



Élelmiszertudományi Kar

Budapesti Corvinus Egyetem
Élelmiszertudományi Kar
Hűtő- és Állattermék Technológiai Tanszék
és
Fizika- Automatika Tanszék

SAJTOK ÉRÉS ALATTI ÁLLOMÁNYVÁLTOZÁSÁNAK VIZSGÁLATA KÜLÖNBÖZŐ RONCSOLÁSMENTES ÉS RONCSOLÁSOS MÓDSZEREKKEL

TDK Dolgozat

SIMON NATÁLIA

Élelmiszermérnök BSc III. évfolyam



Témavezetők:

Pásztorné Dr. Huszár Klára egyetemi docens
Dr. Kaszab Tímea egyetemi tanársegéd

TÁMOP-4.2.1/B-09/1/KMR-2010-0005
TÁMOP-4.2.2/B-10/1-2010-0023

Budapest
2014

RÖVIDÍTÉSEK

Fizikai mennyiségek

A	a henger felülete, m^2
c	terjedési sebesség
D_{max}	maximális deformáció, mm
$E_{10\%}$	Young modulus (10%-os meredekségből), MPa
E_{Fmax}	Young modulus (maximális erő/deformáció), MPa
f	hullám frekvenciája, Hz
F	nyomóerő, N
F_{max}	maximális erő, N
$F/\Delta l$	a terhelő görbe lineáris szakaszának meredeksége, N/m
i	mintavétel
l	a henger eredeti magassága, m
Δl	a terhelés úthossza, m
S	súlypont, μs
T_A	átlagolási idő, mintavétel száma
T	periódusidő, μs
t_1 és t_2	a kimeneti jel („energiacsomag”) kezdetének és végének időpontja
t_{kcs}	késleltetési idő (a jel csúcsánál), μs
t_{kl}	késleltetési idő (a jel lábánál), μs
v_{cs}	terjedési sebesség (a jel csúcsánál), m/s
v_l	terjedési sebesség (a jel lábánál), m/s
W_{δ}	összes vagy befektetett munka, J
W_r	rugalmas vagy visszanyert munka, J
λ	hullámhossz, nm

Fogalmak rövidítései

SMS	Stable Micro System
-----	---------------------

TARTALOMJEGYZÉK

RÖVIDÍTÉSEK	1
TARTALOMJEGYZÉK	2
1. BEVEZETÉS	3
2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS	4
2.1.1. Sajtkészítés alapjai	4
2.1.1.1. Gouda sajt.....	4
2.1.1.2. Óvári light sajt	5
2.1.2. A sajt érése során végbemenő folyamatok	7
2.1.2.1. Tejcukorbontás	8
2.1.2.2. Fehérjebontás.....	8
2.1.2.3. Zsírbontás	8
2.1.2.4. A sajttésztában végbemenő változások	9
2.1.3. A gyártástechnológia során előforduló termékhibák	9
2.2. Ultrahangos állományvizsgálat	9
2.2.1. Az ultrahang alkalmazásai	10
2.2.2. Alkalmazása az élelmiszer-tudományban	11
2.3. Kvázistatikus állományvizsgálat	12
Rugalmassági teszt	14
2.4. Szakirodalmi eredmények összefoglalása	15
3. CÉLKITŰZÉS.....	16
4. ANYAGOK ÉS MÓDSZEREK.....	17
4.1. Anyagok	17
4.1.1. Gouda és Óvári light sajtok	17
4.1.2. Tárolási körülmények.....	18
4.2. Módszerek	18
4.2.1. Ultrahangos vizsgálat	18
4.2.2. Kvázistatikus vizsgálat – rugalmassági teszt	20
4.3. Értékelési módszerek.....	22
5. EREDMÉNYEK ÉS KÖVETKEZTETÉSEK	24
5.1. Ultrahangos vizsgálat eredményei.....	24
5.2. Rugalmassági teszt eredményei.....	32
6. ÖSSZEFOGLALÁS	38
7. JAVASLATOK TOVÁBBI TUDOMÁNYOS MUNKÁRA, GYAKORLATI ALKALMAZÁSRA.....	41
8. IRODALOMJEGYZÉK.....	42
9. MELLÉKLET	45
9.1. Táblázatjegyzék.....	45
9.2. Ábrajegyzék	45

1. BEVEZETÉS

A nemzetközi szakirodalom áttekintése alapján arra a következtetésre jutottam, hogy a mai napig fontos kérdés, illetve felmerülő probléma a sajtok eltarthatósága és tárolása (főként a mikrobiológiai szennyeződések miatt). Sokszor olyan termékek kerülnek ki a piacra/boltokba, melyek még nem érték el a kellő érettségi fokot, így más ízt, aromát mutatnak. A kiéleződő piaci verseny miatt is a gyorsérlelésű sajtokat részesítik előnyben.

Mivel a sajt az egyik legrégebb óta előállított és fogyasztott tejtermék, így a fogyasztók számára az ár mellett egyre fontosabbá válik a megfelelő minőség, és tápérték.

A „minőség” egy rendkívül összetett, és sokszínű fogalom. Értelmezése: megbízhatóság, szabványnak való megfelelés, vevői elégedettség, hasznosság. A minőségnek van objektív, és szubjektív oldala is. A mérhető tulajdonságok (kémiai, fizikai) képezik a minőség objektív oldalát. A szubjektív oldalát pedig az emberi tényezők határozzák meg. Nem funkcionális emberi tényezőnek minősíthetők az esztétikai követelmények, a forma, a szín, a márka, a presztízs stb.

A legtöbb sajt még azt követően is érik, hogy megvásároljuk a boltban és hazaviszük. Éppen ezért ügyelnünk kell a megfelelő tárolási körülmények kialakítására. Ha a tárolás nem megfelelő, akkor a sajtok aromaanyagai nem alakulnak, ill. nem őrződnek meg kellőképpen. Ha melegben tároljuk, érése felgyorsulhat, míg a túlzott hűtés hatására megkeseredhet. Minden sajttípus más- és más tárolási körülményeket igényel, de hosszabb időtartamú tárolás esetén az 5-6°C körüli hőmérséklet a megfelelő. Nem csak a hőmérséklet, hanem a megfelelő páratartalom (80-90% körüli), illetve a szellőzés is igen fontos. A megvásárolt sajtot általában hűtőszekrényben tároljuk. Amikor az eredeti tömböket felnyitjuk, s a sajtot felvágjuk, a vágási felület fokozott védelmet igényel. Ha azt fedetlenül hagyjuk, akkor a sajt kiszárad, vagy az oda lecsapódó légnedvesség miatt megpenészedik, s mindkettő tönkreteszi az ízt, állagát.

Belátható, hogy az élelmiszerek érzékszervi tulajdonságai között a fogyasztó számára az állománynak épp oly fontos szerepe van, mint az íznek vagy az illatnak. Mivel a minőségellenőrzésben egyre nagyobb teret nyernek a roncsolásmentes vizsgálati módszerek, ezért fontosnak tartom az új módszerek, mint például ultrahang alkalmazását. Emellett szól, hogy a passzív ultrahang nem okoz szerkezetbeli változást, ennek oka (a nagy frekvencia és) az alacsony intenzitás (Budó, Pócza 1962).

„a kenyér és a sajt az egészséges ember számára fontos étek, de ha beteg vagy a sajtot kenyér nélkül edd” (Salernei-iskola egészségügyi szabálya)

(Molnár és Molnár, 1999)

2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS

2.1.1. *Sajtkészítés alapjai*

Azokat a termékeket nevezzük sajtnak, melyeket tejből, tejszínből, vagy ezek keverékéből oltós (tejoltó enzim hozzáadásával), savas vagy vegyes alvasztással állítanak elő (fehérje-dús termék). Ezek a termékek frissen, vagy egy bizonyos érlelési idő után válnak fogyaszthatóvá (Szakály, 2001).

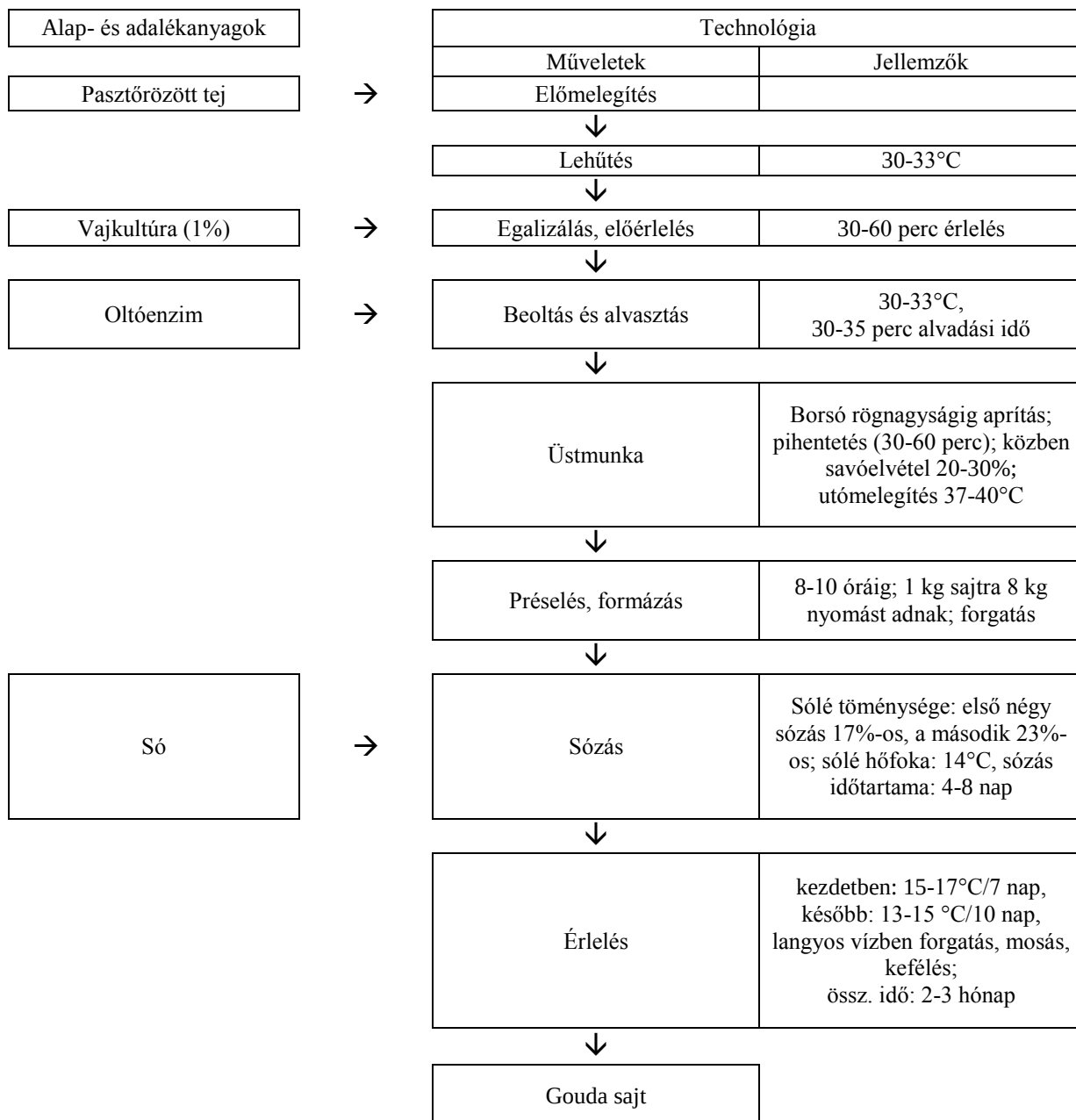
A sajt koncentrált formában tartalmazza a tej értékes összetevőit. A tej pedig tartalmazza az ember számára nélkülözhetetlen fehérjét, esszenciális aminosavakat, zsírokat, szénhidrátokat, ásványi anyagokat, valamint vitaminokat, pl.: a csontképzéshez szükséges kalciumot. A tej és tejtermékek fogyasztásával csökkenthető a csonttritkulás kialakulásának kockázata. Ezért is nélkülözhetetlen élelmiszer a növekedésben lévő gyermekek, a szoptató kismamák, az idősebbek számára is.

Amellett, hogy a betegségek megelőzésében is nagy szerepet játszik a sajt, további élettani hatása, hogy jellegzetes ízének és aromájának köszönhetően étvágygerjesztő, ami elősegíti az emésztőnedvek kiválasztását, ezáltal pedig a táplálék megemésztését. A sajtgyártás alapanyagaként a tej - nagy biológiai értékénél fogva - kiváló táptalajt nyújt a mikrobák számára is, ezért gyorsan romló. Ezzel szemben a sajtok nagy előnye, hogy megfelelő körülmények között romlás nélkül hosszabb ideig tárolhatók (Molnár J., 1999; Csapó és Csapóné, 2002)

2.1.1.1. *Gouda sajt*

A Gouda holland eredetű, félkemény sajt, nevét legnagyobb piacáról, Gouda városáról kapta. A parasztgazdaságok legkedveltebb sajtja. Gyártása Magyarországon Csiszár József nevéhez fűződik.

A félkemény sajtokat általában szilárd, de jól vágható állomány és több hetes érési idő jellemzi. Egész tömegükben egyenletesen érnek. Jellemzője, hogy a korong alakú sajt magassága az átmérő 1/3-ad része. Súlya 4-20 kg között változik. Jó minőségű, édes, pasztörözött tejből készül. Hőkezelés után a tejet 30-33°C-ra lehűtik és 1% vajkultúra hozzáadásával 30-60 percig érlelik. A Gouda jellegzetes, karakteres íze miatt önmagában, vagy hideg- és melegkonyhai készítményekben felhasználva is remek ízhatást kelt. (Molnár és Molnár 1999; Óvártéj Zrt.) A Gouda sajt gyártástechnológiáját az 1. ábra szemlélteti.



1. ábra: Gouda sajt gyártástechnológiája (Molnár és Molnár, 1999)

2.1.1.2. Óvári light sajt

Az óvári sajtgyártás több mint egy évszázados múltra tekint vissza. Története szorosan összefonódik az 1903-ban alapított Magyar Királyi Tejgazdasági Állomás, valamint a Magyar Tejgazdasági Kísérleti Intézet történetével. Az első kis sajtüzemet 1905-ben Ujhelyi Imre hozta létre, melyet később Csizsár József korszerűsített. A régi, bevált hagyományokkal rendelkező üzemben, a magyar sajtgyártási eljárásokon alapuló technológiával Trappista, Edami, Gouda, Óvári, ízesített, füstölt, light sajt, valamint Kashkaval sajtokat állít elő.

Az Óvári sajt tehéntejből, tejsavbaktérium-színnyészet, és alvasztóenzim, esetleg kalcium-klorid és kálium- vagy nátrium-nitrát hozzáadásával készített, sózott, érlelt

jellegzetes érzékszervi tulajdonságú, oltós alvasztású, félkemény, röglyukas sajt (Magyar Élelmiszerkönyv, 2012).

Érésükben szerepe van a kéregflórának (rúzsflórának) is. A sajtok állománya lehet majdnem lágy, ezek átmentet képeznek a lágy- és félkemény sajtok között, de lehet egészen vágható is. Ennek megfelelően súlyuk és érési idejük is különböző. Az óvári sajtok közé tartozik az óvári, a Moson megyei csemege sajt, és a lágysajtok felé átmentet képző Lajta sajt (Molnár és Molnár, 1999).

Az 1. Táblázatban a Magyar Élelmiszerkönyv által meghatározott szárazanyag-, zsír- és sótartalom tűréshatárok találhatók zsíros és félszíros sajt esetében.

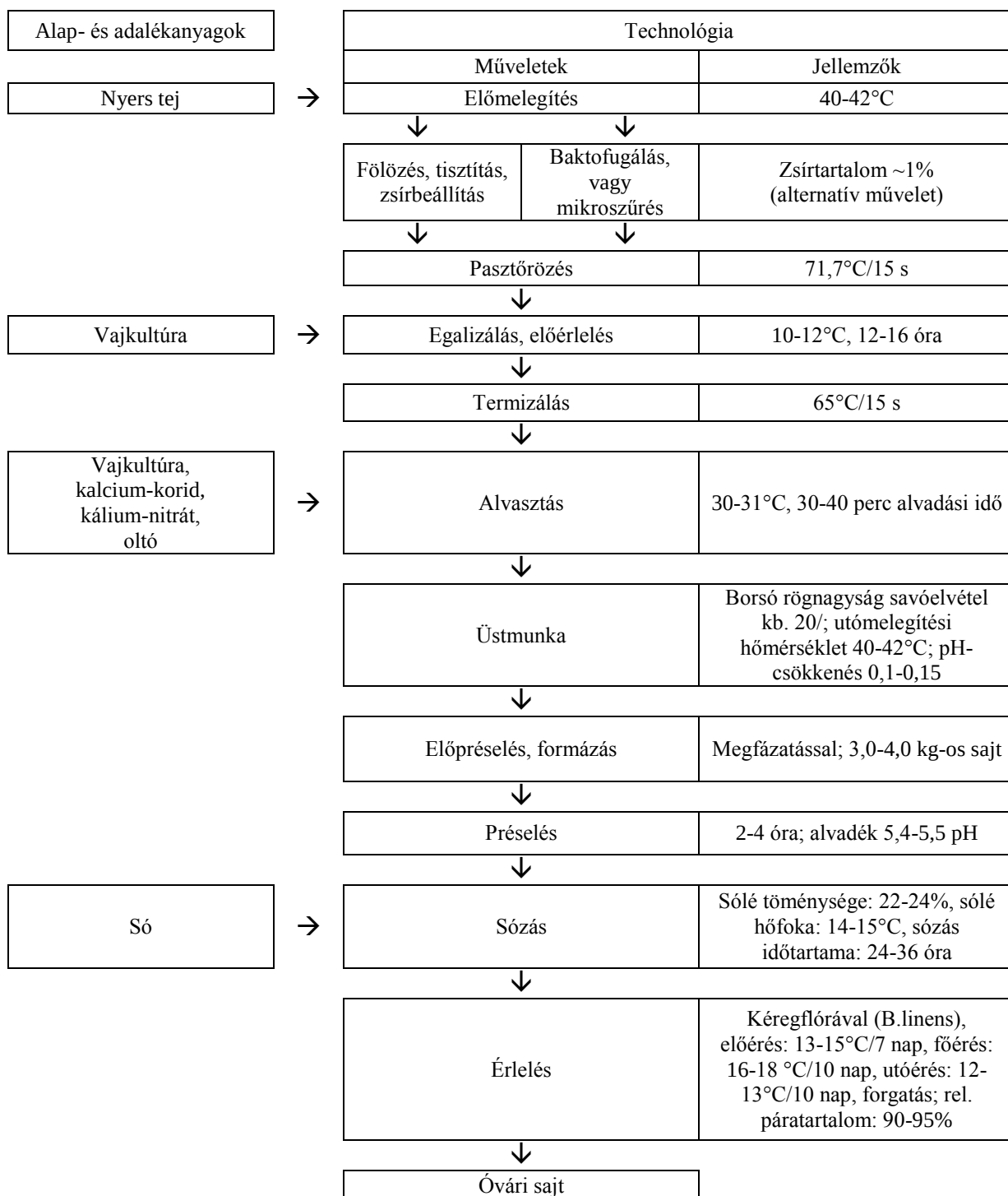
Ezen sajtok érzékszervi jellemzői a Magyar Élelmiszerkönyv 1-3/51-1 számú előírása (2005.) szerint:

- Külső: fóliába csomagolt, egész sajt: korong vagy hasáb alakú, az alap- és fedőlapja sík, az oldalfelülete enyhén kidomborodó, a fólia sértetlen, egyenletesen simul a sajt felületére, kéreg nélküli, a felület egyenletesen halványsárga színű, száraz vagy enyhén zsíros vagy kissé nyirkos tapintású. Fóliába csomagolt, darabolt vagy szeletelt sajt: szabályos alakú darabok vagy szeletek, a fólia sértetlen, feszesen vagy kissé lazán simul a sajt felületére, vákuumcsomagolás esetén a légmentesítésből adódó kisebb mértékű deformálódás nem kifogásolható.
- Belső: a sajttészta egyenletesen szalmasárga színű, a metszéslapon egyenletes eloszlásban nagyszámú kis- és közepes méretű röglyuk látható.
- Állomány: jól vágható, rugalmas, hajlítható, szájban elomló.
- Szag: jellegzetesen, enyhén aromás.
- Íz: jellegzetesen zamatos, enyhén savanykás, kellemesen sós, telt.

1. Táblázat: Zsíros és félszíros sajtok szárazanyag-, zsír- és sótartalma (Magyar Élelmiszerkönyv, 2012)

Jellemző	Követelmények az egyes zsírfokokozatokban	
	Zsíros	Félszíros
Szárazanyag-tartalom, g/100g	58,0 ± 2,5	55,0 ± 2,5
Zsírtartalom a szárazanyagban, g/100g	47,5 ± 2,5	32,0 ± 2,5
Sótartalom (NaCl-ban kifejezve), g/100g	1,5 ± 0,5	

Az Óvári light sajt gyártástechnológiáját a 2. ábra szemlélteti.



2. ábra: Az Óvári light sajt általános gyártástechnológiája (Szakály, 2001)

2.1.2. A sajt érése során végbemenő folyamatok

A sajt érése során bonyolult fizikai, kémiai, és biológiai folyamatok mennek végbe, melyeket enzimek irányítanak. Ezek a sajt felületén vagy a sajtban elszaporodott mikroorganizmusoktól származnak. . Az oltó, a tej megalvasztásán kívül fehérje bontást is

végez, s ennek bomlástermékei serkentik a tejsavbaktériumok működését. Az érésének köszönhető a sajt jellegének kialakulása (Molnár és Molnár, 1999).

2.1.2.1. Tejcukorbontás

A sajtkészítés technológiájától függ a tejcukor lebontásának üteme, és mértéke. A tejcukor legnagyobb részét a tejsavbaktériumok bontják le tejsavvá (egy részéből savakat, etilalkoholt, aldehideket, széndioxidot stb. állítanak elő). A kemény sajtokban gyorsabban bomlik le a cukor, mint a lágyabb sajtokban. A keletkező tejsav a kalcium-parakazeinát-kalcium-foszfát komplexről a kalciumot lehasítja, és tejsavas kalciumsók (laktátok) jönnek létre. Az érés során a laktátokból széndioxid, propionsav, ecetsav, hangyasav stb. keletkezik. A széndioxid hatására pedig erjedési lyukak képződnek (Molnár és Molnár, 1999).

2.1.2.2. Fehérjebontás

A fehérjék vízben oldhatatlan fehérjeként vannak jelen a friss sajtban. A fehérjebontó enzimek hatására, részben vagy egészben, vízben oldható vegyületekké bomlik az érés során. A sajtanyag lebomlása három szakaszban megy végbe az érés folyamán:

- Első szakasz: a parakazein hidrolízis útján kisebb molekulatömegű albumózokra és peptonokra bomlik. Ez a peptonizáció minden sajtféleség érésére jellemző.
- Második szakasz: az első érési folyamat bomlás termékei hidrolízis útján vízoldható polipeptidekre, peptidekre és aminosavakra bomlanak. E másodlagos bomlási folyamat is jellemző minden sajtféleségre.
- Harmadik szakasz: az aminosavak dezaminálása révén az aminos csoportban szegényebb aminosavak, oxisavak, ketosavak és ammónia, továbbá az aminosavak dekarboxileződése révén kis mennyiségben aminok keletkeznek. A sajtokban a dezaminálás során keletkező ammónia mennyiség az érés során fokozatosan nő és sajtféleségeként jelentősen különbözik. A sajttészta állománya elsősorban a tejsav tartalomtól függ, de nagy hatással van rá annak sótartalma és zsírtartalma is. A só a kazein duzzadását és a sajttészta képlékenységét segíti elő (Molnár és Molnár, 1999).

2.1.2.3. Zsírbonítás

Egy bizonyos szintig zsír is bomlik a sajterés alatt. Ez elsősorban hidrolitikus jellegű, ez azt jelenti, hogy glicerín és zsírsavak válnak szabaddá (Molnár és Molnár, 1999).

2.1.2.4. A sajttésztában végbemenő változások

Az erjedési lyukas kemény és félkemény sajtok érésének fontos szakasza a lyukképződés. A lyukképződés első szakaszában a baktériumok által termelt széndioxidot a sajt szénsav formájában elnyeli, mely egyenletesen helyezkedik el a sajtban. A második szakaszban pedig a szénsavval túltelítődött sajttésztában szén-dioxid gáz szabadul fel és apró lyukak keletkeznek. ott, ahol a sajttészta ellenállása a legkisebb.

A sajtok jellegzetes szagát és ízét a különböző aroma- és zamatanyagok adják. Ilyen anyagok pl.: ammónia, alkoholok, aldehidek, szerves savak, észterek. A sajttészta pH-ja az érés során fokozatosan emelkedik, így növekszik a kazein duzzadásképesége, ill. a közbenső bomlástermékek oldhatósága. A sófürdő után a felvett konyhasó nagy része is az érés során oszlik el a sajtban. Ennek köszönhető, hogy a sajttészta hidratáltsága a só bediffundálásával párhuzamosan növekszik.

2.1.3. A gyártástechnológia során előforduló termékhibák

A sajt állományváltozása érés közben:

A helytelen készítésből származó rendellenességeket sajthibának nevezzük. A méret- és tömeghibákat általában a helytelen formázás okozza (pl.: préselés, forgatás során).

Sajtoknál az alábbi állományhibák fordulhatnak elő:

- Túrós „rövid” állomány: ilyenkor a sajtok tésztája könnyen törik, nem hajlítható és a színe is általában fehér. A hiba egyik oka a sajtgyártás alatti túlzott mértékű savanyodás, amely ellen az alvadék mosásával lehet védekezni. A másik ok a túl lassú ütemű tejcukorbontás, ami az érés első szakaszában okozza a sajt túlsavanyodását és rövid állományát.
- Rágós, gumiszerű állomány: főleg a félzsíros és sovány sajtok hibája. Oka többnyire a nem megfelelő, nagy szárazanyag-tartalom. A hiba az alvadékmosással mérsékelhető. Jellemzője, hogy a szájban nem omlik el, szívós-gumiszerű.
- Pépes állomány: a pépesség jellemzője, hogy a sajt a szájban tapad, rendszerint íz hibával is társul. A félkemény sajtokban a leggyakoribb ez a hiba, melynek oka a sajt nagy víztartalmában jelölhető meg (Szakály, 2001).

2.2. Ultrahangos állományvizsgálat

A hangokat 3 tartományra tudjuk felosztani:

- az emberi füllel nem észlelhető, másodpercenként 20 rezgésig terjedő infrahangok
- a hallható, másodpercenként 20 és 20 000 közötti rezgésszámú

- a nem hallható, másodpercenként 20 000 fölötti rezgésszámú ultrahangok tartományára.

A hanghullámok terjedéséhez rugalmas hangvezető közeg szükséges (légüres térben nem terjed a hang). Az ultrahang légnemű és folyékony közegek belsejében longitudinálisan, szilárd anyagokban mind longitudinálisan, mind transzverzálisan terjedő mechanikai hullám. Számos élőlény alkalmazza tájékozódásra és kommunikációra a nagyfrekvenciás passzív ultrahangot (pl.: delfin, denevér). Az ultrahang egy közegben a közegre jellemző terjedési sebességgel (c) halad tovább a hullámokra vonatkozó általános törvényszerűségek szerint. A rezgés fázisának terjedési sebességét nevezzük a hullám terjedési (fázis-) sebességének.

2.2.1. Az ultrahang alkalmazásai

Az ultrahang igen használhatónak bizonyult az orvosi, a műszaki gyakorlatban, és a kémiában is. Szakirodalom alapján, az ultrahang alkalmazását tekintve megkülönböztetünk aktív és passzív ultrahangot. $1\text{W}/\text{cm}^2$ vagy a $10\,000\text{ W}/\text{m}^2$ teljesítmény alatt beszélünk passzív, míg ezen érték felett aktív ultrahangról.

Passzív felhasználás esetében az ultrahang energiája kicsi, és nem okoz maradandó változásokat a vizsgált anyagban. Nagy frekvencia és alacsony intenzitás jellemzi. Amikor az ultrahang egyik közegből a másikba lép, az energiája csökken, iránya megtörik, esetleg visszaverődik, úgy viselkedik, mint a többi hullám. Főként anyagvizsgálatok során alkalmazható, pl. a sajtokban lévő töréseket, üregeket, repedéseket, anyaghibákat mutathatjuk ki vele. Vágóállatok minősítésére is alkalmazzák az élelmiszeriparban (EUROP). De távolságokat is mérhetünk vele a tenger alatt, kőzetüregeket, barlangokat kutathatunk fel, és nem utolsósorban orvosi képalkotó eljárásokra is alkalmazzák: a méhben elhelyezkedő magzatról, a vesében vagy az epében keletkezett kőről készíthetünk képet. Kis energiaigénye miatt az emberi szervezetet nem károsítja.

Aktív felhasználás esetén nagyobb intenzitású, erősebb rezgéseket használunk arra, hogy kémiai reakciók létrejöttét segítsük, életfolyamatokat serkentsünk, baktériumokat elpusztítva fertőtlenítsünk.

A nemzetközi szakirodalomban találhatók adatok a sajttérlelés folyamatának ultrahanggal való meggyorsítására. Tíz percre kevesebb ultrahang berendezéssel, utána szokásos technológia által kívánt 4-5 hónap helyett az érlelés $+7^\circ\text{C}$ hőmérsékleten 6 héten át folytatódik. Angliában, az ömlesztett sajt előállítására való keverék emulgeálására alkalmazzák az ultrahangos eljárást (Bezzubov et al., 1967; Lőrincz, 2006).

2.2.2. Alkalmazása az élelmiszer-tudományban

A különböző iparágakat praktikus és megbízható ultrahangos berendezésekkel lehet felszerelni, ez az oka a nagy érdeklődésnek az ultrahang-technológia iránt (Chemat et al., 2011).

Már az hatvanas években is vizsgálták az ultrahang hatásait a különböző élelmiszereken. Különböző fehérjéket (albumin, kazein, zselatin) és aminosavakat (tirozin, triptofán stb.) vizsgáltak ultrahangrezgéssel, ill. azt kutatták, hogy azok hogyan befolyásolják az élelmiszerkészítmények összetételét. Tapasztalataik szerint bekövetkezett változás, de mélyreható változás csak huzamosabb ultrahang hatására következett be (aktív ultrahang használata) (Bezzubov et al., 1967).

Ordónez és munkatársai (1987), az 1980-as évek végén végeztek vizsgálatokat *Staphylococcus aureussal*. A kísérlet lényege az ultrahang és a hőmérséklet együttes mikrobaölő hatása. A későbbiekben *Bacillus subtilis* spórák ultrahangos hőkezelésével érték el eredményeket. Hasonló vizsgálatoknál, pl.: főlőzött tej esetén szintén megfigyelték a kontamináció-csökkenést. A folyamat hatékonyságának ultrahangos kezelés általi felerősítése az alkalmazott hőmérséklet csökkenését eredményezte.

Joghurtok gyártása során segédeljárásként alkalmazták az ultrahangot, így a gyártási időt mindössze 60%-ra csökkentették, továbbá a joghurtok állománya is kedvezőbbé vált (Mason, 1996).

2009-ben egy kutatócsoport tejet vizsgált ultrahangos kezelés után, és megállapították, hogy a változások a tej tápértékében elenyészőek. A termék eltarthatósága intenzív hőkezelés alkalmazása nélkül, 4 °C-on, több mint 16 napra kitolódott (Bermudez-Aguirre et al., 2009).

Az ultrahang alkalmazhatósága egyre kidolgozottabbá válik számos tejfeldolgozó technológia számára. Sajtok esetén a nemzetközi szakirodalomban a Cheddar és a Mahon, illetve a Manchego sajtot vizsgálták érés közben, ultrahang segítségével. A terjedési sebesség és egyes reológiai tulajdonságok között jó összefüggéseket találtak (Benedito et al., 2006). A Manchego tésztája tömör, ruganyos, de kissé egyenetlen apró lyukakkal tarkított, így a hullámok viselkedése eltért a Cheddar és a Mahon sajtok zárt tésztájától. Ennek oka: a hullámok porózus szerkezetben való szóródása, mely jóval alacsonyabb jelszintet produkál. Ez az élelmiszeripari mérések egyik legkomolyabb problémája (McClements, 1997).

Az ultrahang alkalmazható idegen testek detektálásra is. 2001-ben sikeresen alkalmazták ezt a technikát műanyag csomagolások esetén (Hæggstrom és Luukkala, 2001).

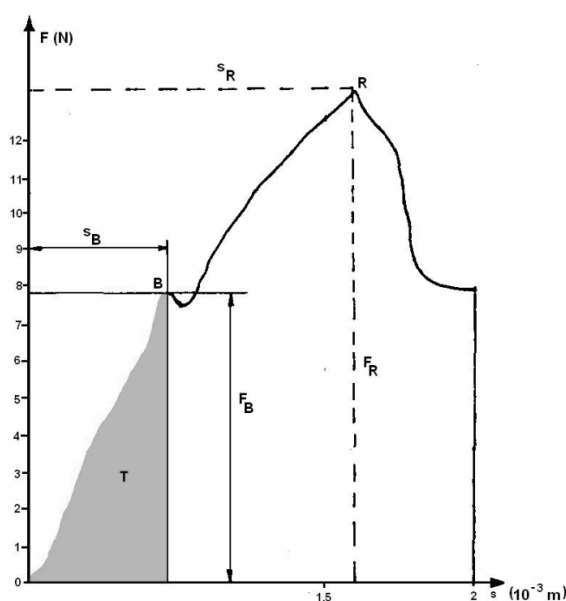
A sajt állományának gyártás során történő ellenőrzésére is kiválóan alkalmazható (Cho és Irudayaraj, 2003), illetve az alvadási idő és az érettség mértéknek megállapítására, nem utolsósorban a zsír- és nedvességtartalom meghatározására is (Benedito et al., 2002).

Az ultrahang technológia tehát alkalmas a minőség mérésére különböző élelmiszereknél. A porózus élelmiszerek (Benedito et al., 2006), a gyümölcs és zöldség stb. (Mizrach et al., 2003; Saeleaw és Schleining, 2011) esetén is sikeres kutatásokat végeztek. Az ultrahang technológia alapja a roncsolás-mentes, gyors és megbízható technika (Mizrach, 2008), továbbá viszonylag olcsó, egyszerű és energiatakarékos, így válhat egy feltörekvő technológiává az élelmiszerek terén is (Awad et al., 2012).

2.3. Kvázistatikus állományvizsgálat

Az élelmiszerek állománya összetett tulajdonság, amely különböző mechanikai jellemzőkből tevődik össze. Az egyes élelmiszerek mechanikai jellemzésének alapja az erőnek a termékre gyakorolt hatása, ami általában a deformációban nyilvánul meg. A deformáció függ az erőtől, a feszültségtől, és az időtől is. Az ilyen anyagokat nevezzük reológiai anyagoknak. Ezek alapján megkülönböztetünk ideális és nemideális anyagokat. Az ideális anyag lehet rugalmas test, plasztikus test vagy viszkózus folyadék. Az ideális anyagok jól jellemezhetők a rugalmassági modulussal és a relatív deformációval (Borsa et al., 2002; Balla és Sárany, 2002).

A nyomóerő és a fellépő alakváltozás közötti összefüggés alapján a különböző élelmiszerek szerkezetének állapotáról kaphatunk információt. Ezt a terhelőerő-deformáció jelleggörbéje mutatja be részletesen (3. ábra).



3. ábra: Terhelőerő (F) – deformáció (s) jelleggörbéje (László és Zana, 1999)

- Biológiai folyáshatár (B): a feszültség-deformáció görbének az a pontja, ahol a deformáció növekedésekor a feszültség csökken, vagy állandó marad, illetve nem-típusos esetben a növekedés mértéke csökken. Ez a pont a sejttrendszer kis térfogatában jelentkező kezdeti törést jelzi. Ha a terhelés a folyáspont alatt marad, a termék belső szerkezete nem szenved sérülést. Meghatározásának az anyagok sérülékenységének megállapítása céljából van jelentősége.
- Roncsoláshatár (R): a roncsolási görbe maximuma; az a pont, ahol a deformáció növekedésekor az erő meredeken és jelentős mértékben csökken. A sejttrendszer meglehetősen nagy térfogatában következik be a törés. A sérülés jól látható.
- Merevség: A feszültség-deformáció görbe kezdeti (a folyáshatárig terjedő) szakaszának meredekségét jelenti, mely megközelítőleg lineárisnak tekinthető. Rugalmassági modulus (Young- modulus) a feszültség-deformáció görbe kezdeti (a folyáshatár alatti) szakaszának meredeksége.
- Deformációs munka (T): az anyag deformációs energiátároló képessége a rugalmas tartományban
- Szívósság: a roncsolási határig befektetett munka.
- Keményység: A termék ellenálló-képessége a terheléshez használt nyomófej behatolásával szemben (László és Zana, 1999).

Reológiai modellezés során 3 alaphatás érvényesül:

- Egytengelyű összenyomás, ahol a rugalmassági modulus határozható meg,
- Térfogati összenyomás, relatív térfogatcsökkenés történik,
- Nyírás, nyírófeszültség határozható meg.

Az egyes reológiai modellek leírhatók az alaphatások segítségével, melyek a:

- Hooke test (elasztikus test modellezésére)
- Newtoni test (viszkózus test modellezésére)
- St. Venant test (plasztikus test modellezésére)

Az élelmiszerek egy része ezek kombinációival írható le, mivel ezek az alaphatások elméleti, ún. ideális anyagokra érvényesek (Sitkei, 1981; Mohsenin, 1986; Steffe, 1996).

Az állományváltozások vizsgálata különböző roncsolás-mentes és roncsolásos módszerekkel történhet. Léteznek kézi és asztali mérőműszerek is. A Magness–Taylor-féle készülék a nyomófeszültség mérésén alapul. A nyomófejet előtolással belenyomják a mintába és a maximális erő, valamint deformáció mértékéből kiszámítható a roncsolási feszültség,

mint keménységi mérőszám. Lényegesen többféle mérésre alkalmazhatóak (különböző mérőfejek segítségével) az asztali ún. precíziós penetrométerek. Ilyen pl.: Instron, SMS, Zwick, Loyd stb. (Sherman, 1970). Ezeknél a műszereknél beállítható a mérési idő, az előtolás sebessége, és nagy pontossággal méri az erőt. A kapott eredmények pedig egy szoftver segítségével feldolgozhatók, kiértékelhetők. Ennél a módszernél a deformáció függvényében mérjük az erő változását, melyből a mechanikai jellemzők meghatározhatók (biofolyási feszültség, roncsolási feszültség, rugalmassági modulus stb.) (Borsa et al, 2002).

Rugalmassági teszt

Az élelmiszeripari gyakorlatban a leggyakoribb állományvizsgálati módszer a rugalmassági teszt, melynek segítségével a vizsgált anyag szerkezetében bekövetkező változások mértéke határozható meg. Lényege, hogy a vizsgálandó anyagból készített próbatestet meghatározott erővel terheljük egy adott deformációig, majd a maximális deformációt követően tehermentesítjük. A felvett erő – deformáció (idő) görbéről leolvasott, illetve az adatokból számolt jellemzők az érzékszervi úton történő elemzéssel jól összehasonlítható eredményeket szolgáltatnak (Pons és Fiszman, 1996). Ezt az eljárást gyakran alkalmazzák érzékszervi minősítések megerősítéseként.

Nassar és munkatársai (2006) azt vizsgálták, hogy a kis frekvenciájú (80 kHz) transzmissziós ultrahangos méréstechnika alkalmazható-e friss (20 órával a gyártás után) ill. érett sajtok állományának vizsgálatára. A friss sajtok tésztája szinte homogén viszkoelasztikus mátrixnak tekinthető. A friss sajtok állományát TA-XT2 típusú állománymérő készülékkel is mérték, majd az adatok alapján kiszámították a minták rugalmassági modulusát. A rugalmassági modulus és az ultrahang mintán belüli terjedési sebességét hasonlították össze. Azt tapasztalták, hogy a rugalmassági modulus és az ultrahang terjedési sebességének változása azonos tendenciát mutatott. Tehát azt állapították meg, hogy a kis frekvenciájú ultrahangos méréstechnika a zárt tésztájú sajtoknál jól alkalmazható.

Az érett sajtok esetében azonban ez a módszer nem bizonyult megfelelőnek. A problémát az jelentette, hogy az érett sajtokban az erjedési lyukak és az esetleges repedések miatt az ultrahang szétszóródott. Érett sajtok állományának roncsolás-mentes vizsgálatára a kutatók az ún. „kopogtatásos” módszert alkalmazták. Azonban további méréseket végezve, az üregeket, repedéseket tartalmazó érett sajtok állományát is meg lehetett határozni ultrahangos méréssel, de ebben az esetben a sajt egész felületét lefedve, több zónában kellett a méréseket elvégezni és az eredmények átlagát venni.

2.4. Szakirodalmi eredmények összefoglalása

A sajt koncentrált formában tartalmazza a tej értékes összetevőit, ezért fontos szerepet játszik mindennapi táplálkozásunkban.

Mivel a legtöbb sajt még a gyártását követően tovább érik, fontos a megfelelő tárolási körülmények betartása. Ha az eredeti tömböket felnyitjuk, s a sajtot felvágjuk, a vágási felület fokozott védelmet igényel, mert fokozottan érzékeny a környezeti hatásokra, pl. kiszáradás, mikrobák megtelepedése a felületen. Az élelmiszerek érzékszervi tulajdonságai között a fogyasztó számára az állománynak épp oly fontos szerepe van, mint az íznek vagy az illatnak.

Az ultrahangos technikát az élelmiszeripar számos területén alkalmazzzák az élelmiszerek minőségének mérésére (állomány, alvadási idő, érettség mértéke, zsír- és nedvességtartalom, idegen testek detektálása az egyes élelmiszerekben stb.). Már az 1960-as évek óta alkalmazzzák az aktív és passzív ultrahangot - többek között az élelmiszerek esetén-, mely az évek során folyamatos fejlődésen megy keresztül. A passzív ultrahang nagy előnye, hogy roncsolásmentes módszer. Sajtok érésének vizsgálata során alkalmas lehet a termékek érési folyamatának, állományának, valamint a szerkezetében bekövetkező változások nyomon követésére is.

Az ultrahangos technika alkalmazása mellett azonban a kvázistatikus keménységmérési módszerekre is szükségünk van, mivel a rugalmassági vizsgálatok során is értékes információt kaphatunk a termék állományáról. Ez az egyik leggyakoribb állományvizsgálati módszer az élelmiszeriparban. Segítségével az egyes élelmiszerekben lezajló változásokat figyelhetjük meg.

Az egész világon egyre nagyobb az igény az élelmiszerek minőségének javítására. A piacon kiéleződő verseny arra ösztönzi a gyártókat is, hogy minél korszerűbb feldolgozó és minőség-ellenőrző technológiákat dolgozzanak ki.

A sajt, mint az egyik első ember alkotta tejtermék, fontos eleme a mai gasztronómiai kultúrának. Ezért szükségesnek tartom a sajt érés alatti változásának vizsgálatát roncsolásmentes ultrahangos módszerrel, további összefüggések megállapítását az ultrahangos és a kvázistatikus állománymérés között.

3. CÉLKITŰZÉS

Kutatási munkám alapvető célja, különböző zsírtartalmú sajtok tárolás és érés során bekövetkező állományváltozásának vizsgálata roncsolásos és roncsolásmentes módszerekkel. A nemzetközi szakirodalom áttekintése alapján, az ultrahangos vizsgálatot találtam a legmegfelelőbbnek roncsolásmentes állománymérésre.

Célom volt továbbá, olyan paraméterek keresése, amelyek alkalmasak a sajtok tárolása és érése során bekövetkező fizikai változások nyomon követésére. A célok megvalósítása érdekében feladataim voltak:

- Összefüggést találni az ultrahangos mérés és a tárolási idő között
- Összefüggést találni a kvázistatikus állománymérés és a tárolási idő között
- Olyan paraméterek keresése, amelyek a fizikai jellemzők változásának kimutatására alkalmasak az érés folyamán.
 - Megvizsgálni az ultrahangos módszer paraméterei közül a késleltetési idő, terjedési sebesség, valamint a súlypont változását a tárolás során
 - Megvizsgálni a kvázistatikus állománymérés paraméterei közül a maximális erő, a Young modulus, az összes vagy befektetett munka és a rugalmas vagy visszanyert munka változását a tárolás során.

Nem volt célom, hogy vizsgálataim során modellezem az ultrahangos vizsgálat és a kvázistatikus állománymérés paraméterei közötti kapcsolatot.

4. ANYAGOK ÉS MÓDSZEREK

4.1. Anyagok

4.1.1. Gouda és Óvári light sajtok

Vizsgálataim során két különböző zsírtartalmú sajtot vizsgáltam: az Óvártéj Zrt. által gyártott Gouda és Óvári light sajtot. Ezek kereskedelmi forgalomban kapható sajtok, melyek csomagolása: védőgáz. A 2. és 3. táblázat tartalmazza a sajtok típusait, származási helyét, kiszerelését, beltartalmi jellemzőit, csomagolásuk napját, és a minőség-megőrzési időt.

2. Táblázat: A Gouda sajtminták adatai

Gouda (zsíros, félkemény, darabolt sajt)	
Zsírtartalom a szárazanyagban (m/m)	legalább 45,0%
Konyhasótartalom (m/m)	1-2%
100 g termék tartalmaz kb.	fehérje 24 g
	zsír 26 g
	szénhidrát (cukor) 1,50 g
Kiszerelés nagysága	300 g
Származási hely	Óvártéj Zrt. H-9200 Mosonmagyaróvár, Alkotmány u. 15.
Készült	pasztőrözött tehéntéj, étkezési só, szilárdítóanyag (kalcium-klorid), oltóenzim, mikrobatenyészet, színezék (béta-karotin), tartósítószer (kálium-nitrát)
Csomagolás napja:	2013.08.05.
Minőségét megőrzi:	2013.11.03.

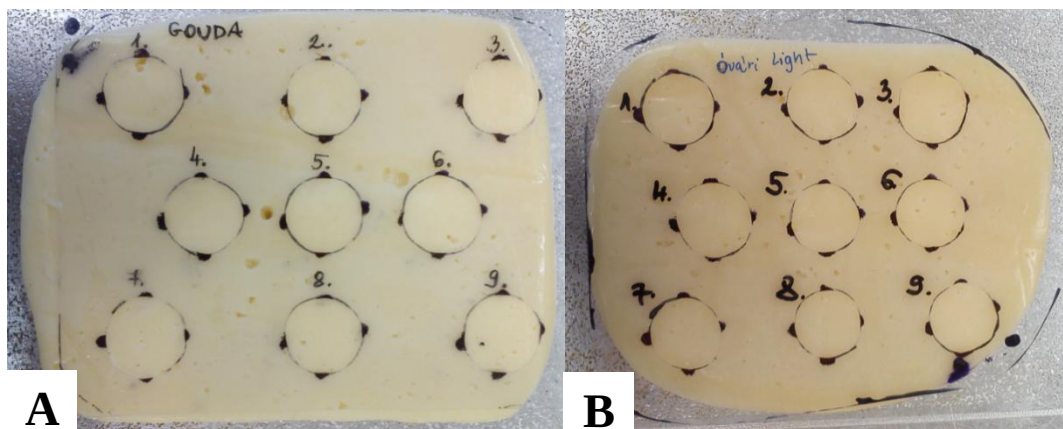
3. Táblázat: Az Óvári light sajtminták adatai

Óvári light (zsírszegény, félkemény, darabolt sajt)	
Zsírtartalom a szárazanyagban (m/m)	legalább 10,0%
A termék egy zsíros, félkemény sajthoz képest 60%-kal kevesebb zsírt tartalmaz.	
100 g termék tartalmaz kb.	fehérje 27 g
	zsír 10 g
	szénhidrát (cukor) 1,5 g
Kiszerelés nagysága	300 g
Származási hely	Óvártéj Zrt. H-9200 Mosonmagyaróvár, Alkotmány u. 15.
Készült	pasztőrözött tehéntéj, étkezési só, szilárdítóanyag (kalcium-klorid), oltóenzim, mikrobatenyészet, tartósítószer (kálium-nitrát)
Csomagolás napja:	2013.08.05.
Minőségét megőrzi:	2013.11.03.

4.1.2. Tárolási körülmények

Tárolási kísérlet során a sajtokat fóliába csomagolva hűtőbe helyeztük. A sajtmintákat $10\pm 2^\circ\text{C}$ -on, $55\pm 5\%$ -os relatív páratartalom mellett, egységesen 4 héten át tároltuk hűtőszekrényben, melynek hőmérsékletét folyamatosan ellenőriztem. A kísérlet ideje alatt az eredeti csomagolás eltávolítását követően frissentartó fóliába csomagolva tároltam a sajtokat. Azért választottam ki a $10\pm 2^\circ\text{C}$ -os tárolási hőmérsékletet, mert bár ez nagyobb hőmérséklet, mint a hűtve tárolásnál ajánlott $5-6^\circ\text{C}$, de a tárolás alatt várható folyamatok felgyorsítása érdekében ez tűnt célravezetőnek.

A csomagolásból kibontott sajtmintákon kijelöltem 9 pontot (az 5. ábrán látható módon), majd a továbbiakban ezeken a pontokon végeztem a vizsgálatokat. A kísérleteket hetente végeztem el, azonos időpontokban, a mérések között eltelt idő $168\text{h} \pm 3\text{h}$ volt. A sajtmintákból hétről hétre kevesebb lett, mert minden héten egy mintát a roncsolásos mérésre használtunk fel. Az 5. heti mérésre szánt Óvári light sajt megpenészedett, így a kísérletezésre alkalmatlanná vált. Ezért csak a négy hét (plusz a 0. hét) mérési adatait használtam fel az értékelés során mindkét sajt esetében. A sajt romlékony élelmiszer, penészedése csak intakt, bontatlan termék esetén kerülhető el, ami viszont a csomagoláson, sajttömböknél akár bevonatrétegen keresztüli mérést követelne meg, s bár ez minőségellenőrzési szempontból igen hasznos volna, nagyban megnehezítheti az adatelemzést, információkinyerést.



4. ábra: Mérési pontok elhelyezkedése A) Gouda és B) Óvári light mintákon

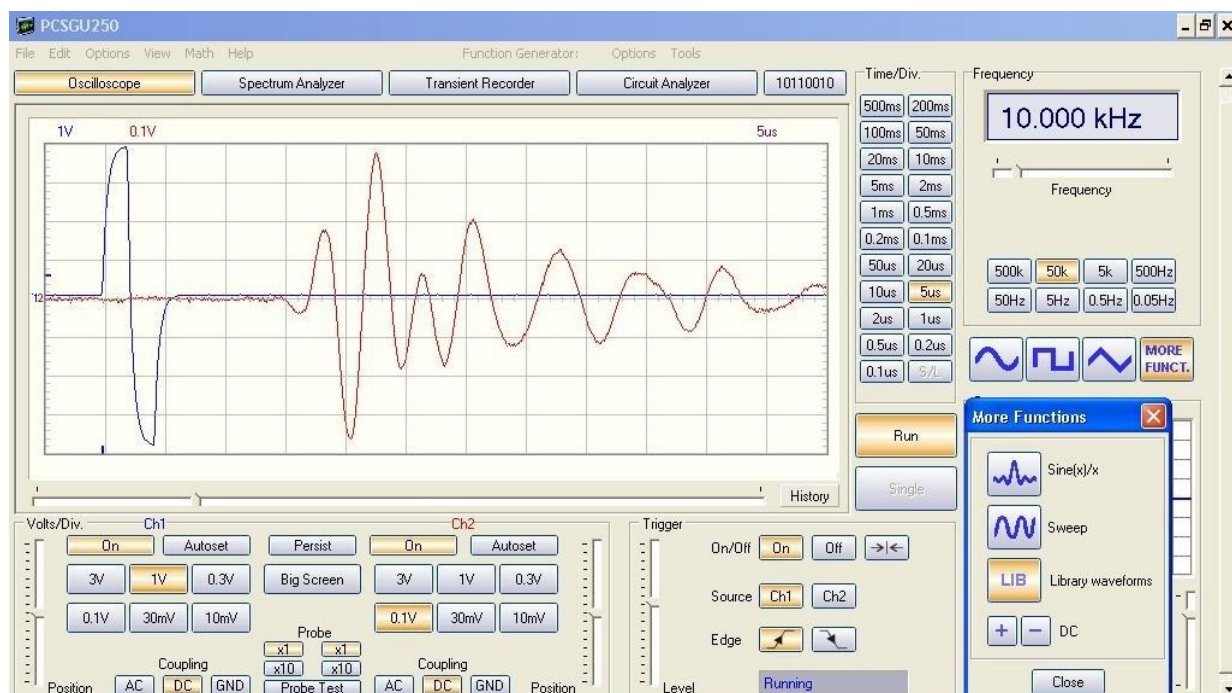
4.2. Módszerek

4.2.1. Ultrahangos vizsgálat

A méréseket egy jelgenerátorral a 0. héttől kezdve négy héten át, hetente egyszer, Ultran HPN 5000 jelerősítővel, Velleman PCSGU250 oszcilloszkóppal, piezoelektromos elven működő ultrahangsugárzóval és vevőegységgel végeztem, utóbbiak sajátfrekvenciája

250kHz. Célunk egy piezoelektromos adó-vevő pár közé helyezett mintában terjedő mechanikai hullám vizsgálata volt.

A vízszintes nyugalmi állapotban lévő vevő fejre fektettem a sajtmintákat, felülre pedig a sugárfőjelet helyeztem, majd egy 200 g-os nehezékkal rászorítottam. Ekkora súly elegendőnek bizonyult relatíve nagy jelszint eléréséhez, a mintán viszont nem okozott maradandó károsodást (benyomódást). Az adatok monitorozását az oszcilloszkóp meghajtó-programjával végeztem, melyen beállítható a jeladás gyakorisága, jelforma, annak erőssége, illetve lehetőség van az adatok szöveges fájlként történő elmentésére, képernyőfotó a programról a 5. ábra látható, kék szín jelzi a bemenő, piros pedig a válaszjelet (kimenő jelet).



5. ábra: Velleman Oscilloscope v. 1.12 kezelőfelülete

A mérés során beállított paraméterek:

- Vizsgálójel: egy periódusnyi, 250 kHz-es szinusz
- Kalibráció: A jeláthaladás alapidőtartamát vizsgáltuk, minta nélkül az adó-vevő pár összeérintésével, és az eredeti jelformával (impulzus jel).

A mérés során kinyert adatok:

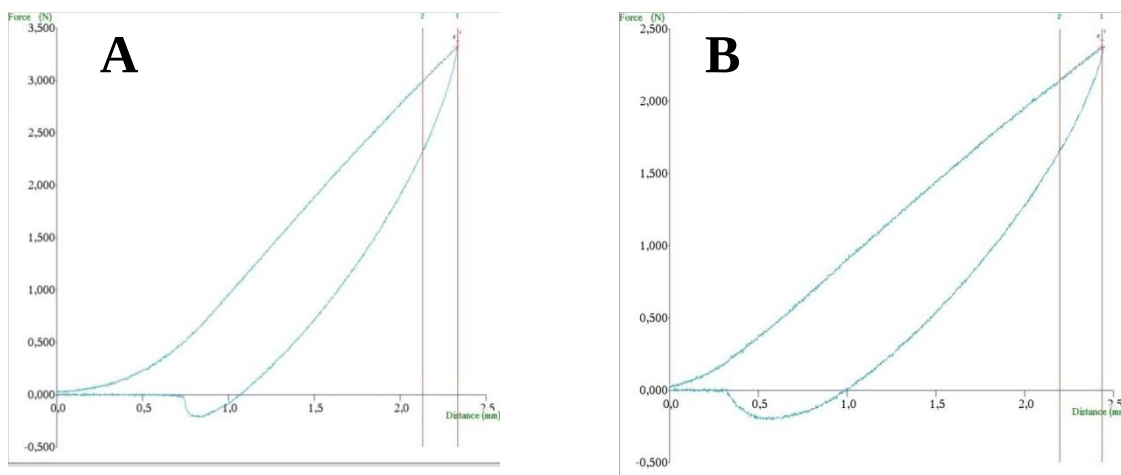
- Válaszjel energiája (mJ): a jel négyzetének integráltja, ebből számoltam a késleltetési időt
- Késleltetési idő (μ s): bemenő és válaszjel időbeni eltérése, korrigálva a kalibráció szerinti alapeltéréssel.

- Terjedési sebesség: a késleltetési időből és a minta vastagságából számoltam ki (gyökös összefüggés van a terjedési sebesség és a Young modulus között, minél nagyobb a terjedési sebesség, annál keményebb a minta)
- Súlypont (a súlypont a jel szélességére jellemző érték, ami a mintában végigterjed vagy szétkénődik, akár érési jellemző is lehet. Az elkenődés okai lehetnek a repedések vagy az erjedési lyukak jelenléte a mintában, esetleg a beltartalmi inhomogenitás.)

4.2.2. Kvázistatikus vizsgálat – rugalmassági teszt

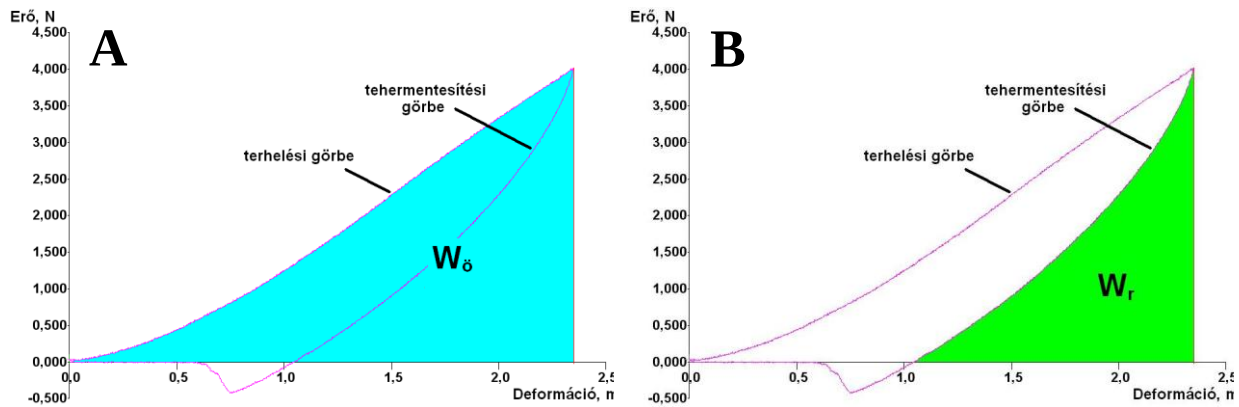
A kvázistatikus vizsgálat során a roncsolásmentes rugalmassági tesztet Stable Micro Systems TA-XT2 állományvizsgáló műszerrel mértem 4 héten át (plusz a 0. hét), heti egy alkalommal, az ultrahangos méréssel párhuzamosan. A sajtmintákon korábban az ultrahangos méréshez bejelölt 9 mérési pontból hengereket vágtam ki, megmértem a kivágott sajthengerek átmérőjét, vastagságát, tömegét, majd 75 mm átmérőjű lapos nyomófejjel, 0,1 mm/s kompressziós sebességgel 10%-os deformációig terheltem a mintákat. Négy köztes ponton a sajtszelet magasságát (l) és két ponton átmérőjüket is feljegyeztem.

A rugalmassági teszt során felvett távolság-erő reogram egy hiszterézis hurok, melynek alakja sajttípusonként változó (6. ábra).



6. ábra: A mért sajtok jellemző reogramjai A) Gouda sajt B) Óvári light sajt

A hiszterézis hurkot két görbe alkotja, a terhelő görbe és a tehermentesítő görbe. A reogramok kiértékelése során meghatároztam a terhelő görbe alatti területből az összes vagy befektetett munkát (W_0), a tehermentesítési görbe alatti területből a rugalmas vagy visszanyert munkát (W_r) (7. ábra).



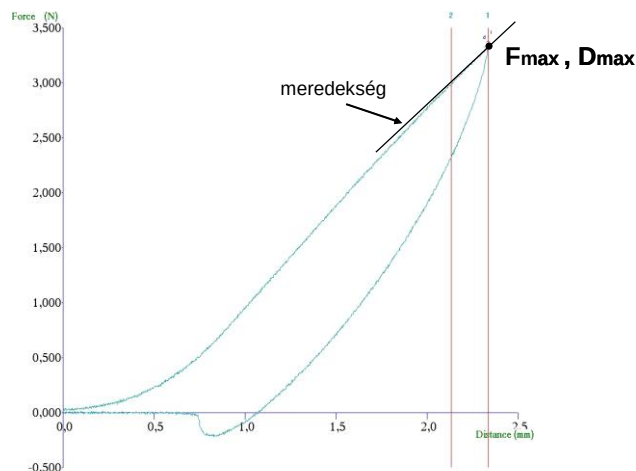
7. ábra: Mechanikai histerézis, görbe alatti területek, A) összes munka, B) rugalmas munka
A kettő hányadosából számítható a vizsgált anyag rugalmassági foka az alábbi képlettel:

$$\text{rugalmassági fok} = \frac{W_r}{W_0}, \quad (2)$$

ahol: W_r – rugalmas vagy visszanyert munka, J

W_0 – összes vagy befektetett munka, J.

Az állományvizsgáló műszer vezérlőprogramjában készített makró segítségével kiszámítottam a terhelő görbe utolsó 10%-ának meredekségét. Ezt a 10% a 8. ábrán látható piros függőleges párhuzamos vonalak közötti szakaszhoz. Ezt a lineáris szakaszt használtam fel a Young modulus meghatározásához, a kapott érték a nyomóerő (F) és a terhelés úthosszának (Δl) hányadosa.



8. ábra: Young modulus számításához a terhelő görbe kiválasztott szakasza

A Young-modulus a Hooke törvényből határozható meg (jele: E, m.e.: Pa):

$$E = \frac{F}{A} \cdot \frac{l}{\Delta l} \Rightarrow E = \frac{F}{\Delta l} \cdot \frac{l}{A} \quad (3)$$

ahol: F – a nyomóerő, N

Δl – a terhelés úthossza, m

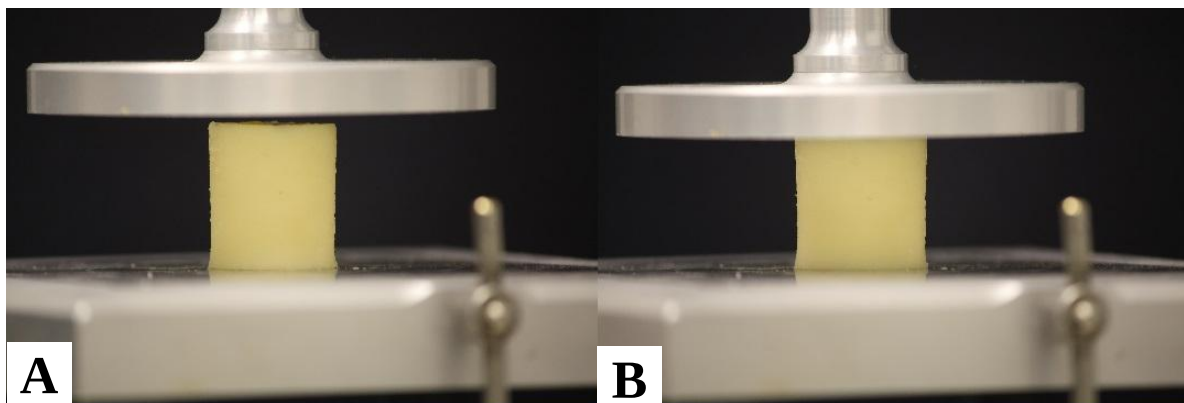
$\frac{F}{\Delta l}$ – a terhelő görbe lineáris szakaszának meredeksége, $\frac{N}{m}$

A – a henger felülete, m^2

l – a henger eredeti magassága, m.

A gyakorlatban alkalmazott módszer mellett meghatároztam a Young modulust a maximális erő ($F_{\max}$) és maximális deformáció ($D_{\max}$) segítségével is, ahol a meredekség helyére e paraméterek hányadosa került.

A 9. ábrán a TA-XT2 precíziós állományvizsgálóval végzett kompresszió mérés előtti és mérés közbeni állapota látható.



9. ábra: Rugalmassági vizsgálat A) mérés előtt, B) mérés közben

4.3. Értékelési módszerek

Mért adataim feldolgozását az alábbi programok segítségével végeztem:

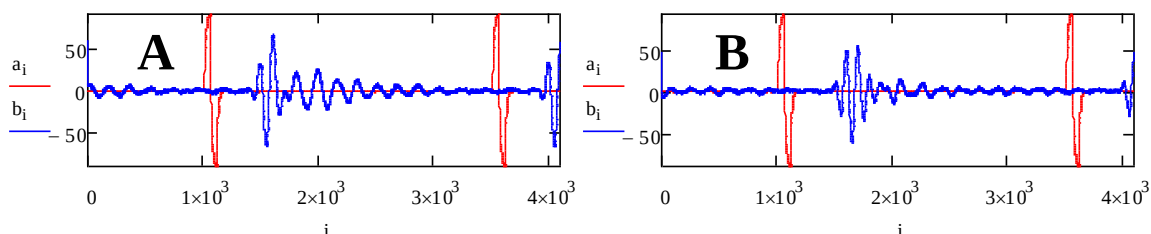
- A mért adatokat Microsoft Excel 2007 szoftverben gyűjtöttem össze. Adatredukciót végeztem az átlag és a szórás alapján, továbbá kiszámítottam a szükséges paramétereket (Young modulusok). Az adatok szelektálása után diagramokat készítettem az egyes paraméterek közötti összefüggés megállapítása céljából.
- A rugalmassági teszt méréséhez az SMS TA-XT2 precíziós penetrométer TEXTURE EXPERT for Windows ver. 1.17 (1997) nevű programját alkalmaztam. Ez a program a méréseim során rögzítette az erő-, deformáció-, időadatokat, és elkészítette az erő/deformáció- és deformáció/idő-görbét. Az általam írt makrók segítségével, ugyanezzel a szoftverrel határoztam meg az alkalmazott paraméterekhez szükséges $F_{\max}$, $D_{\max}$, $F/\Delta l$, W_0 , W_r értékeket.

- SPSS 15.0 (SPSS, 2006) szoftvert használtam a mérési csoportok közötti szignifikáns különbség meghatározásához. Az error bar diagramokat minden esetben a 95%-os megbízhatósági szintet figyelembe véve készítettem el.
- A Mathcad 14.0 (Parametric Technology Corporation, 2007) szoftvert használtam az ultrahangos méréseim adatfeldolgozására. Az algoritmus segítségével meghatároztam a bemenő és a kimenő jel alábbi paramétereit: a késleltetési időt a jel csúcsánál (t_{kcs} , μs), a késleltetési időt a jel lábánál (t_{kl} , μs), a terjedési sebességet a jel csúcsánál (v_{cs} , m/s), a terjedési sebességet a jel lábánál (v_l , m/s), és a súlypontot (S , μs). A kinyert paramétereket a továbbiakban Microsoft Excel 2007 szoftverben értékeltem.

5. EREDMÉNYEK ÉS KÖVETKEZTETÉSEK

5.1. Ultrahangos vizsgálat eredményei

A 10. ábra szemlélteti a sajtminták ultrahangos vizsgálatakor mért bemenő és kimenő jeleket Gouda (A) és Óvári light (B) sajtok esetében.



10. ábra: Sajtminták ultrahangos vizsgálata során mért bemenő jel (piros) és kimenő jel (kék)

A) Gouda, B) Óvári light

(vízszintes tengely (i): mintavétel, függőleges tengely: jelszint, digitális egység)

(a bemutatott példákon a mintavételi idő 0,04 μ s)

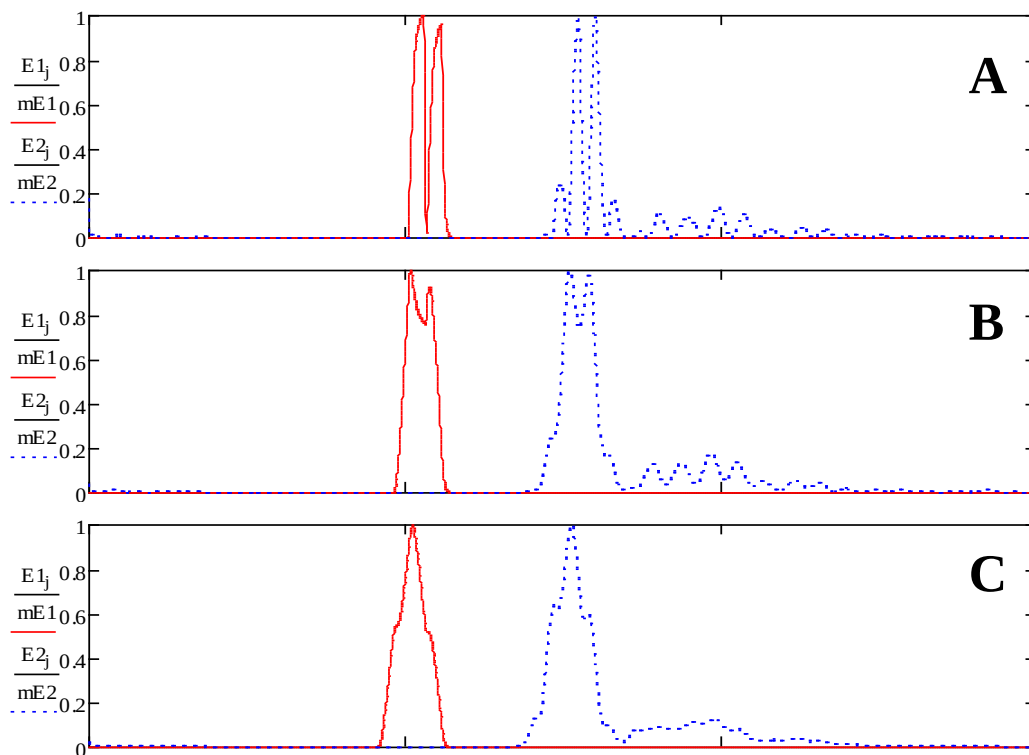
Ezek a jelek azonban nagyon zajosak, a késleltetési idő nehezen megállapítható, ezért a jeleken egyfajta mozgóátlagos simítást alkalmaztunk: a jelek négyzetét (energiáját) integráltuk egy alkalmas átlagolási időre (T_A), és ezt az átlagolási „ablakot” végigcsúsztatjuk a mérési tartományon. Az átlagolási idővel való osztással a jel átlagos energiáját kapjuk az idő függvényében:

$$E(t) = \frac{\int_t^{t+T_A} U(t)^2 dt}{T_A} \quad (4)$$

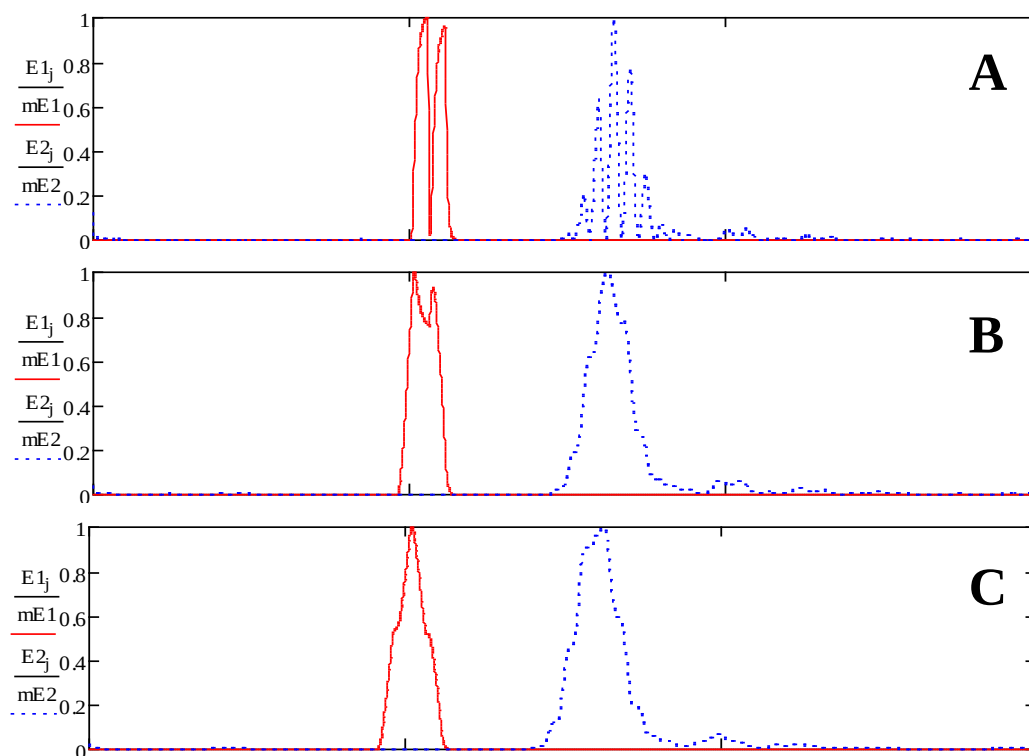
Megfelelő T_A választásával a mérőfejek sajátrezgéséből származó periodicitás is kiküszöbölhető, amint azt a 11. és 12. ábrák szemléltetik.

Méréseink kiértékelésénél a $T_A = 100$ minta beállítás bizonyult a legalkalmasabbnak, ami összhangban van az alkalmazott mérőfejek gyártói adat szerinti rezonancia-frekvenciájával:

100 minta = $100 \cdot 0,04 \mu\text{s} = 4 \mu\text{s}$; frekvencia = $1/4 \mu\text{s} = 250 \text{ kHz}$



11. ábra: Az átlagolási idő növelésének simító hatása Gouda sajtnál A) $T_A = 5$ minta, B) $T_A = 50$ minta, C) $T_A = 100$ minta



12. ábra: Az átlagolási idő növelésének simító hatása Óvári light sajtnál A) $T_A = 5$ minta, B) $T_A = 50$ minta, C) $T_A = 100$ minta

A 11/C és 12/C ábrán látható transzformált jel – megfelelő küszöbértékkel - már alkalmas a késleltetési idő mérésére, sőt a kimenő jel időbeli kiszélesedése, „elkenődése” még a vizsgált mintában történő hullám-szóródások jellemzésére is alkalmas, pl. a súlypont (μs) meghatározásával:

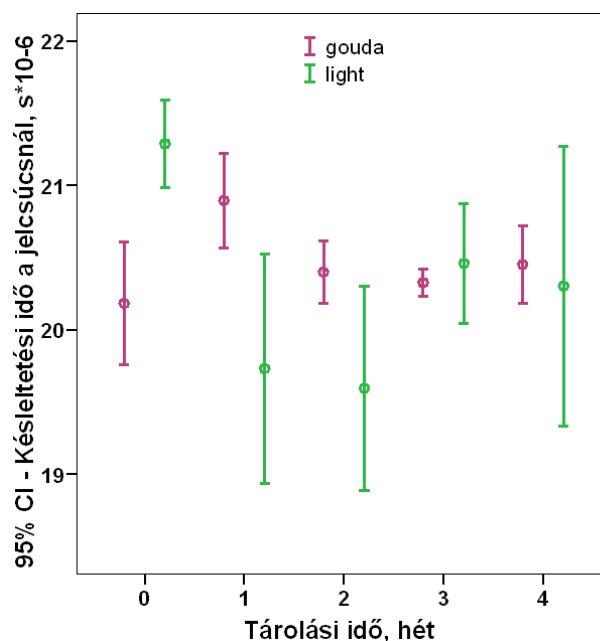
$$S = \frac{\sum_{t_1}^{t_2} E(t) \cdot (t - t_1)}{\sum_{t_1}^{t_2} E(t)} \quad (5)$$

ahol: t_1 és t_2 - a kimeneti jel („energiacsomag”) kezdetének és végének időpontja.

MathCAD program segítségével kigyűjtöttem az ultrahangos vizsgálat során mért kimenő jelből meghatározott késleltetési időt a jel lábánál és csúcsánál, a terjedési sebességet a jel lábánál és csúcsánál, valamint a kimenő jel súlypontját. A késleltetési idő, valamint a terjedési sebességet a jel lábánál célszerű meghatározni, azonban a kapott eredmények jóval nagyobb szórást mutattak a csúcsnál számolt értékekhez képest a Gouda és az Óvári light minták esetében egyaránt. Ennek oka, hogy a jel lábánál található nagy zaj elnyeli a jel kezdetét, és ez megnehezíti a pontos értékelést. Meg kell jegyezni azonban, hogy habár a csúcs jobban detektálható, a terjedés mellett a saját rezgésének negyed periódusa is benne van a jelben. A súlypont (S) a jel szélességére jellemző érték. Mivel a jel a mintában végigterjed vagy szétkenődik, ez a paraméter akár érési jellemző is lehet. Az elkenődés oka lehet repedések vagy lyukak jelenléte a mintában, esetleg beltartalmi inhomogenitás. A további értékelések során csak a jel csúcsánál meghatározott késleltetési időt (t_{kcs}) és terjedési sebességet (v_{cs}) vizsgáltam. A kapott mérési eredményeket erősen befolyásolta a vizsgált minták állománya. A sajtban lévő lyukakon és repedéseken az ultrahang nem terjed, mivel itt levegővel találkozik. Így ennek köszönhetően számos esetben kiugró adatok is keletkeztek.

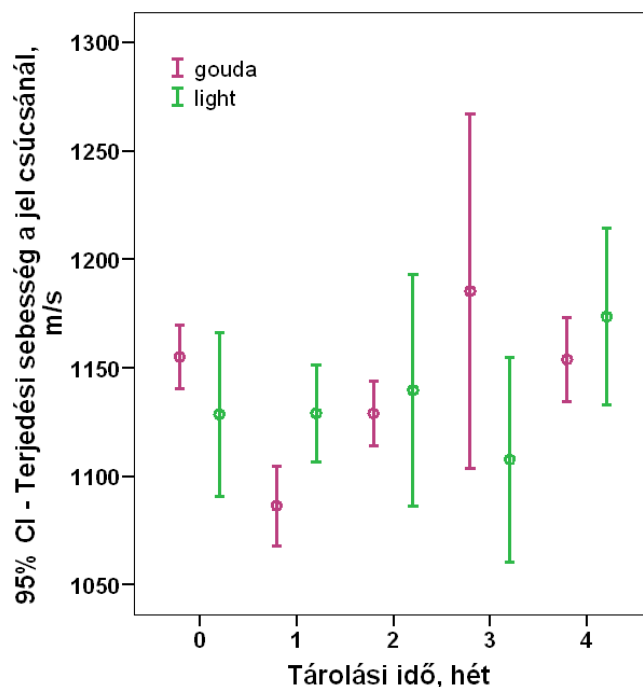
Adatredukciót végeztem, majd ezt követően a késleltetési időt, a terjedési sebességet, valamint a súlypontot vizsgáltam SPSS segítségével. A 13-15. ábra a három paraméter változása látható a tárolási idő függvényében 95%-os megbízhatósági szinten.

A késleltetési időt megvizsgálva (13. ábra) a tárolási idő függvényében látható, hogy nincs szignifikáns különbség az egyes mérési hetek között. A sajttípusok között csak az 0. és az 1. héten volt tapasztalható szignifikáns különbség.



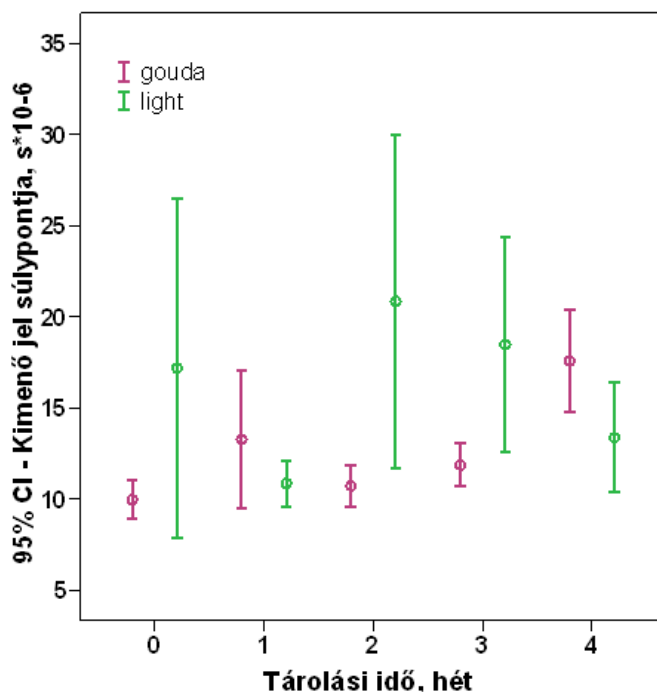
13. ábra: Késleltetési idő a jel csúcsánál (átlag és a 95% megbízhatósági szint) a tárolási idő függvényében

A terjedési sebességet megvizsgálva (14. ábra) a tárolási idő függvényében tapasztalható szignifikáns különbség az egyes sajttípusok között az 1. héten, valamint Gouda sajt esetén a 0-1. hét, illetve az 1-2. hét adatai között is.



14. ábra: Terjedési sebesség a jel csúcsánál (átlag és a 95% megbízhatósági szint) a tárolási idő függvényében

A kimenő jel súlypontját megvizsgálva (15. ábra) a tárolási idő függvényében látható, hogy nincs szignifikáns különbség a sajttípusok között. Az egyes mérési hetek között csak egy esetben található, a Gouda típusú sajtnál a 3. és 4. heti adatok között. Továbbá a Gouda esetében (a 2. héttől kezdve) egy folyamatos növekedés látható az idő múlásával.



15. ábra: Kimenő jel súlypontja (átlag és a 95% megbízhatósági szint) a tárolási idő függvényében

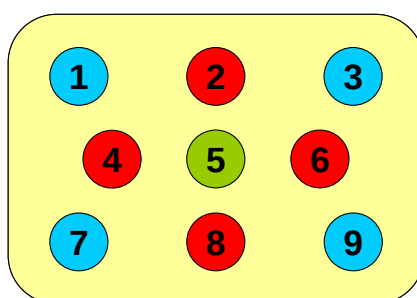
Mindhárom paraméter esetében az Óvári light minták mutatnak nagyobb szórást. A Gouda sajt esetében a legnagyobb szórást a terjedési sebesség mutatta, míg a legkisebbet a kimenő jel súlypontja. Ezzel szemben az Óvári light mérésekor a legnagyobb szórást a kimenő jel súlypontja, míg a legkisebbet a terjedési sebesség mutatta.

A hetente mért minták mérési pontjain meghatározott paraméterek értékeit átlagolva, és az átlagokat a tárolási idő függvényében ábrázolva feltételezhető lineáris kapcsolatot találtam az egyes mérési paraméterek és a tárolási idő között a Gouda minták esetében ($R^2 > 0,5$). Ezzel szemben az Óvári light minták esetében gyengébb R^2 értékeket találtam. Ennek oka feltételezhetően az, hogy a tárolási kísérlet megkezdésekor az Óvári light minták a gyári csomagolás kibontására érzékenyebben reagáltak, és a kicsomagolást követő 1 hétben nagyobb változást mutattak a Gouda mintákhoz képest. Ezért a 0. hetet kihagyva ismét lineáris kapcsolatot kerestem a fent említett paraméterek között, azonban az eredmény nem javult (4. Táblázat).

4. Táblázat: Az ultrahangos mérés paramétereit és a tárolási idő közötti kapcsolat alapján illesztett lineáris modellek R^2 értékei

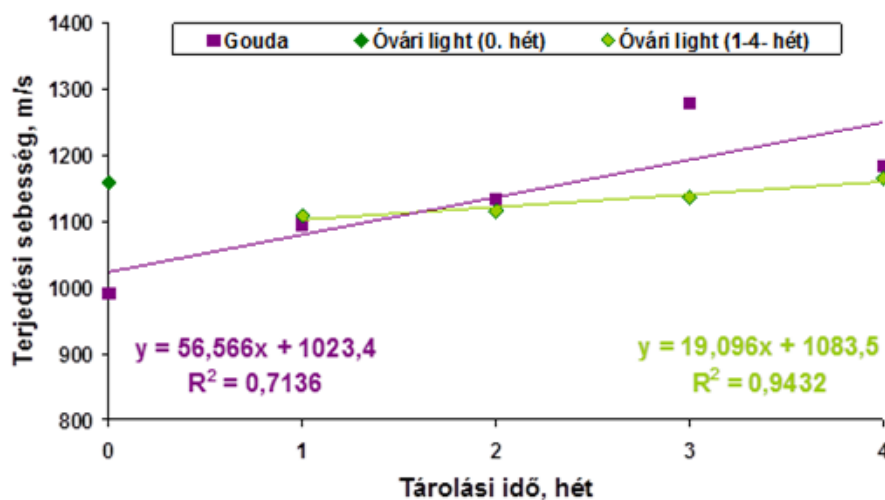
sajt fajtája	t_{kcs}	v_{cs}	S
Gouda	0,6235	0,5171	0,5264
Óvári light 0-4. hét	0,0702	0,6616	$3 \cdot 10^{-9}$
Óvári light 1-4. hét	0,0436	0,4866	0,0111

Ezért következő lépésként megvizsgáltam, hogy a mintavételi pontok elhelyezkedése mennyire befolyásolja a kapott eredményeket, és ennek érdekében a mintavételi pontokat három csoportra osztottam a 16. ábra látható módon, a sarkokra, az oldalakra és a minta középpontjára.



16. ábra: A mintavételi pontok csoportosítása, ● – sarkok, ● – oldalak, ● - középpont

A legjobb eredményt a sajt oldalain mért pontok átlagai mutatták. Szoros korrelációt találtam a terjedési sebesség és a tárolási idő között az Óvári light sajt esetében ($R^2 = 0,9432$), továbbá jó korrelációt találtam a terjedési sebesség és a tárolási idő között a Gouda sajt esetében ($R^2 = 0,7136$). Az Óvári light sajt típusnál figyelembe vettem, hogy a 0. hét adata eltér a többi héttől, így az illesztésnél kihagytam azt. A késleltetési idő és a súlypont paraméter mindkét sajttípusnál gyengének bizonyult a tárolási idő függvényében.



17. ábra: A terjedési sebesség változása a tárolási idő függvényében Gouda és Óvári light mintákon

A 17. ábra mutatja a terjedési sebesség változását az oldalakon vett mintákból a tárolási idő függvényében. A kapott lineáris illesztések R^2 értékeit a 5. Táblázat szemlélteti, ahol a legjobb eredményeket zölddel jelöltem.

5. Táblázat: Az ultrahangos mérés paraméterei és a tárolási idő közötti kapcsolat alapján illesztett lineáris modellek R^2 értékei a mintavételi helyek csoportosításával

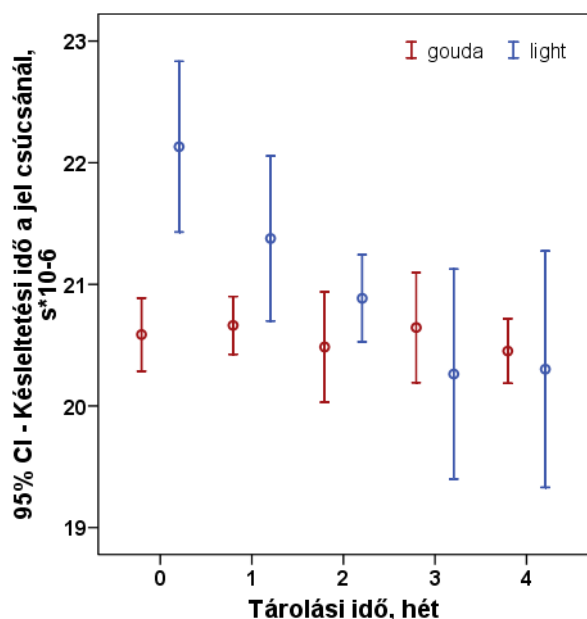
sajt fajtája	mintavételi hely	t_{kcs}	v_{cs}	S
Gouda	Sarkok	0,5496	0,2932	0,7346
	Oldalak	0,0326	0,7136	0,0613
	Középpont	0,2685	0,1377	0,1232
Óvári light 1-4. hét	Sarkok	0,2648	0,0014	0,0602
	Oldalak	0,0055	0,9432	0,0105
	Középpont	0,0524	0,6871	0,2118

Az ultrahangos mérések során kapott eredmények nagy szórást mutatnak mindhárom kiválasztott paraméter esetében, azonban a jel csúcsából meghatározott terjedési sebesség alkalmasnak tűnik a minták további vizsgálatára. Az Óvári light sajtoknál az eredeti csomagolás eltávolításának következtében a 0. heti minták jelentősen eltértek a tárolási idő alatt mért értékektől mindhárom paraméter esetében. A súlypont, mint érést jellemző paraméter az alacsony mintaszám, ismétlésszám és rövid tárolási idő miatt nem mutatta a várt eredményt. Fontos lenne továbbá a sajt mérését megelőző előélet ismerete is.

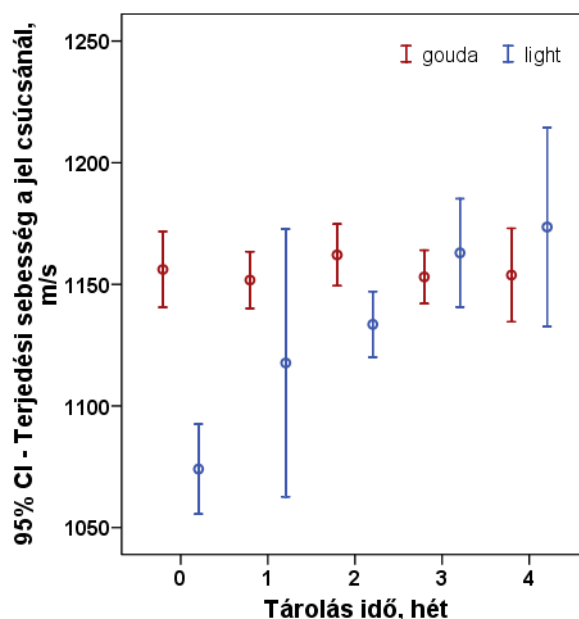
A sajtminták közül kiválasztottam egyet (5. minta), melyet a 0. héttől kezdve minden alkalommal megmértem ultrahangos módszerrel. Adatredukciót végeztem, majd ezt követően a késleltetési időt, a terjedési sebességet, valamint a súlypontot is vizsgáltam SPSS szoftver segítségével. A 18-20. ábrán a három paraméter változása látható a tárolási idő függvényében 95%-os megbízhatósági szinten.

A késleltetési időt megvizsgálva (18. ábra) a tárolási idő függvényében látható, hogy nincs szignifikáns különbség az egyes mérési hetek között. Az egyes sajttípusok között csak egy esetben található, a két féle sajt 0. heti adatai között. Az Óvári light típusú sajt - még a nagy szórás ellenére is- egyértelmű csökkenést mutat az idő múlásával.

A terjedési sebességet megvizsgálva (19. ábra) a tárolási idő függvényében látható, hogy nincs szignifikáns különbség az egyes mérési hetek között. Az egyes sajttípusok között csak két esetben található, a két féle sajt 0. és 2. heti adatai között. Gouda esetében jelentős változás nem tapasztalható, az Óvári light típusú sajt esetén - még a nagy szórás ellenére is- egyértelmű növekedés látható az idő múlásával.

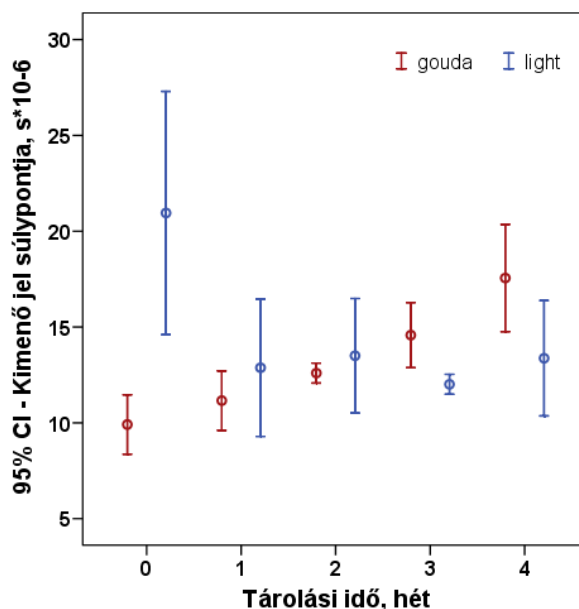


18. ábra: A késleltetési idő változása a tárolási idő függvényében Gouda és Óvári light egy kiválasztott mintáján



19. ábra: A terjedési sebesség változása a tárolási idő függvényében Gouda és Óvári light egy kiválasztott mintáján

A kimenő jel súlypontját megvizsgálva (20. ábra) a tárolási idő függvényében tapasztalható szignifikáns különbség az egyes sajttípusok között a 0. és a 3. héten is.



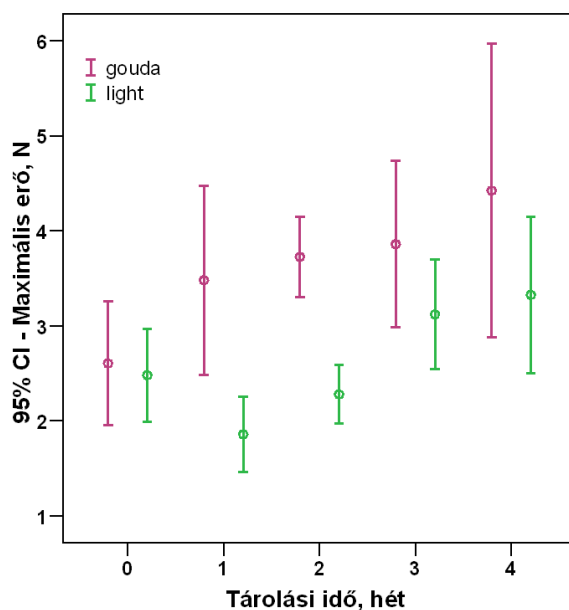
20. ábra: A kimenő jel súlypontja változása a tárolási idő függvényében Gouda és Óvári light egy kiválasztott mintáján

Gouda esetében egy folyamatos növekedés látható az idő múlásával. Míg az Óvári light típusú sajt esetén a súlypont közel egyenletes, stagnáló szintet mutat az 1-4. hét között (a korábbiakhoz hasonlóan az Óvári light esetén a 0. hetet külön kezeljük).

5.2. Rugalmassági teszt eredményei

A kiugró adatok elhagyását követően a Texture Analyzerrel végzett mérések során meghatározott paramétereket megvizsgáltam SPSS segítségével.

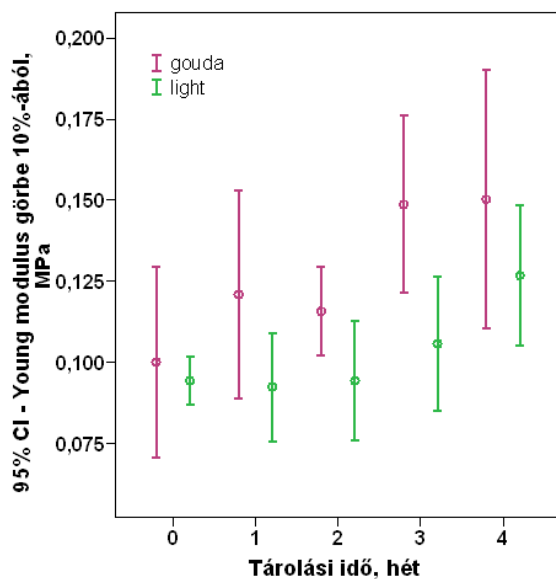
A 21. ábrán a maximális erő látható 95%-os megbízhatósági szint mellett a tárolási idő függvényében. Megállapítottam, hogy az 1. és a 2. héten is szignifikáns különbség volt az egyes sajttípusok között. Az egyes mérési hetek között nem látható szignifikáns különbség. A Gouda nagyobb szórást mutatott, ennek ellenére a maximális erő értéke növekedett a tárolás során. Az Óvári light esetében is látható a növekvő tendencia, azonban csak az 1. héttől. Mind a Gouda, mind az Óvári light típusú sajt keményedett az idő múlásával.



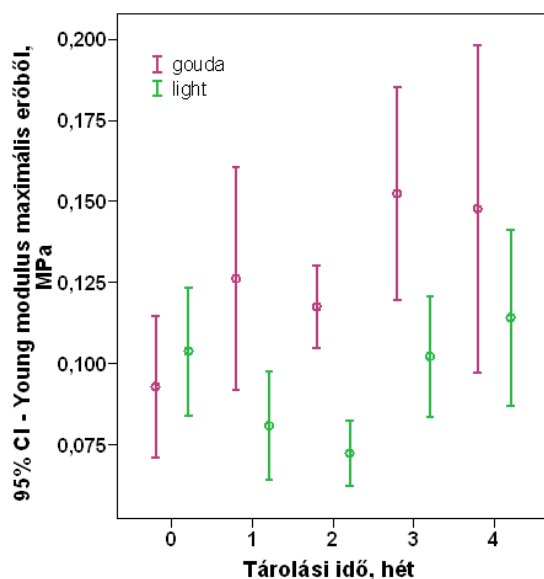
21. ábra: A maximális erő (átlag és a 95% megbízhatósági szint) a tárolási idő függvényében

A 22. ábrán a hiszerézigörbe utolsó 10%-ának meredekségéből számított Young modulus változása látható 95%-os megbízhatósági szinten a tárolási idő függvényében. Mindkét sajttípus esetében látható a növekvő tendencia az idő múlásával, bár az Óvári light esetében (minimálisan) itt is jelentkezik a 0. hét után az értékek visszaesése. Mindkét sajttípus esetén nagy szórás látható.

A 23. ábrán a maximális erő és maximális deformáció hányadosával ($F_{\max}/D_{\max}$) számított Young modulus változása látható 95%-os megbízhatósági szinten a tárolási idő függvényében. A Gouda sajttípus egyértelműen növekvő tendenciát mutat az idő múlásával. A 2. héten a két sajttípus között szignifikáns különbség látható. Az Óvári light típusú sajtnál a 2. és 3. hét adatai között tapasztalhatunk szignifikáns különbséget. Óvári light esetében itt is látható, hogy a 0. hét után az értékek visszaestek, majd ezt követően pedig növekedtek. Az eredmények nagyobb szórást mutatnak a „klasszikusan” számolt Young modulusához képest.

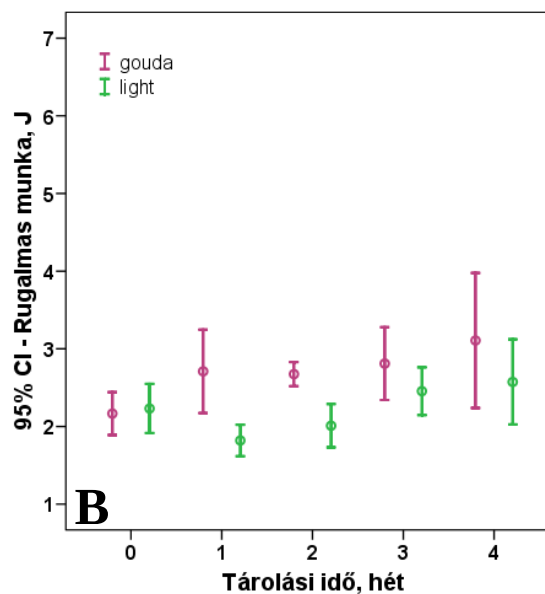
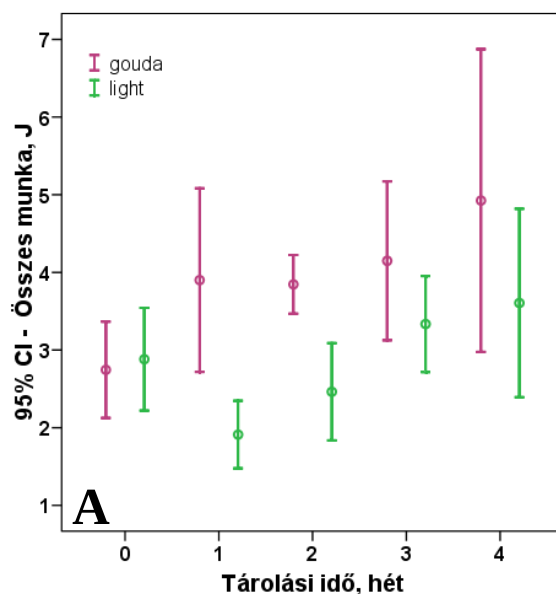


22. ábra: A görbe 10%-ából számított Young modulus (átlag és a 95% megbízhatósági szint) a tárolási idő függvényében



23. ábra: A $F_{\max}/D_{\max}$ hányadosból számított Young modulus (átlag és a 95% megbízhatósági szint) a tárolási idő függvényében

A 24. ábrán a rugalmassági fok két paramétere, az összes munka (W_{δ}) és a rugalmas munka (W_r) található. Látható, hogy a szórások mindkét paraméternél nagyon hasonlóak. A Gouda mindkét paraméterre nagyobb szórást mutat, mint az Óvári light. Az egyes sajttípusok között szignifikáns különbség látható - mind a két diagramon - az 1. és 2. hét esetén is. Végezetül látszik, hogy az összes munkához képest megközelítőleg feleakkora rugalmas munka számítható.



24. ábra: Átlag és a 95% megbízhatósági szint a tárolási idő függvényében

A) összes munka, B) rugalmas munka

Megállapítottam, hogy 95%-os megbízhatósági szinten nincs szignifikáns különbség a Gouda és Óvári light sajt között az $F_{\max}$, $E_{10\%}$, esetében. Ezzel szemben a $E_{F_{\max}}$, W_{δ} és W_r paraméterek esetén az 1. és a 2. hét adatai között szignifikáns különbséget tapasztalható a két sajtípus között. Ezen kívül megállapítható, hogy a minták szórása a Gouda sajtok esetében nagyobbak bizonyult és az Óvári light minták eredményei mindegyik paraméter esetében alacsonyabb értéket mutattak a Goudához képest. A Young modulus meghatározásához általában a hiszterézis görbe egyenes szakaszának meredekségét szokás használni, azonban a maximális erő, maximális deformáció hányadosából is kiszámoltam azt. A továbbiakban azonban nem vizsgáltam a maximális erő- maximális deformáció viszonyból számított Young modulus értéket.

A hetente mért minták mérési pontjain meghatározott paraméterek értékeit átlagolva, és az átlagokat a tárolási idő függvényében ábrázolva lineáris kapcsolatot találtam az egyes mérési paraméterek és a tárolási idő között. A kapott eredmény szoros korrelációt mutatott a Gouda esetében az $F_{\max}$, $E_{10\%}$, W_{δ} és W_r paraméterekre, azonban az Óvári light mintáknál nem találtam megfelelő kapcsolatot, egyedül a maximális erő ($F_{\max}$) mutatott jó korrelációt ($R^2 = 0,6295$). Ennek oka feltehetően a már az ultrahangnál említett „kicsomagolási reakció”. Ezért a 0. hetet kihagyva ismét lineáris kapcsolatot kerestem a fent említett paraméterek között, és ekkor már jobb eredményt kaptam. Az 6. Táblázatban láthatóak a kapott lineáris illesztések R^2 értékei.

6. Táblázat: A mechanikai paraméterek és a tárolási idő közötti kapcsolat alapján illesztett lineáris modellek R^2 értékei

sajt fajtája	$F_{\max}$	$E_{10\%}$	W_{δ}	W_r
Gouda	0,9144	0,8640	0,8666	0,8486
Óvári light 0-4. hét	0,6295	0,4614	0,4486	0,4525
Óvári light 1-4. hét	0,9617	0,8346	0,9661	0,9527

A táblázat alapján megállapítható, hogy a 0. hét elhagyásával az Óvári light mintákon meghatározott mechanikai paraméterek változása a tárolási idő függvényében szorosabb korrelációt mutat. Az eredmények alapján a maximális erő volt az a paraméter, amelyiknél a legegységesebb összefüggés volt tapasztalható a tárolási idővel.

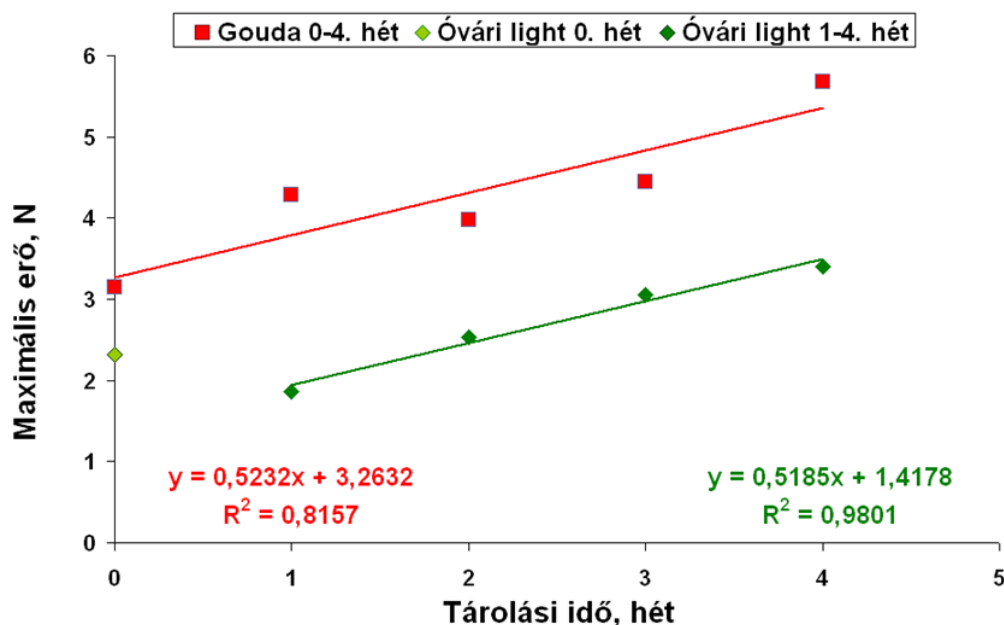
Következő lépésként a mechanikai módszernél is megvizsgáltam, hogy a mintavételi pontok elhelyezkedése mennyire befolyásolja a kapott eredményeket. A mintavételi helyek csoportosítását követően megállapítottam, hogy a sarkokon vett minták változása mutatta a tárolási idő függvényében a leggyengébb kapcsolatot a Gouda és az Óvári light minták

esetében is. Ennek oka, hogy a sajt a leggyorsabban a sarkoknál kezd el száradni. Megállapítottam továbbá, hogy az oldalakon és a középpontból vett minták esetében többnyire szoros korrelációról beszélünk, megjegyezve, hogy a középpontban csak egy mintavétel történt sajtonként (7. Táblázat). Ez alapján a legjobb eredményt az oldalakon vizsgált pontok mutatták, ami mintánként négy ismétlést jelentett (zölddel jelölt értékek).

7. Táblázat: A mechanikai paraméterek és a tárolási idő közötti kapcsolat alapján illesztett lineáris modellek R^2 értékei a mintavételi helyek csoportosításával

sajt fajtája	mintavételi hely	$F_{\max}$	$E_{10\%}$	W_{δ}	W_r
Gouda	Sarkok	0,4491	0,7823	0,2570	0,2303
	Oldalak	0,8157	0,807	0,7206	0,7143
	Középpont	0,8294	0,5456	0,8347	0,8056
Óvári light	Sarkok	0,8436	0,8443	0,6660	0,6509
	Oldalak	0,9801	0,7043	0,9986	0,9982
	Középpont	0,9799	0,8832	0,9695	0,9651

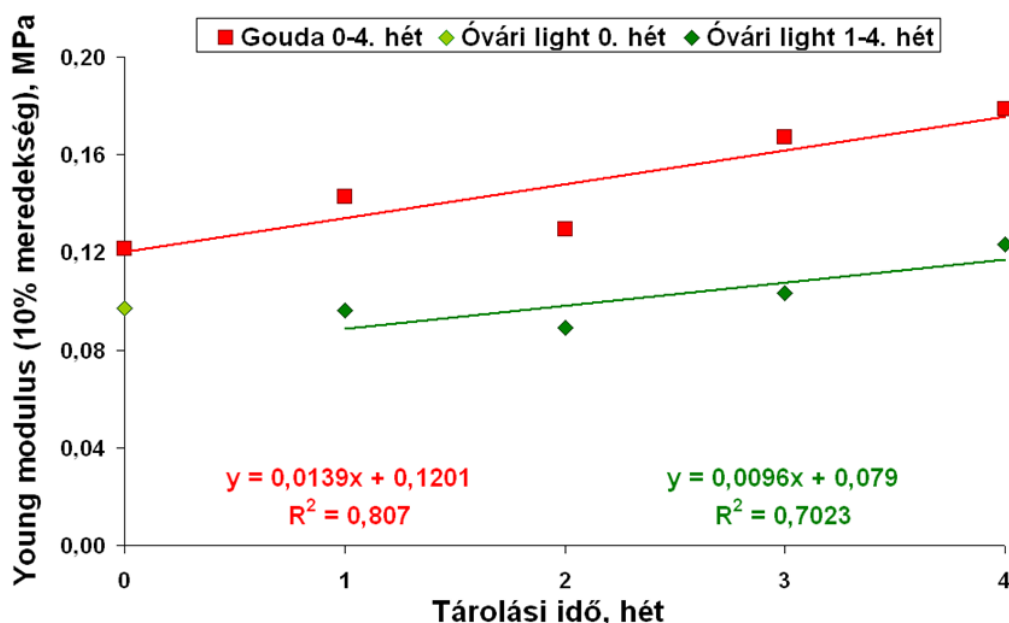
A 25-28. ábrán a legnagyobb determinációs együtthatót mutató paraméterek változása látható (a 7. táblázatban zölddel jelölt értékek).



25. ábra: A maximális erő a tárolási idő függvényében (oldalakon vizsgált pontok esetén)

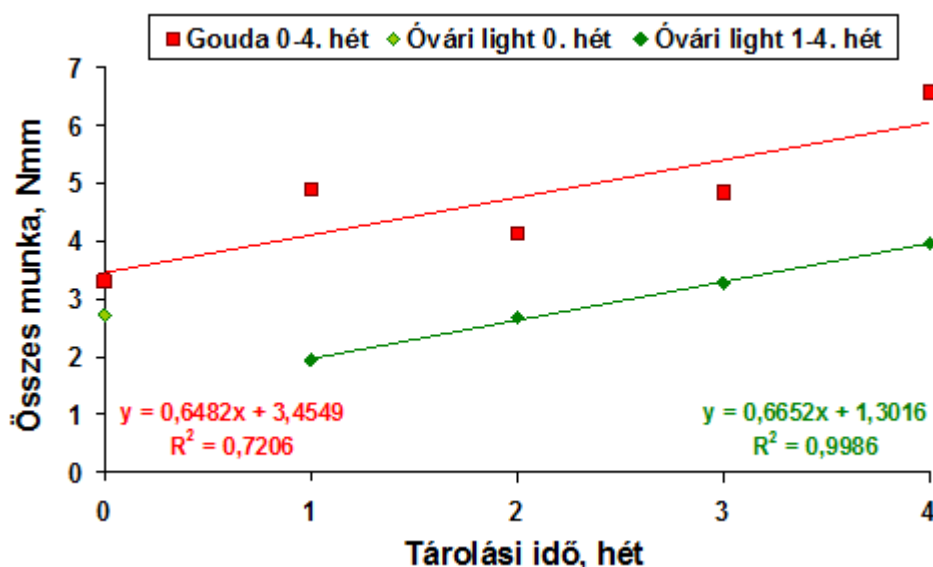
A maximális erőt megvizsgálva (25. ábra) a tárolási idő függvényében szoros korrelációt találtam, az Óvári light sajt ($R^2 = 0,9801$) és a Gouda sajt esetében ($R^2 = 0,8157$) is. Az Óvári light sajt típusnál a 0. heti adatok esetén kiugró értékeket tapasztaltam, ezért a későbbiekben sem illesztettem rá egyenest egyik paraméter esetén sem. Jól látható az értékek folyamatos növekedése az idő múlásával mind a két sajt esetén, azaz a minták a tárolás alatt folyamatosan keményedtek. Ez a jelenség ellentmond annak a várakozásnak, hogy az

alkalmazott nagyobb tárolási hőmérsékleten az érési folyamatok ugyan lassabban, de folytatódnak, amely eredményeként az állomány puhulása várható. A keményedés oka feltételezhetően az, hogy a tárolásra használt hűtőszekrényben lévő 55 ± 5 % relatív páratartalom túl alacsony volt, és a burkoló fólián keresztül is száradtak a sajtok.



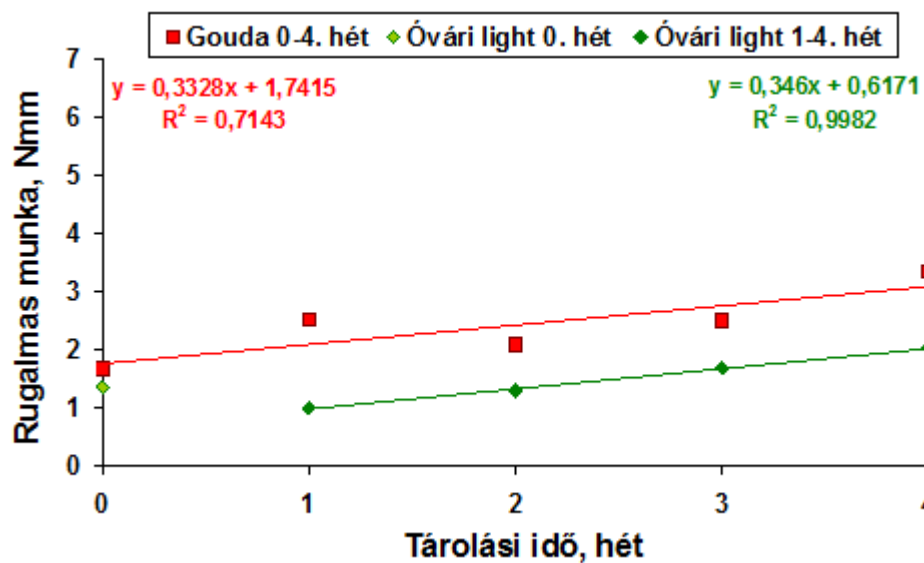
26. ábra: A Young modulus a tárolási idő függvényében (oldalakon vizsgált pontok esetén)

A Young modulust megvizsgálva (26. ábra) a tárolási idő függvényében jó korrelációt találtam, az Óvári light sajt ($R^2 = 0,7023$) és Gouda sajt esetében ($R^2 = 0,807$) is.



27. ábra: Az összes munka a tárolási idő függvényében (oldalakon vizsgált pontok esetén)

Az összes munkát megvizsgálva (27. ábra) a tárolási idő függvényében rendkívül szoros korrelációt találtam az Óvári light sajt ($R^2 = 0,9986$) esetében. A Gouda sajt is jó korrelációt mutatott ($R^2 = 0,7206$). Az idő múlásával az értékek folyamatosan növekedtek.



28. ábra: A rugalmas munka a tárolási idő függvényében (oldalakon vizsgált pontok esetén)

A rugalmas munkát megvizsgálva (28. ábra) a tárolási idő függvényében rendkívül szoros korrelációt találtam az Óvári light sajt ($R^2 = 0,9982$) esetében. Az Óvári light sajt típusnál itt is figyelembe vettem, hogy a 0. hét adata eltér a többi héttől, így az illesztésnél kihagytam azt. A Gouda sajt is szoros összefüggést mutatott ($R^2 = 0,7143$).

6. ÖSSZEFOGLALÁS

A kísérlet során roncsolásmentes és roncsolásos módszerrel vizsgáltam Gouda és Óvári light sajtokat tárolás során. A passzív ultrahangos mérés, mint roncsolásmentes módszer használata során megállapítottam, hogy a sajtban lévő lyukakban és repedésekben az ultrahang nem terjed, mivel itt levegővel találkozik. Ennek köszönhetően adatredukciót végeztem, majd a megmaradt adatokat vizsgáltam a kimenő jel a késleltetési idejét (t_{kcs}), a terjedési sebességét (v_{cs}), és a súlypontját (S). Az ultrahangos mérés eredményeiből meghatározott paraméterek a késleltetési idő, a terjedési sebesség és a súlypont voltak. Ezeket a paramétereket a tárolási idő függvényében megvizsgálva megállapítottam, hogy a késleltetési idő és a terjedési sebesség esetében szignifikáns különbség mutatkozott az 1. heti adatoknál az egyes sajttípusok között. Továbbá sajttípusokon belül a 0. és 1. hét között szintén szignifikáns volt a különbség a késleltetési idő és a terjedési sebesség esetében. Ez a jelenség erősebben mutatkozott az Óvári light sajtnál. Feltehetően azért, mert a 0. héten a védőgáz csomagolást eltávolítottam, majd ezt követően a mérések után frissentartó fóliába csomagoltam a sajtokat, és így tároltam. Védőgáz csomagolás hiányában az érési folyamatok másként zajlottak le, hiszen oxigén jelenlétében a tejsavbaktériumok másként viselkednek, mint oxigén hiányában. A kimenő jel súlypontját megvizsgálva nem volt szignifikáns különbség az egyes sajttípusok között. Ennek oka lehet a rövid mérési időtartam, illetve a kevés mintaszám.

Kiválasztottam egy-egy mintát mindkét sajttípusból, amit a kísérlet egész időtartama alatt mértem. Ezeknél a mintáknál megállapítottam, hogy a két sajttípus között a 0. héten mind a három paraméter esetén (t_{kcs} , v_{cs} , S) szignifikáns különbség mutatkozott. Ennek oka az eltérő zsír-, fehérje-és víztartalom lehet. Ugyanis a nagy zsírtartalmú sajtokat fehérje mátrix alkotja, melynek térközeibe a legkülönbözőbb méretű zsírgolyócskák vannak beépülve. Kis zsírtartalmú sajtok esetében azonban kevesebb és kisebb méretű zsírgolyócskák találhatók a sűrűbb szerkezetű fehérje mátrixban. A kis zsírtartalmú sajtok szerkezetében a fehérje dominál, ennek eredménye a keményebb, gumis állomány (Mistry and Anderson, 1993). Ebből következik, hogy a kisebb zsírtartalmú sajt rugalmasabb és jobban ellenáll a deformációnak, nem törik szét olyan könnyen, ezért állománya kohezívabbnak (összetartóbbnak) tűnhet. A víztartalom növelése vagy vízkötő-anyagok használata általában javítja a csökkentett zsírtartalmú sajtok állományát (Mistry, 2001). A nedvességtartalom hatása a rugalmasságra nem teljesen tisztázott, rugalmasság növekedést és csökkenést is tapasztaltak (Tunick et al, 1991; Bryant et al., 1995). Ennek alapján úgy tűnik, hogy inkább a

fehérje mátrix jellege határozza meg a sajt állományát, mint a nedvességtartalom (Bryant et al., 1995).

A 0. heti mérést követő hetekben az Óvári light sajtnál mért késleltetési idő a tárolási idő függvényében folyamatosan csökkent, míg terjedési sebesség növekedett. A Gouda esetében a súlypont az elkövetkezendő hetekben sem mutatott jelentős változást, feltehetően az eltérő összetételnek köszönhetően. A súlypont az egyes sajttípusok között a 0. és a 3. héten is szignifikáns különbséget mutatott az idő múlásával, illetve amíg a Gouda esetében folyamatos növekedést mutatott, addig az Óvári light nem változott jelentős mértékben.

Lineáris kapcsolatot találtam az egyes paraméterek és a tárolás idő között, azonban az Óvári light minták esetében a korreláció gyengébbnek bizonyult. Ennek oka feltételezhetően az, hogy a tárolási kísérlet megkezdésekor az Óvári light minták a gyári csomagolás kibontására érzékenyebben reagáltak, és a kicsomagolást követő 1 hétben nagyobb változást mutattak a Gouda sajtmintákhoz képest. Az Óvári light sajttípusnál minden esetben figyelembe vettem, hogy a 0. hét adatai eltérnek a többi héttől, így az illesztéseknél minden esetben kihagytam azokat.

Megvizsgáltam azt is, hogy a mintavételi pontok elhelyezkedése mennyire befolyásolja a kapott eredményeket. A legjobb eredményt a sajt oldalain mért pontok átlagai mutatták. Szoros korrelációt találtam a terjedési sebesség és a tárolási idő között mind a két sajttípus esetén.

Roncsolásos módszerrel rugalmassági tesztet végeztem minden héten, egy-egy mintán, ekkor az ultrahanggal megmért mintavételi pontokat kivágtam a sajtokból, és megnyomtam őket. Meghatároztam a maximális erőt, a Young modulust (a meredekség 10%-ából ($E_{10\%}$), valamint a maximális erő – maximális deformáció hányadosából (E_{Fmax}), és a rugalmassági fok két paraméterét, az összes munkát (W_o) és a rugalmas munkát (W_r). E módszerrel végzett kísérletek alapján megállapítható, hogy maximális erő a tárolási idő függvényében az 1. és a 2. héten is szignifikáns különbséget mutatott az egyes sajttípusok között. Ezt mutatja az is, hogy mind a Gouda, mind az Óvári light esetén is növekedett a maximális erő értéke a tárolás során, tehát keményedtek az idő múlásával. Jelen esetben a keményedés feltételezhető oka az, hogy a frissentartó fólián keresztül is száradtak a sajtok a hűtőszekrényben lévő $55 \pm 5\%$ páratartalom mellett. Young modulus esetén is a 2. héten volt tapasztalható szignifikáns különbség a sajttípusok között a tárolási idő függvényében.

A rugalmassági fok két paramétere, az összes munka (W_o) és a rugalmas munka (W_r) szintén az 1. és 2. heti adatoknál mutatott szignifikáns különbséget az egyes sajttípusok között. Összességében megállapítható, hogy 95%-os megbízhatósági szinten nincs

szignifikáns különbség a Gouda és Óvári light sajt között az $F_{\max}$, $E_{10\%}$, esetében. Ezzel szemben a $E_{F_{\max}}$, W_{δ} és W_r paraméterek esetén az 1. és a 2. hét adatai között szignifikáns különbséget tapasztalható a két sajtípus között.

A mechanikai módszernél is megvizsgáltam, hogy a mintavételi pontok elhelyezkedése mennyire befolyásolja a kapott eredményeket. A mintavételi helyek csoportosítását követően megállapítottam, hogy a sarkokon vett minták változása mutatta a tárolási idő függvényében a leggyengébb kapcsolatot a Gouda és az Óvári light minták esetében is. Ennek oka, hogy a sajt a leggyorsabban a sarkoknál kezd el száradni. Megállapítottam továbbá, hogy az oldalakon és a középpontból vett minták esetében többnyire szoros korrelációról beszélhetünk, megjegyezve, hogy a középpontban csak sajtonként egy mintavétel történt.

Elmondható tehát, hogy a mechanikai vizsgálat során meghatározott és vizsgált paraméterek esetében is – az ultrahangos vizsgálatához hasonlóan – az oldalakon mért adatok lehetnek alkalmasak a sajt tárolása és esetleg érése során bekövetkező változások nyomon követésére. Az eredmények alapján az ultrahangos mérés esetén a terjedési sebességet, a rugalmassági teszt esetén a maximális erőt és a 10%-os meredekségből meghatározott Young modulust tartom alkalmasnak a sajtok tárolása során bekövetkező változások nyomon követésére. Azonban meg kell jegyezni, hogy a rövid ideig tartó kísérlet ellenére az ultrahangnál meghatározott súlypont is ígéretesnek bizonyult.

7. JAVASLATOK TOVÁBBI TUDOMÁNYOS MUNKÁRA, GYAKORLATI ALKALMAZÁSRA

Kutatásom során megállapítottam, hogy a különböző zsírtartalmú sajtok állományváltozása számos tényező együttes hatásától függ. További kísérletek során a következő feladatok megoldását javaslom:

- Az ultrahangos mérés esetén:
 - ultrahang gél alkalmazása: ami azért szükséges, hogy az érzékelő fej és a termék (jelen esetben a sajt) közé ne szorulhasson be a levegő, és azzal ne változtassa meg a mérés eredményét
- A sajtok szerkezeti vizsgálatát:
 - pl.: elektronmikroszkóp segítségével: az anyagvizsgálati technikák azon fajtái közé tartozik, amelyek elkerülhetetlenül szükségesek az anyagtudomány területén. Az egyik leghatékonyabb módszer, amely alkalmas az különböző élelmiszerek szerkezetének jellemzésére. Mivel a fizika figyelme is erősen a kisméretű rendszerekben lejátszódó folyamatok megértése felé irányul, így a transzmissziós elektronmikroszkópia a jelen és jövő egyik meghatározó anyagvizsgáló módszere lesz.
- Hosszabb mérési időtartam, és nagyobb mintaszám alkalmazása
- A sajt mérését megelőző előélet ismerete
- A sajt elkészülésének kezdetétől javasolnám a vizsgálatokat, mert így az érés teljes folyamatát nyomon követhetjük
- A sajtok pontos összetételének ismerete elengedhetetlen

8. IRODALOMJEGYZÉK

1. AWAD, T. S., MOHARRAM, H. A., SHALTOUT, O. E., ASKER, D., YOUSSEF, M. M. (2012): Applications of ultrasound in analysis, processing and quality control of food: A review. *Food Research International*, 48, 410–427 p.
2. BALLA CS., SÁRAY T. (2002): Élelmiszerek tartósítása hűtőkezeléssel. In: Beke Gy. (Szerk.) *Hűtőipari kézikönyv 2. Technológiák*. Mezőgazda Kiadó, Budapest 7-18 p.
3. BENEDITO, J., CARCEL, J. A., GONZALEZ, R., MULET, A. (2002): Application of low intensity ultrasonics to cheese manufacturing processes. *Ultrasonics*, 40, 19-23.
4. BENEDITO, J., SIMAL, S., CLEMENTE, G., MULET, A. (2006): Manchego cheese texture evaluation by ultrasonics and surface probes. *International Dairy Journal*, 16, 431-438 p.
5. BERMUDEZ-AGUIRRE, D., CORRADINI, M. G., MAWSON, R., BARBOSA-CANOVAS, G. V. (2009): Modelling the inactivation of *Listeria innocua* in raw whole milk treated under thermo-sonication. *Innovative Food Science Emerging Technology*, 10, 172–178 p.
6. BEZZUBOV, A. D., GARLINSZKAJA, E.I., FRIDMAN, V.M. (1967): *Ultrahang és felhasználás az élelmiszeriparban*; Műszaki Könyvkiadó, Budapest
7. BORSA B., FEKETE A., FELFÖLDI J. (2002): Kertészeti termékek mechanikai és minőségi jellemzői. *Mezőgazdasági gépesítési tanulmányok*, FVM Műszaki Intézet közleménye 41, (2).
8. BRYANT, A., Z. USTUNOL, AND J. STEFFE. (1995): Texture of Cheddar cheese as influenced by fatreduction. *Journal of Food Science* 60(6):1216–1221.
9. BUDÓ, Á., PÓCZA, J. (1965): *Kísérleti Fizika*, Tankönyvkiadó, Budapest
10. CSAPÓ J., CSAPÓNÉ KISS ZS. (2002): *Tej és tejtermékek a táplálkozásban*, Mezőgazda Kiadó, Budapest
11. CHEMAT, F., HUMA, Z., KHAN, M. K. (2011): Applications of ultrasound in food technology: Processing, preservation and extraction. *Ultrasonics Sonochemistry*, 18, 813-835 p.
12. CHO, B. K., IRUDAYARAJ, J. M. K. (2003): A noncontact ultrasound approach for mechanical property determination of cheeses. *Journal of Food Science*, 68 (7), 2243-2247 p.

13. FRIEDRICH, L. (2008): Ultrahang alkalmazása húskészítmények minősítésében és gyártástechnológiájában, Doktori értekezés, Budapesti Corvinus Egyetem, Élelmiszertudományi Kar, Magyarország
14. DR. HALÁSZ T., DR. JURISITS J., DR. SZÚCS J. (2013): Fizika 11. Tankönyv-
Rezgések és hullámok, modern fizika, Mozaik kiadó, Szeged
15. HÆGGSTRÖM, E., LUUKKALA, M. (2001): Ultrasound detection and identification of foreign bodies in food products. *Food Control*, 12(1), 37-45.
16. LÁSZLÓ P., ZANA J. (1999.): Reológia. In: László P. (Szerk.) Élelmiszerfizika I. Kertészeti és Élelmiszeripari Egyetem Élelmiszeripari Kar , Budapest, 65-67 p.
17. MAGYAR ÉLELMISZERKÖNYV (Codex Alimentarius Hungaricus) (2005): 1-3/51-1 számú előírás (2. kiadás) Egyes tejtermékek
18. MAGYAR ÉLELMISZERKÖNYV (2012): 2-104 számú irányelv
19. MASON, T. J., PANIWNKY, L., LORIMER, J. P. (1996): The uses of ultrasound in food technology. *Ultrasonics Sonochemistry*, 3, 253-260.
20. MCCLEMENTS, D. J. (1997): Ultrasonic characterization of food and drinks: Principles, methods and applications. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 37, 1–46.
21. MISTRY, V.V. AND D.L. ANDERSON. (1993): Composition and microstructure of commercial full-fat and low-fat cheeses. *Food Structure* 12:259–266.
22. MISTRY, V.V. (2001): Low fat cheese technology. *International Dairy Journal* 11:413–422.
23. MIZRACH, A., BECHAR, A., GRINSHPON, Y., HOFMAN, A., EGOZI, H., & ROSENFELD, L. (2003): Ultrasonic mealiness classification of apples. *Transactions of ASAE*
24. MIZRACH, A. (2008): Ultrasonic technology for quality evaluation of fresh fruit and vegetables in pre- and postharvest processes. *Postharvest Biology and Technology*
25. MOHSENIN, N.N. (1986): Physical properties of plant and animal materials (Structure, physical characteristics, and mechanical properties). Gordon and Breach in New York .
26. DR. MOLNÁR A., DR. MOLNÁR J. (1999): A sajtkészítés ABC-je, Kiadó: Gaia Alapítvány, Galgahévíz
27. NASSAR, G., SABRA M. N., LEFEBVRE F., TOUBAL M., NONGAILLARD B., NOEL Y. (2006): Design of low-frequency ultrasonic sensors for the analysis of the draining stage of cheese production, *Ultrasonic*, 44, 1045-1050 p.

28. ORDÓÑEZ, J. A., AGUILERA, M. A., GARCIA, M. L., & SANZ, B. (1987): Effect of combined ultrasonic and heat treatment (thermoultrasonication) on the survival of a strain of *Staphylococcus aureus*. *Journal of Dairy Research*, 54, 61-67.
29. Óvártéj Zrt. <http://www.ovartej.hu> (2013.09.20.)
30. PONS, M., FISZMAN, S. M.(1996): Instrumental texture profile analysis with particular reference to gelled systems. *Journal of Texture Studies*
31. SAELEAW, M., & SCHLEINING, G. (2011): A review: Crispness in dry foods and quality measurements based on acoustic-mechanical destructive techniques. *Journal of Food Engineering*
32. SEMMELWEIS EGYETEM BIOFIZIKAI ÉS SUGÁRBIOLÓGIAI INTÉZET: Orvosi képkötő eljárások www.biofiz.sote.hu (2013.09.24.)
33. SHERMAN, P. (1970): Instrumental methods for evaluating food texture. *Proceedings of the Nutrition Society*, 29, 298-309 p.
34. SITKEI, GY. (1981) A mezőgazdasági anyagok mechanikája. Akadémiai Kiadó, Budapest
35. STEFFE, J.F. (1996) *Rheological Methods in Food Process Engineering*, Freeman Press, USA
36. DR. SZAKÁLY S.(2001): *Tejgazdaságtan*, Dinasztika Kiadó, Budapest
37. TUNICK, M.H. ET AL. (1991): Effects of composition and storage on the texture of Mozzarella cheese. *Netherlands Milk Dairy Journal* 45:117–125.
38. VANEVENHOVEN, D. W. (2012): A characterization of the rheology of raw milk gouda cheese. MSc Thesis, University of Wisconsin-Stout, United States of America

9. MELLÉKLET

9.1. Táblázatjegyzék

1. Táblázat: Zsíros és félzsíros sajtok szárazanyag-, zsír- és sótartalma (Magyar Élelmiszerkönyv, 2012)	6
2. Táblázat: A Gouda sajtminták adatai	17
3. Táblázat: Az Óvári light sajtminták adatai	17
4. Táblázat: Az ultrahangos mérés paraméterei és a tárolási idő közötti kapcsolat alapján illesztett lineáris modellek R^2 értékei	29
5. Táblázat: Az ultrahangos mérés paraméterei és a tárolási idő közötti kapcsolat alapján illesztett lineáris modellek R^2 értékei a mintavételi helyek csoportosításával	30
6. Táblázat: A mechanikai paraméterek és a tárolási idő közötti kapcsolat alapján illesztett lineáris modellek R^2 értékei	34
7. Táblázat: A mechanikai paraméterek és a tárolási idő közötti kapcsolat alapján illesztett lineáris modellek R^2 értékei a mintavételi helyek csoportosításával	35

9.2. Ábrajegyzék

1. ábra: Gouda sajt gyártástechnológiája (Molnár és Molnár, 1999)	5
2. ábra: Az Óvári light sajt általános gyártástechnológiája (Szakály, 2001)	7
3. ábra: Terhelőerő (F) – deformáció (s) jelleggörbéje (László és Zana, 1999)	12
4. ábra: Mérési pontok elhelyezkedése A) Gouda és B) Óvári light mintákon	18
5. ábra: Velleman Oscilloscope v. 1.12 kezelőfelülete	19
6. ábra: A mért sajtok jellemző reogramjai A) Gouda sajt B) Óvári light sajt	20
7. ábra: Mechanikai hiszterézis, görbe alatti területek, A) összes munka, B) rugalmas munka	21
8. ábra: Young modulus számításához a terhelő görbe kiválasztott szakasza	21
9. ábra: Rugalmassági vizsgálat A) mérés előtt, B) mérés közben	22
10. ábra: Sajtminták ultrahangos vizsgálata során mért bemenő jel (piros) és kimenő jel (kék)	24
11. ábra: Az átlagolási idő növelésének simító hatása Gouda sajtnál A) $T_A = 5$ minta, B) $T_A = 50$ minta, C) $T_A = 100$ minta	25
12. ábra: Az átlagolási idő növelésének simító hatása Óvári light sajtnál A) $T_A = 5$ minta, B) $T_A = 50$ minta, C) $T_A = 100$ minta	25
13. ábra: Késleltetési idő a jel csúcsánál (átlag és a 95% megbízhatósági szint) a tárolási idő függvényében	27
14. ábra: Terjedési sebesség a jel csúcsánál (átlag és a 95% megbízhatósági szint) a tárolási idő függvényében	27
15. ábra: Kimenő jel súlypontja (átlag és a 95% megbízhatósági szint) a tárolási idő függvényében	28
16. ábra: A mintavételi pontok csoportosítása, ● – sarkok, ● – oldalak, ● - középpont	29
17. ábra: A terjedési sebesség változása a tárolási idő függvényében Gouda és Óvári light mintákon	29
18. ábra: A késleltetési idő változása a tárolási idő függvényében Gouda és Óvári light egy kiválasztott mintáján	31
19. ábra: A terjedési sebesség változása a tárolási idő függvényében Gouda és Óvári light egy kiválasztott mintáján	31

20. ábra: A kimenő jel súlypontja változása a tárolási idő függvényében Gouda és Óvári light egy kiválasztott mintáján.....	31
21. ábra: A maximális erő (átlag és a 95% megbízhatósági szint) a tárolási idő függvényében	32
22. ábra: A görbe 10%-ából számított Young modulus (átlag és a 95% megbízhatósági szint) a tárolási idő függvényében.....	33
23. ábra: A $F_{\max}/D_{\max}$ hányadosból számított Young modulus (átlag és a 95% megbízhatósági szint) a tárolási idő függvényében.....	33
24. ábra: Átlag és a 95% megbízhatósági szint a tárolási idő függvényében A) összes munka, B) rugalmas munka	33
25. ábra: A maximális erő a tárolási idő függvényében (oldalakon vizsgált pontok esetén)..	35
26. ábra: A Young modulus a tárolási idő függvényében (oldalakon vizsgált pontok esetén)	36
27. ábra: Az összes munka a tárolási idő függvényében (oldalakon vizsgált pontok esetén).	36
28. ábra: A rugalmas munka a tárolási idő függvényében (oldalakon vizsgált pontok esetén)	37

Köszönetnyilvánítás

Köszönöm a Budapesti Corvinus Egyetem Fizika- Automatika Tanszékének, hogy munkámat mindig segítették. Ezúton is szeretném megköszönni segítőkész tanáraink állandó tanácsait, építő jellegű kritikáit, melyek nélkül valószínűleg nem készült volna el a TDK dolgozatom.

Köszönöm Pásztorné Dr. Huszár Klára témavezetőmnek a szakdolgozat során adott hasznos ötleteit és jó tanácsait. Köszönöm segítőkész támogatását és dolgozatom alapos és kritikus átnézését.

Rugalmasságáról, precízsegéről és segítőkészségéről bizonyosságot téve ezúton szeretném kinyilvánítani köszönetemet konzulensemnek, Dr. Kaszab Tímeának a dolgozat elkészítésében nyújtott segítségéért, rendkívül értékes tanácsaiért és türelméért.

Köszönettel tartozom Dr. Felföldi Józsefnek, hogy lehetőséget biztosított munkám sikeres elvégzéséhez. Nélkülözhetetlen szakmai tanácsaival, önzetlen támogatásával alapvetően hozzájárult szakmai fejlődésemhez és sikeres munkámhoz.

Hálával tartozom Csima-Tóth Tímeának és Kertész Istvánnak (PhD hallgató) önzetlen segítségükért, és jó tanácsaikért.

Végül, de nem utolsó sorban szeretném kifejezni megbecsülésemet, szívből jövő szeretetemet, és köszönetemet családtagjaimnak, akik szeretetükkel, segítségükkel támaszt nyújtottak tanulmányaim során, és a TDK dolgozatom elkészítésének teljes ideje alatt türelmet, megértést tanúsítottak irántam. Köszönöm!