



Hűtő- és Állattermék Technológia Tanszék

SAJTOK FAGYASZTÁSA KÜLÖNBÖZŐ MÓDSZEREKKEL

TDK Dolgozat

NAGY DORKA

Táplálkozástudományi M.Sc. II. évf.



Témavezető(k): Zeke Ildikó, tanszéki mérnök
Pásztorné dr. Huszár Klára, egyetemi adjunktus

TÁMOP-4.2.1/B-09/1/KMR-2010-0005

TÁMOP-4.2.2/B-10/1-2010-0023

Budapest
2012

TARTALOMJEGYZÉK

1. BEVEZETÉS.....	4
2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS	5
2.1. Sajtgyártás	5
2.1.1. Savas alvasztású sajtok.....	5
2.1.2. Oltós alvasztású sajtok	6
2.2. A Parenyica sajt	7
2.2.1. A gyúrt-hevített sajtok (Parenyica) gyártástechnológiája	7
2.3. Élelmiszerek tartósítása fagyasztással	9
2.4. A fagyasztás hatásai.....	11
2.5. Fagyasztási módok.....	12
2.5.1. A lassú- és a gyorsfagyasztás	13
2.5.2. Ultragyors/Kriogén fagyasztás	13
2.6. Szövetszerkezet nélküli élelmiszerek fagyasztása	15
2.7. Fagyasztóberendezések	17
2.7.1. Levegővel működő fagyasztóberendezések	17
2.7.1.1. Teremfagyasztók.....	17
2.7.1.2. Szalagos gyorsfagyasztó berendezések.....	18
2.7.1.3. Fluidizációs fagyasztók.....	18
2.7.1.4. Lemezes vagy kontakt fagyasztók	19
2.7.2. Hűtőközeg közvetlen érintkezésével működő fagyasztóberendezés.....	19
2.7.2.1. Kriogén fagyasztóberendezés	19
2.8. Az élelmiszerek fizikai, hőfizikai tulajdonságai.....	21
2.9. A differenciális pásztázó kalorimetria	23
2.9.1. A DSC felépítése és működése	25
2.10. Az állományváltozás nyomon követése	26
2.10.1. Objektív állományvizsgálati módszer	26
2.10.2. Szubjektív állományvizsgálati módszer	27
3. CÉLKITŰZÉS.....	28

4. ANYAGOK ÉS MÓDSZEREK.....	29
4.1. A Parenyica sajt	29
4.2. Fagyasztóberendezések, módszerek	29
4.3. A fagyasztási és felengedtetési módok hatásainak vizsgálata	31
4.3.1. Tömeg, pH, szárazanyag-tartalom meghatározása.....	31
4.3.2. A DSC	31
4.3.3. Műszeres állományvizsgálat.....	33
4.3.4. Érzékszervi vizsgálat	34
4.3.5. Korreláció-analízis	34
5. EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK	35
5.1. Fagyasztási görbék.....	35
5.2. A fagyasztási és felengedtetési módok hatásainak értékelése	37
5.2.1. Tömegmérés eredményei.....	37
5.2.2. pH-mérés eredményei.....	38
5.2.3. Szárazanyag-tartalom mérésének eredményei	38
5.2.4. DSC eredmények.....	39
5.2.5. Műszeres állománymérés eredményei.....	42
5.2.6. Érzékszervi vizsgálat eredményei	44
5.2.7. Korreláció-analízis	44
6. KONKLÚZIÓ	45
7. ÖSSZEFOGLALÁS.....	46
IRODALOMJEGYZÉK	48

1. Bevezetés

A tejtermékekre vonatkozó világtermelési és világkereskedelmi tendenciák szerint a sajtok piaci kereslete évről-évre növekszik. Noha hazánk nem a sajtjairól és a sajtos fogásairól híres, a Kárpát-medencében régóta készített Parenycánk, hajdú sajtjaink, valamint itt és az egész Balkánon készített kaskaval típusú sajtok jellegzetes és hagyományos termékek.

A tejipar nemzetközi térnyerésének azonban egyelőre gátat szab a rövid minőség-megőrzési idejű termékek logisztikai folyamatok alatt esetlegesen bekövetkező minőségromlása. A Magyarországon előállított hevített-gyúrt technológiával készített sajtokra a Közel-Keleten nagy a kereslet és az exportált termékek mennyisége növelhető is lenne, azonban problémát jelent, hogy a sajtok eredeti tulajdonságai a hosszú szállítási idő és disztribúció alatt megváltoznak.

A magas műszaki színvonalon alkalmazott fagyasztásos tartósítás jelentős, széles körben elterjedt élelmiszer-technológiai tevékenység, napjainkban az ily módon tartósított élelmiszereink száma több ezerre tehető. A módszer alkalmas arra, hogy megállítsuk, illetve minimálisra csökkentsük azokat a folyamatokat, amelyek az élelmiszerek minőségét rontják, romlását előidézik, miközben az eredeti értékadó minőségi tulajdonságok minél kevésbé változnak meg. Fagyasztásos tartósítással akár két év eltarthatósági idő is biztosítható.

A sajtok fagyasztása azonban ipari méretekben nem jellemző a felengedtetés utáni szerkezetváltozás miatt, viszont a hevített-gyúrt sajtok a különleges alvadékezelési technológiának köszönhetően fagyasztásra alkalmasabbak lehetnek, mint a klasszikus technológiával készült sajtok. Ezért dolgozatomban a hevített-gyúrt technológiával készült sajtok különböző fagyasztási technológiáit és fagyasztva tárolásuk hatásait vizsgáltam.

2. Irodalmi áttekintés

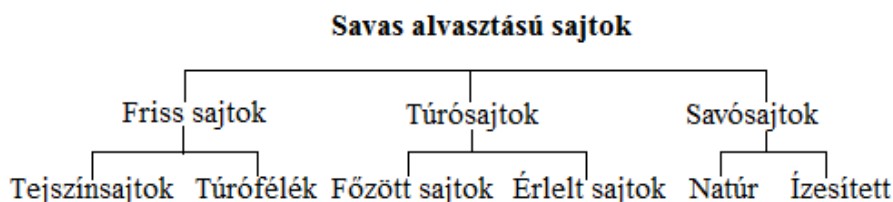
2.1. Sajtgyártás

A sajt olyan fehérjedús, frissen vagy érlelés után fogyasztható termék, amelyet tejnek, tejszínnek vagy ezek keverékének oltós-, vagy savanyú illetve vegyes alvasztásával állítanak elő.

A sajtok számos szempont alapján osztályozhatók, azonban nemzetközileg egységes és minden tekintetben elfogadott besorolási rend ma még nincs. A Magyar Élelmiszerkönyv (Codex Alimentarius Hungaricus) vonatkozó fejezeteire hivatkozva a sajtok oltós-, savas alvasztású sajtok és sajtkészítmények csoportjába sorolhatók (Unger, 2001).

2.1.1. Savas alvasztású sajtok

A savas alvasztású sajtok tejből vagy íróból, vagy sajtsavóból, esetleg ezek keverékéből, jellemzően mikrobiológiai savas és azt esetleg kiegészítő oltós, hosszú idejű alvasztással, majd részbeni savóelvonással előállított termékek, amelyeket frissen vagy rövid érlelés után fogyasztanak. Ízesítőanyagok hozzáadásával vagy füstöléssel előállíthatók a savas alvasztású sajtok ízesített változatai is (MÉ 1-3/51-1, 2008). A savas alvasztású sajtok jellegük szerint lehetnek friss, túró- és savósajtok (1. ábra).



1. ábra A savas alvasztású sajtok csoportosítása

A *friss sajtok* a gyártás után azonnal fogyaszthatók, lágy állományúak és kellemesen savanykás ízűek (pl. Cottage cheese, Tejfölös túró).

A *túrósajtok* alapanyaga nagy szárazanyag-tartalmú sovány, savas túró, amelyből megfelelő előkészítés után enyhén megömlesztett főzött sajtokat vagy rúzs-, ill. nemespenész-kultúra hozzáadása után rövid érlelésű friss sajtokat (pl. pogácsasajt, kvargli) állítanak elő.

A *savósajtok* savóból, esetleg tejjel, íróval, tejszínnel vagy egyéb tejeredetű származékokkal (kevert savóból) legfeljebb 4,5 pH-ig való savanyítással és hevítéssel előállított félszilárd

(krémszerű) termékek vagy formázott, préselt majd rövid ideig érlelt sajtok, amelyeket natúr vagy ízesített, esetleg füstölt formában fogyasztanak (pl. ordasajtok, ricotta).

2.1.2. Oltós alvasztású sajtok

Az oltós alvasztású sajtokat tejből és/vagy tejszínből, megfelelő szintenyészet (kultúra) hozzáadásával, enzimes alvasztással, részbeni savóelvonással – membránszeparációs technológiával gyártott sajt esetén részbeni permeátum-elvonással – állítják elő. A sajtban a savófehérje:kazein arány nem haladhatja meg a tejben levőt (MÉ 1-3/51-1, 2008).

Az oltós alvasztású sajtok csoportosíthatók a tej eredete, a sajt zsírtartalma, vagy a sajt állománya szerint is. A tej eredete szerint megkülönböztetünk tehén-, juh-, kecske- stb., vagy kevert tejből gyártott sajtokat. A zsírtartalom alapján nagy zsírtartalmú (zsírdús), zsíros, félzsíros, kis zsírtartalmú (zsírszegény) és sovány sajtokról beszélnek.

Az oltós alvasztású sajtokat leginkább állományuk alapján különböztetik meg (2. ábra).



2. ábra Az oltós alvasztású sajtok csoportosítása

Eszerint vannak kemény, félkemény és lágy sajtok. Az egyes állománycsoportokba tartozó sajtokat azután egyéb jellemzőik alapján további alcsoportokba sorolják:

- A *kemény sajtokat* szilárd, kemény sajttészta, általában nagy méret és tömeg, szabályos alak, hosszú, több hónapos érési idő,
- a *félkemény sajtokat* a szilárd, de jól vágható állomány, a közepes méret és tömeg, a szabályos alak és a többhetes érési idő,
- a *lágy sajtokat* a könnyen vághatótól a kenhetőig terjedő állomány, a kis méret és tömeg, valamint a rövid érési idő jellemzi.

2.2. A Parenyica sajt

Parenyica sajt (3. ábra) tejből tejsavbaktérium-tenyészet és oltóenzim hozzáadásával előállított gomolyából mártásos hőkezeléssel (hevítés) készített, sózott, jellegzetesen tekercsbe göngyölt, majd a saját anyagából készült szalaggal átkötött, érlelt, jellegzetes érzékszervi tulajdonságú, általában füstölt, félkemény, hevített-gyúrt sajt (MÉ 2-51/06, 2004).



3. ábra Parenyica sajt (Forrás: www.sajtgasztro.hu)

A sajt méretére és tömegére vonatkozó követelmények szerint a szabályos henger alakú tekercs 0,25-0,3 kg tömegű (átmérője 7-9 cm, magassága 4-6 cm), míg a kisméretű tekercs 0,13-0,2 kg tömegű (átmérője 4-7 cm, magassága 4-6 cm).

Összetételi követelményei min. 54,0% (m/m) szárazanyag-tartalom, min. 45,0% (m/m) zsírtartalom a szárazanyagban, valamint a 2-3% (m/m) sótartalom. Érzékszervi követelményeit tekintve vékony kérgű, általában sárgásbarna színre füstölt, egyenletes szalmasárga, zárt szerkezetű sajt. Metszéslapján néhány erjedési vagy röglyuk megengedett, a sajtszalag vonala jól látható, de zárt tekercset képez. Állománya rostos, szálas szerkezetű, szájban elomló. Illata általában jellegzetesen füstölt, enyhén savanykás. Íze kellemesen sós, általában jellegzetesen füstölt, enyhén savanykás (MÉ 2-51/06, 2004).

2.2.1. A gyúrt-hevített sajtok (Parenyica) gyártástechnológiája

A mártásos hőkezeléssel készülő (gyúrt) sajtok csoportjába azokat a sajtokat sorolják, amelyek gyártásakor az alvadék kidolgozása után – más sajtoknál nem alkalmazott – különleges eljárásokkal alakítják ki a sajt jellegét. Ilyen eljárások az alvadék gyúrása, savanyítása (cheddározása), szeletelése (darálása) és mártásos hőkezelése (hevítése). A sajtok ízre, állományra stb. alapvetően különbözhetnek egymástól, attól függően, hogy a felsorolt különleges kezelési eljárások közül melyek azok, amelyeket a sajt gyártásakor alkalmaznak, felhasználnak.

A sajttejet a többi sajtokéhoz hasonlóan alvasztják és dolgozzák ki, majd az alvadék-savó elegyet egy erre a célra kialakított vagy Tebel-típusú formázóberendezésbe engedik. A savót folyamatosan elszívják, majd az alvadékot 0,5 kg kezdeti és 1 kg végső nyomással préselik sajtkilogrammonként kb. 1 órán át. Az így kialakult egybefüggő alvadéktömböt 30-40x10-15 cm-es hasábokra vágják, majd 26-28°C-on 75-85 °SH (4,9-5,1 pH) eléréséig savanyítják (cheddározzák). E művelet folyamán a keletkező tejsav a parakazein-molekulák közül kioldja a kalciumhidakat és ezáltal az 5%-os konyhasóoldatban oldható fehérje mennyisége az alvadékban többszörösére növekszik. E változás külsőleg abban nyilvánul meg, hogy a rágós, gumiszerű „nyers” alvadék a cheddározás hatására bársonyos tapintásúvá, képlékennyé, hő hatására nyújthatóvá válik. Cheddározás után a megfelelően savanyított gomolyát 10x10x0,3 cm-es szeletekre vágják az alvadék felületének növelése érdekében.

A technológia következő lépése a felszeletelt (aprított) gomolya mártásos hőkezelése (75-85°C-on 8-10%-os sótartalmú vizes savóban). A mikrobák 70-90%-ának elölésével tevékenységük erőteljesen lecsökken és az alvadék gél állapotból szől állapotba alakul, peptizálódik. A megömlött sajttanyag tézttaszertűen nyújtható, formázható és lehűtés után ismét gél szerkezetet vesz fel. A meglágyult sajttanyagból kézi vagy gépi gyúrással eltávolítják a felületileg tapadt, ill. bezáródott mártófolyadékot.

A képlékeny sajttanyagot asztallapon szalag alakúra nyújtják, lehűlés után tekercsbe göngyölik (az átmérő kb. 90 mm), majd a sajttanyagból kialakított fonallal a tekercset átkötve rögzítik.

Formázás és megszilárdulás után a sajtot szükség szerint 20-22%-os, 12-15°C-os és sófürdőben sózzák (10-20°SH) 1,2-2,5% sajtsó tartalom eléréséig. Gyakran a só tartalom már a mártásos hőkezelés folyamán kialakul, így erre a lépésre nincs is szükség. Sózás és szikkasztás után a Parenyica sajtokat 30-36°C-on kb. két napig füstölik. (Fenyvessy et. al., 2001)



4. ábra A Párenyica sajt gyártási részfolyamata
(Forrás: <http://www.gazdakor.szie.hu>)

2.3. Élelmiszerek tartósítása fagyasztással

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, melynek tartósító hatása azon alapul, hogy a legtöbb mikroba alacsony hőmérsékleten – néhány kivételtől eltekintve – nem szaporodik. (Sáray, 2002)

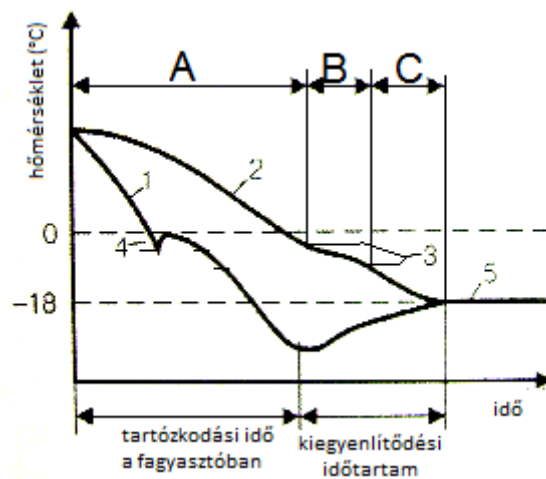
Fagyasztásnál (lassú fagyasztás) a terméket -12°C alatti hőmérsékletre hűtjük és ezen a hőmérsékleten történik a tárolás, a termék eltarthatósági ideje maximum 6 hónap. Gyorsfagyasztás esetén a terméket -18°C alatti hőmérsékletre hűtjük és tároljuk, az eltarthatósági idő így akár 18 hónap is lehet.

Célja tehát hogy megállítsa, illetve minimálisra csökkentse azokat a folyamatokat, amelyek az élelmiszerek minőségét rontják és romlását előidézik, miközben az élelmiszer eredeti értékadó minőségi tulajdonságai minél kevésbé változnak meg.

A többi tartósítási eljáráshoz viszonyítva sokkal kisebb változásokat idéz elő az élelmiszerekben és gyakorlati célokra kielégítő tárolhatósági időtartamot biztosít. Megfelelő technológia, jó nyersanyag, valamint megfelelő felengedtetés és felhasználás esetében a fagyasztás őrzi meg a legjobban az eredeti nyersanyagok és feldolgozott élelmiszerek tápértékét, előnyös érzékszervi tulajdonságait.

Fagyasztás 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, vagyis milyen mértékű a hőelvonás sebessége, hogyan alakul a hőelvonás időtartama, 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 (5. ábra).



5. ábra A termék hőmérsékletének alakulása a fagyasztás alatt, a fagyási folyamatok szakaszai (Forrás: Sáray, 2002)

(1. felületi hőmérséklet, 2. maghőmérséklet, 3. maximális jégkristály-képződési zóna, 4. túlhűtési jelenség, 5. kiegyenlítődési hőmérséklet;

A – előhűtés, B – fagyás, C – utóhűtés)

- *Előhűtés:* A termék kezdeti hőmérsékletének a fagyáspontig való csökkentése addig a hőmérséklet tartományig, ahol elkezdődik a halmazállapot-változás.
- *Kifagyasztás (maximális kristályképződési zóna):* A víztartalom jelentős része jéggé alakul, a termék átlaghőmérséklete legalább -5°C-ra csökken.

Lassabb folyamat, mert itt alakulnak ki kristálygócok, és itt megy végbe a jégkristályok növekedésének nagyobbik hányada.

- *Utófagyasztás*: Kismértékben folytatódik a fagyás folyamata és a termék a tárolási hőmérsékletre hűl. Ez a hőmérséklet tartós tárolásra szánt, gyorsfagyasztott élelmiszerek esetében $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$. Hőmérséklet kiegyenlítődés szakaszának is nevezik, ugyanis a szükséges hőmennyiség elvonása megtörtént.

A fagyasztás akkor mondható befejezettnek, ha a kiegyenlítődési hőmérséklet eléri a tároláshoz, forgalmazáshoz szükséges és előírt hőfokot. Ezt a hőmérsékletet tekintjük a fagyasztás véghőmérsékletének.

2.4. A fagyasztás hatásai

A felengedetetés 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 kis 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. (Beke, 2002)

A fagyasztási körülmények megválasztása (hőmérséklet, időtartam, sebesség, fagyasztási technika), de a tárolhatóság és a felengedetési 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-hevítt sajtok). (Beke, 2002) Ilyen esetekben a fagyasztás sebességének, a jégkristályképződés módjának és helyének feltehetően szerényebb hatása van a termék minőségére.

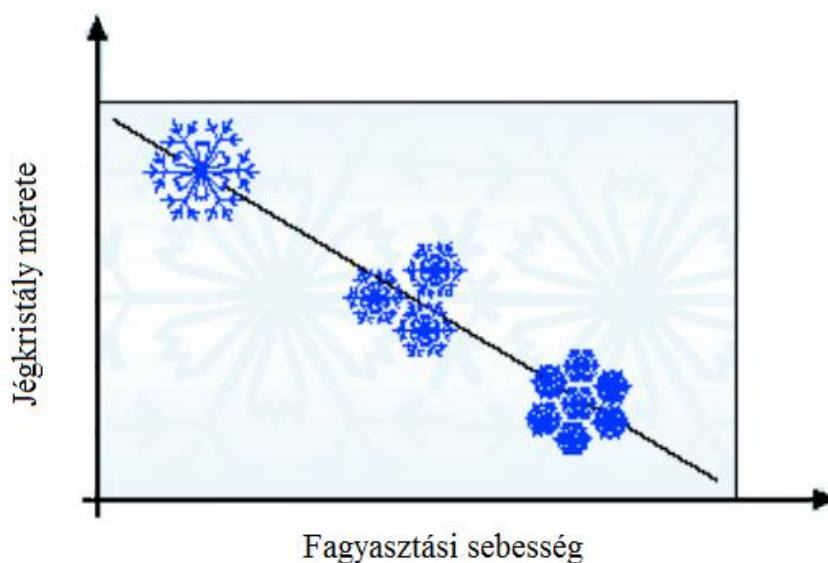
A fagyasztás és a felengedtetés hatására a sajt szerkezete és állománya sokkal törékenyebbé és morzsalékonyabbá válik. A fagyasztott sajtban nagyobb mennyiségben található rendezetlen szerkezetű proteinek nagyobb mértékű proteolízist eredményeznek, erőteljesebben károsítják a mikroszerkezetet és befolyásolják a viszkoelasztikus tulajdonságokat. (Bertola et. al., 1996; Graiver et. al., 2004; Goff, 2006)

2.5. 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- illetve gyorsfagyasztást.

Minél nagyobb a fagyasztási sebesség, annál finomabb jégkristályszerkezet alakul ki az élelmiszerekben (6. 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.



6. ábra A fagyasztási sebesség és a jégkristályok mérete közötti összefüggés

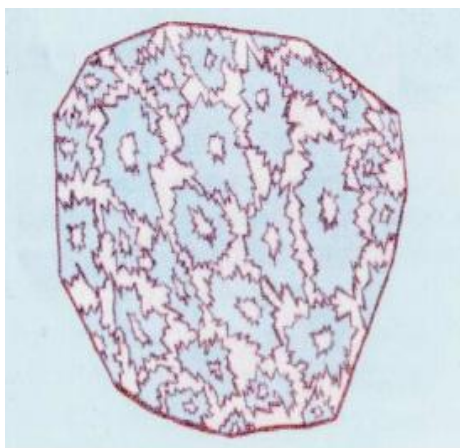
(Forrás: Kapás, L. 2005)

A fagyasztási sebességek alapján 3 csoportba sorolhatjuk a kezeléseket. Ezek a lassú, gyors és ultragyors (kriogén) fagyasztási módok.

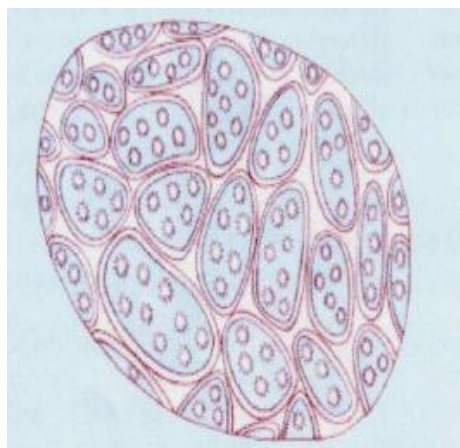
2.5.1. A lassú- és a gyorsfagyasztás

Lassú fagyasztás (átl. fagy. seb. 1 cm/h alatt) során a sejtnedvből nagy, tű alakú jégkristályok képződnek, méretük meghaladhatja a sejt méretét, így a rugalmas sejtfalat keresztülszúrhatják. A sejtek közötti térben kialakult jégkristályok mérete növekszik, a sejtek víztartalma csökken, mintegy kiszáradnak. Az így lefagyasztott élelmiszer felengedésekor a protoplazma nem nyeri vissza eredeti állapotát, mert a megsérült sejtfalon keresztül a sejtnedvek jelentős része elfolyik (7/A ábra). Az élelmiszer lazább szerkezetűvé válik, a folyamat tápanyagvesztéssel és minőségromlással (alak, szín, íz, illat) együtt jár.

Gyorsfagyasztásnál (átl. fagy. seb. 1-5 cm/h) 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 (7/B ábra). 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 lefagyasztás előtti állapotával közel azonos lesz.



A



B

7. ábra Lassú- (A) és gyorsfagyasztás (B) hatása a sejtes szerkezetre

(Forrás: Kapás, L., 2005)

2.5.2. Ultragyors/Kriogén fagyasztás

A kriogén fagyasztás nagy teljesítményű gyorsfagyasztás. Fázisváltozása miatt nagy hőfelvételre képes (párolgó, szublimáló) hűtőközeget közvetlenül érintkeztetnek 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.]

A nitrogén semleges, inert gáz, szokásos környezeti feltételek között nem lép reakcióba már anyagokkal. Megkövetelt tisztasága élelmiszer-fagyasztásra történő felhasználás esetén 99,995%. Légköri nyomáson -196°C -on cseppfolyósodik. Az általunk belélegzett levegőnek mintegy 78%-át alkotja. Előállítás levegőszétválasztással történik. Szigetelt tartályban (Dewar-edény) 0,3-0,5 MPa nyomáson 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.

A szén-dioxid természetes forrásokból, vagy ipari folyamatokból származik. A fagyasztás során főleg a szárazjég hőelvonó hatása érvényesül. A szublimációhoz szükséges hőt (látenshő) vonja el az élelmiszertől. Azonban élelmiszerek fagyasztásához ritkábban használják, ugyanis érzékszervi változásokat okozhat bizonyos termékeknél (pl. sertéshús beszürkülhet).

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 (Kapás, L., 2005).

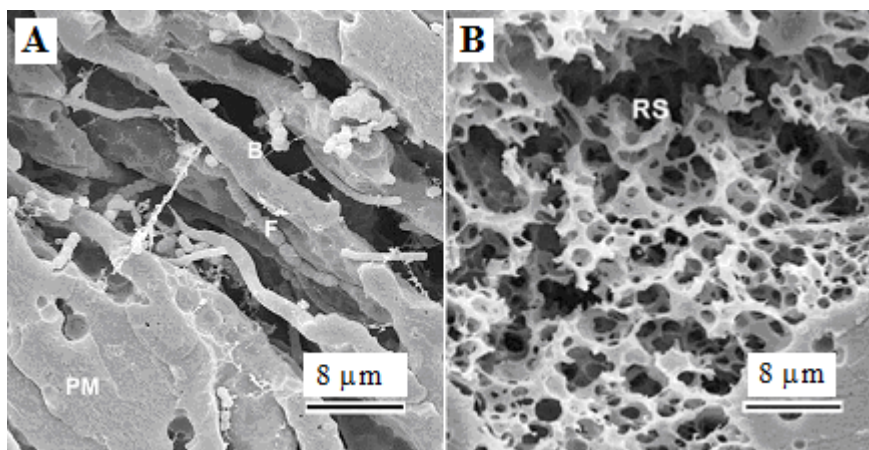
2.6. Szövetszerkezet nélküli élelmiszerek fagyasztása

A fagyasztás alatti jégkristályképződés hatása szempontjából megkülönböztetünk összefüggő, rendezett sejtekből felépülő szövetszerkezettel nem rendelkező, valamint a jól definiált szövetszerkezetet mutató élelmiszereket (Balla, 2007).

A sajtok a szövetszerkezet nélküli, gélként felfogható élelmiszerek közé sorolhatók, fagyasztásukkor törekedni kell arra, hogy a víz mikrokristályok formájában fagyjon ki, ugyanis a nagy jégkristályok roncsolják a szerkezetét, állományát.

A jégkristályok keletkezésének következtében a fehérjék lokálisan dehidratálódnak, ami a fehérjeszerkezet hasadását okozza. Túl hosszú fagyasztva-tárolási idő alatt a jégkristályok újrakristályosodása, átkristályosodása következtében a gél, azaz a fehérje mátrix destabilizálódik, tovább szakad a három-dimenziós fehérje térháló, megindul a Ca-kazeinát-Ca-foszfát komplex felbomlása, ami a fagyasztott sajtok esetében minőségkárosodást eredményez. Valamint a nem megfelelő módon végzett fagyasztás során képződött nagy jégkristályok a fehérje térhálóba ágyazott zsírgolyócskákat körülvéző lipoprotein réteget felszakíthatják, ami a felengedtetés után zsírkiválást okoz (Sáray, 2007).

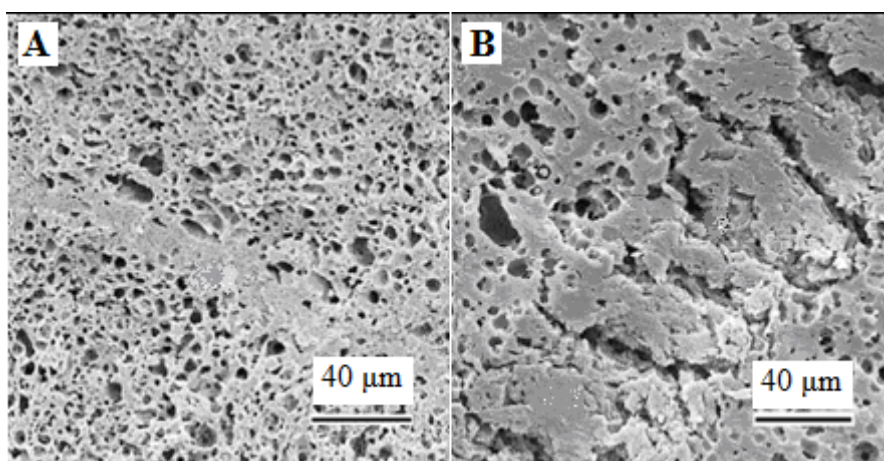
Kuo és Gunasekaran (2009) hevített-gyújt sajtok (Mozzarella és pizzasajtok) fagyasztására és fagyasztva-tárolásának hatására bekövetkező mikroszerkezeti változásokat vizsgálta. A pásztázó elektronmikroszkópia módszerével állapították meg a fagyasztás és fagyasztva tárolás (1 és 4 hét, -20°C -on) mikroszerkezetre gyakorolt hatásait előzetesen érlelt (2, 7 és 14 napig, 7°C -on) vagy a felengedtetés után temperált (1, 7 és 14 napig, 7°C -on) sajtminták esetében. A fagyasztva tárolt Mozzarella sajt szerkezetében pórusok és repedések alakultak ki, a pizzasajt-mintákon baktériumtelepek is megjelentek. A vizsgálatok rávilágítottak arra, hogy a sajt szerkezetét befolyásolja, hogy frissen vagy bizonyos ideig tartó érlelés után történik a fagyasztás, illetve hogy felengedtetés után a sajtot mennyi ideig temperálják. A fagyasztva tárolt és felengedtetett Mozzarella sajt mikroszerkezete porózusabb volt, mint a nem fagyasztott sajtoké, azonban a temperálás hatására hálós szerkezete részlegesen újra kialakult. A kutatók vizsgálatai alapján a fagyasztva tárolás időtartama (1 vagy 4 hét) nem okozott különbséget a Mozzarella sajt mikroszerkezetében, azonban a 4 héten át fagyasztva tárolt pizzasajtokon több repedés és baktériumtelep képződött, mint 1 hét fagyasztva tárolás után (8. és 9. ábrák).



8. ábra (A) Nem fagyasztott és a (B) 4 hétig fagyasztva tárolt és 7 napig temperált Mozzarella sajtok mikroszerkezete

PM: proteinmátrix, F: fehérjeszálak B: baktériumok RS: térhálós szerkezet

(Forrás: Kuo és Gunasekaran, 2009)



9. ábra (A) Nem fagyasztott és a (B) 4 hét után felengedett, 7 napig temperált pizzasajt mikroszerkezete

(Forrás: Kuo és Gunasekaran, 2009)

A fagyasztás hátránya, hogy a víz jég állapotba kerülése révén szerkezetroncsoló hatású, akár sejtes, szöveti szerkezetű, akár gél szerkezetű élelmiszerről van szó. Ez befolyásolja a termék fogyasztói megítélését.

Oberg és társai pásztázó elektronmikroszkópia módszerével végrehajtott kísérletben (1992) igazolták, hogy a fagyasztás során képződő nagy jégkristályok felsértik a sajt fehérjemátrixát, hatásukra javul a felengedési képesség, tehát rövidül a felengedési idő. Kuo és társai 2003-

ban NMR-módszerrel is igazolták, hogy a nagy jégkristályok miatt a termékben levő víz mozgékonyasága megnő és roncsolódik a fehérjeszerkezet.

Graiver, Zaritzky és Califano 2004-ben SEM-módszerrel vizsgálták a fagyasztott Mozzarella sajtot. Megállapították, hogy a jégkristályképződés hatására a sajt szerkezete sokkal porózusabbá vált, de hogyha a fagyasztási sebesség elég gyors, kisméretű jégkristályok képződnek, melyeknek a fehérjemátrixra gyakorolt roncsoló hatása minimális.

A fagyasztás csökkenti a juhtejből készült sajtok keménységét, feltehetően azért, hogy csökkenti a kazein-keresztkötések sűrűségét és egy sokkal porózusabb sajtot eredményez (Fontecha, Pelaez, Juarez & Martinhernandez, 1994).

2.7. Fagyasztóberendezések

A hőelvonással tartósított élelmiszerek huzamosabb tárolása fagyasztva történik. A fagyasztást lehetőleg gyorsan kell elvégeznünk, melyre a gyorsfagyasztó berendezések alkalmasak. (Csury et. al., 2002)

2.7.1. Levegővel működő fagyasztóberendezések

Mivel a levegővel történő fagyasztáskor a hőátadási tényező csak akkor elég nagy, ha a levegő turbulens áramlásban van, és ez a gyorsfagyasztás alapfeltétele, intenzív, nagysebességű légáramlás szükséges.

A hőmérséklet-különbség növelése is elősegíti a fagyási sebesség növekedését. A termék fizikai jellemzőit és méreteit adottságnak kell tekinteni a fagyasztóberendezés szempontjából. A kis méret, a vastagság növeli a fagyasztás sebességét.

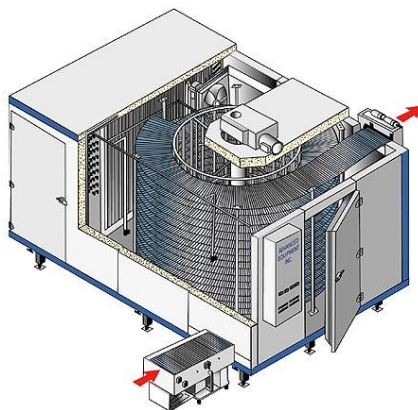
2.7.1.1. Teremfagyasztók

Teremfagyasztóknak azokat a tárolóhelyiségeket nevezzük, amelyekben a hőmérséklet legalább $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$, és amelyeknek légcirkulációjuk és a tárolási hőszükségletnél nagyobb hűtőtéljesítményük van, de tényleges „gyors” fagyasztásra nem alkalmasak. A teremfagyasztókkal általában csak lassú fagyasztási sebességet lehet elérni.

2.7.1.2. Szalagos gyorsfagyasztó berendezések

Folyamatos működésű berendezések, a szalag legtöbbször rozsdamentes acélhuzalból kialakított, 2-4 cm szélességű csíkokból acélpárnákkal összefogott speciális fémszövet, sebessége széles határok között változtatható (0,5 m/min – 6-8 m/min), alatta bordáscsővekből készült elpárolgató helyezkedik el. A nagyteljesítményű ventilátorokkal áramlásban tartott levegő mindig alulról felfelé áramlik, így először az elpárolgatón halad át, utána kerül az áruhoz.

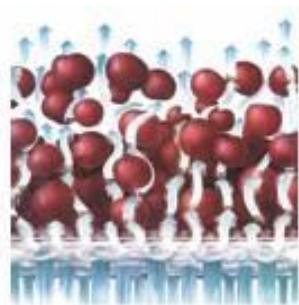
Az iparban darabos termékeknél a legelterjedtebbek az ún. spirálszalagos fagyasztók (10. ábra). Nagy előnyük, hogy kis alapterületűek, és bennük egy igen hosszú szalagot lehet elhelyezni. Készülhetnek egy vagy két dobos változatban is. A fagyasztótérben levő dob a szalaggal együtt mozog, a szalag általában rozsdamentes acélhuzalból készül, olyan kialakítással, hogy a termékek ne tudjanak visszacsúszni. A terméket alulról és felülről is be lehet adagolni, az üzem kialakításának megfelelően.



10. ábra Spirálszalagos fagyasztó (Forrás: www.advancedfreezer.com)

2.7.1.3. Fluidizációs fagyasztók

A fluidizációs fagyasztóberendezések is folyamatos működésűek, így a különböző feldolgozóvonalakhoz előnyösen csatlakoztathatók (in-line fagyasztás). A nagy sebességgel és nagy nyomással fölfelé áramoltatott levegő az árut megemeli és lebegésben tartja, ennek eredményeként a szilárd halmazállapotú részekből álló termék a folyadékhoz hasonlóan viselkedik, azaz fluidizál. Tehát a folyadékként viselkedő termék átfolyik a fagyasztón, az árunak a hideg légáramban való tartózkodását a beadagolás üteme szabja meg, melyet úgy kell megválasztani, hogy az áru átfagyjon. (11. ábra)



11. ábra Fluidizációs fagyasztó működési elve (Forrás: www.advancedfreezer.com)

2.7.1.4. Lemezes vagy kontakt fagyasztók

A hőelvonást sík felületű lapelpárologtató végzi, amelyet belülről az elpárologtató hűtőközeg hűt, külső felületével pedig az áru közvetlenül érintkezik. A hőelvonás vezetéssel történik, a fagyás sebessége jóval nagyobb, mint a levegőben fagyasztó berendezéseknél.

2.7.2. Hűtőközeg közvetlen érintkezésével működő fagyasztóberendezés

Vannak olyan berendezések, melyek nem gépi hűtéssel, hanem hideg folyadék közvetlen érintkeztetésével fagyasztanak. Ilyen pl. a folyékony nitrogénnel működő fagyasztóberendezés.

2.7.2.1. Kriogén fagyasztóberendezés

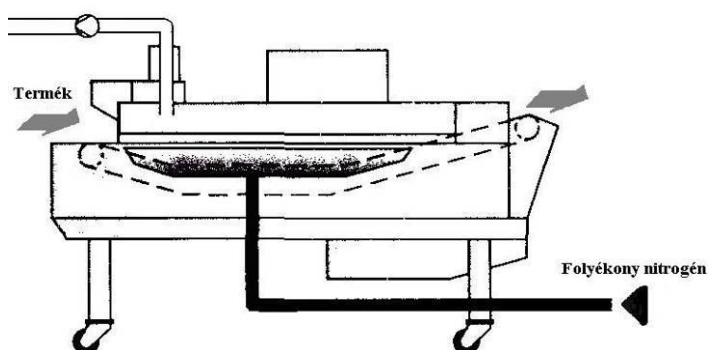
Míg a hagyományos fagyasztókat általában csak egy adott hűtési teljesítményre tervezik, addig a cseppfolyós nitrogénnel vagy szén-dioxiddal működő fagyasztóberendezések nagyon széles kapacitástartománnyal működnek.

Rugalmas felhasználási lehetőségeket nyújtanak, könnyen bővíthetők és kisebb méretűek, mint a hagyományos mechanikus rendszerek. A berendezések nincsenek helyhez rögzítve, könnyen mozgathatóak. A szükséges hűtőközeget tároló tartályokat kint a szabadban állítják fel.

A kriogén fagyasztóberendezések közül több konstrukció létezik, ezek közül azt kell kiválasztani, amelyik a gyártóvonalba beilleszthető, és a termék jellegének leginkább megfelelő. Két fő típusa a bemerítéses vagy immerziós és a permetezéssel fagyasztóberendezés. (www.cesgroup.com)

Immerziós kriogén fagyasztó

Ennek a típusú kriogén fagyasztónak a működési elve rendkívül egyszerű, ugyanis a terméket tulajdonképpen átvezetjük egy cseppfolyós nitrogénfürdőn. Ez az eljárás nagyon rövid fagyási időt eredményez és a fagyasztás folyamatos, hátránya viszont, hogy sok hűtőközeg párolog el a rendszerből anélkül, hogy hasznosult volna. Az 12. ábrán az immerziós fagyasztóberendezés működési sémája látható.



12. ábra Immerziós fagyasztóberendezés (Balla, 2007)

Bár a fagyás nagyon intenzív, ezt a típust kevésbé alkalmazzák amiatt, hogy nehezen lehet szabályozni az élelmiszer tartózkodási idejét a folyékony hűtőközegben a túl gyors fagyás miatt.

Permetezéses kriogén fagyasztók

Ennél az eljárásnál a termékre permetezik a cseppfolyós hűtőközeget. Ez a permetezés berendezéstől függően több módon történhet.

A fagyasztószekrények esetében (13. ábra) a beépített ventilátorok a folyékony hűtőközeget szétporlasztják, közben nagy légsebességet biztosítanak, a folyadék érintkezik a termékkel, amely gyorsan megfagy. Az árut keretes kocsin tolják be a kamrába, így a termékek egyszerre fagynak meg és biztosítható a könnyű árumozgatás is. Ezt a megoldást a nagyobb méretű termékek esetében használják. A szakaszos működés miatt ennek a konstrukciónak valamivel kisebb a teljesítménye, mint a szintén kriogén folyadékkal működő fagyasztó alagutaknak (14. ábra).

A fagyasztó alagutak folyamatos fagyasztást tesznek lehetővé, így a gyártóvonalakba könnyen beilleszthetők. Emellett fagyasztási teljesítményük jól szabályozható a szalag sebességével. A kriogén folyadékot porlasztófejek permetezik a termékre, a felmelegedett gázzal –amely akár -40°C -os is lehet– előhűtik az alagútba beérkező terméket. Általában gurulós ill. kisméretű termékeknél célszerű használni ezt a megoldást.



13. ábra Kriogén fagyasztószekrény



14. ábra Kriogén fagyasztóalagút

(Forrás: www.lindegas.hu)

2.8. Az élelmiszerek fizikai, hőfizikai tulajdonságai

A táplálkozási szokások során az élelmiszerek iránt több tekintetben is elvárások alakultak ki, a konzervatív fogyasztói magatartás miatt általában a jól megszokott formában és alakban van kereslet rájuk. Az élelmiszerek méretbeli tulajdonságaira előírások vonatkoznak tárolási, gyártási paraméterek és a helyes technológiát illetően, valamint az élelmiszerek színének és konzisztenciájának megőrzése is fontos kíváncsi. Az élelmiszereink fagyasztásának, fagyasztva tárolásának és szállításának tervezéséhez egyes hőfizikai paraméterek ismerete szükséges.

Az élelmiszerek fontos hőfizikai tulajdonsága a *fagyáspont*. A valóságban azonban nem beszélhetünk fagyáspontról, hanem csak arról a hőmérsékletről, amelyen megkezdődik az élelmiszerekben levő víz fagyása illetve intenzív olvadása. A tiszta víz fagyáspontja normál légköri nyomáson 0°C , a vízből hőt elvonva hőmérséklete mindaddig 0°C marad, amíg a víz teljes tömege jéggé nem alakul. Mivel az élelmiszerekben levő víz oldott anyagokat is tartalmaz, ezért az adott térfogatban kevesebb víz fagyhat meg, ezenkívül az oldott anyag növeli a viszkozitást, gátolja a vízmolekulák mozgását és csökkenti azok diffúziójának sebességét. Ez a víz relatív gőznyomásának csökkenéséhez vezet. Mivel az oldott anyag gőznyomása kisebb az azonos hőmérsékletű tiszta oldószernél, az említett egyenlőség csak

alacsonyabb hőmérsékleten jöhet létre. Emiatt a fagyasztás során a fagyáspont csökkenés jelensége tapasztalható, a víz kifagyása 0°C-nál alacsonyabb hőmérsékleten indul meg. A hőelvonást folytatva „csökken a hőmérséklet csökkenése”, miközben egyre több víz fagy ki. Az élelmiszerek víztartalma tehát nem egy adott hőmérsékleten alakul át jéggé, hanem egy hőmérséklet-tartományban (Sáray, 2002).

Az élelmiszer hőfizikai tulajdonságait a *kifagyó vízmennyiség* nagymértékben befolyásolja. A keletkező jég mennyisége a hőmérséklet függvénye. A fagyáspont közelében a hőmérséklet-csökkenés következtében a termék víztartalma jelentős hányadban fagy ki. A kifagyasztandó vízmennyiség teljes mértékben azonban csak -60 ... -65 °C-on alakul át jéggé.

Az élelmiszerek *fajhője* szintén additív hőfizikai jellemző, méréssel és számításokkal állapíthatjuk meg.

$$c = g_1c_1 + g_2c_2 + g_3c_3 + \dots + g_nc_n \quad [1]$$

ahol c – az élelmiszer fajhője [kJ/kg °C],

$g_1, g_2, g_3, \dots, g_n$ – az összetevők tömegaránya,

$c_1, c_2, c_3, \dots, c_n$ – az összetevők fajhője [kJ/kg °C].

Az élelmiszerek fajhőjét fagypont feletti és alatti hőmérsékleten másképpen alakul, ugyanis az élelmiszerek fagyáspontja alatt a különböző hőmérsékleteken eltérő mennyiségű víz fagy ki, továbbá a jég fajhője 0°C-on körülbelül fele a vízének.

A rendszer hőtartalmára a termodinamika I. főtétele alapján definiált állapotfüggvény, az *entalpia* jellemző. Jelölése: H betű, dimenziója: kJ. A fajlagos entalpia jelölése: h , dimenziója: kJ/kg. Értékét egyezményes alappontra vonatkoztatják, a nedves levegő entalpiáját például 0°C-ra, élelmiszerek entalpiáját a fagyasztásos tartósításnál -40°C alappontra.

A fagyasztott élelmiszerek entalpiája a lehűtéshez szükséges hőelvonás és a fagyási látens hő összegéből adódik. Figyelembe véve az élelmiszer összetételét is az entalpia (H) értéke a következő:

$$H = H_{sz} + H_v + H_j + H_L \quad [2]$$

ahol H_{sz} – az élelmiszer szárazanyag-tartalmának entalpiája [kJ],

H_v – a meg nem fagyott víz entalpiája [kJ],

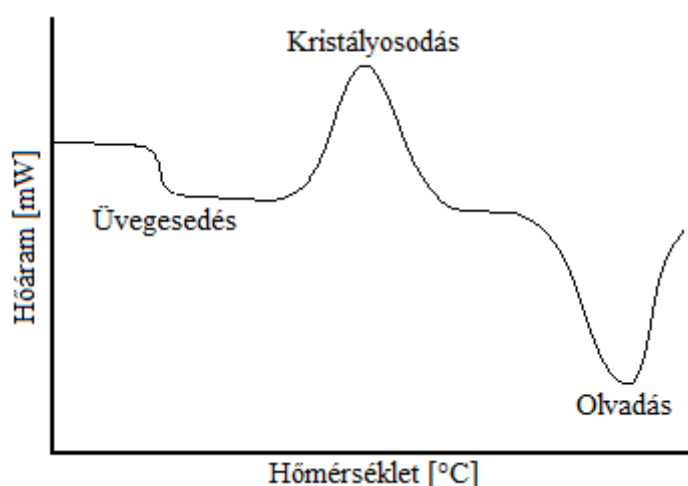
H_j – a megfagyott víz (jég) entalpiája [kJ],

H_L – a fagyási látens hő [kJ].

2.9. A differenciális pásztázó kalorimetria

A DSC (Differential Scanning Calorimetry) olyan termoanalitikai módszer, amely az anyagátalakulási folyamatok hőáramának mérését teszi lehetővé a hőmérséklet ill. az idő függvényében (Farkas, J. 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 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. Üvegesedés akkor léphet fel, amikor egy amorf szilárd test hőmérsékletét növeljük. Ez jól nyomon követhető a rögzített DSC-görbén, köszönhetően a minta hőkapacitás-változásának. A hőmérséklet növelésének következtében az amorf anyag viszkozitása egyre csökken, majd egy bizonyos ponton a molekulák már akkora szabadsági fokkal rendelkeznek, hogy megtörténik a kristályosodás. Ezt a hőmérsékletet kristályosodási hőmérsékletnek nevezzük. Ez az átalakulás egy exoterm folyamat, és a DSC görbén megmutatkozó csúcsban nyilvánul meg. Ahogy a hőmérséklet növekszik, a minta végül eléri az olvadási hőmérsékletet. Az olvadási folyamat egy endoterm csúcsot eredményez (15. ábra). Az átmeneti hőmérsékletek és az entalpiák meghatározásának lehetősége teszi értékessé a DSC-t különböző kémiai rendszerek számára. (Dean, 1995; Pungor, 1995; Skoog et. al., 1998; M.J. O'Neill, 1964).



15. ábra Egy tipikus DSC görbe (Laye, 2002)

A fagyasztott élelmiszer tartósságát a kis hőmérsékletek kémiai reakciókra gyakorolt hatása, valamint a víznek, mint köztes közegnek a kifagyása biztosítja. Az élelmiszerek fagyási folyamata az oldatok fagyásának törvényszerűségét követi, jellemzője a krioszkópos hőmérséklet, ahol a víz fagyása elkezdődik, valamint az eutektikus hőmérséklet, amelyet közelítve az élelmiszer víztartalmának döntő hányada jég állapotba kerül. Mivel élelmiszereink eutektikus hőmérséklete $-40...-60^{\circ}\text{C}$ tartományba esik, a fagyasztva tárolás szokásos hőmérsékletén $-18...-25^{\circ}\text{C}$ a víztartalom egy része folyadék fázisban van és a hőmérsékletingadozás hatására állandó fázisváltozást szenved. E folyamat a tárolás során rontja a termék szerkezetét. A hőmérsékletingadozás hatásának ismerete a fagyasztva tárolás hőmérsékletének tartományában segítheti a fagyasztási és tárolási technológia fejlesztését, a minőség jobb megővését, ezért e folyamatok nyomonkövetése, részletes értékelése számos kutató célja. (Balla et. al., 1992)

Az élelmiszerekben kis hőmérsékleten lejátszódó termofizikai folyamatokat a DSC görbe megbízhatóan reprezentálja. Méréseink információkat szolgáltatnak néhány élelmiszer kifagyasztható víztartalmának állapotáról, bizonyítva, hogy helytelen fagyasztási véghőmérséklet, az osztályozás, csomagolás, tárolás, szállítás közbeni hőmérsékletváltozás fázisátalakulást okozva minőségrontó tényező lehet.

Az élelmiszerek szerkezeti és összetételbeli különbözőségük miatt sajátos olvadási tulajdonságúak, ezért a fagyasztás és a fagyasztva tárolás során meglehetősen eltérő módon viselkednek. Számos olyan megfigyeléssel rendelkezünk (tömbösödési és deformációs hajlam stb.), amelyek összevetése a fizikai jellemzőkkel új, általánosítható törvényszerűségekhez vezethet vagy elősegítheti egyes technológiák fejlesztését (Fikiin, Gogov, 1972).

A módszer alkalmazható a ki nem fagyasztható vízmennyiség meghatározására az olvadási tulajdonságok és a vízállapotváltozás vizsgálatára és kis nedvességtartalmú élelmiszerek vízállapotának tanulmányozására. (Balla et. al., 1992)

Ezek mellett alkalmazható még a fehérjék térszerkezeti stabilitása és termodinamikai stabilitása közötti kapcsolat, keményítő csirizedés és zsiradékok olvadási és dermedési vizsgálatára, valamint hőkezelési technológiák modellezésére.

Egy kísérlet alkalmával a DSC segítségével sikerült különbséget tenni a természetes és hamisított Mozzarella sajtok között oly módon, hogy a sajtban levő tejzsír kristályosodási tulajdonságait vizsgálták a javasolt érlelési mechanizmus során (Tunick et. al., 1988). Mivel a

kristályosodási mechanizmus eltérősége minden bizonnyal kihat a zsírgolyócskák szerkezetére és funkcionális tulajdonságaira, ezért ilyen esetben további vizsgálatok elvégzése indokolt.

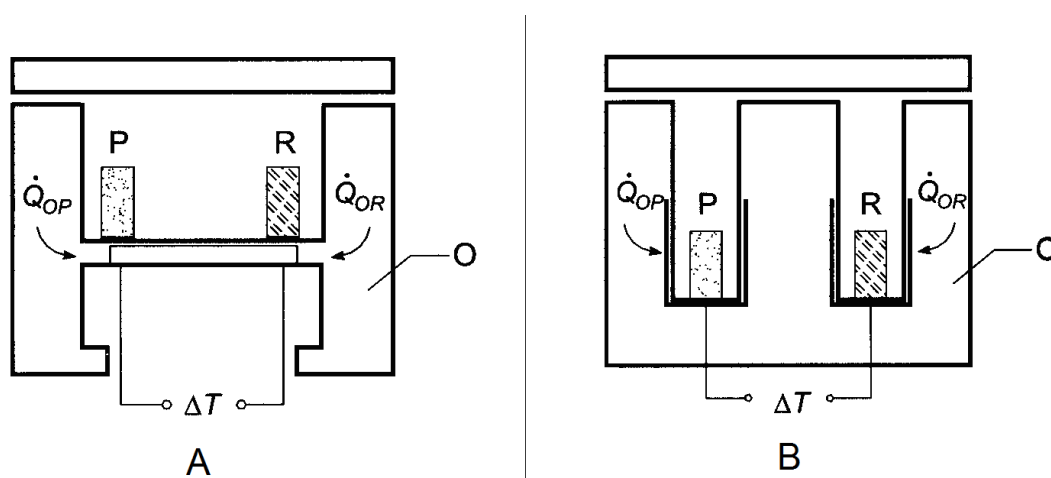
A technika alkalmazásával beazonosítható a sajtgyártás során felhasznált tej származása (Karray et. al., 2004), valamint különböző sajtok olvadási profiljait is vizsgálták a módszerrel (Famelart et. al., 2002).

2.9.1. A DSC felépítése és működése

A DSC alapvetően három egységből épül fel. A mérést végző egység, mely tartalmazza a hőelnyelő blokkot a benne lévő mérő és referencia cellákkal. A következő rész a mérőblokkot közvetlenül szabályozó egység, ami a felfűtést, lehűtést végzi. A harmadik komponens egy nagy teljesítményű, megfelelő software-rel felszerelt személyi számítógép, mely az adatgyűjtést, a mérések elemzését és a kalorimetriás görbe megjelenítését végzi.

A DSC működési elve a következő: a mintát és a referenciát tartalmazó mérőcellát a készülék fűthető és hűthető hőelnyelő blokkjába helyezzük. Ez a hűthető-fűthető blokk két típusú lehet, berendezéstől függően. Az alábbi ábrán látható a két elrendezés. Az egyik esetben (16/A) a két mintatartó egy térben helyezkedik el egy platina lemezen, ebben az esetben általában csak néhány mg mintát mérünk be, és a referencia minta egy üres lezárt tartó.

A másik esetben (16/B) kb. 1 ml-es mintatartóba mérjük a mintát és a minta tömegével közel azonos referenciamintát, amely például desztillált víz lehet. A lezárt cellákat ezután két külön térben helyezzük el a készülékben.



16. ábra DSC felépítése (Figura & Teixeira, 2007)

A mérés során a két mintatartóban elhelyezett mérendő, ill. referenciaminta hőmérséklete lineárisan növekszik az idő függvényében. A kapott jel arányos a két minta lineáris hőmérsékletnövekedéséhez szükséges teljesítmények különbségével.

Ily módon, ha a mérendő mintában hőelnyeléssel vagy hőleadással járó folyamat játszódik le, a kimenő jelen egy pozitív vagy negatív csúcsot kapunk.

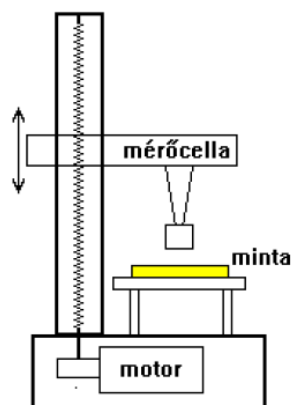
A csúcsok helyzetéből és alakjából következtetni lehet a lezajlott átalakulások jellegére és több, az átalakulásra jellemző paraméter is meghatározható. Ilyenek például a fehérje denaturációs hőmérsékletek, olvadási paraméterek, az átalakuláshoz szükséges hőmennyiség stb. Ezeket a berendezéseket igen elterjedten használják folyadékokban és szilárd anyagokban lejátszódó kémiai reakciók, valamint fázisátalakulások vizsgálatára.

2.10. Az állományváltozás nyomon követése

Az állomány az élelmiszer összetett minőségi jellemzője, melyet különböző fizikai tulajdonságok együttesen határoznak meg. A szakirodalomban ennek vizsgálatáról számos tanulmány olvasható, ezek közül az érzékszervi, valamint a műszeres vizsgálatok a legjelentősebbek. Az élelmiszerek szerkezetének változása különböző jellemzőkkel kifejezhető ki, úgy mint a keménység, tapadosság, rugalmasság, szálasság, rághatóság, kenhetőség, viszkózusság, törekenység stb. (Brandt et. al., 1963).

2.10.1. Objektív állományvizsgálati módszer

A TPA (Texture Profile Analysis/állományprofil-analízis) az élelmiszerek, kozmetikumok, gyógyszerek stb. mechanikai vizsgálatát jelenti. A TA.XTplus Texture Analyser műszerrel másodpercenként akár 500 különböző paraméter (erő, távolság, eltelt idő) rögzítésével megállapíthatóak az állománybeli jellemzők, amelyeket ezután a teljesen integrált Exponent 32-bites szoftver jelenít meg. Ez a nagy teljesítményű és sokoldalú állománymérő műszer teljeskörűen kielégíti az egyre növekvő igényeket a pontos, ismételhető és számszerűsíthető állománymérési vizsgálatok terén. (www.stablemicrosystems.com).



17. ábra Az SMS műszer működési vázlat (Szalai, 2003)

A műszer az alábbi főbb elemekből áll (17. ábra):

Az erőmérő cella lefelé és felfelé is mozgatható hídszerkezetben van elhelyezve. A hídszerkezet mozgását a műszer vázszerkezetében elhelyezett léptetőmotor végzi, melynek sebességét a program által előírt frekvencia szabja meg. Számítógép rögzíti a híd és vele a mérőtest felületének pozícióját. A mérőcella mind nyomásra, mind húzásra igénybe vehető. A mérés vezérlését a feladathoz szerkeszthető számítógépes program hajtja végre, és az adatok gyűjtéséről, és tárolásáról is a számítógép gondoskodik. A műszer értékes tulajdonsága, hogy szinte tetszőleges programok írhatók hozzá, mint például a görbe egyes pontjainak kijelölése, a görbe szakaszok alatti területek integrálása, stb. (Szalai, 2003)

2.10.2. Szubjektív állományvizsgálati módszer

Az élelmiszerek érzékszervi tulajdonságai és azok harmóniája a minőség meghatározó része. Az érzékszervi minősítő módszerek nagy szerepet játszanak az élelmiszerminőség elbírálásában. A kedveltség, vevői elégedettség kutatásában jelentősek a kvalitatív laboratóriumi módszerek, melyekkel általában egyes érzékszervi tulajdonságokat vizsgálnak kvalitatív jelleggel, míg a leíró és értékelő módszerekkel az egyes érzékszervi tulajdonságokat és tulajdonságcsoportokat (szag, íz, külső megjelenés, texturális tulajdonságok stb.) külön-külön, valamint összehatásukban leíró jelleggel és számszerűen értékelve határozzák meg. A szakirodalomban számos adat található a sajtok állományvizsgálatáról, pl. a kemény sajtokkal Jack és munkatársai (1994) vagy a francia sajtokkal Antoniou és munkatársai (2000) végeztek kísérleteket.

3. Célkitűzés

A sajtok fagyasztása ipari méretekben nem jellemző, azonban esetenként a hosszú szállítási idő (pl. külföldi export) és disztribúció megköveteli a huzamosabb tartósítást.

TDK-dolgozatom célja a Parenyica sajtok minőségének fagyasztással történő megőrzése a kriogén-, az áramló, valamint a nyugvó levegőben történő fagyasztási technológiák összehasonlításával, és annak a fagyasztási és felengedtetési módszernek a kiválasztása, mely a legkedvezőbb terméket biztosítja.

A rövid minőség-megőrzési idejű sajtok eredeti tulajdonságai a logisztikai folyamatok alatt kedvezőtlenül alakulhatnak, azonban a Parenyica sajt a gyúrt-hevített sajtok kategóriájába tartozik, amelyek a különleges alvadékkezelési technológiának köszönhetően fagyasztásra alkalmasabbak lehetnek, mint a klasszikus technológiával készített sajtok. A különleges alvadékkezelési technológiának köszönhetően a Parenyica sajt a szövetszerkezet nélküli élelmiszerek csoportjába sorolható, hiszen a hőkezelés során egy más, zárt sajttészta alakul ki, emiatt talán a fagyasztás sebességének, a jégkristályképződés módjának és helyének szerényebb hatása van a termék minőségére és megjelenésére.

A fagyasztás utáni felengedtetés módja meghatározó a termék minőségére, munkám során a legoptimálisabb tulajdonságokkal rendelkező terméket eredményező módszer kiválasztására törekszem.

4. Anyagok és módszerek

4.1. A Parenyica sajt

Méréseimhez kereskedelmi forgalomban kapható füstölés nélküli Parenyica sajtot (18. ábra) használtam. A Parenyica sajt mártásos hőkezeléssel (hevítés) készített, sózott, jellegzetesen tekercsbe göngyölt, majd a saját anyagából készült szalaggal átkötött, érlelt, jellegzetes érzékszervi tulajdonságú, általában füstölt, félkemény, hevített-gyúrt sajt (MÉ 1-3/51-1; 2008).



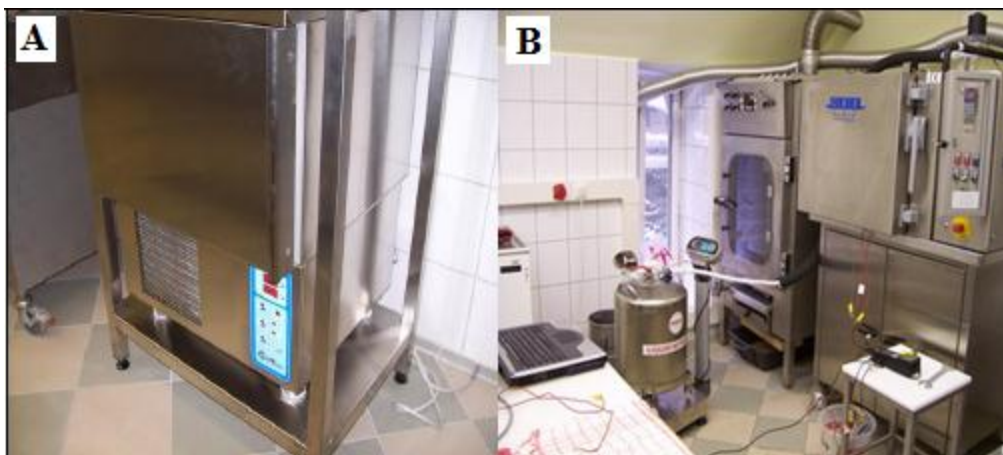
18. ábra Parenyica sajt (Forrás: Saját)

4.2. Fagyasztóberendezések, módszerek

A hagyományos fagyasztást háztartási fagyasztószekrényben végeztem. -18°C -on nyugvó levegőben -12°C -os maghőmérséklet eléréséig fagyasztottam.

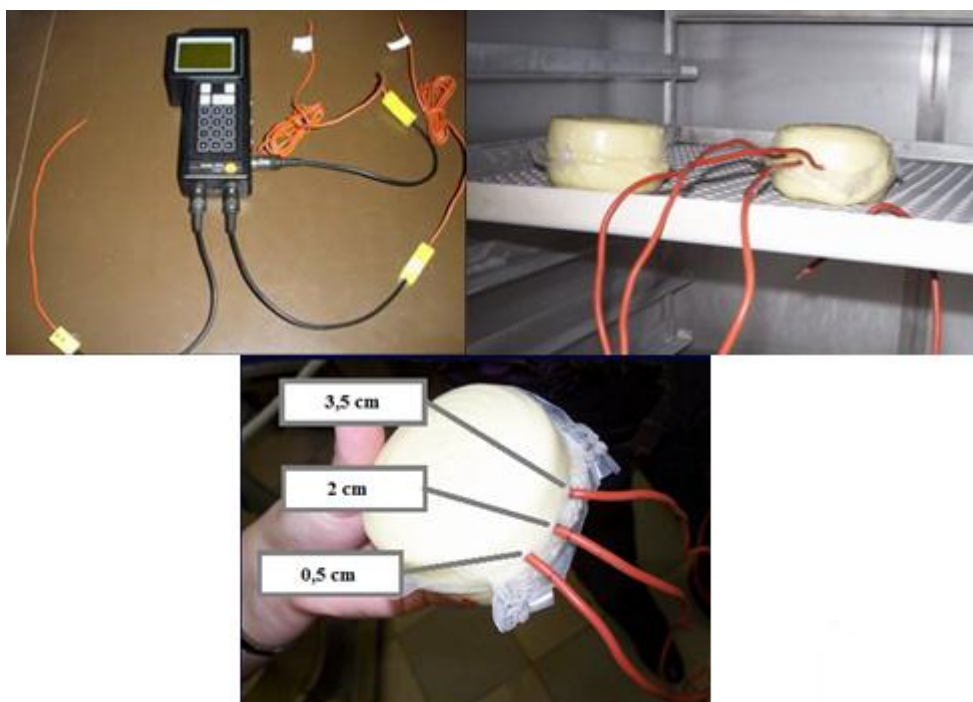
A gyorsfagyasztás végrehajtásához áramló levegős (sokkoló) fagyasztószekrényt (19/A ábra) használtam. A berendezés -30°C -on működött, -18°C -os maghőmérséklet eléréséig tartott a fagyasztás.

A kriogén fagyasztást permetezési technikával kriogén fagyasztószekrényben (19/B ábra) hajtottam végre -40°C -on. Szelepeken keresztül engedték a hűtőtérbe a Dewar-edényben tárolt folyékony nitrogént, melyet nagy teljesítményű ventilátor oszlatott szét. Szintén -18°C -os maghőmérséklet eléréséig fagyasztottam.



19. ábra Áramló levegős (sokkoló) fagyasztószekrény (A) és a kriogén fagyasztóberendezés (B) (Forrás: Saját)

A fagyasztások alatti hőmérsékletváltozást Testo 454 típusú műszerrel (20. ábra) mértem. A sajtokban (3,5 cm – maghőmérséklet -, 2 cm - közbenső hőm. - illetve 0,5 cm – felületi hőm. - „mélységben”) műszerhez csatlakoztatott termisztorokat helyeztem el. Testo Comsoft Software segítségével másodpercenként regisztráltam a hőmérséklet csökkenését.



20. ábra Testo 454 mérőműszer és a sajtkban elhelyezett termisztorok (Forrás: Saját)

A lefagyasztott mintákat az adott maghőmérsékleteken 10 hétig tároltam, majd egy részüket hűtőszekrényben 8°C-on, másik részüket szobahőmérsékleten (~20°C) engedtettem fel és következőkben ismertetett módszerekkel vizsgáltam az így kapott mintákat.

4.3. A fagyasztási és felengedtetési módok hatásainak vizsgálata

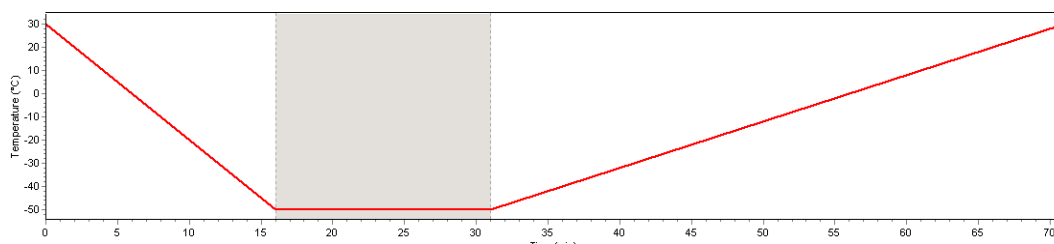
A fagyasztási és felengedtetési módok hatásainak megállapításához különböző paramétereket vizsgáltam három párhuzamos mintával.

4.3.1. Tömeg, pH, szárazanyag-tartalom meghatározása

A felengedtetési anyagveszteség számításához a fagyasztás előtt és után digitális mérleggel meghatároztam a tömeget. A minták pH-ját Testo 206-pH2 típusú műszer segítségével mértem meg. A szárazanyag-tartalom meghatározását KERN MLS típusú gyors nedvesség-meghatározó készülékkel végeztem. A bemért minta (kb. 3g) nedvességtartalmának gyors elpárologtatása halogén hőforrás segítségével történt (105°C-ig).

4.3.2. A DSC

A ki nem fagyó víztartalom, a minta felolvasztásához szükséges hőmennyiség, valamint az intenzív olvadás kezdeti hőmérsékletének meghatározását Setaram DSC 131 evo típusú készülékkel végeztem. A mérés során 50-70 mg mintát mértem be a 100 µl-es alumínium mintatartókba. Referenciaként üres mintatartót használtam. 5°C/perc sebességgel +30°C-ról -50°C-ra hűtöttem, majd 15 percig -50°C-on tartottam a mintákat, ezt követte a felfűtési szakasz (-50°C-ról +30°C-ra 5°C/perc felfűtési sebesség). (21. ábra)



21. ábra DSC felfűtési program

A mérés során rögzítettem a minta hőmérsékletét és a hőáramot. A kiértékelést a felfűtési szakasz hőmérséklet függvényében mért hőáramgörbéken végeztem.

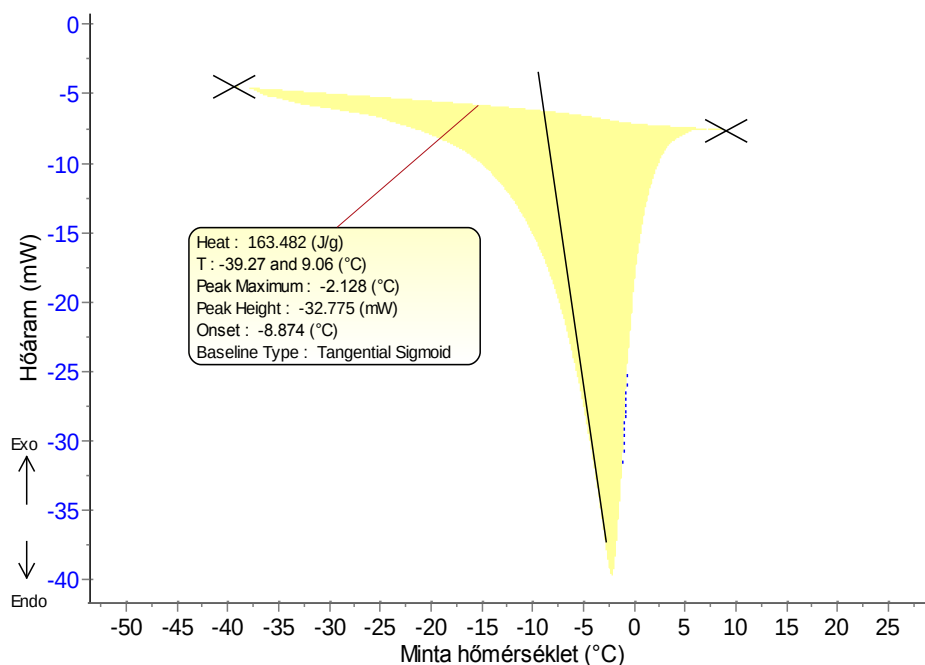
Az alapvonal felvétele két üres mintatartó felhasználásával történt, majd ezt a görbét kivontam a minták DSC görbéiből, csökkentve a mérés közbeni „zajokat”.

A kiértékelést Callisto Processing 1.07 programmal hajtottam végre, mely során a felfűtési szakaszt vizsgáltam. Tangenciális sigmoid típusú alapvonal görbére való illesztése után meghatároztam a görbe alatti területet, ez a minta felolvadásához szükséges hőmennyiség J/g-ban. 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 (22. ábra).

Fontos paraméter ezen kívül a minták ki nem fagyó víztartalma, amelyet elméleti számítással lehet meghatározni a víz olvadásához szükséges hőmennyiségből a minta víztartalmából és a minta felolvasztásához szükséges hőmennyiségből.

$$UFW\% = 100 - \frac{\Delta H_{\min ta}}{(\Delta H_{\text{víz}} \cdot (W / 100))} \cdot 100 \quad [3]$$

UFW: ki nem fagyasztható víztartalom (%), W: víztartalom (g/100g), $\Delta H_{\min ta}$: a minta felolvasztásához szükséges hőmennyiség (J/g), $\Delta H_{\text{víz}}$: a víz olvadásához szükséges hőmennyiség: 330 kJ/kg.



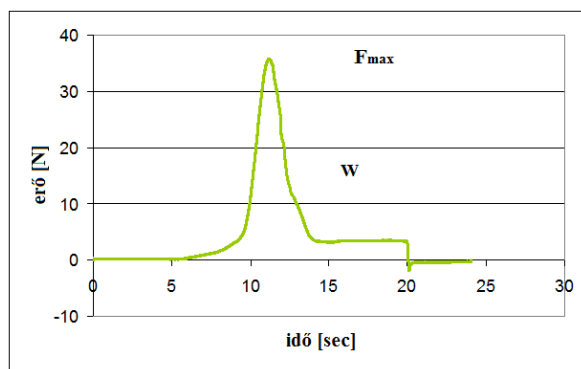
22. ábra A DSC görbe kiértékelése

Az eredmények értékelésénél a különbségek, illetve az egyezések kimutatására minden esetben kétmintás páronkénti t-próbát alkalmaztam, 95%-os konfidencia szinten. A

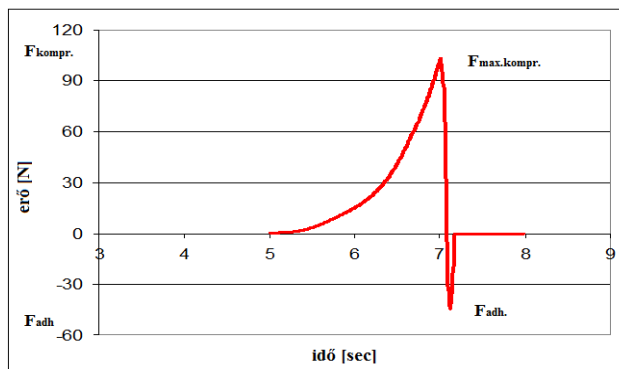
kiértékelésnél a p-értékeket vettem alapul, tehát ha $p < 0,05$, akkor a két érték közötti különbség szignifikánsnak tekinthető.

4.3.3. Műszeres állományvizsgálat

Az sajtminták állományvizsgálatát TA.XT Plus Texture Analyser (Stable Micro System-SMS) műszerrel hajtottam végre. Kétféle mérési módot alkalmaztam, a mérésekhez a mintákat 30 percen keresztül 12°C -os hűtőszekrényben temperáltam. Kramer 5 kamrás cellával vizsgáltam a minták állományának szálasságát. A minták előkészítésénél 6 cm hosszú és 4 cm széles sajtdarabokat vágtam. Az alkalmazott paraméterek: próbatest mozgásának sebessége 2 mm/sec, távolság 40 mm. A mért állomány jelleggörbéről (23. ábra) leolvasható a maximális erő [$F_{\max}$], amely azt mutatja meg, hogy mekkora erő kell ahhoz, hogy a sajttésztát szálakra szét tudjuk szedni. A görbe alatti terület a széttroncsoláshoz szükséges munka. Teljes kompresszióhoz a P/35 feltétet használtam (24. ábra), mellyel a sajtra jellemző keménységet lehet reprezentálni. Minták előkészítésénél a sajt a külső felületét eltávolítottam és 25,4 mm átmérőjű 3-4 mm vastag mintadarabokat szúrtam ki. Az egyszeres penetráció alkalmazásához a beállítások a következők voltak: próbatest mozgásának sebessége 2 mm/sec, távolság 40 mm. A mérés állománygörbájén jól látható a maximális kompressziós erő [$F_{\max, \text{kompr.}}$], amely a sajttészta teljes összenyomásához szükséges erőt jelenti. A görbe alatti terület a hozzá tartozó munkát mutatja. A minimális adhéziós erővel [F_{adh}] termék tapadosságát és képlékenységet lehet számszerűsíteni.



23. ábra Kramer cellával mért állomány jelleggörbe



24. ábra P35 feltéttel mért állomány jelleggörbe (Teljes kompresszió)

4.3.4. Érzékszervi vizsgálat

A kontroll, illetve a 2 hónapos tárolás utáni minták érzékszervi vizsgálata 22 főből álló laikus bírálócsoporthal profilanalízis módszerével történt. Azt vizsgálták, hogy van-e különbség az egyes minták között Magyar Élelmiszerkönyv 2-51/06 sz. irányelvében leírt minőségi követelményeknek megfelelően alak [hibás/hibátlan], szín [fehér/vajszínű, sárgás], íz [üres/aromás illetve sótlan/sós], illat [jellegtelen/jellegzetes] és állomány [rugalmatlan/rugalmas; lyukacsos/zárt; homogén/rostos, szálas sajttészta] tekintetében.

A bírálók a sajtminták tulajdonságait a bírálati lapon szereplő 0-100 egység terjedelmű strukturálatlan intenzitás-skálán rögzítették. A skála 100-as végpontja jelentette az adott tulajdonságtól elvárt maximális értéket.

4.3.5. Korreláció-analízis

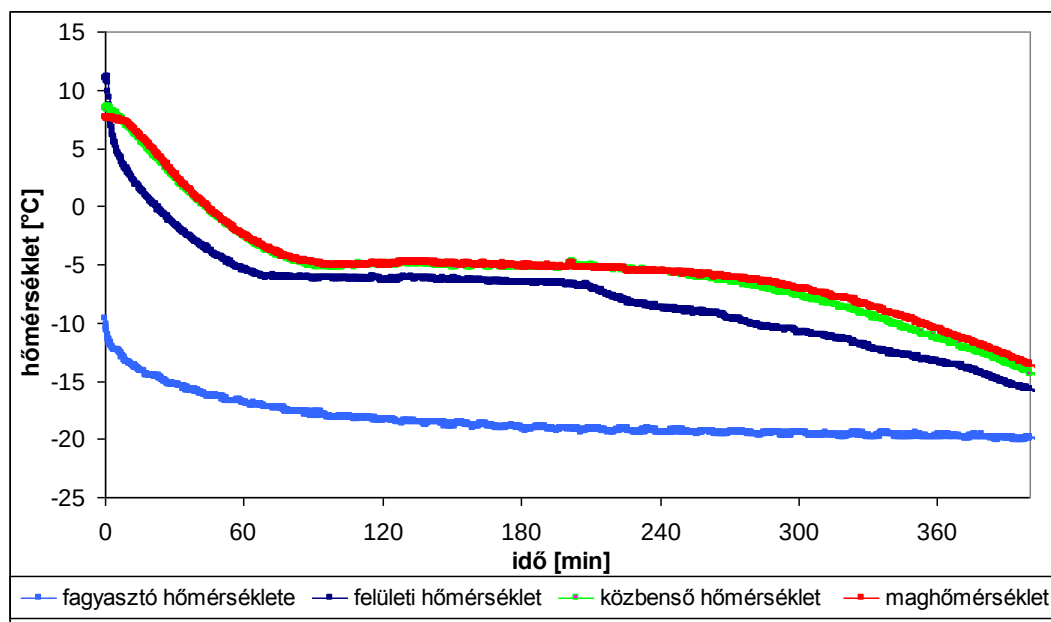
A műszeres állománymérés során a Kramer cellával mért maximális erőket korreláció-analízissel összevettem az érzékszervi bírálatnál kapott szálasság-eredményeinek pontszámaival. A két módszer egymás mellett használva teljeskörű képet ad a sajtok állományáról.

5. Eredmények és értékelésük

5.1. Fagyasztási görbék

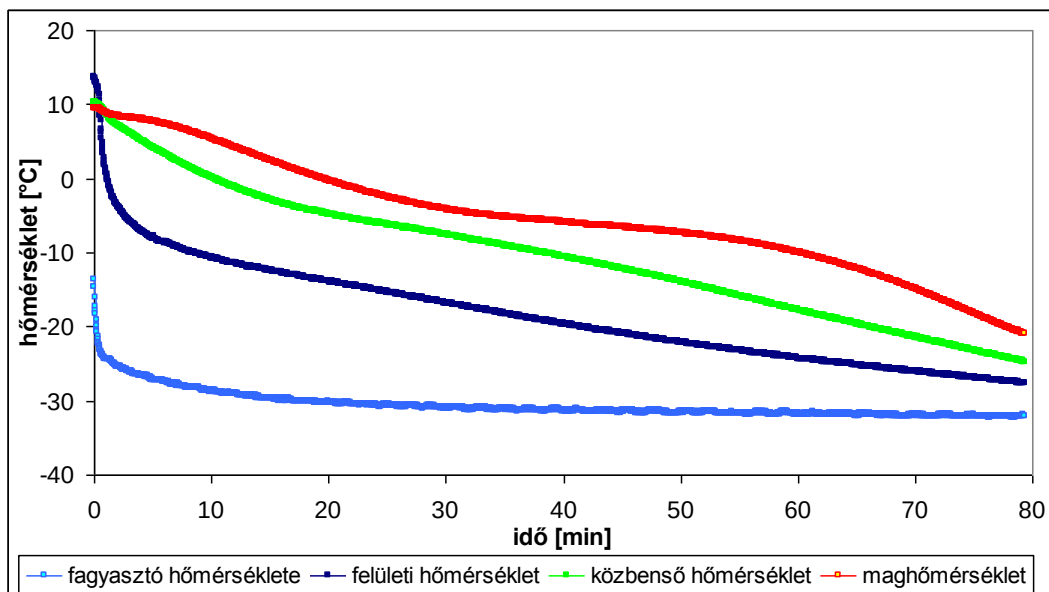
Az alábbi diagramokon a Parenyica sajt fagyasztási görbéi láthatók különböző fagyasztási hőmérsékletek mellett.

Az alábbi diagram (25. ábra) a lassú fagyasztás során rögzített hőmérsékleteket szemlélteti. A görbéken jól látszik, hogy -18°C -on nyugvó levegőben történő fagyasztási technikával a sajt maghőmérséklete kb. 5,5 óra alatt éri el a -12°C -ot, a kritikus kristályképződési zónán való átjutási idő körülbelül 3,25 óra. A rendkívül lassú hőmérsékletcsökkenésből és fagyasztási időtartamból adódóan a sajt felületi, belső és maghőmérsékletét érzékelő termisztorok hozzávetőlegesen egymást fedő görbéket adtak.



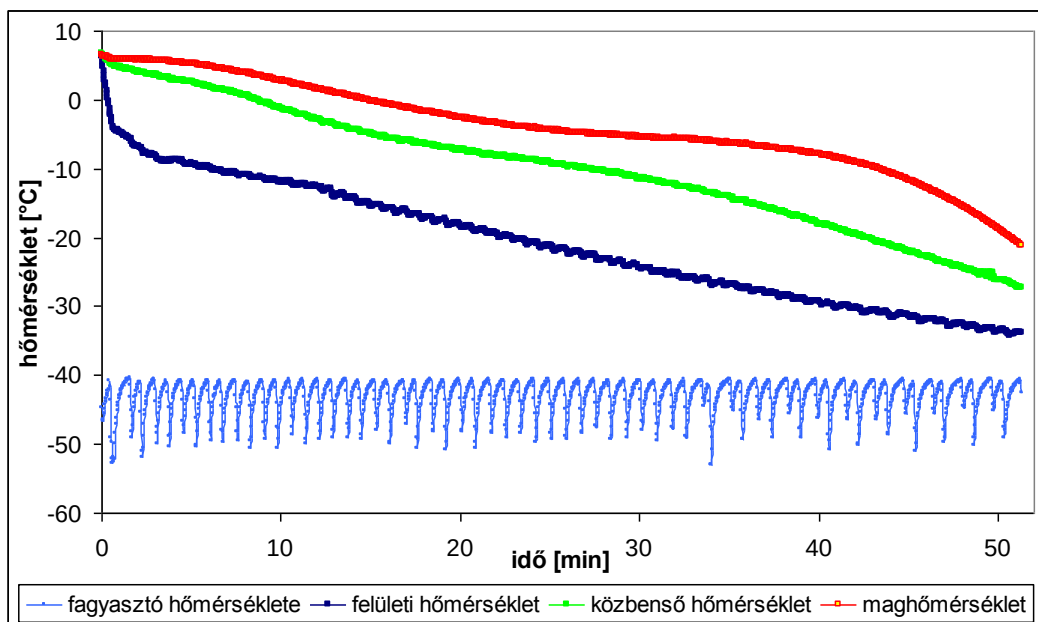
25. ábra Hagyományos fagyasztószekrényben -12°C -on fagyasztott sajt fagyási görbéi

A második diagram (26. ábra) a -30°C -os áramló levegőben történő fagyasztás alatt regisztrált fagyasztási görbéket szemlélteti. A -18°C -os maghőmérsékletet kb. 1,25 h alatt érte el a termék, a kritikus kristályképződési zónán való átjutás ideje ez esetben kb. fél óra. A mag és a belső hőmérséklet valamivel lassabb mértékű csökkenését figyelhetjük meg, míg a felületi hőmérséklet gyorsabban hűl, köszönhetően az áramló levegő eredményezte rövidebb fagyasztási időtartamnak.



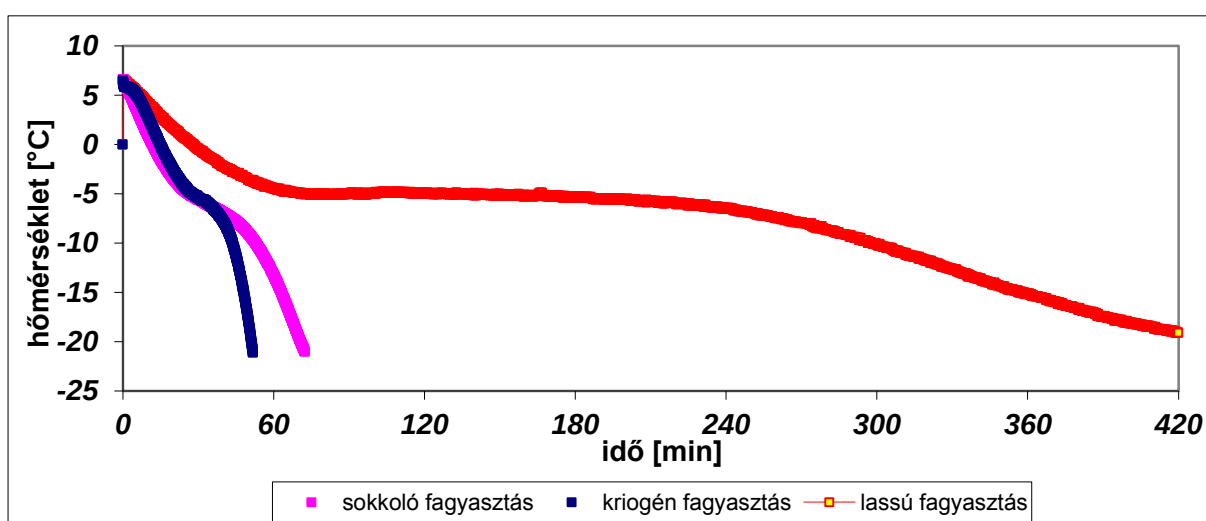
26. ábra Áramló levegőben -30°C-on fagyasztott sajt fagyási görbéi

A 27. ábra a sajt kriogén fagyasztása alatt rögzített hőmérsékletcsökkenést mutatja be szintén egy felületi, belső és maghőmérséklet görbén. Jól látszik, hogy a termék kb. 50 perc alatt éri el a -18°C-os maghőmérsékletet és a kritikus kristályképződési zónán való átjutás ideje is mindössze kb. 10 perc.



27. ábra Kriogén technikával -40°C-on fagyasztott sajt fagyási görbéi

Az következő diagramon (28. ábra) a lassú-, gyors-, kriogén fagyasztás során rögzített maghőmérsékleti hőmérsékletcsökkenés látható, melyből a három fagyasztási mód közötti különbségek jól megfigyelhetők. A kb. 20 dkg-os sajtok a kriogén fagyasztás során 50 perc, a sokkoló fagyasztásnál 70-80 perc alatt elérték a -18°C -os maghőmérsékletet, ezzel szemben a nyugvó levegőben történő lassú fagyasztás során a -12°C eléréséhez 5,5 h kellett. Jól látszik, hogy a kívánt hőmérsékletet a kriogén fagyasztás alatt éri el leggyorsabban a termék és a kritikus kristályképződési zónán való átjutás ideje is a kriogén és a sokkoló technikánál a lassú fagyasztás töredéke, ez meghatározó tényező a termék felengedtetés utáni minőségében.



28. ábra Maghőmérsékletek alakulása a különböző fagyasztási technikák során

5.2. A fagyasztási és felengedtetési módok hatásainak értékelése

5.2.1. Tömegmérés eredményei

1. táblázat Tömegmérés eredményei

	Szobahőmérsékleten felengedtetett			Hűtőszekrényben felengedtetett		
	Lassú	Sokkoló	Kriogén	Lassú	Sokkoló	Kriogén
Fagyasztás előtt (dkg)	21,55	21,55	19,2	20,7	20,45	20,8
10 hét tárolás után (dkg)	21,5	21,55	19,2	20,65	20,45	20,75

Az 1. táblázatban a tömegmérés eredményei láthatóak. A különböző fagyasztási módok alkalmazásával nem állapítható meg jelentős eltérés a fagyasztás előtti és tárolás utáni

eredményekre vonatkozóan, mely elsősorban a Parenyica sajt vákuumsomagolásának köszönhető.

5.2.2. pH-mérés eredményei

A 2. táblázat a pH-értékek változásának alakulását szemlélteti a 10 hetes tárolás végére. Jól látható, hogy a kezdeti 6,3-as pH 5,37-5,45 értékek közötti tartományban változott. A pH csökkenést feltehetően a felengedtetés során a termékben megtalálható tejsavtermelő baktériumok élettevékenységének beindulása okozta (ugyanis a fagyasztott sajt pH-ja nem mérhető).

2. táblázat A pH-mérés eredményei

	Szobahőmérsékleten felengedtetett			Hűtőszekrényben felengedtetett		
	<i>Lassú</i>	<i>Sokkoló</i>	<i>Kriogén</i>	<i>Lassú</i>	<i>Sokkoló</i>	<i>Kriogén</i>
Fagyasztás előtt	6,3			6,3		
10 hét tárolás után	5,41	5,42	5,39	5,38	5,45	5,37

5.2.3. Szárazanyag-tartalom mérésének eredményei

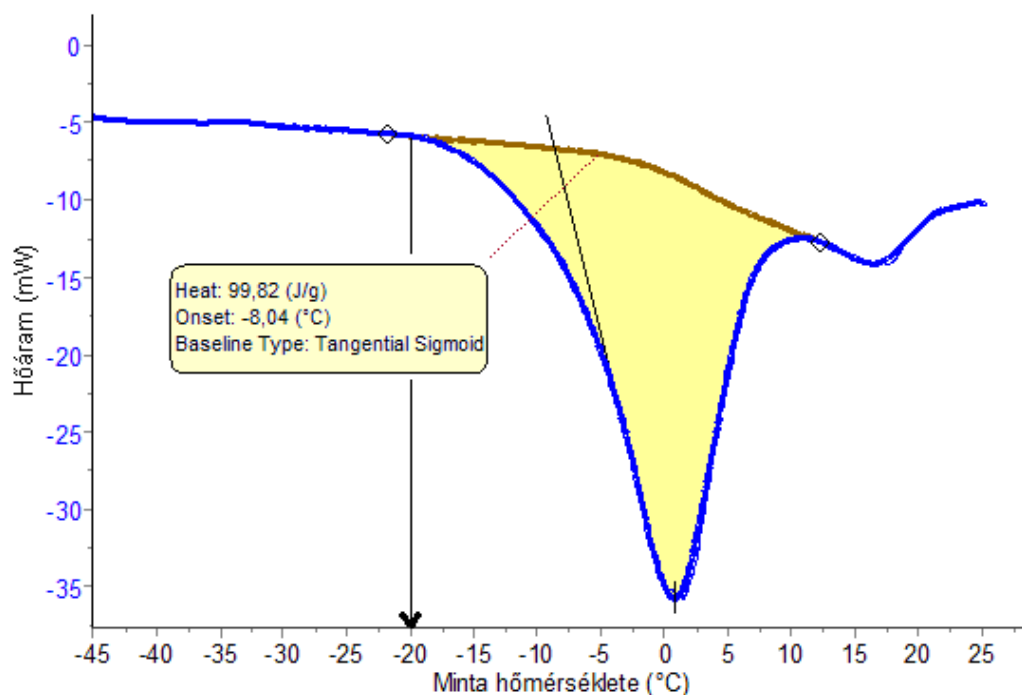
3. táblázat A szárazanyag-tartalom mérés eredményei

	Szobahőmérsékleten felengedtetett			Hűtőszekrényben felengedtetett		
	<i>Lassú</i>	<i>Sokkoló</i>	<i>Kriogén</i>	<i>Lassú</i>	<i>Sokkoló</i>	<i>Kriogén</i>
Fagyasztás előtt (%)	55,30	54,28	55,57	55,87	55,12	54,68
10 hét tárolás után (%)	55,17	54,28	55,57	55,74	55,12	54,55

A 3. táblázatban a szárazanyag-tartalom mérés eredményei láthatók. Úgy, mint a tömegmérés eredményeinél, a szárazanyag-tartalom esetében sem állapítható meg jelentős eltérés az eredmények között a különböző fagyasztási technikák és tárolási módok hatására, ami szintén a sajt vákuumsomagolásának köszönhető.

5.2.4. DSC eredmények

A 29. ábrán a friss sajt hőáram-görbéje látható. A „heat” a felolvasztáshoz szükséges energiát, az „onset” pedig az intenzív olvadás kezdeti hőmérsékletét jelöli. A továbbiakban ehhez a hőáram-görbéhez és paramétereikhez hasonlítottam a fagyasztva tárolt és különböző módokon felengedett sajtok mérési eredményeit.



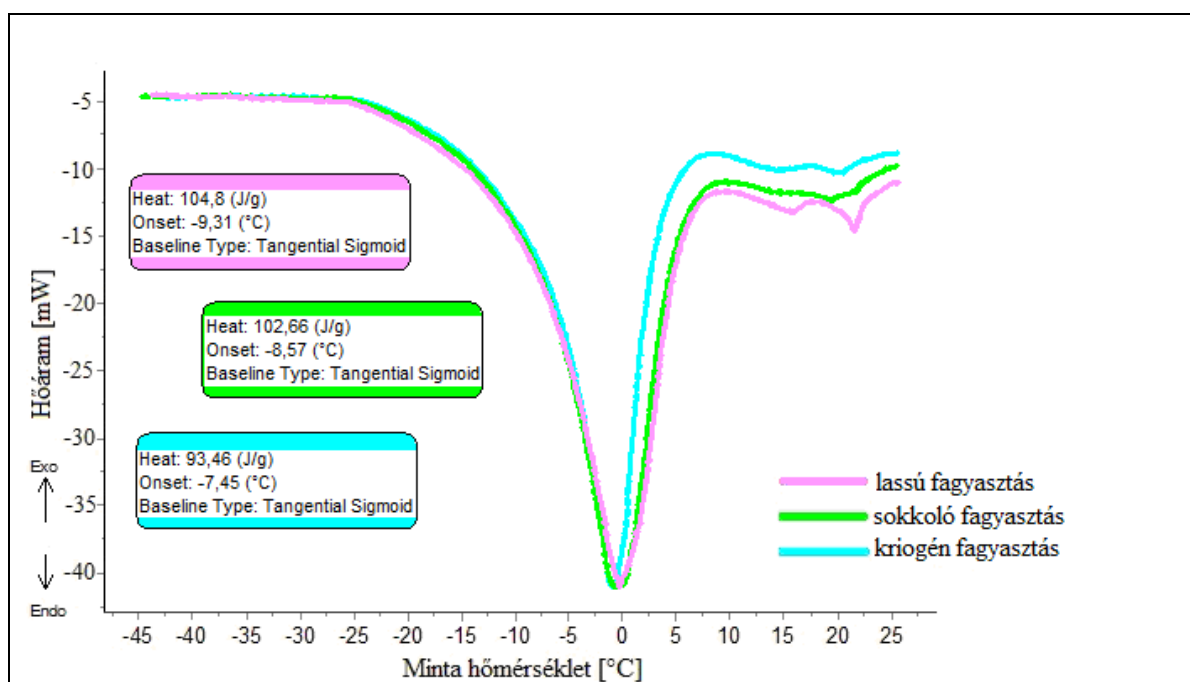
29. ábra Friss eredeti sajt kiértékelt hőáram-görbéje

Az ún. kriozkópos hőmérséklet meghatározása szilárd minták esetében nehézkes, ezért a DSC módszerével az intenzív olvadás kezdeti hőmérsékletét határoztam meg. A két paraméter között a különbség, hogy a kriozkópos hőmérsékletet az első jégkristály megjelenése jelenti, míg az intenzív olvadás kezdeti hőmérséklete a kritikus kristályképződési zóna hőmérsékleti tartománya. Az intenzív olvadás kb. -8°C-on kezdődik meg a termékben, és jól látszik a görbéről is, hogy -20°C alatt a kifagyasztható víz szinte teljes egészében jég formában van jelen a termékben. Ezen hőmérséklet felett kezdenek a vízmolekulák jég fázisból vízzé alakulni, ez egy endoterm csúcsban jelenik meg a fenti görbén. A ΔH_m a görbe alatti terület jelzi, amely a minta felolvasztáshoz szükséges hőmennyiség, melyet a kifagyó víztartalom mennyisége befolyásol. A friss, nem fagyasztott sajtnál ez az érték kb. 72%. Ez az érték azért fontos, mert minél kisebb, annál nagyobb a fagyasztva tárolás során az átkristályosodás

veszélye, amely a termék szerkezetét roncsolja. A kriogén és áramló levegőben történő fagyasztás után a mintákat -18°C -on tároltam, ez a DSC görbe alapján megfelelő, mert ezen a hőmérsékleten a kifagyasztható víz majdnem teljes egészében jéggé alakult, viszont a „lassú” fagyasztás utáni tárolás -12°C -on történt, és itt már fennáll a fent említett átkristályosodás veszélye.

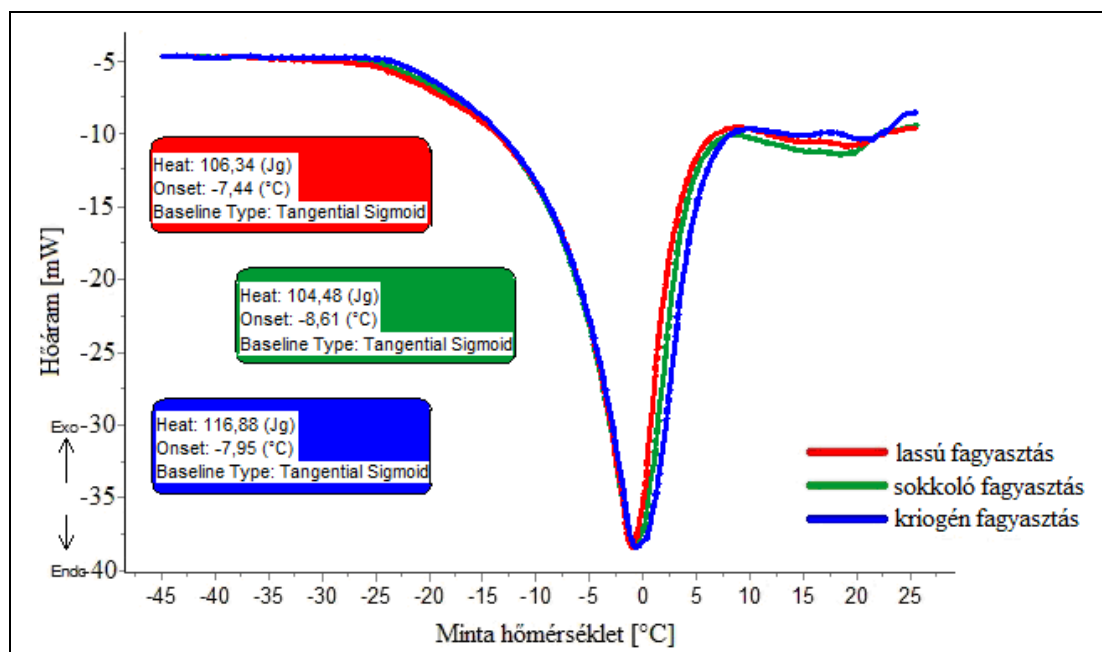
A 30. és 31. ábrán a 10 hétig fagyasztva tárolt és szobahőmérsékleten, ill. hűtőszekrényben felengedett minták hőáram-görbéi láthatók.

A 10 hétig fagyasztva tárolt és hűtőszekrényben felengedett minták hőáram-görbéit (30. ábra) vizsgálva azok hasonló lefutásúak, a kriogén módon fagyasztott minták termogramjai térnek el kissé a többitől, de ez az eltérés nem jelentős.



30. ábra 10 hét után hűtőben felengedett sajtok hőáram-görbéi

A szobahőmérsékleten felengedett mintáknál (31. ábra) ez a különbség már nem látható, és mind a három minta kissé eltér az eredeti sajtminta hőáram-görbéjétől.



31. ábra 10 hét után szobahőmérsékleten felengedetett sajtok hőáram-görbéi

4. táblázat Termofizikai paraméterek összehasonlítása

	Friss minta	Szobahőmérsékleten felengedetett			Hűtőszekrényben felengedetett		
		Lassú	Sokkoló	Kriogén	Lassú	Sokkoló	Kriogén
Intenzív olvadás kezdeti hőmérséklete [°C]	-8,04	-8,45 ^a	-7,29 ^b	-7,71 ^b	-7,94 ^a	-8,4^a	-7,58 ^b
Hőáram [J/g]	99,82	118,1 ^b	115,9 ^b	115,6 ^a	116,6 ^b	100,3^a	116,6 ^b
Ki nem fagyó víztartalom [%]	28,25	14,75 ^b	16,29 ^b	14,51 ^b	14,11 ^b	27,43^a	15,95 ^b
Kifagyó víztartalom [%]	71,75	84,99 ^b	83,90 ^b	85,66 ^b	85,66 ^b	72,81^a	84,04 ^b

^a nincs szignifikáns eltérés az eredeti mintához képest

^b van szignifikáns eltérés az eredeti mintához képest

A 4. táblázat tartalmazza a hőáram-görbékről leolvasható ill. számolható termofizikai paraméterek értékeit. Az intenzív olvadás kezdeti hőmérsékletében, hőáramban és a ki nem fagyasztható víztartalomban az eredeti mintához képest különbségeket tapasztaltam, ezért páronkénti kétmintás T-próbával, 95%-os konfidencia szinten megvizsgáltam, hogy az egyes minták és a referencia minta között megállapítható-e szignifikáns eltérés, ill. melyek azok a minták, amelyek a legjobban hasonlítottak az eredetihez a termofizikai paraméterek alapján.

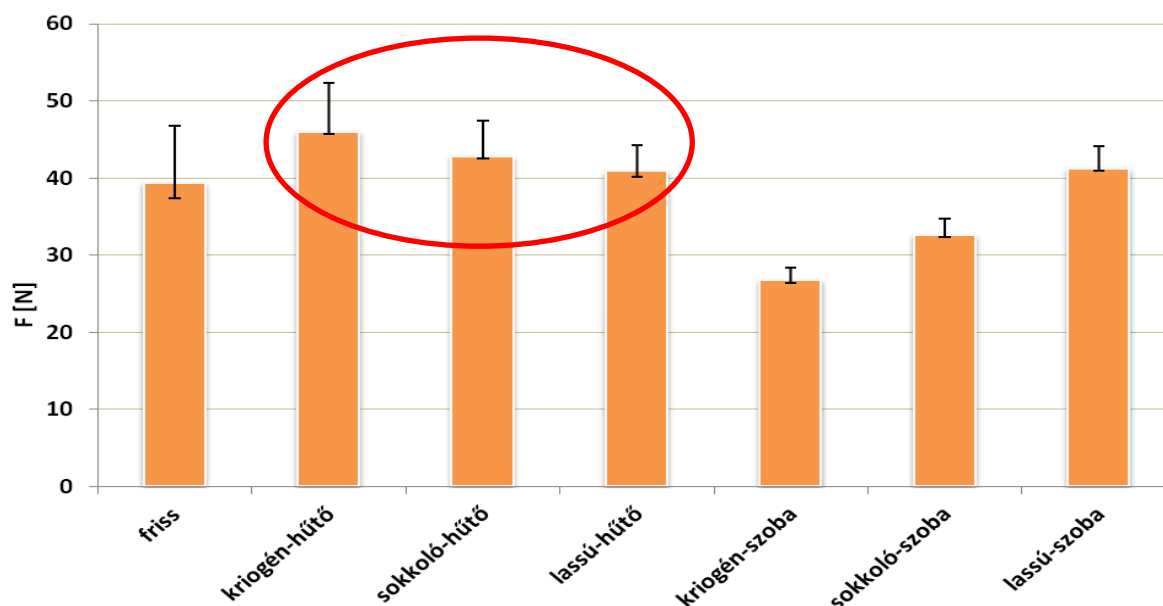
A friss sajt hőáram-görbéjének paramétereirehasonlítva az áramló levegőben fagyasztott és hűtőben felengedetett minta hőárama bizonyult a legkisebbnek, és paramétereit statisztikailag

kiértékelve ez hasonlít a legjobban az eredeti, friss minta görbéjéhez, nincs szignifikáns eltérés az eredeti mintához képest.

A fent bemutatott termofizikai jellemzők alapján tehát egy ideális technológia lehet az áramló levegőben végzett fagyasztás és hűtőszekrényben történő felengedtetés. De természetesen csak a termofizikai tulajdonságokat figyelembe véve nem választható ki az ideális minta, mindenképpen szükségünk van állománybeli és érzékszervi vizsgálatokra is, hiszen a fogyasztó is ez alapján dönt a vásárlás során.

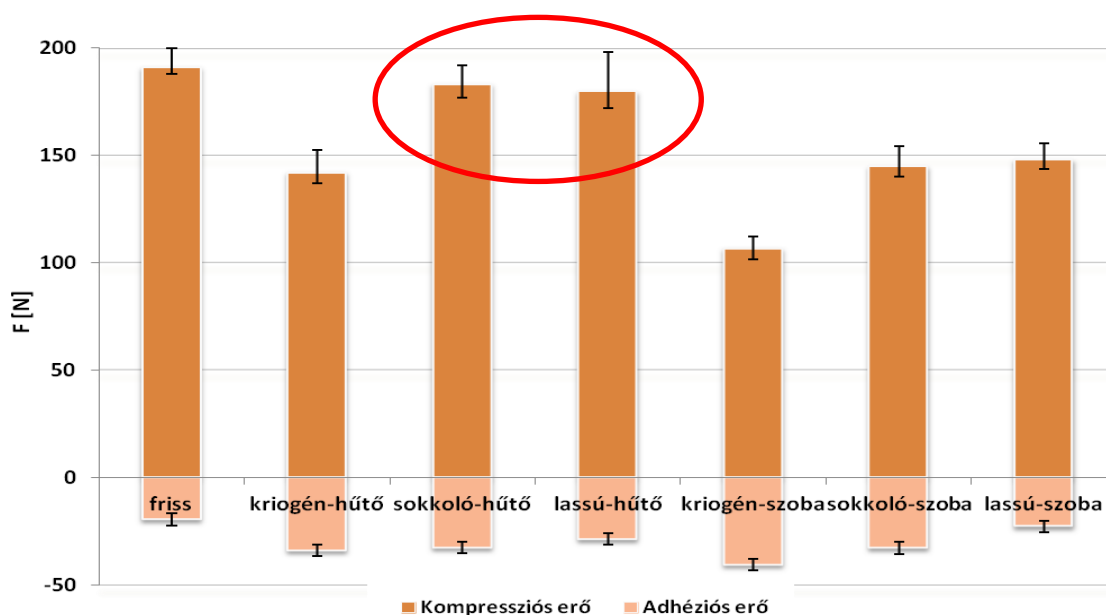
5.2.5. Műszeres állománymérés eredményei

A 32. ábrán a Kramer cellával mért maximális erők láthatók, megfigyelhető, hogy a hűtőszekrényben felengedtetett minták hasonlítanak legjobban a friss mintához a maximális erő, vagyis a szálasság tekintetében.



32. ábra Szálasság vizsgálata (Kramer cella)

A 33. ábrán a teljes kompresszió maximális erőit vizsgálva jól látszik, hogy a sokkoló és lassú fagyasztással fagyasztott és hűtőszekrényben felengedtetett minták hasonlítanak a legjobban kontroll mintához, a szobahőmérsékleten felengedtetett minták tapadósága nagyobb és állományuk puhább.



33. ábra Teljes kompresszió (P35-feltét)

5. Táblázat A műszeres állománymérés eredményei

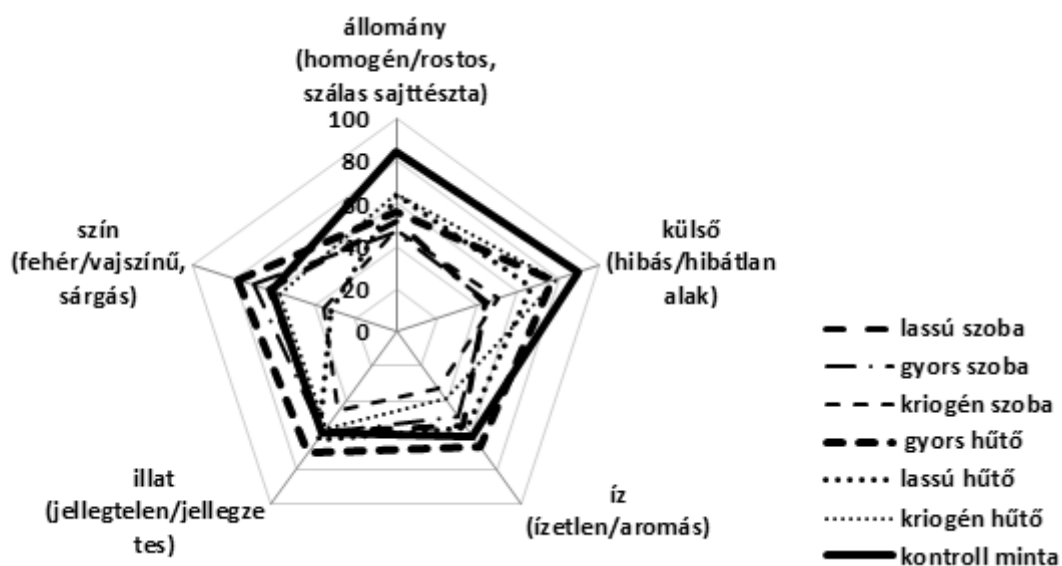
	Kramer cella	Teljes kompresszió	
	$F_{\text{kompressziós}} \text{ [N]}$	$F_{\text{kompressziós}} \text{ [N]}$	$F_{\text{adhéziós}} \text{ [N]}$
Friss minta	$39,33 \pm 7,49^b$	$191,17 \pm 8,56^a$	$-19,43 \pm 3,21^a$
Szobahőmérsékleten felengedtetett			
Lassú	$41,23 \pm 2,91^b$	$148,07 \pm 7,26^b$	$-22,80 \pm 4,38^a$
Sokkoló	$32,64 \pm 2,08^b$	$145,08 \pm 8,94^b$	$-32,78 \pm 5,25^a$
Kriogén	$26,77 \pm 1,62^b$	$106,74 \pm 5,56^a$	$-40,62 \pm 5,13^a$
Hűtőszekrényben felengedtetett			
Lassú	$40,91 \pm 3,31^b$	$179,89 \pm 18,20^a$	$-28,72 \pm 7,84^a$
Sokkoló	$42,79 \pm 4,62^a$	$183,32 \pm 8,37^a$	$-32,63 \pm 6,61^a$
Kriogén	$45,98 \pm 6,36^b$	$142,17 \pm 10,34^a$	$-33,95 \pm 5,17^a$

^a nincs szignifikáns eltérés az eredeti mintához képest

^b van szignifikáns eltérés az eredeti mintához képest

Az 5. táblázatban az állománymérés során kapott számszerűsített eredmények láthatók. Ha alaposabban megvizsgáljuk az eredményeket, megállapítható, hogy kizárólag az áramló levegőben fagyasztott és hűtőszekrényben felengedtetett sajt minta Kramer cellával, valamint P35-feltéttel mért erő-értékei között nem mutatkozik szignifikáns különbség a friss sajt mintához képest.

5.2.6. Érzékszervi vizsgálat eredményei

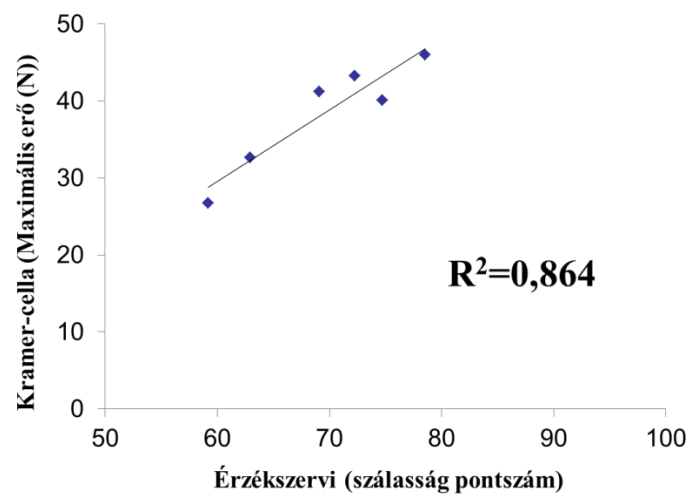


34. ábra Az érzékszervi bírálat eredményei

Az 34. ábrán az érzékszervi bírálat eredményeit szemlélteti. A szobahőmérsékleten felengedett mintáknál jól látható, hogy bár íz, illat és szín tekintetében nem, de külső és állomány tekintetében romlottak a kapott értékek. A hűtőben felengedett mintáknál minden érték közelített az eredeti sajtmintáéhoz, ezek közül is legjobban a sokkolóban fagyasztott és hűtőszekrényben felengedett mintáé. Az állományban azonban minden minta esetében kisebb-nagyobb mértékű eltéréseket tapasztaltam. Egyrészt a szálas szerkezetet a szobahőmérsékleten felengedett minták elvesztették, az eredeti és a hűtőben felengedett mintákhoz képest, másrészt állományuk puhábbá és tapadósabbá vált. Az eredeti sajtmintához az érzékszervi követelményeket tekintve is az áramló levegőben fagyasztott és hűtőszekrényben felengedett minta hasonlított a legjobban.

5.2.7. Korreláció-analízis

Az érzékszervi bírálat eredményei közül a szálasság és a Kramer cellával mért maximális erők között kerestem kapcsolatot, ezért korreláció-analízist végeztem, ennek eredményeképp elmondható, hogy szoros összefüggést kaptam ($R^2=0,864$), így a műszeres mérésekkel kiváltható lehet az érzékszervi bírálat a szálasság szempontjából. (35. ábra)



35. ábra Korreláció-analízis

6. Konklúzió

A Parenyica sajt műszeres és szubjektív vizsgálati eredményei hasonló tendenciát mutattak: mind a DSC-eredmények, mind az állománymérési és az érzékszervi vizsgálat alapján az áramló levegőben fagyasztott és hűtőszekrényben felengedett technika eredményezte a referenciához leginkább hasonlító mintát. Ez a fagyasztási és felengedettési módszer bizonyult a legalkalmasabbnak Parenyica sajt minőség-megőrzési idejének meghosszabbítására.

7. Összefoglalás

Dolgozatomban a hevített-gyúrt típusú sajtok különböző fagyasztási technológiáit és fagyasztva tárolásuk hatásait vizsgáltam. Ezek a sajtok különleges alvadékezelési technológiájuknak köszönhetően fagyasztásra alkalmasabbak lehetnek, mint a hagyományos technológiával készített sajtok. Célul tűztem ki egy ideális fagyasztási és felengedtetési módszer kiválasztását, melyekkel megőrizhetjük az eredeti értékadó minőségi tulajdonságokat az esetenkénti hosszú szállítási idő (pl. külföldi export) és disztribúció alatt.

Méréseimhez kereskedelmi forgalomban kapható füstölés nélküli Parenyica sajtot használtam. A hagyományos fagyasztást háztartási fagyasztószekrényben -18°C -on végeztem -12°C -os maghőmérséklet eléréséig. A gyorsfagyasztáshoz -30°C -on működő áramló levegős fagyasztószekrényt használtam, míg a kriogén fagyasztást permetezéssel technikával -40°C -on kriogén fagyasztószekrényben hajtottam végre, e két esetben -18°C -os maghőmérséklet eléréséig. A fagyasztási görbéket vizsgálva jól látszik, hogy a kriogén és a gyorsfagyasztás esetében a termék maghőmérséklete a hagyományos módszerrel végrehajtott fagyasztáshoz szükséges idő töredéke alatt eléri a kívánt hőmérsékletet.

A lefagyasztott mintákat az adott maghőmérsékleteken 10 hétig fagyasztva tároltam, majd egy részüket hűtőszekrényben 8°C -on, másik részüket szobahőmérsékleten ($\sim 20^{\circ}\text{C}$) engedtettem fel.

A különböző fagyasztási és felengedtetési módok hatásainak megállapításához vizsgáltam a tömeget, a pH-t, a szárazanyag-tartalmat, valamint DSC-módszerrel a minta termofizikai paramétereit (ki nem fagyó víztartalom, intenzív olvadás kezdeti hőmérséklete, felolvasztáshoz szükséges hőmennyiség). Az állományvizsgálatot TA.XT Plus Texture Analyser műszerrel hajtottam végre. Kramer cellával a sajtra jellemző szálas állományt, P35-feltéttel a minta keménységét és tapadósságát számszerűsítettem. A Magyar Élelmiszerkönyv 2-51/06 sz. irányelvében leírt minőségi követelményeknek megfelelően a 10 hetes fagyasztva tárolás után 22 fős bírálócsoporthal érzékszervi bírálat történt profilanalízis módszerével.

A mérési eredményekből megállapítható, hogy a felengedtetési anyagveszteség minimális volt, a vákuumsomagolásnak köszönhetően a tömeg és a szárazanyag-tartalom elhanyagolható mértékben változott, a pH-érték kb. 1 egységgel csökkent. A DSC-, valamint a TPA-eredmények értékelésénél az áramló levegőben fagyasztott és hűtőszekrényben felengedtetett sajtminta hasonlított a legjobban az eredeti sajtmintához az alkalmazott

kétmintás páronkénti t-próba szerint. Ezeket az érzékszervi bírálat eredményei is alátámasztották. A minták külső megjelenése, íze, illata és színe megfelelő volt, az eredeti és a hűtőszekrényben felengedett mintákhoz képest a szobahőmérsékleten felengedett minták szerkezetüket elvesztették, állományuk puhábbá és tapadósabbá vált. Az eredeti sajtmintához érzékszervi követelményeket tekintve is az áramló levegőben fagyasztott és hűtőszekrényben felengedett minta hasonlított a legjobban.

A műszeres állományvizsgálat során mért szálasság értékek, valamint az érzékszervi bírálat szálasság-pontszámai között elvégzett korreláció-analízis eredményezte szoros összefüggés ($R^2=0,864$) is alátámasztotta az eredményeket.

Mérési eredményeim alapján arra a következtetésre jutottam, hogy az áramló levegőben történő (sokkoló) fagyasztás és a hűtőben történő felengedtetés a legkedvezőbb a Parenyica sajt minőségmegőrzési-idejének meghosszabbítására, ezt ajánlom ipari felhasználásra is.

Irodalomjegyzék

- [1.] Almási, E. (1977): Élelmiszerek gyorsfagyasztása, Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, 201-259.
- [2.] Antoniou, K. D., Petridis, D., Raphaelides, S., Ben-Omar, Z. & Kesteloot, R. (2000): Texture assessment of French cheeses. *J. Food Sci.*, **65**, 168-172.
- [3.] Balla, Cs. (2007): Élelmiszerek fagyasztása, Mezőgazda Kiadó, Budapest, 5-74.
- [4.] Balla, Cs., Sáray, T. (2002): Élelmiszerek tartósítása hűtőkezeléssel. In: Beke, Gy. (szerk.), Hűtőipari kézikönyv 2. Technológiák, Mezőgazda Kiadó, Budapest, 7-96.
- [5.] Balla, Cs., Sáray, T., Mészáros, L., Tiszai, M. (1992): Fagyasztott élelmiszerek vízállapotának tanulmányozása DSC módszerrel. *Élelmezési Ipar*, **46** (4), 105-108.
- [6.] Beke, Gy. (2002): Hűtőipari Kézikönyv I., II., Mezőgazda Kiadó, Budapest
- [7.] Bertola, N.C., Califano, A.N., Bevilacqua, A.E. and Zaritzky, N.E. (1996): Textural changes and proteolysis of low moisture Mozzarella cheese frozen under various conditions. *Lebensmittel Wissenschaft und Technologie* **29**, 470-474.
- [8.] Brandt, M. A., Skinner, E. Z., and Coleman, J. A. (1963): Texture profile method. *Journal of Food Science*, **29**, 404-409.
- [9.] Csury, I., Kiss, S., Szoboszlai, K. (2002): Hűtőházak, hűtőlánc. In: Beke, Gy. (szerk.), Hűtőipari Kézikönyv 1. Alapismeretek, Mezőgazda Kiadó, Budapest, 455-465.
- [10.] Dean, John A. (1995): *The Analytical Chemistry Handbook*, McGraw Hill, Inc., New York, 15.1-15.5.
- [11.] Famelart, M. H., Le Graet, Y., Michel, F., Richoux, R., & Riaublanc, A. (2002): Evaluation of the methods of measurement for functional properties of emmental cheeses from the west of France. *Lait*, **82**, 225-245.
- [12.] Farkas J. (1994): A DSC-termoanalitikai módszer néhány élelmiszertudományi alkalmazása. *Élelmiszervizsgálati közlemények*, **40**, 1994/3.
- [13.] Fenyvessi, J., Jávorski, A., Kukovics, S., Óbert, G. (2001): A kiskérődzők (juh, kecske) tejének feldolgozása. In: Szakály, S. (szerk.), *Tejgazdaságtan*, Dinasztia Kiadó, Budapest, 356-366.
- [14.] Figura, Ludger O., Teixeira, Arthur A. (2007): *Food Physics*, Springer-Verlag, Berlin, 321.
- [15.] Fikiin, A.G. & Gegov, P. (1972): A gyümölcs és a zöldségszövetekben végbemenő termofizikai jelenségek alacsony hőmérsékleteknél (0°C - -196°C). *Hűtőipar*, **19**(3), 66-69.
- [16.] Fontecha, J., Pelaez, C., Juarez, M., & Martinhernandez, M. C. (1994): Effect of freezing and frozen storage on the physicochemical, organoleptic and microbiological characteristics of a semihard ewes milk cheese. *Journal of Dairy Research*, **61**, 133-142.
- [17.] Goff, H.D. (2006): Quality and Safety of frozen dairy products. In: D.W. Sun (ed.) *Handbook of Frozen Food Processing and Packaging*. Boca Raton, FL: CRC/Taylor & Francis Group, 441-457.

- [18.] **Graiver, N. G., Zaritzky, N. E., & Califano, A. N. (2004):** Viscoelastic behavior of refrigerated and frozen low moisture Mozzarella cheese. *Journal of Food Science* 69(3), 123-128.
- [19.] **Jack, F. R., Piggott, J. R. & Paterson, A. (1994):** Analysis of textural changes in hard cheese during mastication by progressive profiling. *J. Food Science*, 59, 539-543
- [20.] **Kapás, L. (2005):** Szakmai publikáció. Transpack, 5., 42-45. Internet: http://www.messer.hu/Hirek_sajtoinformacio/Szakmai_publikacio/Elelmiszer_Hutestechnika/Kriogen_fagyasztas_az_elelmiszeriparban.pdf
- [21.] **Karray, N., Lopez, C., Lesieur, P., & Ollivon, M. (2004):** Dromedary milk fat: Thermal and structural properties. 1. Crystalline forms obtained by slow cooling. *Lait*, 84, 399-416.
- [22.] **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, 2525-2536.
- [23.] **Kuo, M. I., Gunasekaran, S. (2009):** Effect of freezing and frozen storage on microstructure of Mozzarella and pizza cheeses. *Food Science and Technology* 42, 9-16.
- [24.] **M. J. O'Neill (1964):** The Analysis of a Temperature-Controlled Scanning Calorimeter, *Anal. Chem.* 36., 1238-1245.
- [25.] **Magyar Élelmiszerkönyv 1-3/51-1 (2008):** Oltós alvasztású, érlelt sajtok; Savas és vegyes alvasztású sajtok.
- [26.] **Magyar Élelmiszerkönyv 1-3-89/108 (2004):** A gyorsfagyasztott élelmiszerek.
- [27.] **Magyar Élelmiszerkönyv 2-51/06 (2004):** Oltós alvasztású érlelt sajtok.
- [28.] **Oberg, C. J., Merrill, R. K., Brown, R. J., & Richardson, G. H. (1992):** Effects of freezing, thawing and shredding on low moisture, part-skim Mozzarella cheese. *Journal of Dairy Science*, 75, 1161-1166.
- [29.] **Pungor, Erno (1995):** A Practical Guide to Instrumental Analysis. Florida: Boca Raton. pp. 181-191.
- [30.] **Skoog, Douglas A., F. James Holler and Timothy Nieman (1998):** Principles of Instrumental Analysis, New York, pp. 805-808.
- [31.] **Szalai, L. (2003):** Búcsú az Elasztigráftól. Sütőiparosok, Pékek 2003/3.
- [32.] **Tunick, M. H., Basch, J. J., Flanagan, J. F., & Holsinger, V. H. (1988):** Differentiation of natural and imitation Mozzarella cheeses by DSC. *Journal of Dairy Science*, 71, 67.
- [33.] **Unger, A. (2001):** A savas alvasztású sajtok és sajtkészítmények gyártása, In: Szakály, S. (szerk.), *Tejgazdaságtan*, Dinasztia Kiadó, Budapest, 249-262.
- [34.] **Unger, A. (2001):** Az oltós alvasztású sajtok gyártása. In: Szakály, S. (szerk.), *Tejgazdaságtan*, Dinasztia Kiadó, Budapest, 263-320.
- [35.] **Zaritzky, N. E. (2008):** Frozen Storage. In: Evans, J. A. (ed.), *Frozen Food Science and Technology*, Blackwell Publishing Ltd., Oxford, pp. 232.

[36.] Internetes források:

- http://gazdakor.szie.hu/hirek/a_megmentett_parenyica
- http://www.advancedfreezer.com/spiral_packaged.html
- <http://www.complexlab.hu/termek/kern-mls-n-gyorsnedvessegmero>
- http://www.lindegas.hu/hu/products_and_supply/food_freezing/cryoline_cf.html
- <http://www.sajtgasztro.hu>
- <http://www.stablemicrosystems.com>
- [http://www.testo.hu/online/abaxx?\\$part=PORTAL.HUN.SectorDesk&\\$event=show-from-menu&categoryid=4690077](http://www.testo.hu/online/abaxx?$part=PORTAL.HUN.SectorDesk&$event=show-from-menu&categoryid=4690077)