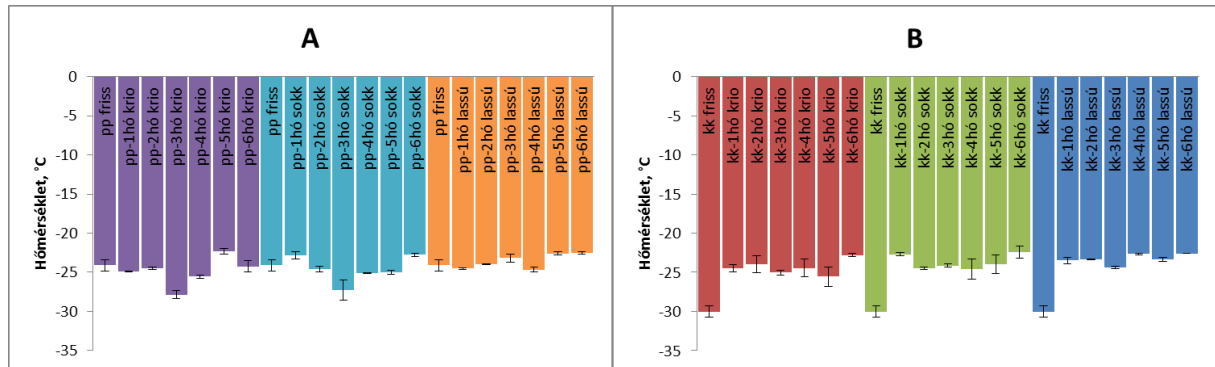
47. ábra Friss és kriogén technikával fagyasztott 1-6 hónapig tárolt pudingporral készített cukrászati krémek hőáram görbéi

Míg a pudingporral készített minták üvegesedési hőmérsékletei ugyanabban a tartományban maradnak, addig a kukoricakeményítővel (kk) készített minták esetén a fagyasztás hatására pozitív irányba változik az üvegesedési hőmérséklet, mely a 48. ábrán látható.



48. ábra Friss és a három fagyasztási technikával fagyasztott 1 hónapig tárolt kukoricakeményítővel készített cukrászati krémek hőáram görbéi

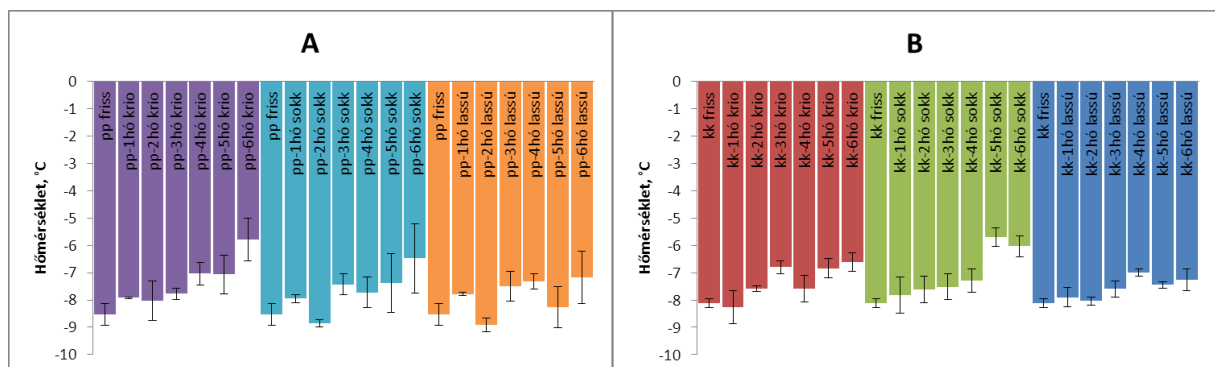
Ez a jelenség arra utal, hogy szerkezeti változás történik a kukoricakeményítővel készített mintában a fagyasztás hatására és megváltozott a víz kötési tulajdonsága. A következő ábrákon a fagyasztás időbeli hatását ábrázolom az üvegesedési hőmérséklet, az intenzív olvadás kezdeti hőmérséklete, valamint az első és második csúcs görbe alatti területének bemutatásával. A M3 mellékletben ezen értékeket táblázatos formában szerepeltettem. Elsőként az üvegesedési hőmérséklet változását ábrázoltam a két cukrászati krém esetében. (49. ábra)



49. ábra Az üvegesedési hőmérséklet változása különböző fagyasztások és a fagyasztva tárolás hatására pudingporral (A) és kukoricakeményítővel (B) készült cukrászati krémek esetén

A pudingporral készült cukrászati krémek (49. ábra / A) üvegesedési hőmérséklete kis mértékben változik az tárolási idő alatt a kriogén (krio) és az áramló levegőben (sokk) fagyasztott minták esetén, míg a lassú fagyasztás nem volt hatással erre a tulajdonságra. A kukoricakeményítővel készült krémek (49. ábra / B) esetén a friss, fagyasztás nélküli mintákhoz képest minden esetben 5°C-kal nő az üvegesedési hőmérséklet, de az értékek nem változtak számottevő mértékben a tárolás előrehaladtával.

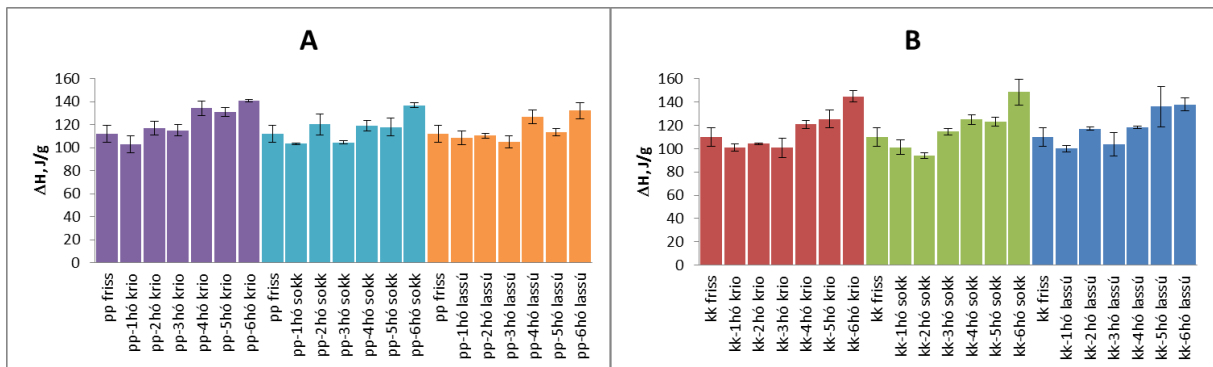
A minták intenzív olvadásának kezdeti értékét (T_{onset}) mutatja be az 50. ábra.



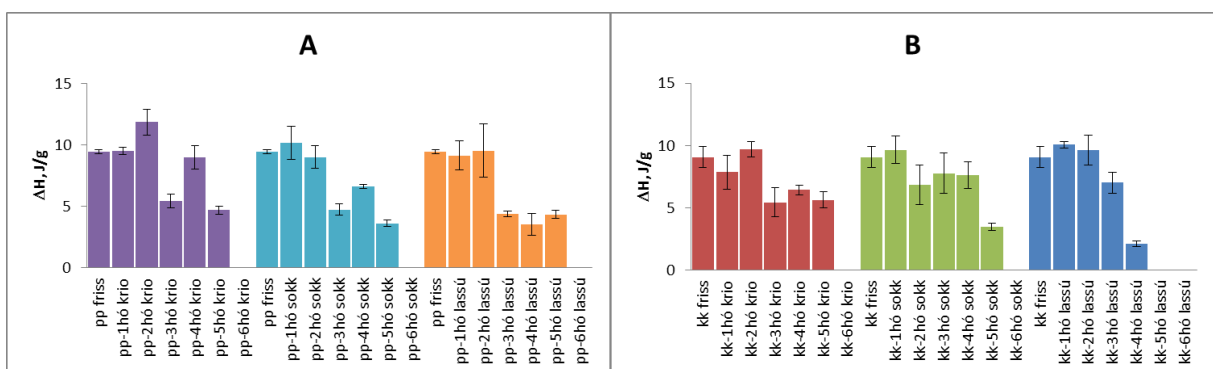
50. ábra Az intenzív olvadás kezdeti hőmérsékletének változása különböző fagyasztások és a fagyasztva tárolás hatására pudingporral (A) és kukoricakeményítővel (B) készült cukrászati krémek esetén

A két mintasorozat között itt is található különbség. A friss minták intenzív olvadási hőmérséklete között 0,5°C-os különbség tapasztalható, amely különbség az tárolási idő alatt is megmarad. Az értékek növekvő tendenciát mutatnak a tárolás előrehaladtával. Azonban az megfigyelhető, hogy a legkisebb változások a lassú fagyasztással fagyasztott mintáknál tapasztalható.

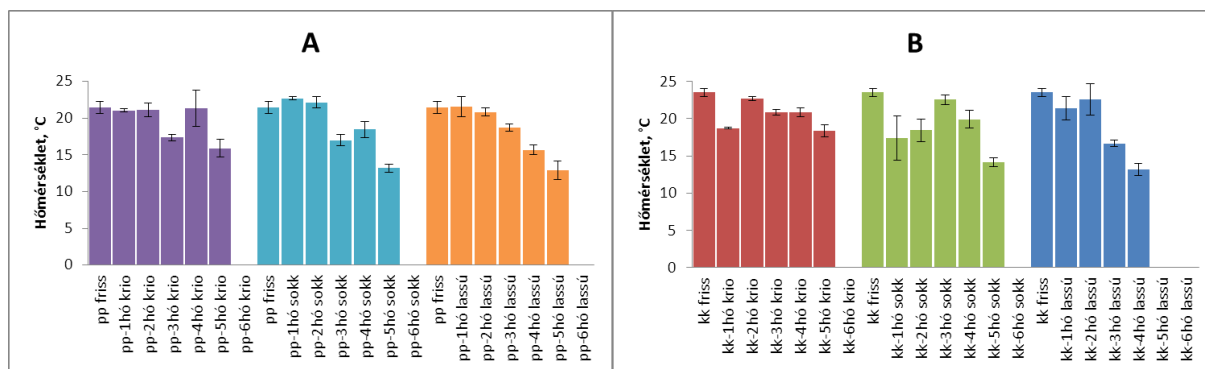
A következő ábrákon a minták hőáramgörbe alatti területeit ábrázoltam. Az 51. ábrán a hőáramgörbe első csúcsának értékei a víz olvadását jelzik, az 52. ábrán a zsírfázis olvadásához szükséges hőáram értékek láthatók. Mindkét mintánál a víz olvadását jellemző első csúcs hőáram értékei kisebb ingadozásokkal, de növekvő tendenciát mutatnak. Azonban a zsírfázis olvadását jelző második csúcs hőáram értékei a tárolás előrehaladtával csökkenő tendenciát mutatnak, a tárolás végére pedig a második csúcs nem kimutatható.



51. ábra Az első csúcs olvadáshő értékeinek változása különböző fagyasztások és a fagyasztva tárolás hatására pudingporral (A) és kukoricakeményítővel (B) készült cukrászati krémek esetén



52. ábra A második csúcs olvadáshő értékeinek változása különböző fagyasztások és a fagyasztva tárolás hatására pudingporral (A) és kukoricakeményítővel (B) készült cukrászati krémek esetén

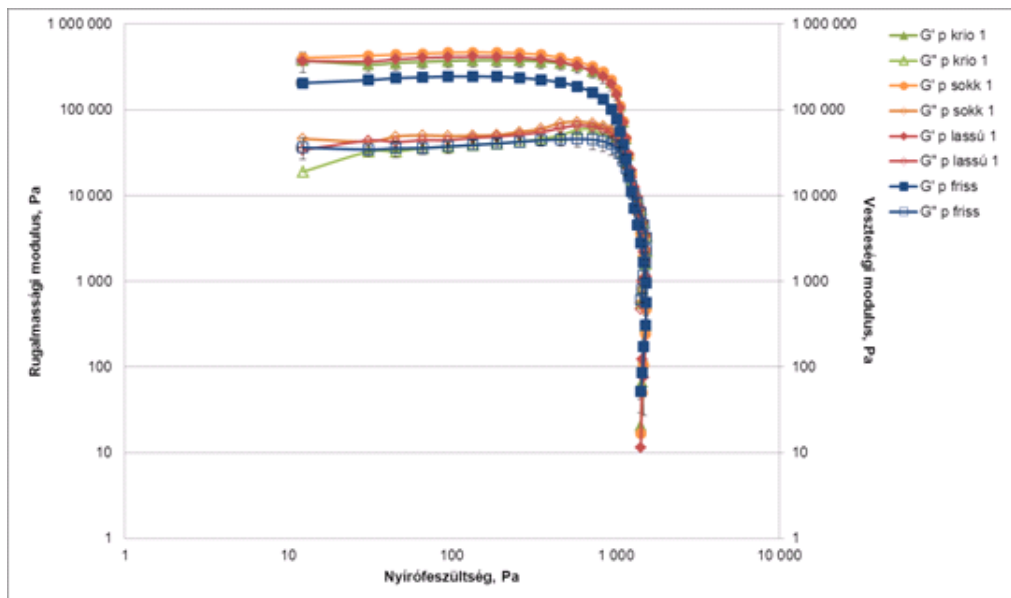


53. ábra A második csúcscsúcsmaximum értékeinek változása különböző fagyasztások és a fagyasztva tárolás hatására pudringporral (A) és kukoricakeményítővel (B) készült cukrászati krémek esetén

Emellett az 53. ábrán bemutatott a második csúcshoz tartozó csúcscsúcsmaximum hőmérsékleti értékeiben is változás tapasztalható. A tárolási idő előrehaladtával a csúcsok maximuma alacsonyabb hőmérsékleten kimutatható. Az 6. hónapban viszont már nem mérhető a minták második csúcscsa. Ennek oka a szerkezet változásában keresendő. Ugyanis a gyártás során kialakított összetett szerkezetben a zsír fázis a diszpergált fázis, amelyet apró cseppekben eloszlattunk a krémbe. Azonban a fagyasztás során a víz és a zsírfázis is kristályosodik, fázisváltást szenved. Emiatt a zsírcseppek részlegesen összeolvadnak, csökken a diszperzitásfok. A mérés során a felengedett krémeket a műszer a program szerint lefagyasztja és újraolvasztja. Mivel részleges destabilizáció történt, már nem stabil a krém szerkezete, és ezt az újbóli behatást már nem tudja elviselni. Emellett a fagyasztás során a keményítővel kialakított géltől is elvonjuk a vizet, amelyet csak részlegesen tud felvenni a felengedettkor. Emiatt a szerkezetváltozások miatt változik a minták termofizikai tulajdonságai is, ugyanis több lesz a kifagyasztható víz mennyisége, és valószínűleg a víz olvadási csúcscsa elfedi a zsírfázis olvadását és ilyen érzékenységnél már nem válnak szét a csúcsok. Megállapítható tehát, hogy a fagyasztás okozta szerkezetbeli változásokat differenciális pásztázó kalorimetriával detektálni lehet.

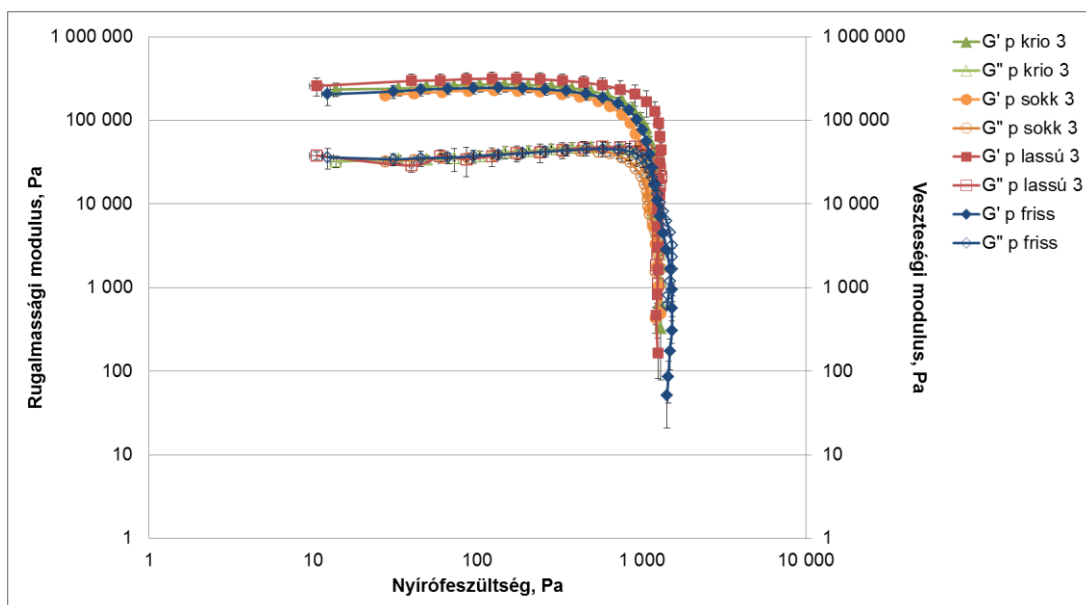
5.2.2. Reométeres eredmények

Oscillációs viszkoziméterrel amplitúdósöprés módszerével mértem mintáimat 10°C-on, amely a felhasználáshoz megfelelő hőmérséklet. A következőkben bemutatom, hogyan változtak a minták a fagyasztva tárolás hatására. Az M3 mellékletben a kiértékelt paraméterek táblázatos formában megtalálhatóak. Az 54. ábra a friss és az 1 hónapig tárolt pudringporral készült minták reogramjait mutatja be. A görbék lefutása hasonló, viszont a fagyasztott majd felengedett minták kezdeti G' értékei nagyobbak, mint a friss mintáé. Emiatt G_0' és G_0'' aránya változik, rugalmasabb tulajdonság jelenik meg.



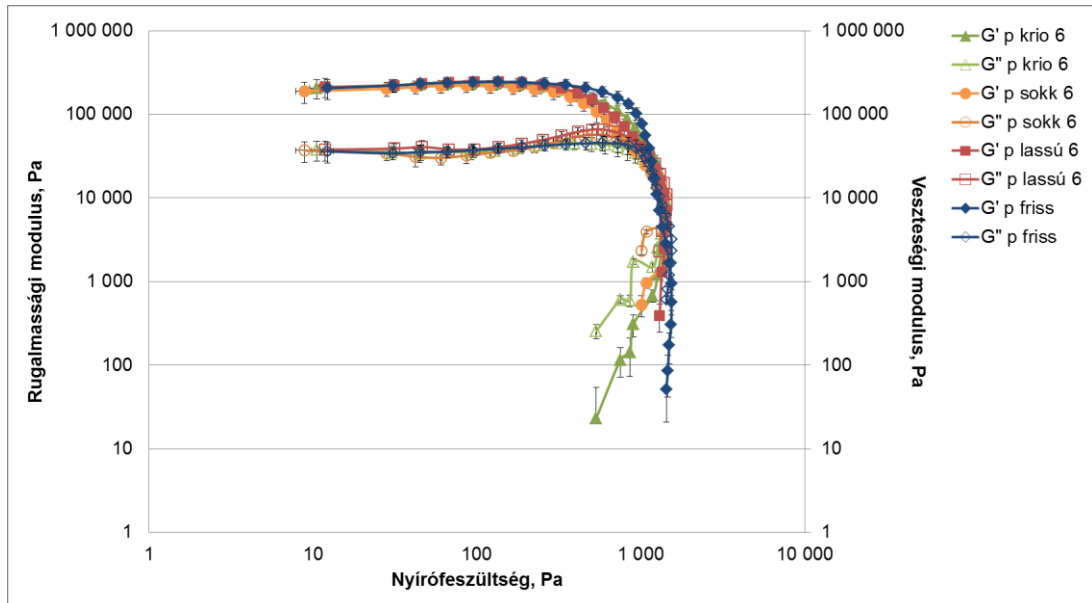
54. ábra Friss és a három féle fagyasztási móddal fagyasztott és 1 hónapig fagyasztva tárolt pudíngporral készített cukrászati krémek reogramjai

Az 55. ábrán a 3 hónapig tárolt cukrászati krémek láthatóak. Megfigyelhető, hogy a minták kezdeti értékei nem térnek el számottevően a friss mintától, viszont a nagyobb deformációhoz tartozó görbe meredeksége szemmel láthatóan változik, a kenhetőség romlik.



55. ábra Friss és a három féle fagyasztási móddal fagyasztott és 3 hónapig fagyasztva tárolt pudíngporral készített cukrászati krémek reogramjai

Az 56. ábrán, 6 hónapig tárolt minták reogramjai láthatóak.



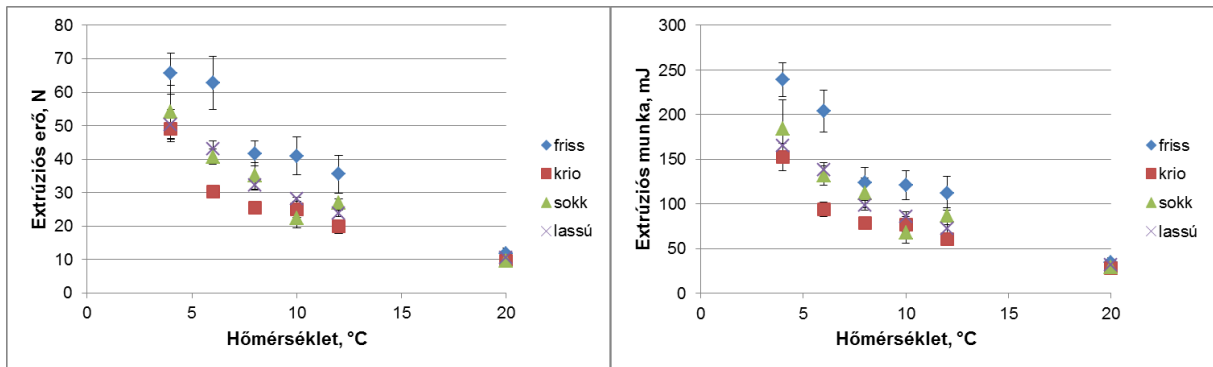
56. ábra Friss és a három féle fagyasztási móddal fagyasztott és 6 hónapig fagyasztva tárolt pudingporral készített cukrászati krémek reogramjai

A szerkezetbeli változások miatt a görbék lefutása megváltozott, kisebb deformálóerő is elég a minták folyásra készítéséhez, valamint a kenhetőségre utaló szakaszt már nem lehet értelmezni, ugyanis a krémek szerkezete megváltozott, a nagy deformáló erő hatására fázisátfordulás történt. Emiatt zsírfázis egybeolvad és apró vízcseppek jelennek meg, amelyen a mérőfej megcsúszik. Ez a változás már az 5. hónapban megjelent minden mintánál.

A kukoricakeményítővel készített cukrászati krémek is hasonló tulajdonságot mutattak. Ezek alapján a fagyasztva tárolást maximum 4 hónapig érdemes végezni, ekkor a krémek még látható és érzékelhető szerkezetbeli változásokat nem mutatnak, és elviselik a nagyobb deformációs erőt is, ami gyakorlati szempontból azért fontos, hogy a krémek keverhetőek és kenhetőek legyenek.

5.2.3. Állománymérés eredményei

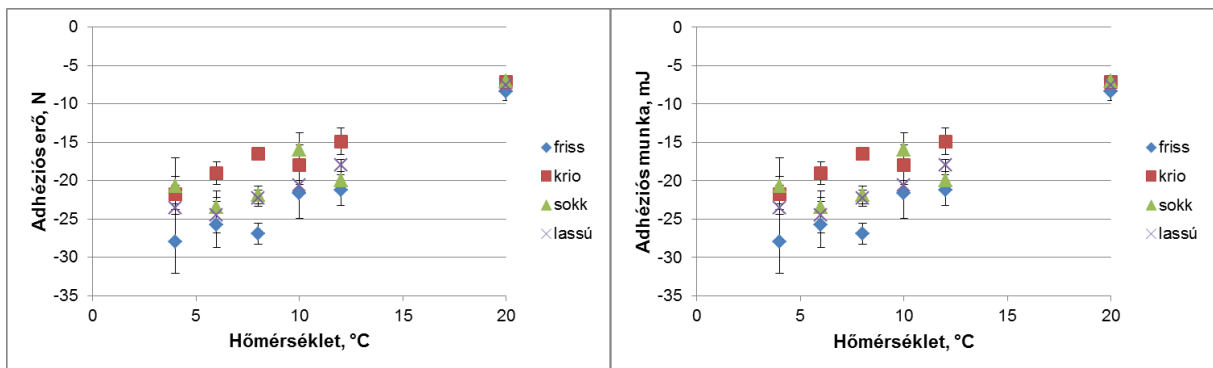
Az állománymérés során összehasonlítottam a friss és a 6 hónapig tárolt pudingporral készített cukrászati krémek extrúziós és adhéziós paramétereit. Az 57. ábrán a három fagyasztási móddal készült és 6 hónapig fagyasztva tárolt cukrászati krémek extrúziós erőinek és munkának alakulását mutatom be 4 és 20°C között.



57. ábra Az extrúziós erő és munka változása a fagyasztási módok és a hőmérséklet függvényében

Megfigyelhetjük, hogy a friss minta magasabb extrúziós értékekkel rendelkezik a fagyasztva tárolt mintákhoz képest. A minták 12°C alatt puhábbak a friss mintáknál, azonban 20°C-on már nem látható különbség.

Az 58. ábra az adhéziós erőt és munkát mutatja be, a tendencia hasonló a előbbiekhöz. A legnagyobb változások a kriogén fagyasztási móddal fagyasztott minták esetében figyelhetők meg. Összefoglalva az eredményeket a megállapítható, hogy az alacsonyabb extrúziós és magasabb adhéziós paraméterek a cukrászati krémek esetében a szerkezet részleges destabilizációjával magyarázhatók. A minták a mérés során nem szenvedtek fázisátfordulást, mint az oszcillációs méréseknél, viszont egyértelmű a szerkezet összetartó erejének gyengülése, amely a minták puhulását okozza.



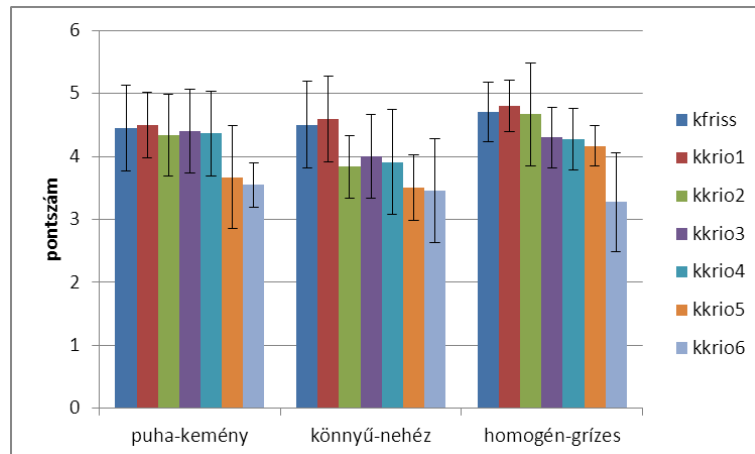
58. ábra Az adhéziós erő és munka változása a fagyasztási módok és a hőmérséklet függvényében

5.2.4. Érzékszervi teszt eredményei

A kísérletsorozatomban fontosnak tartottam kitérni arra, hogy az emberi szubjektív érzékelés hogyan látja a cukrászati krémek alakulását a fagyasztva tárolás alatt, illetve találunk-e különbséget a fagyasztási módok valamint a kukoricakeményítővel és pudingporral készített minták között. Az érzékszervi bírálatok sajnálatos „hibája”, hogy a különböző emberi

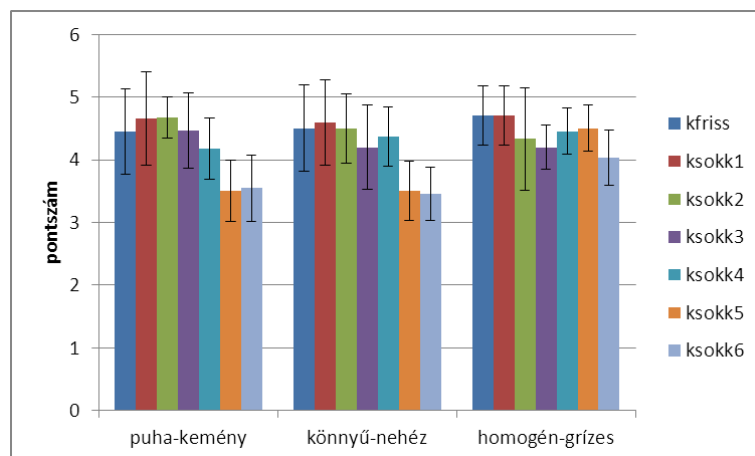
tényezőkből adódóan nagy szórásokat kapunk, azonban látható az a tendencia, amelyet az oszcillációs mérés során kaptunk, vagyis, hogy a minták a 4 hónap után szerkezetükben megváltoztak. Ez a szerkezeti változás leginkább a homogén állományt érinti.

A 59. ábrán a kukoricakeményítővel készített és kriogén fagyasztási móddal fagyasztott cukrászati krémek eredményeit mutatom be. Mind a puha, könnyű és homogén állomány a tárolás első szakaszában kismértékű csökkenő tendenciát mutat, azonban az 5. és 6. hónapban mért értékek már jelentős minőségromlásról árulkodnak.



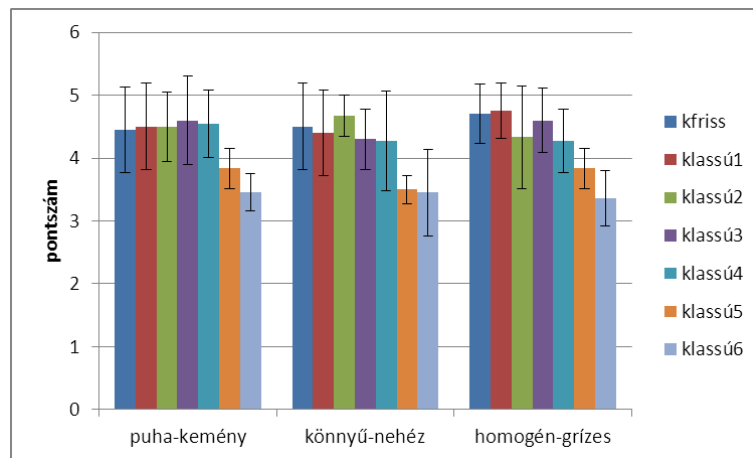
59. ábra Kukoricakeményítővel készített és kriogén fagyasztási móddal fagyasztott cukrászati krémek érzékszervi eredményei

A 60. ábrán az áramló levegővel fagyasztott minták érzékszervi eredményei láthatók. Az előző eredményekkel összehasonlítva a tendencia hasonló, viszont nem tapasztaltak a bírálók akkora különbségeket, mint a kriogén fagyasztási móddal fagyasztott mintáknál.



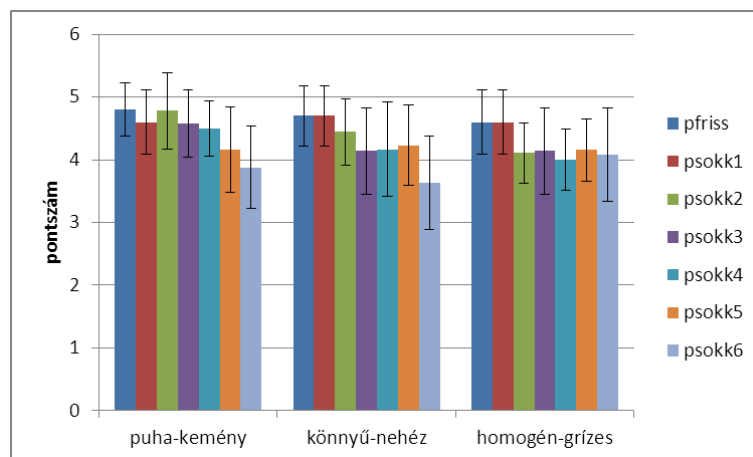
60. ábra Kukoricakeményítővel készített és áramló levegővel fagyasztott cukrászati krémek érzékszervi eredményei

A 61. ábrán a lassú fagyasztással készített cukrászati krémek eredményei láthatók. Ebben az esetben a friss és a 6. hónapban kóstolt minták között nagy különbségeket láthatunk, viszont a minőségvesztés sokkal kiegyenlítettebb, fokozatos a minőségromlás.



61. ábra Kukoricakeményítővel készített és lassú fagyasztási móddal fagyasztott cukrászati krémek érzékszervi eredményei

A 62. ábrán a pudingporral készített áramló levegővel fagyasztott minták érzékszervi eredményei láthatók. Ennél a mintasorozathoz az egyes fagyasztási módok között a bírálók nem tudtak különbséget tenni, azonban a tárolási idő itt is hasonló tendenciát mutatott, csak a minőségromlást kisebb volt, mint az előző mintáknál.



62. ábra Pudingporral készített és áramló levegőben fagyasztott cukrászati krémek érzékszervi eredményei

Összefoglalva a tárolási kísérlet eredményeit, megállapítható, hogy az egyes mérési módszerek együttes használatával lehet csak teljes körűen értékelni a cukrászati krémeket fagyasztva tárolás során. Ugyanis a szerkezetbeli változásokat csak többféle mérési módszerrel lehet feltérképezni, és együttes értékelésükkel kiválasztható, hogy melyik fagyasztási mód és milyen hosszú tárolási idő az, ami mellett még megfelelő minőségű terméket kapunk. A

termofizikai tulajdonságok mérésével a bekövetkezett mikroszerkezeti változásokat tudjuk detektálni. Az amplitúdó söprés módszerével arra kaphatunk választ, hogy adott tárolt minta mekkora deformációt képes elviselni fázistátfordulás nélkül. Az állománymérési módszerekkel a fagyasztások közötti apró különbségeket tudjuk kimutatni. Az érzékszervi tulajdonságok mérésével pedig ki tudjuk választani a fagyasztásra alkalmasabb alapanyagokat.

A fenti eredményekből tehát azt a következtetést vonhatjuk le, hogy a pudingporral készített cukrászati krémek a bennük levő módosított keményítő miatt alkalmasabbak lehetnek fagyasztásra és fagyasztással történő tartósításra. Az áramló levegős fagyasztási mód és maximálisan 4 hónap tárolási idő, ami mellett a krémek még megfelelő stabil szerkezettel rendelkeznek a további feldolgozásra.

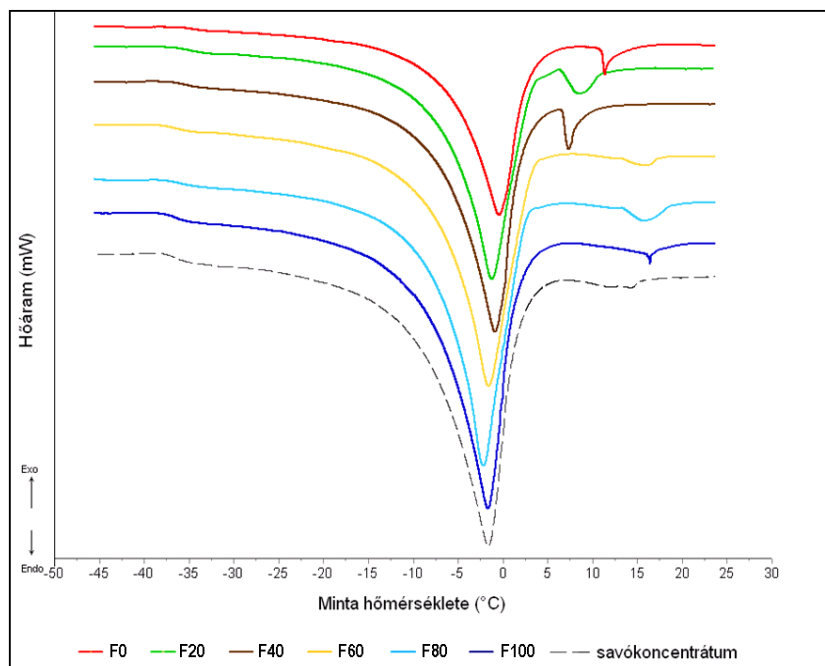
5.3. Fagylaltok mérési eredményei

A következő méréssorozatban tejes fagylaltokba adagolt savanyú savó koncentrátum hatását vizsgáltam termofizikai, reológiai és érzékszervi szempontok alapján.

5.3.1. Hőfizikai eredmények

Az 63. ábrán a savanyú savó koncentrátum és a fagylaltminták hőáram görbéi láthatók. A görbék hasonló lefutásúak. A görbe első szakaszán minden mintánál megfigyelhető az üvegesedési tulajdonság -40° és -35°C között amely Schenz kutatásaival összhangban van, (SCHENZ, 1995). Azt követően egy endoterm olvadási csúcs látható -10°C és 0°C között, mely a mintában levő jég olvadási csúcsa amelyet Alvarez és munkatársainak munkája is igazol (ALVAREZ et al. 2005). Az ábrán látható, hogy a savanyú savó koncentrátum mennyiségének növekedésével az olvadás egyre kisebb hőmérsékleten következik, annak ellenére, hogy a szárazanyagtartalmuk közel azonos volt (32 %).

A hőáram görbéken egy kisebb endoterm csúcs is látható $+5^{\circ}\text{C}$ és $+15^{\circ}\text{C}$ között, amely a tejsír olvadását jelzi MACNAUGHTAN & FARHAT (2008) kutatásai szerint. Ennek magyarázata, Kaylegian, Thanasukarn, Lopez és munkatársaik szerint az, hogy a tejsír több frakcióból áll, melyek közül az alacsony és közepes olvadáspontú frakciók 20°C alatt olvadnak. A tejsír folyékony (olein) frakciójának olvadási tartománya $+20^{\circ}\text{C}$... $+30^{\circ}\text{C}$ között van, ami az emulgeálás hatására történt változás miatt elcsúszhat negatív irányba. (KAYLEGIAN et. al, 1993; THANASUKARN et al. 2006; LOPEZ et al., 2006) Ez alapján a második csúcs valószínűleg a tejsír egyik frakciójának olvadását jelzi.



63. ábra Tejes fagylaltok hőáramgörbéi

A fagylaltkeverékekből mért kriozskópos hőmérsékletek (T_{kr}), valamint a hőáramgörbéről leolvasható hőfizikai paraméterek (T_g , T_{onset}) értékeit mutatom be a következő táblázatban.

13. táblázat Fagylaltok hőfizikai paraméterei

Fagylalt minták	T_{kr} (°C)	T_g (°C)	T_{onset} (°C)
F0	-2.64±0.08 ^a	-34.14±0.97 ^a	-5.55±0.57 ^a
F20	-2.69±0.13 ^a	-35.21±0.75 ^b	-6.33±0.36 ^a
F40	-2.99±0.13 ^b	-35.63±0.35 ^b	-6.51±0.91 ^a
F60	-3.04±0.14 ^b	-35.67±0.46 ^b	-6.72±0.21 ^b
F80	-3.09±0.01 ^b	-35.78±0.68 ^b	-7.01±0.27 ^b
F100	-3.34±0.08 ^b	-36.53±0.45 ^b	-7.96±0.97 ^b

^aNincs szingifikáns különbség a F0 mintához képest

^b Szingifikáns különbség van a F0 mintához képest

A kriozskópos hőmérsékletek -2,5 és -3,5°C között változtak, ami Baer és Clarke szerint beleesik az általános jégkrém-, és fagylaltkeverékek fagyáspont kezdeti fagyási tartományába. (BAER, 1999; CLARKE, 2012) Az F0 savanyú savó koncentrátum nélküli mintához képest 40% savanyú savó koncentrátum adagolásakor szignifikánsan csökkent a kriozskópos hőmérséklet, mely az ún. kolligatív tulajdonság miatt történik. Az egyik típusa a fagyáspont csökkenés jelensége, melynek mértéke függ a fagylaltkeverékben levő cukrok (szaharóz és tejcukor), ásványi sók, zsírok és fehérjék mennyiségétől. (BAER & CZMOWSKI, 1985) Ebben az esetben a magasabb tejcukor és ásványianyag tartalom az, ami csökkenti a fagyáspontot és a savanyú savó koncentrátum arányának növekedésével a fagyáspont arányosan csökken.

SCHENZ (1995) eredményeihez hasonlóan az én mintáimnál is az egyes savanyú savó koncentrátumot tartalmazó fagylaltminták üvegesedési hőmérséklete nem tért el egymástól jelentősen bár tapasztalható némi csökkenés, de ez nem számottevő változás. Azonban az olvadási tartományuk között szignifikáns eltérést tapasztaltam 60% savanyú savó koncentrátum adagolás felett, tehát ennél a paraméternél is megfigyelhető a fagyáspont csökkenés jelensége az egyre növekvő savanyú savó koncentráció hatására.

A kifagyasztható víz mennyisége fontos minőségi paraméter a fagylaltok esetében. A számolt értékek három hőmérsékletnél, -50°C-nál (a teljes kifagyasztható vízmennyiség), -18°C-nál (tárolási hőmérséklet) és -10°C-nál (fogyasztási hőmérséklet) a 14. táblázatban található.

A 14. táblázat adataiból jól látszik, hogy a fagylaltminták kifagyasztható víztartalma eltér a savanyú savó koncentrátumot nem tartalmazó mintáétól, -50°C-on a 60% feletti savóadagolás hatására csökken a kifagyasztható víztartalom, vagyis a savó komponensei szerepet játszanak a vízmegkötésben. Ezzel szemben -18°C-on és -10°C-on már minden savanyú savó koncentrátummal készült fagylalt kifagyasztható víztartalma kisebb, mint a savót nem tartalmazóé. Ennek oka, hogy a savanyú savó koncentrátumban levő tejcukor, ásványi sók és

savófehérjék több vízmolekula megkötésére alkalmasak, mint a szacharóz. (BERLIN et al., 1973)

14. táblázat Tejes fagylaltok kifagyasztható víztartalma (az eredeti víztartalom %-ában) -50°C-on, -18°C-on és -10°C-on

Fagylalt minták	FW% (-50°C)	FW% (-18°C)	FW% (-10°C)
F0	85±2.27 ^a	77±0.40 ^a	58±1.59 ^a
F20	79±7.34 ^a	71±1.78 ^b	55±1.72 ^b
F40	79±5.01 ^a	71±0.68 ^b	55±1.13 ^b
F60	80±3.78 ^a	73±0.20 ^b	55±0.70 ^b
F80	78±4.75 ^b	70±0.87 ^b	52±1.71 ^b
F100	81±1.46 ^b	71±0.12 ^b	50±0.07 ^b

^aNincs szingifikáns különbség a F0 mintához képest

^bSzingifikáns különbség van a F0 mintához képest

MUSE & HARTEL (2004) kutatásaihoz hasonlóan a csökkenő kifagyasztható vízmennyiség miatt a termékek olvadákonysága nőhet, de befolyásolja még a jégkristályok mennyisége és mérete is. Az olvadákonyság kisebb, ha például magasabb a zsírtartalom. (ROSSA et al., 2012)

5.3.2. Reométeres mérés eredményei

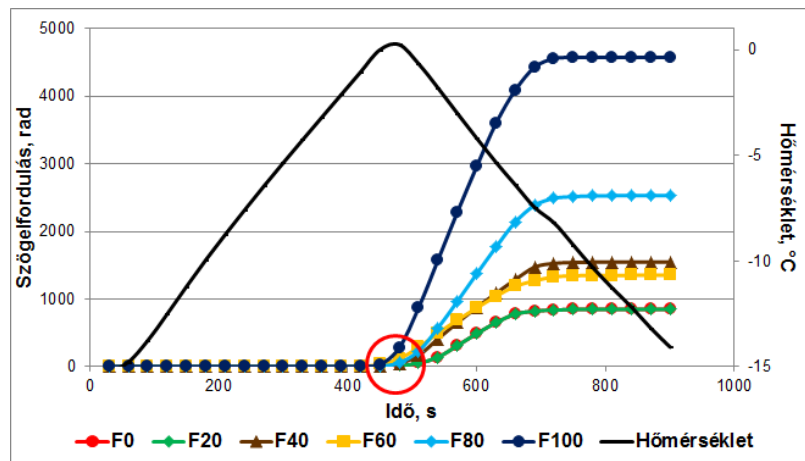
A következőkben a fagyaltminták viszkozimetriás mérési eredményeit mutatom be.

Nyomaték teszt eredményeinek értékelése

A nyomaték tesztet a fagyaltokon rotációs módban végeztem, azzal a céllal, hogy meghatározzam azt a hőmérsékletet, amelyen az összes minta állománya olyan szilárd, hogy az oszcillációs mérési módokban biztosan mérhető.

Ezzel a módszerrel meghatározható szögelfordulás értékeit ábrázoltam a hőmérséklet függvényében, és meghatároztam azt a hőmérsékletet, amelynél a szögelfordulás állandósul. Állandósult szögelfordulásnál biztosan szilárd a minta, tehát oszcillációs módban e hőmérsékleten mérhető lesz a fagyalt.

A minták a felmelegedés fázisának nagyobb szakaszában nem voltak mérhetőek. A 38. ábrán látható, hogy a szögelfordulás mértéke nulla, ugyanis ekkor a nyomaték értéke még annyira kicsi volt, hogy a műszer méréshatárán kívül esett. Azonban a hőmérsékletcsökkenés hatására a fagyaltkeverékben elkezdődött a fagyás, szilárdulni kezdett a minta, tehát a szögelfordulás értékei emelkedni kezdtek, így mérhetővé váltak a minták.

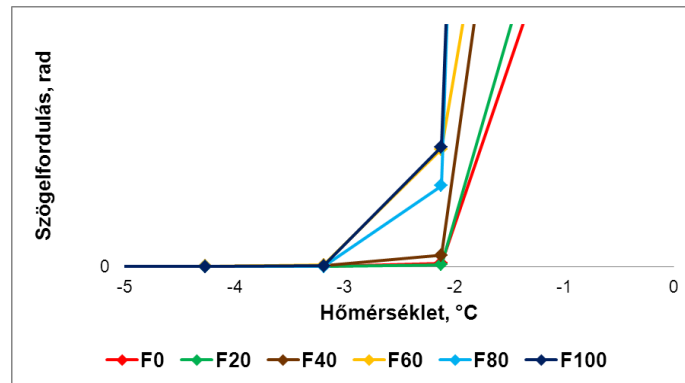


64. ábra Nyomaték teszt eredményei

Ahogy nőtt a fagyaltok savanyú savótartalma, úgy növekedett a görbék meredksége is (negatív irányba), amely azt jelenti, hogy minél több savanyú savót tartalmazott az adott fagyaltminta, annál lágyabb volt az állománya. Ezek mellett az is megfigyelhető, hogy a szögelfordulásnál tapasztalt változások egyre nagyobb szögelfordulás értékeknél történtek. Ezt a tartományt a 64. ábrán körrel jelöltem meg, melyet az 65. ábrán nagyítva szemléltettem.

Így pontosan meghatározható, melyik az a hőmérséklet, ahol a szögelfordulás értékeire megtörténik az első változás. A kevesebb savanyú savót tartalmazó fagyaltoknál ez az érték a -2°C körüli hőmérséklet. A minta ekkor elfolyik. Míg azoknál a fagyaltoknál, amik nagyobb mennyiségben tartalmaznak savanyú savót kb. -3°C -nál található az első mérhető pont. Ez utóbbi

minták tehát hamarabb kezdnek lágyulni a felmelegítés szakaszában, mint a kevesebb savanyú savót tartalmazó fagylaltok.

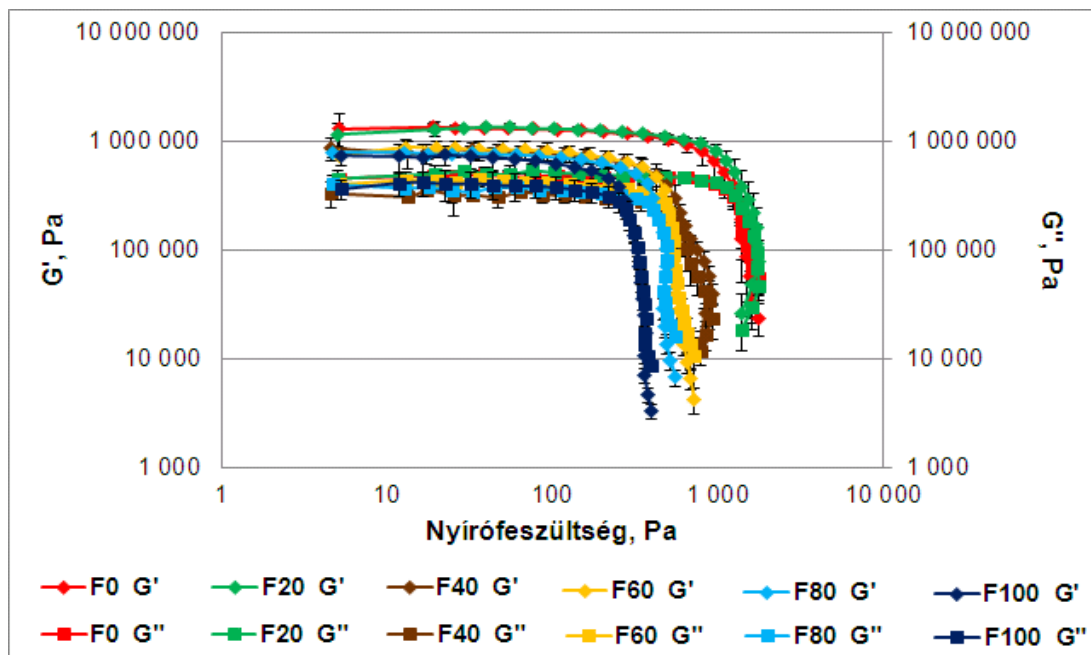


65. ábra Nyomaték teszt eredményei (nagyítás)

A visszahűtési szakaszban a szögelfordulás értékei egy bizonyos hőmérséklet után állandósultak. Ez annak köszönhető, hogy ekkorra ismét olyan kevésnek bizonyult a nyomaték értéke, hogy a mintákat nem tudta a műszert folyásra készíteni. Ez az összes minta esetében kb. -7 és -8°C körüli hőmérsékletre tehető. Így az amplitúdó és frekvencia söprés módszerének elvégzésére a -10°C-ot választottam, hiszen ezen a hőmérsékleten egészen biztos, hogy minden minta állománya olyan szilárd, hogy alkalmas az oszcillációs mérésekre, és a fagylaltok ideális fogyasztási hőmérséklete is -10°C körüli.

Amplitúdósöprés vizsgálata

Oscillációs mérési módban végeztem a fagylaltok amplitúdó söprés módszerének mérését. Ezzel a módszerrel azt vizsgáltam, hogy a fagylaltok állományára milyen hatást gyakorol a savanyú savómennyiség növelése.



66. ábra Fagylaltok amplitúdó söprés reogramjai

A 66. ábrán jól látható, hogy a különböző savanyú savótartalmú fagylaltok reogramjai hasonló lefutásúak, jellegük nem változott a különböző mennyiségű savanyú savóadagolás hatására. A reogramokról leolvasott paramétereket a 15. táblázatban foglaltam össze. A mérés kezdeti szakaszán (alacsony nyírófeszültségi értékeknél) a G' és G'' értékei nem változnak jelentősen. A fagylaltok szilárd halmazállapotúak, amit az jelez, hogy a rugalmassági modulus értéke nagyobb, mint a veszteségi modulus értéke ($G' > G''$). A savanyú savóadagolásnak köszönhetően a kezdeti értékek csökkenő tendenciát mutatnak, vagyis a fagylaltok lágyabbak lesznek a növekvő savanyú savó mennyiségének hatására.

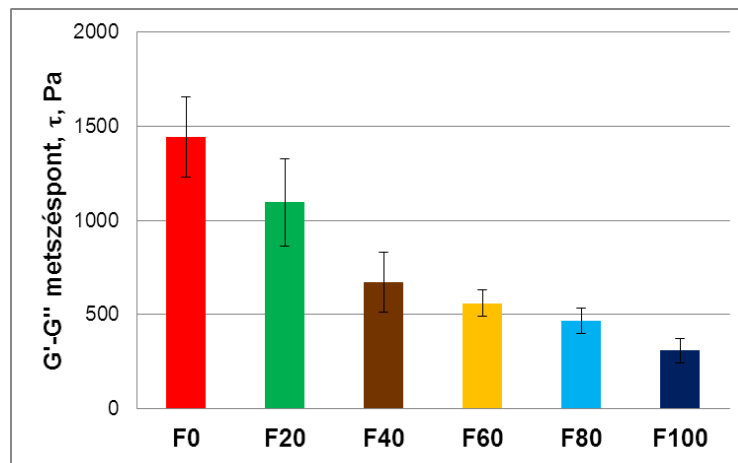
15. táblázat Amplitúdó söprés paraméterei

Fagylalt minták	G_0' (Pa)	G_0'' (Pa)	τ_{LVE} (Pa)	τ_M (Pa)
F0	$1,31 \cdot 10^6 \pm 4,85 \cdot 10^{5a}$	$4,61 \cdot 10^5 \pm 5,14 \cdot 10^{4a}$	$31,5 \pm 3,7^a$	1445 ± 212^a
F20	$1,17 \cdot 10^6 \pm 2,78 \cdot 10^{5a}$	$4,57 \cdot 10^5 \pm 9,08 \cdot 10^{4a}$	$24,9 \pm 8,2^a$	1097 ± 231^a
F40	$8,77 \cdot 10^5 \pm 2,11 \cdot 10^{5a}$	$3,34 \cdot 10^5 \pm 8,52 \cdot 10^{4a}$	$22,7 \pm 4,4^a$	673 ± 159^b
F60	$7,47 \cdot 10^5 \pm 4,55 \cdot 10^{4a}$	$4,06 \cdot 10^5 \pm 3,52 \cdot 10^{4a}$	$22,5 \pm 2,6^a$	560 ± 71^b
F80	$8,02 \cdot 10^5 \pm 8,64 \cdot 10^{4a}$	$4,06 \cdot 10^5 \pm 8,23 \cdot 10^{4a}$	$19,4 \pm 9,3^a$	466 ± 66^b
F100	$7,48 \cdot 10^5 \pm 1,44 \cdot 10^{5a}$	$3,67 \cdot 10^5 \pm 8,06 \cdot 10^{4a}$	$15,5 \pm 2,1^a$	309 ± 65^b

^a Nincs szignifikáns különbség a F0 mintához képest

^b Szignifikáns különbség van a F0 mintához képest

Az egyre növekvő kitérésnek köszönhetően a G' (rugalmassági modulus) kezdeti értékéhez képest 5%-os csökkenésénél elérünk a minták lineáris viszkoelaszikus tartományának a végéhez (τ_{LVE}), ahol szintén nem tapasztalható jelentős differencia az értékek között. Ez után a pont után meredeken csökkenni kezdenek a G' és G'' értékek, majd a két görbe keresztezi egymást ($G' = G''$), ebben a metszéspontban (τ_M) van a minták folyáshatára. Itt már szignifikáns differencia figyelhető meg, és a savanyú savó mennyiségének növekedésével lineárisan csökkennek a metszéspont nyírófeszültség értékei, amely a 67. ábrán jól látható. Ebből arra lehet következtetni, hogy a savanyú savó tartalom növelésével egyre kisebb deformáció erő is elegendő volt ahhoz, hogy a mintákat folyásra kényszerítsük, vagyis az egyre lágyabb és krémesebb állomány alakítható ki, amely a jelen lévő tejszírnak (tej és tejszín keveréke) és a savanyú savó alkotóelemeinek köszönhető. Tehát a savanyú savó mennyiségi növelése és a tejszír jelenlétének együttese elősegíti az egyre krémesebb és lágyabb állományú fagylaltok előállítását.



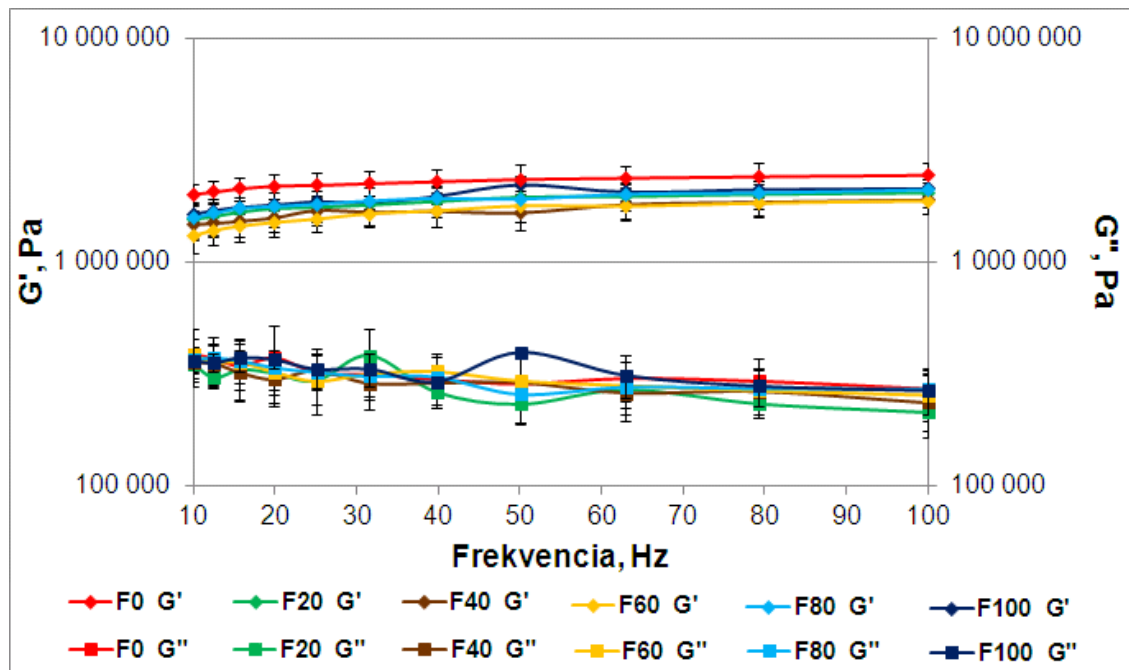
67. ábra Fagylaltok G' és G'' metszéspontja

Összességében megállapítható, hogy a savanyú savótartalom nem befolyásolja negatívan a fagylaltok paramétereit. A G' és G'' metszéspontra van egyedül hatással a savanyú savóadagolás növelése, ami azt jelenti, hogy egyre kisebb deformáló erő is elég arra, hogy a minták folyékony halmazállapotúvá váljanak, amely az egyre lágyabb és krémesebb állomány kialakulását támasztja alá.

Frekvenciasöprés vizsgálata

A frekvenciasöprés módszerével a minták időfüggő viselkedését vizsgáltam mind a savanyú savó-koncentráttal, mind az anélkül készült fagylaltok esetében, oszcillációs mérési módban. A vizsgálat megkezdéséhez meg kellett találnom azt az amplitúdó értéket (γ_v , %), amelyen a méréseimet végezhettem. Ennek az értéknek biztosan a lineáris viszkoelasztikus tartományba kell esnie, ahol a minta szerkezete még nem szenved irreverzibilis változást. Ezt az előző mérés alapján, az amplitúdó söprés módszerével határoztam meg, ami a 0,002%-os amplitúdó érték.

A mérés során meghatározott rugalmassági és veszteségi modulus értékeit ábrázoltam a frekvencia függvényében (68. ábra), amelyek két egymással nem érintkező görbét formáltak meg az adott frekvencia tartományon belül. Minden fagylaltnál a G' (szilárdságot mutatja) értékei egy nagyságrenddel nagyobbak a G'' (viszkózus tulajdonságot mutatja) értékeinél ($G':G''=10:1$). Tehát egyértelműen látható, hogy a fagylaltok gél tulajdonsággal is rendelkeznek. A fagylaltok G' (rugalmassági modulus) görbéinek meredeksége az adott frekvencia tartományon belül nem változik a savanyú savó adagolás növelésével. A G'' görbéi szintén nem mutatnak jelentős változást a savanyú savótartalom emelésével, csökkenő tendenciát mutat a vizsgált tartományon belül, viszont ennek a paraméternek a mérése kissé bizonytalan, mégpedig a fagylalt gél tulajdonsága miatt. Az összes fagylaltmintánál a G' és G'' görbéi kiszélesedő formát mutatnak a nagyobb frekvencia értékek felé.



68. ábra Frekvencia söprés eredményei tejes fagylaltok esetében

A kezdeti G' értékek csökkenő tendenciát követnek, az utolsó G' értékek viszont nem mutatnak jelentősebb eltérést a 10 Hz és 100 Hz közötti tartományban a savanyú savótartalom változására. Ezt a következő, 16. táblázatba foglalt értékek is szemléltetik, ahol a G' görbe kezdeti (G_0') és a G' görbe végpont (G_V') közötti aránypárokat is feltüntettem. Ez alapján a G_V'/G_0' arányszámai 1-hez közeli értékek, így nincs jelentős változás a görbék lefutásában, közel vízszintesek a teljes frekvencia tartományon belül. Tehát bár szignifikáns eltérés van a savanyú savó nélküli és savanyú savó-koncentrátummal készített minták között, de jellegük nem változott meg a savanyú savóadagolás hatására.

16. táblázat: Tejes fagylaltok rugalmassági modulus kezdeti és végpont értékei, azok aránya frekvencia söprés módszerénél

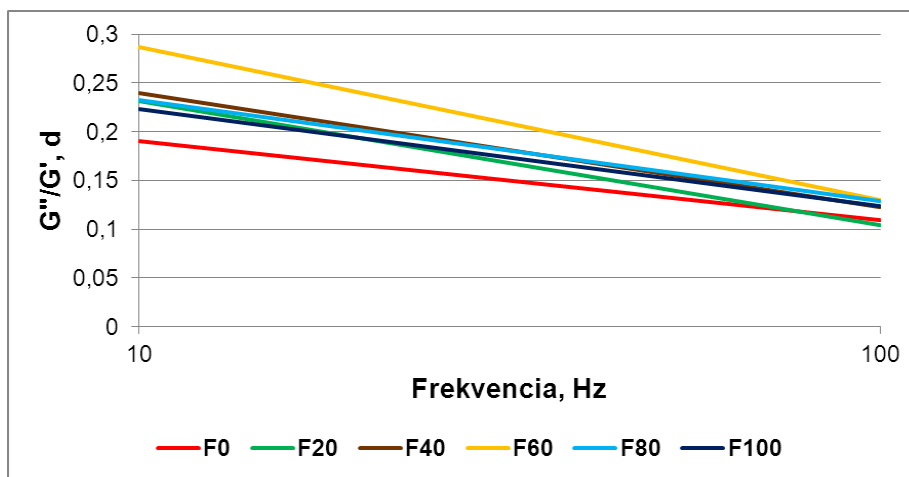
Fagylalt minták	G_0' (Pa)	G_V' (Pa)	G_V'/G_0'
F0	$2,02 \cdot 10^6 \pm 2,10 \cdot 10^{5a}$	$2,45 \cdot 10^6 \pm 3,12 \cdot 10^{5a}$	1,22 ^a
F20	$1,56 \cdot 10^6 \pm 2,89 \cdot 10^{5b}$	$2,05 \cdot 10^6 \pm 2,88 \cdot 10^{5a}$	1,31 ^b
F40	$1,47 \cdot 10^6 \pm 2,25 \cdot 10^{5b}$	$1,90 \cdot 10^6 \pm 2,56 \cdot 10^{5b}$	1,29 ^b
F60	$1,32 \cdot 10^6 \pm 1,85 \cdot 10^{5b}$	$1,88 \cdot 10^6 \pm 3,84 \cdot 10^{5b}$	1,42 ^b
F80	$1,58 \cdot 10^6 \pm 1,27 \cdot 10^{5b}$	$2,11 \cdot 10^6 \pm 8,89 \cdot 10^{4a}$	1,33 ^b
F100	$1,64 \cdot 10^6 \pm 1,30 \cdot 10^{5b}$	$2,14 \cdot 10^6 \pm 1,82 \cdot 10^{5a}$	1,30 ^b

^a Nincs szignifikáns különbség a F0 mintához képest

^b Szignifikáns különbség van a F0 mintához képest

A G' és G'' görbe állását és egymáshoz való viszonyát a δ , csillapítási tényező (damping factor) fejezi ki. Ezek az értékek azt mutatják meg, hogy milyen a G'' és G' görbéinek aránya, amelyből a minta halmazállapotára tudunk következtetni. Ha a két görbe pontjai messzebb helyezkednek egymástól, akkor a δ értéke kicsi lesz, ami azt jelenti, hogy a minta szilárd

halmazállapotú. Azonban ha közel helyezkednek egymáshoz, akkor a δ értéke nagy lesz, tehát a minta ekkor veszít a szilárdságából (folyik). A δ értékeire illesztett egyenes meredekségéből a minta tárolhatósági idejéről kaphatunk információt, azaz hogyan befolyásolja a tárolási idő a fagylaltok stabilitását. A δ értékét 10 Hz és 100 Hz értékeknél vizsgáltam, amely értékei egy egyenes képét formálják meg. Az ideális eset az lenne, ha a két görbe (G' és G'') párhuzamosan futna az adott frekvencia tartományon belül, hiszen ekkor a minta stabil gél szerkezetű lenne. Ha a két görbe közötti távolság csökken, akkor a minta veszít a gél szerkezetéből (el is veszítheti azt), így a viszkózus tulajdonságok dominálnak inkább. Ha pedig a két görbe egymáshoz képest távol helyezkedik el, akkor a minta inkább elasztikus tulajdonságokkal rendelkezik. A meredekségéből pedig következtethetünk a vizsgált minta tárolási idejére, azaz hogyan befolyásolja a tárolási idő a fagylaltok stabilitását. A 69. ábra ezen görbéket mutatja be.



69. ábra Frekvencia söprés módszerével meghatározott damping faktor értékek ábrázolása tejes fagylaltok esetében

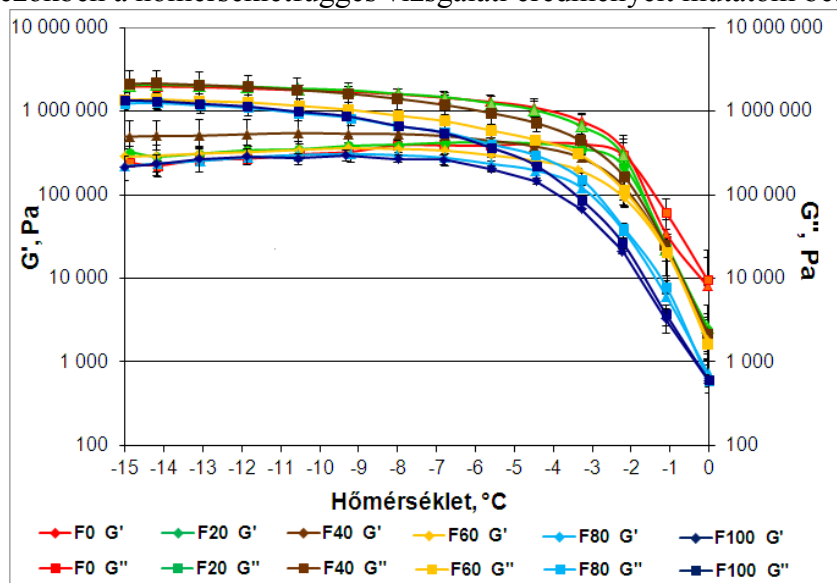
Megfigyelhetjük, hogy a savanyú savóadagolás hatására a referencia mintához képest (F0) nőnek a damping faktor értékek, vagyis olvadékonyabbak lesznek a fagylaltok. A görbék meredekségei is változnak kissé az idő függvényében, így kisebb-nagyobb minőségváltozások mennek végbe a tárolása során, de ez a változás nem jelentős, vagyis csak kis mértékben csökken a tárolhatósági idő. Önmagában a tejjel egy stabil rendszer alakítható ki, azonban ha savanyú savót adagolunk hozzá, ez a stabilitás romolhat. Ez figyelhető meg a kapott eredményeknél is.

A tejes fagylaltok, a savanyú savó koncentráttal kiegészítettek is, tehát alkalmasak a rövid távú tárolásra, azonban a tárolási idő előrehaladtával csökken a minták szilárdsága (100 Hz-től a 10 Hz felé), ami a termék eltarthatósági idejét csökkenti. Ezt igazolják az egymás felé tartó egyenesek is. (MEZGER, 2006)

Stabilitásuk a savanyú savó mennyiség növelésének hatására sem változott számottevően, tehát az eredmények alapján a savanyú savó a tárolhatóságot nem befolyásolja jelentősen. Fázisztváltás nem valószínű hosszú távú tárolás és szállítás alatt sem.

Hőmérsékletsőprés vizsgálata

A következőkben a hőmérsékletfüggés vizsgálati eredményeit mutatom be.



70. ábra Tejes fagylaltok hőmérsékletsőprés reogramjai

A fagylaltok hőmérsékletsőprés reogramjait a 70. ábra mutatja be. A különböző savanyú savótartalmú tejes fagylaltminták hőmérsékletfüggés reogramjai hasonló lefutásúak, de eltérő G' és G'' értékeket mutatnak. A G' és G'' értékek egy adott hőmérsékletig nem változtak, majd a hőmérséklet növelésével az G' és G'' értékek egyenletesen csökkenni kezdtek, végül elérték a metszéspontot. Ilyen alacsony hőmérsékleten a fagylaltok reológiai viselkedését elsősorban a jég mennyisége és a fagylalt mikroszerkezete (pl. légbuborékok száma, mérete, zsíreloszlás, jégkristályok mérete stb.) szabja meg.

Azon a hőmérsékleten, amelyen a teljes szabad vízmennyiség kifagyott (-50°C) a tárolási modulus (G') értéke maximális, a fagylalt szilárd testként viselkedik. Alacsony hőmérsékleti tartományban (-50°C ... -15°C között) a tapasztalat szerint, (amelyet a DSC mérések is alátámasztanak) a hőmérséklet növelésével a G' értéke nem változik, de enyhe növekedést mutat a rugalmassági modulus (G'') értéke, a fagylalt viszkózussá válik, „folyékonyága” nő, mivel csökken a jég mennyisége (WILDMOSER, 2004). Magasabb hőmérsékleten (-10°C ... 0°C között) azonban a G' és G'' értéke is csökken, mivel a jég további olvadása miatt a fagylalt teljesen megolvad, folyékonyá válik.

A savanyú savóval készült fagylaltokban a jég mennyisége (a kifagyasztott víz mennyisége) -18°C és -10°C között a teljes víztartalom 70%-áról kb. 50%-ra csökken (lásd 12. táblázat).

A F0 minta esetén -10°C , a F100 minta pedig -12°C volt az a hőmérséklet, ahol a G' és G'' görbék értékei csökkenni kezdtek, ami azt jelenti, hogy a savanyú savótartalom növelésével a

fagylaltok olvadékonyabbá válnak, ami a savanyú savó és a tej által hozott szerves makromolekulák, ásványi anyagok együttes hatásának tudható be. (BERLIN et al., 1973)

A hőmérséklet sörpés reogramok meredeksége a csökkenő szakaszban egyenletesen csökkent a savanyú savótartalom növelésével. Ez azt is jelenti, hogy a savanyú savókoncentráció adagolásával szélesebbé vált az a hőmérséklet tartomány, amelyben a fagylalt gélszerű viselkedést mutat ($G':G'' = 10:1$) (MEZGER 2006), azaz adagolható, kanalazható, könnyen lenyelhető. A fogyasztási hőmérsékleten (-10 °C -on) mért komplex viszkozitás értéke (17. táblázat) a fogyasztó által tapasztalt reológiai jellemző. A savanyú savós fagylaltok komplex viszkozitása 60% savanyú savótartalom felett szignifikánsan különbözött a savanyú savó nélkül készült fagylalt viszkozitásától. A savanyú savó arányának növekedésével a komplex viszkozitás értékek a F60 minta után fokozatosan csökkentek, a fagylalt -10 °C -on lágyabbá, könnyebben fogyaszthatóvá vált.

17. táblázat Fagylaltok hőmérsékletsörpés során mért komplex viszkozitás értékei -10 °C -on

Fagylalt minták	$\eta^*_{-10\text{ °C}}$ (kPa.s)
F0	188.6±21.1 ^a
F20	189.6±13.3 ^a
F40	165.2±67.3 ^a
F60	120.6±25.5 ^b
F80	99.7±18.1 ^b
F100	102.3±6.6 ^b

^a Nincs szignifikáns különbség a F0 mintához képest

^b Szignifikáns különbség van a F0 mintához képest

A reológiai mérések eredményei alapján a savanyú savó adagolás hatására javultak a fagylalt reológiai tulajdonságai: egyenletesebben olvadó, krémesebb állományú terméket kaptunk.

5.3.3. Érzékszervi vizsgálatok eredményei

A pontozásos érzékszervi bírálat eredményeit a 18. táblázat mutatja be.

18. táblázat Tejes fagylaltok érzékszervi bírálatának eredményei

Fagylalt minták	Szín	Íz	Állomány	Összbenyomás
F0	8.75±1.60 ^a	8.83±1.19 ^a	15.91±2.91 ^a	7.73±1.90 ^a
F20	8.58±1.83 ^a	8.58±1.44 ^a	14.91±3.39 ^a	8.17±1.80 ^a
F40	8.08±1.56 ^a	6.50±1.30 ^b	15.36±3.61 ^a	6.09±1.48 ^b
F60	8.33±1.67 ^a	4.42±1.62 ^b	14.91±3.73 ^a	5.00±1.26 ^b
F80	8.42±1.56 ^a	4.33±1.30 ^b	15.20±1.81 ^a	5.00±1.26 ^b
F100	8.50±1.62 ^a	3.00±1.21 ^b	15.00±3.93 ^a	4.27±1.19 ^b

^a Nincs szignifikáns különbség a F0 mintához képest

^b Szignifikáns különbség van a F0 mintához képest

Színben és állományban nem találtak különbséget a különböző savanyú savótartalmú tejes fagylaltok között a bírálók. Azonban 20%-os adagolás felett a savanyú savókoncentráció arányának növelésével az íz- és összbenyomás pontszámok fokozatosan csökkentek. A savanyú savó jellegzetes mellékíze nagyobb mennyiség alkalmazásánál megjelent a termékben, és jelentősen rontotta a fagylaltok érzékszervi tulajdonságát. Az összbenyomás tekintetében megfigyelhető, hogy az íz befolyásolja a legjobban a bírálókat.

19. táblázat Tejes fagylaltok érzékszervi állományprofiljának eredményei

Fagylalt minták	Krémesség	Homogenitás	Kanalazhatóság	Olvadékonyság
F0	8.75±1.14 ^a	9.33±0.98 ^a	9.08±1.00 ^a	7.58±1.68 ^a
F20	8.50±1.57 ^a	9.50±1.00 ^a	8.92±1.62 ^a	8.42±1.38 ^a
F40	8.33±1.40 ^a	8.83±1.44 ^a	8.67±1.45 ^a	7.58±1.60 ^a
F60	8.08±1.38 ^a	9.08±1.16 ^a	8.33±1.61 ^a	7.67±1.61 ^a
F80	8.17±1.40 ^a	8.92±1.44 ^a	8.50±1.45 ^a	7.75±1.60 ^a
F100	7.83±1.19 ^b	8.42±1.56 ^a	8.42±1.83 ^a	7.83±1.19 ^a

^a Nincs szignifikáns különbség a F0 mintához képest

^b Szignifikáns különbség van a F0 mintához képest

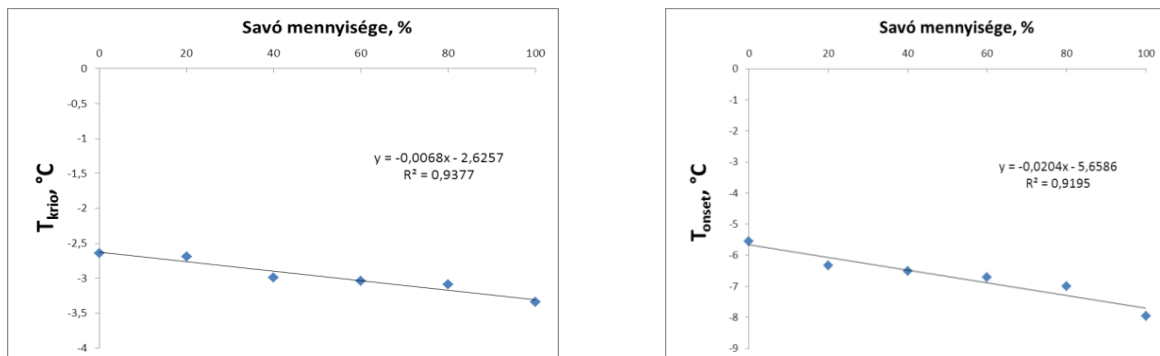
A bírálat második felében a bírálók a fagylaltok állományjellemezőit értékelték (19. táblázat). A fagylaltok minősége olyan állomány tulajdonságokkal írható le, mint a krémesség, olvadékonyság, homogenitás, kanalazhatóság (gombócolhatóság) (PRINDIVILLE et al. 2000; DOOLEY et al., 2010; INOUE et al., 2009).

A bírálók által adott pontszámok alapján szignifikáns eltérés nem található az egyes tejes fagylaltminták között, de a krémesség, homogenitás és gombócolhatóság pontszámai a savanyú savótartalom növelésével kis mértékben csökkentek.

5.3.4. Korrelációanalízis eredményei

Korrelációanalízist végeztem az egyes termofizikai, állomány és érzékszervi paraméterekkel, hogy megvizsgáljam van-e összefüggés a savanyú savó mennyiségének változása, illetve az egyes mérési módok és a hozzájuk tartozó paraméterek között. A korrelációanalízis eredménytáblázata az M6. mellékletben található.

A savanyú savó mennyiségének növelésével a termofizikai tulajdonságok fordított arányban változtak, vagyis mind a kriozkópos hőmérséklet, mind az üvegesedési hőmérséklet, valamint az intenzív olvadás kezdeti hőmérséklete a savanyú savó mennyiségének növekedésével lineárisan csökkent (71. ábra).



71. ábra Termofizikai jellemzők változása a savanyú savó mennyiségének függvényében

A savanyú savó mennyisége a fagylaltok reológiai tulajdonságaira is hatással volt. Az amplitúdó söprési módszerrel vizsgált minták kezdeti rugalmassági (G'_0) és veszteségi (G''_0) modulusai csökkentek, kisebb deformációs erő kellett a lineáris viszkoelasztikus tartomány vége és a metszéspont eléréséhez. A frekvenciasöprés módszerével mért paraméterek és a savanyú savó mennyisége között azonban nem találtam lineáris összefüggést. A hőmérsékletsöprésrel meghatározott komplex viszkozitás értékei viszont fordított összefüggést mutattak. Tehát mind az amplitúdó, mind a hőmérsékletsöprés esetében kimutatható, hogy a savanyú savó mennyiségének növelésével a fagylaltok egyre jobban lágyultak.

A savanyú savó mennyisége a fagylaltminták érzékszervi tulajdonságaira is befolyással volt. Az állományprofil analízis paraméterei – az olvadákonyságot kivéve, mely nem mutatott összefüggést a savanyú savó mennyiségének változásával – szintén fordított lineáris összefüggést mutattak. A savanyú savó mennyiségének növekedésével a minták krémessége, homogenitása kis mértékben csökkent, kanalizhatóságuk, vagyis az adagolhatóság mértéke romlott, de ez nem volt számottevő hatással az érzékszervi megítélésre.

A termofizikai tulajdonságok is összefüggést mutattak a reológiai és érzékszervi tulajdonságokkal. A DSC készülékkel mért paraméterek közti szoros összefüggés oka, hogy a hőáram görbék jellegzetes olvadási csúcsa a hozzáadott savanyú savó mennyiségével arányosan tolódott el, a görbék jellege, alakja ugyanakkor megegyezett.

Az amplitúdó söprés során mért paraméterek szintén szoros lineáris összefüggést mutattak a termofizikai tulajdonságokkal. Ez azért nagyon fontos eredmény, mert a termofizikai tulajdonságok a fagyalt szerkezeti változásaiért felelősek, és így egy kevés mintát és minta előkészítést igénylő egyszerűbb méréssel is nyomon követhetőek azok a változások, amelyek a fagyalt minőségéről és kezelhetőségéről adnak felvilágosítást. A G_0 értékei nem mutattak minden paraméterrel szoros összefüggést amiatt, hogy a fagyalt ezen paramétere nehezen mérhető, mivel inkább a rugalmas mint a viszkózus tulajdonság jellemző erre a termékre.

A hőmérséklet söpréskor mért komplex viszkozitás szoros lineáris összefüggést mutatott mindhárom termofizikai paraméterrel. Emellett az olvadékonyságon kívül az érzékszervi tulajdonságok is jól korreláltak a hőfizikai tulajdonságokkal. Ez is jól mutatja, hogy a kriozkópos hőmérséklet, az intenzív olvadás kezdeti hőmérséklete és az üvegesedési hőmérséklet mennyire befolyásolja az érzékszervi tulajdonságokat. Az olvadékonyság, mint érzékszervi tulajdonság nehezen megfogható, és ha csak kis különbségek vannak a minták között, azokat a műszeres mérésekkel ki lehet mutatni, míg a bírálók nem biztos, hogy érzékelik.

A frekvenciasöprés paraméterei gyakorlatilag nem korreláltak egyik mérési csoporttal sem, de ezzel a mérési móddal a tárolás alatti változásokat vizsgálhatjuk, és nem az érzékszervi tulajdonságokkal kapcsolatos paramétereket.

A hőmérséklet söpréssel mért komplex viszkozitás értékek szinte minden mért paraméterrel korreláltak. Az érzékszervi paraméterek közül a krémességgel és a kanalazhatósággal találtam szoros összefüggést, amely azt igazolja, hogy a komplex viszkozitás képes számszerűsíteni a fogyasztók által tapasztalt reológiai jellemzőket.

Összefoglalva megállapítható, hogy az érzékszervi tulajdonságokkal nem csak a vizsgált reológiai paraméterek, hanem a termofizikai tulajdonságok is szoros összefüggést mutattak. Gyakorlati szempontból tehát elegendő csak a termofizikai tulajdonságok és a hőmérséklet söpréssel meghatározható komplex viszkozitás értékek mérése, és ezekből becsülhetőek a fagyalt érzékszervi minőségét meghatározó állományjellemzők.

5.4. Új tudományos eredmények

1. Kimutattam, hogy a cukráziparban használt víz az olajban (pl. margarinok) és olaj a vízben (pl. margarin és keményítógél alapú cukrászati krémek) típusú emulziók kenhetőségének vizsgálatára a reometriás módszerek közül az amplitúdó söprés módszere alkalmazható. Szoros korreláció mutatható ki a nagy deformációs sávban a rugalmassági modulus (G') és a tárolási modulus (G'') görbékre jó illesztést mutató egyenesek meredeksége az állománymérő kenhetőségi (Spreadability rig) feltétjével mért állománytulajdonságok között.
2. Kimutattam, hogy a diszperz rendszerek fagyasztásánál a fagyasztás módja hatással van a termék tulajdonságaira. Méréseimmel igazoltam, hogy az ultragyors/kriogén fagyasztás kedvezőtlenül befolyásolja a cukrászati krémek állománytulajdonságait. Méréseim alapján javaslom a -35 °C -os 3-4 m/s légssebességű áramló levegőben történő fagyasztás alkalmazását.
3. Méréseim alapján bizonyítottam, hogy a -18 °C -on 4 hónap fagyasztva tárolás után a reológiai tulajdonságok hátrányosan változnak, ezért cukrászati krémeket tartalmazó cukrászati termékek fagyasztása és fagyasztva tárolása során a reológiai tulajdonságok változása miatt a maximális fagyasztva tárolási idő 4 hónap.
4. Megállapítottam, hogy -50 °C és $+50\text{ °C}$ között a differenciális pásztázó kalorimetriás (DSC) méréssel mért entalpiaváltozás értékek (J/g) változásából (víz olvadási entalpia értékének növekedése és egyidejűleg a zsír olvadási entalpia értékének csökkenése), és a csúcshőmérsékletek negatív irányba történő elmozdulásából kimutatható a cukrászati krémek (olaj a vízben emulzió) fagyasztás és fagyasztva tárolás hatására bekövetkező szerkezeti változása.

5. Megállapítottam, hogy a tejes fagylaltok termofizikai jellemzőit az amplitúdó söpréssel és hőmérséklet söpréssel mért állományjellemzőket a savókoncentráció befolyásolja. -10°C -on a növekvő savókoncentráció hatására a rugalmassági és tárolási modulus értékei csökkennek, a hőmérséklet söprésnél mért komplex viszkozitás értékek szintén csökkennek, és csökkennek a termofizikai jellemzők közül az intenzív olvadás kezdeti hőmérsékletei, így krémesebb, puhább lesz a fagylalt.

6. Kimutattam, hogy fagylaltok esetében a oszcillációs reometriával mért reológiai paraméterek és a differenciális pásztázó kaloriméterrel mért termofizikai tulajdonságok szoros összefüggést mutatnak. Gyakorlati szempontból a termofizikai tulajdonságok és a hőmérséklet söpréssel meghatározható komplex viszkozitás értékek mérése elegendő, és ezekből a fagylaltra jellemző állományjellemzők meghatározhatóak.

6. Következtetések és javaslatok

A fagyasztott desszertek piaca, beleértve a fagyasztott süteményeket, joghurtokat és jégkrémeket is, világszinten igen jelentős. A gyártók a tökéletes stabil állományú termékeket a legkülönbözőbb stabilizátorok és emulgeátorok felhasználásával tudják csak előállítani. Azonban a fogyasztói réteg egy részénél felmerült az igény olyan inkább kézműves jellegű termékekre, amelyek nem, vagy csak kis mennyiségben tartalmazzák ezeket az adalékanyagokat.

Mivel az ilyen típusú termékeket általában cukrászatok, vagy kisüzemek állítják elő, a kifejleszteni kívánt termékek kikísérletezése sok idő és alapanyag, mert ezek a termelők nem rendelkeznek a fent említett óriáscégek kutatás fejlesztési infrastruktúrájával. A kisüzemek gyakran alkalmazzák fagyasztást a megmaradt félkész anyagok minőségének megóvására. Azonban fontos tudni, hogy a fagyasztás hogyan hat például a krémek szerkezetére. Ezen kívül a fagylaltok, mint kézműves jellegű termékek, fejlesztése is fontos feladat. Ahhoz, hogy ismerjük ezen termékek tulajdonságait, a különböző akár tejipari melléktermékek felhasználásának korlátait mindenképpen műszerek mérésekre van szükség.

Ezért dolgozatom célja volt a zömében kézműves jellegű cukrászati krémek és fagylaltok műszeres vizsgálata. Megállapításaimból látható, hogy az egyes mérési módszerekkel vizsgálható a termékek szerkezete és szerkezetváltozása.

Azonban a szerkezetváltozásokat a jövőben szeretném más módszerekkel is feltérképezni, hogy még pontosabb képet kaphassunk a fagyasztás okozta destabilizációról. A krémek mellett fontos ismerni a különböző sütemények tésztaínak viselkedését a fagyasztás és tárolás során, mert ezek állománya is jelentősen változhat.

Jövőbeni terveim között szerepel olyan alapanyagok fagylaltokban való vizsgálata, amellyel az állománymódosítókat és stabilizátorokat ki lehet váltani.

A dolgozatomban alkalmazott módszerek mellett pásztázó elektron mikroszkópos vizsgálatokkal mint a krémek mind a fagylaltok szerkezeti változásait nyomon lehet követni, amely a kézműves élelmiszerek fejlesztésében nagy előrelépés lehetne.

7. Összefoglalás

Az élelmiszerek többsége bonyolult komplex rendszer, amelyeknél ismernünk kell a gyártás és tárolás során bekövetkező változásokat. Emellett például adott termék fejlesztése során tudnunk kell, hogy a hozzáadott összetevők hogyan befolyásolják az élelmiszer tulajdonságait.

Napjainkban a kézműves, (akár adalékanyagoktól mentes) termékek iránt egyre nagyobb a kereslet, ez a cukrászati termékekre is igaz. A különböző cukrászati krémekkel töltött sütemények és fagylaltok nagy népszerűségnek örvendenek. Azonban ezek kezelése és fejlesztése csak tapasztalati úton valósult eddig meg kisüzemi méretekben. Fontos tudnunk, hogy a például fel nem használt krémeket hogyan lehet tartósítani oly módon, hogy a kialakított stabil szerkezetét megtartsuk, és a majdani felhasználás során is megfelelő érzékszervi tulajdonságú termékeket kapjunk. A fagylaltok fejlesztése is aktuális téma, az ízesítésre számtalan variáció létezik, a képzelet sem szab már határt, ha megfelelő fagylaltalappal rendelkezünk. Azonban az alapfagylalt receptúráját megváltoztatva teljesen más olvadákonyságú, állományú terméket kaphatunk.

Dolgozatom témájaként ezért a kézműves jellegű cukrászati krémek és fagylaltok szerkezetének stabilitását vizsgáltam termofizikai és állománytulajdonságok mérésére alkalmas műszerekkel. Arra kerestem a választ, hogy hogyan hat a krémek esetén a fagyasztás és fagyasztva tárolás, illetve a fagylaltoknál a hozzáadott savanyú savanyú savókoncentrátum a termofizikai tulajdonságokra és az állományra.

Célkitűzéseim ezek alapján a következők voltak:

Cukrászati krémek esetében meghatározni, hogy van-e különbség a fagyasztási módok és a fagyasztva tárolás időtartamában, különös tekintettel a termofizikai és szerkezetbeli változások feltérképezésével, valamint, hogy ezek a különbségek milyen módszerekkel mutathatók ki. Van-e összefüggés az egyes mérési paraméterek és mérési módszerek között. Valamint a méréseim alapján meghatározni a megfelelő fagyasztási technikát és a maximális fagyasztva tárolási időtartamot.

Fagylaltok esetében a savanyú savókoncentrátum befolyásolja-e a fagylaltok szerkezetét és fizikai tulajdonságait. Van-e összefüggés az egyes mérési paraméterek és mérési módszerek között, és mely módszerekkel lehet feltérképezni a fagylaltok fizikai tulajdonságait, szerkezetbeli változásait.

Vizsgálataimat különböző margarinok állományának vizsgálatával kezdtem, hogy meghatározzam, milyen típusú margarinok alkalmazhatóak olyan cukrászati krémek készítéséhez, amelyek a fagyasztás hatására is stabil rendszert alkotnak. Ennek meghatározására hőmérséklet söprés módszerét alkalmaztam, és azt az eredményt kaptam, hogy egy cukrászati célmargarin (Meister Creme) jó alapanyaga lehet további kísérleteimnek.

A kiválasztott margarint habosítottam és vizsgáltam hőmérsékletfüggő viselkedését amplitúdó söprés módszerével illetve állományméréssel, kenhetőségi feltét alkalmazásával. Majd elkészítettem a cukrászati krémet pudingporból főzött gél és kihabosított margarin felhasználásával. A hőmérsékletfüggő viselkedést itt is a fent említett két módszerrel mértem, és összehasonlítottam a margarin és cukrászati krém valamint a két mérési módszer eredményeit. Megállapítottam, hogy a két mérési módszerrel feltérképezhetőek a minták állomány tulajdonságai, mint például a szilárdság vagy a kenhetőség. Meghatározható az optimális feldolgozási hőmérséklet, amely méréseim alapján 10-14°C. A minták ebben a hőmérsékleti tartományban jól keverhetőek, jól kenhetőek. A két mérési módszer mérési paramétereit összehasonlítva szoros korrelációt találtam a minta szilárdságát és összetartó erejét meghatározó kezdeti rugalmassági és veszteségi modulusok és a metszéspontban mért rugalmassági modulus és az állománymérés során mért extrúziós és adhéziós tulajdonságai közt. Emellett a kenhetőséget meghatározó extrúziós erő és munka értékek is szoros korrelációt mutattak a rugalmassági és veszteségi modulus görbék metszéspont utáni szakaszára illesztett egyenesek meredekségével. Tehát a kenhetőség mérhető és számszerűsíthető stabil emulziók esetében oszcillációs módszer segítségével is.

A következő kísérletsorozatban pudingporral és kukoricakeményítővel készített cukrászati krémeket folyékony nitrogénnel (kriogén fagyasztási mód), áramló levegőben és lassú fagyasztási móddal fagyasztottam, majd 6 hónapig tároltam -24°C-on havonta mintát véve. A termofizikai paramétereket differenciális pásztázó kaloriméterrel határoztam meg, az állománytulajdonságok változását pedig oszcillációs viszkoziméterrel illetve állománymérő készülékkel. Megállapítottam, hogy a pudingporral készített minták stabilabbak, mint a natív kukoricakeményítővel készültek. A DSC mérésekkel kimutathatóak a fagyasztva tárolás során bekövetkező szerkezetbeli változások, amelyek a keményítő retrogradációja, és a zsírfázis destabilizációja, és ennek eredményeképpen létrejövő fázisátfordulás. Az oszcillációs viszkoziméterrel mért állományparaméterekben is változás következett be, az 5. hónaptól a kenhetőséget jellemző S1 és S2 paraméterek már nem voltak mérhetőek, mert a nagy deformálóerő hatására bekövetkezett a fázisátfordulás, és a mintán megcsúszott a mérőfej. Az állománymérés eredményeiből a fagyasztási módok szerkezetre gyakorolt hatását tudjuk

kimutatni, és meghatározni a megfelelő fagyasztási technika alkalmazását. Az érzékszervi teszt eredményeiből a két típusú cukrászati krém közötti különbséget és a még megfelelő érzékszervi tulajdonságokkal rendelkező mintákat tudjuk kimutatni. A fenti eredményekből megállapítható, hogy a kriogén fagyasztásnál és a lassú fagyasztásnál jobb eredményt ad az áramló levegőben történő fagyasztás. Az áramló levegőben történő fagyasztás után maximálisan 4 hónapig lehet fagyasztva tárolni az ilyen típusú cukrászati krémeket, hogy mind további felhasználásra, mind fogyasztásra a még megfelelő stabil szerkezettel rendelkezzenek.

A következő kísérletsorozattal a fagyaltok tulajdonságainak változását figyeltem meg savanyú savókoncentrátum adagolásának hatására. Méréseimet DSC-vel oszcillációs viszkoziméterrel három mérési módban végeztem, és érzékszervi bírálatot is tartottam. Bebizonyítottam, hogy a savanyú savó adagolása csökkenti az intenzív olvadás kezdeti hőmérsékletét és a ki nem fagyasztható víztartalmat, amely befolyásolja a fagyaltok olvadási és állománytulajdonságait. Kimutattam, hogy a savanyú savókoncentrátum pozitívan hatott a fagyaltok krémességére és lágy jellegének kialakulására azáltal, hogy csökkent a két görbe metszéspontjánál mérhető nyírófeszültség értéke. A frekvenciasöprés módszerével a fagyaltok stabilitására és időfüggő viselkedésére következtethetünk. Méréseim azt mutatták, hogy a savanyú savó koncentrátum mennyiségének növelése kismértékben csökkentette a fagyaltok stabilitását, de rövid és hosszú távú tárolást és szállítást is elvisel a minta fázisszétválás nélkül. Hőmérséklet söprés módszerével kimutattam, hogy a savanyú savókoncentrátum adagolásával a fagyaltok kezelése szélesebb hőmérséklettartományban lehetséges. Az érzékszervi bírálatok kimutatták, hogy a savanyú savó mennyiségének adagolása a krémességre, a homogenitásra és a gombócolhatóságra kis mértékben hatással van, viszont 20% feletti adagolása nem javasolt, mert a savanyú savó koncentrátum jelentősen megváltoztatja a fagyaltok ízét. Korrelációanalízist végeztem és megállapítottam, hogy a termofizikai és reológiai tulajdonságok szoros összefüggést mutatnak egymással, tehát DSC-vel és hőmérséklet söprés módszerével meghatározott paraméterek teljeskörűen jellemzik a fagyalt legfontosabb minőséget meghatározó tulajdonságait.

8. Summary

The majority of foods are complicated complex systems, and we must recognize and know the changes occurring during processing and storage. In addition, we need to know, for example when developing a product, how the added components affect the properties of the food. Nowadays the demand for artisanal products (even without additives) is steadily growing, it is also true for pastry products. The various cakes filled with pastry cream and ice creams are very popular. However, the handling and development of these have been established only empirically in small scale plants. It is important to know for example, how the unused creams could be preserved in such a manner as to maintain the formed stable structure, and obtain appropriate organoleptic properties of the products during future use. Development of ice cream is also an actual topic, there are countless variations of flavoring, no longer limited by imagination, if we have a proper ice cream base. However, if we change the basic ice cream recipe we will have a product with completely different melting and textural characteristics. Therefore, I chose as the topic of my dissertation the research of the stability of artisanal confectionery creams and ice creams with instruments capable of thermophysical and rheological measurements. I tried to find out how are thermophysical and textural characteristics affected by freezing and frozen storage in creams and the addition of acid whey in ice creams.

My objectives based on that were the followings:

To determine for confectionery creams, whether there is a difference in the methods of freezing and the period of frozen storage, in particular with regard to monitoring the changes in thermophysical and structural characteristics, and which methods are the most suitable to detect these differences.

Is there any correlation between the measurement parameters and measurement methods?

To define the proper technique of freezing and the maximum frozen storage period based on the measurements.

Does the whey concentrate affect the structure and physical properties of the ice cream? Is there any correlation between the measurement parameters and measurement methods, and which techniques can be used to monitor the physical properties, and changes in structure of ice cream?

I began my research by examining the margarine assortment to determine what types of margarines can be used to create confectionery creams, which form a stable system in spite of

freezing. To determine this I used the temperature sweep method, and I got the result that a special margarine (Meister Creme) could be a good basic material for further experiments. I whipped the selected margarine and studied its temperature-dependent behavior with the amplitude sweep method and by texture measurement using a spreadability rig. Then I prepared the confectionery cream cooked from pudding gel and whipped margarine. I measured the temperature-dependent behavior with the two above mentioned methods and compared the margarine and confectionery cream and the results of the two measurement methods. I determined that textural properties, such as firmness or spreadability, can be monitored with the two measurement methods,. The optimal processing temperature can be set, which is between 10 and 14 ° C, based on my measurements. The samples in this temperature range can be mixed and spread well. Comparing the measurement parameters of the two measurement methods, I found strong correlation between initial modulus of elasticity and loss modulus determining the firmness and cohesivity of samples, and between modulus of elasticity, measured in the intersection, and extrusion and adhesion properties measured by texture analysis. In addition, extrusion force and work values, determining the spreadability, showed a strong correlation with the slopes fitted to the curve sections of the modulus of elasticity and the loss modulus after their intersection. So spreadability is measurable and quantifiable for stable emulsions using the oscillating method, too. In the next series of experiments, I froze confectionery creams made by pudding powder and corn starch by liquid nitrogen (cryogenic freezing mode), air blast and slow freezing method, then stored them at -24 ° C for 6 months. Samples were taken in every month. The thermo-physical parameters were determined by differential scanning calorimeter, changes in the textural properties were measured by an oscillatory viscometer and a texture analyser. I found that the samples prepared with pudding powder were more stable than those made by native corn starch. DSC measurements detected changes in structure occurring during frozen storage such as starch retrogradation, and destabilization of the fat phase, and as a result, phase inversion. Changes occurred in the parameters measured by oscillatory viscometer. From the fifth month on S1 and S2 parameters, typical of the spreadability, could not be measured because phase inversion occurred as the effect of large deforming force, and the probe slipped on the sample. We can demonstrate the effect of freezing methods on the sample structure with the results of texture analysis, and determine the application of the appropriate freezing technology. The sensory test results show the differences between the two spreads and the samples having satisfactory organoleptic properties can be detected. These results established that freezing in air blast gives better results than the cryogenic and slow freezing. After air blast freezing, this type of confectionery cream can be stored frozen for up to 4 months, to ensure an adequately stable structure for further use and consumption.

In the next series of experiments I investigated the effect of addition of whey concentrate on the changes in the properties of ice cream. I performed measurements with DSC, oscillatory viscometer in three measurement modes, and sensory test was also carried out. It was proved that the addition of whey reduces the initial temperature of melting and the amount of unfreezable water, which affects the melting and textural characteristics of ice cream. I pointed out that the whey concentrate positively affected the creaminess of ice cream and the development of its soft character by decreasing the shear stress value measured in the intersection of the two curves. The frequency sweep method refers to the stability and the time-dependent behavior of the ice cream. Measurements showed that increasing the amount of whey concentrate slightly reduced the stability of the ice cream, but the sample can endure short and long-term storage and transportation without phase separation. Temperature sweep method showed that by the addition of whey concentrate, handling of ice cream is possible in a wider temperature range. The sensory tests have shown that the addition of whey had little impact on the creaminess, the homogeneity and the scoopability of ice cream, but its addition above 20% is not recommended, because whey concentrate significantly alters the flavor of ice cream. I made correlation analysis and I found that the thermophysical and rheological properties showed a strong correlation with each other, so the parameters determined by DSC and temperature sweep method completely characterize the most important quality properties of ice cream.

Mellékletek

M1 Irodalomjegyzék

1. ADAPA, S., DINGELDEIN, H., K. A. SCHMIDT, A., HERALD, T. J. (2000): Rheological Properties of Ice Cream Mixes and Frozen Ice Creams Containing Fat and Fat Replacers, *Journal of Dairy Science* 83, pp. 2224–2229
2. AGNELLI, M. E., MASCHERONI, R. H. (2002): Quality evaluation of foodstuffs frozen in a cryomechanical freezer, *Journal of Food Engineering*, 52, pp. 257-263.
3. AGUDELO, A., VARELA, P., SANZ, T., FISZMAN, S. (2014): Formulating fruit fillings. Freezing and baking stability of a tapioca starchpectin mixture model, *Food Hydrocolloids*, 40, pp. 203-213
4. AKTAS, N., TÜLEK, Y., GÖKALP, H.Y (1997): determination of freezable water content of beef semimembranous muscle DSC study, *Journal of Thermal Analysis*, 48, pp. 259-266
5. ALVAREZ, V. B., WALTERS, C. L., VODOVOTZ, Y., JI, T. (2005): Physical properties of ice cream containing milk protein concentrates *Journal of Dairy Science*, 88,(3) pp. 862-871
6. ARBOLEYA, J.-C., RIDOUT, M. J., WILDE, P. J. (2009): Rheological behaviour of aerated palm kernel oil/water emulsions, *Food Hydrocolloids*, 23, pp. 1358–1365
7. AROCAS, A., SANZ, T., FISZMAN, S.M. (2009): Influence of corn starch type in the rheological properties of a white sauce after heating and freezing, *Food Hydrocolloids*, 23, pp. 901–907
8. BAER, R. J., CZMOWSKI, T. P. (1985) Use of osmometer for quality control of ice cream mix. *Journal of Food Protection* 48, pp. 976–979
9. BAER, R. J., KRISHNASWAMY, N., KASPERSON, K. M. (1999): Effect of Emulsifiers and Food Gum on Nonfat Ice Cream, *Journal of Dairy Science* 82 (7) pp. 1416-1424

10. BALLA CS., BINDER I., (2002): Gyorsfagyasztott élelmiszerek tárolása, Szerk.: Beke Gy. Hűtőipari Kézikönyv 2. Technológiák, Mezőgazda Kiadó, Budapest, pp. 463-464
11. BALLA, CS. (2007): Élelmiszerek fagyasztása, Mezőgazda Kiadó, Budapest, pp. 5-74.
12. BALLA, CS., SÁRAY, T. (2002): Élelmiszerek tartósítása hűtőkezeléssel. Szerk.: Beke, Gy. Hűtőipari kézikönyv 2. Technológiák, Mezőgazda Kiadó, Budapest, pp. 7-96.
13. BALLA, CS., SÁRAY, T., MÉSZÁROS, L., TISZAI, M. (1992): Fagyasztott élelmiszerek vízállapotának tanulmányozása DSC módszerrel. Élelmezési Ipar, XLVI (4). pp. 105-108
14. BANERJEE, S., BHATTACHARYA, S. (2012): Food gels: gelling process and new applications, Critical Review Food Science Nutrition 52(4), pp. 334-346.
15. BÁNHEGYI, GY. (2005): Kristályos és amorf polimerek vizsgálata differenciális pásztázó kalorimetriával (DSC), Műanyagipari Szemle, 2005/01 (internetes folyóirat)
16. BERLIN, E., KLIMAN, P. G., ANDERSON, B. A., PALLANSCH, M. J. (1973): Water Binding in Whey Protein Concentrates, Journal of Dairy Science 56, pp. 984-987
17. BOLLIGER, S., GOFF, H.D., THARP, B.W. (2000/a): Correlation between colloidal properties of ice cream mix and ice cream, International Dairy Journal 10, pp. 303-309
18. BOLLIGER, S., WILDMOSER, H., GOFF, H.D., THARP, B.W. (2000/b): Relationships between ice cream mix viscoelasticity and ice crystal growth in ice cream, International Dairy Journal, 10, pp. 791-797
19. BORTNOWSKA, G., BALEJKO, J., TOKARCZYK, G., ROMANOWSKA-OSUCH, A., KRZEMINSKA, N. (2014): Effects of pregelatinized waxy maize starch on the physicochemical properties and stability of model low-fat oil-in-water food emulsions, Food Hydrocolloids, 36, pp. 229-237

20. BOURNE, M.C. (2002): Texture, Viscosity, and Food in: Food Texture and Viscosity: Concept and Measurement, Ed: Bourne, M.C., Elsevier Science & Technology Books, pp. 27,
21. BROSTOW, W. , CHIU, R. , KALOGERAS, I. M., VASSILIKOU-DOVA, A. (2008): Prediction of glass transition temperatures: Binary blends and copolymers, ScienceDirect, Materials Letters, 62, pp. 3152-3155
22. BURITI, F.C.A., CASTRO, I.A., SAAD, S.M.I. (2010): Effects of refrigeration, freezing and replacement of milk fat by inulin and whey protein concentrate on texture profile and sensory acceptance of synbiotic guava mousses, Food Chemistry, 123 (4), pp. 1190-1197
23. CHIEWCHAN, N. (2011): Effect of Processing on Microbial Growth and Inactivation in Foods in: Physicochemical Aspects of Food Engineering and Processing, Ed: DEVAHASTIN, S., Taylor and Francis Group, LLC, New York, USA, pp. 96
24. CLARKE, C. (2004) The Science of Ice Cream, Royal Society of Chemistry, UK pp. 4-7, 132-144
25. CLARKE, C. (2012) The Science of Ice Cream, 2nd Edition, Royal Society of Chemistry, UK, pp. 32-33
26. CLARKE. C. (2003): The physics of ice cream, Physics Education, 38 (3), pp. 248-253
27. CSAPÓ, J., CSAPÓNÉ, K. Zs. (2002): Tej és tejtermékek a táplálkozásban, Mezőgazda Kiadó, Budapest, pp. 173-197, 413-419
28. DAMODARAN, S. (2005): Protein Stabilization of Emulsions and Foams, Journal of Food Science, 70 (3), pp. R54-R66
29. DEGNER, B.M., CHUNG, C., SCHLEGEL, V., HUTKINS, R., MCCLEMENTS, D.J. (2014): Factors Influencing the Freeze-Thaw Stability of Emulsion-Based Foods, Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 13 (2), pp. 98-113
30. DEGNER, B.M., OLSON, K.M., ROSE, D., SCHLEGEL, V., HUTKINS, R., MCCLEMENTS, D.J. (2013): Influence of freezing rate variation on the

- microstructure and physicochemical properties of food emulsions, *Journal of Food Engineering*, 119, pp. 244–253
31. DIMITRELI, G., THOMAREIS, A. S. (2008): Effect of chemical composition on the linear viscoelastic properties of spreadable-type processed cheese, *Journal of Food Engineering* 84, pp. 368–374
 32. DISSANAYAKE, M. & VASILJEVIC, T. (2009): Functional properties of whey proteins affected by heat treatment and hydrodynamic-high-pressure shearing, *Journal of Dairy Science*, 92 (4), pp. 1387-1397
 33. DOOLEY, L., LEE, Y-S., MEULLENET, J-F. (2010) The application of check-all-that-apply (CATA) consumer profiling to preference mapping of vanilla ice cream and its comparison to classical external preference mapping, *Food Quality and Preference*, 21 (4), pp. 394–401
 34. DRAGONE, G., MUSSATTO, S. I., ALMEIDA E SILVA, J. B., TEIXEIRA, J. A. (2011): Optimal fermentation conditions for maximizing the ethanol production by *Kluyveromyces fragilis* from cheese whey powder, *Biomass and Bioenergy* 35, pp. 1977-1982
 35. EISNER, M. D., WILDMOSER, H., WINDHAB, E. J. (2005): Air cell microstructuring in a high viscous ice cream matrix, *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects* 263, pp. 390–399
 36. FARKAS J. (1994): A DSC-termoanalitikai módszer néhány élelmiszertudományi alkalmazása, *Élelmiszervizsgálati közlemények*, XL (3), pp. 180-189
 37. FELLOWS, P. (2000): *FOOD PROCESSING TECHNOLOGY Principles and Practice*, Woodhead Publishing Limited, Cambridge, pp. 14-18, 418-422
 38. FENYVESSY J., (2010): Pannónia sajt. Szerk.: Biacs P. Élelmiszer-technológia mérnököknek, Szegedi Tudományegyetem Mérnöki Kar, Szeged, pp. 474-477, 525-527
 39. FETTER GY. (2004): Liotróp rendszerek in situ vizsgálata, PhD értekezés, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, pp. 8-13

40. FIGURA, O. L., TEIXEIRA, A. A. (2007): Food Physics-Physical Properties-Measurement and Application, Springer, Berlin, pp. 73, 186-187
41. FÖLDES, J., RAVASZ, L. (1998): Cukrászat, Útmutató Kiadó, Budapest, pp. 423, 429-432, 578-580
42. GÁBOR M-NÉ, DR. (1987): Az élelmiszer-előállítás kolloidikai alapjai, Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, pp. 23-55, 133-143
43. GASZTONYI, K., BOGDÁN, J-NÉ. (1985): Élelmiszerek kolloidikája és reológiája, Kertészeti Egyetem, Budapest, pp. 113-125
44. GIANNOU, V., TZIA, C. (2007) Frozen dough bread: quality and textural behaviour during prolonged storage – prediction of final product characteristics. Journal of Food Engineering 79 (3), pp. 929–934
45. GOFF, D. (2011): Ice Cream Manufacture, Dairy Science and Technology, Education Series Internetes elérés: <https://www.uoguelph.ca/foodscience/dairy-science-and-technology/dairy-products/ice-cream/ice-cream-manufacture>
46. GOFF, H.D. (1997): Colloidal Aspects of Ice Cream-A Review, International Dairy Journal, 7, pp. 363-373
47. GOFF, H.D. (2008): 65 Years of ice cream science, Review, International Dairy Journal, 18, pp. 754– 758
48. GONI, O., MUÑOZ, M., RUIZ-CABELLO, J., ESCRIBANO, M. I., MERODIO, C. (2007): Changes in water status of cherimoya fruit during ripening, Research Note, Postharvest Biology and Technology 45, pp. 147–150
49. GRAVIER, E., DRELON, N., BOISSERIE, L., OMARI, A., LEAL-CALDERON, F. (2006): Consolidation of foams deriving from emulsions by temperature cycling (“tempering”), Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 282, pp. 360–368
50. GREEN, A.J, LITTLEJOHN, K.A., HOOLEY, P., COX, P:W. (2013): Formation and stability of food foams and aerated emulsions: Hydrophobins as novel functional ingredients, Current Opinion in Colloid & Interface Science, 18, pp. 292–301

51. GUGGISBERG, D., EBERHARD, P., ALBRECHT, B. (2007): Rheological characterization of set yoghurt produced with additives of native whey proteins, *International Dairy Journal* 17, pp. 1353-1359
52. GUGGISBERG, D., PICCINALI, P., SCHREIER, K. (2011): Effects of sugar substitution with Stevia, ActilightTM and Stevia combinations or PalatinoseTM on rheological and sensory characteristics of low-fat and whole milk set yoghurt, *International Dairy Journal* 21, pp. 636-644
53. GUNSTONE, F. D. (2002): Food Applications of Lipids in: *Food Lipids, Chemistry, Nutrition, and Biotechnology* (Second edition) Ed: Akoh, C.C., Min, D.B. Marcel Dekker, New York, pp. 754-755
54. HAGIWARA, T., HARTEL, R. W. (1996): Effect of Sweetener, Stabilizer and Storage on Ice Recrystallization in Ice Cream, *Journal of Dairy Science*, 79 (5), pp. 735-744
55. HARTEL, R.W. (2008): The Crystalline State in Food Material Science, Principle and Practice Ed.: Aguilera, J.M., Lillford, P.J., pp. 62
56. HUEBNER, V.R., THOMSEN, L.C. (1957): Spreadability and Hardness of Butter. I. Development of an Instrument for Measuring Spreadability, *Journal of Dairy Science*, 40 (7), pp. 834–838
57. INOUE, K., OCHI , H., HABARA , K., TAKETSUKA , M., SAITO , H., ICHIHASHI , N., IWATSUKI K. (2009) Modeling of the effect of freezer conditions on the hardness of ice cream using response surface methodology, *Journal of Dairy Science*, 92, pp. 5834–5842
58. JAMES, S. (2008): Freezing of Meat in: *Frozen Foods*, in: *Frozen Food Science and Technology*, Ed: Evans, J.A., Blackwell Publishing, Oxford, UK, pp. 125
59. JUHÁSZ R., ZEKE I., BALLA CS., BARTA J. (2011): Oszcillációs reometria alkalmazása az élelmiszervizsgálatokban, *Élelmiszervizsgálati közlemények*, LVII. (3), pp. 169-180
60. JUHÁSZ, R., ZEKE, I., NÓTIN, B., NÉMETH, CS., STÉGERNÉ, M. M., BARTA, J., BALLA, CS. (2010): Rotációs és oszcillációs viszkozimetria alkalmazása az élelmiszervizsgálatokban, *KÉKI 340. Tudományos Kollokvium*, Budapest, pp. 7

61. KAPÁS, L. (2005): Transpack, 5 (3), pp. 42-45. Internetes elérés: http://www.messer.hu/Hirek_sajtoinformacio/Szakmai_publicacio/Elelmszer_Hutestechnika/Kriogen_fagyasztas_az_elelmszeriparban.pdf
62. KASAPIS, S. (2006): Glass Transitions in Frozen Foods and Biomaterials in: Handbook of Frozen Food Processing and Packaging, Ed: Sun, D-W. Taylor & Francis Group, Boca Raton, USA, pp. 35-36
63. KAYLEGIAN, K. E., HARTEL, R. W., LINDSAY, R. C. (1993) Applications of Modified Milk Fat In Food Products, Journal of Dairy Science, 76 pp. 1782-1796
64. KEALY, T. (2006): Application of liquid and solid rheological technologies to the textural characterisation of semi-solid foods, Food Research International, 39, pp. 265–276.
65. KILARA, A. (2004): Whey proteins in: Proteins in food processing Ed: Yada, R.Y. Woodhead Publishing Limited and CRC Press LLC, Cornwall, England, pp. 88-110
66. KOSIKOWSKI, F. V. (1979): Whey Utilization and Whey Products, Journal of Dairy Science 62 (7), pp. 1149-1160
67. KOXHOLT, M. M., EISENMANN, B., HINRICHS, J. (2001): Effect of the fat globule sizes on the meltdown of ice cream. Journal of Dairy Science, 84(1) pp.31-37.
68. KUO, M. I., ANDERSON, M. E., & GUNASEKARAN, S. (2003). Determining effects of freezing on pasta filata and non-pasta filata Mozzarella cheeses by nuclear magnetic resonance imaging. Journal of Dairy Science, 86, pp: 2525–2536
69. LAI, H.-M., LIN, T-C. (2006) 1. Bakery Products: Science and Technology in: Bakery Products: Science and Technology, ed: Hui, Y. H., Blackwell Publishing, Oxford, UK pp. 27-28, 50-57
70. LÁSZLÓ P. (2003): Élelmszerfizika I., Budapesti Közgazdaságtudományi és Államigazgatási Egyetem, Kertészettudományi Kar, Budapest, pp. 57-62
71. LÁSZTITY, R. (1987): Élelmszeranalitika I., Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, pp. 239-254, 258-259

72. LEE, F. Y., WHITE, C. H. (1991): Effects of Ultrafiltration Retentates and Whey Protein Concentrates on Ice Cream during Storage, *Journal of Dairy Science*, 74 (4), pp.1170-1180
73. LEWIS, M. J. (1990) *Physical Properties of Foods and Food Processing Systems*. Woodhead Publishing, Cambridge, UK. pp. 167-168
74. LOPEZ, C., BOURGAUX, C., LESIEUR, P., RIAUBLANC, R., OLLIVON, M. (2006) Milk fat and primary fractions obtained by dry fractionation 1. Chemical composition and crystallisation properties, *Chemistry and Physics of Lipids*, 144, pp. 17–33
75. MACNAUGHTAN, B., FARHAT, I. A. (2008) Thermal Methods in the Study of Food and Food Ingredients In: *Principles and Applications of Thermal Analysis*, Ed: Gabbott, P., Blackwell Publishing, Oxford, UK, pp. 387-394
76. MAGNUSSEN, O.M., HEMMINGSEN, A.K.T., HARDARSSON, V., NORDTVEDT, T.S., EIKEVIK, T.M. (2008): Freezing of Fish in: *Frozen Foods*, in: *Frozen Food Science and Technology*, Ed: Evans, J.A., Blackwell Publishing, Oxford, UK, pp. 160
77. MAGYAR ÉLELMISZERKÖNYV (2007): Jégkrémek, 2-5210 számú irányelv, 2. kiadás, pp. 1, 3
78. MAGYAR ÉLELMISZERKÖNYV (2008): 1-3/51-1 számú előírás, Tejtermékek, 3. kiadás, pp. 3
79. MAGYAR, É. (2001). Emulziós szerkezetű zsírkészítmények funkcionális tulajdonságait meghatározó tényezők vizsgálata. *Olaj, szappan, kozmetika*, 50, (6), pp: 221-227.
80. MALLET, C.P. (ed.) (1993): *Frozen Food Technology*,. Chapman&Hall, London, pp. 48-50
81. MANDALA, I. G. (2012). Viscoelastic properties of starch and non-starch thickeners in simple mixtures or model food. In J. de Vicente (Ed.): *Viscoelasticity from the theory to biological applications*, In Tech, Granada, Spain, pp. 218-221

82. MANISHA, G., SOUMYA, C., INDRANI, D. (2012): Studies on interaction between stevioside, liquid sorbitol, hydrocolloids and emulsifiers for replacement of sugar in cakes, *Food Hydrocolloids*, 29(2), pp. 363–373
83. MARSHALL, R. T., ARBUCKLE, W. S. (1996) *Ice Cream*. 5th ed Chapman and Hall, New York. . pp. 18, 23, 34, 93, 203,
84. MCCLEMENTS, D.J. (2002): Lipid-Based Emulsions and Emulsifiers, in: *Food Lipids, Chemistry, Nutrition, and Biotechnology*, Second Edition, Ed.: Akon, C.C., Min, D.B., Marcel Dekker, New York, pp. 114
85. MEZGER, T. G. (2006): *The Rheology Handbook*, Vincentz Network, Hannover, pp. 124-159
86. MILLER-LIVNEY, T. & HARTEL, R.W. (1997): Ice Recrystallization in Ice Cream: Interactions Between Sweeteners and Stabilizers, *Journal of Dairy Science*, 80 (3), pp. 447-456
87. MOLNÁR P. (1991): *Élelmiszerek érzékszervi vizsgálata*, Akadémiai Kiadó, Budapest, pp. 77-81
88. MORR, C.V. (1989b). *Whey Protein Manufacture*. In. *Developments in Dairy Chemistry -4*. Ed. Fox. P.F., Elsevier Applied Science, London. pp. 245-284.
89. MUSE, M. R., HARTEL, R. W. (2004) Ice Cream Structural Elements that Affect Melting Rate and Hardness, *Journal of Dairy Science*, 87, pp. 1–10
90. NAVARRO, A. S., MARTINO, M. N. & ZARITZKY, N. E. (1996). Modelling of rheological behaviour in starch-lipid systems. *Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie*, 7, pp. 632-639
91. NAVARRO, A. S., MARTINO, M. N. & ZARITZKY, N. E. (1997). Viscoelastic Properties of Frozen Starch-Triglycerides Systems, *Journal of Food Engineering* 34, pp. 411-427.
92. NESVADBA, P. (2008): Thermal Properties and Ice crystal developement in: *Frozen Foods*, in: *Frozen Food Science and Technology*, Ed: Evans, J.A., Blackwell Publishing, Oxford, UK, pp. 3-8

93. PEARSON, A. (2008): Specifying and Selecting Refrigeration and Freezer Plant in: Frozen Food Science and Technology, Ed: Evans, J.A., Blackwell Publishing, Oxford, UK, pp. 82-83
94. POTHIRAJ, C., ZUÑIGA, R., SIMONIN, H., CHEVALLIER, S., LE-BAIL, A. (2012): Methodology assessment on melting and texture properties of spread during ageing and impact of sample size on the representativeness of the results, Journal of Stored Products and Postharvest Research, 3(10), pp. 137-144
95. PRINDIVILLE, E. A., MARSHALL, R. T., HEYMANN, H. (2000) Effect of Milk Fat, Cocoa Butter, and Whey Protein Fat Replacers on the Sensory Properties of Lowfat and Nonfat Chocolate Ice Cream, Journal of Dairy Science, 83, pp. 2216–2223
96. QUINCHIA, L. A., VALENCIA, C., PARTAL, P., FRANCO, J. M., BRITO-DE LA FUENTE, E., GALLEGOS, C. (2011): Linear and non-linear viscoelasticity of puddings for nutritional management of dysphagia, Food Hydrocolloids 25, pp.:586-593
97. RAHMAN, M.S. (2006): State diagram of foods: Its potential use in food processing and product stability, Trends in Food Science & Technology, 17, pp. 129–141
98. RAMCHANDRAN, L., SHAH, N. P. (2009): Effect of exopolysaccharides on the proteolytic and angiotensin-I converting enzyme-inhibitory activities and textural and rheological properties of low-fat yogurt during refrigerated storage, Journal of Dairy Science 92 (3), pp: 895-906
99. RITVANEN, T., PUTKONEN, T, PELTONEN, K. (2012) A Comparative Study of the Fatty Acid Composition of Dairy Products and Margarines with Reduced or Substituted Fat Content, Food and Nutrition Sciences, 3(9), pp. 1189-1196
100. ROGERS, M.A., TANG, D., AHMADI, L., MARAGONI, A.G. (2008): Fat Crystal Networks in: Food Material Science, Principle and Practice Ed.: Aguilera, J.M., Lillford, P.J., pp. 393-395, 402
101. RØNHOLT, S., KIRKENSGAARD, J.J.K., MORTENSEN, K., KNUDSEN, J.C. (2014): Effect of cream cooling rate and water content on butter microstructure during four weeks of storage, Food Hydrocolloids, 34 pp. 169-176

102. ROSSA, P. N., BURIN, V. M., BORDIGNON-LUIZ, M. T. (2012) Effect of microbial transglutaminase on functional and rheological properties of ice cream with different fat contents, *LWT - Food Science and Technology* 48, pp. 224-230
103. RUSS, N., ZIELBAUER, B. I., VILGIS, T. A. (2014): Impact of sucrose and trehalose on different agarose-hydrocolloid systems, *Food Hydrocolloids*, 41, pp. 44-52.
104. SAHAGIAN, M.E., GOFF, H.D. (1996): Fundamental Aspects of the Freezing Process, in: *Freezing Effects on Food Quality* Ed: Jeremiah, L.E., Marcel Decker, New York, pp. 10-11
105. SAHIN, S., SUMNU, S.G. (2006): *Physical Properties of Foods*, Springer Science+Business Media, New York, pp. 93, 240-242
106. SARAVACOS, G.D., KOSTAROPOULOS, A.E. (2002): Refrigeration and Freezing Equipment in: *Handbook of Food Processing Equipment*, Ed: Saravacos, G.D., Kostaropoulos, A.E., Springer Science+Business Media New York, pp. 416-417
107. SCHENZ, T. W. (1995) Glass transitions and product stability - an overview, *Food Hydrocolloids*, 9, (4) pp. 307-315
108. SCHRAMM, L.L. (2005): *Emulsions, Foams, and Suspensions: Fundamentals and Applications*, WILEY-VCH Verlag, Weinheim, pp. 2, 396
109. SCHREINER E. (1987): *Tejipari technológia II.*, Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, pp. 51-54, 57-62
110. SISO, M. I. G. (1996): The biotechnological utilization of cheese whey: a review, *Bioresource Technology* 57, pp. 1-11
111. STEFFE, J. F. (1996): *Rheological methods in food process engineering*, Freeman Press, Michigan, USA, pp. 312-324
112. SZAKÁLY, S. (2001): *Tejgazdaságtan*, Dinasztia Kiadó, Budapest, pp. 64-90
113. SZCZESNIAK, A. S. (2002): Texture is a sensory property, *Food Quality and Preference* 13, pp. 215–225.

114. TADROS, T. F. (2009): Emulsion Science and Technology: A General Introduction, in: Emulsion Science and Technology, Ed: Tadros, T. F., WILEY-VCH Verlag, Weinheim pp. 1-3.
115. THANASUKARN, P., PONGSAWATMANIT, R., MCCLEMENTS, D. J. (2006) Impact of Fat and Water Crystallization on the Stability of Hydrogenated Palm Oil-in-Water Emulsions Stabilized by a Nonionic Surfactant, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54 (10), pp 3591–3597
116. TIMMS, R. E. (2005): Fractional crystallisation – the fat modification process for the 21st century, *European Journal of Lipid Science and Technology*, 107 (1), pp. 48–57
117. TÓTH, S. (2000): Reológia, reometria, Veszprémi Egyetemi Kiadó, Veszprém, pp. 90-94
118. VEREECKEN, J., MEEUSSEN, W., LESAFFER, A., DEWETTINCK, K. (2010): Effect of water and monoglyceride concentration on the behaviour of monoglyceride containing fat systems, *Food Research International*, 43, pp. 872–881
119. WALSTRA, P. (2003): Polymers in: *Physical Chemistry of Foods* (ed: Walstra, P.), Marcel Dekker, New York, pp. 205
120. WEGE, H.A., KIM, S., PAUNOV, V.N., ZHONG, Q., VELEV, O.D. (2008): Long-Term Stabilization of Foams and Emulsions with In-Situ Formed Microparticles from Hydrophobic Cellulose, *Langmuir*, 24, pp. 9245-9253
121. WEYLAND, M., HARTEL, R. (2008): Emulsifiers in Confectionery, in: *Food Emulsifiers and Their Applications*, Second edition, ed: Hasenhuettl, G. L., Hartel, R. W., Springer Science, New York, USA, pp: 317-323
122. WILDMOSER, H., SCHEIWILLWR, J., WINDHAB, E. J. (2004): Impact of disperse microstructure on rheology and quality aspects of ice cream, *LWT-Food Science and Technology*, 37, 8 pp. 881-891
123. ZARITZKY, N.E. (2008): Frozen Storage in: *Frozen Food Science and Technology*, Ed: Evans, J.A., Blackwell Publishing, Oxford, UK, pp. 232-233

124. ZHAO, Q. ZHAO, M. YANG, B., CUI, C. (2009) Effect of xanthan gum on the physical properties and textural characteristics of whipped cream Food Chemistry, 116, pp. 624–628

Internetes hivatkozások:

www.ulffc.com

www.phys.chem.elte.hu

<http://nsb.wikidot.com/c-9-5-5-4>

<http://tudasbazis.sulinet.hu/hu/termeszet tudomanyok/kemia/altalanos-kemia/anyagszerkezet/kolloid-rendszerek>

<https://www.uoguelph.ca/foodscience/book-page/colloidal-aspects-ice-cream-structure>

<http://www.statista.com/statistics/329011/market-share-frozen-food-sales-value-by-category-europe/>

www.richs.com/about/history/history-detail

<http://www.brookfieldengineering.com/education/applications/texture-margarine-firmness.asp>

www.stablemicrosystem.com

<http://www.norwegianfoodcomp.no/margarine-butter-oil-etc-g8>

M2 Margarínok zsírtartalmának összetétele

Margarín neve	zsírtartalom, %	telített zsírsav, g	transzzsírsav, g	cisz- egyszeresen telítetlen zsírsav, g	cisz- többszörösen telítetlen zsírsav, g
Vita hjertego	70	20	0,4	27	21
Soft oliven	40	8	0	21	8
Bretelett omega 3	27	5	0	12	9
Melange	80	37	0,4	11	27
Soft Flora	80	31	0	31	14
Soft Light	40	8	0	19	9
Brelett Lettmargarín	40	12	0,3	19	7
Bremykt	82	40	1	29	8
Meistercreme Extra	80	34,7-41,9	0	36,7-51,0	14,3-23,4

Forrás: www.norwegianfoodcomp.no, RITVANEN et al., 2012

M2 Cukrászati krémekek korrelációs táblázata

	Hőmérséklet	G_0'	G_0''	γ_{LVE}	τ_{LVE}	G'_M	τ_M	γ_M	η_M^*	S1	S2	Extrúziós erő	Extrúziós munka	Adhéziós erő	Adhéziós munka
Hőmérséklet	1	-0,98*	-0,90*	-0,01	-0,89*	-0,92*	-0,81*	0,95*	-0,63	0,95*	0,99*	-0,96*	-0,95*	0,93*	-0,78*
G_0'	1	0,94*	-0,06	0,88*	0,97*	0,80*	-0,93*	0,62	-0,94*	-0,98*	0,96*	0,94*	-0,90*	0,81*	
G_0''	1	1	-0,23	0,92*	0,90*	0,82*	-0,79*	0,71	-0,91*	-0,91*	0,96*	0,94*	-0,72	0,95*	
γ_{LVE}	-0,23	0,92*	1	0,90*	0,96*	0,84*	-0,85*	0,90*	-0,97*	-0,92*	0,91*	0,94*	-0,60	0,91*	
τ_{LVE}	1	0,90*	1	0,90*	0,96*	0,84*	-0,85*	0,90*	-0,97*	-0,92*	0,91*	0,94*	-0,60	0,91*	
G'_M	1	0,90*	0,96*	0,90*	0,96*	0,84*	-0,85*	0,90*	-0,97*	-0,92*	0,91*	0,94*	-0,60	0,91*	
τ_M	1	0,95*	-0,79*	-0,75*	-0,75*	-0,75*	-0,75*	-0,75*	-0,75*	-0,75*	-0,75*	-0,75*	-0,75*	-0,75*	
γ_M	1	-0,44	0,86*	0,86*	0,86*	0,86*	0,86*	0,86*	0,86*	0,86*	0,86*	0,86*	0,86*	0,86*	
η_M^*	1	-0,83*	-0,83*	-0,83*	-0,83*	-0,83*	-0,83*	-0,83*	-0,83*	-0,83*	-0,83*	-0,83*	-0,83*	-0,83*	
S1	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	
S2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Extrúziós erő	1	0,99*	-0,84*	0,91*	0,94*	0,94*	0,94*	0,94*	0,94*	0,94*	0,94*	0,94*	0,94*	0,94*	
Extrúziós munka	1	0,99*	-0,84*	0,91*	0,94*	0,94*	0,94*	0,94*	0,94*	0,94*	0,94*	0,94*	0,94*	0,94*	
Adhéziós erő	1	0,99*	-0,84*	0,91*	0,94*	0,94*	0,94*	0,94*	0,94*	0,94*	0,94*	0,94*	0,94*	0,94*	
Adhéziós munka	1	0,99*	-0,84*	0,91*	0,94*	0,94*	0,94*	0,94*	0,94*	0,94*	0,94*	0,94*	0,94*	0,94*	

*p < 0,05

M3 Cukrászati krém hőfizikai eredményei

minta	T_g	T_{onset}	1.csúcs görbe alatti terület , mJ	2.csúcs görbe alatti terület, mJ
pp friss	-24,11±0,748a	-8,53±0,394a	111,92±7,292a	9,46±0,158a
pp-1hó krio	-24,92±0,016a	-7,92±0,021b	102,86±7,502b	9,50±0,294a
pp-1hó sokk	-22,85±0,424a	-7,94±0,146b	103,46±0,641b	10,16±1,360a
pp-1hó lassú	-24,54±0,141a	-7,78±0,067b	108,32±6,035b	9,14±1,192a
pp-2hó krio	-24,49±0,152a	-8,03±0,718a	117,09±5,982a	11,87±1,042a
pp-2hó sokk	-24,61±0,372a	-8,87±0,135a	120,17±8,923b	9,02±0,943a
pp-2hó lassú	-23,97±0,049a	-8,91±0,247a	110,40±2,087a	9,55±2,166a
pp-3hó krio	-27,86±0,482b	-7,77±0,201b	114,98±4,987a	5,47±0,558b
pp-3hó sokk	-27,26±1,264b	-7,43±0,383b	104,57±1,262b	4,75±0,451b
pp-3hó lassú	-23,20±0,506a	-7,50±0,555b	105,08±4,992b	4,38±0,236b
pp-4hó krio	-25,55±0,207a	-7,04±0,411b	134,39±6,416b	8,99±0,979a
pp-4hó sokk	-25,10±0,096a	-7,73±0,562b	118,79±4,560b	6,62±0,168b
pp-4hó lassú	-24,67±0,318a	-7,31±0,277b	126,78±6,072b	3,53±0,875b
pp-5hó krio	-22,34±0,392b	-7,07±0,711b	131,04±4,159b	4,69±0,348b
pp-5hó sokk	-25,04±0,256a	-7,39±1,081b	117,77±7,677b	3,63±0,274b
pp-5hó lassú	-22,62±0,202b	-8,27±0,753a	113,66±3,194a	4,34±0,337b
pp-6hó krio	-24,25±0,712a	-5,79±0,783b	140,83±1,330b	0b
pp-6hó sokk	-22,78±0,181b	-6,48±1,276b	136,92±2,150b	0b
pp-6hó lassú	-22,56±0,155b	-7,18±0,952b	132,38±7,029b	0b

a a friss mintától szignifikánsan nem különbözik

b szignifikáns különbség van a friss mintától

minta	T_g	T_{onset}	1. csúcs görbe alatti terület, mJ	2. csúcs görbe alatti terület, mJ
kk friss	-30,03±0,728a	-8,11±0,165a	109,99±7,938a	9,09±0,868a
kk-1hó krio	-24,50±0,446b	-8,26±0,606b	100,81±3,070a	7,87±1,365b
kk-1hó sokk	-22,71±0,220b	-7,83±0,656b	101,00±6,238a	9,68±1,131a
kk-1hó lassú	-23,50±0,432b	-7,90±0,353a	99,99±2,616b	10,10±0,262a
kk-2hó krio	-23,95±1,076b	-7,59±0,110b	104,08±0,458a	9,69±0,617a
kk-2hó sokk	-24,50±0,191b	-7,61±0,493b	94,32±2,429b	6,84±1,582b
kk-2hó lassú	-23,34±0,050b	-8,04±0,155a	116,95±1,436b	9,65±1,190a
kk-3hó krio	-25,04±0,278b	-6,80±0,237b	100,77±8,213a	5,47±1,182b
kk-3hó sokk	-24,14±0,175b	-7,52±0,471b	114,41±2,812a	7,80±1,604b
kk-3hó lassú	-24,38±0,190b	-7,60±0,294b	105,08±10,345a	7,03±0,851b
kk-4hó krio	-24,44±1,169b	-7,60±0,486b	120,67±3,660b	6,45±0,364b
kk-4hó sokk	-24,58±1,307b	-7,30±0,427b	124,88±4,261b	7,66±1,077b
kk-4hó lassú	-22,68±0,143b	-7,00±0,129b	118,26±1,279b	2,12±0,231b
kk-5hó krio	-25,56±1,273b	-6,84±0,352b	125,47±7,754b	5,66±0,642b
kk-5hó sokk	-23,99±1,198b	-5,70±0,338b	123,07±4,032b	3,48±0,297b
kk-5hó lassú	-23,35±0,269b	-7,45±0,120b	136,03±17,476b	0b
kk-6hó krio	-22,79±0,188b	-6,61±0,332b	144,71±4,901b	0b
kk-6hó sokk	-22,42±0,727b	-6,03±0,386b	148,50±11,022b	0b
kk-6hó lassú	-22,58±0,023b	-7,27±0,395b	137,91±5,266b	0b

a a friss mintától szignifikánsan nem különbözik

b szignifikáns különbség van a friss mintától

M4 Cukrászati krémekek reométeres eredményei

	G'_0	G''_0	τ_{LVE}	G'_M	τ_M	η_M^*
k friss	213750± 54212a	36675± 10126a	181± 165a	21638± 8455a	1256± 80a	3066± 1198a
k krio 1	210400± 59836a	35700± 10530a	87± 24	10132± 1610b	1248± 47a	1436± 229b
k krio 2	304250± 25237b	51875± 15468a	159± 116a	12380± 2577b	1920± 89b	1754± 367b
k krio 3	198500± 35445a	27950± 6156b	119± 107a	8308± 502b	1149± 56b	1176± 72b
k krio 4	467600± 133691b	39200± 23716a	602± 138b	14844± 843a	1916± 102b	2106± 122a
k krio 5	219800± 13882a	32880± 5594a	98± 62a	69874± 14026b	733± 176b	9903± 1991b
k krio 6	168600± 21232b	30260± 7706a	130± 86a	6340± 2899b	1280± 47a	897± 410b
k sokk 1	245800± 83082a	31880± 8546a	80± 37a	12047± 1285b	1419± 171a	1709± 182b
k sokk 2	354000± 152565b	30320± 20422a	148± 83a	13810± 2381a	2091± 146b	1958± 339b
k sokk 3	233500± 28384a	31700± 4743a	206± 154a	8003± 351b	1113± 62a	1133± 49b
k sokk 4	477400± 147188b	40600± 9299b	506± 207b	16683± 1706a	1969± 82a	2366± 239a
k sokk 5	277000± 48182b	34860± 6459a	128± 79a	80760± 6437b	802± 184b	12691± 2510b
k sokk 6	188800± 45926a	40360± 3914a	81± 53a	14133± 1946b	1297± 35a	2000± 275b
k lassú 1	406000± 77592b	31300± 21785b	110± 10a	14912± 1121a	1802± 95b	2115± 158a
k lassú 2	245250± 51494a	32900± 5631a	105± 40a	10192± 2263b	1865± 133b	1443± 320b
k lassú 3	400750± 113573b	50775± 22297b	117± 56a	13358± 1154b	1591± 199b	1803± 165b
k lassú 4	315000± 80839b	36120± 6299a	103± 46a	28959± 20503a	1403± 409b	2935± 3358a
k lassú 5	206250± 26424a	36400± 7567a	73± 21a	33641± 27421a	1106± 348a	4763± 3884a
k lassú 6	238333± 45154a	31183± 5922a	143± 102a	27745± 31105b	1341± 314b	3928± 4405a

a a friss mintától szignifikánsan nem különbözik

b szignifikáns különbség van a friss mintától

	G'_0	G''_0	τ_{LVE}	G'_M	τ_M	η_M^*
p friss	205250± 6652a	36200± 6252a	75± 14a	15925± 1036a	1210± 46a	2256± 145a
p krio 1	373750± 125516b	18910± 2004a	86± 32a	12530± 1280b	1820± 82b	1776± 183b
p krio 2	249600± 70723a	39680± 8962a	90± 52a	11948± 1520b	1926± 194b	1693± 214b
p krio 3	235000± 42716a	32075± 4879a	102± 34a	6386± 2211b	1205± 61a	905± 314b
p krio 4	563200± 235025b	15588± 2058b	320± 213b	13016± 1510b	1945± 69b	1846± 215b
p krio 5	243500± 72511a	44133± 15652a	60± 17a	55638± 18557b	451± 208b	7894± 2628b
p krio 6	208000± 18262a	37740± 4257a	130± 70a	8577± 2376b	1401± 72b	1214± 337b
p sokk 1	403000± 47532b	45800± 8276a	356± 266b	14430± 253b	1836± 76b	2049± 36b
p sokk 2	319600± 114498b	37080± 16904a	120± 27b	14714± 2876a	1924± 487b	2084± 405a
p sokk 3	178500± 16703b	31725± 4029a	54± 6b	6638± 920b	1146± 33b	940± 131b
p sokk 4	339400± 82512b	38920± 15820a	102± 41b	16839± 9616a	1813± 136b	2387± 1365a
p sokk 5	221200± 17210a	34400± 8610a	67± 10a	55026± 35233b	834± 391a	7798± 4996b
p sokk 6	189600± 33163a	36960± 5667a	73± 37a	43871± 14138b	878± 168b	6213± 2007b
p lassú 1	369600± 98490b	34100± 14148a	145± 76b	13105± 1069b	1865± 122b	1856± 154b
p lassú 2	252250± 49896b	34725± 8916a	91± 35a	10850± 2250b	1925± 171b	1537± 319b
p lassú 3	258500± 62121b	38025± 3985a	62± 10b	8698± 2066b	1264± 199a	1233± 293b
p lassú 4	264600± 87426b	35300± 16650a	111± 90a	19441± 12121a	1540± 209b	2755± 1717a
p lassú 5	295200± 89150b	39080± 6690a	99± 38a	71369± 20428b	826± 161b	10110± 2898b
p lassú 6	212800± 14237a	37760± 7155a	100± 64a	33047± 18004a	1119± 364a	4680± 2553a

a a friss mintától szignifikánsan nem különbözik

b szignifikáns különbség van a friss mintától

M5 Cukrászati krémekek érzékszervi bírálati lapja**Cukrászati krém érzékszervi bírálata**

Név:

Dátum:

Karikázza be a megfelelőt!

minta	kemény				puha
1	1	2	3	4	5
2	1	2	3	4	5
3	1	2	3	4	5
4	1	2	3	4	5

minta	nehéz				könnyű
1	1	2	3	4	5
2	1	2	3	4	5
3	1	2	3	4	5
4	1	2	3	4	5

minta	Szétesett emulzió (grízes)				homogén
1	1	2	3	4	5
2	1	2	3	4	5
3	1	2	3	4	5
4	1	2	3	4	5

M6 Fagylaltok érzékszervi bírálati lapja**Érzékszervi bírálati lap**

Savanyú savó felhasználásával készült tejes fagylaltok vizsgálata

Bíráló neve:

Dátum:

	Íz	Szín	Állomány	Összbenyomás	Rangsor
	Max. 10 pont	Max. 10 pont	Max. 20 pont	Max. 10 pont	1-6
357					
283					
425					
174					
691					
821					

	Kanalazhatóság	Olvadékonyság	Homogenitás	Krémesség
	Max. 10 pont	Max. 10 pont	Max. 10 pont	Max. 10 pont
357				
283				
425				
174				
691				
821				

M7 Fagylaltok paramétereinek korrelációs táblázata

	savanyú savó mennyisége	termofizikai tulajdonságok			amplitúdó sôprés				frekvencia sôprés			hômér-séklet sôprés	érzékészervi tulajdonságok				
		T_{kr}	T_{sg}	T_{onset}	G_0'	G_0''	τ_{LVE}	τ_M	G_k'	G_v'	G_v'/G_k'		η^* -10°C-on	krémesség	homogenitás	kanalazhatóság	olvadékonyság
savanyú savó mennyisége	1																
T_{kr}	-0,968**	1															
T_g	-0,927**	0,926**	1														
T_{onset}	-0,959**	0,941**	0,964**	1													
G_0'	-0,902**	0,920**	0,894**	0,823*	1												
G_0''	-0,820*	0,768*	0,834*	0,735	0,936**	1											
τ_{LVE}	-0,960**	0,934**	0,986**	0,980**	0,873*	0,813*	1										
τ_M	-0,958**	0,957**	0,957**	0,912**	0,977**	0,907**	0,955**	1									
G_k'	-0,451	0,433	0,631	0,430	0,721	0,849**	0,540	0,650	1								
G_v'	-0,362	0,390	0,594	0,367	0,661	0,758*	0,489	0,595	0,976**	1							
G_v'/G_k'	0,469	-0,408	-0,503	-0,381	-0,684	-0,851*	-0,441	-0,582	-0,876**	-0,759*	1						
η^*	-0,952**	0,901**	0,789*	0,832*	0,883**	0,823*	0,837*	0,897**	0,406	0,281	-0,540	1					
krémesség	-0,962**	0,963**	0,956**	0,956**	0,930**	0,853*	0,946**	0,958**	0,584	0,504	-0,586	0,889**	1				
homogenitás	-0,842*	0,935**	0,806*	0,840*	0,773*	0,522	0,815*	0,825*	0,208	0,214	-0,097	0,744	0,821*	1			
kanalazhatóság	-0,887**	0,885**	0,852*	0,799*	0,980**	0,948**	0,829*	0,940**	0,725*	0,631	-0,776*	0,900**	0,932**	0,694	1		
olvadékonyság	-0,397	0,364	0,650	0,451	0,574	0,718	0,580	0,584	0,900**	0,924**	-0,632	0,256	0,487	0,177	0,524	1	

* $p < 0,05$; ** $p < 0,01$

Köszönetnyilvánítás

Köszönettel tartozom témavezetőimnek az útmutatásért és segítségért, amelyet az évek során kaptam tőlük.

Köszönöm családomnak, barátaimnak és munkatársaimnak, akik mindenben támogattak és bíztattak.

Külön köszönettel tartozom Dr. Juhász Rékának és a Konzervtechnológiai Tanszék dolgozóinak, hogy segítették munkámat.