
NYUGAT-MAGYARORSZÁGI EGYETEM
MEZŐGAZDASÁG- ÉS ÉLELMISZERTUDOMÁNYI KAR
MOSONMAGYARÓVÁR

Biológiai Rendszerek Műszaki Intézete

**Doktori Iskola: Az állati termék előállítás biológiai, technológiai,
ökológiai, takarmányozási és ökonómiai kérdései**

Doktori Iskola vezetője: Prof. Dr. Dr. h.c. Schmidt János (PhD) DSc
az MTA levelező tagja

**Alprogram: Biológiai anyagok energiatakarékos és minőségmegőrző
szárítása, tárolása és feldolgozása**

Alprogram- és témavezető: Prof. Dr. Neményi Miklós (PhD) DSc

**FOLYÉKONY ÉLELMISZEREK KEZELÉSE, KÜLÖNÖS
TEKINTETTEL A MIKROHULLÁM TEJRE GYAKOROLT
HATÁSÁRA**

Készítette:

LAKATOS ERIKA

MOSONMAGYARÓVÁR

2006

**Folyékony élelmiszerek kezelése, különös tekintettel a mikrohullám tejsre
gyakorolt hatására**

Értekezés doktori (PhD) fokozat elnyerése érdekében
a Nyugat-Magyarországi Egyetem „Az állati termék előállítás biológiai,
technológiai, ökológiai, takarmányozási és ökonómiai kérdései” Doktori
Iskolája „Biológiai anyagok energiatakarékos és minőségmegőrző szárítása,
tárolása és feldolgozása” programja

Írta: Lakatos Erika

Témavezető: Prof. Dr. Neményi Miklós (PhD) DSc

Elfogadásra javaslom (igen / nem)

(aláírás)

A jelölt a doktori szigorlaton % -ot ért el,

Sopron/Mosonmagyaróvár

.....

a Szigorlati Bizottság elnöke

Az értekezést bírálóként elfogadásra javaslom (igen /nem)

Első bíráló (Dr.) igen /nem

Második bíráló (Dr.) igen /nem

(Esetleg harmadik bíráló (Dr.) igen /nem

A jelölt az értekezés nyilvános vitáján.....% - ot ért el

Sopron/Mosonmagyaróvár,

.....

a Bírálóbizottság elnöke

A doktori (PhD) oklevél minősítése.....

.....

Az EDT elnöke

TARTALOMJEGYZÉK

KIVONAT/ABSTRACT	7.
1. BEVEZETÉS	8.
2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS	12.
2.1. A mikrohullámú besugárzás fizikai alapjai	12.
2.2. A mikrohullámú besugárzás termikus hatásai	19.
2.3. A mikrohullámú besugárzás nem termikus hatásai	22.
2.4. A tej általános jellemzése	25.
2.5. A tejsír	27.
2.6. A tejsír mikroszkópos vizsgálata	33.
2.7. Tejsír meghatározás	36.
2.8. A tej mikrohullámú kezelése	38.
2.9. Enzimek	41.
2.9.1. Lipáz (EC 3.1.1.3.)	42.
2.9.2. Xantin oxidáz (EC 1.1.3.22)	44.
2.10. Enzimek mikrohullámú besugárzása	47.
3. ANYAG ÉS MÓDSZER	50.
3.1. Egyedi kialakítású mikrohullámú berendezés	50.
3.2. Hőmérsékleteloszlás vizsgálata	54.
3.3. Homogén mikrohullámú tér kialakítása	59.
3.4. Fogyasztói-, illetve nyers tej minták zsírtartalmának meghatározása	61.

3.5. Mikroszkópos vizsgálatok	67.
3.5.1. Elektronmikroszkópos vizsgálatok	67.
3.5.2. Fénymikroszkópos vizsgálatok	69.
3.6. A tejből lévő lipáz és xantin oxidáz enzimek aktivitásának vizsgálata	71.
3.6.1. Lipáz aktivitásának vizsgálata	71.
3.6.2. Xantin oxidáz (XO) aktivitásának vizsgálata	75.
4. EREDMÉNYEK	78.
4.1. Hőmérsékleteloszlás vizsgálata	78.
4.2. Homogén mikrohullámú tér kialakítása	85.
4.3. Fogyasztói-, illetve nyerstej minták zsírtartalmának meghatározása	89.
4.3.1. Fogyasztói tej zsírtartalmának meghatározása	90.
4.3.2. Nyerstej zsírtartalmának meghatározása	92.
4.4. Mikroszkópos vizsgálatok	95.
4.4.1. Elektronmikroszkópos vizsgálatok - A mikrohullámú kezelés hatása a különböző zsírtartalmú fogyasztói tejmintákra	95.
4.4.2. Elektronmikroszkópos vizsgálatok - A mikrohullámú kezelés hatása a különböző zsírtartalmú nyers tej mintákra	95.
4.4.3. A mikrohullámú és a hagyományos, főzőlapos melegítés hatása a tejbőr szerkezetének kialakulására	102.
4.4.4. Fénymikroszkópos vizsgálatok - Fogyasztói tej minták	104.
4.4.5. Fénymikroszkópos vizsgálatok - Nyers tej minták	107.

4.5. A tejben lévő lipáz és xantin oxidáz enzimek aktivitásának vizsgálata	111.
4.5.1. Lipáz	111.
4.5.2. Xantin oxidáz (XO)	117.
ÖSSZEFOGLALÁS	122.
TÉZISEK	127.
KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS	129.
IRODALOMJEGYZÉK	130.
JELMAGYARÁZAT	144.
MELLÉKLETEK	147.

KIVONAT

Az értekezésben a szerző beszámol a mikrohullámú élelmiszerkezelésekkel kapcsolatos kutatásairól. Ezen belül bemutatja a vízcsapdák felhasználásával létrehozott homogén hőmérsékleteloszlású mikrohullámú tér kialakítását. A dolgozatban továbbá bemutatásra kerül egy új, mikrohullámú melegítés és konvektív szárítási eljárásokra épülő tejszírmeghatározási módszer, amelynek pontossága a fogyasztói és a nyers tej mintákra vonatkozóan egyaránt eléri a referencia módszerekkel szemben megkövetelt két század százalékos értéket. A szerző fény és elektronmikroszkópos felvételek révén szemlélteti a mikrohullámú besugárzás során a tejben lejátszódó fizikai változásokat, a tej zsírgolyóinak méretváltozására vonatkozóan. Végezetül a tejben lévő lipáz és xantin oxidáz enzimek aktivitásának megváltozása kerül ismertetésre, amely mérési eredmények a mikrohullám nem termikus hatásának kialakulását bizonyítják.

ABSTRACT

In this Thesis the author reports her researches of microwave treatments of foodstuffs. This includes the elaborated homogeneous microwave field by using water traps. In addition a new milk fat content determination method - based on microwave and convective treatments – is presented. The accuracy of this method corresponds with the reference requirement that is 0.02%. Light and electron microscopy were used to demonstrate the physical changes inside milk due to microwave radiation in connection to the diameter changes of milk fat globules. Finally, the enzyme activity changes of lipase and xanthin oxidase are reviewed. They prove the non-thermal effect of microwave treatments.

1. BEVEZETÉS

A Biológiai Rendszerek Műszaki Intézetében az elmúlt két évtizedben biológiai anyagok hőfizikai vizsgálatával, azon belül a különböző anyagok szárítással történő tartósításának elméleti és gyakorlati kérdéseivel foglalkoznak. Ennek részeként kísérleti modell konvektív szárítócsatornát fejlesztettek ki (KACZ et al., 2000), amelynek felhasználásával a különféle biológiai anyagokban (kukorica, élesztő) lejátszódó hő- és anyagtranszport folyamatokat modellezték (KACZ et al., 2003; NEMÉNYI et al., 2000; NEMÉNYI, 1993), valamint kombinált mikrohullámú konvektív szárítás során vizsgálták az élesztőkben lejátszódó biológiai folyamatokat (BERECZ, 1999).

A konvektív és a mikrohullámú berendezések kiépítése, alkalmazásuk során lejátszódó hő és anyagtranszport folyamatok modellezése után a kutatások irányvonala a fizikai módszerek analitikai célra történő felhasználása felé fordult. Ezt az új kutatási célkitűzést erősítette, hogy - az Európai Unió minőségbiztosítási politikájával összhangban - hazánkban is fokozatosan növekszik az igény a pontos, költségtakarékos és környezetkímélő analitikai módszerek iránt. Olyan módszereket kell kialakítani, amelyek megfelelnek az előírt követelményeknek - megbízhatók, pontosak, ismételhetők, valamint a környezetkárosító hatásuk is minimális. Ebből kifolyólag a biológiai anyagok analitikai vizsgálata során egyre inkább előtérbe kerülnek a fizikai alapokon nyugvó módszerek, amelyek nem igényelnek komoly laboratóriumi háttérrel, valamint nem, vagy csak kis mértékben használnak kémiai szereket, ugyanakkor az érvényben lévő referencia módszerek megbízhatóságával és pontosságával működnek (Codex Alimentarius Hungaricus; Magyar Élelmiszerkönyv előírásainak és

irányelveinek alkalmazása; az EU 89/397. EEC. számú irányelve a hivatalos élelmiszerellenőrzésről; BÍRÓ és BÍRÓ, 2000).

Kutatásaink során legfőbb feladatunk volt, hogy megtaláljuk azt a fizikai kezelési módszert, amely alapját képezheti egy új analitikai módszer kidolgozásának.

Kísérleteink során elsőként a magas intenzitású ultrahang felhasználásának lehetőségét vizsgáltuk. Az ultrahangok felhasználásakor figyelembe kell venni, hogy a kezelés hatására a biológiailag aktív anyagokban különböző fizikokémiai változások mennek végbe. Az aktív ultrahangos élelmiszerkezelések során igyekeznek kihasználni az ilyen irányú változásokat például a baktériumok, enzimek inaktiválására, illetve a víz csíraszámának csökkentésére (BEZZUBOV et al., 1967). A kezelések során a tejben szuszpendált élesztősejteket vizsgáltuk (LAKATOS et al., 2002). Célunk volt, hogy egy adott geometriájú kezelőberendezésben a kezelt anyagban lejátszódó fizikai és biológiai hatásokat meghatározzuk (NEMÉNYI et al., 2003). Az ultrahangos kísérletek eredményei alapján az ultrahang analitikai felhasználását nem tudtuk megvalósítani.

Emiatt a továbbiakban a 2,45 GHz frekvenciájú mikrohullám analitikai célú felhasználásának lehetőségét vizsgáltuk. A mikrohullámot az élelmiszeripari számos területén (szárítás, pasztörözés, sütés, enzimek inaktiválása) alkalmazzák (KIRANOUDIS et al., 1997), analitikai célra azonban a szárazanyagtartalom meghatározásra, illetve különböző anyagok kémia feltárására korlátozódik alkalmazása. Ennek legfőbb oka, hogy a mikrohullám hatása nem egyformán érvényesül a besugárzott anyagban. Ez a kezelt anyag eltérő mértékű felmelegedésében, az anyagon belüli hőeloszlások nagyfokú különbségében nyilvánul meg (NEMÉNYI et al., 2006). Az inhomogén tér kialakulása miatt a mikrohullámú kezelés megbízhatatlanná válik, így analitikai felhasználása nem lehetséges. Ebből

eredendően elsődleges feladatunk volt, hogy a kezelőedényben, illetve a kezelt anyagban, vagy közvetlen környezetében homogén mikrohullámú teret alakítsunk ki.

A homogén tér, illetve a homogén hőmérsékleteloszlás már felvetette annak lehetőségét, hogy fogyasztói, illetve nyerstej minták zsírtartalmát határozzuk meg, a különböző analitikai módszerek (Gerber módszer, Fourier-transzformációs infravörös abszorpciós - FTIR - elven alapuló eljárások) pontosságának megfelelően. A módszer kidolgozása során a tej, illetve a tejbőr szerkezetében bekövetkező változások arra engedtek következtetni, hogy a mikrohullám befolyásolja, megváltoztatja a besugárzott anyag fizikai-kémiai tulajdonságait.

A mikrohullámú hőközlés során az anyag felmelegszik azonban a hőhatáson túl egyéb más hatások (nem termikus hatások) is érvényesülnek a kezelt anyagban. Az irodalomban számos szerző foglalkozik a mikrohullám nem termikus hatásának kérdésével. A nem termikus hatás létrejöttét nehéz bizonyítani, hisz a mikrohullámú besugárzás során elsősorban hő keletkezik. Detektálni kell tehát, hogy a tapasztalt fizikai, kémiai változások a mikrohullám hőhatásának, vagy esetleg az úgynevezett nem termikus hatásnak tulajdoníthatók. A nem termikus hatások kialakulása számtalan veszélyt hordozhat. A mikrohullám ezen hatása egyenlőre nem ismert kellőképpen, ebből kifolyólag a mikrohullámú kezelés kiszámíthatatlan, nem várt eredményeket hozhat. A hatás esetenként kedvezőtlen lehet, a mikrohullám nyomán káros anyagok keletkezhetnek, amelyek bent maradhatnak az élelmiszerekben, így aztán bekerülhetnek az emberi szervezetbe.

Kutatási célkitűzéseink:

Kutatásaink során elsőként a mikrohullám analitikai célú felhasználásának megteremtését tűztük ki célul. Ennek megvalósítása érdekében a kezelt anyagon belül a mikrohullám hatásainak egyenletes eloszlását kellett elérnünk.

A kialakított kezelési körülmények lehetővé tették egy új tejszír meghatározási módszer kidolgozását. A módszer a különböző fizikai eljárások együttes alkalmazásával, a működő referencia módszerek megbízhatóságával és pontosságával kell, hogy működjön.

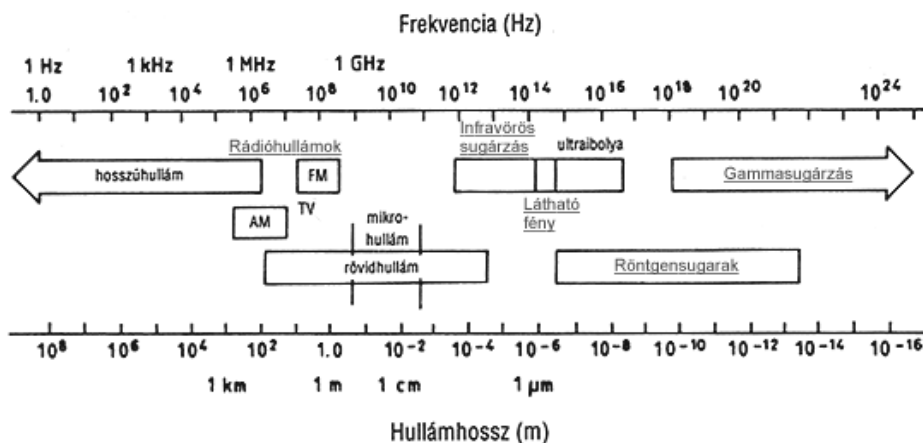
Az eredmények alapján felvetődött, hogy a kezelések során az anyagban nem csupán a mikrohullám melegítő hatása, hanem az úgynevezett nem termikus hatások is érvényesülnek. Melyek ezek a hatások, hogyan befolyásolják a mérési eredményeket, okoznak-e káros elváltozásokat az anyagban, szintén megválaszolandó kérdésként merültek fel.

Tapasztalataink alapján elmondható, hogy a mikrohullám közvetve, vagy közvetlenül befolyásolja a biológia anyagok szerkezeti felépítését. További kutatások szükségesek ahhoz, hogy megismerjük a mikrohullám valamennyi hatását, annak érdekében, hogy kellő biztonsággal használjuk ki ennek az erőforrásnak számtalan előnyét.

2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS

2.1. A mikrohullámú besugárzás fizikai alapjai

Az elektromágneses hullámok egymásra merőlegesen rezgő elektromos és mágneses mezőkből állnak. Az elektromágneses tér hullám (transzverzális hullám) és korpuszkuláris (foton) tulajdonságokkal is rendelkezik (SZABÓ, 1990b), amelyek nem állandó energiaáramlásként, hanem jól meghatározott kvantumokban terjednek. Az elektromágneses hullámok (2.1. ábra) széles frekvencia tartománnyal rendelkeznek (GIANCOLI, 1988; HOLICS, 1992).



2.1. ábra Az elektromágneses spektrum.

Az elektromágneses sugárzást hullámhossz vagy frekvencia alapján osztályozzák. Mikrohullámnak tekintik az elektromágneses spektrum azon tartományát, amely 300 MHz és 300 GHz között van (ALMÁSSY, 1982; SINGH és HELDMAN, 2001; SCHUBERT és REGIER, 2005). A mikrohullámot radar- és navigációs technikában, illetve a híradástechnikában is széles

körben használják, ezért annak használata szabályozott. A Nemzetközi Telekommunikációs Szövetség (ITU: International Telecommunication Union) összhangban az USA Szövetségi Kommunikációs Bizottságával (Federal Communications Commission) a mikrohullámú tartományban két frekvenciát választott ki ipari, tudományos és orvosi készülékekhez. Ezek a 915 ± 13 MHz, valamint a 2450 ± 50 MHz (SINGH és HELDMAN, 2001).

Az elektromágneses hullámok, valamint azon belül a mikrohullámok alapvető törvényszerűségeit a Maxwell egyenletek foglalják össze (SCHUBERT és REGIER, 2005; DATTA és ANANTHESWARAN, 2001).

Az elektromágneses hullámok hullámhossza (λ , [m]), frekvenciája (f , [1/s]), valamint sebessége (v , [m/s]) a következő összefüggésben áll egymással:

$$\lambda = \frac{v}{f} \quad (2.1)$$

A (2.1) egyenletet felhasználva az általában használt, 2,45 GHz frekvenciához tartozó hullámhossz kiszámítható (SINGH és HELDMAN, 2001).

$$\lambda_{2450} = \frac{3 \cdot 10^8 [\text{m/s}]}{2450 \cdot 10^6 [1/\text{s}]} = 0,122 \text{ m} = 12,2 \text{ cm} \quad (2.2)$$

A mikrohullámok sugárnyaláiban fókuszálhatók. Az anyagok vagy elnyelik, vagy visszaverik, attól függően, hogy milyen a dielektromos tulajdonságuk. Az üvegben nagyon kicsi, míg teflonban szinte nincs elnyelődés (abszorpció), a fémekről azonban gyakorlatilag teljesen visszaverődnek (SINGH és HELDMAN, 2001; SCHUBERT és REGIER, 2005). A mikrohullámok a különböző közegek határán a fényhez hasonlóan

megváltoztatják a terjedési irányukat és a sebességüket. Ebben az esetben a frekvenciájuk nem változik, de a megváltozott sebesség a hullámhossz megváltozását vonja maga után (HOLICS, 1992; DATTA és ANANTHESWARAN, 2001). Ez alapját jelentheti a homogén mikrohullámú tér kialakításának.

A mikrohullámok legfontosabb hatása, hogy a besugárzott anyagot felmelegítik. A melegedését kétféle mechanizmus magyarázza: a dipól rotáció, illetve az ionos polarizáció. A dipól rotáció jellegzetes példája a vizet tartalmazó anyagokban lejátszódó hőfejlődés. A vízmolekula a töltéseloszlást tekintve elektromosan dipólus, a rá ható elektromos mezővel elfordítható. Általában a vízben a dipólusnyomatékok véletlenszerűen irányítottak. Az elektromos mező azonban forgatónyomatékokat gyakorol a molekulákra, és úgy fordítja el azokat, hogy dipólusnyomatékuk egybeessen az elektromágneses mező irányával (SZABÓ 1990a; SZABÓ, 1990b; LIN és LIN, 1998; DATTA és ANANTHESWARAN, 2001).

A 2,45 GHz-es mikrohullámú frekvencián a váltakozó áramú elektromos mező $2,45 \times 10^9$ -szer változtatja a polaritását. A vízmolekulák megpróbálnak igazodni a változó polaritáshoz, miközben egymáshoz ütköznek, súrlódnak, a hidrogénkötések felbomlanak, illetve új kötések alakulnak ki, az eközben felszabaduló energia a molekulák mozgási energiájává alakul át. Ennek következtében a rendezetlen mozgású molekulák (molekula csoportok) hevesebben ütődnek egymáshoz, amely hőmérsékletemelkedést eredményez. Végző soron az elektromágneses tér energiája a mozgási energián át hőenergiává alakul.

Az ionos polarizáció hasonló jelenségen alapul. A különböző töltésű ionok váltakozó áramú elektromos pólusok felé történő áramlásakor ütköznek egymással, miközben kinetikai energiájuk hőenergiává alakul át (SZABÓ 1990a; SINGH és HELDMAN, 2001). DEALLER (1990) megállapítása szerint ha megnöveljük a kezelt anyagban (burgonyapürében) lévő ionok (pl. NaCl)

koncentrációját, a besugárzás során a kezelt anyagban nő a disszipált mikrohullámú energia.

A mikrohullámú melegítést a besugárzott anyagok dielektromos tulajdonságai is befolyásolják. A valós dielektromos állandó vagy permittivitás (ϵ') megmutatja, hogy az anyag milyen mértékben tárolja az elektromos erőtér energiáját; a relatív dielektromos veszteség (ϵ'') az elektromos energia hővé alakulásának mértéke. A veszteség tangens ($\tan \delta$) megmutatja, hogy mennyire képes az elektromos mező behatolni az anyagba, és hogyan oszlatja szét hővé az elektromos energiát. A dielektromos jellemzőket a frekvencia, az anyag sűrűsége, hőmérséklete és szerkezete is befolyásolja (GÉCZI, 2002; SINGH és HELDMAN, 2001).

A mikrohullámú energia hővé alakulása a következő módon adható meg:

$$P_D = 55,61 \cdot 10^{-14} \cdot E^2 \cdot f' \cdot \epsilon' \cdot \tan \delta \quad (2.3)$$

Ahol:

P_D : disszipált energia [W/cm^3];

E : elektromos térerősség [V/cm];

f' : frekvencia [Hz];

ϵ' : dielektromos állandó;

$\tan \delta$: veszteség tangens.

A (2.3) egyenletből következik, hogy az elektromos térerőnek dramatikus hatása van az energia eloszlásra, energia sűrűségre, hiszen az egyenletben négyzetes tagként szerepel. Az anyagon belüli energia eloszlást a csillapítási faktor (α') is befolyásolja, amely a dielektromos állandóból és a frekvenciából kiszámítható.

$$\alpha' = \frac{2\pi}{\lambda} \left[\frac{\varepsilon'}{2} \left(\sqrt{1 + \tan' \delta} - 1 \right) \right]^{1/2} \quad (2.4)$$

Az energia eloszlást befolyásolja továbbá a mikrohullám behatolási mélysége, ami az anyag felszín alatti mélysége, ahol az energia 1/e-dikére csökken a kiindulási energiához képest. A behatolási mélységben mért energiát a Lambert egyenlet adja meg (SINGH és HELDMAN, 2001):

$$P = P_0 e^{-2\alpha' d} \quad (2.5)$$

Ahol:

P : behatolási mélységben mért energiát [W];

P_0 : Disszipált energia [W];

α' : csillapítási faktor;

d_b : behatolási mélység [m].

A mikrohullámú besugárzásokat kezelőberendezésekben végzik, amelyek elengedhetetlen része a magnetron, ami a tápegységből érkező egyenáramot jó hatásfokkal alakítja át mikrohullámú energiává (HOLICS, 1992). Az üregrezonátor vezeti a hullámot, geometriai kialakítása meghatározza az elektromos tér eloszlását (SCHUBERT és REGIER, 2005; SZABÓ, 1990b). A kezelőtér kialakítása a hullámhossz függvénye. A kezelőtérbe fémkeverőket építhetnek be, ami megakadályozza az álló hullámok kialakulását, ezáltal az energia eloszlást egyenletesebbé teheti (SINGH és HELDMAN, 2001).

SIEBER et al. (1996) szerint mikrohullámú besugárzás során a hullámok reflektálódnak a készülék oldalfalairól és az aljáról. A mikrohullámok az élelmiszerek komponenseinek függvényében különböző mértékben hatolnak be az ételekbe, ebből kifolyólag túlfűthetik a felszín, vagy nem egyenletesen melegítik fel a teljes terméket. Számos esetben ez a melegítési eljárás magas hőmérsékletet eredményez, ami veszélyes, hisz forrázással és égési következményekkel járhat. Nagymértékű eltéréseket tapasztaltak a fagyasztott ételek esetében. A kísérleteket különböző edényben lévő tejjel végezték. Az edény belsejét három hőmérséklet szenzorral szerelték fel, a tetejére, a közepébe és az edény aljára tettek hőmérőket. Az edény közepén 78 °C-ot akartak elérni. Az edények geometriája nagyon befolyásolja a hőmérséklet eloszlását a különböző edényekben.

A mikrohullámú kezelések során az inhomogén téreloszlás megnehezíti a kezelőtérben történő folyamatok detektálását, kontrollálását (LUDÁNYI és SZILÁGYI, 1998). A kezelőtér elektrodinamikai rendszerének megtervezésekor alapvető fontosságú, hogy homogén mikrohullámú térerőeloszlást hozzanak létre, aminek néhány lehetséges megoldását megtalálhatjuk a szakirodalomban.

SZABÓ (1990a) megállapítása szerint amennyiben a rezonátor geometriai méreteit és az energia bevezetés módját megfelelő méretezési eljárással valósítják meg (paralelepiped üregrezonátor), biztosítható, hogy magában az üregrezonátorban több módusú elektromágneses tér alakuljon ki a magnetronhoz illeszkedő rezonancia frekvencián. A magnetron által előállított több módusú elektromágneses tér rezonancia frekvenciájához tartozó hullámhossz értéke függ a rezonátor lineáris méreteitől. Ezen megállapítások alapján technológiát fejlesztettek ki baromfiipari termékek mikrohullámú felengedtetésére.

SZABÓ (1990b) szerint a kezelt anyagban homogén hőmérsékleteloszlás kialakításához a kezelő térben homogén energiasűrűségű elektromágneses teret kell létrehozni. Ennek megvalósítása a kezelendő anyag mozgásában rejlik.

VILLAMIEL et al. (1998) és RATTANADECHO (2005) véleménye szerint vízcsapdák alkalmazásával a mikrohullámú térerő eloszlás homogenizálható, azonban konkrét méréseket nem végeztek ennek meghatározására. A víz alkalmazását indokolja, hogy a fizikai paraméterei ismertek, valamint, hogy a 2,45 GHz frekvencián a víznek a legnagyobb a dielektromos állandója (GÉCZI et al., 1999).

KENTISH et al. (2005) mikrohullámmal melegített tejmintákban a jobb hőmérséklet eloszlás érdekében a mintatartó edényt felemelték, így az közelebb került az üregrezonátor becsatolásához. VILLAMIEL et al. (1996a) a besugárzás során a mintatartó edényt forgatták.

Az anyagban lejátszódó folyamatok modellezését megnehezíti, hogy a mikrohullámú térben nem egyszerű a hőmérséklet mérése. Az általánosan használt hőmérők gyakran tartalmaznak fémet. A mikrohullámú térbe fémet tenni nem kívánatos, mivel a fémbe esetleges repedések, szennyeződések mentén az elektromágneses tér elektronjai indukálódhatnak, majd a töltések elmozdulása révén kiszülhetnek (DATTA és ANANTHESWARAN, 2001).

Ennek ellenére a mikrohullámú kezelőtérben a hőmérséklet mérésére számos lehetséges megoldás kínálkozik:

- a kezelt anyagot modellező anyagok felhasználásával;
- mikrohullámú radiometria alkalmazásával;
- folyékony kristály és termopapír alkalmazásával;
- mágneses rezonancia leképezés/képalkotás (SCHUBERT és REGIER, 2005) során;

- műanyaggal burkolt termométer (VILLAMIEL et al., 1998) valamint termoelem (RAMASWAMY et al., 1991) használatával;
- üvegszálalás optikai hőmérő (DATTA és ANANTHESWARAN, 2001);
- infra hőmérők, infrakamera (DATTA és ANANTHESWARAN, 2001) felhasználásával.

2.2. A mikrohullámú besugárzás termikus hatásai

A hagyományos hőközlési módszerek során (kontakt hővezetés, konvekciós hőközlés, infravörös sugárzással történő hőközlés) a hőáram az anyag belsejébe hővezetés útján jut. Az élelmiszerek döntő többsége rossz hővezető, ezért magas hőközléssel kezelhető, ami viszont helyi túlmelegedéseket okozhat (SZABÓ, 1990b).

A konvektív szárítás során az anyag és a szárítóközeg kölcsönhatásának eredményeként alakul ki szárítás. A szárítandó anyagban a hő kívülről befelé áramlik. A száradás sebességét szárítóközeg relatív páratartalma, a hőmérséklete, áramlási sebessége befolyásolja (IMRE, 1974).

A mikrohullámú hőközlés az időegység alatt adott tömeg egységbe bevihető energiaáram szempontjából jobb, előnyösebb, mint a hagyományos hőközlési módszerek. A mikrohullámú besugárzás során a mikrohullám energiája a kezelt anyagban a belépést követően exponenciálisan csökken. Ha a kezelt anyagban nem egyenletes a nedvességeloszlás, ennek függvényében az elnyelt energia eloszlása is változik. A mikrohullámú energia maximum értékei a hullám tulajdonságaiból adódóan $\lambda/4$ értékkel követik egymást (SZABÓ, 1990b).

Az élelmiszerek nagy többsége a váltakozó áramú elektromos erőterben nagy veszteséggel bíró dielektrumként viselkedik. Az anyagok relatív dielektromos állandója alapvetően a nedvességtartalomtól (általában

víztartalomtól), az ionösszetételtől (általában sótartalomtól) és az alkotóelemek fajhőjétől függ (SZABÓ, 1990a).

A mikrohullámmal történő anyagkezelés alapvető jellegzetessége, hogy a termék teljes térfogatában, a hagyományos hőközléstől eltérő hő- és anyagtranszport folyamatok játszódnak le. Ennek következtében az alkalmazott művelet ideje lecsökkenhet (SINGH és HELDMAN, 2001). A mikrohullámot ezért számos élelmiszeripari művelet során alkalmazzák.

A mikrohullámú vákuumszárítók, csíraszámcsökkentők, blansírozók, felengedető berendezések alacsony hőmérsékletű, kíméletes kezelést biztosítanak (SZABÓ, 1990b, MUJUMDAR és BEKE, 2002). Tej (VILLAMIEL et al., 1996b) és sör pasztörözése (KISS et al., 2004) során szintén alkalmazható a mikrohullámú besugárzás.

Használják mikrohullámot továbbá gabonamagvak szárítására (BÖCKELMANN és LÜCKE, 2005), felhasználják sütőiparban a hagyományos sütési eljárások kiegészítéseként (TSEN, 1980). Az élelmiszeriparban mikrohullámot legsikeresebben tészták szárítására alkalmazzák, ahol közel 30%-kal csökkenthető a működés, az elektromos energia és a fenntartás költségei (SCHIFFMANN, 1976; ARSENAULT, 1994).

További számos cikk foglalkozik mikrohullámú szárítással. ZHOU et al. (1994) a paradicsom, JUN et al. (1999) az alma, KIRANOUDIS et al. (1997) a kivi és a körte, BEKE et al. (1997), BEKE (2000) a kukorica és a burgonya, RAGHAVAN és VENKATACHALAPATHY (1999) az áfonya mikrohullámú szárítása során vizsgálták az anyagban lejátszódó hőmérséklet és nedvességtartalom változásokat.

A mikrohullámú szárítást kiegészíthetik más szárítási technológiával. KAENSUP et al. (1998) borsot szárított kombinált mikrohullámú fluidizált szárító berendezésben. LAGUERRE et al. (1999) konvektív-mikrohullámú kombinált eljárás során hagymát, CHENG et al. (2006b) burgonyát szárítottak.

KACZ et al. (2003b) modellkísérleteket végeztek cikória hőtechnikai paramétereinek meghatározására kombinált mikrohullámú-konvektív szárítás során.

Néhány esetben alkalmazzák a mikrohullámot vákuumos fagyasztva szárító berendezésekben. A mikrohullámú fagyasztva szárításnál a vízelvonás a víz hármaspontjának hőmérséklete alatt történik (MUJUMDAR és BEKE, 2002).

Minden esetben a mikrohullám gyors és kíméletes hőközlési formáját helyezik előtérbe.

A mikrohullámú szárítás (nem csak élelmiszeripari felhasználás esetén) azért is különösen ígéretes, mivel az elektromos energia felhasználásával kiváltja, vagy csökkenti a fosszilis energiahordozók alkalmazását, aminek révén a környezet terhelése lényegesen csökken (BERECZ, 1999). A szerző ebben az esetben valószínű, hogy a mikrohullámú kezelések nagyobb hatásfokára gondolt.

A mikrohullám potenciálisan felhasználható analitikai célokra nedvesség meghatározás esetén (BEARY, 1988). DZUREC és BAPTIE (1989) mikrohullám és konvektív szárítás, REH és GERBER (2003) mikrohullám segítségével határozták meg a tej, valamint különböző tejtermékek (joghurt, jégkrém) szárazanyagtartalmát. CHIN et al. (1985) a paradicsom szárazanyagtartalmát szintén mikrohullámú szárítás során határozták meg.

A mikrohullám melegítő hatása közel ötven év óta ismert, előnyös tulajdonságainak ellenére még sem terjed el az élelmiszeriparban. Ennek oka, hogy a berendezések költségesek, és nem áll rendelkezésre elég adat a különböző frekvenciák hatásairól, az inhomogén elektromos erőtérrel vagy akár az élelmiszerek dielektromos jellemzőiről (GÉCZI és SEMBERY, 2005; SZABÓ, 1990b).

2.3. A mikrohullámú besugárzás nem termikus hatásai

Az elektromágneses tér energiája felhasználható fizikai-kémiai és biológiai folyamatok befolyásolására. A folyamatok hatásmechanizmusa attól függ, hogy milyen viszonyban van az elektromágneses tér energiakvantuma azzal az anyagmennyiséggel, amely képes változást vagy károsodást okozni a kezelt biológiailag aktív objektumban a különböző termikus műveletek (sterilizálás, sejtbontás, főzés, tartósítás, fermentálás, enzim-átalakítás) során (SZABÓ, 1990a).

A kisugárzott hullámfrontnak a biológiai közeggel való kölcsönhatását a következő mennyiséggel lehet jellemezni:

$$\frac{h \cdot f}{k \cdot T} \quad (2.6)$$

Ahol:

$h \cdot f$: az elektromágneses tér kvantumának energiája [J];

$k \cdot T$: a test kinetikai energiája [J];

h : Planck-féle állandó [$6,626 \cdot 10^{-34}$ Js];

k : Boltzmann állandó [$1,38 \cdot 10^{-23}$ J/K];

T : Termodinamikai hőmérséklet [K].

A 10^{12} Hz-nél nagyobb frekvenciájú elektromágneses sugárzás (infravörös sugárzás, látható fény, ibolyántúli-, röntgen-, gamma- és a kozmikus sugarak) esetében a $h \cdot f / k \cdot T > 1$, vagyis a sugárzás kvantumjainak energiája olyan nagy, hogy képes a biológiai szervezetek (sejtmembrán, molekulák közötti kötések) elroncsolására (SZABÓ, 1990b).

A $10^6 - 10^9$ Hz frekvenciájú elektromágneses hullámok kvantumenergiája kisebb. Olyan specifikus hatást gyakorolnak a biológiai anyagokra, amelyek nem magyarázhatók meg tisztán az elektromágneses tér okozta hőhatással. Ez a behatás olyan energiaszinten történik, amely több nagyságrenddel kisebb annál a szintnél, amelyen a hasonló hatások eléréséhez szükséges hő fejlődik. Ebben az esetben nem termikus jellegű kölcsönhatás lép fel az elektromágneses tér és a besugárzott anyag között (SZABÓ, 1991). Ezzel a megállapítással ellentétben SINGH és HELDMAN (2001) szerint az élelmiszerekben nem ismert a mikrohullámú sugárzásnak semmilyen úgynevezett nem termikus hatása. Ezt az állítást azonban számos szakirodalmi vélemény megcáfolja, min például FOSTER és PICKARD (1987), akik határozottan veszélyesnek minősítették a mikrohullámú besugárzást. Ennek oka, hogy nem ismerjük eléggé a mikrohullám élő szervezetre gyakorolt hatásait.

A mikrohullám úgynevezett nem termikus hatása sokféle lehet, ezek közül néhányat emeltünk ki:

Vizes oldatok dielektromos tulajdonságainak elemzésekor megfigyelték, hogy az elektromágneses hullámok segítségével egyes kémiai kötések felszakíthatók. Közvetlen nem termikus hatásnak tekinthető, amikor egy foton energiája felszakítja a molekulák közötti kovalens kötések (DATTA és ANANTHESWARAN, 2001).

Mikroorganizmusok és enzimek inaktiválását lehet elvégezni olyan hőmérsékleten, ami az inaktiválási hőmérséklet alatt van (CULKIN et al., 1975; KHALIL et al., 1988). TAJCHAKAVIT et al. (1998) a naracslében lévő *Saccharomyces cerevisiae* és a *Lactobacillus plantarium*, KOUTCHMA és RAMASWAMY (2000) *Escherichia coli* élettevékenységét inaktiválták 50 °C-os mikrohullámú kezelés során.

Ismertek a mikrohullám által okozott kromoszóma rendellenességek, amelyekben a molekuláris rezonancia is szerepet játszik. Megfigyelhető továbbá, hogy nagyfrekvenciás tér hatására a kolloid részecskék láncba rendeződnek (ALMÁSSY, 1973; BANIK, et al., 2003).

Az elektromágneses tér nem termikus hatását várhatóan mikroszkópikus vagy molekuláris szinten lehet észlelni és kimutatni, mert a molekulák a hagyományos hőközléssel szemben a mikrohullámú energiát közvetlenül abszorbeálják (DATTA és ANANTHESWARAN, 2001).

POMERAI et al. (2000) véleménye szerint a mikrohullámú sugárzás számos biológiai hatást feltételez, ami a szövetek felmelegedéséből ered. Magas frekvenciájú mikrohullámú tér a talajban lévő *Caenorhabditis elegans*-ban (hengeresféreg) hősokk választ okoz. A mikrohullám a fehérjék aktív csoportjának törekeny láncát töri el, vagy beavatkozik a sejt jelzéseibe, így indukálja a hősokk fehérjéket. A hősokk fehérjék gerjesztődése leírja (magába foglalja) a nem termikus mechanizmust.

Az irodalom szerint a mikrohullámú melegítés hatása az élelmiszerekben lévő mikroorganizmusokra és az élelmiszerek tápanyagaira, úgymint a fehérjékre, enzimekre, vitaminokra következtelen, ellentmondó. Számos befolyásoló paraméter magába foglalja a hőkezelés feltételeit, a kezelt anyag minőségét és mennyiségét, a készülék teljesítményét, a kezelés hőmérsékletét és időtartamát (SIEBER et al, 1996).

A mikrohullám nem termikus hatásának létezéséről szintén megoszlanak a vélemények. A nem termikus kölcsönhatások elméleti magyarázatára nehéz modellt kidolgozni, mivel a mikrohullámú kezeléseket mindig hőhatás kíséri (ALMÁSSY, 1982).

2.4. A tej általános jellemzése

A Magyar Élelmiszerkönyv 2-51/01 irányelve alapján a termelői nyerstej (azonosító szám: MÉ 2-51/01) olyan termék, amelyet egy vagy több tehéntől, juhtól vagy kecskétől rendszeres, teljes kifejéssel nyernek, amelyet nem melegítettek 40 °C hőmérséklet fölé vagy nem részcséztettek ezzel egyenértékű más kezelésben, továbbá amelyből semmit nem vontak el, és amelyhez semmit nem adtak hozzá.

A hőkezelt fogyasztói tej (azonosító szám: MÉ 2-51/02) a termelői nyerstejből tisztítás, zsírtartalom-beállítás, szükség szerint homogénezés, esetleg tejfehérjével, ásványi sókkal, vitaminokkal való dúsítás és/vagy laktóztartalom-csökkentés; tejkészítmények esetén ízesítés, majd megfelelő hőkezelés útján előállított termékek.

A tej kolloidikai értelemben zsír a vízben emulzió (LOPEZ et al., 2002), egy polidiszperz rendszer, amely a teljes mérettartományt tartalmazza, az 1 nm alatti ionátmérőjű valódi oldatoktól a 10 µm nagyságú zsírgolyóig.

A tej komplex rendszerében a folyamatos fázis (diszperziós közeg) a víz, amelyben ionos és molekulárisan oldott állapotban vannak ásványisók, a tejcukor és a vízoldható vitaminok. A diszperz fázis a makromolekulás (savófehérjék) és a diszperziós (kazein) kolloid rendszert alkotó fehérje fázis, illetve a durva diszperz emulziós rendszert alkotó zsírfázis. Az egyes fázisok egymással dinamikus egyensúlyban vannak (SZAKÁLY, 1994).

A tehéntej átlagos összetételét az 2.1. táblázatban mutatjuk be.

2.1. táblázat A tehéntej átlagos összetétele

Tejalkotórész	
Megnevezés	Mennyisége [%]
	Átlag
Víz	87,3
Szárazanyag	12,7
Zsírmentes szárazanyag	9,0
Zsír	3,7
Fehérje (összes)	3,4
Tejcukor	4,7
Ásványi anyagok	0,7
Egyéb	0,2

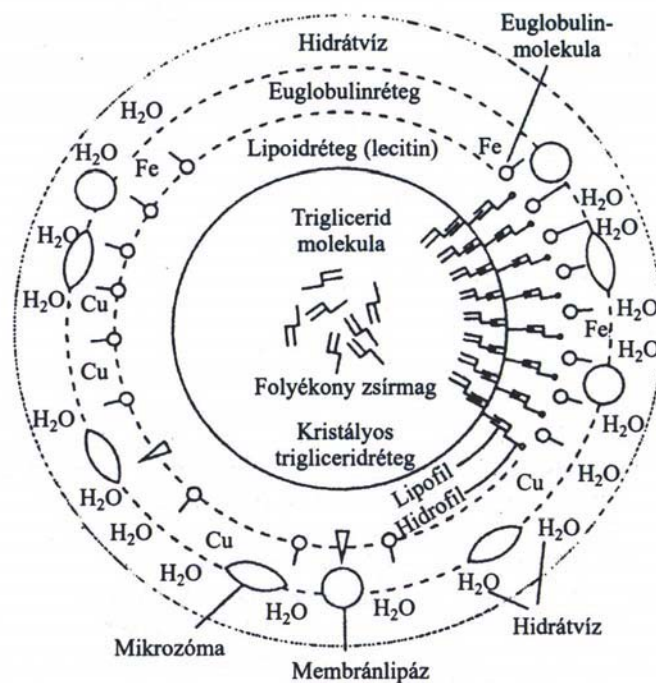
A tej fehérjekomponensei a nagyfokú hőstabilitással rendelkező, de töltéscsökkenés hatására az izoelektromos ponton (pH = 4,6) koaguláló kazein, valamint a hőérzékeny savófehérje (SZAKÁLY, 2001; DICKINSON, 2001).

A szénhidrátok közül az élettani szempontból is fontos tejcukor (laktóz), az ásványi anyagok közül a makro- (kálcium, magnézium, kálium, stb.) és nyomelemek (réz, cink, vas, stb.) fordulnak elő (SZAKÁLY, 2001).

A tejben lévő víz nagy része (96%) teljes oldékonysággal rendelkező szabad víz, kisebb hányada pedig mind mozgékonyságában, mind oldóképességében részben, vagy egészében korlátozott, főleg fehérjékkel asszociálódott, strukturálisan vagy kémiaailag kötött víz (SZAKÁLY, 1994).

2.5. A tejsír

A tej emulziós fázisa a zsírgolyócskát alkotó tejszírből és az abban oldott zsíroldható vitaminokból és színezékből, az emulziós fázist stabilizáló membránanyagokból (lipoidok és membránfehérjék), valamint az abszorbeált anyagokból (vas, réz, stb.) és hidrátburokból áll (2.2. ábra). Ez a réteg biztosítja a két fázis közötti folyamatos átmenetet, ezáltal az emulzió stabilitását. A sovány tej nagy diszperzitásfokú fehérjei, mint védőkolloidok ugyancsak részt vesznek az emulzió stabilitásában (SZAKÁLY, 1994; SCHÄFFER és PALLAI, 1991; DICKINSON, 2001).

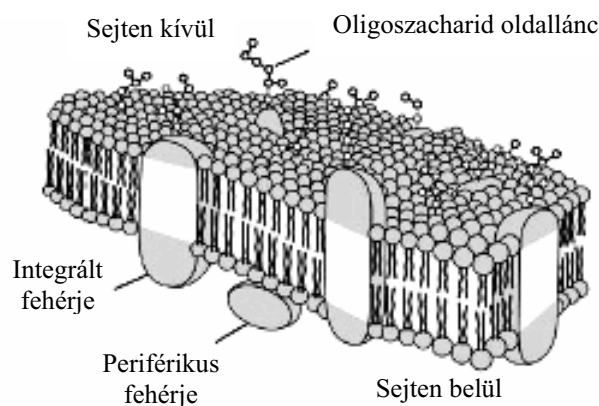


2.2. ábra A zsírgolyó felépítése - King nyomán (SZAKÁLY, 2001).

A zsírgolyókat körülvevő „védőréteg” kifelé negatív elektromos töltésű, és így a zsírgolyók taszítják egymást (BÍRÓ, 1999).

A tehéntej átlagos zsírtartalma 2,5%-8% között van. A zsírgolyók átmérője 0,1-20 μm között változhat, átlagosan 3-5 μm (SZAKÁLY, 1994; SHELLHAMMER és KROCHTA, 1997; Bíró, 1999; WIKING, 2005). A nyerstejben lévő zsírgolyók mérete a növekvő zsírtartalommal együtt növekedik (WIKING et al., 2003).

A zsírgolyócskák mennyisége milliliterenként $1,5-4,6 \cdot 10^9$ db. Felületük megközelítőleg 1000 cm^2 milliliterenként. Ez a felület különösen nagy aktivitást biztosít a tejszírnak, amit még fokoznak a zsírgolyócska membránjában elhelyezkedő enzimek és a katalikusan aktív fémek. Mivel a zsír a vízzel nem elegyedik a zsírgolyócskát speciális burok, egy membránréteg veszi körül (2.3. ábra). A membrán számos különböző összetevőből áll, elsősorban foszfolipidekből, glikolipidekből (60%), fehérjékből (40%), másodsorban enzimekből. A zsírgolyócska membránrétegének lipidtartalmán belül 60% triglicerid, 20% foszfolipid, illetve szterin is előfordul (CSAPÓ et al., 2002). A membránban lévő fehérjék 40 különböző polipeptidből állnak, melyek molekula tömege 15000-240000 Da között mozog (YE et al., 2002, SINGH, 2005).



2.3. ábra A zsírgolyó membrán térbeli szerkezete (ALBERTS et al., 1994).

WIKING (2005) szerint a membrán struktúráját befolyásolja, hogy milyen állat tejéről van szó, illetve milyen fejési technológiát, ebből következően milyen tejkezelési eljárásokat alkalmaztak. A tejkezelés, feldolgozás során levegő kerülhet bele a tejbe. A tej, vagy a tejszín keverése levegővel vagy más gázzal jelentősen csökkenti a zsírgolyók stabilitását. Ebben a folyamatban a tejszín és a levegő kapcsolatba lép egymással, ekkor a membrán szétreped. Következésképpen a membrán belső oldala, valamint a zsírmag szétterjed a buborék felszínén, illetve a tejszínben. Ha a buborék összeomlik, vagy egyesül a zsírszintén a tejszínbe kerül. A membrán sérülése nem okozza szükségszerűen a szabad zsírsav koncentráció növekedését, mivel ez a folyamat sok más tényezőtől is függ.

A tejszín jellegzetes fizikai, kémiai tulajdonságait döntően a zsírsavösszetétele, ezen belül is a felépítő zsírsavak jellege (telített, telítetlen) és szénatomszáma (rövid, közepes, hosszú szénláncú), továbbá az egyes zsírsavak relatív mennyisége határozza meg. A tejszínben a kis és közepes szénatomszámú zsírsavak viszonylag magas aránya, továbbá a telítetlen zsírsavak kisebb mennyisége jellemzi. A zsírsavak eltérő olvadáspontja következtében a zsírsavösszetétel alapvetően befolyásolja a tejszín olvadákonyságát, szilárdságát, egyéb fizikai tulajdonságait. A tejszín zsírsavösszetétele a takarmányozás hatására változik (SZAKÁLY, 1994).

A tejben lévő lipidek 98%-át kitevő triglicerid (SZAKÁLY, 1994; BALCÃO és MALCATA, 1998) a zsírgolyócskában helyezkedik el. A tej összes lipidjének 95-98,7%-a a zsírgolyócskán belül; 0,4-2,17%-a a zsírgolyócska membránjában; 0,8-3,35%-a pedig a szérumban található (CSAPÓ et al., 2002).

A di- és monogliceridek mennyisége 0,02-2,2% között változik. A tehéntejben mintegy 400 különféle zsírsav fordul elő, ami elméletileg 64

millió triglicerid kombinációját hozhatja létre. A tejsírban 43 triglicerid fordul elő a legnagyobb mértékben ($>0,5$ mol/100 mol triglicerid). A tejsír egyéb lipidösszetevőinek mennyisége az összes lipidtartalomhoz viszonyítva kevés: a membránok felépítésében résztvevő foszfolipidek 0,2-1,1%, a szteroidok mennyisége 0,2-0,5%. Nyomokban karotinoidok, retinol-észterek, szkvalén, szabad zsírsavak is előfordulnak. A tejsír többségében a glicerin zsírsavakkal alkotott észtereiből, trigliceridekből áll (BÍRÓ, 1999; CSAPÓ et al., 2002).

A tejsírban a zsírsavak közül legnagyobb mértékben az olajsav és linolsav (46%) fordul elő, ezt követi a palmitinsav (26,1%), a mirisztinsav (10,4%), a sztearinsav (6,5%), a laurinsav (4%). A többi zsírsav aránya 3% alatt van (BALATONI, 1978).

A tej homogénezése során a tej és a tejszín zsírgolyócskáit fizikai úton elaprózzák, ezért a tejsír nem válik ki a felszínre. A homogénezés során az előmelegített tejet több dugattyús szivattyúval 40-300 bar nyomással préselik a homogénező fejbe, ahol a zsírgolyócskák 1-2 mikron nagyságúra aprózódnak, számuk ezáltal mintegy ezerszeresére, a felületük pedig 10-szeresére növekszik. A felület olyan rendkívüli mértékben megnő, hogy a foszfolipidek mennyisége nem elegendő a zsírgolyócskák felületének beburkolására, ezért a tej felületaktív fehérjéi abszorbeálódnak a zsírgolyócskák felületén zsír-fehérje komplexet létrehozva. A homogénezés után a fehérjemicellák mérete is kisebb (KENTISH et al., 2005; BÍRÓ, 1999).

Ha a homogénezés során a nyomás emelkedik a zsírgolyók nagyobb mértékű aprózódása figyelhető meg. A közönségesen használt homogénezési módszerek nincsenek hatással a tej enzimaktivására. A homogénezett tejekben néha megfigyelt nagyobb fokú lipolízis a zsírgolyócskák nagyobb felületének köszönhető, mert nagyobb támadási felületet adnak a lipázoknak. Ez csak rendkívül kis számban okoz problémát, mivel a homogénezett tej

lipázai inaktiválódnak a pasztörözés folyamán (KEBARY és MORRIS, 1989; BÍRÓ et al., 1999; THIEBAUD et al., 2003).

A tej pasztörözése során (a Nemzetközi Tejgazdaság szövetség és az EU direktívája által ajánlott legkisebb érték a 71,7 °C-on 15 másodpercig tartó hőkezelés), az enzimek egy része elbomlik (BÍRÓ, 1999).

A homogénezés mellett a fölözés olyan technológiai művelet, ami a zsírgolyócskák számával, illetve méretével szoros összefüggésben áll. A tejsír és a tejplazma közötti sűrűségkülönbség hatására a zsírgolyócskák a tej felszíne felé törekednek. A felfölöződés sebességét a Stokes-képlet alapján lehet kiszámítani, miszerint a felfölöződés sebessége egyenesen arányos a sűrűségkülönbséggel, négyzetesen a részecskék átmérőjével és fordítottna a viszkozitással.

$$v = \frac{d^2 (S_p - S_d)}{18\eta} \cdot g \quad (2.7)$$

Ahol:

d : a diszperz rész átlagos átmérője [mm];

S_p : a diszperziós közeg (plazma) sűrűsége [g/mm³];

S_d : a diszper rész (zsírgolyó) sűrűsége [g/mm³];

η : dinamikai viszkozitás [g/mms];

g : nehézségi gyorsulás [m/s²],

A hőmérséklet növekedés hatására a plazma és a tejsír közötti sűrűségkülönbség növekszik, a tej viszkozitása viszont csökken (mindkét folyamat sebessége 35-40 °C-on a legnagyobb), ezáltal a fölözés sebessége nő. A hőmérséklet növelésének a tejben lévő fehérjék denaturációja szab gátat. A fölözést 40-50 °C közötti hőmérsékleten célszerű elvégezni. A fölözés sebességét azonban jelentős mértékben a részecskékre ható erő

növelésével lehet növelni. Ezen alapul a gépi fölözés, ahol a nehézségi/gravitációs gyorsulás helyett a centrifugális gyorsulás növelése révén (a fölözőgépekben ez az érték általában a nehézségi gyorsulás 4000-szerese) hatékonyan és gazdaságosan lehet a tejet soványtejre és tejszínre szétválasztani.

Nyers tejben a felfölözés sebessége mindig nagyobb, mint ahogy azt a Stokes-képlet alapján számolni lehet. Ennek oka, a zsírgolyócskák tapadási képessége, azaz a nagyobb átmérőjű (ezáltal kisebb sűrűségű) zsírgolyócskák felfelé haladva utoléri a kisebb méretű golyócskákat, azokkal összetapadnak, így fürtszerű képleteket (halmazokat) hoznak létre. A nagyméretű halmazoknak sebessége tovább növekszik. A halmazképződésért a zsírgolyók burkában lévő euglobulinréteg felelős, amely adhéziós kötést létesít a részecskék között (SZAKÁLY, 2004).

2.6. A tejsír mikroszkópos vizsgálata

A tejmintákban lévő zsírgolyók méretét, alakját, eloszlását fénymikroszkóppal (EVERS, 2004a), polarizált fénymikroszkóppal (LOPEZ et al., 2002), lézermikroszkóppal és pásztázó elektronmikroszkóppal lehet meghatározni (KAMATH et al., 1998).

A fénymikroszkóppal végzett egyszerű morfológiai vizsgálatok során határozható meg egyes sejtalkotók mérete (hosszúság, szélesség). A fénymikroszkóp nagyító- és felbontóképessége 200 nm, részben technikai okok miatt (a numerikus apertúra nem növelhető), részben a látható fény hullámhossza miatt behatárolt. Az adott struktúra háromdimenziós megjelenítéséhez sztereómikroszkóp, illetve elektronmikroszkóp használata szükséges (MOLNÁR, 2001).

Az elektronok nemcsak korpuszkuláris jellegű anyagi részecskék, hanem elektromágneses hullámok tulajdonságaival is rendelkeznek, ez tette lehetővé a mikroszkópiában való hasznosításukat. Az úgynevezett transzmissziós (átvilágító) elektronmikroszkóp szerkezeti felépítése hasonlít a fénymikroszkópéhoz, azzal az eltéréssel, hogy az elektronsugarakat egy izzószál (elektronágyú, Wehnelt henger) bocsátja ki magából. A mikroszkóp vákuumban, elektromágneses lencsék alkalmazásával fókuszálja az elektronnyalábot. A pásztázó (scanning) mikroszkóp koncentrált elektronnyalábot bocsát ki a vizsgálandó anyag felületére, amellyel pontról pontra letapogatja a felszínt. A becsapódó elektronok hatására kisebb energiájú szekunder elektronok hagyják el a minta felszínét, amelyeket detektorral összegyűjtve elektromos jelekké alakítanak. Ezek a jelek egy katódsugárcső elektronsugarának intenzitását modulálják, így a képernyőn pontról pontra rajzolódik ki a minta képe. A szigetelő tulajdonságú biológiai

minták vizsgálata során jól vezető anyaggal pl. arannyal (aranyfüsttel) vonják be a minta felszínét (MOLNÁR, 2001).

A biológiai minták előkészítése során az ismert mintaelőkészítési módszerek közül egy sem tudja biztosítani, hogy a mintában szerkezeti változás ne következzen be. Törekedni kell, hogy ezeket a változásokat minimalizáljuk. A mintaelőkészítési módszereket két csoportba sorolják: normál hőmérsékleten végrehajtott preparációs technikák (kémia előkészítés, kritikus ponton történő szárítás) és a fagyasztást igénylő módszerek (kriomódszerek).

Minden módszer esetén a fixált mintából készített metszetek segítségével rekonstruálják az élő sejt szerkezetét, sejtalkotókat, szöveteket. A mintaelőkészítés elsődleges, talán legfontosabb része a minta fixálása. A fixálás célja a post mortem elváltozások megakadályozása, a minta struktúrájának megőrzése. Fixálás történhet fizikai módszerekkel (fagyasztás, fagyasztva szárítás, mikrohullám alkalmazása (LEONG et al., 1998) és kémiai módszerekkel (keresztkötések kialakítása, oxidáció, fehérjék denaturálása, szövetek stabilizálása). A leggyakoribb fixálószer az aldehidek közül a formaldehid, glutáraldehid, akrolein, oxidálószer (ozmium-tetroxid), denaturáló vegyületek közül a szerves savak. A fixálást befolyásolja az alkalmazott fixálószer koncentrációja, a szer behatolási mélysége, a hőmérséklet, a fixálási idő. A rögzítést követően a fixált mintát víztelenítik, esetenként beágyazzák és metszik. A minta az előkészítési protokoll végén készen áll a mikroszkópos vizsgálatra (MOLNÁR, 2001; KAMATH et al., 1998).

Különböző tejtermékekben (joghurt, sajt, tejszín, tejföl) lévő lipidek elektronmikroszkópos (SEM, TEM) vizsgálata során glutáraldehiddel rögzítik a mintát, majd a lipidvesztés megakadályozása érdekében nem alkalmaznak kémiaailag komplett víztelenítést, a mintákat inkább fagyasztva,

vagy kritikus pont szarítóban szarítják (SKRIVER et al., 1995; GATALDI et al., 1996; KAMATH et al., 1998).

Tejminták esetén EVERS (2004b) megállapítása szerint a zsírgolyó membrán vizsgálatakor a 10-20 nm vastagságú membrán méretéből adódóan a szerkezeti felépítést elektronmikroszkóppal, konfokális mikroszkóppal, atomerő mikroszkóppal, valamint fluoreszcens mikroszkóppal lehet vizsgálni. A kazeinmicellákat, szerkezetét, valamint felületét emissziós pásztázó elektronmikroszkóppal (FESEM) tudjuk vizsgálni (DALGLEISH et al., 2004). A tejben lévő fehérjék koagulációit, denaturációját LAGOUEYTTE et al. (1994) vizsgálták pásztázó elektron mikroszkóppal, a mintákat ebben az esetben Freon 22 illetve nitrogén gáz felhasználásával $-155\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ra lefagyasztották, ezáltal megakadályozták a vízkristályok kiválását, így a minta szerkezetét viszonylag épen meg tudták őrizni. Ezen az elven működik a krio fagyasztásos technológia, az úgynevezett krio pásztázó elektronmikroszkópban. Természetesen a mikroszkópon belül is biztosítani kell a megfelelő mértékű hűtést. Ezzel a technológiával a tejtermékekben lévő mikroorganizmusok (*Lactobacillus* spp. és *Streptococcus* spp.) jelenléte is nyomon követhető (HASSAN et al., 2003). A tejporban lévő zsírgolyókat szintén pásztázó elektronmikroszkóppal vizsgálják (ONWULATA et al., 1996), a tejben lévő zsírgolyók transzmissziós elektronmikroszkópos vizsgálati módszerét SCHÄFFER (1976) dolgozta ki.

A mikroszkópok által készített felvételek számítógépes kiértékelését képfeldolgozó programok (Image Pro Plus 2000) felhasználásával valósítják meg (ONWULATA et al., 1996).

2.7. Tejsír meghatározás

A nyerstej feldolgozás és kereskedelem szempontjából fontos tényező a tej zsírtartalma, aminek meghatározására számos módszert fejlesztettek ki. A referenciamódszerek, Gerber féle (KLEYN, 2001) zsírvizsgálat (ISO 488:1983), Soxhlet extrakció, Roesse–Gottlieb módszer (MANIRAKIZA et al., 2001) időigényesek, jelentős az oldószer felhasználás, továbbá laboratóriumi felszerelést igényelnek, míg a pusztán fizikai módszereket alkalmazó eljárások nem bizonyultak kellően megbízhatónak.

A korszerű módszerek, mint például a NIR spektrométer (PURNOMOADI, 1999; BRENNAN et al., 2003; SCHMILOVITCH et al., 2000; ISO 9622:1999) valamint a polarizált fény felhasználására alapuló zsírvizsgálatok (CROFCHEK et al., 2005) esetén költségigényesebb a beruházás, bonyolultak, kezelőszemélyzetet igényelnek, valamint szükséges a gyakori kalibráció.

A Magyar Élelmiszerkönyv Hivatalos Élelmiszervizsgálati Módszergyűjtemény 3-1-92/608. számú előírása határozza meg a közvetlen emberi fogyasztásra szánt hőkezelt tej vizsgálati módszereit, a 3-1-91/180. számú előírás a nyers- és hőkezelt tej vizsgálati módszereit. Az előírások szerint az eredményt 0,01% pontossággal kell megadni.

A gyakorlatban számos zsírtartalom meghatározási módszert dolgoztak ki:

1. Mojonnier módszer: tejszín, tejföl krémek zsírtartalmának meghatározása. Hátránya: étert igényel, szükséges idő 3-4 óra (International Dairy Federation 1C. 1987).
2. NIR (FTIR) gyors, pontos, de gyakori kalibrálást igényel, költséges eljárás (CROFCHEK et al., 2005).

3. SMART Trac Moisture/Fat system. Mikrohullámú szárítás, majd NMR módszerrel történő zsírmeghatározás. Tej és tejszín zsírtartalmát adja meg 5 perc alatt. Rendkívül pontos (CARTWRIGHT et al., 2005).
4. Spektrofotométeres (turbidimetriás) módszerek.
5. Gravimetriás módszer ISO 1211:1999, a fogyasztói tej esetében az ISO 7208:2004.
6. Weinbull-Berntrop féle gravimetriás módszer (ISO 8262-3:1987, International IDF Standard 126A:1988).
7. Routine módszer (ISO 2446:1976).
8. Butirometriás módszer (ISO 11870:2000, International (IDF) standard, 152A:1997).
9. A tej hővezető képességén alapuló módszer (GUSTAVSSON és GUSTAVSSON, 2006).

Általánosságban elmondható, hogy a tej zsírtartalom meghatározása 0,02% pontosságot igényel. Az olyan rendszerek, amelyeket alkalmasak az ilyen pontosságú zsírtartalom meghatározásra, ezen felül nem túl drágák, könnyen kalibrálhatók, egyszerű felépítésűek nagy haszonra tehetnek szert (CROFCHEK et al., 2005).

2.8. A tej mikrohullámú kezelése

KUNCZEVICH et al. (2002) tanulmánya szerint 520 W teljesítménnyel 90 °C-ra felmelegített tejmintában kismértékben megnő a lipid-protein komplex mennyisége.

KUDRA et al. (1992) a 2450 MHz frekvenciájú mikrohullámú kísérletek során meghatározták a tej és alkotórészeinek dielektromos tulajdonságait (2.2. táblázat).

2.2. táblázat A tej alkotórészeinek dielektromos tulajdonságai

Alkotórész	ϵ'	ϵ''
Víz	78	13,4
Tejzsír	2,613	0,153
Laktóz	1,86	0,0032
Kazein	1,608	0,024

A tiszta tejzsír dielektromos tényezője 2,613; míg a veszteségtényezője 0,153. A tiszta víz dielektromos tényezője 78; a veszteségtényezője 13,4. A tejminták mikrohullámú térben történő melegedését elsősorban a minták víztartalma befolyásolja.

SIEBER et al. (1996) megállapításai szerint a mikrohullámmal kezelt tejben lévő D-amino savak formációja már pár évvel ezelőtt jelezte a mikrohullámú melegítés következményeit. A biológiai kísérletek azonban nem szemléltették egyértelműen a tej mikrohullámmal történő melegítésének veszélyeit.

A mikrohullámú melegítés a tej és tejtermékek alternatív melegítési lehetőségévé válhat. Fontos társadalmi egészségügyi probléma keletkezhet az

élelmiszerek mikrohullámú hőkezelésből eredendően, különösképpen a tejre vonatkozóan. A tejben az aminosavak formulája megváltozik a mikrohullám hatására. Változást tapasztaltak azoknak a kísérleti személyeknek a vérében, akik fogyasztottak mikrohullámmal kezelt élelmiszert (LUBEC et al., 1989).

DEMEL et al. (1990) a mikrohullám a tehéntejben lévő különböző vitaminokra gyakorolt hatását tanulmányozták. A mikrohullámmal pasztörözött tejben nem talált A, B-karotin, valamint B1 és B2 vitaminvesztést, azonban az E vitaminból 17 %, a C-vitaminból 36% veszteséget detektáltak.

KENTISH et al. (2005) mikrohullámmal melegített tejmintákban vizsgálták a tejbőr kialakulását. Nyers és homogénezett mintákban matematikai modell segítségével jellemezték az egyes tejalkotók (fehérje, zsír, laktóz) szerepét a bőr kialakításában. A legnagyobb szerepe a zsírnak, illetve a fehérjetartalomnak van. Megállapításuk szerint minél több a tejmintában lévő zsír, annál vastagabb lesz a kialakult tejbőr szerkezete.

LOPEZ-FANDINO et al. (1996) vizsgálták a mikrohullámú és a hagyományos melegítés hatásait a tejben lévő enzimekre vonatkozóan. Indikátorként a B-laktoglobulin denaturációját, foszfatáz és laktoperoxidáz inaktiválását választották. A 80 °C-os végső hőmérséklet esetén a mikrohullámú besugárzás során a fehérje denaturálódása, valamint az enzimek inaktiválódása nagyobb mértékű volt, mint a hagyományos melegítés során.

KUDRA et al., (1991) a tejmikrohullámú háztartási mikrohullámú készülékben történő pasztörözésének során vizsgálták az egyes tejalkotók hőérzékenységet. Megállapításaik szerint a besugárzás során leginkább a fehérje illetve a víz hőmérséklete emelkedett, a zsír és a laktóz gyakorlatilag nem reagált a melegítésre.

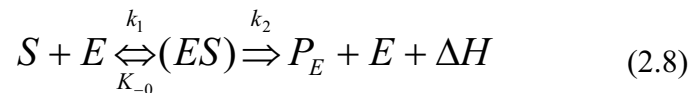
VALERO et al. (1999) szerint a tejben lévő illékony komponensek (2-pentán, hexán, 2-heptán, oktán, dekán, stb.) aránya eltérő módon változik meg a mikrohullámú melegítés, illetve a hagyományos melegítés során. A besugárzás hatására valamennyi komponens értéke megnövekedett.

Különböző kémiai folyamatok (laktóz izomeráció, Maillard reakció, fehérje denaturáció) eltérő mértékben játszódnak le az ugyanolyan mértékű mikrohullámú, valamint hagyományos melegítés során (VILLAMIEL et al., 1996a; VALERO et al., 2000).

2.9. Enzimek

Az élő szervezetekben olyan reakciók is lejátszódnak, melyek az élő anyagon kívül azonos körülmények között nem, vagy sokkal lassabban mennek végbe. Az ily módon zajló különleges reakciókat Berzelius tanulmányozta először. Megállapította, hogy az anyagok a reakcióban nem vesznek részt, de nélkülük a reakció nem játszódik le. Az ilyen hatást, mint a kémia törvényeivel összeegyeztethetlent, katalitikus hatásnak nevezte. Kühne 1878-ban élesztőkkel kísérletezve enzimeknek, élesztőből származóknak nevezte el az élő szervezetekben található katalitikus hatású anyagokat (NEMESTÓTHY, 2005).

Az enzim aktivitás egyenlete ANTONELLI (2002) nyomán:



Ahol:

S : szubsztrát;

E_k : enzimkatalízis;

P_E : reakció végterméke;

ES : intermedier komplex.

Az enzimek által katalizált reakciók sebessége függ a hőmérséklettől, a közeg pH-jától, az rH értéktől, a közeg vízaktivitásától, a rendelkezésre álló enzim, illetve szubsztrát mennyiségétől illetve az anyagot ért különböző sugárzások (ultraibolya-, mikrohullám-, röntgen-, gammasugárzás) által előidézett hatásoktól (GASZTONYI és LÁSZTITY, 1992).

Az enzimek szinte valamennyi biológia eredetű anyagban (nem csupán az élő szervezetekben, hanem azok által kiválasztott anyagokban) előfordulnak.

A tejben található enzimek vagy a tej szekréciójában résztvevő sejtekből vagy a vérből származnak (ezek a tej saját enzimrendszerét alkotják), vagy a mikroba-sejtekben keletkeznek, és azokkal együtt jutnak be a tejbe (baktériumos enzimek). Az eredeti enzimek mennyisége és összetétele, aktivitása, a fiziológiai összetételű tejben egy meghatározott állandó szinten van. A mikrobiális eredetű enzimek jelenléte széles határok között mozoghat (BÍRÓ, 1999).

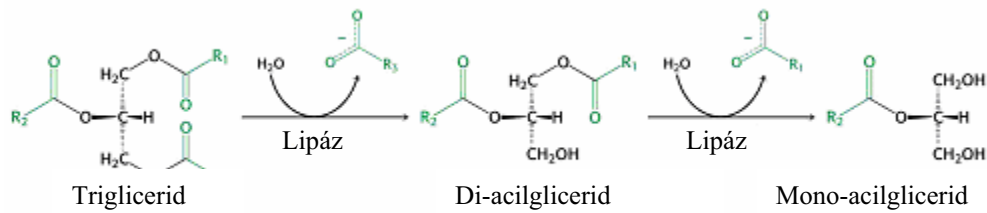
A tej saját enzimrendszerét a lipáz, foszfatázok, laktáz, amiláz, laktoproteáz, xantin oxidáz, lakoperoxidáz és a laktokataláz alkotja (BALATONI, 1978).

2.9.1. Lipáz (EC 3.1.1.3.)

A karboxil észter hidrolázok közé tartozó triacilglicerol hidrolázok (E.C. 3.1.1.3) családját nevezzük összefoglalóan lipázoknak. CHEN et al. (2003) megfogalmazása alapján lipolitikus enzimeket karboxil észterázként, valamint acil-glicerol hidrolázként is definiálhatjuk.

A hidrolázok a szubsztrátum kovalens kötését bontják víz részvételével (2.4. ábra). Az élő szervezetekben általában a nehezen oldódó triglicerideket alakítják át jobban oldódó, így könnyebben felhasználható zsírsavakká és glicerinné (WIKING, 2005; NEMESTÓTHY, 2005). A lipázok relatív szubsztrát specifikusak, így a különböző triglicerideket egyaránt hidrolizálják. A folyamat során a glicerin mindhárom észterkötését felbonthatják, ezáltal a szabad zsírsavak és glicerin szabadul fel (ANTONELLI, 2002; CHEN et al., 2003).

A lipázok annál aktívabbak, minél kisebbek az emulziós zsírcseppek, minél nagyobb az olaj-víz határfelülete (GASZTONYI és LÁSZTITY, 1992; BALCÃO és MALCATA, 1998).



2.4. ábra Trigliceridek bontása.

Eredetük szerint megkülönböztetünk természetes, originális lipázokat (a tej saját enzimszisztémájához tartoznak), valamint bakteriális eredetű lipázokat. Friss tejben az originális lipáz majdnem inaktív. A tej lehűtésekor a lipáz irreverzibilisen a zsírgolyócskák membránjához abszorbeálódik. A baktériumos eredetű lipáz enzimet a hidegtűrő baktériumok, *Pseudomonas* és *Bacillus* fajok, különösen a *Pseudomonas fluorescens* termeli. A bakteriális eredetű lipáz hőstabil (BÍRÓ, 1999; ANTONELLI, 2002; CHEN et al., 2003; JANDAL, 1995).

A lipolitikus enzimek specifikusát három féle képpen mérhetjük: vizsgálhatjuk az enzim molekuláris tulajdonságait, a szubsztrát struktúráját, valamint az enzim által katalizált reakció végtermékeit (BÍRÓ, 1999).

A tejben lévő lipázok aktivitását közvetlenül a tej szabad zsírsav tartalmának megváltozása révén tudjuk detektálni. Ez történhet titrálást, gáz- vagy folyadékkromatográfia, spektrofotometria alkalmazásával (EVERS, 2004a; LÓPEZ-LÓPEZ, 2001), egyes metódusok esetén fluorescens szubsztrátok (CHEN et al., 2003), továbbá potenciométerek, DSC, elektroforézis, röntgen difraktométer (XRDT) felhasználásával (ANTONELLI, 2002; KOTANI et al., 2002; TAN, et al. 2002; ORELLANA-COCA et al., 2005).

A szabad zsírsavak közül kis mennyiségben előfordul butánsav (C_{4:0}), kaprónsav (C_{6:0}), kaprilsav (C_{8:0}), ezeknél valamivel több kapriksav (C_{10:0}) és

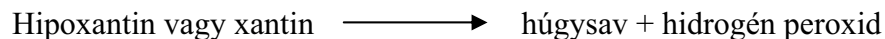
a laurinsav (C_{12:0}). A legnagyobb mértékben a hosszú szénláncú zsírsavak, a mirisztinsav (C_{14:0}), a palmitinsav (C_{16:0}) és a sztearinsav (C_{18:0}) fordul elő (CHEN et al., 2003).

ANTONELLI et al. (2002) a lipáz aktivitás mérése során a könnyebb detektálhatóság érdekében 3 nemzetközi egység standard lipáz oldatot adtak a tejmintákhoz.

2.9.2. Xantin oxidáz (EC 1.1.3.22)

A xantin oxidáz (régebbi nevén aldehid reduktáz, hipoxantin oxidáz vagy Schardinger-enzim) az oxido-reduktázok közé tartozik. Az oxido-reduktáz enzimek a biológiai oxidációban vesznek részt, az általuk katalizált reakciók során hidrogént szakítanak le az adott szubsztrátról, majd a hidrogént egy másik molekulának (reduktázok), illetve egy víz molekulának (oxidázok) adják át. A reakció végeredményeként a vízből hidrogén peroxid képződik (GASZTONYI és LÁSZTITY, 1992).

A xantin oxidáz (XO) enzim hatásmechanizmusa KIRGÖZ et al. (2004) alapján:



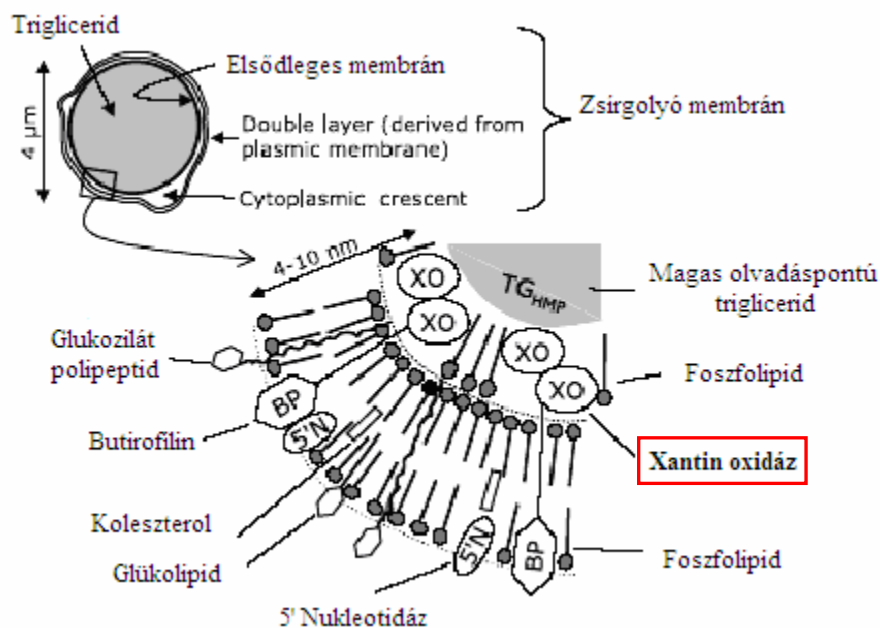
Az XO szubsztrátjai a purin és a pirimidin bázisú vegyületek (HARRISON, 2002; ATMANI et al., 2005), a reakciók során a biológiai oxidáció második lépcsőjében játszanak szerepet.

Az XO aktivitását spektrofotométerrel (ATMANI et al., 2005), kemilumineszcencia (GIROTTI et al., 1999), HPLC (PINAMONTI et al., 1998)

poliakrilamid gél elektroforézises (ÖZER et al., 1998) alkalmazásával lehet kimutatni.

Az XO nagy méretű, összetett enzim, enzimenként 2 molekula FAD-ot, 2 molibdén atomot, 8 vasatomot tartalmaz (ÖZER et al., 1998; SPITZBERG és GOREWIT, 1998). Molekulatömege 145-150 kDa (YE et al., 2002; KIRGÖZ, 2004). A tehéntejben viszonylag nagy mennyiségben van jelen. Hő hatására 78 °C-on 1 perc alatt inaktiválódik (Bíró, 1999).

A tejben a zsírgolyó membrán belső felületén található (2.5. ábra).



2.5. ábra A zsírgolyó membránban lévő xantin oxidáz elhelyezkedése és felépítése (MICHALSKI et al., 2002).

WIKING (2005) a tejben lévő enzimek (XO, lipáz) aktivitásának megváltozását vizsgálták a tej szivattyúzása során. A szabad zsírsav tartalom a tej szivattyúzása során megnő (lipolízis felgyorsul), valamint az enzim aktivitása is növekedik. A XO aktivitásának megváltozását

spektrofotométeres vizsgálatok során detektálták, a húgysav abszorbanciáját mérték 290 nm-en.

A nem hűtött tejben a XO inaktív formában van jele, azonban a nyerstej mechanikai kezelése során az enzim aktiválódik. A homogénezett tej szintén hőkezelt, a xantin oxidáz részben vagy teljesen inaktiválódik. Pasztörözött tejben ugyan aktivitásának 20–40%-át még megőrzi, de 80 °C fölé melegítve teljesen és irreverzibilisen inaktiválódik, így az UHT-tejben ez az enzim aktív formában egyáltalán nem fordul elő (BACK és Reuter, 1973).

Néhány évvel ezelőtt az az elképzelés ütötte fel a fejét, hogy a homogénezett tej fogyasztása újabb rizikófaktor az arterioszklerózis és a szívkoszorúér-megbetegedés területén. A hipotézis szerint a homogénezett tej kisebb zsírgolyócskái sokkal könnyebben áthatolnak a vékonybél falán, magukkal szállítva a xantin oxidáz enzimeket, amelyek a zsírgolyócska membránjában helyezkednek el. Ezt az enzimet a vér elviszi az artériák falába és a szívizomba, ahol hisztokémiai változásokat okozva hozzájárulnak az említett betegségek kialakulásához (O'DONELL, 2001).

2.10. Enzimek mikrohullámú besugárzása

A biológiai anyagokban előforduló enzimek száma meglehetősen nagy, így természetesen nem mindegyik enzim/enzimesoporttal kapcsolatban találunk irodalmi adatokat arra vonatkozólag, hogy a mikrohullámú besugárzás hogyan befolyásolja az adott enzim aktivitását. Ugyanakkor egyre több kutatási téma során vizsgálják a mikrohullám enzimek aktivitására gyakorolt hatását. A kutatások vizsgálati anyagai, valamint a kezelt enzimek típusa széles skálán mozog, ebből kifolyólag az irodalmi hivatkozások is szerteágazóak.

SZABÓ et. al. (1998) vizsgálták szójabab mikrohullámú kezelése során a tripszininhibitor aktivitásának megváltozását.

KERMASHA et al. (1993) a szójában lévő lipoxigenáz enzimet inaktívtá válták 50, 60 és 80 °C-on mikrohullámú és hagyományos (főzőlapon történő) hőközlés, valamint kombinált mikrohullámú hagyományos hőközlési folyamat során. Megfigyeléseik szerint a mikrohullámú besugárzás lényegesen nagyobb mértékben inaktíválta az enzimeket, mint a hagyományos (konduktív), vagy akár a kombinált mikrohullámú-konduktív hőközlés. Feltételezik, hogy a mikrohullám azért inaktíválta jobban az enzimeket, mert a hőhatáson kívül a sugárzás nem termikus hatása is érvényre jut, az enzimek poláris részeinek befolyásolása révén. Ezek alapján a mikrohullám felhasználható különböző élelmiszerekben lévő enzimek inaktíválására.

Ezt a véleményt fogalmazza meg ROY és GUPTA (2003) is, miszerint a proteáz enzimek inaktíválása során nem csupán a mikrohullám termikus hatása érvényesül, de a hőhatás alapvetően hozzájárul az enzimek inaktíválásához.

Szintén a mikrohullám nem termikus hatását bizonyítja HATEGAN et al. (2001), akik fagyasztott laktáz dehidrogenázt kezeltek mikrohullámmal. A besugárzások eredményeképpen az enzim irreverzibilisen inaktíválódott, miközben a minták hőmérséklete $-26\text{ }^{\circ}\text{C}$ volt.

A mikrohullámú besugárzás után a narancslében lévő pektin metilészteráz enzim inaktíválódik, amely nagymértékben növekedett a besugárzás során (TAJCHAKAVIT és RAMASWAMY, 1997; VILLAMIEL et al., 1998).

KUNCZEVICH et al. (2002) megállapítása szerint a mikrohullámmal $90\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ra felmelegített tejmintákban inaktíválódik a peroxidáz, ebben az esetben azonban a magas hőmérséklet önmagában is elegendő a enzimek denaturációjának előidézéséhez.

A lipáz által katalizált reakciók megváltozását szintén széles körben tanulmányozták. PARKER et al. (1996) megállapításai alapján a különböző vízáktívitású anyagokban, eltérő hőmérsékleteken mért, a lipáz enzimek által katalizált folyamatok reakció ideje 2-3 szeresére is megnövekedett a $2,45\text{ GHz}$ frekvenciájú mikrohullámú besugárzás hatására. A növekedés oka a mikrohullám nem termikus hatása. PORCELLI et al. (1997) hasonló eredményeket tapasztaltak $10,4\text{ GHz}$ frekvencia alkalmazása esetén is.

LIN és LIN (1998) sertés hasnyálmirigyéből származó lipáz aktivitásának megváltozását vizsgálták mikrohullámú és ultrahangos besugárzás hatására. Mindkét besugárzás nyomán az enzimaktivitás 4-9-szeres növekedését tapasztalták.

BRADDOO et al. (2002) mikrohullámmal kezelt *Bacillus stearothermophilus* és *Burkholderia Cepacia* által termelt lipázt, amelynek aktivitásának a kezelés során 7-12-szeresére emelkedett.

LIN és LIN (1998), BRADDOO et al. (2002), valamint BALCÃO és MALCATA (1998) véleménye szerint a lipáz aktivitása egyértelműen többszörösére növekedik mikrohullámú kezelés hatására. Ennek ellent mond RAMESH et al.

(1995), akik a földimogyoróban vizsgálták a lipáz aktivitás megváltozását a mikrohullámú besugárzás során. Méréseik során 750 W teljesítménnyel 300-360 másodpercig melegítették a földimogyoró mintákat. A kezelés a lipázok inaktiválását eredményezte. Ez a két utóbbi hivatkozás is jó példa arra, hogy a mikrohullám enzimekre gyakorolt hatásait még kellően nem ismerjük.

RODRIGEZ-FERNANDEZ (1993) igazolták, hogy a mikrobiális (*Pseudomonas Fluorescens*) eredetű lipáz aktivitása a Ca^{2+} és Mg^{2+} ionok jelenlététől függ. A Ca^{2+} és Mg^{2+} megnövelik a lipázok aktivitását, mert a lipáz szubsztrát megkötő helyeit alakítják ki. Ezen felül a kalcium ion stabilizálja a natív enzim struktúráját is (ADEY, 1988).

A xantin oxidáz enzimre vonatkozó olyan irodalmi hivatkozást, amely az XO aktivitásának megváltozása és a mikrohullámú besugárzás közötti kölcsönhatással foglalkozik, ezidáig nem találtunk.

A mikrohullámú besugárzás az enzimek aktiválása, vagy inaktiválása révén közvetve befolyásolja az enzimek által katalizált biológiai reakciók sebességét (YADAV és LATHI, 2004).

Az irodalmi hivatkozások alapján a mikrohullámú besugárzás során az enzimaktivitás növekedését, illetve csökkenését egyaránt tapasztalták. A mikrohullámú kezelés eredményét az alkalmazott teljesítmény, a besugárzási idő, a kezelt anyag mennyisége és minősége, valamint a kezelni kívánt enzim egyaránt befolyásolja. Mindezekon felül alapvető probléma a mikrohullámú tér egyenlőtlen eloszlása, amiről azonban az irodalmi hivatkozásokban kevés szó

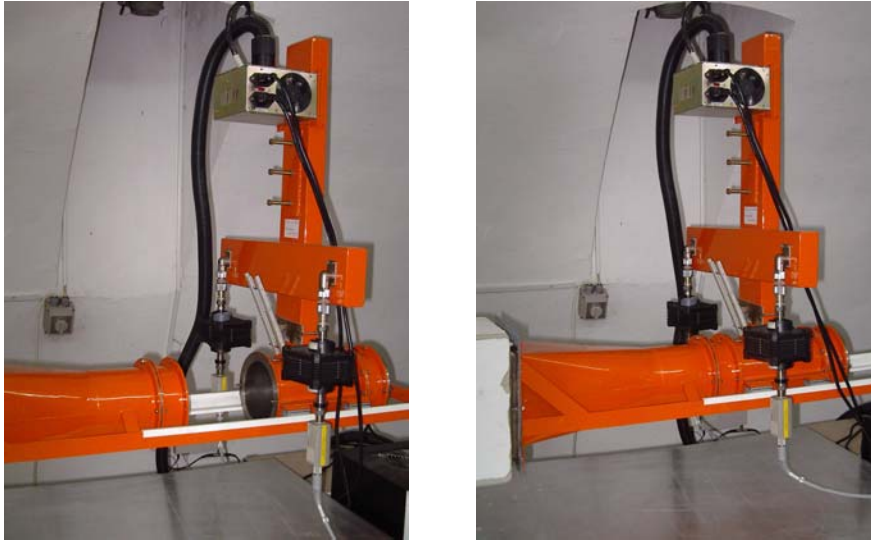
esik.

3. ANYAG ÉS MÓDSZER

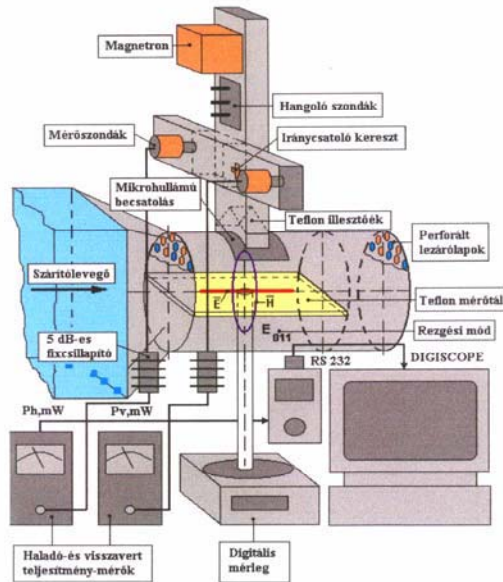
3.1. Egyedi kialakítású mikrohullámú berendezés

A mikrohullámú kísérleteinket kétféle berendezéssel végeztük el. Elsőként egy egyedi felépítésű, előkísérleti mikrohullámú kezelő berendezést alkalmaztunk (3.1. - 3.2. ábra). A mikrohullámú készülék részei a magnetron, amely állandó értékű 2,45 GHz frekvenciájú mikrohullám előállítására képes, az üregrezonátor, valamint különböző kiegészítő berendezések (hálózati feszültség szabályozó, teljesítménymérő, teljesítményérzékelő fejek, csillapítók). A magnetron kimenő teljesítményét a hálózati feszültség szabályozásával tudtuk a kívánt értékre beállítani. A műszer működése vázlatosan a következő: a 2,45 GHz-es mikrohullámú energia a terjedést biztosító csőtápvonalon keresztül jut be az üregrezonátorba. Ekkor az elektromos tér párhuzamos a henger szimmetriatengelyével és merőleges a perforált lezárólapokra. Ezáltal az elektromágneses tér homogén eloszlásúnak tekinthető. Az iránycsatoló kereszt alakú csatolórésen keresztül a terjedési iránytól függően haladó, illetve visszavert mikrohullámú teljesítményt csatol ki a teljesítménymérők szondáira. A teljesítménymérők védelme érdekében 5 dB-es csillapítókon keresztül továbbítják a szondák a kis teljesítményű mikrohullámú jelet a műszerekre.

Az üregrezonátorban 30 cm hosszú és 15 cm átmérőjű a henger alakú kezelőtér. A kezelőtérben el nem nyelt, azaz a visszaverődött hullámok eljuthatnak a magnetronig. Abban az esetben, ha a kezelőtérben nincs olyan anyag, ami abszorbeálná a mikrohullámot, a hangoló szondák védik meg a magnetront a néhány száz Wattos visszavert teljesítménytől. Ezáltal elkerülhető a magnetron károsodása (LUDÁNYI, 2004).



3.1. ábra A mikrohullámú kezelőberendezés.



3.2. ábra A mikrohullámú kezelőberendezés vázlatja (LUDÁNYI, 2004).

A mikrohullámú térhez, a rezonátorkamrára tervezett iránycsatoló (két érzékelő fej) a haladó [P_h], valamint a visszavert [P_v] mikrohullámú teljesítményt érzékeli, majd a felfogott jelek egy HP E4419 B típusú teljesítménymérőbe jutnak. A teljesítménymérő összeköttetésben áll az ALMEMO mérés-adatgyűjtővel, így a mért teljesítménnyel arányos analóg kimenőjelek az adatfeldolgozó számítógépbe kerülhetnek, ahol a Labview 4.0 program segítségével történik azok feldolgozása.

A mikrohullámú térben lejátszódó állapotváltozásokat leginkább a besugárzott anyag hőmérsékletének megváltozása révén lehet nyomon követni. A térben azonban a hőmérséklet mérése nem egyszerű feladat. A mikrohullám sajátosságai miatt fémet tartalmazó hőmérő nem helyezhető a kezelőtérbe. A hőmérsékletmérését termométerrel (VILLAMIEL, 1998) és műanyag védőréteggel burkolt termoelemmel valósítják meg (RAMASWAMY, 1991; CHENG et al., 2006a).

A hőkezelési kísérletek során a kezelt anyag hőmérsékletének mérését termoelemmel és infrahőmérővel végeztük. Ezek az eszközök szintén csatlakoztathatók az ALMEMO-hoz, így az adatok egyidejűleg nyomon követhetők voltak. Ez megkönnyítette a kísérleti eredmények kiértékelhetőségét és összehasonlíthatóságát. Az ALMEMO $\sim 3,05$ s-onként rögzítette a haladó, a visszavert teljesítmény értékeket, valamint a folyamatos hőmérsékletmérés esetén a hőmérsékleti értékeket is.

A kezelések során kezdetben csak a kiinduláskor, illetve a kezelések végén mértük meg az anyag hőmérsékletét. Későbbiek folyamán, a kezelés során bekövetkező hőmérsékletváltozások nyomon követhetősége érdekében műanyag védőréteggel burkolt termoelemet (réz-konstatán) helyeztünk a mikrohullámú kezelőtérbe. Termoelemmel, illetve anélkül, higanyos hőmérővel végzett összehasonlító méréseket végeztünk annak eldöntése érdekében, hogy a mikrohullámú térben elhelyezett termoelem befolyásolja-e

az anyag által elnyelt energiát, illetve az ebből következő hőmérsékletváltozást. A kiindulási teljesítmény a magnetron maximális teljesítménye (800 W – 100% hálózati feszültség), a besugárzási idő 180 másodperc, a kezelt anyag mennyisége 250 g volt. Ezt a mennyiséget előkísérletekkel állapítottuk meg, mivel 250 g desztillált víz volt az a legkisebb anyagmennyiség, amelynél a magnetron felgerjed és a kezelés 180 másodpercig biztosan elvégezhető (a víz még kellő mennyiségű mikrohullámú energiát nyel el, így a sugárzás nem jut vissza a magnetronba).

A besugárzott desztillált víz hőmérsékletét a kezelés végén mértük.

A hőmérséklet mérésére a termoelemen kívül infrahőmérőt (NEMÉNYI, 1993; DATTA és ANANTHESWARAN, 2001) is használtunk, amelynek hátránya, hogy csak az anyag felszíni hőmérsékletét méri. Mikrohullámú térben alkalmazható hőmérőkkel is próbálkoztunk. Ezek hátrányos tulajdonsága, hogy bár nem befolyásolják az anyag által disszipált energiát, kezelés közben bizonyos késleltetéssel mutatják az anyag hőmérsékletét, így a kezelés során adott időpontokhoz nem tudtunk hőmérsékleti értékeket rendelni.

3.2. Hőmérsékleteloszlás vizsgálata

A mikrohullámú kezeléseket különböző sűrűségű anyagokra végeztük el. Az első kísérletek során 250 g kiindulási anyagmennyiséget kezeltünk.

Az anyag kiindulási hőmérséklete 25 °C, a magnetron teljesítménye 100% (800 W), a kezelési idő 180 s volt. A kezeléseket három ismétlésben végeztük el. A kezelések során minden alkalommal új anyagot kezeltünk. A már egyszer mikrohullámú kezelésen átesett anyagok nem minden esetben disszipálják ugyanolyan mértékben a mikrohullámú energiát, mint a még nem kezelt anyagok. Ennek oka lehet, hogy a kezelések során az anyagi minőséget meghatározó paraméterek, elsősorban az anyagi összetétel megváltozik.

Különböző anyagok esetében vizsgáltuk a kezelések során kialakuló hőmérséklet különbségeket.

Vizsgált anyagok:

- desztillált víz;
- ketchup;
- mustár;
- narancspép (teljes gyümölcspép);
- 100% gyümölcstartalmú narancslé;
- őszibaracklé;
- nyers tojás.

A hőmérsékleteloszlások szemléltetése érdekében a kezeléseket után az anyagokról infrakamerás felvételeket készítettünk. Az infraképeket FLIR PM 675 típusú hosszuhullámú tartományban dolgozó hűtés nélküli mátrixdetektoros infrakamera (DATTA és ANANTHESWARAN, 2001; BOWS,

1992) felhasználásával készítettük. A kamera -50 és +600 °C közötti tartományban 0,1 °C pontossággal készít hőfelvételeket.

A mátrixdetektor időben rövid késleltetéssel alkotja meg a hőképet, így szinte on-line képalkotást tesz lehetővé. Az infrakamerát azonban nem helyezhetjük be a mikrohullámú kezelőtérbe, mert az elektromágneses sugárzás kárt tehet a kamera elektronikájában, ezért a kezelt anyagokban fellépő hőeloszlásokról infraképet a mikrohullámú kezelések megszakításával készítettünk (3.3. ábra).



3.3. ábra A mikrohullámú kezelőegység az infrakamerával.

Annak érdekében, hogy elkerüljük az anyagon belüli nagy hőmérsékletkülönbségeket a mikrohullámú kezelések során műanyag keverővel (3.4. ábra) dinamikusán kevertük a besugárzott anyagot, majd a későbbiekben forgattuk a mintatartó edényt (3.5. ábra).



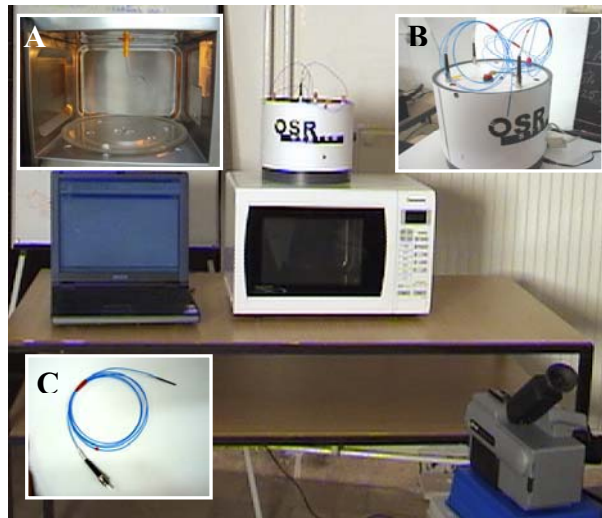
3.4. ábra Mikrohullámú kezelőtér
a keverőelemmel.
forgatása.



3.5. ábra A mintatartó edény

A keverés illetve a forgatás során szintén készítettünk infraképeket a kezelt anyagokról. A felvételek alapján meg tudtuk határozni az anyagon belüli hőmérsékleteloszlás mértékét, illetve következtethettünk a mikrohullámú térerő eloszlás egyenőtlenségére.

A korábbi hőmérsékleteloszlási mérések során tapasztaltakból kiindulva egy új felépítésű mikrohullámú kezelőberendezésben folytattuk méréseinket. Az általunk alkalmazott készülék FISO MWS-4 száloptikával kiegészített Panasonic NNF 653WF típusú inverter mikrohullámú egység volt (3.6. ábra). A berendezés úgynevezett inverter teljesítmény leadására képes, tehát a mikrohullámú teljesítményt folyamatosan adja le. A kezelés paramétereit a mikrohullámú kezelőtérrel összekötött számítógép révén állítottuk be, így egyéni kezelési programokat hoztunk létre. A mikrohullámú kezelést 100 W teljesítmény mellett 25 percig végeztük.



3.6. ábra Fiso MWS-4 száloptikával kiegészített mikrohullámú kezelőegység; A: kezelőtér, B: hőmérőegység, C: egy száloptika.

A kezelt anyag hőmérsékletváltozását a beépített száloptika segítségével követtük nyomon. Az optika a Fabry-Perot elven működik (DATTA et. al., 2001).

A kétféle geometriai kialakítású edényben (3.7. ábra) melegítettünk desztillált vizet. A kezelés során infrakamera, illetve a száloptikás hőmérő felhasználásával mértük az anyagban bekövetkező hőmérsékletváltozásokat.



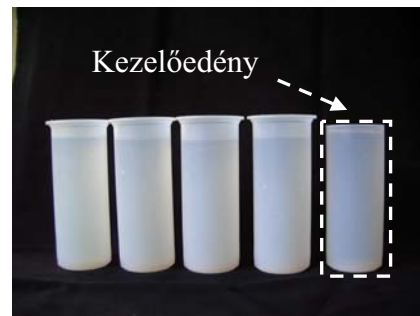
3.7. ábra A mikrohullámú mérések során használt kezelő edények.

A mérések során használt edények minden esetben teflonból készültek (3.7. ábra). A teflon gyakorlatilag átjárható a mikrohullám számára, így kiküszöbölhettük, hogy a mintatartó edény anyaga befolyásolja a mérések eredményeit.

3.3. Homogén mikrohullámú tér kialakítása

A kezelőtérbe önmagában behelyezett minták egyenlőtlen felmelegedése miatt (mivel nem tudtunk homogén hőmérsékleteloszlást kialakítani az anyagban) vízcsapdák alkalmazásával kívántuk a teret homogenizálni. VILLAMIEL et al. (1996b) véleménye szerint a mikrohullámú tér homogenizálható vízcsapdák felhasználásával. Az irodalom azonban ennek konkrét kidolgozására nem tér ki.

A mérések során öt teflon edényt használtunk. Az egyik edényt a kezelő térben lévő forgó tányér középpontjára helyeztük, amelybe a kezelni kívánt anyagot töltöttük. A fennmaradó négy edény pozícióját aszerint változtattuk, hogy homogén térerő eloszlás alakuljon ki. Első kísérletsorozatban az öt darab, 10 mm magas, 38 mm átmérőjű teflon edénybe 90-90 g 12 °C-os csapvizet töltöttünk (3.8. ábra).



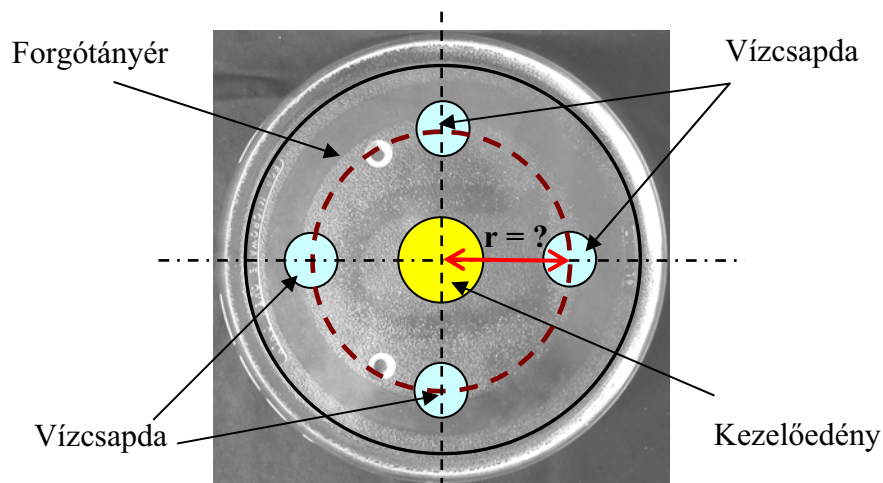
3.8. ábra A vízcsapda edényei, illetve a hosszúkas központi kezelőedény.

A második kísérletsorozatban a forgótányér középpontjára kerülő edényt 60 mm magas és 85 mm átmérőjű teflon edényre cseréltük ki, amibe 200 g, 12 °C-os desztillált vizet, illetve tejet töltöttünk (3.9. ábra).



3.9. ábra A vízcsapda edényei, illetve a központi kezelőedény.

A kísérletek során vizsgáltuk, hogy a különböző geometriájú mintatartó edényekben, illetve ugyanazon edényben, de eltérő fizikai tulajdonságokkal rendelkező anyagok melegítése során hová kell helyezni a négy magas teflon edényt ($r = ?$) annak érdekében, hogy a középső edényben lévő anyag egyenletes felmelegedését tudjuk elérni (3.10. ábra).



3.10. ábra A mikrohullámú kezelőtérben lévő mintatartó edény, körülötte a vízcsapdák elhelyezkedése.

Az infraképeket ennél a mérés sorozatnál is a 3.2. pontban bemutatott FLIR PM 675 típusú infrakamerával készítettük, ebben az esetben is a mikrohullámú kezelések megszakításával.

3.4. Fogyasztói-, illetve nyers tej minták zsírtartalmának meghatározása

A mikrohullámú kezelések során pasztörözött, homogénezett, úgynevezett fogyasztói tejet, valamint nyers tejet használtunk. A fogyasztói tejminták hagyományos, pasztörözött dobozos tejekből kerültek ki. A nyers tejmintákat a Lajta-Hanság Rt. Tehénészeti telepéről, valamint a Dunamenti Mg. Rt. Tehénészeti telepéről szereztük be, míg a magasabb zsírtartalmú mintákat (4% feletti zsírtartalom) kistermelőktől kaptuk. A mintákat hűtőtartályokból vettük, ahol az elegytej hőmérséklete 4-6 °C volt. A mintavétel után a mintát gumidugóval és zárgyűrűvel ellátott műanyag flakonokban, illetve zárható üvegedényekben, 2-8 °C hőmérsékletű hűtőtáskába helyezve szállítottuk be az Intézet laboratóriumába, ahol a felhasználásig 8 °C-on tároltuk.

Tapasztalataink alapján minden kezelésnél friss mintákat kellett felhasználnunk, mert a kétnapos minták, mind a nyers tej, mind a fogyasztói tej esetében nem adtak megbízható eredményt. Ennek oka mikrobiológiai változásokra vezethető vissza.

A fogyasztói tejminták követték a kereskedelmi zsírtartalom értéket, a minták zsírtartalma 0,09% - 3,48% között változott (0,09%; 1,63%; 1,66%; 2,64%; 2,79%; 2,8%; 3,36%; 3,44% és 3,48%). A tejminták valódi zsírtartalma általában eltért a csomagoláson feltüntetett értéktől.

A nyers tej minták zsírtartalma 3,49%; 3,54%; 3,76%; 4,37% és 4,82% volt. A minták zsírtartalmát a Magyar Tejgazdasági Kísérleti Intézet, mosonmagyaróvári laboratóriumában Milcoscan FTIR-rel, alkalmasszerűen Gerber módszerrel is ellenőriztük. A tejzsírtartalom mellett a tejcukor-, tejfehérje-, szárazanyag-, zsírmentes szárazanyag tartalmat is meghatározták. Ezekben az értékekben nem volt jelentős eltérés az egyes fogyasztói tej minták, illetve a nyers tej minták esetében.

A mikrohullámú kezeléseket a 3.3. pontban bemutatott kezelőtérben valósítottuk meg. A kezelőtérben egy 60 mm magas és 85 mm átmérőjű központi teflon edénybe 200 g, 8 °C-os tejet helyeztünk,. A tejminta körül négy darab 10 mm magas, 38 mm átmérőjű teflon edényben lévő 12 °C-os, egyenként 90 g csapvizet töltöttünk, amelyek így alkották a vízcsapdát.

A mikrohullámú kezelést 100 W teljesítmény mellett 25 percig végeztük. A besugárzott energia jelentős része a vízcsapdában nyelődött el, így a hosszú kezelési idő ellenére is csak 45 °C-ra emelkedett a tejminta hőmérséklete.

Annak érdekében, hogy össze tudjuk hasonlítani a mikrohullámú melegítés és a hagyományos, főzőlapon történő melegítés hatását, a tejmintákat Yellowline Mst basic C típusú fűtőlapos mágneses keverővel melegítettük (3.11. ábra). A mágneses keverő része Yellowline Tc1 típusú hőmérő, amelyen a kívánt kiindulási hőmérsékletet tudtuk beállítani.



3.11. ábra Yellowline Mst basic C típusú fűtőlapos mágneses keverő.

A kiindulási hőmérséklet, valamint a kezelt anyag mennyisége mindkét melegítési eljárás esetén azonos volt.

A kezeléseket követően a tejmintát azonnal az Intézet által kifejlesztett konvektív szárítócsatornába helyeztük (KACZ et al., 1999). A csatorna, illetve a behelyezett tejminta a 3.12. és 3.13. ábrán látható.

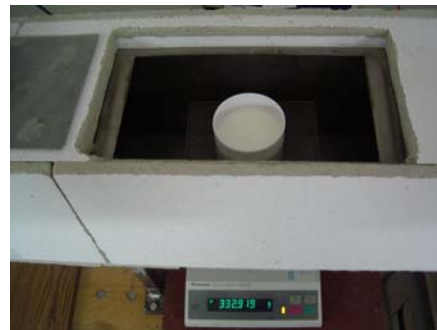
A mintákat fogyasztói tej esetében 30 °C-os, 2 m/s sebességű levegővel; nyers tej esetében 40 °C-os, 1,5 m/s sebességű levegővel; fogyasztói tejminták esetében 90 percig; nyers tej minták esetében 120 percig szárítottuk. (A szárítási paraméterek kidolgozása során számos más beállítási lehetőséget is megvizsgáltunk. A mérések során a fent említett paraméterek használata esetén tudtuk a legszorosabb korrelációt kialakítani).

A csatornában az áramló levegő hőmérsékletét, valamint a levegő sebességét Labview 4.1. program segítségével állandó szinten tartottuk, a mérési adatok rögzítését az ALMEMO rendszer végezte.



3.12. ábra A konvektív

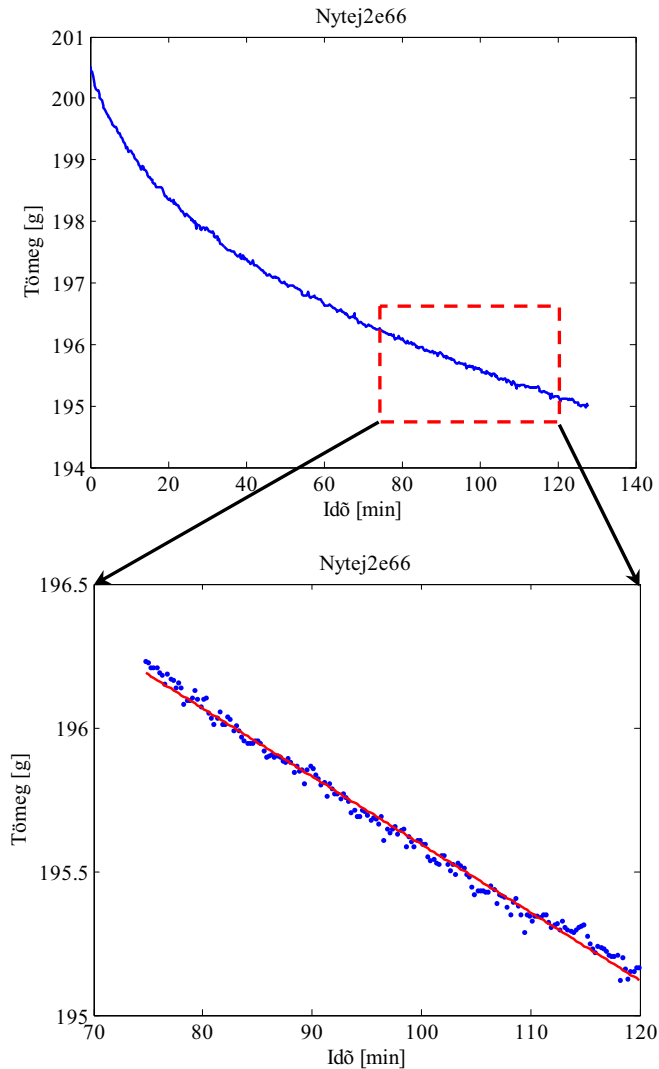
.szárítócsatornábanlévő tejminta.



3.13. ábra A szárítócsatorna

A csatornában elhelyezett minták hőmérsékletét infrahőmérővel követtük nyomon. A szárítás alatt a minták hőmérsékletváltozását, valamint tömegváltozását szintén a Labview segítségével rögzítettük. Egy minta mérési eredményeit bemutató táblázat az I. Mellékletben látható.

A kapott nyers adatokat Matlab 7.0 programmal értékeltük ki. Az alkalmazott Matlab program a II. és a III. Mellékletben található. A Labview és a Matlab által meghatározott dehidratációs görbe adott szakaszára illesztettünk egyenest. Ennek az egyenesnek az egyenlete, illetve a meredeksége adja a kalibrációs egyenesek alapját (3.14. ábra).



3.14. ábra Egy jellemző dehidratációs görbe és annak kiértékelése.

Az egyenes illeszkedése $R^2 = 0,9932$; meredeksége $-0,0236$.

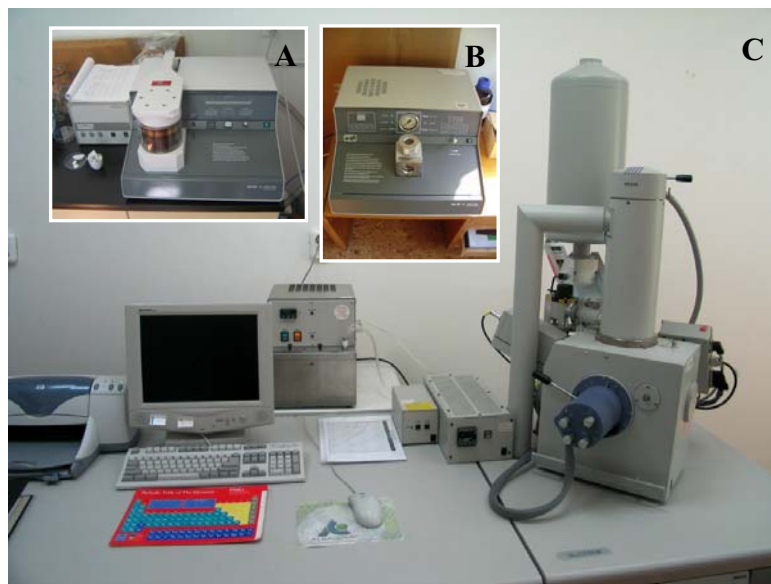
A mérések során (fogyasztói tejminták esetén százhús, a nyers tejminták esetén száz mérés) törekedtünk azon kezelési paraméterek (szárítólevegő hőmérséklete, szárítólevegő sebessége, mikrohullámú kezelés teljesítménye, időtartama) meghatározására, amelyek esetében a legpontosabban tudjuk a tej zsírtartalmát meghatározni.

3.5. Mikroszkópos vizsgálatok

A dehidráció után a szárítócsatornából kikerült minta tetején tejbőr alakult ki. A tejbőr vastagsága, valamint a területe a minta zsírtartalmának függvényében változott. Feltételeztük, hogy a tejbőr felépítése, illetve a tej alkotórészeinek (elsősorban a zsírgolyók) szerkezete a melegítés után megváltozik. Ezt a változást mikroszkópos vizsgálatok során kívántuk detektálni.

3.5.1. Elektronmikroszkópos vizsgálatok

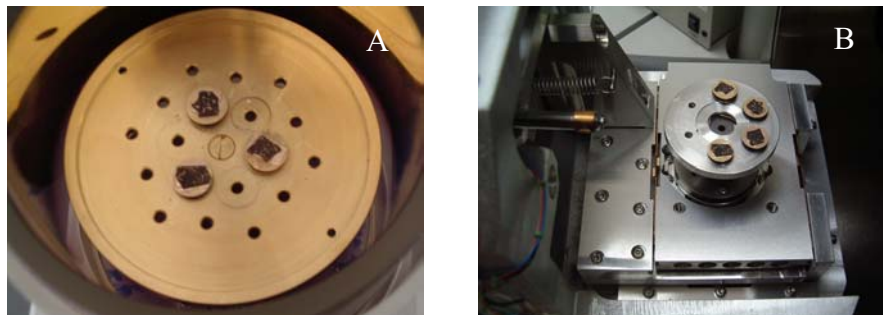
A tejbőr szerkezeti struktúráját letapogató (scanning) elektronmikroszkóppal (Philips XL30 ESEM) vizsgáltuk (3.15. ábra).



3.15. ábra Az aranyozó („A”), a kritikus pont szárító („B”), és az XL 30 Scanning elektronmikroszkóp („C”).

Az elektronmikroszkópos vizsgálatokhoz SCHÄFFER (1976) módszerét vettük alapul. A módszert transzmissziós elektronmikroszkópos vizsgálatokhoz dolgozták ki. Annak érdekében, hogy a scanning mikroszkóphoz használható mintákat készítsünk elő, néhány ponton SCHÄFFER módszerétől el kellett térnünk. A tejbőr fixálása során kimarad az 1% ozmium tetroxidban történő fixálás, mert az ozmium tetroxid szemmel láthatóan tönkre tette a tejbőr szerkezetét, az elektronmikroszkópos felvételek készítése során a tejbőrbe integrált zsírgolyók „elfolyósodtak”. (Az ilyen módszerrel készített minták elektronmikroszkópos felvétele a IV. számú Mellékletben található.) A zsírgolyókat KAMATH et al. (1998) mérései segítségével azonosítottuk.

Az elektronmikroszkópos vizsgálatok során az alábbi minta előkészítési protokollt alkalmaztuk: A kezelt mintáról leszedtük a tejbőrt, majd 120 percre 1% glutáraldehid oldatba helyeztük. A fixálást követően acetonos dehidrációt végeztünk. A tejbőrt 50%; 70%; 80%; 90% és 99% acetonos oldatokba helyeztük 10-10 percre. Ezt követően BAL-TEC CPD 030 típusú kritikus pont szárítóval megszáritottuk a mintát. A jobb felbontóképesség érdekében a mintákat kb. 15-20 nm vastagságú aranyréteggel vontuk be (3.16. ábra).

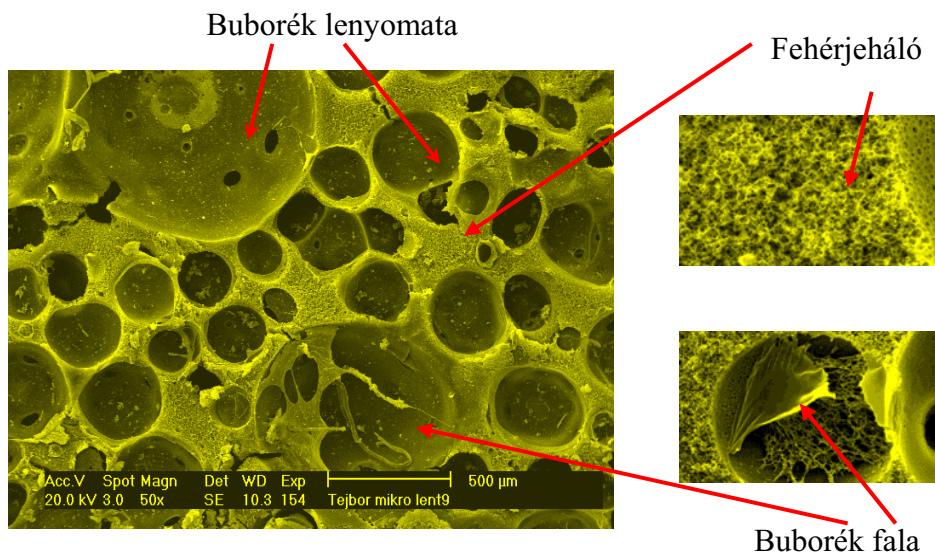


3.16. ábra A bearanyozott tejbőrminták.

A: minták az aranyozóban, B: minták az elektronmikroszkópban.

Az elektronmikroszkópos felvételeket XL30 scanning elektronmikroszkóppal készítettük (3.15. ábra). A mikroszkóp által készített felvételen a jelmagyarázat balról jobbra a következő: Acc.V. 20.0 kV – gyorsító feszültség 20 kV; Spot. 3.0. – spotméret 3.0.; Magn. 50× – nagyítás mértéke 50×; Det.SE – detektor típusa: scanning elektron; WD. 10.3 – a munkaasztal távolsága 10.3 mm; Exp. 154 – 154. kép.

A mintákról különböző nagyítású (20×-3000×) képeket készítettünk. A képen látott minta részleteket KAMATH et al. (1998) alapján azonosítottuk (3.17. ábra).



3.17. ábra Letapogató elektronmikroszkópos felvétel a tejbőrőről.

3.5.2. Fénymikroszkópos vizsgálatok

Előkísérleteket végeztünk a Szegedi Tudományegyetem Gyógyszerésztudományi Karának, Gyógyszertechnológiai Intézetében. Az itt elsajátított mérési módszert adaptáltuk saját vizsgálati mintáinkra. A

kezelődény körül kialakított homogén mikrohullámú térbe a különböző zsírtartalmú tejmintákat kezelés nélkül, illetve mikrohullámú kezelés után azonnal, valamint a kezelést követően 30 perc elteltével fénymikroszkóppal (3.18. ábra) vizsgáltuk (KAMATH et al., 1998; EVERS, 2004a). A mikroszkóp nagyítása 1000× volt. A mikroszkóphoz csatolt CCD kamerán át számítógépbe közvetítettük a képet.



3.18. ábra Fénymikroszkóp CCD kamerával, Image Pro Plus 4.5 szoftver.

A vizsgálatok során mindig azonos mértékű nagyítást alkalmaztunk, így a minták azonos nagyságú területét tudtuk vizsgálni. Az Image Pro Plus 2000 képfeldolgozó program segítségével meghatároztuk a képen látható valamennyi zsírgolyócska átlagos átmérőjét, területét (ONWULATA, 1996).

A mérések során hét kezelt mintából vettünk ki 2 ml-nyi mennyiséget. Ezt cseppentettük a tárgylemezre. Mintánként 15 képet készítettünk (15-ször vizsgáltuk a mikroszkóp látómezője által behatárolt területet). A méréseket kontroll (nem melegített), a főzőlapon, valamint mikrohullámmal melegített tejminták esetén végeztük el.

3.6. A tejben lévő lipáz és xantin oxidáz enzimek aktivitásának vizsgálata

Mikrohullámú, illetve hagyományos úton, főzőlapon melegített 3,6% zsírtartalmú fogyasztói tejmintákban, valamint kontroll (nem melegített fogyasztói tejmintákban) bekövetkezett enzimaktivitás megváltozását vizsgáltuk. Mind a mikrohullámú, mind a főzőlapos melegítés során azonos időtartam alatt (25 perc), azonos hőfokról, 8 °C-ról 45 °C-ra melegítettünk 200 g tejet. A végső hőmérsékleti érték meghatározásánál ügyeltünk arra, hogy ne érjünk el olyan magas hőmérsékletet, ahol a fehérjék denaturációja bekövetkezik. Ezeket a kezelési paramétereket valamennyi mérés során alkalmaztuk.

3.6.1. Lipáz aktivitásának vizsgálata

A tejben lévő enzimek közül elsőként a lipázok aktivitásának megváltozását vizsgáltuk. A tej pasztőrözése során a tej originális lipáz készlete elpusztul. Fogyasztói tejben bakteriális eredetű lipáz enzim található (BÍRÓ, 1999).

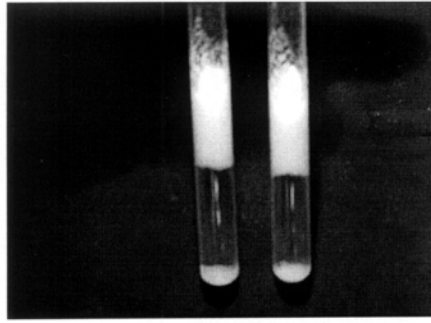
A lipázok által katalizált triglicerid bontó reakciók során megnövekedik a tej szabad zsírsav szintje (ANTONELLI, 2002; CHEN, 2003). Ezt a változást tudtuk titrálással, illetve magas nyomású folyadékkromatográfiával (HPLC) detektálni (3.19. ábra).



3.19. ábra A HPLC („A” kép), valamint a minták előkészítéséhez használt rotációs bepárló („B” kép).

Az előkíséreltek során titrálással határoztuk meg a kontroll, az elektromos főzőlapon melegített, illetve a mikrohullámmal melegített mintákban lévő szabad zsírsavak mennyiségét (ANTONELLI, 2002; LEVY, 2003).

A titrálást 50 ml-es bürettában végeztük a következő módon: Isopropanolból, petroléterből 4 N kénsavból 40:10:1 arányú keveréket készítettünk, ehhez hozzáadtunk 3 ml tejet. Az elegyet összekevertük, majd 6 ml petrolétert és 4 ml desztilláltvizet adtunk hozzá, majd 15 másodpercig rázattuk. Ezek után megközelítőleg 15 perc alatt az elegy két, esetenként három fázisra vált szét (3.20. ábra). A felső fázist leszívtuk és két csepp fenolftalein indikátor hozzáadása mellett 0,002 N kálium hidroxid oldattal titráltuk.



3.20. ábra A három fázis szétválása a titrálás megkezdése előtt.

Az előkísérletek eredményei alapján (IX. Melléklet) a HPLC felhasználásával mértük a tejminták szabad zsírsav szintjének megváltozását. A Budapesti Corvinus Egyetem, Kertészettudományi Karának, Gyümölcstermő Növények Tanszékén végeztük a méréseket.

A tejminták vizsgálata előtt standardok bemérése révén határoztuk meg a mirisztinsav (Fluka - 70079), a palmitinsav (Fluka - 76119), az olajsav (Fluka - 75090) valamint a sztearinsav (Fluka - 85679) retenciós idejét. Ezek az olajsavak fordulnak elő legnagyobb arányban a tejben (BALATONI, 1978), ezért választottuk ezeket az anyagokat vizsgálati alapként. A standardecket külön-külön, valamint mind a négy standard felhasználásával (200-200 μ l) készített keveréket is lefutattuk a HPLC-n.

A minta előkészítés során a tejet ebben az esetben is mikrohullámmal és az elektromos főzőlappal melegítettük. Az irodalomban (CHEN et al., 2003) leírt minta előkészítési módszer alapján az alábbi egyedi minta előkészítési módot dolgoztunk ki:

1. Az alkalmazott Sep-Pak szűrőt 1 ml metanollal aktiváltuk.
2. A Sep-Pak-on 10 ml tejet szűrtünk át.
3. A szűrőt 1 ml metanollal leöblítettük.
4. A szűrletet rotációs bepárlóval 65 °C-on bepároltuk.
5. A párlathoz 1 ml metanolt adtunk, majd 2 percig 10000 ford/perc fordulatszámon centrifugáltuk.
6. A hígabb fázist 0,45 µm-es szűrőn átszűrtük.
7. A szűrletből 20 µl-t injektáltunk be a HPLC-be.

Az általunk alkalmazott WATERS magas nyomású folyadék kromatográfhoz tartozott egy 2487 Dual detektor, valamint egy 1525 Binary HPLC pumpa. A berendezés felügyeletét és irányítását EMPOWER™2 szoftver végezte. Az alkalmazott oszlop típusa SYMMETRY C18 5 µm 4,6 x 150 mm. A mobil fázis acetonitril:tetrahidrofurán:víz 45:20:35 v/v% arányú keveréke. Az anyagáram $1 \text{ cm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ volt, a kolonnán lévő nyomás $12,4 \text{ MPa} \pm 100 \text{ kPa}$, a hőmérséklet 30 °C volt. A mintákat 220 nm-en detektáltuk.

Annak érdekében, hogy kikerüljünk a tej egyéb alkotóelemeinek zavaró hatását, tiszta enzimszuszpenziókat melegítettünk fel hagyományos úton és mikrohullámmal egyaránt, és így vizsgáltuk az lipáz enzimaktivitások megváltozását.

Az alkalmazott lipáz kit (Fluka-Lipase Extension Kit /62323) tíz mikrobiális eredetű lipázt tartalmazott, amelyek elsősorban a glicerin olajsavval képzett trigliceridjét bontják. A kitben a különböző eredetű enzimeket külön-külön tárolóedényben helyezték el. Az egyes enzimek mennyisége eltérő volt. Az előkészítés során mindegyik enzimből a rendelkezésre álló tömeg felét bemértük, majd desztillált vízzel 25 ml-re hígítottuk. Az így kapott oldatból 6,25 ml-nyi mennyiséget, valamint 12,5

ml-nyi szubsztrátot (Fluka – Lipase substrate 62314) 200 ml desztillált vízben oldottunk fel.

Ezt a mintát kezeltük mikrohullámmal, illetve hagyományos főzőlapon. A kezelési körülmények megegyeztek az 3.3. pontban leírtakkal. A HPLC-s mérési módszerek azonban néhány ponton eltértek a tejmintáknál alkalmazott módszerektől.

Továbbiakban a következő módszert alkalmaztuk:

1. A szuszpenziót 0,45 µm-es szűrőn átszűrtük.
2. A szűrletből 20 µl-t injektáltunk be a HPLC-be.

A mérések során a kromatogramon valamennyi lipázra vonatkozóan, a minta olajsav tartalmának megváltozását mértük.

3.6.2. Xantin oxidáz (XO) aktivitásának vizsgálata

A HPLC-s mérési eredmények alapján feltételeztük, hogy egy másik, a zsírgolyó membránhoz kapcsolódó, xantin oxidáz enzim aktivitásának megváltozása is szerepet játszik a folyamatokban. Továbbiakban mértük a tejben lévő xantin oxidáz enzim aktivitásának megváltozását.

Előkísérletek végeztünk a Budapesti Corvinus Egyetem Élelmiszertudományi Karának Alkalmazott Kémia tanszékén.

A kontroll, a mikrohullámmal és főzőlappal melegített tejmintákban lévő XO enzim aktivitásának megváltozását a minták hidrogén peroxid tartalmának megváltozása révén tudtuk nyomon követni. A hidrogén peroxid koncentrációt spektrofotométerrel detektáltuk.

A minta előkészítés során jobb detektálhatóság (ANTONELLI et al., 2002) érdekében a tejmintákhoz 3 mg (1,5 IU) enzimkivonatot adtunk (Fluka - Xanthine oxidase from buttermilk / X-1875).

Ahhoz, hogy a méréshez szükséges tisztaságú, átlátszó folyadékot kapjunk, a kezelt mintából 3 ml-t kivettünk, ehhez adtunk 1 ml 10% triklór ecetsavat, így a tej fehérjetartalma kicsapódott. Az oldatot 12 percig 6500 ford/perc fordulatszámon centrifugáltuk. A letisztult oldatból 200 µl-t vettünk ki, ehhez adtunk 800 µl desztillált vizet. Az így kapott oldatot öntöttük be a spektrofotométer küvettájába.

A spektrofotométeres vizsgálatokat a NYME-MÉK, Növénytermesztési Intézetében folytattuk Varian Cary 50 SCAN UV Visible típusú spektrofotométerrel. A minta előkészítés során az előkísérletekhez hasonló módon a tejmintákhoz 3 mg (1,5 IU) enzimkivonatot adtunk. Ebben az esetben szintén a Fluka - Xanthine oxidase from buttermilk / X-1875 enzimkivonatot használtunk.

A kontroll mintákból, illetve a kezelések után a kezelt mintákból 10 ml-nyi mennyiséget kivettünk, majd ehhez adtunk 3 ml 10% ecetsavat. A fehérjék kicsapódása után 5 percig 4000 ford/perc fordulatszám mellett centrifugáltuk. A felülúszót leszívtuk, majd azt újra centrifugáltuk. A második centrifugálás után visszakapott felülúszót öntöttük bele a küvettába. A spektrofotométert desztillált vízzel nulláztuk le, majd mértük a hidrogén peroxid abszorbanciáját 240 nm-en.

A tejminták vizsgálata után a xantin oxidáz esetében is megmértük, hogy a tiszta enzimszuszpenzióban a kontroll mintákhoz képest a mikrohullám és a hagyományos, főzőlapos melegítés hatására hogyan változnak a hidrogénperoxid, valamint húgysav abszorbancia értékei.

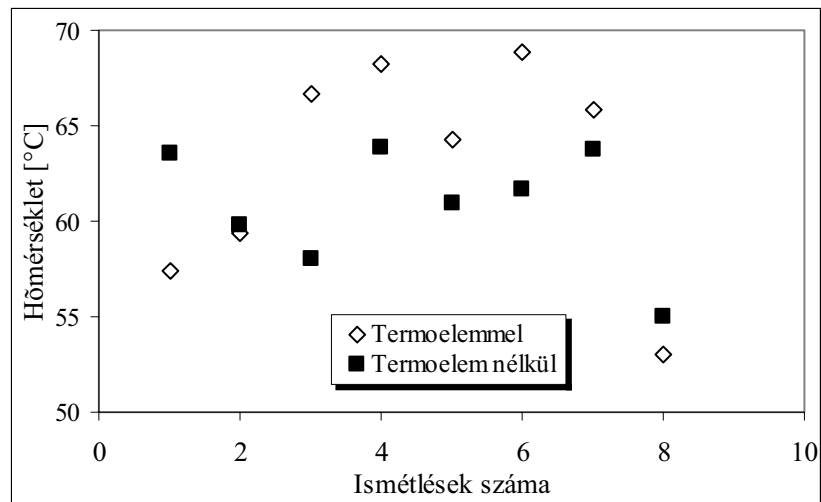
A mérések során 200 g kálium dihidrogén foszfát (KH_2PO_4) oldatban 52,83 mg hipoxantint (Fluka 56700) oldottunk fel. A foszfát oldat a puffer

szerepét töltötte be (BANU et al., 2005). Az oldathoz 580 µl (6 IU) xantin oxidázt (Fluka Xanthine oxidase from buttermilk /95493) adtunk. Ezt a szuszpenziót melegítettük mikrohullámmal, illetve főzőlapon. A kezelések után a szuszpenzióból 3-3 ml-t öntöttük bele a spektrofotométer kuvettájába. A készüléket desztillált vízzel lenulláztuk. A mérés során a 240 nm-en detektálható hidrogén peroxid mennyiségének megváltozása mellett a húgysav abszorbanciáját 290 nm-en mértük.

4. EREDMÉNYEK

4.1. Hőmérsékleteloszlás vizsgálata

A mikrohullámú térben termoelemmel, illetve anélkül összehasonlító méréseket végeztünk annak eldöntése érdekében, hogy a mikrohullámú térben elhelyezett termoelem befolyásolja-e az anyag által elnyelt energiát, illetve az ebből következő hőmérsékletváltozást. A kiindulási teljesítmény a magnetron maximális teljesítménye (800 W), a besugárzási idő 180 másodperc. A besugárzott desztillált víz hőmérsékletét a kezelés végén mértük. A mérési eredményeket a 4.1. ábrán tüntettük fel.



4.1. ábra Desztillált víz felmelegedése a mikrohullámú térben termoelem használatával, illetve anélkül.

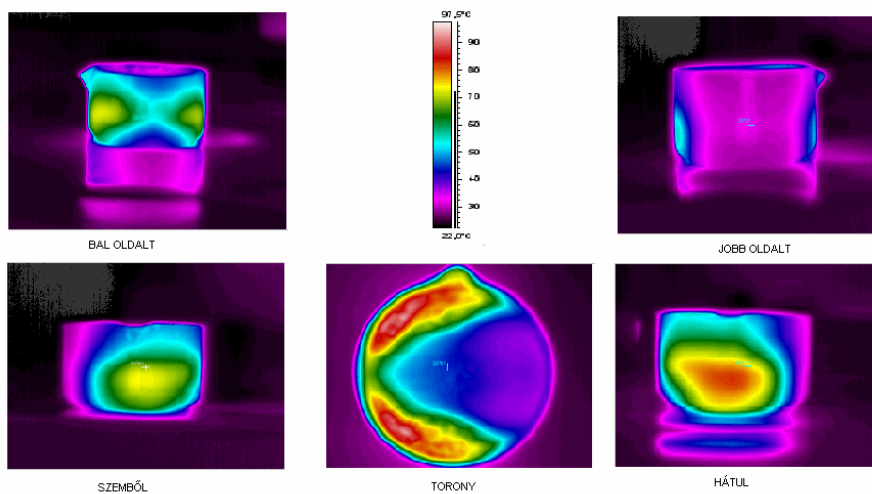
Termoelem jelenlétében a mért hőmérsékleti értékek eltértek a hagyományos hőmérővel mért értékektől. Ennek oka abban keresendő, hogy

a termoelem fém részében a mikrohullámú besugárzás hatására megváltozhat az elektronok elrendeződése, ami befolyásolhatja a mérendő anyag hőmérsékletét az anyag azon részén, ahol az a termoelemmel érintkezik (DATTA és ANANTHESWARAN, 2001).

A nagyobb sűrűségű anyagok kezelése után nagyobb mértékű hőmérséklet eltéréseket tapasztaltunk. A nagyobb sűrűségű anyagok felmelegedése esetén az anyag nem tud áramolni úgy, hogy a hőmérsékletkülönbségeket kiegyenlítse, míg hígabb folyadékok esetén az áramlás könnyebben létrejön, ezáltal a hőmérsékletbeli eltérések nem annyira szembetűnők.

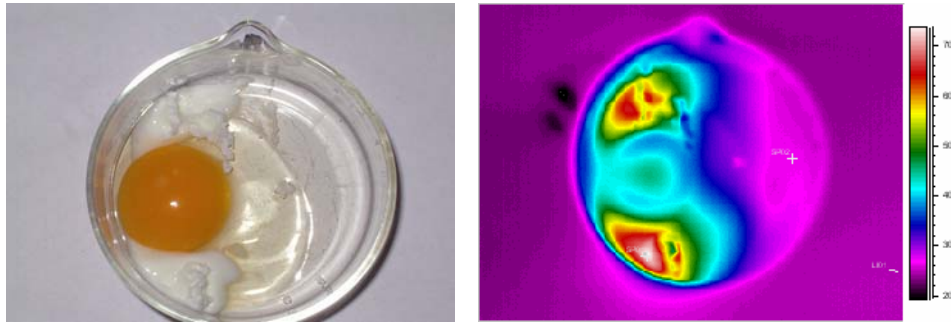
A kísérletek során a mustár, illetve a ketchup felszínén is elszíneződéseket, égésnyomokat tapasztaltunk. A kezeléseket után végzett hőmérsékletmérések nagyfokú, helyenként 58 °C-os eltérést is mutattak. A mérési pontok egymástól mintegy 4 cm távolságra voltak.

A ketchup kezelése után készített infrakamerás felvételek láthatók a 4.2. ábrán. A mustár kezelése során is hasonló képeket kaptunk.



4.2. ábra Infrakamerás felvételek mikrohullámmal kezelt ketchupról.

A nyerstojásról készített hőfényképeken (4.3. ábra) is jól látszik, hogy a nagymértékű hőmérséklet különbség hatására a tojás fehérje egyik része megfőtt, míg a sárgája, valamint a fehérje többi része nyers maradt.

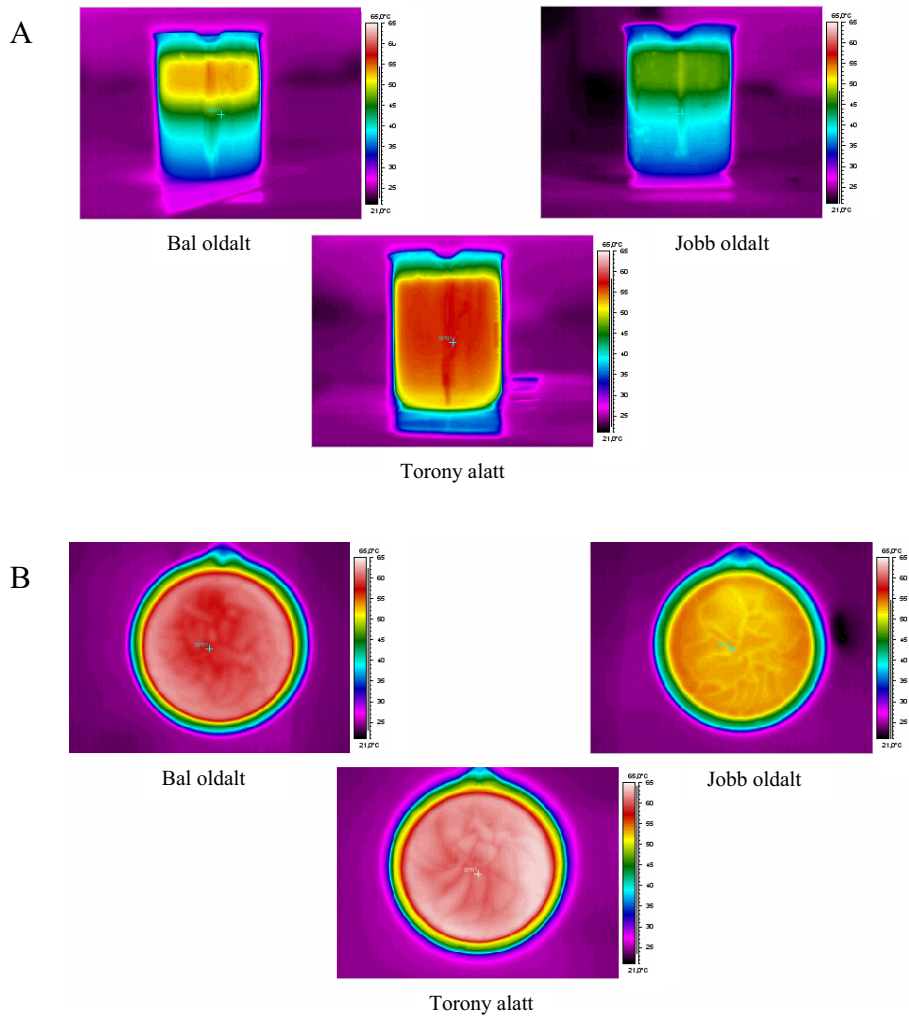


4.3. ábra Nyerstojás mikrohullámú kezelés után.

A hőmérsékletkülönbség oka, hogy a mikrohullámú térben nem egyenletes a térerő eloszlása. A kezelőtér üres állapotban hangolták be, ami akkor egyenletes eloszlást mutatott. Abban az esetben, ha valamilyen anyag, illetve eszköz bekerül a mikrohullámú térbe, a térerő egyenletes eloszlása felborul, amit pedig leginkább a nagyfokú hőmérséklet különbségek szemléltetnek.

A desztillált vízről készített képeken a kezelőedényt a mikrohullámú tér különböző pontjaiba helyeztük el. A 4.4. ábrán látszanak a mintákon belüli hőmérsékletkülönbségek, valamint a kezelőtér eltérő pontjain tapasztalható hőmérséklet különbségek is. A legerősebb hatás a besugárzó torony alatt érhető el, míg a kezelőtér jobb és bal oldala között is mutatkozik eltérés, annak ellenére, hogy a tér geometriailag teljesen szimmetrikus.

A desztillált víz kezelése során mért hőmérsékleti értékek 52-65 °C között ingadoztak (4.4. ábra). A felszíni hőmérsékletbeli eltérések mellett az anyag mélyebb rétegein belül is jelentős hőmérsékleti különbségeket mértünk.

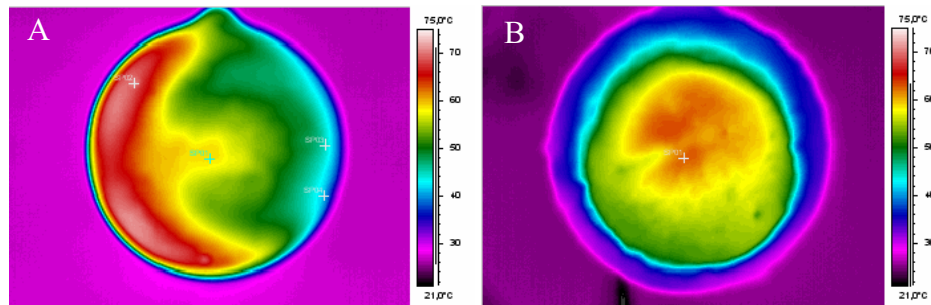


4.4. ábra Infrakamerás felvételek desztillált víz mikrohullámú melegítése után. (A): Oldalnézet, (B): Felülnézet.

A desztillált víz hőeloszlása, valamint az őszibaracklé és a 12% gyümölcsstartalmú narancslé hőeloszlása hasonló képeket mutatott.

Az anyagok inhomogén hőmérsékleteloszlása tette szükségessé a keverő, majd a forgató rendszer beépítést. A 4.5. ábrán a narancspép (hámozott, péppé zúzott gyümölcs) mikrohullámú kezelésének eredményei láthatók. A

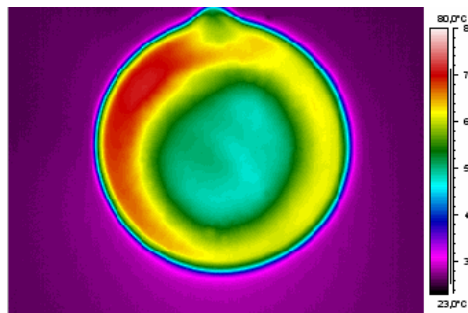
baloldali képen a keverés nélkül végzett kezelés után készült hőfényképen látszik az egyenetlen téreloszlás következményeként fellépő egyenetlen hőmérsékleteloszlás. Az anyagon belül 30 °C különbségek is láthatók. Ezzel szemben a jobb oldali képen a kezelés során kevertetett anyagról készített képen a hőmérséklet különbség már csak 11 °C.



4.5. ábra Narancslé infrakamerás felvételei különböző kezelések során.

(A): Keverés nélkül, (B): Keveréssel.

A további kísérletek során az anyagok hőmérséklet-eloszlásának még további homogenizációja miatt a mintatartó edényt a kezelés során forgattuk (4.6. ábra).



4.6. ábra Forgatás mellett kezelt narancslé infrakamerás felvétele.

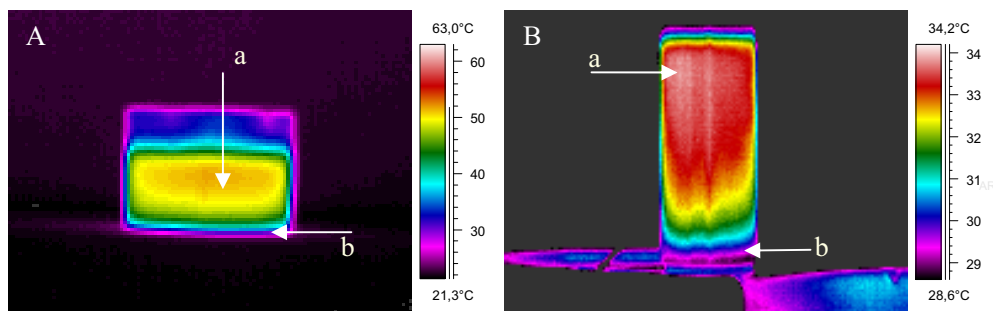
A forgatás során a kezelt anyagon belül a maximális hőmérsékletkülönbség 7,6 °C volt. Valamennyi kísérlet elvégzésénél

törekedtünk a reprodukálhatóságra. Az eredmények alapján kijelenthető, hogy leginkább a forgatásos kísérletek reprodukálhatók.

Az infrakamerás mérések során az anyag forgatása esetén mért átlagosan 7 °C-os eltérés sem engedhető meg abban az esetben, ha a mikrohullámot analitikai célra kívánjuk felhasználni.

A további méréseket a FISO MWS-4 mikrohullámú készülékkel végeztük. Az elsőként kezelt anyag ebben az esetben is desztillált víz volt. Az infraképek révén itt is hőmérsékletkülönbségeket tapasztaltunk.

A kezelőtérbe önmagában behelyezett mintatartó edényekben kialakult inhomogén hőmérséklet-eloszlásokat a 4.7. ábra szemlélteti. A 4.7. (A) ábrán a maximum „a” (51,9 °C) és a minimum „b” (33,1 °C) hőmérsékletek közötti különbség 18,9 °C. A 4.7. (B) ábrán a maximum „a” (28,7 °C) és a minimum „b” (33,9 °C) hőmérsékletek közötti különbség 5,2 °C.

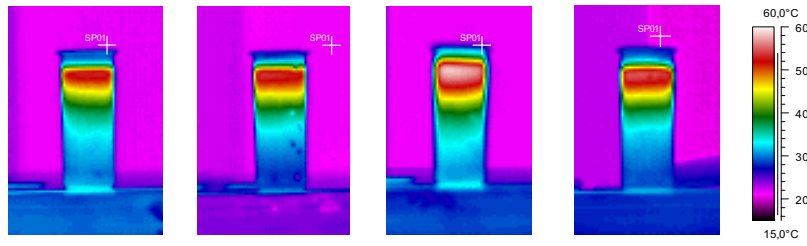


4.7. ábra A kezelőedényekben kialakult egyenlőtlen hőeloszlások.

(A): a=51,9 °C és a b=33,1 °C,

(B): a=28,7 °C, b=33,9 °C

Négy ismétlésben végeztük el a méréseket, melyek eredményei a 4.8. ábrán láthatók.



4.8. ábra Infrakamerás felvételek azonos zsírtartalmú nyers tejről Panasonic inverter mikrohullámú készülékben.

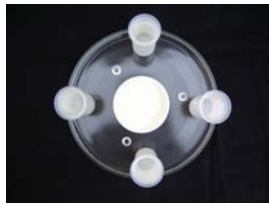
4.2 Homogén mikrohullámú tér kialakítása

Tapasztalataink alapján a következő feladatunk a mikrohullámú térerő egyenletes eloszlásának kialakítása, azaz a mikrohullámú tér homogenizálása volt. A homogén térerő eloszlást vízcsapda alkalmazásával hoztuk létre. A vízcsapda edényeiben lévő víz a besugárzott energia jelentős részét elnyelte, így a mikrohullámú besugárzás energiája jórészt arra fordítódik, hogy a vízcsapdában lévő vizet felmelegítse (12 °C-ról 75-80 °C-ra), így a hosszú kezelési idő ellenére is a központi edényben lévő minta hőmérséklete csak 45 °C-ra emelkedett.

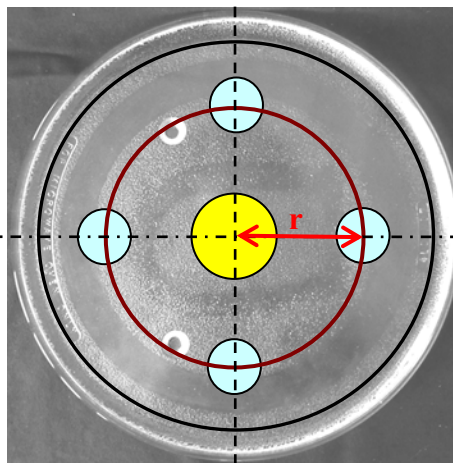
Az egyedi kialakítású mikrohullámú készülékben a geometriai elrendezés miatt nem lehetett vízcsapdát kialakítani. Ebből kifolyólag a további kísérleteket a Panasonic készülékben végeztük.

A központi minta körül a négy darab teflon edényt a forgó tányér központjától meghatározott távolságra helyeztük el. Ez a négy edény alkotja a vízcsapdát. Több mérés eredménye alapján a térerő eloszlása (a kezelt anyag hőmérsékletének az eloszlása) akkor volt a leghomogénebb, ha a vízcsapda edényeit egymással 90°-os szögben, szimmetrikusan helyeztük el. A vízre azért volt szükség, hogy a mikrohullámú teret homogenizáljuk, ezáltal egyenletes felmelegedést érzünk el a besugárzás során. Tapasztalataink alapján a kezelendő anyagoktól függően a vízcsapdák elhelyezése változhat.

A vízcsapda felépítését a 4.9. ábra szemlélteti.



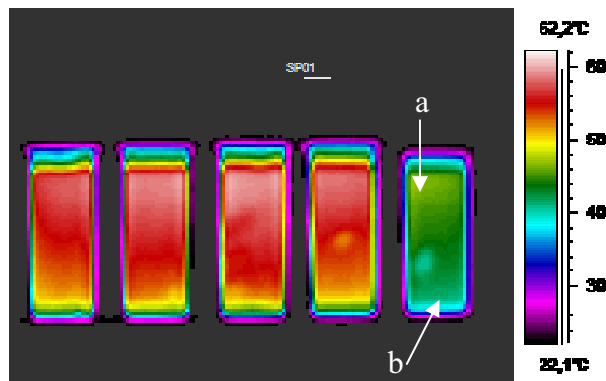
$$r = 10,85 \text{ cm}$$



4.9. ábra A vízcsapdát alkotó edények elhelyezkedése a forgótányéron.

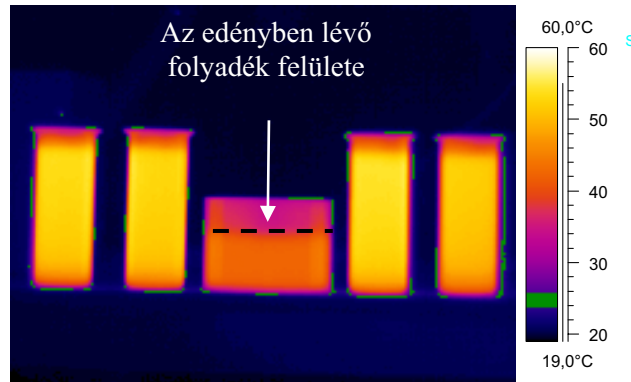
Abban az esetben, ha a mind az öt edény azonos geometriájú volt, nem tudtunk homogén hőeloszlást elérni, függetlenül attól, hogy a vízcsapda edényeit milyen messze helyeztük el a központi edényhez képest.

A központi edény felső részén (4.10. ábrán a jobb oldali edény) egy melegebb hőmérsékleti zóna alakult ki. Az edényben lévő víz „a” ($37\text{ }^{\circ}\text{C}$) és „b” ($27,7\text{ }^{\circ}\text{C}$) pontja között $9,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ különbség volt.



4.10. ábra Infrakamerás felvétel a vízcsapdáról és a mintatartó edényről.

A továbbiakban egy másik központi mintatartó edényt használtunk. Elsőként a kezelt minta ebben az esetben is desztillált víz volt. A hőfényképek (4.11. ábra) alapján akkor érhetünk el egyenletes hőeloszlást, ha a kezelőedény körül a vízcsapdákat (a négy szélső edényt) központtól 3 cm-re helyezük el.

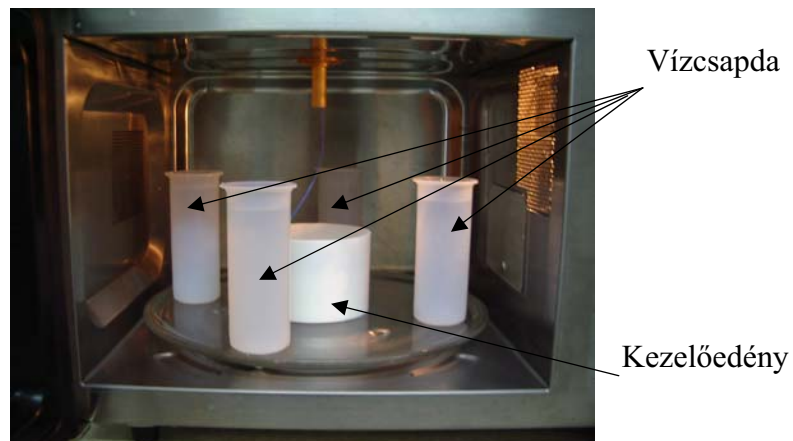


4.11. ábra A központi kezelőedény, illetve a négy vízcsapda infraképe – a kezelt anyag víz.

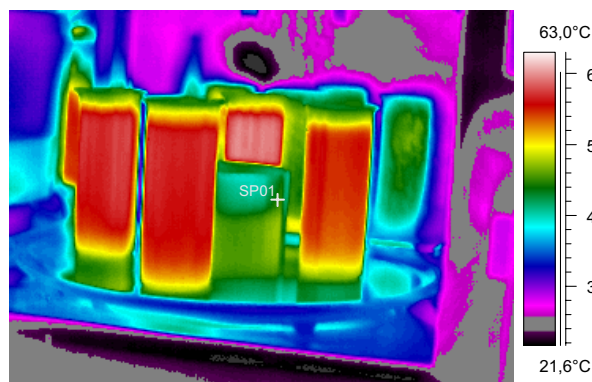
Abban az esetben, ha a központi edényben lévő kezelt anyag homogénezett tej, a vízcsapdákat a középponttól számítva 4,7 cm-re kell elhelyezni. Ebben az esetben a kezelőedény és a vízcsapda edényeinek középpontja között a távolság 10,85 cm (4.9. ábra).

A 4.11. ábrán ábrázolt esetekben a mintatartó edényen belül (az infraképeken középen látható) a maximális hőmérsékletkülönbség 2,6 °C.

Az 4.12. és 4.13. ábrán a mikrohullámú kezelőtérbe helyezett vízcsapda, valamint a kezelőedények láthatók.



4.12. ábra A központi kezelőedény, körülötte a vízcsapdákkal.

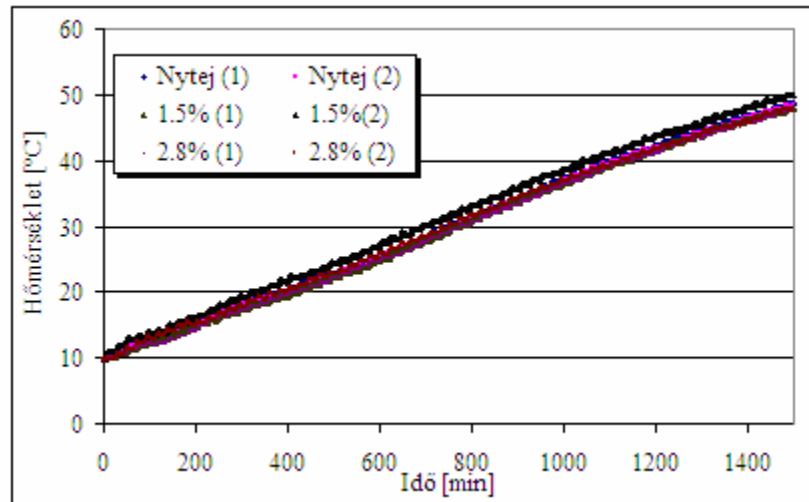


4.13. ábra A központi kezelőedény és a vízcsapdák infraképe.

Ezek a beállítások azonban csak az általunk vizsgált minta mennyiség, valamint adott kezelőedény használata esetén eredményezik a mikrohullámú tér homogén eloszlását.

4.3. Fogyasztói-, illetve nyers tej minták zsírtartalmának meghatározása

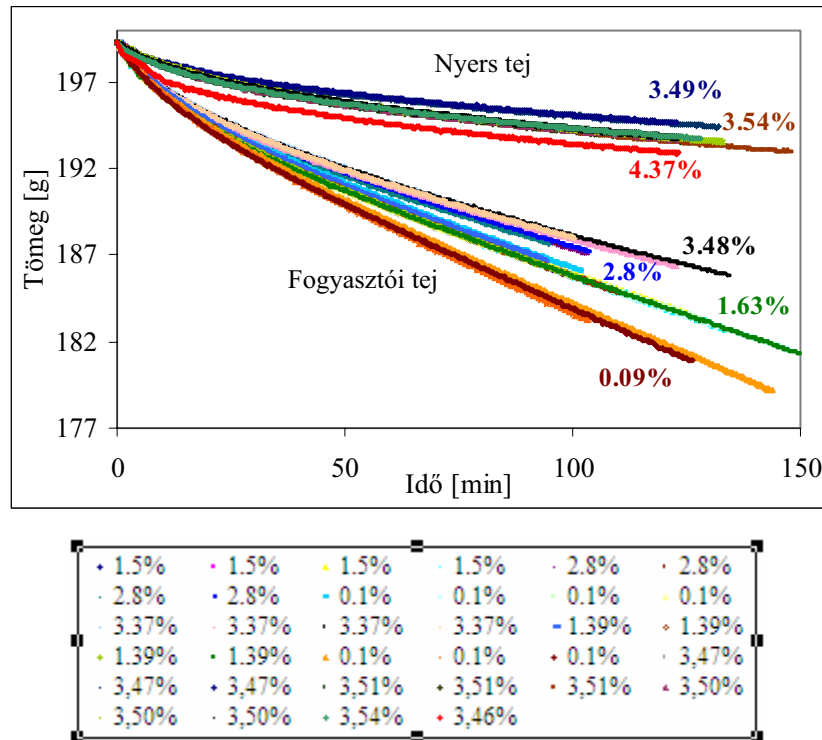
A homogén térben melegített, eltérő zsírtartalmú tejminták hőmérsékletváltozását mutatja a 4.14. ábra. A felmelegedés sebessége a kezelések során gyakorlatilag egyenlő mértékű volt (átlagosan 1,6 °C/min).



4.14. ábra Különböző zsírtartalmú tejminták melegedése a mikrohullámú besugárzás során.

A különböző zsírtartalmú tejminták felmelegedése alapján nem tudtuk a mintákat megkülönböztetni, így pusztán a mikrohullámú felmelegítés alkalmazásával nem lehetett a zsírtartalmat meghatározni.

Ezen okokból kifolyólag a felmelegítés után a mintákat szárítócsatornába helyeztük. A mikrohullám és a konvektív szárítócsatorna együttes alkalmazása képezi az általunk kidolgozott tejszír meghatározási módszer alapjait. A mikrohullámmal történő melegítés után a szárítócsatornába helyezett fogyasztói és nyers tej minták tömegcsökkenését reprezentáló dehidratációs görbéket a 4.15. ábrán mutatjuk be.



4.15. ábra Fogyasztói és nyers tej minták jellemző dehidratációs görbéi.

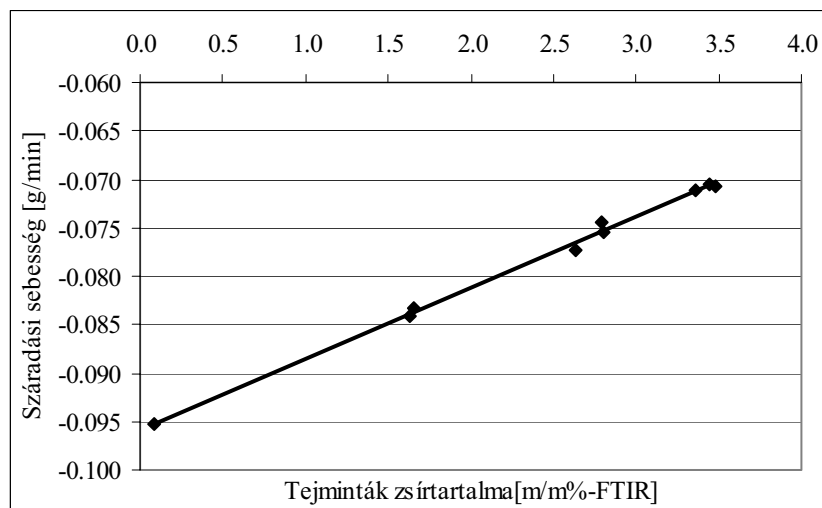
4.3.1. Fogyasztói tej zsírtartalmának meghatározása

A szárítócsatornába helyezett különböző zsírtartalmú tejminták eltérő sebességű tömegváltozáson mentek keresztül. A különbség oka a tejminták eltérő anyagi tulajdonságaiban rejlik. A szárítás során a minták felületén kialakult tejbőr területe a különböző zsírtartalmú minták esetében eltérő volt. Az alacsony 0,1% zsírtartalom esetén a tejbőr a minta felszínének közel 50%-át fedte csak le. A fennmaradt részen a víz szabadon távozhat a mintából, így a párolgás az általunk vizsgált minták közül a legnagyobb száradási sebesség mellett alakult ki. A növekvő zsírtartalom a tejbőr felületének növekedését vonta maga után, a megközelítőleg 1,5%, valamint 2,8% zsírtartalmú minták

esetén a kialakult tejbőr csaknem a minta teljes felszínét beborította. A 3,6% körüli zsírtartalmú minták esetén a tejbőr a felszínt minden esetben lezárta, így a kialakult legalacsonyabb száradási sebességeket tudtuk ezen minták esetében detektálni.

A mérések során Matlab 7.0 program segítségével meghatároztuk a minták tömegváltozási (dehidratációs) görbéit a tejek zsírtartalmának függvényében. A dehidratáció első szakaszában a száradási sebesség exponenciálisan csökkent, majd megközelítőleg 30 perc után kialakult az egyenletes száradási sebesség. A száradási görbék (4.15. ábra) 40 perc, valamint 90 perc közötti szakaszára vonatkoztatva számítottuk ki a száradási sebességet, illetve határoztuk meg a száradási egyenesek egyenleteit.

Az adott szakaszra illesztett száradási egyenesek meredeksége alapján határoztuk meg a kalibrációs egyenest, ami adott meredekségi értékek a zsírtartalom (FC) függvényében történő ábrázolását jelenti (4.16. ábra).



4.16. ábra A fogyasztói tejminták dehidratációs görbéinek 40 – 90 perc közötti szakaszára illesztett egyenesek meredeksége a minták zsírtartalmának függvényében.

A általunk meghatározott kalibrációs egyenes egyenlete:

$$\alpha = 0,007342 \cdot FC - 0,0959 \quad (4.1)$$

Ahol:

α : a dehidrációs egyenes meredeksége;

FC : a tejminta zsírtartalma [m/m%].

A megadott korrelációs tényező értéke: **0,996**.

Az egyenleteket zsírtartalomra rendezve olyan kalibrációs egyeneseket kaptunk, amelyek felhasználásával a tejminták száradási meredekségének ismeretében a minta zsírtartalma kiszámítható.

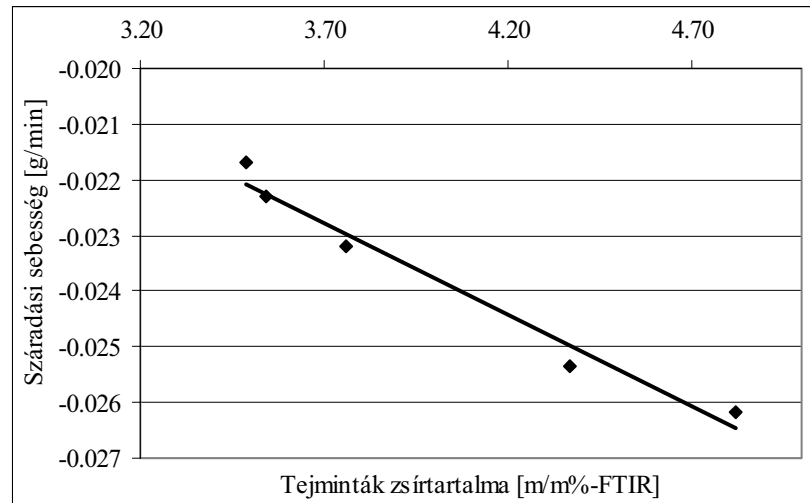
A végleges kalibrációs egyenes egyenlete:

$$FC = 135,77 \cdot \alpha + 13,026 \quad (4.2)$$

4.3.2. Nyers tej zsírtartalmának meghatározása

Nyers tej esetében is az előzőekben leírtakhoz hasonlóan meghatároztuk a különböző zsírtartalmú tejminták tömegváltozási görbéit. A száradási görbék (4.15. ábra) 75 perc, valamint 120 perces szakaszára illeszthetünk egyenest, ezek után határoztuk meg ezen egyenesek egyenleteit, így az egyenesek meredekségét is ($\text{tg } \alpha$).

A kapott $\text{tg } \alpha$ értékeket ábrázoltuk a zsírtartalom függvényében (4.17 ábra).



4.17. ábra A dehidratáció 75 – 120 perc közötti szakaszára illesztett egyenesek meredeksége a nyers tej minták zsírtartalmának függvényében.

A általunk meghatározott kalibrációs egyenes egyenlete:

$$\alpha = -0,0033 \cdot FC - 0,0105 \quad (4.3)$$

Ahol:

α : a dehidrációs egyenes meredeksége;

FC : a tejminta zsírtartalma [m/m%].

A megadott korrelációs tényező értéke: **0,97**.

A fogyasztói tejhez hasonlóan az egyenleteket zsírtartalomra rendezve a végső kalibrációs egyeneseket kapjuk meg.

$$FC = -293,75 \cdot \alpha - 2,9796 \quad (4.4)$$

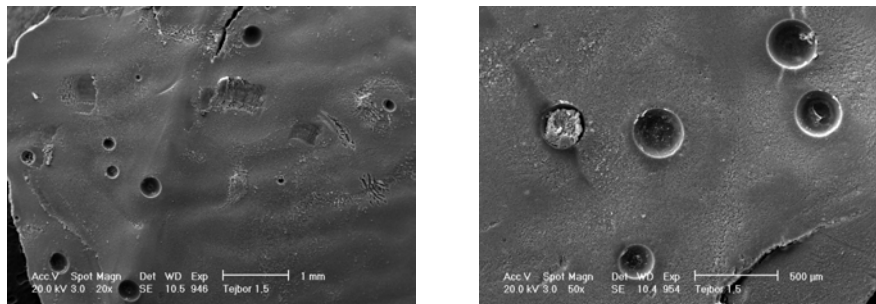
A kalibrációs egyenesek (4.2) és (4.4) egyenleteinek alkalmazásával, továbbá meghatározva az ismeretlen tejminta dehidratációs egyenesének meredekségét ($t g \alpha$), annak zsírtartalma kellő pontossággal kiszámítható. A fogyasztói, illetve a nyers tej minták $t g \alpha$ értékei különböznek, így ismeretlen tejminta esetén azt is meghatározhatjuk, hogy a tej nyers tej vagy fogyasztói tej. A módszer alkalmazása során mind a fogyasztói, mind a nyers tej minták esetében a zsírtartalmat két század százalék pontossággal tudjuk meghatározni, ami megfelel a Magyar Élelmiszerkönyv, valamint az EU direktívák elvárásainak.

4.4. Mikroszkópos vizsgálatok

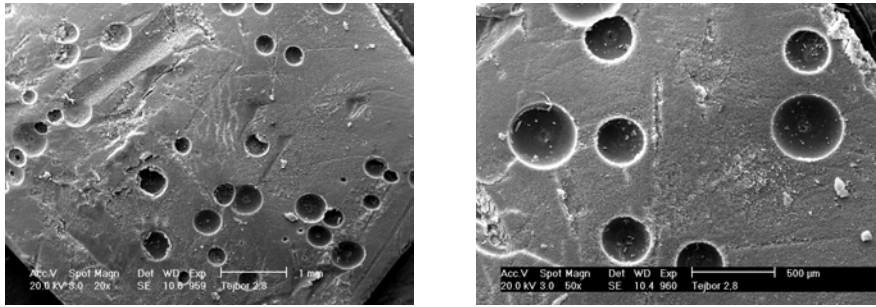
Amint az a 4.16. ábrán és 4.17. ábrán is látható, a különböző zsírtartalmú tejmintákhoz tartozó meredekségek értékei által meghatározott egyenesek tendenciája a fogyasztói, illetve a nyers tej esetében különbözőek. Ennek magyarázata a tejek szerkezeti különbségében rejlik. A tej dehidratációja során a tej felső részén megnövekedik a szilárd anyagok összessége, kialakul a tejbőr, ami miatt a víz diffúziója csökken (KENTISH et al., 2005). A tejbőr területén kívül a bőr szerkezeti felépítése is egyértelműen befolyásolja a minták párolgását.

4.4.1. Elektronmikroszkópos vizsgálatok - A mikrohullámú kezelés hatása a különböző zsírtartalmú fogyasztói tejmintákra

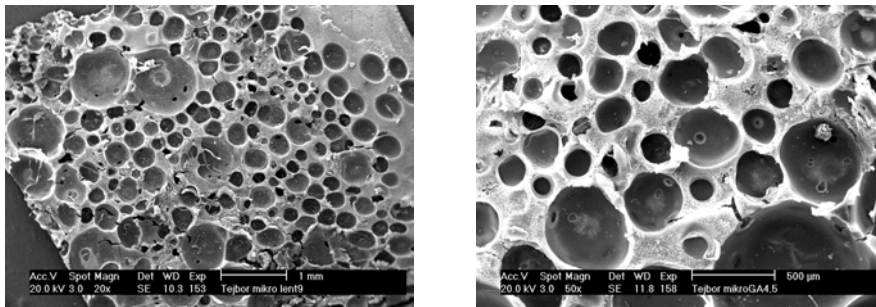
A tejminták elektronmikroszkópos vizsgálata során kiderült, hogy a minták zsírtartalma és a dehidráció során a minták felszínén megjelenő tejbőr szerkezete között összefüggés áll fent. Az 1,63%; 2,8% és 3,44% zsírtartalmú mintákról készített elektronmikroszkópos felvételek 20 \times , illetve 50 \times nagyításban a 4.18. - 4.20. ábrákon láthatók.



4.18. ábra Az 1,63 % zsírtartalmú tejbőr (fogyasztói tej) 20 \times , valamint 50 \times nagyítású elektronmikroszkópos felvétele.

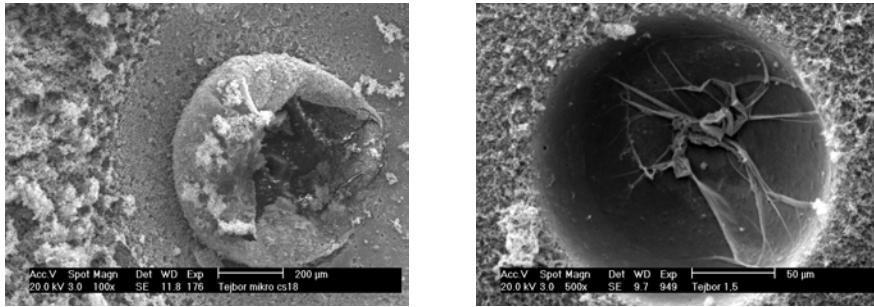


4.19. ábra A 2,8% zsírtartalmú tejbőr (fogyasztói tej) 20×, valamint 50× nagyítású elektronmikroszkópos felvétele.



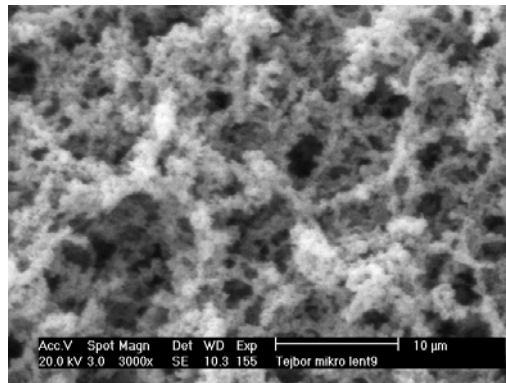
4.20. ábra A 3,44% zsírtartalmú tejbőr (fogyasztói tej) 20×, valamint 50× nagyítású elektronmikroszkópos felvétele.

A fogyasztói tej esetében a növekvő zsírtartalommal párhuzamosan a tejbőrben egyre több kráterszerű mélyedés jelent meg. (A tejsír meghatározási módszer során ennek nincs nagy jelentősége, mert a tejbőr mintákat fogyasztói tej esetén nem mindig fedi be teljesen.) SHELLHAMMER (1997) megállapítása szerint ezek a lyukak levegő, illetve vízgőz buborékok lenyomatai (4.21. ábra). Az alkalmazott nagyítás 100× és 500×.



4.21. ábra A fogyasztói tejben lévő buborékok. Az alkalmazott nagyítás 100×, illetve 500×.

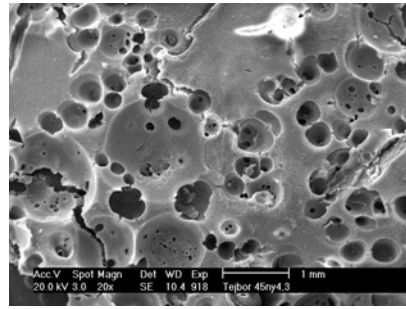
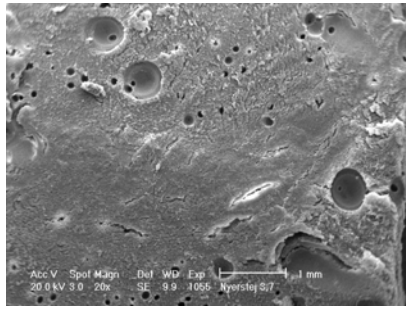
A buborékok közötti teret denaturált fehérjeháló töltötte ki. Az erről készített 3000× nagyítású elektronmikroszkópos kép a 4.22. ábrán látható.



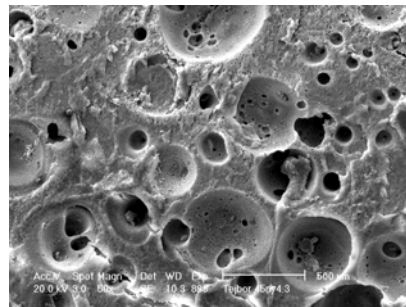
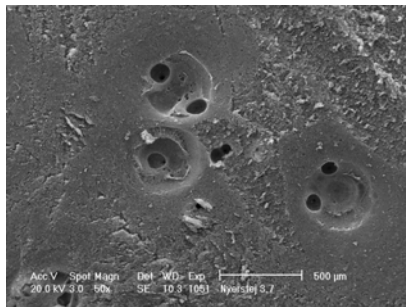
4. 22. ábra A 3,6% zsírtartalmú fogyasztói tejmintán kialakult bőr fehérje állománya. Az alkalmazott nagyítás 3000×.

4.4.2. Elektronmikroszkópos vizsgálatok - A mikrohullámú kezelés hatása a különböző zsírtartalmú nyers tej mintákra.

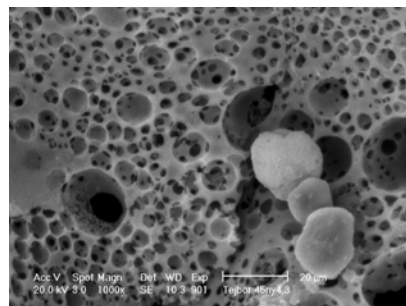
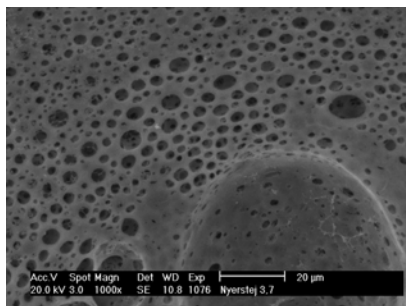
A 3,7% valamint a 4,3% zsírtartalmú nyers tej minták elektronmikroszkópos képei a 4.23. - 4.25. ábrákon láthatók.



4.23. ábra A 3,7% valamint a 4,3% zsírtartalmú nyers tej minták 20× nagyítású elektronmikroszkópos képe.

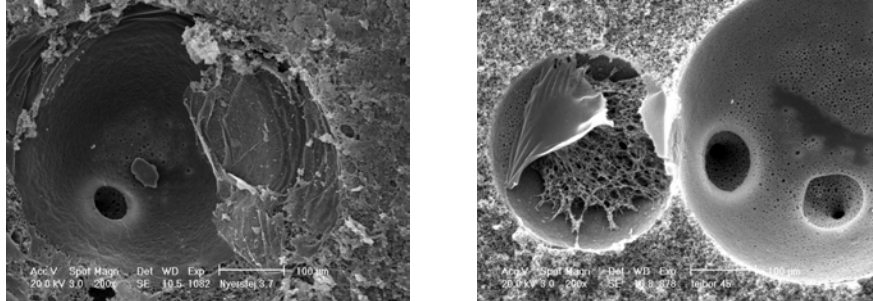


4.24. ábra A 3,7% valamint a 4,3% zsírtartalmú nyers tej minták 50× nagyítású elektronmikroszkópos képe.



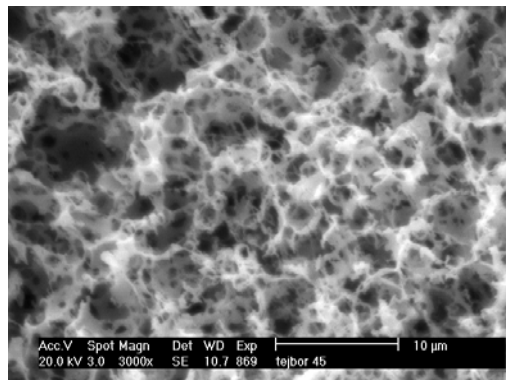
4.25. ábra A 3,7% valamint a 4,3% zsírtartalmú nyers tej minták 1000× nagyítású elektronmikroszkópos képe.

A nyers tej esetében a fogyasztói tejmintákhoz hasonlóan a növekvő zsírtartalommal párhuzamosan megnövekedik a tejbőrben lévő levegő, illetve vízgőz buborékok lenyomatainak száma. A nyers tejben keletkezett buborékok 200× felvétele a 4.26. ábrán látható.



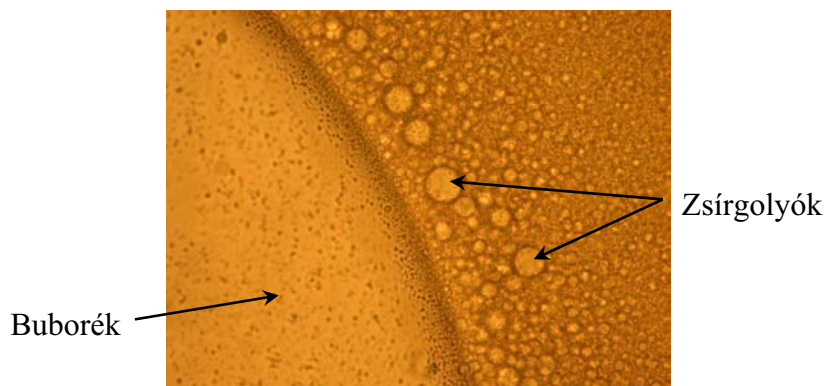
4.26. ábra A 3,7% valamint a 4,3% zsírtartalmú nyers tej mintákban lévő buborékok 200× nagyítású elektronmikroszkópos képe.

A buborékok közötti területet nyers tej esetében is denaturált fehérje töltötte ki (4.27. ábra).



4.27. ábra Nyers tej mintán kialakult bőr fehérje állománya.
Az alkalmazott nagyítás 3000×

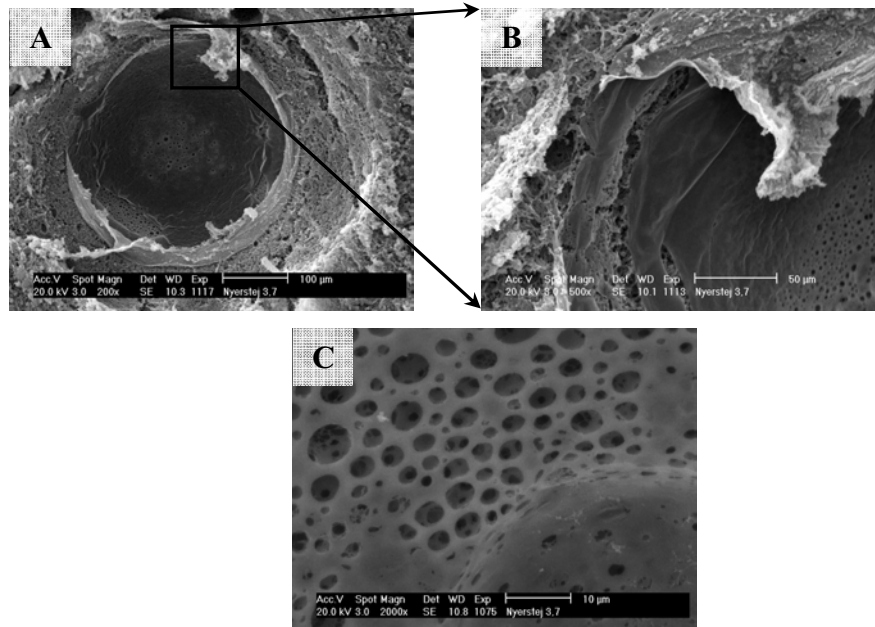
A tejben a melegítés során lokálisan keletkező vízgőzbuborékok a felszín felé törekednek. Eközben érintkeznek a tejben lévő zsírgolyókkal, amelyek szintén a felszín felé haladnak, miközben egymással egyesülnek (SZAKÁLY, 2001). A zsírgolyók bevonják a buborékok hártáját (4.28. ábra), így stabilabbá teszik azt (KENTISH et al., 2005). SHELLHAMMER (1997) szerint minél több és minél nagyobb zsírgolyóval (trigliceriddel, szabad zsírsavval) találkozódik egy buborék, annál több zsír juthat a hártya felszínére, annál stabilabb lesz a buborék, így annál nagyobb az esélye, hogy elérje a felszínt.



4.28. ábra Fogyasztói tejben lévő buborék fala közelébe kerülő zsírgolyók fénymikroszkópos felvétele. Az alkalmazott nagyítás 600×.

Ez a jelenség mind a fogyasztói, mind a nyers tej mintákban egyaránt lejátszódik. Ez az oka annak, hogy a nagyobb zsírtartalmú nyers tej minták nedvességleadásának intenzitása nagyobb, mint a kisebb zsírtartalmú mintáké. Fogyasztói tej esetében a nedvesség leadást a tejbőr szerkezete kevésbé befolyásolja, a párolgást a tejbőr felülete (nagysága) határozza meg. Főzőlapon melegített minták esetén ez a tendencia nem figyelhető meg, aminek feltételezhető oka, hogy a mikrohullám nem termikus hatása is befolyást gyakorol az előbbieken vázolt folyamatokra.

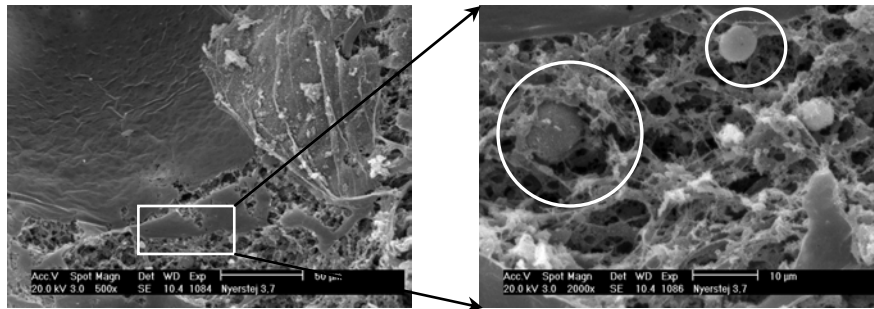
A tejbőrben lévő zsírgolyók beleágyazódnak a bőrben lévő fehérjehálóba. A buborék amint eléri a tejbőrt, befúródik annak anyagába, majd teljesen áthaladva rajta eléri a tejbőr felszínét. A buborékok lenyomataiban lévő lyukak a beágyazott zsírgolyók nyomai (4.29. ábra).



4.29. ábra A tejbőrbe fúródott buborék fala („A”-„B” kép), a bőrben lévő zsírgolyók nyomai („C” kép).

Az alkalmazott nagyítás: 'A' kép 200× ; 'B' kép 500×; 'C' kép 2000×.

A zsírgolyók a mikroszkópos előkészítés során általában kioldódnak, ezért nem láthatók a képeken. Ritka esetben a fehérje állományba beágyazódott zsírgolyók -elsősorban a minták vastagabb részein- nem oldódnak fel a minták fixálása során. Ebben az esetben 2000× nagyításon már jól láthatók (4.30. ábra).

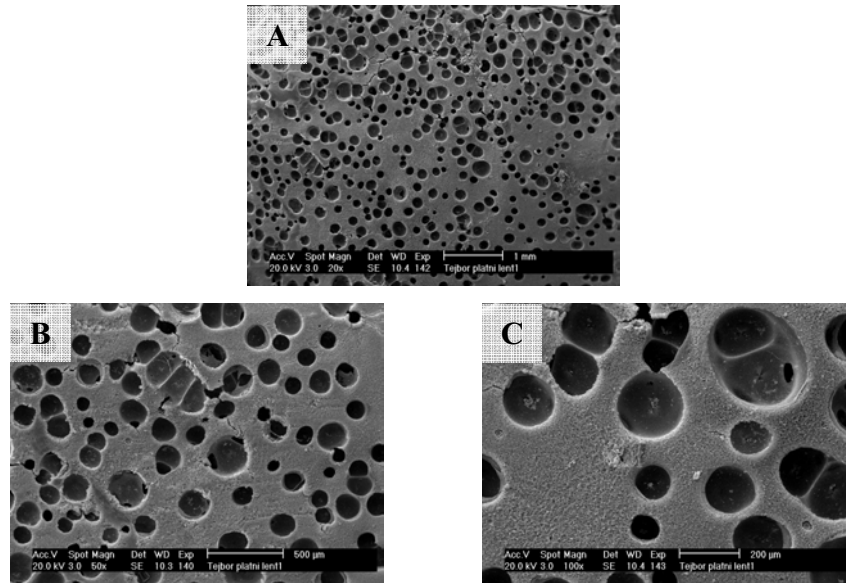


4.30. ábra A fehérjehálóba beágyazódott zsírgolyók 500×, 2000× elektronmikroszkópos felvétele.

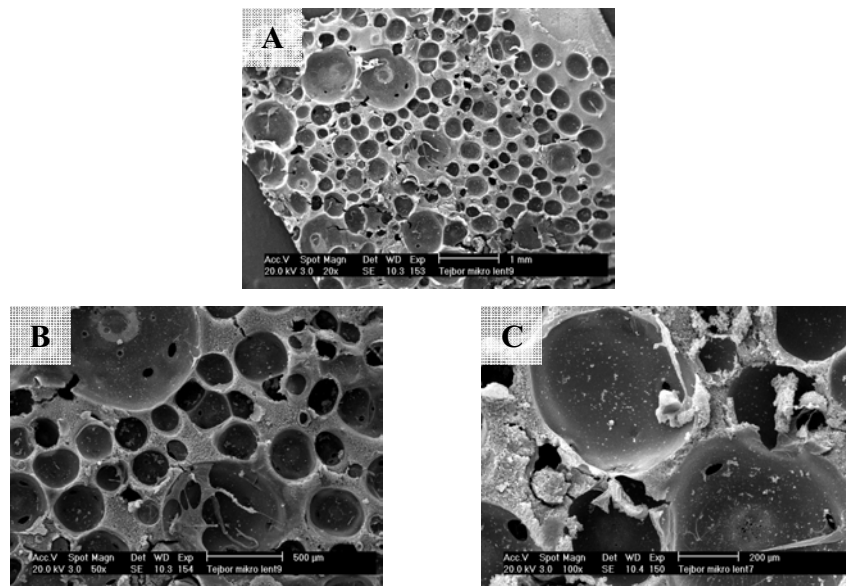
4.4.3. A mikrohullámú és a hagyományos, főzőlapos melegítés hatása a tejbőr szerkezetének kialakulására

A főzőlapos és a mikrohullámú melegítés, valamint a szárítócsatorna azonos kezelési paraméterei mellett vizsgáltuk, hogy a mikrohullám befolyásolja-e a tejminta felszínén kialakult tejbőr szerkezetét, a melegítés során keletkezett buborékok elrendeződését, számát, a tejbőr denaturált fehérjeállományának szerkezetét?

Az eredményeket a 4.31. és a 4.32. ábrákon foglaljuk össze. Az alkalmazott nagyítás 'A' kép 20×; 'B' kép 50×; 'C' kép 100×.



4.31. ábra A 3,6% zsírtartalmú tejbőr főzőlapon történő melegítés után.
Az alkalmazott nagyítás: 'A' kép 20× ; 'B' kép 50×; 'C' kép 100×.

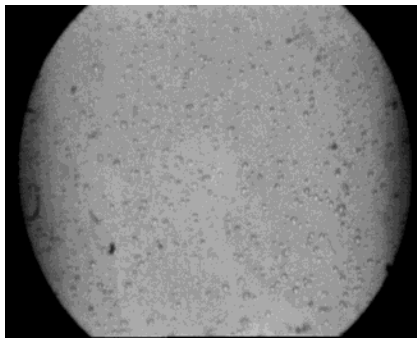


4.32. ábra A 3,6% zsírtartalmú tejbőr mikrohullámú melegítés után.
Az alkalmazott nagyítás: 'A' kép 20× ; 'B' kép 50×; 'C' kép 100×.

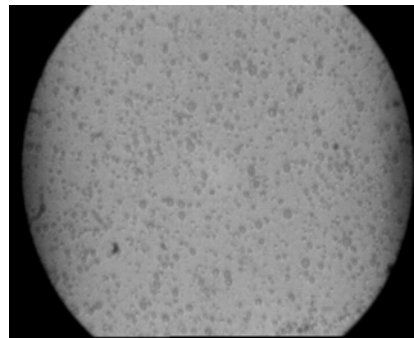
Az elektronmikroszkópos felvételekből kitűnik, hogy a mikrohullám hatására megnőtt a tejbőrben lévő vízgőzbuborékok mérete, megváltozott a tejbőr szerkezete. Mivel a buborékok stabilitása és a tej zsírtartalma, valamint a zsírgolyók mérete között összefüggés áll fenn, feltételeztük, hogy a 4.31. és a 4.32. ábrákon látható tejbőrök szerkezeti különbségének hátterében a zsírgolyók méretének megváltozása állhat. Ennek kiderítésére fénymikroszkópos vizsgálatokat végeztünk.

4.4.4. Fénymikroszkópos vizsgálatok - Fogyasztói tejminták

A fénymikroszkópos vizsgálatok során tapasztaltuk, hogy a fogyasztói tejmintákban lévő zsírgolyók átmérője a mikrohullámú kezelés után megnövekedett (4.33. – 4.34. ábra). A méréseket hét ismétlésben végeztük el. Az eredmények a V. Mellékletben láthatók.



4.33. ábra Fogyasztói tejben lévő zsírgolyók kezelés nélkül.



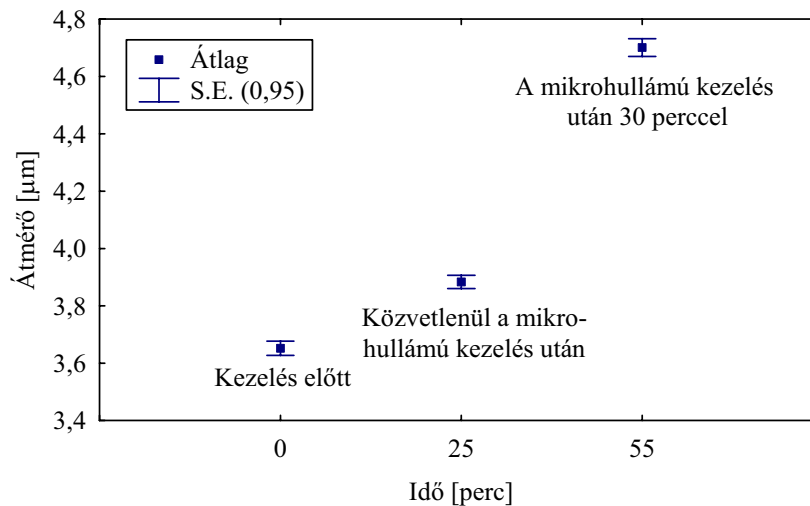
4.34. ábra Fogyasztói tejben lévő zsírgolyók a kezelés után 30 perccel.

Kontroll minták esetén 1199 zsírgolyó átmérőjét mértük le. (Az 1199 minta mérése során a statisztikai táblázat szerinti végtelen szabadságfokok esetén a mérési hiba 0,090101 μm lehet.) A mikrohullámmal kezelt tejmintákból közvetlen a besugárzás után, valamint 30 perccel később 1001

zsírgolyó átmérőjét rögzítettük. (Az 1001 minta mérése során a statisztikai táblázat szerinti végtelen szabadságfokok esetén a mérési hiba $0,10731 \mu\text{m}$ lehet.)

Minden esetben a mikroszkóp látóterében valamennyi zsírgolyót megszámláltuk. Mivel a kezelések során a zsírgolyók átmérője növekedett, de a zsír mennyisége nem változott, így azonos méretű látóterbe kevesebb zsírgolyó volt látható. Az átmérő növekedés mértéke átlagosan 28% volt.

Az eredmények alapján a zsírgolyók átmérőjét, valamint a zsírgolyók darabszámát illetően, közvetlen a mikrohullámú kezelés után még nem lehetett egyértelmű változást tapasztalni, köztük szignifikáns különbséget a kezelést követően 30 perc után tudunk detektálni (4.35. ábra).



4.35. ábra A zsírgolyók átlagos átmérőjének változása a mikrohullámú kezelés előtt, közvetlen a kezelés után, valamint a 25 percig tartó kezelést követően 30 perc múlva.

A szignifikancia vizsgálatok során a kontroll, valamint a mikrohullámú kezelést követően 30 perc múlva mért eredményeket hasonlítottuk össze,

1000-1000 zsírgolyó átlagos átmérőjének felhasználásával (4.1. A-B. táblázat).

4.1.A. táblázat Egytényezős varianciaanalízis

3,6% zsírtartalmú fogyasztói tej

ÖSSZESÍTÉS

Csoportok	Darabszám	Összeg	Átlag	Variancia
Kontroll minta	1000	3659.712	3.659712	0.900817
Kezelt minta	1000	4700.95	4.70095	1.066

VARIANCIANALÍZIS

Tényezők	SS	df	MS	F	p-érték	F krit.
Csoportok között	542.088	1	542.088	551.2343	7.5E-108	3.846117
Csoporton belül	1964.85	1998	0.9834			
Összesen	2506.93	1999				

4.1.B. táblázat Kétmintás t-próba egyenlő szórásnégyzeteknél

3,6% zsírtartalmú fogyasztói tej

	<i>Kontroll minta</i>	<i>Kezelt minta</i>
Várható érték	3.659712	4.70095
Variancia	0.900817	1.066
Megfigyelések	1000	1000
Súlyozott variancia	0.983409	
Feltételezett átlagos eltérés	0	
df	1998	
t érték	-23.4784	
P(T<=t) egyszélű	3.7E-108	
t kritikus egyszélű	1.645617	
P(T<=t) kétszélű	7.5E-108	
t kritikus kétszélű	1.961152	

Az összes mérési eredmény esetében elvégzett statisztikai számítás a VI. Mellékletben található. A 3,6% tejben lévő zsírgolyók eloszlása kontroll és a mikrohullámmal melegített tejminták esetén a VII. Mellékletben látható.

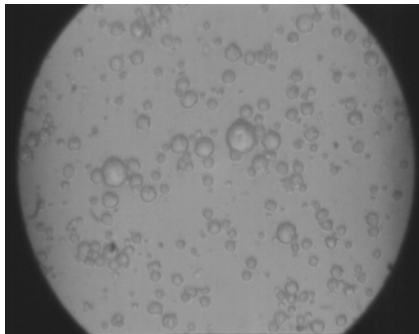
A méréseket 2,8% zsírtartalmú tejminták esetén is elvégeztük. A statisztikai elemzés szerint (t-próba) ebben az esetben is 95% szinten szignifikáns különbség igazolható a mikrohullámmal kezelt és a kontroll mintákban lévő zsírgolyók átmérője között. A statisztikai elemzés a VIII.A. és a VIII.B. Mellékletben található.

Főzőlapon történő melegítés hatására a zsírgolyók ilyen arányú növekedését nem tapasztaltuk.

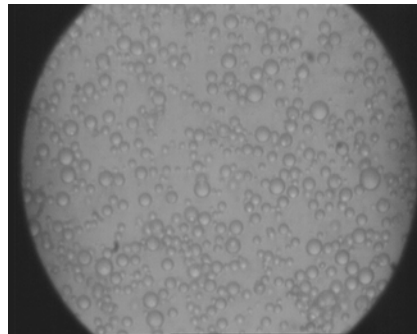
4.4.5. Fénymikroszkópos vizsgálatok - Nyers tej minták

Nyers tej esetében a kiinduláskor amorf, nagyméretű zsírgolyók voltak a tejben, míg a mikrohullámú kezelés után ezek az alakok gömbölyű formát öltöttek és méretük is jelentősen csökkent (4.36. - 4.37. ábrák). A vizsgálatot ebben az esetben is hét ismétlésben hajtottuk végre (IX. Melléklet).

Ebben az esetben is a látótérben lévő valamennyi zsírgolyó átmérőjét lemértük. Kontroll mintaként 1207 zsírgolyó, míg kezelt mintából 2100 zsírgolyó átmérőjét rögzítettük. A kontroll minták esetében 1207 mérés elvégzése során a statisztikai táblázat szerint végtelen szabadságfokok esetén a hiba 0,2439 μm . A mikrohullámmal kezelt minták esetén a hiba 0,1555 μm .

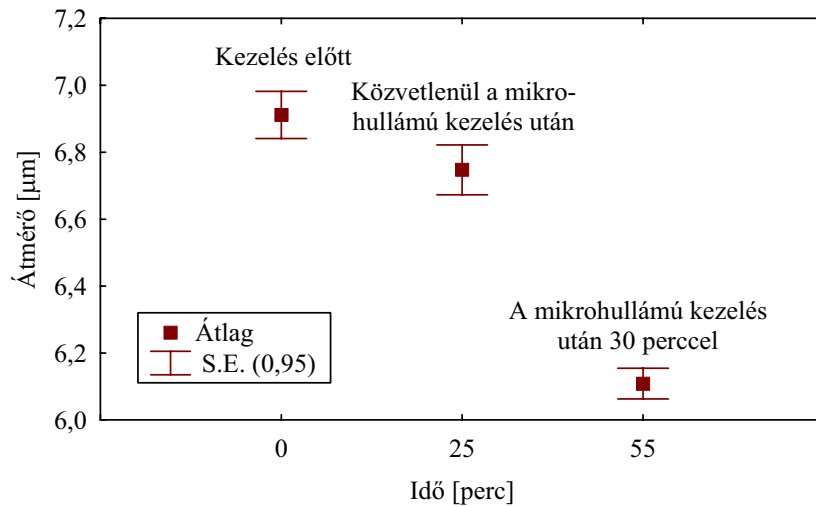


4.36. ábra Nyers tejben lévő zsírgolyók kezelés nélkül.



4.37. ábra Nyers tejben lévő zsírgolyók a kezelés után 30 perccel.

Az eredmények alapján a nyers tej esetében közvetlen a mikrohullámú kezelés után lényegesen kisebb mértékű változást tapasztalunk a zsírgolyók átmérőjét, valamint a zsírgolyók darabszámát illetően, köztük szignifikáns különbséget a kezelést követően 30 perc után tudtunk detektálni (4.38. ábra).



4.38. ábra A nyers tejben lévő zsírgolyók átmérőjének változása a kontroll és a mikrohullámmal kezelt tejmintákban a kezelés után 30 perccel.

A statisztikai vizsgálatok esetében szintén a kontroll, valamint a mikrohullámú kezelést követően 30 perc múlva mért eredmények között kerestünk szignifikáns különbséget, 1000-1000 zsírgolyó átlagos átmérőjének felhasználásával (4.2.A-B. táblázat).

4.2.A. táblázat Egytényezős varianciaanalízis

Nyers tej				
ÖSSZESÍTÉS				
Csoportok	Darabszám	Összeg	Átlag	Variancia
Kontroll minta	1000	6876.8	6.876	6.588
Kezelt minta	1000	6092.2	6.092	4.555

VARIANCIAANALÍZIS						
Tényezők	SS	df	MS	F	p-érték	F krit.
Csoportok között	307.78738	1	307.7	55.236	1.575E-13	3.846117
Csoporton belül	11133.195	1998	5.572			
Összesen	11440.983	1999				

4.2.B. táblázat Kétmintás t-próba egyenlő szórásnégyzeteknél

Nyers tej		
	<i>Kontroll minta</i>	<i>Kezelt minta</i>
Várható érték	6.876839382	6.092253655
Variancia	6.588570594	4.555769397
Megfigyelések	1000	1000
Súlyozott variancia	5.572169995	
Feltételezett átlagos eltérés	0	
df	1998	
t érték	7.432128785	
P(T<=t) egyszélű	7.87915E-14	
t kritikus egyszélű	1.645616631	
P(T<=t) kétszélű	1.57583E-13	
t kritikus kétszélű	1.961151965	

Valamennyi mérési eredményre vonatkozó számítások a X. Mellékletben találhatóak. A nyers tejben lévő zsírgolyók eloszlása kontroll, a főzőlapon, és a mikrohullámmal melegített tejminták esetén a XI. Mellékletben látható.

A statisztikai elemzés szerint (t-próba) a nyers tej minták során is 95% szinten szignifikáns különbség igazolható a mikrohullámmal kezelt és a kontroll mintákban lévő zsírgolyók átmérője között.

Mind a fogyasztói, mind nyers tej mintákban a zsírgolyók méretének jelentős megváltozását, a mikrohullámú kezelést követően 30 perc múlva tapasztaltuk. Ebből arra következtettünk, hogy ezt a jelenséget nem kizárólag a mikrohullámú besugárzás okozza, hanem a tejben ezen kívül különböző enzimikus folyamatok is lejátszódnak.

4.5. A tejben lévő lipáz és xantin oxidáz enzimek aktivitásának vizsgálata

Mikrohullámmal illetve főzőlapon melegített 3,6% zsírtartalmú fogyasztói tejmintákban, valamint kontroll (nem melegített mintákban) bekövetkezett enzimaktivitás megváltozást vizsgáltuk. A lipáz aktivitás megváltozásának vizsgálata során a kontroll mintákra vonatkozó eredmények szórtak, nem megbízhatóak, így azokat az eredményeket bemutató diagramokon nem tüntettük fel.

4.5.1. Lipáz

A tejben lévő enzimek közül elsőként a lipázok (lipoprotein lipáz) aktivitásának megváltozását vizsgáltuk. A lipázok által katalizált triglicerid bontó reakciók során megnövekedik a tej szabad zsírsav szintje (CHEN, 2003). Ezt a változást tudjuk titrálással, illetve magas nyomású folyadékkromatográfiával (HPLC) detektálni.

A bonyolultabb és nagyobb anyag és eszközigényű HPLC-s vizsgálatok előtt titrálással kívántuk meghatározni, hogy a mikrohullámú melegítés a főzőlapos melegítéshez képest befolyásolja-e a tejben lévő lipázok aktivitásának megváltozását. A titrálás során a szabad zsírsav mennyisége a következőképpen határozható meg:

$$\text{Szabad zsírsav } [\mu\text{equiv/ml}] = \frac{T \cdot N}{(P \cdot V) \cdot 1000} \quad (4.3)$$

Ahol:

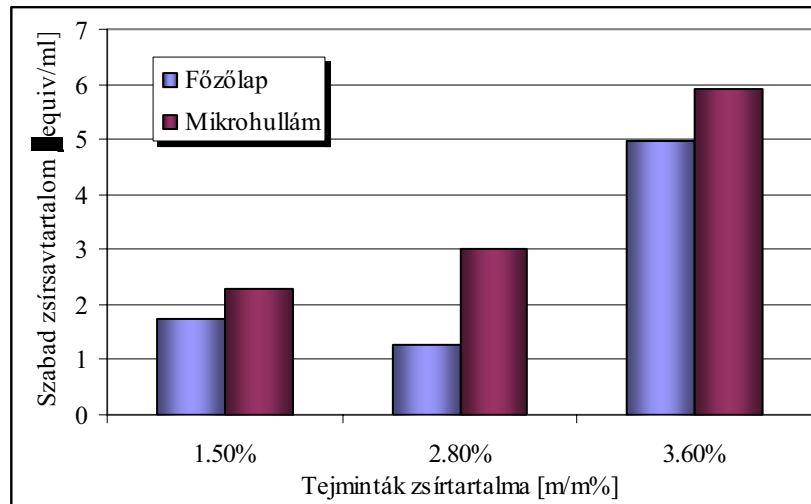
T_T : fogyott KOH mennyisége [ml];

N : 0,002;

P_T : leszívott felső rész százalékos aránya;

V : a tej mennyisége [ml].

A kísérleteket négy ismétlésben 3,6%; 2,8% és 1,5% zsírtartalmú tejmintákra is elvégeztük. A tejminták zsírtartalmának függvényében mért szabad zsírsav tartalom változások átlagait a 4.39. ábra mutatja. Az egyes tejminták mérési eredményeit külön-külön a XII. Melléklet tartalmazza.



4.39. ábra Különböző zsírtartalmú fogyasztói tej szabad zsírsav tartalmának megváltozása főzőlapon történő, valamint a mikrohullámú melegítés után.

A titrálási előkísérletek eredményei azt mutatták, hogy a mikrohullámú kezelés hatására megnövekedett a tejminták szabad zsírsav-tartalma, ami a lipáz aktivitásának növekedését jelenti. A titrálási kísérletek eredményei alapján további vizsgálatokat HPLC-vel folytattuk. A HPLC szoftvere a mérés végén megrajzolta a kromatogramot, azonosította az egyes anyagokhoz tartozó retenciós időket, valamint integrálta a csúcsok alatti területet (a detektorban érkező feszültség jel megváltozását szorozta azzal az idővel, amíg az anyag a kolonnán tartózkodott). Nagy precizitást igénylő mérések kiértékelése során mindig a csúcs alatti területet számítjuk ki (GASZTONYI, 1983).

A standardek bemérése során megkaptuk a mirisztinsav, a palmitinsav, az olajsav, valamint a sztearinsav retenciós idejét. Ezek alapján a tejmintákban lévő zsírsavakat azonosítani tudtuk, illetve nyomon tudtuk követni, hogy az egyes melegítési módok során, hogyan változott a szabad zsírsavak aránya (mennyisége) az egyes tejmintákban.

Annak érdekében, hogy a tejben lévő állapotokhoz hasonló körülményeket hozzunk létre, mind a négy standard zsírsavból azonos mennyiséget kivéve, egy keveréket kaptunk. Ezt az elegyet szintén átfutattuk a HPLC-n. A vizsgálatok alapján a keverékben lévő standardok retenciós ideje módosult. A standardokra vonatkozó retenciós időket, illetve a csúcsok alatti területeket, valamint a koncentrációkat a 4.3. – 4.4. táblázat foglalja össze.

4.3. táblázat A standard zsírsavak fontosabb adatai

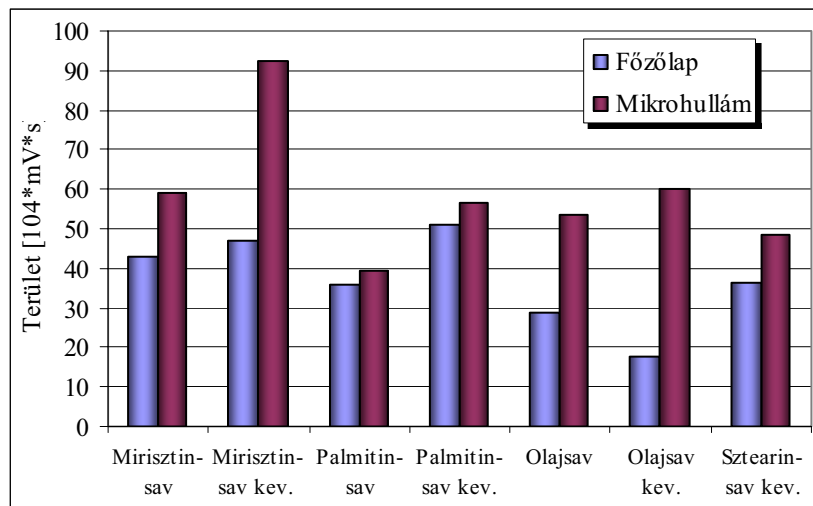
Standard	Idő [min]	Terület [mV·sec]	Mennyiség [mg/ml]
Mirisztinsav	3,145	3374306	25
Palmitinsav	4,345	5268632	29,7
Olajsav	4,825	3065610	29,8
Sztearinsav	6,389	5554063	26,2

4.4. táblázat A standard keverékben lévő zsírsavak fontosabb adatai

Standard keverék	Idő [min]	Terület [mV·sec]	Mennyiség [g/ml]
Mirisztinsav	2,742	26629	0,197
Palmitinsav	3,544	102338	0,577
Olajsav	3,911	131373	1,277
Sztearinsav	4,689	16301	0,077

A kezeléseket követően 15 perc várakozás után kezdtük a méréseket, annak érdekében, hogy elegendő idő legyen az enzim aktivitás kiteljesedéséhez.

Célunk az volt, hogy a mikrohullámmal, illetve főzőlapon melegített tejminták esetében a zsírsavtartalom változása közötti különbséget tudjuk detektálni. A méréseket hét ismétlésben végeztük el. A zsírsavak azonosítása során mind a 4.3., mind a 4.4. táblázatban feltüntetett retenciós időpontokat figyelembe vettük. Az azonosított zsírsavak átlagos csúcs alatti területe a 4.40. ábrán látható. A hét-hét ismétlés konkrét eredményeit a XIII. Melléklet tartalmazza. A későbbi mérési eredmények összehasonlíthatósága miatt a 4.40. ábrán a csúcsok alatti területeket ábrázoltuk.



4.40. ábra A főzőlapon, valamint a mikrohullámmal melegített tejmintákban lévő zsírsavak mennyiségi változása zsírsavanként, illetve a zsírsavkeverékben.

A zsírsavak csúcsai által behatárolt területből illetve a bemért zsírsavstandard koncentrációjából kiszámítható a tejmintákban lévő zsírsavak mennyisége. Ennek eredményét a 4.5. táblázatban mutatjuk be.

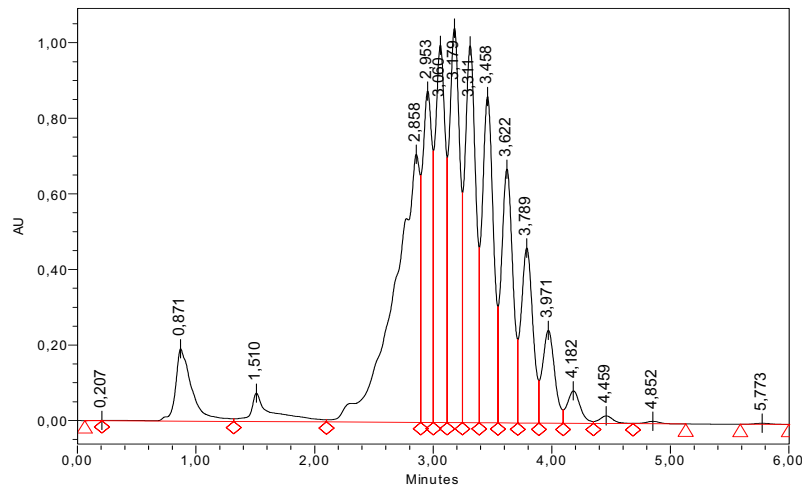
4.5. táblázat A tejmintákban előforduló szabad zsírsavak mennyisége
25 perces kezelések után

Kezelés módja	A standardok külön - külön			
	Mirisztinsav [mg/ml]	Palmitinsav [mg/ml]	Olajsav [mg/ml]	Sztearinsav [mg/ml]
Főzőlapos melegítés	3.19282938	2.024540683	2.799978362	-
Mikrohullám	4.390164123	2.218523423	5.189123874	-
	Keverékben			
	Mirisztinsav [mg/ml]	Palmitinsav [mg/ml]	Olajsav [mg/ml]	Sztearinsav [mg/ml]
Főzőlapos melegítés	3.478911664	2.868457125	1.713948045	1.708611078
Mikrohullám	6.840485972	3.175494257	5.821659973	2.281488828

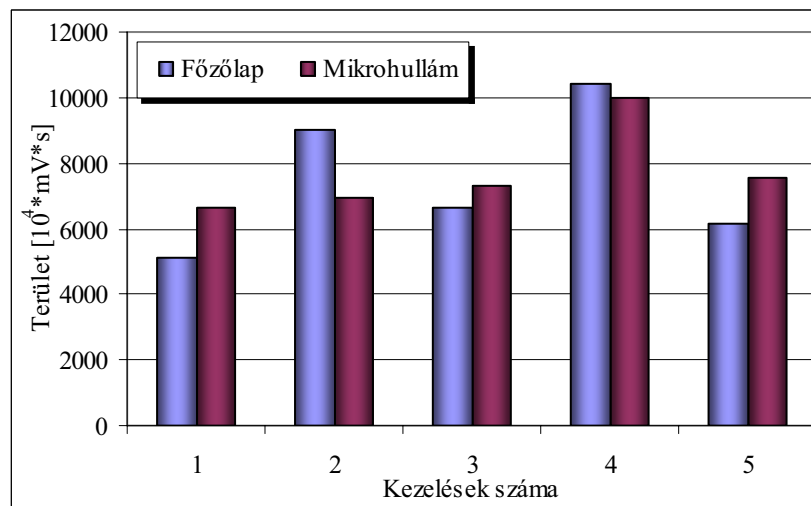
A mikrohullámmal melegített tejmintákban megnövekedett a szabad zsírsavak mennyisége. Ez a növekedés 95% szinten szignifikánsan igazolható. A statisztikai számítások a XIV. Mellékletben láthatók.

Annak érdekében, hogy pusztán a lipáz enzimre, illetve annak aktivitására gyakorolt hatásokat tudjuk vizsgálni, (a tej egyéb alkotórészeinek zavaró hatását kiküszöbölve) mértük a tiszta enzimszuszpenzióban (lipáz enzim kit desztillált vízben oldva) bekövetkező szabad zsírsav mennyiség változását és a főzőlapon történő és a mikrohullámú melegítés során. A méréseket öt ismétlésben végeztük el.

A tíz lipáz mindegyike megjelent a kromatogramokon. Mivel mindegyik lipáz hasonló reakciót (trioleint bontás) katalizál, a kapott tíz kromatogram területét összegezve értékeltük ki a méréseket (4.41. ábra). Az eredményeket a 4.42. ábrán mutatjuk be.



4.41. ábra A mikrohullámmal kezelt lipáz enzimszuszpenzió kromatogramja.



4.42. ábra A főzőlapon, valamint a mikrohullámmal melegített enzimszuszpenzióban lévő zsírsavak mennyiségi változása.

Valamennyi mérési eredményt a XV. Melléklet tartalmazza. A statisztikai elemzés a XVI. Mellékletben található.

A tiszta enzimszuszpenzióban nem mutatható ki szignifikáns különbség a mikrohullámmal és a főzőlapon melegített tejminták szabad zsírtartalmának megváltozása között. A mérések során egyszer a mikrohullám hatására, másszor a főzőlapon történő melegítés hatására növekedett meg a lipáz aktivitása. A szakirodalommal ellentétben az eredmények alapján nem lehet egyértelműen kijelenteni, hogy a mikrohullám hatására megnövekedik a lipáz enzim aktivitása. A mérési eredményekből kiindulva feltételeztük, hogy a mikrohullám egy másik, szintén a zsírgolyókkal szoros kapcsolatban lévő enzim aktivitását befolyásolhatja, ami majd közvetve hozzájárul a lipáz aktivitásának megnövekedéséhez.

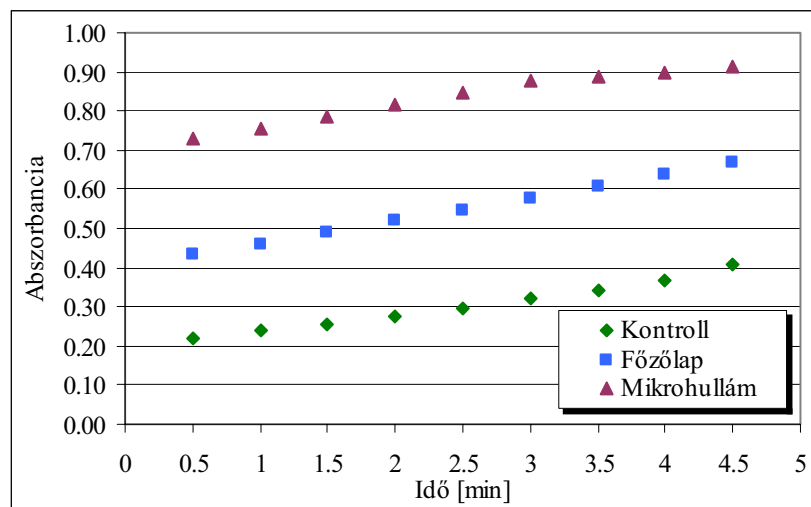
4.5.2. Xantin oxidáz (XO) enzim

A tejben a lipáz aktivitása a mikrohullámú besugárzás során megnőtt, míg a tiszta enzimszuszpenzióban ilyen arányú növekedést nem tapasztaltunk. Ennek oka feltételezhetően az, hogy a tej komplex enzimrendszere olyan enzimeket is magában foglal, amelyek aktivitásának megváltozása befolyásolhatja a lipáz enzim aktivitásának növekedését.

Ebből a feltételezésből kiindulva vizsgáltuk a zsírgolyó membránjában lévő xantin oxidáz enzim által katalizált reakciók sebességének megváltozását a korábban alkalmazott melegítési paraméterek alkalmazása mellett. Az XO aktivitás megváltozás mérése során a tej hidrogén peroxid szintjének megváltozását detektáltuk spektrofotométer felhasználásával 290 nm-en.

A Budapesti Corvinus Egyetemen 3,6% zsírtartalmú fogyasztói tejjel végzett előkísérletek eredményei alapján kimondható, hogy a kontroll (a nem melegített), a főzőlapon, valamint a mikrohullámmal melegített tejminták hidrogén peroxid tartalma között szignifikáns különbség volt. Az

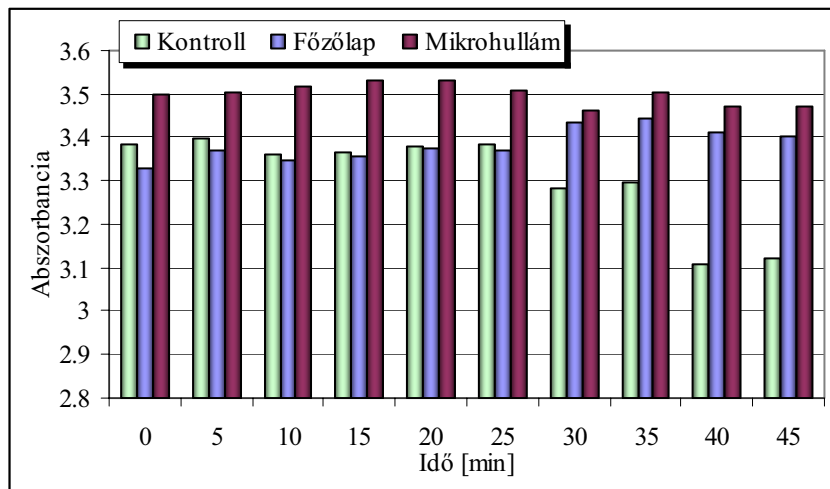
előkísérletek átlagos eredményeit a 4.43. ábrán mutatjuk be. A mérési eredmények külön-külön a XVII. Mellékletben találhatóak.



4.43. ábra A hidrogén peroxid abszorbanciájának átlagértékei a kontroll, a főzőlapon, valamint a mikrohullámmal melegített mintákban.

Ezek alapján további kísérleteket folytattunk az NYME-MÉK Növénytudományi Intézetében.

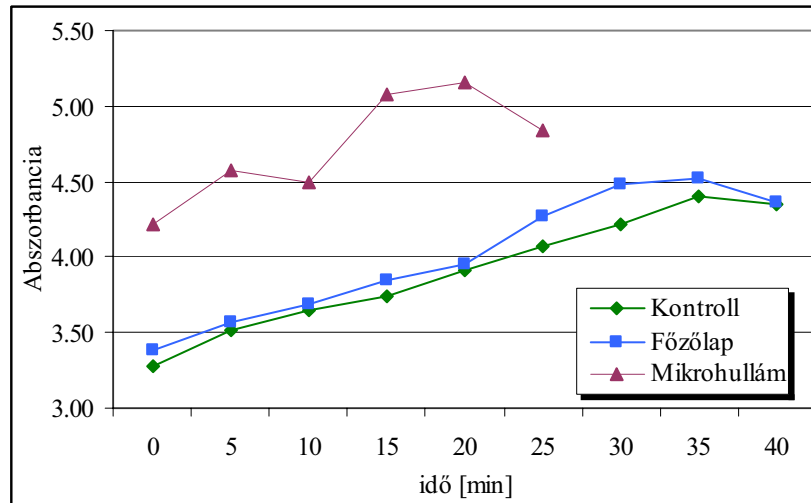
A kontroll minták hidrogén peroxid tartalmának meghatározása után a tejmintákat mikrohullámmal, illetve főzőlapon azonos időtartam alatt, azonos hőmérsékletre melegítettük. A spektrofotométeres vizsgálatok lehetővé tették, hogy a kezelt mintákat 5 perces időközönként bevizsgáljuk. A mérési eredmények átlagát a 4.44. ábrán mutatjuk be.



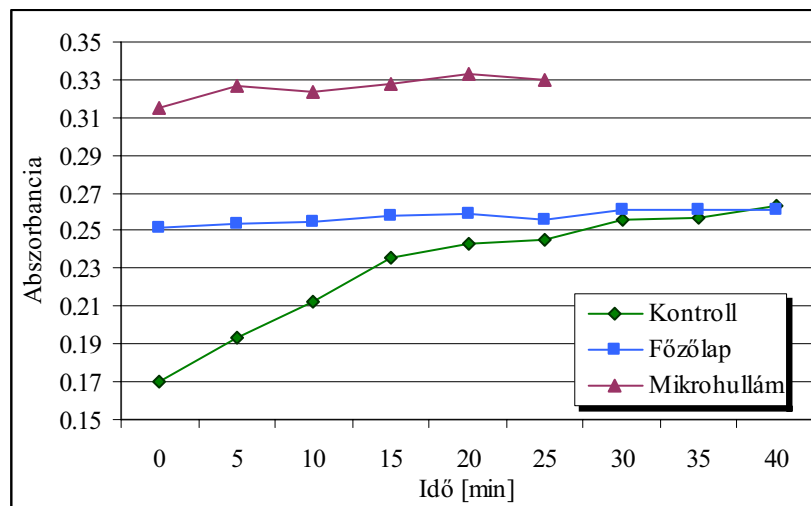
4.44. ábra A tejminták átlagos hidrogén peroxid tartalmának változása a kezelés óta eltelt idő függvényében a kontroll, a főzőlapon történő, valamint a mikrohullámú melegítés során.

A méréseket 45 percig folytattuk, három ismétlésben. A statisztikai értékelés során megállapítottuk, hogy 95% szinten szignifikáns különbség van a mikrohullámmal és a főzőlapon melegített tejminták hidrogénperoxid tartalma között. A részletes statisztikai elemzés a XVIII. Mellékletben található.

A xantin oxidáz esetében is megvizsgáltuk a tiszta enzimszuszpenzióban bekövetkező aktivitásváltozásokat, a kontroll mintákhoz viszonyítva, a kétféle melegítési mód alkalmazása esetén. Ezeknél a méréseknél 240 nm-en detektáltuk a mintában jelenlévő hidrogén peroxid (4.45. ábra), és 290 nm-en a mintákban lévő húgysav mennyiségének megváltozását (4.46. ábra). A 4.45 – 4.46. ábrán a kapott eredmények átlagait tüntettük fel.



4.45. ábra Az enzimszuszpenziók átlagos hidrogén peroxid tartalmának változása a kezelés óta eltelt idő függvényében a főzőlapon történő, valamint a mikrohullámú melegítés során.



4.46. ábra Az enzimszuszpenzió átlagos húgysav tartalmának változása a kezelés óta eltelt idő függvényében a főzőlapon történő, valamint a mikrohullámú melegítés során.

A valamennyi mérési eredményt magában foglaló diagram a XIX. Mellékletben található.

Ebben az esetben is mind a hidrogén peroxidra, mind a húgysavra vonatkozóan végeztünk statisztikai elemzést, amely szerint mindkét anyag esetében 95% szinten szignifikáns különbség van a mikrohullámmal és a főzőlapon melegített minták között. A részletes statisztikai számítások a XX., valamint a XXI. Mellékletben találhatók.

A spektrofotométeres mérések során a detektált anyag mennyiségét kalibrációs sorozat bemérése révén lehet megadni (GASZTONYI, 1983). Célunk elsősorban az volt, hogy különbséget tudjunk kimutatni a mikrohullám és a főzőlapon történő melegítés hatása között, ezért megelégedtünk az anyagok abszorbancia értékeinek összehasonlításával.

Az eredmények alapján megállapítható, hogy a mikrohullámú besugárzás megnöveli a xantin oxidáz enzim aktivitását. A zsírgolyók méretváltozását a mikrohullámú besugárzás után 30 perccel tapasztaltuk nagyobb mértékben. Ebből következtettünk arra, hogy az enzimek aktivitása is megváltozik a besugárzás során. A zsírgolyó membránja a xanthin oxidáz aktivitásának megváltozása miatt felszakad, ennek révén a zsírgolyók szerkezete és mérete megváltozik. A méretváltozás irányát (csökkenő, vagy növekvő) ez a jelenség azonban nem magyarázza, annak hátterében feltételezhetően a mikrohullám egyéb hatása állhat.

ÖSSZEFOGLALÁS

A dolgozat legfőbb célja, hogy a megteremtjük annak lehetőségét, hogy a mikrohullám felhasználásával egy megbízható analitikai módszert dolgozzunk ki. A módszer kidolgozásához szükséges volt a homogén mikrohullámú tér kialakítása. Ennek részeként vizsgáltuk a mikrohullámnak a tej egyes alkotóelemeire (zsírgolyók, enzimek) gyakorolt, elsősorban nem termikus hatásait.

A mikrohullámú kezelések során a kezelt anyagban fellépő hőmérsékletkülönbségek jelentős mértéket érhetnek el. A hőmérsékletkülönbség oka, hogy a mikrohullámú térben nem egyenletes a térerő eloszlása. A kezelőteret üres állapotban hangolják be. Abban az esetben, ha valamilyen anyag, eszköz bekerül a mikrohullámú térbe, a térerő egyenletes eloszlása felborul, amit leginkább a nagyfokú hőmérsékletkülönbségek szemléltetnek.

A mikrohullámú kezelőtérbe helyezett mintatartó edény körül a térerő homogén eloszlását kell kialakítani. A kezelőtérbe helyezett vízcsapdák alkalmazásával a mintatartó edény körül homogén tér alakul ki, ami a minták egyenletes felmelegedésében nyilvánul meg. A vízcsapdák pozícióját a mintatartó edény alakja, illetve a kezelt anyag minősége és mennyisége határozza meg. Optimális esetben a minták besugárzása után az anyagon belül maximum 2,6 °C-os hőmérsékletkülönbséget tapasztalhatunk.

A mikrohullámú kezelőtéren belüli térerőeloszlás, illetve az ebből következő egyenetlen hőmérsékleteloszlások minél pontosabb meghatározása olyan mikrohullámú kezeléseknél rendkívül fontos, ahol a kezelt anyag fizikai, illetve biológiai szennyezettségének mértékét kívánjuk meghatározni, és esetleg a szennyezettség mértékét kívánjuk csökkenteni.

Különböző zsírtartalmú nyers, illetve fogyasztói tejek zsírtartalmát kombinált mikrohullámú kezelés és konvektív szárítási eljárás során határoztuk meg. A tejminták zsírtartalma nyers tej esetén 3,3-4,8% között, míg fogyasztói tejek esetén 0,1-3,6% között változott. A mikrohullámú kezelést FISO száloptikával kiegészített PANASONIC inverter mikrohullámú készülékben végeztük. A kezelt anyag hőmérsékletváltozását a beépített száloptika segítségével követtük nyomon. A mikrohullámú kezelések után a tejminták közvetlenül a szárítócsatornába kerültek. A csatornában az áramló levegő hőmérsékletét, valamint sebességét Labview program segítségével állandó szinten tartottuk. A csatornában elhelyezett minták hőmérsékletét infrahőmérővel követtük nyomon. A szárítás alatt a minták hőmérsékletváltozását, valamint tömegváltozását szintén a Labview segítségével rögzítettük. A kapott nyers adatokat Matlab 7.0 programmal értékeltük ki. Meghatároztuk a különböző zsírtartalmú tejminták tömegváltozási görbéit, valamint a görbék meghatározott szakaszára illesztett egyenesek egyenleteit.

A vizsgálatok célja a tejek zsírtartalma, valamint a minták tömegváltozása, illetve a tömegváltozást leíró egyenes egyenleteinek paramétereit közötti összefüggések feltárása volt. Megállapítottuk, hogy a szárítócsatornában a különböző zsírtartalmú tejek tömege eltérő mértékben változik. Ennek oka, hogy a csatornában a tejminták felszínén úgynevezett tejbőr alakul ki. A tejbőr eltérő fizikai paramétereit (tömeg, vastagság) befolyásolják a tej vízleadó képességét. Nagyobb zsírtartalom esetén kisebb mértékben távozik a víz a mintából, így adott idő alatt kisebb tömegváltozást tudunk detektálni.

A vizsgált minták zsírtartalmát NIR módszerrel, esetenként Gerber-féle zsírvizsgálat során külső szakértő állapította meg. A mi mérési adatainkat a NIR által megadott zsírtartalom értékekhez igazítottuk. Az eredmények

kiértékelése során a NIR módszerrel mért zsírtartalmi értékek, illetve az általunk meghatározott adott időtartam alatti tömegváltozást leíró egyenesek paramétereinek között lineáris összefüggést találtunk fogyasztói tej esetén 0,99-es R^2 , nyers tej esetén 0,97-es R^2 értékek mellett.

Kombinált konvektív-mikrohullámú eljárás során a homogén mikrohullámú térbe, majd a konvektív csatornába helyezett nyers-, illetve fogyasztói tejminták zsírtartalma 0,02%-os pontossággal megadható.

A dehidratáció során a tejminták felületén keletkezett tejbőr szerkezete, valamint nagysága befolyásolja a tejminták párolgását. A tejbőr szerkezetének kialakítását a minták zsírtartalmán túl a melegítés módja (főzőlap vagy mikrohullám) is befolyásolja.

A mikrohullámú besugárzás eltérő mértékben befolyásolja a nyers tejben illetve a fogyasztói tejben lévő zsírgolyók méretének megváltozását. Nyers tej esetén a zsírgolyók átlagos átmérője csökken, míg fogyasztói tej esetén ez a paraméter nő. Mindkét esetben a mikrohullámú besugárzás során a tejminták maximum 45 °C-ig melegedtek, így a mikrohullám által bekövetkezett szerkezeti változások elsősorban a nem termikus hatások miatt alakultak ki. Főzőlapon történő melegítés esetén ilyen jellegű változásokat nem tapasztaltunk. A zsírgolyók méretváltozását a mikrohullámú besugárzás után 30 perccel tapasztaltuk nagyobb mértékben. Ebből következtettünk arra, hogy a tejben lévő zsírgolyócskák megváltozásában a tej különböző enzimeinek aktiválása is szerepet játszik.

A tejben lévő lipáz enzim által katalizált reakciók végtermékeinek (szabad zsírsavtartalom) mennyisége jobban megnőtt a mikrohullámmal melegített tejmintákban, mint a hagyományosan, főzőlapon felmelegített tejmintákban. A tiszta enzimszuszpenzióban azonban nem tudtuk a két féle melegítési mód között szignifikáns különbséget tenni. (A lipáz aktivitás megnövekedésének közvetett bizonyítéka a tej szabad zsírsav tartalmának

megváltozása. Ugyanakkor a szabad zsírsavak mennyiségét enzimes hidrolízis mellett fizikai behatások is megnövelhetik. A mintákat mikrohullámú besugárzás érte, ami ugyan fizikai kezelés, de valószínű nem elég az észter kötések felbontásához. Ha ez így lenne a tiszta enzimszuszpenzióban is különbséget kellett volna mérnünk a hagyományosan, valamint mikrohullámmal melegített tejminták szabad zsírsav tartalma között.) Feltételezhető, hogy a lipáz aktivitásának megnövekedéséhez másik enzim aktivitásának megváltozása is hozzájárul. A xantin oxidáz tevékenysége nyomán felszabaduló hidrogén peroxid, valamint húgysav mennyisége a mikrohullámmal melegített mintákban megnövekedett. A különbség ebben az esetben is szignifikánsan igazolható.

A xantin oxidáz aktivitásának megváltozása révén a zsírgolyó membrán felszakadhat, a benne lévő trigliceridek kikerülnek a zsírgolyón kívülre, ahol kapcsolatba kerülhetnek a tejben lévő lipázokkal. Részben a trigliceridek, részben a lipázok enzimreakciója nyomán felszabaduló szabad zsírsavak kapcsolatba kerülhetnek a melegítés során a tejben keletkezett buborékokkal és stabilizálhatják azok felületét. Ennek eredményeképpen a mikrohullámmal melegített tejminták felszínén kialakult tejbőrben több, és nagyobb méretű buborékok lenyomata látható. Minél magasabb a tej zsírtartalma, annál stabilabbá válnak a buborékok, amelyek így több vizgőzt szállítanak, ezáltal növelik a párolgás intenzitását, így a nagyobb zsírtartalmú nyers tej minták nedvességleadásának gyorsabb, mint a kisebb zsírtartalmú mintáké. Fogyasztói tej esetében a párolgást a tejbőr felülete (nagysága) határozza meg, a tejbőr szerkezete ezt a jelenséget kevésbé befolyásolja.

A mikrohullámot eredményesen lehet használni analitikai folyamatokban abban az esetben, ha a kezelés paramétereit pontosan rögzítjük, illetve a kezelőtéren belül homogén térerőeloszlás és ebből következően homogén hőmérsékleteloszlást alakítunk ki. A mikrohullám alkalmazása során azonban

minden esetben figyelembe kell venni a sugárzás termikus, valamint nem-termikus hatásait, annak érdekében, hogy céljainknak megfelelően, a legnagyobb hatékonysággal és biztonsággal alkalmazhassuk ezt az eljárást.

TÉZISEK

1. Kidolgoztam a kezelt minták körüli homogén erőtér kialakításának lehetőségét. Vízcspadák alkalmazásával a térben kezelt anyagon belüli hőmérsékletkülönbség maximum 2,6 °C. A homogén hőmérséklet-eloszlású tér lehetővé teszi a mikrohullám analitikai felhasználását.
2. Módszert dolgoztam ki a fogyasztói, valamint a nyerstej minták zsírtartalmának meghatározására kombinált (mikrohullámú és konvektív szárítási) eljárás felhasználásával. A módszerrel két század százalékos pontossággal adható meg a tejminta zsírtartalma, ami megfelel a referenciamódszerek mérési pontosságának.
3. Bizonyította, hogy a tejbőr szerkezetének kialakítását a minták zsírtartalmán túl a melegítés (hagyományos vagy mikrohullám) módja is befolyásolja. Ezt a hatást letapogató elektronmikroszkópos felvételek igazolják.
4. Fénymikroszkópos vizsgálatokkal igazoltam, hogy a mikrohullámú besugárzás hatására a homogénezett tejben lévő zsírgolyók átlagos átmérője növekszik, míg a nyerstejben lévő zsírgolyók átlagos átmérője csökken. A változás a kezelést követően 30 perc után szignifikánsan igazolható. A zsírgolyók méretváltozását a mikrohullám közvetlenül kevésbé befolyásolja, annak hátterében a mikrohullám által aktivált enzimek tevékenysége áll.

-
5. Igazoltam, hogy a mikrohullámú besugárzásának hatására mind a tejmintákban, mind a tiszta enzimszuszpenzióban lévő xantin oxidáz enzim aktivitása megnövekedik, ugyanakkor ezt a hatást a lipáz enzimmél nem tapasztaltam. Ebből azt a következtetést vontam le, hogy a mikrohullám az egyes enzimekre különböző mértékben hat.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Ezúton fejezem ki köszönetemet Prof. Dr. Neményi Miklós intézetigazgató, egyetemi tanár úrnak doktori tanulmányaim vezetőjének.

Köszönöm opponenseimnek, Dr. Pallai Ivánnénak, tudományos főmunkatársnak és Dr. Szakály Sándor, egyetemi tanárnak, amiért dolgozatom elkészítését értékes bírálatukkal segítették.

Ugyancsak kifejezem köszönetemet mindazok irányában, akik segítettek munkámat: Dr. Révész Piroska professzorasszonynak a Szegedi Tudományegyetem Gyógyszerésztudományi Karáról, Dr. Szabó Gábor professzor úrnak a Szegedi Tudományegyetem Élelmiszeripari Főiskolai karáról, Stefanovitsné Dr. Bányai Éva docensasszonynak a Budapesti Corvinus Egyetem Élelmiszertudományi Karáról, Dr. Végváry Györgynek egyetemi docensnek a Budapesti Corvinus Egyetem Kertészettudományi Karáról, Dr. Ördög Vince professzornak, Bálint Péter tanszéki mérnöknek az NyME-MÉK, Növénytermesztési Intézetéből, valamint az NyME-MÉK, Biológia Rendszerek Műszaki Intézete valamennyi munkatársának.

IRODALOMJEGYZÉK

1. **Adey, R. (1988):** Effects of microwaves on cells and molecules. *Nature* **333** 401.
2. **Alberts, B.; Bray, D.; Lewis, J.; Raff, M.; Roberts, K.; Watson, J. D. (1994):** The molecular biology of the cell. Garland Publishing. New York.
3. **Almássy, Gy. (1973):** Mikrohullámú kézikönyv. Műszaki kiadó. Budapest.
4. **Almássy, Gy. (1982):** Mikrohullámú mérés és műszertechnika. Egyetemi jegyzet. Budapesti Műszaki Egyetem. Budapest.
5. **Antonelli, M.L.; Curini, R.; Scricciolo, D.; Vinci, G. (2002):** Determination of free fatty acids and lipase activity in milk: quality and storage markers. *Talanta* **58** 561-568.
6. **Arsenault, M. (1994):** Industrial microwave processing. *Food Processing*. **55** (6) 91-96.
7. **Atmani, D.; Baghiani, A.; Harrison, R.; Benboubetra, M. (2005):** NADH oxidation and superoxid production by caprine milk xanthine oxidoreductase. *International Dairy Journal* **15** 1113-1121.
8. **Back, W.D.; Reuter, H. (1973):** Effect of flow mechanisms on xanthine oxidase activity in raw milk 2. Results of experiments. *Milchwissenschaft* **28** 284-291.
9. **Balatoni, M. (1978):** Tejipari táblázatok. Mezőgazdasági kiadó. Budapest.
10. **Balcão, V.M.; Malcata, F.X. (1998):** Lipase catalyzed modification of milkfat. *Biotechnology Advances* **16** (2) 309-341.
11. **Banik, S.; Bandyopadhyay, S.; Ganguly, S. (2003):** Bioeffects of microwave – a brief review. *Nature* **87** 155-159.

12. **Banu, S.; Greenway, G.M.; Wheatley, R.A. (2005):** Luminal chemiluminescence's induced by immobilized xanthine oxidase. *Analytica Chimica Acta* **541** 91-97.
13. **Beary, E.S. (1988):** Comparison of microwave drying and conventional drying techniques for reference materials. *Analytical Chemistry* **60** 742-746.
14. **Beke, J. (2000):** A vízleadási folyamat jellemzői mikrohullámú terményszárításkor. *Mezőgazdasági Technika* **41** 2-4.
15. **Beke, J.; Mujumdar, A. S.; Giroux, M. (1998):** Some fundamental attributes of corn and potato drying in microwave fields. *Drying Technology* **15** (2) 539-554.
16. **Berecz, L. (1999):** Élelmiszerek száradási jellemzői, különös tekintettel az élesztőkre. Doktori (PhD) értekezés. Pannon Agrártudományi Egyetem, Mezőgazdaságtudományi Kar, Mosonmagyaróvár.
17. **Bezzubov, A.D.; Garlinszkaja, E.I.; Fridman, V.M. (1967):** Ultrahang felhasználása az élelmiszeriparban. Műszaki kiadó. Budapest.
18. **Bíró, G. (1999):** Élelmiszer-higiéna. Agroinform Kiadó. Budapest.
19. **Bíró, G.; Bíró, Gy. (2000):** Élelmiszer-biztonság, Táplálkozás-egészségügy. Agroinform kiadó. Budapest.
20. **Bows J.; Joshi K. (1992):** Infrared imaging feels the heat in microwave ovens. *Physics World* **5** (8) 21-22.
21. **Böckelmann, M.; Lücke, W. (2005):** Mikrowellen zur Maistrocknung. *Landtechnik* **60** 4-5.
22. **Bradoo, S.; Rathi, P.; Saxena, R.K.; Gupta, R. (2002):** Microwave-assisted rapid characterization of lipase selectivities. *Journal of Biochemical, Biophysical Methods* **51** 115-120.
23. **Brennan, D.; Alderma, J.; Sattler, L.; O'Connor, B.; O'Mathua, C. (2003):** Issues in development of NIR micro spectrometer system for on-line process monitoring of milk product. *Measurement* **33** 67-74.

-
24. **Cartwright, G.; McManus, B.H.; Leffler, T.; Moser, C.R. (2005):** Rapid determination of moisture/solid and fat in dairy products by microwave and nuclear magnetic resonance analysis. *Journal of AOAC International* **88** (1) 107-120.
 25. **Chen, L.; Daniel, R.M.; Coolbear, T. (2003).** Detection and impact of protease and lipase activities in milk and milk powders. *International Dairy Journal* **13** 255-275.
 26. **Cheng, W.M.; Raghavan, G.S.V.; Ngadi, M.; Wung, N. (2006a):** Microwave power control strategies on the drying process I. Development and evaluation of new microwave drying system. *Journal of Food Engineering* **76** 188-194.
 27. **Cheng, W.M.; Raghavan, G.S.V.; Ngadi, M.; Wung, N. (2006b):** Microwave power control strategies on the drying process II. Phase controlled and cycle-controlled microwave/air drying. *Journal of Food Engineering* **76** 195-201.
 28. **Chin, H.B.; Kimball, J.R.; Hung, J.; Allen, B. (1985):** Microwave drying determination of total solids in processed tomato products: collaborative study. *J. Assoc. of Analytical Chemistry* **68** (69) 1081-1083.
 29. **Crofchek, C.; Wade, J.; Swamy, J.N.; Aslan, M.M.; Mengüç, M.P. (2005):** Effect of fat casein particles in milk on the scattering of elliptically polarized light. *Transactions of the ASAE* **58** (3) 1147-1155.
 30. **Culkin, K.A.; Daniel, Y.C.; Fung, D. (1975):** Destruction of *E. coli* and *S. typhimurium* in microwave-cooked soups. *Journal of Milk Food Technology* **38** (1) 8-15.
 31. **Csapó, J.; Csapóné, K. Zs. (2002):** Tej és tejtermékek a táplálkozásban. Mezőgazda Kiadó. Budapest.
 32. **Dalgleish, D.G.; Spagnuolo, P.A.; Goff, H.D. (2004):** A possible structure of the casein micelle based on high-resolution field-emission scanning electron microscopy. *International Dairy Journal* **14** 1025-1031.
 33. **Datta, A.K.; Anantheswaran, R.C. (2001):** Handbook of Microwave Technology for Food Applications. Marcel Dekker, Inc., New York.
 34. **Dealler, S.F (1990):** Superficial microwave heating. *Nature* **244** 496.

-
- 35. Demel, S.; Steiner, I.; Washüttl, J.; Kroyer, G. (1990):** Chemische und mikrobiologische Untersuchungen an mikrowellenbehandelter Milch. Ernährungswissenschaft **29** 299-303.
- 36. Dickinson, E. (2001):** Milk protein interfacial layers and the relationship to emulsion stability and rheology. Colloids and Surfaces B: Biointerfaces **20** 197-210.
- 37. Dzurec, D.J.; Baptie, P. (1989):** Rapid, intensive microwave oven method of total solids determination in fluid dairy products. Journal of Dairy Science **72** 2777-2781.
- 38. Evers, J.M. (2004a):** The milkfat globule membrane – methodologies for measuring milkfat globule (membrane) damage. International Dairy Journal **14** 747-760.
- 39. Evers, J.M. (2004b):** The milkfat globule membrane – compositional and structural changes post secretion by the mammary secretory cell. International Dairy Journal **14** 661-674.
- 40. Foster, K.; Pickard, W. (1987):** Microwaves: the risks of the risk research. Nature **330** 532-532.
- 41. Gasztonyi, K. (1983):** Műszeres analitika. Egyetemi jegyzet. Kertészeti egyetem.
- 42. Gasztonyi, K.; Lásztity, R. (1992):** Élelmiszerkémia. Mezőgazda kiadó. Budapest.
- 43. Gataldi, E.; Lagaude, A.; Tarrodo De La Fuente, B. (1996):** Micellar transition state in casein between pH 5.5 and 5.0. Journal of Food Science **61** (1) 59-68.
- 44. Géczy, G. (2002):** Összefüggések mezőgazdasági termények dielektromos jellemzőinek meghatározására. Mezőgazdasági technika 2-4.
- 45. Géczy, G.; Sembery, P. (2005):** Mikrohullám az élelmiszeriparban. Áram és technológia **3** 19-21.
- 46. Géczy, G.; Sembery, P.; Kovácsné, L.M.; Mohamed, D. (1999):** Élelmiszeralapanyagok nagyfrekvenciás és mikrohullámú dielektromos jellemzői. Mezőgazdasági Technika **40** (7) 2-4.
-

-
- 47. Giancoli, D. (1988):** Physics for Scientist and Engineers. 2nd Ed. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ
- 48. Girotti, S.; Lodi, S.; Ferri, E.; Lasi, G.; Fini, F.; Ghini, S.; Budini, R. (1999):** Chemiluminescent determination of xanthine oxidase activity in milk. *Journal of Dairy Research* **66** 441-448.
- 49. Gustavsson, M.; Gustafsson, S.E. (2006):** Thermal conductivity as an indicator of fat content in milk. *Thermochimica Acta* **442** 5-9.
- 50. Harrison, R. (2002):** Structure and function of xanthine oxidoreductase: Where are we now? *Free Radical Biology & Medicine*. **33** (6) 774-797.
- 51. Hassan, A.N.; Frank, J.F.; Elsoda, M. (2003):** Observation of bacterial exopolysaccharide in dairy products using cryo-scanning electron microscopy. *International Dairy Journal* **13** 755-762.
- 52. Hategan, A.; Martin, D.; Popescu, L.M.; Butan, C. (2001):** Effects of radiation on frozen lactate dehydrogenase. *Bioelectrochemistry* **53** 193-197.
- 53. Holics, L. (1992):** Fizika. Műszaki Könyvkiadó, Budapest.
- 54. Imre, L. (1974):** Szárítási kézikönyv. Műszaki Könyvkiadó. Budapest.
- 55. Jandal, J.M. (1995):** Some factors affecting lipase activity in goat milk. *Small Ruminant Research* **16** 87-91.
- 56. Jun, W.; Jing-ping, Z.; Jian-ping, W.; Nai-zhang, X. (1999):** Modeling simultaneous heat and mass transfer for microwave drying on apple. *Drying Technology* **17** (9) 1927-1934.
- 57. Kacz, K.; Berecz, L.; Stépán, Zs. (1999):** Kísérleti szárítóberendezés kifejlesztése különböző szabályozási megoldásokkal. 3. Magyar Szárítási Szimpózium. Nyíregyháza. IX. 22-23. 2. kötet 98-102.
- 58. Kacz, K.; Neményi, M.; Berecz, L.; Stépán, Zs. (2000):** Kísérleti modellszárító számítógépes szabályozásának kifejlesztése. MTA-AMB Kutási és fejlesztési tanácskozás. Gödöllő, január 18-19. 3. kötet 200-207.
- 59. Kacz, K.; Stépán, Zs.; Kovács, A.J.; Neményi, M. (2003):** Cikória szárítás technikai tulajdonságainak vizsgálata modellszárítókkal. 5 Magyar Szárítási Szimpózium. Szeged, október 21-22.
-

-
- 60. Kacz, K.; Stépán, Zs.; Kovács, A.J.; Neményi, M. (2003):** Investigation of the drying technical properties of chicory roots by model experiments. 5. Magyar Szárítási szimpózium. Szeged, október 21-22.
- 61. Kaensup, W.; Wongwises, S.; Chutima, S. (1998):** Drying of pepper seeds using a combined microwave/fluidized bed dryer. *Drying Technology* **16** (3-5) 853-862.
- 62. Kamath, S.R.; Morr, C.V.; Schenz, T. (1998):** Laser light scattering and microscopic properties of milkfat globules in Swiss cheese whey low density lipid-containing fraction. *Lebensmittel Wissenschaft und Technologie* **31** 274-278.
- 63. Kebarly, K.M.K.; Morris, H.A. (1989):** Effect of homogenization on blustering and distribution of fat globules in recombined milks. *Cultured Dairy Products Journal* **24** (4) 4-9.
- 64. Kentish, S.; Davidson, M.; Hassa, H.; Bloore, C. (2005):** Milk skin formation during drying. *Chemical Engineering Science* **60** 635-646.
- 65. Kermasha, S.; Bisakowski, B; Ramaswamy, H; Van de Voort, F.R. (1993):** Thermal and microwave inactivation of soybean lipoxygenase. *Lebensmittel Wissenschaft und Technologie* **26** 215-219.
- 66. Khalil, H.; Vilotta, R. (1988):** Comparative study on injury and recovery of *Staphylococcus aureus* using microwaves and conventional heating. *Journal of Food Protection* **51** (3) 181-186.
- 67. Kiranoudis, C.T.; Tsami, E.; Maroulis, Z.B. (1997):** Microwave vacuum drying kinetics of some fruits. *Drying Technology* **15** (10) 2421-2440.
- 68. Kirgöz, Ü.A.; Timur, S.; Wang, J.; Telefoncu, A. (2004):** Xanthine oxidase modified glassy carbon paste electrode. *Electrochemistry Communications* **6** 913-916.
- 69. Kiss J.; Sembery P., Géczi G. (2004):** Mikrohullámú sörpasztörözés lehetőségeinek vizsgálata. *Műszaki Kémiai Napok '04. Veszprém* 220-223.
- 70. Kleyn, D.H. (2001):** Determination of fat in raw and processed milks by Gerber method: collaborative study. *Journal of AOAC International* **84** (5) 1499-1508.
-

-
- 71. Kotani, A.; Kusu, F.; Takamura, K. (2002):** New electrochemical detection method in high-performance liquid chromatography for determining free fatty acids. *Analytica Chimica Acta* **465** 199-206.
- 72. Koutchma, T.; Ramaswamy, H.S. (2000):** Combined effects of microwave heating and hydrogen peroxide on the destruction of *Escherichia Coli*. *Lebensmittel Wissenschaft und Technologie* **33** 30-36.
- 73. Kudra, T.; Raghavan, V.; Akyel, A.; Bosisio, R.; van de Voort, F. (1992):** Electromagnetic properties of milk and its constituents at 2,45 GHz. *Journal of Microwave Power and Electromagnetic Energy* **27** (4) 199-204.
- 74. Kudra, T.; Van de Voort, F.; Raghavan, R.; Ramaswamy, H.S. (1991):** Heating characteristics of milk constituents in a microwave pasteurization system. *Journal of Food Science* **56** (4) 931-934.
- 75. Kuncevic, A.; Michalak, J.; Panfil-Kunzevic, H.; Borejszo, Z.; Dziuba, J.; Mioduszevska, H. (2002):** Influence of microwave heating on the formation of proteolipids in milk. *Milchwissenschaft* **57** (5) 250-253.
- 76. Lagoueyte, N.; Lablee, J.; Lagaude, A.; La Fuente, T.D. (1994):** Temperature affects microstructure of renneted milk gel. *Journal of food science* **59** (5) 956-959.
- 77. Laguerre, J.C.; Tauzin, V.; Grenier, E.(1999):** Hot air microwave drying of onions: A comparative study. *Drying Technology* **17** (7-8) 1471-1480.
- 78. Lakatos, E.; Lőrincz, A.; Neményi, M (2002):** Az ultrahangos sejtroncsolás fizikai kritériumainak meghatározása a folyékony élelmiszerek csíraszámcsökkentésével kapcsolatban. *MÉTE-Élelmészéipar* **56** 203-207.
- 79. Leong, A.S-Y.; Sormuren, R.T (1998):** Microwave procedures for electron microscopy and resin-embedded sections. *Micron* **29** (5) 397-409.
- 80. Levy, M. (2003):** The effects of composition and processing of milk on foam characteristics as measured by steam frothing. Doctoral thesis. B.S., University of Illinois.

-
- 81. Lin, G.; Lin, W-Y. (1998):** Microwave promoted lipase catalyzed reactions. *Tetrahedron Letters* **39** 4333-4336.
- 82. Lopez, C.; Bourgaux, C.; Lesieur, P.; Bernadou, S.; Keller, G.; Ollivon, M. (2002):** Thermal and structural behavior of milk fat. *Journal of Colloid and Interface Science* **254** 64-78.
- 83. López-Fandiño, R.; Villamel, M.; Corzo, N.; Olano, A. (1996):** Assessment of the thermal treatment of milk during continuous microwave and conventional heating. *Journal of Food Protection* **59** 889-892.
- 84. López-López A.; Castellote-Bargalló A.I.; López-Sabater M.C. (2001):** Direct determination by high-performance liquid chromatography of sn-2 monopalmitin after enzymatic lipase hydrolysis. *Journal of Chromatography B: Biomedical Sciences and Applications* **760** (1) 97-105.
- 85. Lubec, G.; Wolf, C.; Bartosch, B. (1989):** Amino acid isomerisation and microwave exposure. *Lancet* **2** 1392-1393.
- 86. Ludányi L. (2004):** Multimódusú mikrohullámú terek alkalmazása a szárításban – Doktori (PhD) értekezés. Szent István Egyetem Gödöllő
- 87. Ludányi, L.; Szilágyi, M. (1998):** A mikrohullámú technika mint a korszerű szárítástechnológia eszköze. *Mezőgazdasági Technika* **39** 2-4.
- 88. Magyar Élelmiszerkönyv (Codex Alimentarius Hungaricus)**
- 89. Magyar Élelmiszerkönyv (Codex Alimentarius Hungaricus) 2-51/01.** számú irányelve
- 90. Magyar Élelmiszerkönyv (Codex Alimentarius Hungaricus) Hivatalos Élelmiszervizsgálati Módszergyűjtemény 3-1-92/608.** számú előírása
- 91. Magyar Élelmiszerkönyv (Codex Alimentarius Hungaricus) Hivatalos Élelmiszervizsgálati Módszergyűjtemény 3-1-91/180.** számú előírás
- 92. Manirakiza, P.; Covaci, A.; Schepens, P. (2001):** Comparative study on total lipid determination using Soxhlet, Roese-Gottlieb, Bligh & dyer and Modified Bligh & dyer extraction method. *Journal of Food Composition and Analysis* **14** 93-100.

-
- 93. Michalski, M.C.; Michael, F.; Sainmont, D.; Briard, V. (2002):** Apparent zetapotential as a tool to assess mechanical damages to the milk fat globule membrane. *Colloids and Surfaces B.: Biointerfaces* **23** 23-30.
- 94.** Milk and milk products – Determination of fat content. General guidance on the use of butyrometric methods. International (IDF) standard 152A:1997
- 95. Molnár, L.; Gábrriel, R. (2001):** Fény és elektronmikroszkópos mikrotechnika. Dialóg Campus kiadó. Budapest-Pécs.
- 96. Mujumdar, A. S.; Beke, J. (2002):** Gyakorlati szárítás. Szaktudás Kiadó Ház. Budapest.
- 97. Neményi, M.; Lőrincz, A.; Lakatos, E. (2003):** Az ultrahangszugár fizikai paramétereinek változása a besugárzott anyagban. MTA-AMB 27. Kutatási-Fejlesztési Tanácskozás, Gödöllő, 2003. 01. 21-22., Proceedings, szerk. Dr. Tóth László 3. kötet 66-70.
- 98. Neményi, M. (1993):** Energetikai és biológia szempontok a kukorica mesterséges szárításánál. Akadémiai doktori értekezés. Mosonmagyaróvár.
- 99. Neményi, M., Lakatos E., Kovács, A.J. (2006):** Mikrohullám kezelés használata nyers és fogyasztói tej zsírtartalmának meghatározására. MTA-AMB, 30. Kutatási-Fejlesztési Tanácskozás, Gödöllő
- 100. Neményi, M.; Czaba, I.; Kovács, A.; Jáni, T. (2000):** Investigation of simultaneous heat and mass transfer within the maize kernels during drying. *Computers and Electronics in Agriculture* **26** 123-135.
- 101. Neményi, M.; Kacz, K.; Czaba, I.; Kovács, A. (1993):** Thermovision method for the measuring of the kernel's surface temperature during drying. *Hungarian Agriculture Engineering* **6** 35-36.
- 102. Nemestóthy, I. (2005):** Hagyományos és nem-konvencionális közegű összetett enzimes reakció kinetikai vizsgálata. Doktori (PhD) értekezés. Veszprémi Egyetem.
- 103. O'Donell, V.B. (2001):** Where does nitric oxide go in vascular disease. *The Bulletin of the British Society for Cardiovascular Research* **14** 4-11.

104. **Onwulata, C.I., Smith, P.W., Cooke, P.H., Hosinger, V.H. (1996):** Particle structures of encapsulated milk fat powders. *Lebensmittel Wissenschaft und Technologie* **29** 163-172.
105. **Orellana-Coca, C.; Adlercreutz, D.; Maria M. Andersson, M.M.; Mattiasson B.; Hatti-Kaul, R. (2005):** Analysis of fatty acid epoxidation by high performance liquid chromatography coupled with evaporative light scattering detection and mass spectrometry. *Chemistry and Physics of lipids* In press.
106. **Özer, N.; Muftüoglu, M.; Ögus, I.H. (1998):** A simple and sensitive method for the activity staining of xanthine oxidase. *Journal of Biochemistry Methods* **36** 95-100.
107. **Parker, M.-C.; Besson, T.; Sylvain, L.; Legoy, M-D. (1996):** Microwave radiation can increase the rate of enzyme-catalyzed reactions in organic media. *Tetrahedron Letters* **37** (46) 8383-8386.
108. **Pinamonti, S.; Leis, M.; Barbieri, A.; Leoni, D.; Muzzoli, M.; Sostero, S.; Chicca, M.S.; Carrieri, A.; Ravenna, F.; Fabbri, L.; Ciaccia, A. (1998):** Detection of xanthine oxidase activity products by EPR and HPLC in bronchoalveolar lavage fluid from patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Free Radical Biology & Medicine* **25** (7) 771-779.
109. **Pomerai, D.; Daniells, C.; David, H.; Allan, J.; Duce, I.; Mutwakil, M.; Thomas, D.; Sewel, P.; Tattersal, J.; Jones, D.; Candido, P. (2000):** Non-thermal heat shock response to microwaves. *Nature* **405** 417-418.
110. **Porcelli, M.; Cacciapuoti, G.; Fusco, S.; Massa, R.; Ad' Ambrosio, G.; Bertoldo, C.; De-Rosa, M.; Zappoia, V. (1997):** Non-thermal effects of microwaves on proteins: thermophilic enzymes as model system. *FEBS Letter* **402** 102-106.
111. **Purnomoadi, A.; Batajoo, K.K; Ueda, K.; Terada, F. (1999):** Influence of feed source on determination of fat and protein in milk by near infrared spectroscopy. *International Dairy Journal* **9** 447-452.
112. **Raghavan, G.S.V.; Venkatachalapathy, K. (1999):** Shrinkage of strawberries during microwave drying. *Drying technology* **17** (10) 2309-2321.

-
- 113. Ramaswamy H.; van-de Voort F.R.; Raghavan G.S.V.; Lightfoot D.; Tibers G. (1991):** Feed-back temperature control system for microwave ovens using a shielded thermocouple. *Journal of Food Science* **56** (2) 550-552, 555.
- 114. Ramesh, M.; Haridas Rao, P.; Ramados, C.S. (1995):** Microwave treatment of groundnut (*Arachnis hypogaea*) extractability and quality of oil and its relation to lipase and lipoxigenase activity. *Lebensmittel Wissenschaft und Technologie* **28** 96-99.
- 115. Rattanadecho, P. (2005):** The simulation of microwave heating of wood using a rectangular wave guide: Influence of frequency and sample size. *Chemical Engineering Science* In press.
- 116. Reh, C.T.; Gerber, A. (2003):** Total solids determination in dairy products by microwave oven technique. *Food chemistry* **82** 125-131.
- 117. Rodrigez-Fernandez, C.; Beratasedui, J.; Villafafila, A. (1993):** Role of bivalent cations on the catalytic properties of an extracellular lipase of *Pseudomonas fluorescens*. *Lebensmittel Wissenschaft und Technologie* **26** 422-425.
- 118. Roy, I.; Gupta, M.N. (2003):** Non-thermal effects of microwaves on protease-catalyzed esterification and transesterification. *Tetrahedron* **59** 5431-5436.
- 119. Schäffer, B. (1976):** A tej és savanyú tejtermékek kolloid rendszerének tanulmányozása. Doktori értekezés. Agrártudományi Egyetem, Mezőgazdaságtudományi Kar, Gödöllő.
- 120. Schäffer, B.; Pallai, G. (1991):** Tejgazdasági fizika és kémia. Pannon Agrártudományi Egyetem, Mezőgazdaságtudományi Kar. Mosonmagyaróvár. Egyetemi jegyzet.
- 121. Schiffmann, R.F. (1976):** An update on the applications of microwave power in the food industry in the United States. *Journal Microwave Power* **11** 221-224.
- 122. Schmilovitch, Z.; Shmulevich, I.; Notea, A.; Maltz, E. (2000):** Near infrared spectrometry of milk in its heterogeneous state. *Computers and Electronics in Agriculture* **29** 195-207.

-
- 123. Schubert, H.; Regier, M. (2005):** The microwave processing of foods. Woodhead Publishing Limited. Cambridge, England.
- 124. Shellhammer, T.H.; Krochta, J. M. (1997):** Water vapor barrier and rheological properties of simulated and industrial milk fat fraction. Transactions of the ASAE **40** (4) 1119-1127.
- 125. Sieber, R.; Eberhard, P.; Gallmann, P.U. (1996):** Heat treatment of milk in domestic microwave oven. International Dairy Journal **6** 231-246.
- 126. Singh, H. (2005):** The milk fat globule membrane – A biophysical system for food applications. Current Opinion in Colloid & Interface Science In press
- 127. Singh, R.P.; Heldman, D.R. (2001):** Introduction to Food Engineering. Academic Press London.
- 128. Skriver, A.; Buchheim, W.; Qvist, B.K. (1995):** Electron microscopy of stirred yoghurt: ability of three techniques to visualize exo-polysaccharides from ropy strains. Milchwissenschaft **50** 683-686.
- 129. Spitzberg, V.L.; Gorewit, R.C. (1998):** Solubilization and purification of xanthine oxidase from bovine milk fat globule membrane. Protein Expression and Purification **13** 229-234.
- 130. Szabó, G. (1990a):** Gyorsfagyasztott élelmiszerek mikrohullámú felengedtetése üregezonátoros térben. Hűtőipar. **1** 14-20.
- 131. Szabó, G. (1990b):** Élelmiszer- és biotechnológiai műveletek intenzifikálása mikrohullámú energiával. IV. Vegyipari gépészeti konferencia. Budapest, május 30. – június 1. 405-419.
- 132. Szabó, G. (1991):** A mikrohullámú technika alkalmazása az élelmiszeripari és biotechnológiai gyakorlatban. Szeszipar **4** 124.-127.
- 133. Szabó, G.; Rajkó, R.; Kovács, E.; Vidal, C. (1998):** Designed experiments for reducing antinutritive agents in soybean by microwave energiey. Journal of Agricultural and Food Chemistry **45** 3565-3569.
- 134. Szakály, S. (1994):** Tejgazdaságtan. Pannon Agrártudományi Egyetem, Állattetnyésztési Kar. Kaposvár. Egyetemi jegyzet.
- 135. Szakály, S. (2001):** Tejgazdaságtan. Dinasztia kiadó. Budapest.
-

- 136. Tajchakavit, S.; Ramaswamy, H.S (1997):** Thermal vs. microwave inactivation kinetics of pectin methylesterase in orange juice under batch mode heating conditions. *Lebensmittel Wissenschaft und Technologie* **30** 85-93.
- 137. Tajchakavit, S.; Ramaswamy, H.S.; Fustier, P. (1998):** Enhanced destruction of spoilage microorganisms in apple juice during continuous flow microwave heating. *Food Research International Food. Research International* **31** (10) 713-722.
- 138. Tan, C.P.; Che Man Y.B.; Jinap, S.; Yusoff, M.S.A. (2002):** Effects of microwave heating on the quality characteristics and thermal properties of RBD palm olein. *Innovative Food Science & Emerging Technologies* **3** 157-163.
- 139. Thiebaud, M.; Dumay, E.; Picart, L.; Guiraud, J.P.; Cheftel, J.C. (2003):** High-pressure homogenization of raw bovine milk. Effects on fat globule size distribution and microbial inactivation. *International Dairy Journal* **13** 427-439.
- 140. Tsen, C.C. (1980):** Microwave energy for bread baking and its effect on the nutritive value of bread. A review. *Journal of Food Protection* **43** (8) 638-642.
- 141. Valero, E., Villamiel, M.; Sanz, J.; Martínez-Castro, I. (2000):** Chemical and sensorial changes in milk pasteurized by microwave and conventional systems during cold storage. *Food Chemistry* **70** 77-81.
- 142. Valero, E.; Sanz, J.; Martinez-Castro, I. (1999):** Volatile components in microwave and conventionally-heated milk. *Food Chemistry* **66** 333-338.
- 143. Villamiel, M.; Corzo, N.; Martínez-Castro, I.; Olano, A. (1996a):** Chemical changes during microwave treatment of milk. *Food Chemistry* **56** (4) 385-388.
- 144. Villamiel, M.; López-Fandiño, R.; Olano, A. (1996b):** Microwave pasteurization of milk in a continuous flow unit: shelf life of cow's milk. *Milchwissenschaft* **52** (12) 674-676.

-
- 145. Villamiel M.; Del Castillo D.; San Martin, C.; Corzo N. (1998):** Assessment of the thermal treatment of orange juice during continuous microwave and conventional heating. *Journal of Science Food Agricultural* **78** 196-200.
- 146. Wiking, L. (2005):** Milk fat globule stability. Doctoral thesis. Swedish University of agricultural Sciences.
- 147. Wiking, L.; Björck, J.; Nielsen, J.H. (2003):** Influence of fed composition on stability of fat globules during pumping of raw milk. *International Dairy Journal* **13** 797-803.
- 148. Yadav, G.; Lathi, P.S. (2004):** Synergism between microwave and enzyme catalysis in intensification of reactions and selectivities: transesterification of methyl acetoacetate with alcohols. *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical* **203** 51-56.
- 149. Ye, A.; Singh, H.; Taylor, M.W.; Anema, S. (2002):** Characterization of protein components of natural and heat-treated milk fat globule membranes. *International Dairy Journal* **12** 393-402.
- 150. Zhou, L.; Puri, V.M.; Anatheswaran, R.C. (1994):** Effect of temperature gradient on moisture migration during microwave heating. *Drying technology* **12** (4) 777-798.

JELMAGYARÁZAT

Jel, rövidítés	Megnevezés
d	a diszperz rész átlagos átmérője [mm]
d_b	behatolási mélység [m]
DSC	Differential scanning calorimetry (Differenciális pásztázó kaloriméter)
E	elektromos térerősség [V/cm]
E_k	enzimkatalízis
EC	Enzyme Commission
ES	intermedier komplex
f'	frekvencia [1/s; Hz]
FC	a tejminta zsírtartalma [m/m%]
FESEM	Field emission scanning electron microscopy (Emissziós elektron mikroszkóp)
FTIR	Fourier-transzformációs infravörös eljárás
g	nehézségi gyorsulás [m/s ²]
$h*f$	az elektromágneses tér kvantumának energiája
h	Planck-féle állandó
HPLC	High Pressure liquid chromatography (Magas nyomású folyadék kromatográfia)
k	Boltzmann állandó

k^*T	a test kinetikai energiája
NIR	Near infrared technology (Közeli infravörös technológia)
P	behatolási mélységben mért energia [W]
P_d	disszipált energia [W/cm ³]
P_E	reakció végterméke
P_T	a titrálás során leszívott felső rész százalékos aránya
S	szubsztrát
SEM	Scanning electron microscopy (Pásztázó elektron mikroszkóp)
S_p	a diszperziós közeg (plazma) sűrűsége [g/mm ³]
S_d	a diszper rész (zsírgolyó) sűrűsége [g/mm ³]
T	termodinamikai hőmérséklet
tan δ	veszteség tangens
TEM	Transmission electron microscopy (Transzmissziós elektronmikroszkóp)
T_T	a titrálás során fogyott KOH mennyisége [ml]
V	a titrálás során felhasznált a tej mennyisége [ml]
v	sebesség [m/s]
XO	xantin oxidáz
XRDT	X-ray diffractometer (Röntgen diffraktométer)

α	a dehidratációs egyenesek meredeksége
α'	csillapítási faktor
ε'	dielektromos állandó
λ	hullámhossz [m]
η	dinamikai viszkozitás [g/mms]

Tejminták szárításának mérési eredményei - LabView File

Dátum Idő		2005. 02. 07. 13:51					
Vizsgált anyag:		3,6% zsírtartalmú fogyasztói tej					
Iteráció (db)	Idő (min)	Tömeg (g)	Légseb. (m/s)	Belső hő (°C)	Külső hő (°C)	Külső pára (%RH)	Anyaghő (°C)
1	0.050	332.154	2.277	29.200	0	0	44.30
6	0.301	333.004	2.111	29.400	0	0	43.40
11	0.552	332.887	2.230	29.400	0	0	43.30
16	0.804	332.665	1.965	29.500	0	0	42.70
21	1.055	332.630	1.828	29.600	0	0	43.00
26	1.306	332.579	2.143	29.900	0	0	41.80
•	•	•	•	•	•	•	•
•	•	•	•	•	•	•	•
•	•	•	•	•	•	•	•
801	40.200	326.892	2.186	30.100	0	0	24.60
806	40.451	326.978	2.319	30.100	0	0	24.40
811	40.702	326.910	2.066	30.200	0	0	24.70
816	40.952	326.964	1.921	30.200	0	0	24.30
821	41.203	326.942	2.030	30.200	0	0	24.30
•	•	•	•	•	•	•	•
•	•	•	•	•	•	•	•
•	•	•	•	•	•	•	•
1786	89.638	323.374	1.942	30.100	0	0	21.80
1791	89.890	323.405	2.065	30.100	0	0	22.10
1796	90.141	323.401	1.973	30.000	0	0	22.20
1801	90.392	323.386	2.175	29.900	0	0	22.10
1806	90.643	323.357	1.727	29.900	0	0	21.80
1811	90.894	323.335	2.005	29.900	0	0	22.00
1816	91.144	323.277	2.248	29.800	0	0	22.10
•	•	•	•	•	•	•	•
•	•	•	•	•	•	•	•
•	•	•	•	•	•	•	•
2106	105.699	322.340	1.784	30.000	0	0	22.10
2111	105.950	322.310	1.717	30.000	0	0	22.30
2116	106.200	322.314	2.010	30.000	0	0	22.00
2121	106.452	322.317	1.952	29.900	0	0	22.10

Fogyasztó tej Matlab .m file

```

clear all
close all
nam=input('Név?: ','s');
namh=[nam '.txt'];

load('-ascii', namh)
F=eval(nam);
tim=F(:,2);
tim=tim-tim(1);
mes=F(:,3);
mes=mes-133.19;
p1=plot(tim,mes);
set(gcf,'color','w')
title(nam)

%k1=input('Melyik (kezdő)
időponthoz legyen közel? ');
k1=40;

k1tim=tim-k1;
fk1=find(k1tim<0);
fk2=find(k1tim>0);
pfk1=fk1(end);
pfk2=fk2(1);
p1tim=tim(pfk1);
p2tim=tim(pfk2);
p1mes=mes(pfk1);
p2mes=mes(pfk2);

pp1mes=((k1-p1tim)*(p2mes-
p1mes))/(p2tim-
p1tim))+p1mes;

%k2=input('Melyik (végső)
időponthoz legyen közel? ');
k2=90;

k3tim=tim-k2;
fk3=find(k3tim<0);
fk4=find(k3tim>0);
pfk3=fk3(end);
pfk4=fk4(1);
p3tim=tim(pfk3);
p4tim=tim(pfk4);
p3mes=mes(pfk3);
p4mes=mes(pfk4);
pp2mes=((k2-p3tim)*(p4mes-
p3mes))/(p4tim-
p3tim))+p3mes;

dk=k2-k1
dmes=pp1mes-pp2mes

szuktim=tim(pfk1:pfk3);
szukmes=mes(pfk1:pfk3);

X=[ones(size(szuktim))
szuktim];
a=X\szukmes
szukmesszamolt=szuktim.*a
(2)+a(1);
R=
corrcoef(szukmes,szukmessza
molt);
R=R(2);
RR=R^2

figure
p2=plot(szuktim, szukmes, 'b',
szuktim, szukmesszamolt, '-r');
set(gcf,'color','w')
title(nam)

FAIR=F(:,4);
FFUT=F(:,5);
FINFRA=F(:,8);
FPARA=F(:,10);
atIAIR=mean(FAIR);
atIFUT=mean(FFUT);
atIPARA=mean(FPARA);
atILegsHomPar=[atIAIR
atIFUT atIPARA]

konst=[20 20 17];
global tim FINFRA
konst1=fminsearch('tejecske',k
onst)

figure
p3=plot(tim,FINFRA);
FINFRACALC=konst1(1)+ko
nst1(2).*exp(1).^(-
tim./konst1(3));
hold on
plot(tim,FINFRACALC,'r')
axis([0 120 15 45])
set(gcf,'color','w')
title('Infra pont-hőmérő')
hold off

```

Nyerstej Matlab .m file

```

clear all
close all
nam=input('Név?: ','s');
namh=[nam '.txt'];

load('-ascii', namh)
F=eval(nam);
tim=F(:,2);
tim=tim-tim(1);
mes=F(:,3);
mes=mes-133.19;
p1=plot(tim,mes);
set(gcf,'color','w')
title(nam)

%k1=input('Melyik (kezdő)
időponthoz legyen közel? ');
k1=75;

k1tim=tim-k1;
fk1=find(k1tim<0);
fk2=find(k1tim>0);
pfk1=fk1(end);
pfk2=fk2(1);
p1tim=tim(pfk1);
p2tim=tim(pfk2);
p1mes=mes(pfk1);
p2mes=mes(pfk2);

pp1mes=(((k1-p1tim)*(p2mes-
p1mes))/(p2tim-
p1tim))+p1mes;

%k2=input('Melyik (végső)
időponthoz legyen közel? ');
k2=120;

k3tim=tim-k2;
fk3=find(k3tim<0);
fk4=find(k3tim>0);
pfk3=fk3(end);
pfk4=fk4(1);
p3tim=tim(pfk3);
p4tim=tim(pfk4);
p3mes=mes(pfk3);
p4mes=mes(pfk4);
pp2mes=(((k2-p3tim)*(p4mes-
p3mes))/(p4tim-
p3tim))+p3mes;

dk=k2-k1
dmes=pp1mes-pp2mes

szuktim=tim(pfk1:pfk3);
szukmes=mes(pfk1:pfk3);

X=[ones(size(szuktim))
szuktim];
a=X\szukmes
szukmesszamolt=szuktim.*a
(2)+a(1);
R = corrcoef
(szukmes,szukmesszamolt);
R=R(2);
RR=R^2

figure
p2=plot(szuktim, szukmes, 'b',
szuktim, szukmesszamolt, '-r');
set(gcf,'color','w')
title(nam)

FAIR=F(:,4);
FFUT=F(:,5);
FINFRA=F(:,8);
F PARA=F(:,10);
atlAIR=mean(FAIR);
atlFUT=mean(FFUT);
atlPARA=mean(F PARA);
atlLegsHomPar=[atlAIR
atlFUT atlPARA]

konst=[20 20 17];
global tim FINFRA
konst1=fminsearch('tejecske',
konst)

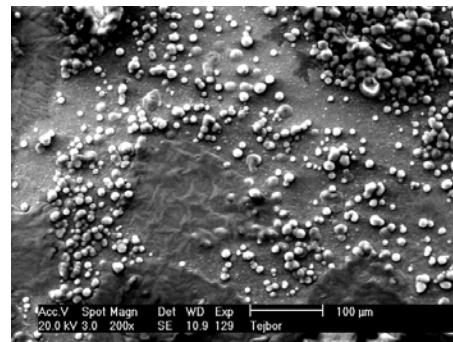
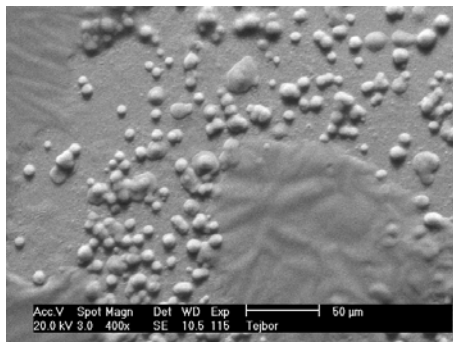
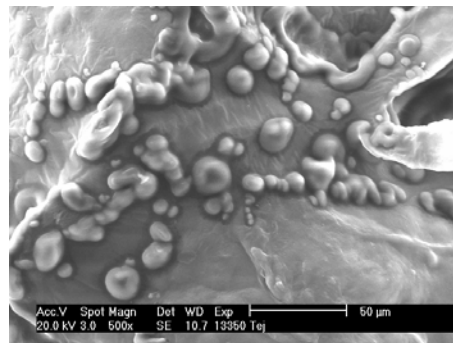
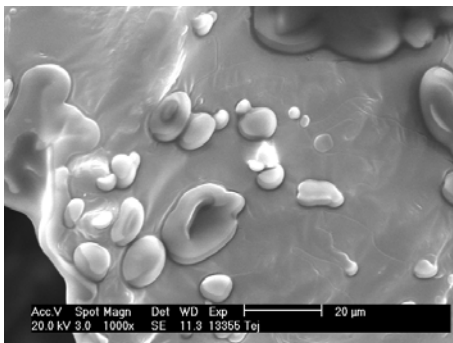
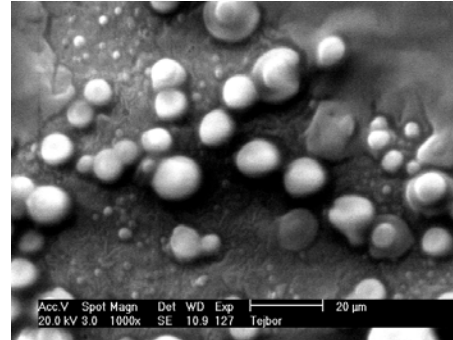
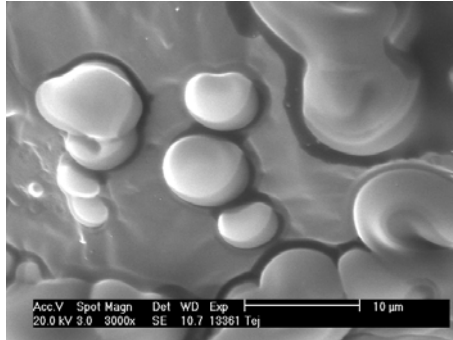
figure
p3=plot(tim,FINFRA);
FINFRACALC=konst1(1)+konst1(2).*exp(1).^(-
tim./konst1(3));
hold on
plot(tim,FINFRACALC,'r')
axis([0 125 20 30])
set(gcf,'color','w')
title('Infra pont-hőmérő')
hold off

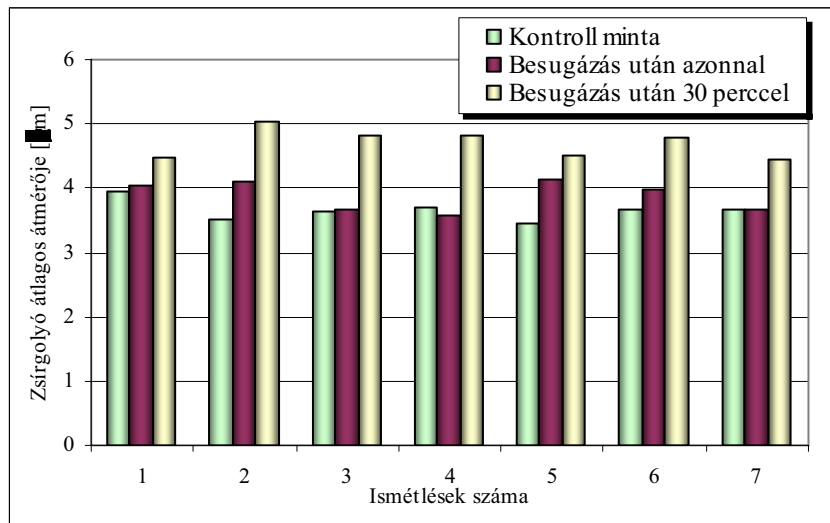
tejecske.m matlab file
function sDIF2 =
tejecske(konst)
global tim FINFRA

sDIF2=sum((FINFRA-
(konst(1)+konst(2).*exp(1).
^(-tim./konst(3))))).^2);

```

Az elektronmikroszkópos felvételek készítése során a nagy energiájú pásztázó elektronnyaláb hatására tejbőrbe integrált zsírgolyók „elfolyósodtak”.





A fogyasztói tejben lévő zsírgolyók átmérőjének változása a kontroll (nem melegített) és a kezelt (mikrohullámmal melegített) tejmintákban, közvetlen a besugárzás után, valamint a kezelés után 30 perccel.

3,6% zsírtartalmú fogyasztói tejben lévő zsírgolyók átlagos átmérőjének változása a kontroll (nem melegített) mintákban, valamint a kezelt (mikrohullámmal melegített) mintákban. A szignifikancia vizsgálat az összes mérési eredmény figyelembevételével készült. A szignifikancia szint 95%.

**Egytényezős varianciaanalízis
3,6% zsírtartalmú fogyasztói tej**

ÖSSZESÍTÉS

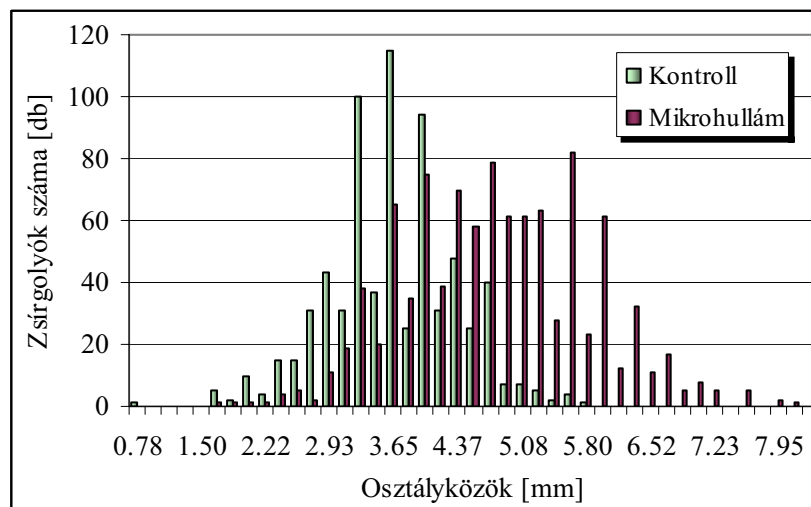
Csoportok	Darabszám	Összeg	Átlag	Variancia
Kontroll minta	1199	4381.94	3.6546	0.8282
Kezelt minta	1001	4705.70	4.7010	1.0649

VARIANCIANALÍZIS

Tényezők	SS	df	MS	F	p-érték	F krit.
Csoportok között	597.2747	1	597.27	638.1768	7.7E-124	3.845693
Csoporton belül	2057.126	2198	0.935			
Összesen	2654.401	2199				

**Kétmintás t-próba egyenlő szórásnégyzeteknél
3,6% zsírtartalmú fogyasztói tej**

	<i>Kontroll minta</i>	<i>Kezelt minta</i>
Várható érték	3.654664	4.701001
Variancia	0.828204	1.064937
Megfigyelések	1199	1001
Súlyozott variancia	0.935908	
Feltételezett átlagos eltérés	0	
df	2198	
t érték	-25.2622	
P(T<=t) egyszélű	3.9E-124	
t kritikus egyszélű	1.645547	
P(T<=t) kétszélű	7.7E-124	
t kritikus kétszélű	1.961044	



3,6% zsírtartalmú fogyasztói tejben lévő zsírgolyók eloszlása a kontroll és a kezelt (mikrohullámmal melegített) tejminták esetén.

2,8% zsírtartalmú fogyasztói tejben lévő zsírgolyók átlagos átmérőjének változása a kontroll (nem melegített) mintákban, valamint a kezelt (mikrohullámmal melegített) mintákban. A szignifikancia vizsgálat az összes mérési eredmény figyelembevételével készült. A szignifikancia szint 95%.

**Egytényezős varianciaanalízis
2,8% zsírtartalmú fogyasztói tej**

ÖSSZESÍTÉS

Csoportok	Darabszám	Összeg	Átlag	Variancia
Kontroll minta	1034	3360.89	3.2503	0.712828
Kezelt minta	1008	3983.56	3.9519	1.236126

VARIANCIANALÍZIS

Tényezők	SS	df	MS	F	p-érték	F krit.
Csoportok között	251.2304	1	251.2304	258.6958	6.78E-55	3.846021
Csoporton belül	1981.13	2040	0.971142			
Összesen	2232.36	2041				

**Kétmintás t-próba egyenlő szórásnégyzeteknél
2,8% zsírtartalmú fogyasztói tej**

	<i>Kontroll minta</i>	<i>Kezelt minta</i>
Várható érték	3.250377	3.951951
Variancia	0.712828	1.236126
Megfigyelések	1034	1008
Súlyozott variancia	0.971142	
Feltételezett átlagos eltérés	0	
df	2040	
t érték	-16.084	
P(T<=t) egyszélű	3.39E-55	
t kritikus egyszélű	1.645601	
P(T<=t) kétszélű	6.78E-55	
t kritikus kétszélű	1.961127	

2,8% zsírtartalmú fogyasztói tejben lévő zsírgolyók átlagos átmérőjének változása a kontroll (nem melegített) mintákban, valamint a kezelt (mikrohullámmal melegített) mintákban. A szignifikancia vizsgálat az 1000-1000 mérési eredmény figyelembevételével készült. A szignifikancia szint 95%.

**Egytényezős varianciaanalízis
2,8% zsírtartalmú fogyasztói tej; 1000-1000 mérés**

ÖSSZESÍTÉS

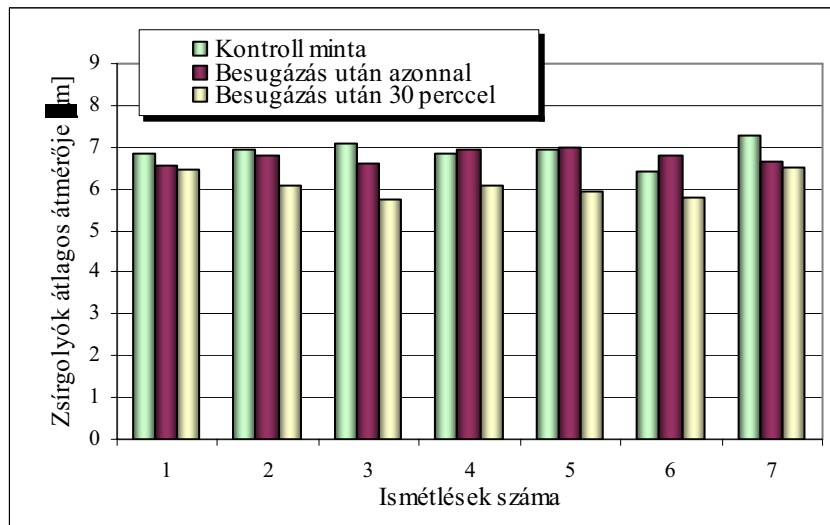
Csoportok	Darabszám	Összeg	Átlag	Variancia
Kontroll minta	1000	3264.074	3.264074	0.706919
Kezelt minta	1000	3946.626	3.946626	1.241067

VARIANCIANALÍZIS

Tényezők	SS	df	MS	F	p-érték	F krit.
Csoportok között	232.938	1	232.93	239.15	4.82E-51	3.846117
Csoporton belül	1946.03	1998	0.9739			
Összesen	2178.97	1999				

**Kétmintás t-próba egyenlő szórásnégyzeteknél
2,8% zsírtartalmú fogyasztói tej; 1000-1000 mérés**

	Kontroll minta	Kezelt minta
Várható érték	3.264074	3.946626
Variancia	0.706919	1.241067
Megfigyelések	1000	1000
Súlyozott variancia	0.973993	
Feltételezett átlagos eltérés	0	
df	1998	
t érték	-15.4648	
P(T<=t) egyszélű	2.41E-51	
t kritikus egyszélű	1.645617	
P(T<=t) kétszélű	4.82E-51	
t kritikus kétszélű	1.961152	



A nyers tejben lévő zsírgolyók átmérőjének változása a kontroll és a kezelt (mikrohullámmal melegített) tejmintákban, közvetlen a besugárzás után, valamint a kezelés után 30 perccel.

Nyers tejben lévő zsírgolyók átlagos átmérőjének változása a kontroll (nem melegített) mintákban, valamint a kezelt (mikrohullámmal melegített) mintákban. A szignifikancia vizsgálat az összes mérési eredmény figyelembevételével készült. A szignifikancia szint 95%.

Egytényezős varianciaanalízis
Nyers tej

ÖSSZESÍTÉS

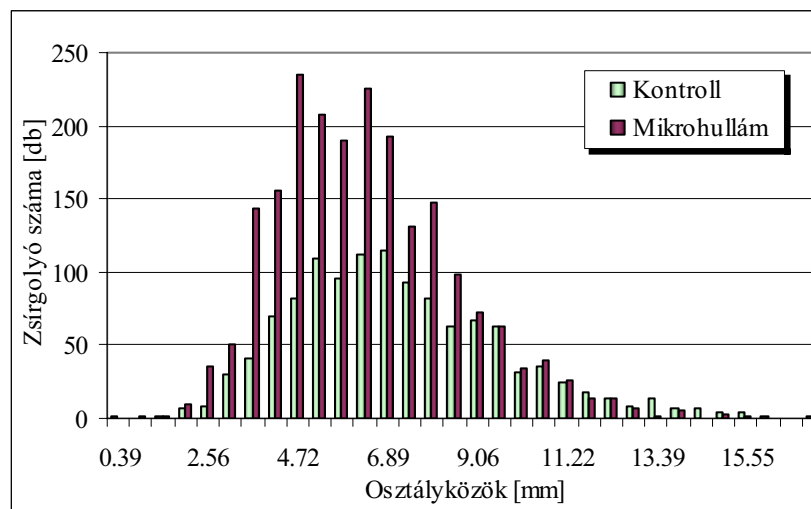
Csoportok	Darabszám	Összeg	Átlag	Variancia
Kontroll minta	1207	8342.101	6.91	6.637208
Kezelt minta	2100	12806.64	6.09	4.692823

VARIANCIANALÍZIS

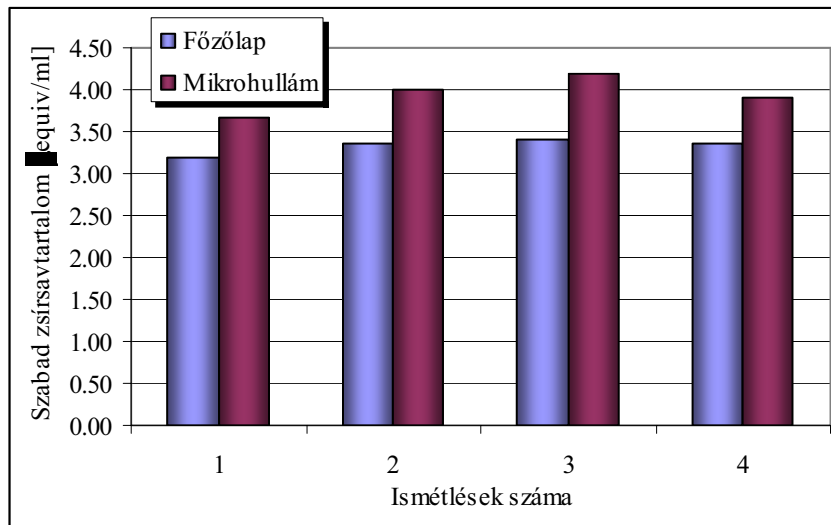
Tényezők	SS	df	MS	F	p-érték	F krit.
Csoportok között	506.6520	1	506.6	93.78396	6.855E-22	3.844
Csoporton belül	17854.70	3305	5.402			
Összesen	18361.35	3306				

Kétmintás t-próba egyenlő szórásnégyzeteknél
Nyers tej

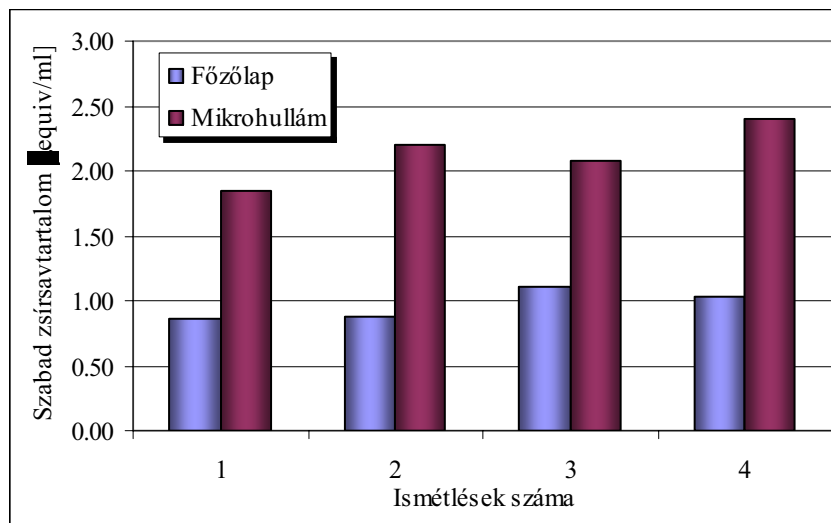
	<i>Kontroll minta</i>	<i>Kezelt minta</i>
Várható érték	6.911434452	6.098400409
Variancia	6.637207999	4.692822772
Megfigyelések	1207	2100
Súlyozott variancia	5.402332177	
Feltételezett átlagos eltérés	0	
df	3305	
t érték	9.684211671	
P(T<=t) egyszélű	3.42799E-22	
t kritikus egyszélű	1.645314807	
P(T<=t) kétszélű	6.85599E-22	
t kritikus kétszélű	1.960681973	



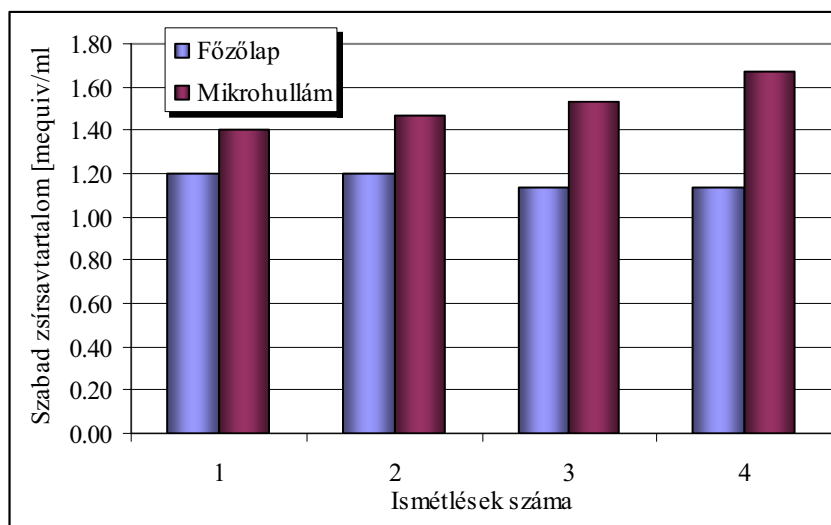
Nyers tejben lévő zsírgolyók eloszlása a kontroll és a kezelt (mikrohullámmal melegített) tejminták esetén.



3,6% zsírtartalmú fogyasztói tej szabad zsírsav tartalmának megváltozása mikrohullámú és főzőlapon történő melegítés után – titrálás.



2,8% zsírtartalmú fogyasztói tej szabad zsírsav tartalmának megváltozása mikrohullámú és főzőlapon történő melegítés után – titrálás.



1,5% zsírtartalmú fogyasztói tej szabad zsírsav tartalmának megváltozása
mikrohullámú és főzőlapon történő melegítés után – titrálás.

Tejben mérhető szabad zsírsav tartalom HPLC-s mérési eredményei a főzőlapos és a mikrohullámú melegítés hatására.

	Mirisztinsav	Mirisztinsav keverékben	Palmitinsav	Palmitinsav keverékben	Olajsav	Olajsav keverékben	Sztearinsav	Sztearinsav keverékben
Retenciósi idő [min]	3.145	2.742	4.345	4.345	4.825	3.912	6.389	4.6/4.4
Főzőlap 1	452097	380937	273102	300064	262380	319431	-	273102
Főzőlap 2	145798	230512	22772	110612	-	31256	-	22772
Főzőlap 3	361066	680018	751703	283460	-	-	-	751703
Főzőlap 4	300691	196262	22711	211103	19637	178269	-	22711
Főzőlap 5	685729	521471	124359	1095237	-	-	-	145780
Főzőlap 6	-	808139	948311	-	-	-	-	948311
Főzőlap 7	640279	-	371046	1052624	582108	-	-	371046
Tertületek átlaga	430943.33	469556.50	359143.43	508850.00	288041.67	176318.67		362203.57
	Mirisztinsav	Mirisztinsav keverékben	Palmitinsav	Palmitinsav keverékben	Olajsav	Olajsav keverékben	Sztearinsav	Sztearinsav keverékben
Retenciósi idő [min]	3.145	2.742	4.345	4.345	4.825	3.912	6.389	4.6/4.4
Mikrohullám 1	529600	998265	563504	531176	-	563504	-	834951
Mikrohullám 2	412996	922038	397069	412996	122186	410007	-	397069
Mikrohullám 3	702775	1054808	-	702775	1008424	772338	-	399232
Mikrohullám 4	611080	1028765	-	611080	-	519804	-	904468
Mikrohullám 5	555324	587250	-	555327	514008	475284	-	236157
Mikrohullám 6	750754	1296665	329728	750754	522250	914849	-	329728
Mikrohullám 7	585323	575139	283919	379110	502231	536448	-	283919
Tertületek átlaga	592550.29	923275.71	393555.00	563316.86	444850.64	598890.57		483646.29

3,6% zsírtartalmú fogyasztói tejben lévő szabad zsírsav tartalom megváltozása a mikrohullámú melegítés és a főzőlapon történő melegítés hatására. A szignifikancia vizsgálat a 7 ismétlés figyelembevételével készült. A szignifikancia szint 95%.

Egytényezős varianciaanalízis
A 3,6% zsírtartalmú fogyasztói tej szabad zsír savtartalmának megváltozása

ÖSSZESÍTÉS

<i>Csoportok</i>	<i>Darabszám</i>	<i>Összeg</i>	<i>Átlag</i>	<i>Variancia</i>
Főzőlap	7	259.505717	37.07224524	128.84922
Mikrohullám	7	408.905451	58.41506449	274.48116

VARIANCIANALÍZIS

Tényezők	SS	df	MS	F	p-érték	F krit.
Csoportok között	1594.305	1	1594.3057	7.90572	0.015697	4.7472
Csoporton belül	2419.982	12	201.6651			
Összesen	4014.288	13				

Kétmintás t-próba egyenlő szórásnégyzeteknél
A 3,6% zsírtartalmú fogyasztói tej szabad zsírsav tartalmának megváltozása

	<i>Főzőlap</i>	<i>Mikrohullám</i>
Várható érték	37.07224524	58.4150645
Variancia	128.8492204	274.481165
Megfigyelések	7	7
Súlyozott variancia	201.6651925	
Feltételezett átlagos eltérés	0	
t érték	-2.811708773	
P(T<=t) egyszélű	0.007849785	
t kritikus egyszélű	1.782286745	
P(T<=t) kétszélű	0.01569957	
t kritikus kétszélű	2.178812792	

Tiszta enzimszuszpenzióban mérhető szabad zsírsav tartalom HPLC-s mérési eredményei a főzőlapon történő és a mikrohullámú melegítés hatására

Retenciósi idők	Főzőlap	Főzőlap	Főzőlap	Főzőlap	Főzőlap
	1. Ismétlés	2. Ismétlés	3. Ismétlés	4. Ismétlés	5. Ismétlés
2.85	14200081	16074172	14820665	20467507	15482909
2.95	6557493	6069434	7163886	9703402	7464708
3.057	7611758	7194398	8453218	11591361	8889910
3.176	8483082	7846085	9335659	12710123	9673586
3.308	8322330	7884651	9355286	12672622	9611876
3.455	7461264	7082563	8334211	11545184	8677815
3.619	6011052	5826258	6726778	9307162	6940830
3.787	4213334	4279776	4743901	6590693	4904325
3.969	2330629	2705155	2605597	3596447	2656758
4.181	893455	1559363	983381	1325491	983704
4.457	262378	1230049	250424	326054	243225
4.838	109025	1563403	77123	105525	79206
Retenciósi idők	Mikrohullám	Mikrohullám	Mikrohullám	Mikrohullám	Mikrohullám
	1. Ismétlés	2. Ismétlés	3. Ismétlés	4. Ismétlés	5. Ismétlés
2.85	10740288	18393045	13538866	21468098	12548506
2.95	4989917	8803580	6564765	10157822	6053699
3.057	5980512	10442032	7753422	11937046	7164611
3.176	6527764	11476602	8465852	13103011	7914784
3.308	6475920	11436290	8478663	13231703	7841225
3.455	5814601	10379982	7544469	12091301	7003565
3.619	4600848	8338356	6076912	9732417	5591628
3.787	3241794	5866364	4282100	6958746	3940751
3.969	1779168	3217557	2343360	3796628	2156686
4.181	661000	1181469	859471	1394351	790822
4.457	163613	283051	206014	333858	188598
4.838	54177	96542	68925	113477	62955

Tiszta enzimszuspenzióban lévő szabad zsírsav tartalom megváltozása a főzőlapon történő melegítés és a mikrohullámú melegítés hatására. A szignifikancia vizsgálat 5 ismétlés figyelembevételével készült. A szignifikancia szint 95%.

Egytényezős varianciaanalízis
Az enzimszuspenzió szabad zsírsav tartalmának megváltozása

ÖSSZESÍTÉS

<i>Csoportok</i>	<i>Darabszám</i>	<i>Összeg</i>	<i>Átlag</i>	<i>Variancia</i>
Főzőlap	5	384171740	76834348	1.7889+14
Mikrohullám	5	37270357	74540718	4.805E+14

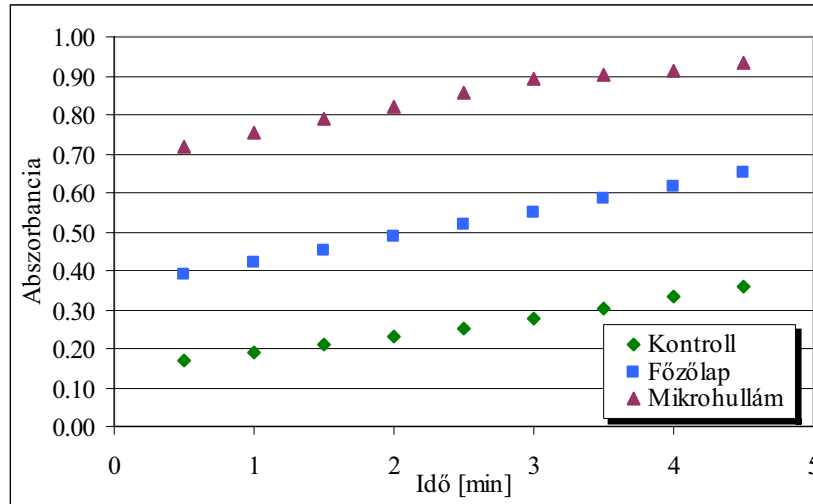
VARIANCIANALÍZIS

<i>Tényezők</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>p-érték</i>	<i>F krit.</i>
Csoportok között	1.3151+13	1	1.3151E+13	0.03988	0.846	5.3176
Csoporton belül	2.631E+15	8	3.2971E+14			
Összesen	2.656E+15	9				

Kétmintás t-próba egyenlő szórásnégyzeteknél
Az enzimszuspenzió szabad zsírsav tartalmának megváltozása

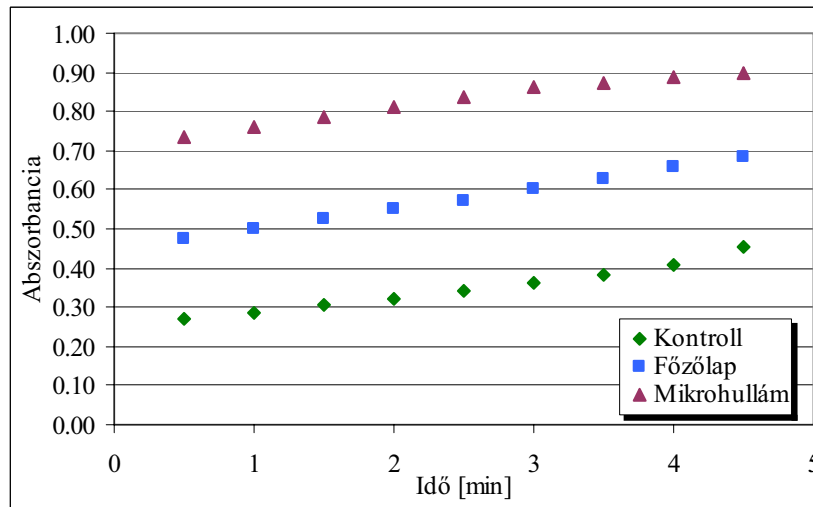
	<i>Főzőlap</i>	<i>Mikrohullám</i>
Várható érték	76834348	74540715.8
Variancia	1.78892E+14	4.80535E+14
Megfigyelések	5	5
Súlyozott variancia	3.29714E+14	
Feltételezett átlagos eltérés	0	
df	8	
t érték	0.19972175	
P(T<=t) egyszélű	0.42334071	
t kritikus egyszélű	1.859548033	
P(T<=t) kétszélű	0.84668142	
t kritikus kétszélű	2.306004133	

A xantin oxidáz előkísérleteinek mérési eredményei



A xantin oxidáz előkísérleteinek mérési eredményei

I. ismétlés



A xantin oxidáz előkísérleteinek mérési eredményei

II. ismétlés

Tejmintában lévő hidrogén peroxid tartalom megváltozása a mikrohullámú a főzőlapon történő melegítés és a mikrohullámú melegítés hatására. A szignifikancia vizsgálat 5 ismétlés figyelembevételével készült. A szignifikancia szint 95%.

Egytényezős varianciaanalízis
Tejminták hidrogénperoxid tartalmának megváltozása

ÖSSZESÍTÉS

<i>Csoportok</i>	<i>Darabszám</i>	<i>Összeg</i>	<i>Átlag</i>	<i>Variancia</i>
Főzőlap	21	70.7431	3.368719	0.006648
Mikrohullám	21	73.2495	3.488071	0.00282

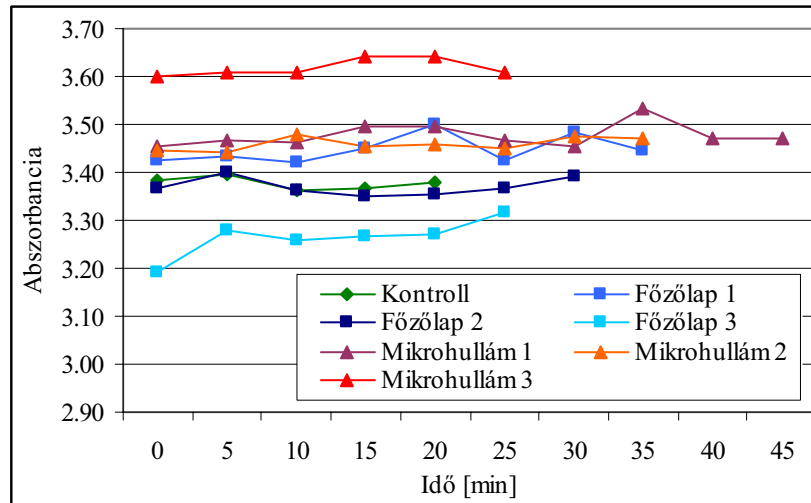
VARIANCIANALÍZIS

<i>Tényezők</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>p-érték</i>	<i>F krit.</i>
Csoportok között	0.1495724	1	0.149572	31.59746	1.61E-06	4.08474
Csoporton belül	0.1893474	40	0.004734			
Összesen	0.3389198	41				

Kétmintás t-próba egyenlő szórásnégyzeteknél
Tejminták hidrogénperoxid tartalmának megváltozása

	<i>Főzőlap</i>	<i>Mikrohullám</i>
Várható érték	3.368719	3.4880714
Variancia	0.006648	0.0028196
Megfigyelések	21	21
Súlyozott variancia	0.0047337	
Feltételezett átlagos eltérés	0	
df	40	
t érték	5.6211615	
P(T<=t) egyszélű	8.05E-07	
t kritikus egyszélű	1.6838521	
P(T<=t) kétszélű	1.61E-06	
t kritikus kétszélű	2.0210746	

XIX. Melléklet



A tejmintákban lévő hidrogén peroxid abszorbanciájának változása a kontroll minták esetén, valamint a mikrohullámú és a főzőlapon történő melegítések során.

Tiszta enzimsuszpenzióban lévő hidrogén peroxid tartalom megváltozása a főzőlapon történő melegítés és a mikrohullámú melegítés hatására. A szignifikancia szint 95%.

Egytényezős varianciaanalízis
Enzimsuszpenzióban lévő hidrogén peroxid abszorbanáciájának megváltozása

ÖSSZESÍTÉS

<i>Csoportok</i>	<i>Darabszám</i>	<i>Összeg</i>	<i>Átlag</i>	<i>Variancia</i>
Főzőlap	9	36.054	4.006	0.176149
Mikrohullám.	6	28.3736	4.7289333	0.1290378

VARIANCIAANALÍZIS

<i>Tényezők</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>p-érték</i>	<i>F krit.</i>
Csoportok között	1.881477376	1	1.8814774	11.905875	0.0043041	4.6671927
Csoporton belül	2.054381173	13	0.1580293			
Összesen	3.935858549	14				

Kétmintás t-próba egyenlő szórásnégyzeteknél
Enzimsuszpenzióban lévő hidrogén peroxid abszorbanáciája

	<i>Főzőlap</i>	<i>Mikrohullám</i>
Várható érték	3.7818333	4.728933333
Variancia	0.0980634	0.129037839
Megfigyelések		6
Súlyozott variancia	0.113550595	
Feltételezett átlagos eltérés		0
df		10
t érték	4.868125407	
P(T<=t) egyszélű	0.000326718	
t kritikus egyszélű	1.812461102	
P(T<=t) kétszélű	0.000653436	
t kritikus kétszélű	2.228138842	

Tiszta enzimsuszpenzióban lévő húgysav tartalom megváltozása a főzőlapon történő melegítés és a mikrohullámú melegítés hatására. A szignifikancia szint 95%.

Egytényezős varianciaanalízis
Enzimsuszpenzióban lévő húgysav abszorbanciája

ÖSSZESÍTÉS

<i>Csoportok</i>	<i>Darabszám</i>	<i>Összeg</i>	<i>Átlag</i>	<i>Variancia</i>
Főzőlap	9	2.3156	0.257289	1.18E-05
Mikrohullám	6	1.9547	0.325783	3.72E-05

VARIANCIAANALÍZIS

<i>Tényezők</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	F	<i>p-érték</i>	F krit.
Csoportok között	0.0168894	1	0.016889	782.4799	5.32E-13	4.667193
Csoporton belül	0.0002806	13	2.16E-05			
Összesen	0.01717	14				

Kétmintás t-próba egyenlő szórásnégyzeteknél
Enzimsuszpenzióban lévő húgysav abszorbanciája

	<i>Főzőlap</i>	<i>Mikrohullám</i>
Várható érték	0.255433	0.3257833
Variancia	6.5E-06	3.72E-05
Megfigyelések	6	
Súlyozott variancia	2.185E-05	
Feltételezett átlagos eltérés	0	
df	10	
t érték	26.068571	
P(T<=t) egyszélű	7.94E-11	
t kritikus egyszélű	1.8124611	
P(T<=t) kétszélű	1.588E-10	
t kritikus kétszélű	2.2281388	