



---

**Élelmiszertudományi Kar**

## **DOKTORI ÉRTEKEZÉS**

# **Ultrahang alkalmazása húskészítmények minősítésében és gyártástechnológiájában**

**Készítette:  
Friedrich László**

**Konzulensek:  
Dr. Felföldi József egyetemi tanár  
Dr. Balla Csaba egyetemi docens**

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

**Budapest, 2008**

**A doktori iskola**

**megnevezése:** Élelmiszertudományi Doktori Iskola

**tudományága:** Élelmiszertudományok

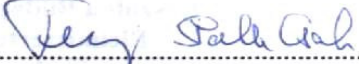
**vezetője:** Dr. Fodor Péter  
egyetemi tanár, DSc  
Budapesti Corvinus Egyetem  
Élelmiszertudományi Kar,  
Alkalmazott Kémia Tanszék

**Témavezetők:** Dr. Felföldi József  
egyetemi tanár, PhD  
Budapesti Corvinus Egyetem  
Élelmiszertudományi Kar  
Fizika - Automatika Tanszék  
Dr. Balla Csaba  
egyetemi docens, PhD  
Budapesti Corvinus Egyetem  
Élelmiszertudományi Kar,  
Hűtő- és Állatitermék Technológiai Tanszék

**A doktori iskola- és a témavezetők jóváhagyó aláírása:**

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

  
-----  
Az iskolavezető jóváhagyása

  
-----  
A témavezetők jóváhagyása

A Budapesti Corvinus Egyetem Élettudományi Területi Doktori Tanács 2008. február 14-ki határozatában a nyilvános vita lefolytatására az alábbi bíráló Bizottságot jelölte ki:

**BÍRÁLÓ BIZOTTSÁG:**

**Elnöke**

Vatai Gyula, CSc

**Tagjai**

Kovács Etelka, DSc

Hodúr Cecília, CSc

Körmendy László, DSc

Sembery Péter, DSc

**Opponensek**

Incze Kálmán, CSc

Lőrincz Attila, PhD

**Titkár**

Monspartné Sényi Judit, PhD

# Tartalomjegyzék

<b>1</b>	<b>BEVEZETÉS</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>IRODALMI ÁTTEKINTÉS</b> .....	<b>4</b>
2.1	AZ ULTRAHANG.....	4
2.1.1	<i>Ultrahang fizikai jellemzői</i> .....	4
2.1.2	<i>Az állóhullám</i> .....	6
2.1.3	<i>Az ultrahang előállítás</i> .....	7
2.1.4	<i>Az ultrahang terjedése</i> .....	8
2.1.5	<i>Akusztikai áramlás</i> .....	9
2.1.6	<i>Passzív ultrahang élelmiszer-ipari alkalmazása a minősítő rendszerekben</i> .....	11
2.1.6.1	<i>A passzív ultrahang alkalmazása a termékminősítő rendszerekben</i> .....	13
2.1.6.2	<i>Állati szövetek vizsgálata passzív ultrahang alkalmazásával</i> .....	14
2.1.7	<i>Aktív ultrahang élelmiszer-ipari alkalmazása</i> .....	17
2.1.7.1	<i>A nagy intenzitású ultrahang hatása a pácolásban</i> .....	17
2.1.7.2	<i>A nagy intenzitású ultrahang hatása a húsok szerkezetére, állományára, fizikai tulajdonságaira</i> .....	20
2.2	PÁCOLÁS.....	22
2.2.1	<i>A hús szerkezete</i> .....	22
2.2.2	<i>A pácolásnál végbemenő fizikai folyamatok</i> .....	23
2.2.3	<i>A pácolás alatt végbemenő biokémiai és kémiai folyamatok</i> .....	25
2.2.4	<i>Tumblerezés</i> .....	26
2.2.5	<i>Porhanyósítás</i> .....	28
2.2.6	<i>A konyhasó szerepe és diffúziós kinetikája</i> .....	28
2.2.7	<i>A foszfát szerepe a pácolásban</i> .....	30
<b>3</b>	<b>CÉLKITŰZÉS</b> .....	<b>33</b>
3.1	<i>A HÚSKÉSZÍTMÉNYEK MINŐSÍTÉSÉNEK INNOVATÍV FEJLESZTÉSE PASSZÍV ULTRAHANG ALKALMAZÁSÁVAL</i> .....	33
3.2	<i>A PÁCOLÁSI TECHNOLÓGIA FEJLESZTÉSE AKTÍV ULTRAHANG ALKALMAZÁSÁVAL</i> .....	34
<b>4</b>	<b>ANYAG ÉS MÓDSZER</b> .....	<b>36</b>
4.1	PASSZÍV ULTRAHANG.....	36
4.1.1	<i>Anyagok</i> .....	36
4.1.2	<i>A vizsgálat elve, fizikai alapjai</i> .....	38
4.1.3	<i>Az ultrahang-jellemzők és a készülékállandó meghatározása</i> .....	41
4.2	AKTÍV ULTRAHANG.....	46
4.2.1	<i>Anyagok</i> .....	46
4.2.2	<i>Kísérleti eszközök</i> .....	48
4.2.3	<i>Kezelések</i> .....	49
4.2.4	<i>Vizsgálatok</i> .....	51
<b>5</b>	<b>EREDMÉNYEK ÉS KIÉRTÉKELÉS</b> .....	<b>65</b>
5.1	PASSZÍV ULTRAHANGJELLEMZŐK.....	65
5.1.1	<i>Az ultrahanghullámok terjedési ideje különböző mintákban</i> .....	65
5.1.2	<i>Az ultrahanghullámok látszólagos kimenőjele különböző mintákban</i> .....	68
5.1.3	<i>Az ultrahang hullámok csillapodása különböző mintákban</i> .....	69
5.1.4	<i>Az ultrahangjellemzők és a szárazanyag-tartalom változása a téliszalámi érlelése során</i> .....	71
5.1.5	<i>Rétegvizsgálat a vastagság és a csillapítás additívítása alapján</i> .....	74
5.2	AKTÍV ULTRAHANG ALKALMAZÁSÁNAK EREDMÉNYEI ÉS ÉRTÉKELÉSE.....	78
5.2.1	<i>Sótartalom alakulása</i> .....	78
5.2.2	<i>Állományvizsgálat eredményei</i> .....	83
5.2.3	<i>Vízköti képesség</i> .....	94
5.2.4	<i>Víztartó képesség</i> .....	95
5.2.5	<i>Differential Scanning Calorimetry</i> .....	97
5.2.6	<i>Hússzerkezet változása</i> .....	98
5.2.7	<i>Mozaikosság vizsgálata</i> .....	105
<b>6</b>	<b>KÖVETKEZTETÉSEK, JAVASLATOK ÉS GYAKORLATI ALKALMAZÁS</b> .....	<b>109</b>
<b>7</b>	<b>ÖSSZEFOGLALÁS</b> .....	<b>111</b>
<b>8</b>	<b>TÉZISEK (ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK)</b> .....	<b>113</b>
	<b>FELHASZNÁLT IRODALOM</b> .....	<b>115</b>



<b>9</b>	<b>MELLÉKLETEK .....</b>	<b>136</b>
9.1	1. SZÁMÚ MELLÉKLET.....	136
9.1.1	<i>Minta-előkészítés pásztázó elektronmikroszkópos vizsgálatokhoz.....</i>	<i>136</i>
9.1.2	<i>Minta-előkészítés transzmissziós elektronmikroszkópos vizsgálatokhoz.....</i>	<i>137</i>
9.2	2. SZÁMÚ MELLÉKLET.....	138
9.2.1	<i>DSC vizsgálatok eredményei.....</i>	<i>138</i>

# 1 Bevezetés

Európában a fejlett húsiparral rendelkező Dánia bruttó nemzeti jövedelméhez nagymértékben hozzájárul a sertés tenyésztés és a húsipari feldolgozás ágazata. Dániában és a hasonlóan fejlett húsiparral rendelkező országokban jelentős anyagi és erkölcsi erőforrásokkal támogatják a húsipari kutatásokat, az új technológiai és mérés technikai innovációt. A magyar élelmiszeripari innováció sajnos háttérbe szorult anyagi és erkölcsi erőforrások hiányában. A magyar húsiparban alkalmazott technológiák és mérési rendszerek jelentős része tradicionális, nem hordozza magában az innováció új vívmányait. Az ipar számára a fejlesztést többnyire az adalékanyagokat, a gépeket és berendezéseket forgalmazó cégek jelentik. Ezek a cégek azonban nagyrészt külföldi tulajdonnal és egyúttal külföldi kutatóbázissal rendelkeznek. Nem szolgáltatnak információt a további fejlesztésekhez a húsipar szereplői számára. Ez sajnos azt jelenti, hogy mindig csak követjük az új technikát, de soha nem mi teremtjük. Ezért szükség van olyan technológiai és mérés technikai innovációkra, amelyek új lehetőségeket nyújthatnak a magyar húsipar számára.

Fejlesztést, és kutatást jelentő terület az ultrahang alkalmazása mind a mérés technikai, mind pedig a technológiai területen. Az ultrahang felhasználását tekintve ez két külön területnek számít. Az ultrahang hullámok intenzitásától függően megkülönböztetünk passzív és aktív ultrahangot. A passzív ultrahangot a mérés technikában, az aktív ultrahangot mechanikai behatásoknál alkalmazzák.

Az élelmiszeriparban az alapanyag és a késztermék minősítése rendkívül fontos a gyártás technológia során. A minőség meghatározása, a technológiai folyamatok nyomon követése elengedhetetlen az élelmiszer-feldolgozás területein és a kereskedelemben. A vizsgálatok során a legtöbb esetben kémiai és roncsolásos fizikai eljárást alkalmaznak a termékek minősítésére, valamely paraméterének meghatározására, amitől a minták tovább felhasználásra alkalmatlanná válnak. Ezért az adott lehetőségekhez mérten előtérbe helyezendők a gyors és egyszerű roncsolásmentes fizikai mérési módszerek, amelyek a minták további felhasználhatóságát teszik lehetővé, és automatizálással folyamatos információt szolgáltatnak a mérendő mintáról. Ezáltal elkerülhetőek a bonyolult mintaelőkészítési eljárások, ún. tiszta mérés technológia valósítható meg. A roncsolásmentes módszerek közé tartozik a passzív ultrahang, ami nem változtatja meg mérendő anyagok tulajdonságait. Itt kell megemlíteni a tengeralattjárók tájékozódását, a sebességmérést, az orvostudományban a magzat, ill. belső szervek vizsgálatát, a sertések minősítését a hús-zsír arány tekintetében stb.

Magyarországon, de más európai és Távol-Keleti országokban is nagy jelentőséggel bír a húsos szalonnák fogyasztása. A húsipar és az élelmiszer-kereskedelem számára rendkívül fontos az alapanyag- és a késztermék szalonnák minősége, amit manapság a hús-zsírarány határoz meg. Mai

napig megoldatlan probléma a húsos szalonnák átvételénél, értékesítésénél a tényleges hústartalom. A hústartalmat a szalonna vastagsága szemrevételezés szerint hús-zsíraránya alapján döntik el a szakemberek és a fogyasztók. Sajnos, mivel nincs megfelelően kialakított mérőrendszer és értékelés, gyakran minőségi hibák, félreértések és konfliktusok alakulnak ki az élelmiszer-előállítók, az élelmiszer-kereskedők és a fogyasztók között, ami gazdasági és erkölcsi hátrányokat von maga után. Tehát a húsos szalonnák előállítása és értékesítése során valós problémával nézünk szembe, ami megoldandó feladat az ipar és a kutatók számára.

Hazánkban 120-130 éves tradícióval rendelkezik a szárazárugyártás Szegeden és Budapesten a téliszalámi gyártásában. Az elmúlt több mint 100 évben a helyes és irányított érlelési technológiát a szalámimesterek végezték. Sajnos manapság a szalámimesterek száma lecsökkent, szinte nincs megfelelő szakember ezen a területen, mivel a mesterek féltett titokként őrizték az érlelés rejtelmét. Ezáltal eljutott az ipar oda, hogy nem nevelődött ki az utánpótlás, az érlelési technológiák ellenőrzése és szabályozása nem teljes. Az ipar nem rendelkezik érlelési folyamatot nyomon követő rendszerrel és mérőszámokkal, mivel eddig a szalámimester tapintással állapította meg a szalámi érettségi állapotát, és ennek megfelelően változtatta az érlelés paramétereit, a hőmérsékletet, a páratartalmat és a légsebességet. Gyakorlatilag nincs miből megtanulni a „szakmát”, amit, őszintén szólva, könyvből nem is lehet elsajátítani. Ezért fontos kérdés a szárazárú érlelésének nyomon követése, a kérégesedés megelőzése roncsolásmentes mérőrendszer kialakításával és mért jellemzők regisztrálásával. A szárazárúkat tradicionálisan gyártó országok húsipari kutatói több vonatkozásban vizsgálták a szalámifélék érlelése során végbemenő állomány- és ultrahangjellemzőket, azonban a kérégesedés detektálására vonatkozó mérések nem történtek.

Az ultrahang-alkalmazások másik területe az aktív ultrahang, ami jelentős mechanikai erőhatással rendelkezik. Alkalmazása szerteágazó: fémek, közetek fúrása, beton vágása, erozolok képzése, oldódási folyamatok, kristályosítás, stabil emulziók készítése, hús porhanyósítása stb.

A húsok pácolásánál gazdasági és üzemszervezési okokból előtérbe került a gyorsított technológia. Vagyis a páclé minél gyorsabb és egyenletesebb bejuttatása a húsokba. Az eddig alkalmazott technológia a páclé beinjektálása, és a tumblerezés, ami az egyenletes sóeloszlást tekintve nem teljes. A páclé beinjektálása ugyan egyenletes sóeloszlást tesz lehetővé, azonban ez a módszer csak a nagydarabos húsoknál alkalmazható, a kisdarabos bélbe töltött, vagy a gépben főtt sonkáknál nem. A pácolás sebességénél meghatározó a páclé diffúziója, valamint az állomány kialakulása. A szakirodalomban több kutató foglalkozott az aktív ultrahang húsipari pácolásban való alkalmazásával. A vizsgálatok kutatási területe főleg a diffúzió növelése. Az alkalmazás háttérben az aktív ultrahang magas intenzitása és a folyamatra jellemző kavitáció jelensége áll, ami előnyösen

hathat a sejtmembránok permeabilitására, gyorsítva ezzel a páclé diffúzióját. Az alkalmazott intenzitás értékek és kezelési idők szélsőségesek, az eredmények nem mutatnak egységes képet.

Összegezve az ultrahang aktív és passzív módját kívánom alkalmazni a húsipar mérés technikai és technológiai területén.

## 2 Irodalmi áttekintés

Az irodalmi fejezetben bemutatom az ultrahang előállítását, jellemzőit, típusait, kísérőjelenségeit, alkalmazását és eddigi kutatási eredményeit. Továbbá részletezésre kerülnek a pácolási folyamatok, technológia lépések és a pácolást befolyásoló paraméterek hatása.

### 2.1 Az ultrahang

#### 2.1.1 Ultrahang fizikai jellemzői

Ultrahangnak nevezzük az emberi hallástartomány felső határánál, a 20000 Hz-nél nagyobb rezgésszámú mechanikai hullámokat. Számos élőlény – pl. a kutya, a denevér, a delfin – használja tájékozódásra és kommunikációra a nagyfrekvenciás passzív ultrahangot. Technikailag akár  $10^9$  frekvenciájú ultrahang is előállítható. Az ilyen nagy frekvenciájú ultrahang hullámhossza levegőben 340 nm, vízben 1500 nm. Az ultrahangok fizikai tulajdonságai megegyeznek a hallható hangokéval, de rövid hullámhosszuk miatt terjedésük, a közeghatáron létrejövő törésük és visszaverődésük a fényéhez hasonló. Terjedési sebességük 340 m/s, vízben 1500 m/s érték, nedves közegekben, mint amilyenek a testszövetek is, az 1500 m/s-hoz hasonló érték, amely függ a közeg tulajdonságaitól (keménység, merevség, illetve rugalmasság, sűrűség és gáztartalom).

A közeghatáron történő visszaverődés mértéke attól függ, hogy milyen különbségek vannak az érintkező két közeg fent említett tulajdonságai között.

A tudományos életben elfogadott megállapodás szerint az  $1 \text{ W/cm}^2$  vagy a  $10000 \text{ W/m}^2$  teljesítmény alatt passzív, míg felette aktív ultrahangot különböztetünk meg.

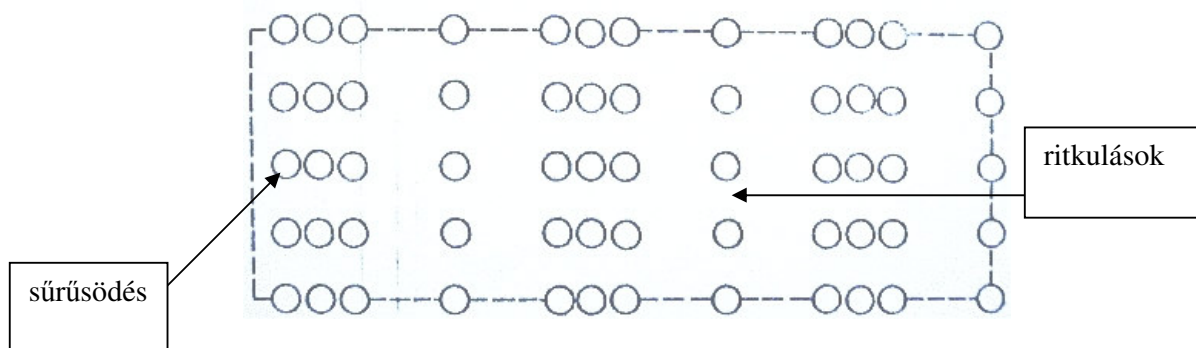
A passzív ultrahang alkalmazások fizikai alapja, az hogy az ultrahang homogén közegben állandó sebességgel és exponenciálisan csökkenő intenzitással terjed. Időméréssel meghatározható a befutott távolság, vastagság, ill. távolságméréssel a terjedési sebesség. A passzív ultrahanggal a különböző anyagállandók mérhetők, valamint vizsgálható az anyagok szerkezete. A másik fizikai alap a passzív ultrahangok alkalmazásánál a hullámok okozta közegbeli sűrűségváltozás optikai rácsként történő felhasználása. A fényelhajlás a rácsállandótól, vagyis a hullámhossztól függ. Az elhajlás mérése lehetőséget ad a terjedési sebesség és ezen keresztül anyagállandók meghatározására, amely roncsolásmentes szerkezetkutatásra ad lehetőséget (Budó, Pócza, 1962). A passzív ultrahang jellemzője a nagy frekvencia és az alacsony intenzitás. Az alacsony intenzitásnak köszönhetően a passzív ultrahang nem okoz szerkezetbeli változást a mintán belül.

Az aktív ultrahang alkalmazások fizikai alapjai igen sokrétűek. Főleg a tér együttmozgató hatására, a súrlódásra, a hőhatásra és a kavitációra szokás hivatkozni. Ezek közül a legbonyolultabb és egyben a legtöbb aktív hatást okozó fizikai jelenség a kavitáció. Megfelelően nagy frekvenciájú és nagy amplitúdójú nyomásváltozás esetén a húzási félperiódusban a kohéziós erők nem képesek az

anyag részecskéit összetartani. Az így keletkező belső üregek a következő nyomási félperiódusban összeomlanak, és eközben helyileg nagy mechanikai energia szabadul fel. A kavitáció majdnem minden aktív ultrahang folyamatban szerepet játszik.

A felsorolt elsődleges fizikai hatások következtében másodlagos fizikai, kémiai és biológiai hatások keletkeznek a besugárzott közegben. Jelentősek a kétkomponensű rendszerekre gyakorolt hatások: maguktól nem keveredő folyadékok tökéletes elkeverés, emulzióképzés, szuszpenziók kicsapatása, koagulálás, gázban lebegő szilárd szemcsék összecsapása. A biológiai hatások közül jelentősek a kis intenzitásnál a sejtek életműködésére gyakorolt serkentő hatás, nagy intenzitásoknál pedig a roncsoló hatás. Mindezek mellett még felmelegedést, oxidációs folyamatok gyorsítását stb.-t is okozhat. Vagyis az aktív ultrahang főbb jellemzője, hogy a kezelt mintán szerkezetbeli változást okoz, ami által megváltoztatja annak valamilyen tulajdonságát.

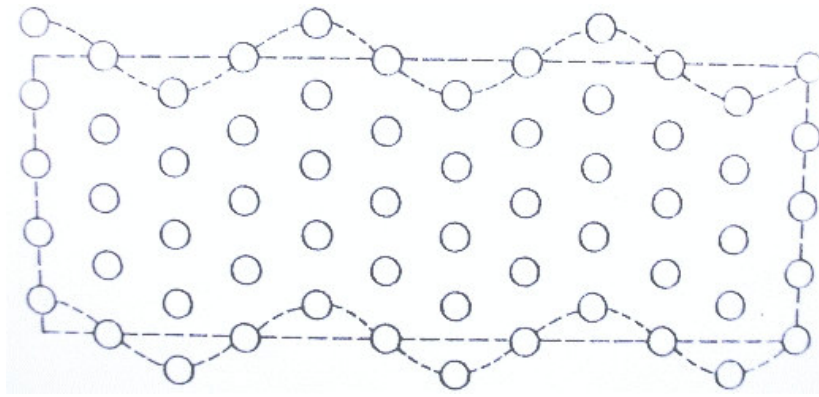
Az aktív ultrahang anyagtulajdonság-befolyásoló képessége az anyagban kialakuló hullám- és akusztikai jelenségekkel függ össze. A longitudinális hullámok terjedése váltakozó kompresszió és depresszió formájában jön létre. A légtérben egyenlő távolságban sűrűsödések és ritkulások követik egymást. (Bérces et al., 2003)



**1. ábra:** Longitudinális hullám (Forrás: Bérces et al., 2003)

A légtérben kialakuló sűrűsödéseket a „hullámhegyekkel”, a ritkulásokat pedig „hullámvölgyekkel” azonosíthatjuk. Gázokban és folyadékokban csak longitudinális hullámok terjedhetnek (**1. ábra**).

Ha egy test felületét a felületre merőleges irányban rezgésbe hozzuk, akkor a levegőben lévő membrán esetéhez hasonlóan longitudinális hullámok keletkeznek. A gerjesztést a felülettel párhuzamosan végezve, a rezgések transzverzális hullámok formájában terjednek tovább. A szilárd anyagokban transzverzális, longitudinális hullámok és ezek kombinációi terjedhetnek (**2. ábra**) (Tar, 1982).



**2. ábra:** Transzverzális hullám (Forrás: Tar 1982)

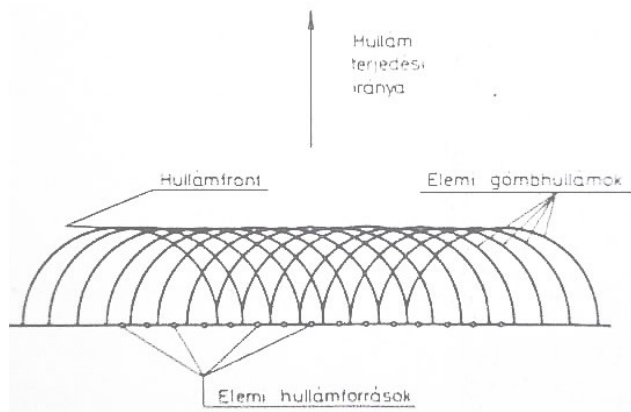
### 2.1.2 Az állóhullám

**Állóhullám** akkor keletkezik, ha egyazon helyen két azonos hullámhosszú hullám egymással ellentétes irányban halad át. Akusztikai állóhullám esetén természetesen a közeg nincs nyugalomban, de a hangnyomás és a részecskesebesség *maximumai* és *minimumai* a térben nem mozdulnak el. Leggyakrabban akkor jön létre, ha két különböző tulajdonságú közeg határfelületén egy hullám visszaverődik, és „saját magával” találkozik, interferenciát létrehozva.

A határfelület milyenségétől függően a következő esetek lehetnek:

1. Ha *akusztikailag kemény fal* veri vissza a merőlegesen érkező hullámot, akkor a határfelületen a részecskesebesség nulla lesz, a hangnyomás pedig maximumot ér el (Pl. fedett orgonasíp zárt vége).
2. Ha *akusztikailag lágy fal* veri vissza a merőlegesen érkező hullámot, akkor a határfelületen a nyomáskülönbség kiegyenlítődik, nulla lesz, a részecskesebesség viszont maximális (pl. sípok nyitott vége).
3. A leggyakoribb eset, hogy a hangvisszaverő felület valahol e két véglet között van, se nem kemény, se nem lágy. Ebben az esetben a hullám bizonyos mélységben behatol a hangvisszaverő közegbe, és csökkent amplitúdóval verődik vissza (Tarnóczy, 1963).

**Huygens-elv:** a hullámtérben a közeg minden egyes pontja az odaérkező hullám hatására pontszerű gömbi hullámforrássá válik. Azaz a hullámfront minden pontja újabb hullámforrás, amelyből további hullámok indulnak ki. A hullámfelület tehát mindig felfogható úgy is, mint egy korábbi hullámfelületről odaérkező elemi gömbhullámok burkoló felülete (**3. ábra**). A Huygens-elv alkalmas a törés és visszaverődés törvényének magyarázatára. Bizonyos megszorításokkal az elhajlásjelenségek is értelmezhetők segítségével (Tar, 1982).



**3. ábra:** Huygens-elv (Forrás: Tar 1982)

### 2.1.3 Az ultrahang előállítása

A hang és ultrahang előállításának általában az átalakítóknak, rezgékeltőknek nevezett berendezésekkel állítjuk elő. Ezek sugárzókból és annak gerjesztésére való szerkezetből állnak. Gyakorlatilag a következő átalakítókat használják:

- elektromechanikus (elektromágneses, elektrodinamikus, magnetosztatikus és piezoelektromos)
- aerodinamikus
- hidrodinamikus
- mechanikus

A legelterjedtebbek az elektromechanikus átalakítók. Főbb részei a generátor, amely a szükséges frekvenciájú váltakozó elektromos áramot termeli és a sugárzó, amely a generátortól kapott elektromos energiát mechanikai rezgésekké alakítja.

#### Sugárzók

A generátor elektromos energiáját ultrahanggá a következők alakíthatják át.

**1,** Elektromágneses: működési elve az, hogy mozgékony mechanikai rendszerben váltakozó árammal gerjesztett elektromágneses rezgéseket állítanak elő. Leginkább 1-2 kHz-es tartományban használják.

Szerkezetüket tekintve az elektromágneses sugárzók kétfélék, a rezgőkörön rögzített rugalmas membránnal, vagy szabadon felfüggesztett, armatúrával készült.

**2,** Elektrodinamikus: működése a rögzített állandó mágnes és a váltakozó árammal táplált rezgőtekerccs mágneses mezőinek kölcsönhatásán alapul.

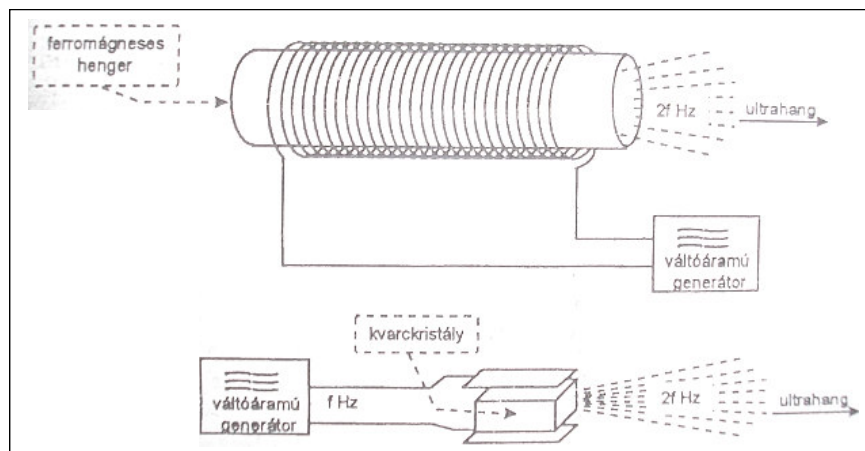
Két típusa van, a rövidre zárt mozgó tekerccsel indukált árammal és a mozgótekerccsel közvetlenül táplált.



3, **Magnetosztrikciós:** A jelenség abban áll, hogy a ferromágneses anyagok térfogata mágneses tér hatására csökken. A váltóáramú oszcillátorral előállított  $f$  Hz frekvenciájú rezgést tekercsbe vezetik, amelynek belsejébe a ferromágneses anyagból készült henger van. A tekercsben folyó váltóáram hatására minden egyes félperiódusban a ferromágneses henger térfogata csökken - a jelenség független az áram irányától. Ezért  $f$  Hz frekvenciájú váltóáram hatására  $2f$  Hz frekvenciájú ultrahang jön létre.

4, **Piezoelektromos:** Egyes kristályok és bizonyos keramikus anyagok felületén mechanikai deformáció hatására a szemben lévő lapok között elektromos feszültségkülönbség keletkezik. Ezt nevezzük egyenes piezo-elektromos hatásnak. Ugyanezen anyagok elektromos feszültségkülönbség hatására alak- vagy térfogatváltozást mutatnak, az a jelenség a fordított piezoelektromos hatás.

Az ólom (P)- cirkonát(Z)- titanát(T) (PZT) sugárzók a nagyteljesítményű sugárzóknak a legelterjedtebb mesterséges piezoelektikumok. A piezoelektromos sugárzó piezoelektromos elemből, elektródából, vagyis vákuumgőzöléssel felvitt fémfegyverzetekből és tartókból áll. Ezek a sugárzók 100 kHz-től 3-6 MHz-ig terjedő ultrahang-frekvencia tartományban használatosak (4. ábra) (Tar, 1982; Bezzubov, Aleksej, 1967).



4. ábra: Ultrahang előállítása magnetosztrikciós és piezoelektromos generátorral (Forrás: Tar 1982)

### 2.1.4 Az ultrahang terjedése

Eltérő akusztikai keménységű közegek határfelületén a hang visszaverődést szenved. Merőleges beesés esetén a visszaverődés foka a következőképpen számítható:

$$R = \left[ \frac{\sigma_1 \cdot v_1 - \sigma_2 \cdot v_2}{\sigma_1 \cdot v_1 + \sigma_2 \cdot v_2} \right]^2 \quad (1.)$$

Az összefüggésben a  $\sigma_1$  és  $\sigma_2$  a közegek sűrűségét,  $v_1$  és  $v_2$  a hang terjedési sebességét jelöli a közegekben. Folyékony szilárd közegek esetében az akusztikai keménység jóval nagyobb, mint a gázok esetében, ezért folyadék-gáz, szilárd-gáz határfelületén  $R \approx 1$ , vagyis a hangenergia zöme visszaverődik. Levegőben lévő nagyobb sűrűségű testek között tehát a hangenergia úgy vihető át, ha velük közel azonos sűrűségű közeget, úgynevezett csatoló közeget iktatunk a sugárzó és a test közé, kiküszöbölve az (1) összefüggésben leírt hatást. Ha pl. ultrahangot akarunk szövetekbe juttatni, a sugárzó fej és test közti levegőréteg helyét vízzel vagy kontakt géllal kell kitölteni.

A hang terjedésekor intenzitása csökken. Párhuzamos nyaláb esetén a hang intenzitásának csökkenése exponenciális függvény szerint megy végbe. Az ultrahang a hallható hanghoz képest intenzitásában erőteljesebben gyengül (Harkányi, 1988).

### **2.1.5 Akusztikai áramlás**

Az akusztikus áramlás az ultrahang hatására folyadékban kialakuló jelenség, amely a folyadék nem lineáris viselkedése következtében alakul ki. A jelenség oka, hogy a folyadék kevésbé nyomható össze, mint amennyire ki tud tágulni, illetve a térben nem egységes az energiadiszipáció. Az áramlást a tehetetlenségi erő által a folyadék dinamikájának nemlineáris viselkedése és a hajtóerőként funkcionáló nemlineáris akusztikai áramlás biztosítja. Az akusztikai áramlás állandó folyadékmozgást jelent, amit az intenzív ultrahang okoz. Akusztikai keverőhatás akár az élelmiszer-, akár a vegyipar, bio- és környezettechnika számára tartogat újdonságokat, ugyanis a keverés mellett „egy menetben” megvalósítható a diszpergálás (emulzió és szuszpenzió előállítás), a csírák serkentése, vagy éppen gátlása, roncsolása.

#### **Atomizáció**

Az atomizáció az akusztikai áramlás járulékos hatása. Ez a jelenség az ultrahanggal besugárzott folyadékok kiporlasztását jelenti. Ez a jelenség akkor jelentkezik, ha eltérő sűrűségű, egymással nem elegyedő folyadékok helyezkednek el rétegesen egymás felett (alul a sűrűbb), és a besugárzás felülről történik. Amikor az ultrahangos besugárzás alulról történik, akkor az alsó, nehezebb közeg felé alakul ki a szökőkút alakzat, de kiporlasztás nem jön létre (Lőrincz, 2006).

#### **Az ultrahang hőhatása**

A hanghullámok minden anyagban frekvenciájuktól, a hullám típusától, a hőmérséklettől, illetve az anyag tulajdonságaitól függő mértékben adszorbeálódnak a rezgési energia irreverzibilis hővé alakulása következtében. Az abszorbeált energia hővé alakul, és a közeget felmelegíti. Ez a tény a hipertermia alapja. Az ultrahang hőhatása elegendő lehet a biológiai struktúrák és a kémiai folyamatok befolyásolásához. A koncentrált ultrahang sugár segítségével akár az emberi test bármely pontján elhelyezkedő objektum megcélózható, ahol a hőmérséklet-emelkedés hatására a

fehérjék denaturációja következik be. Az abszorpció miatt az ultrahang intenzitása a távolsággal exponenciálisan csökken, és intenzitást a hangtér egy adott pontján az alábbi egyenlet fejezi ki:

$$I = I_0 \cdot e^{-2\alpha x} \quad (2.)$$

$I_0$  [ $Wcm^{-2}$ ] vagy [dB] a kiindulási, kibocsátott intenzitás, (I) az aktuális intenzitás [ $Wcm^{-2}$ ] vagy [dB], ( $\alpha$ ) az abszorpciós koefficiens [ $Np/cm=8,7$  dB/cm], (x) pedig az adott irányban megtett távolság [cm]. A hőképződés ( $q_v$ ) [J/s] pedig a következő egyenlet szerint alakul:

$$q_v = \frac{2 \cdot \alpha \cdot I}{c \cdot m} \quad (3.)$$

(c) a fajhő [kJ/kgK], (m) a kezelt anyag tömege [kg] (Fry, 1978).

### **Akusztikai kavitáció**

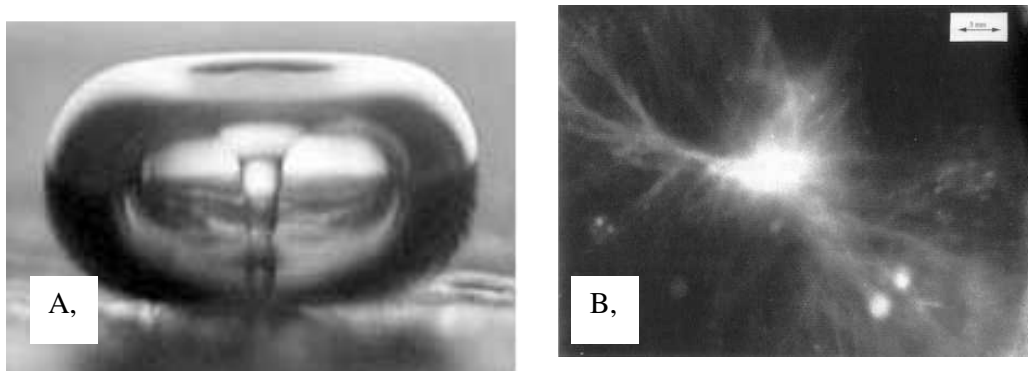
Az alapjelenség az akusztikus kavitáció, azaz ultrahangos besugárással létrehozott buborékképződés. Ha egy folyadékban buborékok alakulnak ki, és azokat megfelelő frekvenciájú és intenzitású ultrahanggal besugározzák, méretük egy ideig növekszik, majd hirtelen összeroppan (Flynn, 1964). Az összeroppanás folyamata alatt a buborék belsejében rendkívül nagy nyomás és magas hőmérséklet alakul ki, amely a gőzben jelen lévő molekulákat gerjeszti. A molekulák fény kibocsátásával szabadulnak meg energiájuktól, a buborékok összeroppanását fényvillanások kísérik, amelyek hullámhossza az ultraibolya tartományba is eshet. Az akusztikus energia tehát speciális körülmények között fényenergiává alakulhat át, ezt a jelenséget nevezik szonolumineszcenciának (SL) (Crum, 1994; Leighton, 1994).

Miller (1987) tanulmánya szerint a sejtek szétesésének főbb oka a mikroáramlások létrejötte, az áramló buborékok körüli nyírófeszültség, a buborék összeomlásakor kialakuló folyadéksugár kilövelés és a szonokemikáliák kialakulása.

### **Tranziens (tehetetlenségi) kavitáció**

A kavitációs üreg egy akusztikai ciklus során megnövekszik, majd hirtelen összeomlik. A szilárd fal melletti kavitációs üreg tranziens összeomlása során a kavitációs üreg szilárd felőli oldalán a szabad folyadék felőli oldalához képest a közegáramlás összetevője erőteljesen lecsökken. Ezért a kavitációs üreg falának mozgása a középpontjához képest asszimmetrikussá válik. Ezáltal az üreg folyadékból alkotott falának a szilárd fallal ellentétes oldala nagyobb sebességre tesz szert. Ezért az üreg falának asszimmetrikus egyre gyorsuló mozgása a leggyorsabb részen egy túszerű folyadéksugár kialakulását eredményezi, ami tehetetlensége miatt nagy sebességgel átdöfi a buborékot. Ezáltal a vele szemben elhelyezkedő szilárd falat, így például sejteket, erőteljesen erodálja (Kuttruff, 1991). Amennyiben a kavitáció nem a szilárd fal mellett omlik össze, úgy inkább a kémiai roncsoló hatás érvényesül, mivel a tranziens kavitáció során a molekulák széttöredezése is megfigyelhető. A molekulák roncsolódása főleg az erőteljes mechanikai lökéshullámoknak, a

mikroáramlásoknak, illetve az összeomláskor kialakuló 10-35000 K hőmérsékletnek és a több ezer bar nyomásnak köszönhető (Schnett-Abraham et al., 1992). A tranziens kavitáció jelensége érzékelhető emberi fül számára is, rendkívül magas frekvenciájú sziszegő hang hallható.



**6. ábra:** Tranziens kavitációs üreg (A, szilárd fal melletti „jet formájú” és B, szabad folyadékkal határolt tranziens kavitáció) (Forrás: Lőrincz, 2006)

### **Stabil kavitáció**

Stabil kavitációról akkor beszélünk, ha a buborék számos cikluson keresztül oszcillál, a térből való távozás, vagyis felszínre vándorlás, illetve összeomlás nélkül és a depresszió alatt mérete csökken, majd az ellenkező fázisban újra kitágul, mivel gőzt tartalmaz (Flynn, 1964). A stabil kavitáció kisebb akusztikai nyomás amplitúdók esetén jön létre. A buborék adott feltételeknek megfelelő egyensúlyi sugár körüli oszcillálódik több ezer ciklusnyi növekedési időtartammal (Atsley and Crump, 1988).

### **2.1.6 Passzív ultrahang élelmiszer-ipari alkalmazása a minősítő rendszerekben**

A passzív ultrahang felhasználási területe főként a hidroakusztika, a híradástechnika és anyagvizsgálat.

A víz alatti távolságmérés visszaverődött ultrahangimpulzus segítségével tökéletesen kidolgozott mérési eljárás. Az óceánok fenékviszonyai ezzel a módszerrel mindinkább ismertté válnak. Ugyancsak fontos eszköze ez a módszer a biztonságos parti és folyami hajózásnak, illetve úszó jéghegyek, halfalkák, nagyobb halak kimutatására vagy lemerült tengeralattjárók, hajók felkutatására.

A híradástechnikában az ultrahangokat hordozó hullámként használják. Ilyen alkalmazás a víz alatti jel- és beszédközlés, valamint a levegőben kistávolságú távvezérlés. Másik híradástechnikai alkalmazási csoport az ultrahangrácás fényelhajlító hatásán alapul. Fényvezérlő berendezések, igen rövid fluoreszcencia-időmérők, stroboszkópok, fénytelefonok stb. készíthetők ultrahangtechnikával.

A nagyfrekvenciás ultrahangnak (1 MHz felett) a roncsolásmentes anyagvizsgálat területén való gyakorlati alkalmazásai jelentősek (Kundu, 2004). Az anyagállandók meghatározásán kívül vastagságmérés és az anyag belső egyenlőtlenségeinek és hibáinak kimutatása területén mutatkoznak a legnagyobb lehetőségek. Különös jelentősége van az ultrahangos anyagátvilágításnak.

Ezzel lényegében mechanikai-optikai képátalakítási eljárással az anyag belsejét közvetlenül szemlélhetővé lehet tenni. Mivel a nagyfrekvenciájú hangsugarak nagyjából engedelmeskednek a geometriai optika törvényinek, az ultrahang leképzés bizonyos fokú nagyítást is lehetővé tesz. A gyógyászatban az anyaméhben elhelyezkedő magzatról, a vesében vagy az epében keletkezett kőről, a szervekről és a belső szövetekről készíthetünk képet (Wells, 1999). Kis energiaigénye miatt az emberi szervezetet nem károsítja.

A mezőgazdaság és élelmiszeripar igen nagy hatáskörrel használja vágóállatok minősítésére, amely hatékony szelektáló segítséget jelent. Meg kell említenünk még a magyarországi piacon már fellelhető áramlásmérőket vagy folyadékszintmérőket, melyek újabb lépcsőfokai a folyamatirányításnak.

Az élelmiszerek, a húsok, a zöldségek és gyümölcsök fizikai állapotának, összetételének analitikai módszerekkel történő meghatározása bonyolult. A mérések előkészítése nehézkes, általában a minta roncsolását, értéktelenné válását okozzák. A termékek eredeti állapotának megőrzése érdekében roncsolásmentes vizsgálati módszer szükséges a belső tulajdonságok megismeréséhez. Az ultrahangos rendszerek működtetési költsége alacsony, teljesen automatizálható, on-line és természetesen roncsolásmentes mérést tesz lehetővé (Abouelkaram et al., 2000, McClements, 1995).

Számos kutató vizsgálta a különböző szövetek tulajdonságait az ultrahang segítségével. Az ultrahang terjedési idejének és a minta vastagságának mérésével közvetlenül mérhető az izomszövetben az ultrahang hullámok terjedési sebessége, így pl. a marhahúsban (Miles & Fursey, 1977; Park, et al., 1994), a birkahúsban Miles, et al., (1991), a csirkehúsban (Chanamai & McClements, 1999), a tengeri makrélában (Sigfusson, et al., 2001a), a tonhalban (Ghaedian, et al., 1997), a fehérhasú halban (Freese & Makow, 1968).

Az ultrahang terjedési sebességének és csillapodásának mérését alkalmazták számos élelmiszer állományának mérésére: a főtt sárgarépa Young-modulus (Nielsen & Martens, 1997); ostya porozitásának és sűrűségének meghatározására (Juodeikiente, et al., 1994); mango keménységének becslésére (Mizrach, et al., 1997); sajt deformációs modulus mérésére (Benedito, et al., 2001); sajt reológiai tulajdonságainak és érettségi állapotának meghatározására (Lee, et al., 1992).

### **2.1.6.1 A passzív ultrahang alkalmazása a termékminősítő rendszerekben**

A mezőgazdasági termékek érettségi állapota az egyik legfontosabb minőségi tényező a postharvest folyamatokat, az eltarthatóságot illetően. Ezek közül az avokádó megfelelő érettségi állapotának meghatározása nehéz, mivel az érett és nem érett közötti átmenet időben rövid. Az érettségének indikátora a keménység. Mizrach és kutatótársai (1989) nagy energiájú, alacsony frekvenciájú ultrahang rendszert alkalmaztak a gyümölcs szövet gerjesztésére. Vizsgálataik során néhány gyümölcs és zöldség alapvető akusztikai jellemzőit, az ultrahang terjedési sebességét és a csillapodását mérték. Mizrach és munkatársai (1994) szoros összefüggést találtak az ultrahang jellemzők és az érettségi állapot között.

Mizrach és kutatócsoportja (1996) ultrahangos modellt állított fel az avokádó tulajdonságainak és eltarthatóságainak becslése.

Az avokádó alacsony hőmérsékleten történő tárolása során bekövetkező állományváltozás roncsolásmentes vizsgálatát végezték izraeli kutatók (Mizrach et al., 2000).

Az alma érettségi állapotának, keménységének, lédusságának mérésére alkalmazták az ultrahangot. Az ultrahang terjedési sebessége alapján becsülhető az alma frissessége (De Smedt, 2000).

Az ultrahangos energia elnyelésének mérését végezte Bechar (2005) alma grizességének meghatározására.

Paradicsom hűtőtárolása során létrejövő állományváltozások kimutatására alkalmazták az ultrahang-hullámok terjedési sebességében történő változás mérését (Verlinden, et al., 2004).

Taiwani kutatók (Lu és Chung, 1996) megállapították, hogy a zöldségek és gyümölcsök minőségét a külső és a belső tulajdonságaik, mint a keménység és érettség határozzák meg. Az ultrahang csillapodását, terjedési sebességét, valamint azok változását mérték a retek minősítésekor. Eredményeik azt mutatták, hogy a hullámok terjedési sebessége az ép és a hibás retekben különböző. Mérésük teóriája, hogy az előregedett retekben üregek képződnek, amelyek gázokkal telítettek, így csökkentik az ultrahang hullámok terjedési sebességét, valamint növelik a hullámok csillapodását. A transzmissziós ultrahang hullámok csillapítási koefficiense 1dB/m és 120dB/m között, míg a terjedési sebességének tartománya 130 és 350 m/s között változott a retek minták öregedési állapotától függően.

A mangó érettségét vizsgálva hasonló következtetésekre jutottak (Mizrach, et al., 1999). A mangó érettségi mutatói a hús puhasága, a savasság csökkenése, a cukortartalom növekedése, az oldható szilárd anyagok és az összes szilárd anyag koncentrációjának a növekedése és a karotin festékanyagok a növekedése. Köztudottan a keménységi faktor áll a legközelebb a mangó érettségi állapotához, amit egy hozzáértő személy tapintással képes meghatározni, de a vásárlók ritkábban. A

vizsgálatok során a mangó húsában a hullámok csillapodását mérték. A mérőfej a gyümölcs héjával érintkezett. Kapcsolatot találtak a főbb fiziológiai és penetrációs mutatók és a csillapítási értékek között. A kidolgozott kalibrációs egyenlet által a puhulási folyamat nyomonkövethető.

Mizrach és munkatársai (1999) roncsolásmentes ultrahangos méréssel határozták meg a még fán élő avokádó érettségét. A kísérletkor az ultrahang hullámok csillapodásának vizsgálták. Az ultrahangos jel csillapodásának változása és a szárazanyag-tartalom változása az érés során eltérő tendenciát mutatott: monoton csökkent a csillapítás, és monoton nőtt a szárazanyag-tartalom.

A Kertészeti és Élelmiszeripari Egyetem kutatói (Győri, E. és Tsai, 1997) zöldségek és gyümölcsök érési folyamatainak nyomonkövetését végezték ultrahangos módszerrel. Méréseik során azt tapasztalták, hogy az érés előrehaladtával az ultrahang terjedési sebessége és csillapodása nagymértékben megváltozott, ami által következtetni lehet azok keménységére, érettségére. A méréseket rétegenként végezték a minták héjától a minta középvonala felé haladva. A vizsgálatok során a minták egyes rétegeiben az ultrahang terjedési sebessége csillapodása eltért. Így regressziós egyenlettel meg tudták határozni a héj és a gyümölcshús vastagságát, valamint a magház méretét.

#### **2.1.6.2 Állati szövetek vizsgálata passzív ultrahang alkalmazásával**

Az ultrahang elterjedése a szövetek roncsolásmentes vizsgálati módszereit illetően egyre nagyobb teret hódít. Wilson 1992-ben történő megállapítása szerint az ultrahangos módszer fejlesztésére van szükség a marhahús minősítésének, az intramuszkuláris zsír mennyiségének meghatározásához a tenyésztés során. Azóta az ultrahangos technika tovább fejlődött a kutatók munkájának köszönhetően (Brethour, 1994; Herring et al., 1998, Hassen et al., 1999).

Számos tanulmány bizonyítja, hogy az ultrahangos módszer alkalmas a marhahús intramuszkuláris zsírtartalmának, azaz márványozottságának meghatározására élő szarvasmarhák esetében (Hassen et al., 2001; Chambaz et al., 2002).

Egyéves marha húsában a márványozottság öröklődését vizsgálta több kutató (Hassen et al. (2003).

Sapp et al. (2002) nagyfokú márványozottságot és jó minőséget mért fiatal Angus bikák húsában. Devitt és Wilton (2001) a márványozottság és az ultrahanggal kimutatott intramuszkuláris zsírtartalom között 0,80 korrelációt talált félrokon bika negyedtesteknél.

A tökehúsok intramuszkuláris zsírtartalmának további vizsgálatait végezték Kim és munkatársai (1996) ultrahangos technika felhasználásával. Összefüggést találtak az ultrahang terjedési tulajdonságai, a digitalizált képfeldolgozással nyerhető információk és a marhahús márványozottsága között. A hagyományos B-mode mérésnél a rádiófrekvenciás ultrahang szerepe kisebb, de a jel áttanszformálása után a kapott kép a kijelzőn megjeleníthető. A megjelenített

ultrahangos képet nemcsak a szövetek akusztikai tulajdonságai befolyásolják, hanem a B-mode rendszer is, mint például a kép minőségét javító idő/erősítés állítás (Jenderka, et al., 1999).

A sertéskarajban (longissimus dorsi) található intramuszkuláris zsírtartalom az egyik legfontosabb minősítési tényező a sertéshúsnál (Eggert, et al., 2002; Fernandez, et al., 1999a, 1999b; Kipfmüller, et al., 2000). Eredményeik szerint a hús márványozottsága akkor optimális, ha az intramuszkuláris zsírtartalom a 13. és 14. ágyékcsigolyánál 2-2,5 %.

Európában a sertés féltetek hústartalma alapján határozzák meg a sertések értékét. Ezért rendkívül fontos egy pontos mérőrendszer a hús mennyiségének meghatározására. Ez a rendszer objektív, on-line működésű legyen és tegyen eleget az EU törvénynek (Commission Regulation (EEC) no. 2967/85, 1985). A hústartalom meghatározásának módszerét, a mérést befolyásoló tényezőket és a szabályozást Walstra és Merkus dolgozta ki 1996-ban.

Magyarországon főleg az elmúlt két évtizedben volt jellemző az ultrahangos vizsgálatok kidolgozása és alkalmazása. Jelenleg is használják a húsiparban sertés féltetek minősítésében, mely a felvásárlási ár alapja. Az osztályozásnál mindig a csontoshús %-os mennyisége értendő. A minősítés a következő osztályok szerint történik:

S: csontoshústartalom > 60%, E: 55-60%, U: 50-55%; R: 45-50%; O: 40-45%; P: < 40%.

Nyugat-európai országokban az ultrahangos metodikát az élő sertések átvételénél az állatok fehéraru-hús arányának, valamint a csont-hús arányának meghatározásához használják (Branscheid, et al., 1997).

Amerikai mérnökök (Chanamai and McClements, 1999) baromfihús összetételének ultrahangos meghatározását végezték. Különböző összetételű csirke mintákban az ultrahang terjedési sebességét mérték 5-35°C között. Vizsgálataikat az ultrahangos berendezés visszhang (echo) üzemmódban történő beállítása mellett végezték. Fél-empirikus egyenletet dolgoztak ki az ultrahang csirkehúsban való terjedése és a csirkehús összetétele, zsírtartalma között. A különböző csirkehúsokban az ultrahang terjedési sebessége 1515 és 1610 m/s között változott az összetételtől függően. Tapasztalataik szerint a zsír tartalmazó húsoknál a hőmérséklet szerepe jelentős. A vizsgált hőmérséklet-tartományban a hőmérséklet növekedésével csökkent a terjedési sebesség.

A haltermékek előállításánál egyre fontosabb a minőség-ellenőrzés, illetve a hal minőségi indikátoraként ismert zsírtartalom. Az alkalmazott standard módszer a zsírextrahálás, ahol a mintát homogenizálni, roncsolni szükséges. A lazac minősítését, azonosítását a húsban lévő zsírtartalom alapján végezték (Katikou, 1998).

Az ultrahang terjedési sebességének a mérésével a halhúsban lévő zsír és olaj jellemezhető (McClements & Povey, 1992). A hang terjedési sebességét vizsgálták különböző arányban



összeállított zsír, fehérje és desztillált-víz keverékben, modellezve a különböző összetételű halhúsokban az ultrahang terjedési sebességét (Ghaedian, et al., 1998). Kísérleteik alapján összefüggést találtak a halhús összetétele, zsírtartalma és az ultrahang hullámok terjedési sebessége között. A telítetlen zsírsavak arányának növelésével az ultrahang terjedési sebesség nőtt.

Mizrach és kutatótársai (1999) tehenek fizikai állapotának változását vizsgálták a laktációs időszakban. A kísérlet során az állatok bőrének, faggyújának és húsának fizikai jellemzőit mérték az ultrahang terjedési sebességének és csillapodásának meghatározásával. A vizsgálatkor a teheneket rögzített állapotban, adott testrészen precíziós mérőberendezéssel mérték. A pontos fixálás a mérőszondák pontos beállításához és a kapott jelek pontos felvételéhez volt szükséges. A mérést két helyen végezték; a 12. és 13. csigolya között a hátsó fartő alatt, valamint a hátsó fartő környékén, a keresztcsont és a fartő között. A kapott adatok alapján regressziós egyenletet alkottak, mely sikeresnek bizonyult a tehenek fizikai állapotának leírására.

Az ultrahangot sikeresen alkalmazták a hús-zsír arány mérésére (Brøndum, et al., 1998). A post-mortem folyamatok nyomonkövetését végezte Micklander, et al. (2005) passzív ultrahanggal. A mérések során összefüggést találtak az ultrahang terjedési sebessége, csillapítása és a post-mortem folyamatok alatt végbemenő víztartó képesség között. A húsokban és húskészítményekben a kémiai alkotóelemek nagymértékben befolyásolják a táplálkozás-biológiai értéket, az igényelt tárolási körülményeket és a kereskedelmi értéket. Ezek a jellemzők rendkívül fontosak mind a gyártó, mind a kereskedő, és mind a fogyasztó számára. Az alacsony- intenzitású ultrahang alkalmazásával számos élelmiszer fiziko-kémiai tulajdonságairól szereztek információt Mulet, et al., 1999. Az összetett élelmiszerek ultrahang jellemzői első közelítéssel a következő összefüggéssel írhatók le (Ghaedian et al., 1997):

$$\frac{100}{v^2} = \sum_{j=1}^n \frac{\Phi_j}{v_j^2} \quad (4.)$$

A fenti egyenletben  $\Phi_j$  és  $v_j$  a tömegszázalék és az ultrahang terjedési sebessége az adott komponensben.

Különböző szerzők állításai szerint a fenti egyenlet azon a termékek mérésénél jól alkalmazható, amelyeknél az ultrahang szóródása nem lényeges, vagyis a minták levegőtartalma alacsony (Benedito et al., 2001; Ghedian et al., 1998; McClements & Povey 1992).

Az ultrahang hullámok terjedési sebességének mérése alkalmas érleléssel tartósított szárazárúk víztartalmának és állomány-jellemzőinek becslésére az érlelés során (Lull, et al., 2002).

## **2.1.7 Aktív ultrahang élelmiszer-ipari alkalmazása**

A biológiai rendszerekbe- és azokon áthatoló 20-100 kHz frekvenciájú ultrahang az anyag összenyomását és eredeti alakjának és méretének visszanyerését okozza miközben nagy energiát közöl azzal (Brown and Goodman, 1971). Az  $1 \text{ Wcm}^{-2}$ -nél nagyobb intenzitású ultrahangot nevezzük aktív ultrahangnak. Ismert jelensége a kavitáció, vagyis a mikro-méretű buborékok szétpattanása, amelyek sokkoltó erejű hullámokat hoznak létre. Ezek felhasználása a hírközlésben, a hangtechnikában jellemző (Allinger, 1975). Nagy intenzitású ultrahang alkalmazása növeli a só diffúzióját a húsban, zsír-víz emulzió kialakítására képes, és a hús érlelését, porhanyósságát növeli (Dolatowski, 1988, Sajas and Gorbatow, 1978). Reynolds et al. (1978) tanulmányukban ismertetik az aktív ultrahang pozitív szerepét a pácolási technológiában. A kezelések hatására a hullámok által gerjesztett energia egy része hővé alakul, így a nagy intenzitású ultrahang alkalmas húsipari termékek hőkezelésére is (Pohlman et al., 1995; Reynolds et al., 1978). Az alacsony frekvenciájú ultrahang az izom rostjait feltárja, a sejtek membránjait roncsolva lizozim enzimet szabadít fel, ami a szarkoplazmában gyorsítja a proteolízist (Roncales et al., 1992).

### **2.1.7.1 A nagy intenzitású ultrahang hatása a pácolásban**

A pácolás széles körben alkalmazott tartósító eljárás a húsipari termékek gyártásában (Sabadini, et al., 1998; Barat, et al., 2006). Az eljárásnál a húst áramoltatott páclébe helyezik, ahol két lényeges, egymással ellentétes anyagátadás megy végbe. Az egyik folyamatban a hús víztartalmának egy része a páclébe vándorol, a másik, hogy a páclé a húsba diffundál. A folyamat következménye, hogy megváltozik az oldat összetétele, aránya, a szabad víz mennyiségének csökkenésével az enzimek és a mikroorganizmusok reaktivitása lassul, szaporodásuk csökken, így javul az eltarthatóság.

A húsban a konyhasó és a víz vándorlását a hús ellenállása befolyásolja. Ez főleg a hús belső rétegeinek a vízvisszatartását és az oldott anyagok transzportját jelenti a külső rétegek felé (Gou, et al., 2003).

A hús felszíne és a páclé közötti tömegáramnál a külső rétegekben konvekciós ellenállás lép fel, ami a tömegátadási állandóval és a határréteg koncentrációval kapcsolatos (Mulet, et al., 2003). Az ellenállási és anyagátadási folyamatokat számos egyéb tényező befolyásolja, mint pl. a hőmérséklet, nyomás stb.

Még a magas koncentrációjú oldatokban kezelt élelmiszereknél, mint a telített sóoldatban pácolt húsnál jellemző a lassú diffúzió, a viszonylag lassú anyagátadás. Kutatások folynak, ill. már az ipar is alkalmaz bizonyos megoldásokat ennek gyorsítására. Ezek a vákuum (Deumier, et al., 2003; Barat et al., 2006), a nagy nyomás (Yashoda, et al., 2005), az elektromos pulzálás (Ade-Omowaye,

et al., 2003; Taiwo, et al., 2003), vagy a nagy intenzitású aktív ultrahang alkalmazása (Mulet et. al., 2003; Cárcel, et al., 2004; Carcel, et al., 2007)

Az ultrahangnak számos olyan mechanizmusa van, amely hatással van az anyagátadási folyamatokra (Haydock & Yeomans, 2003; Knorr, et al., 2004). A nagy intenzitású ultrahang hullámok a folyadékokban lévő buborékok növekedését és összeomlását okozzák, ez az úgynevezett kavitáció jelensége (Leighton, 1998). A kavitációs buborékok a szabálytalan pulzálásukkal magukba zárják a szilárd anyagot, majd a buborékok összeomlásával kilövellik azt a kezelt minta felületére, így a határreteg megváltoztatásával az anyagátadást befolyásolják. Az ultrahangnak egyéb hatása az anyag melegedése, ami a termo-akusztikus hatásnak tudható be (Mason & Lorimer, 2002), a folyadékok mikro-keveredése a külső rétegekben (Floros & Liang, 1994), és a szerkezeti hatások, mint a lékiválás, ami a hullámok mechanikai összenyomó erőhatása következtében jön létre (Gallego-Juárez, et al., 1999), és a szivacshoz hasonlóan mikro-járatok, kapillárisok keletkeznek (Muralidhara, et al., 1985). Ezek a hatások befolyásolják az anyagátadást, a membrán ellenállást és membrán visszatartást.

Az ultrahang említett hatásainak köszönhetően gyorsíthatók az anyagátadási folyamatok az élelmiszerek többségénél a gyártási, műveleti folyamatokban. Néhány példa: szárításnál rizs (Muralidhara, et. al., 1985), hagyma (Da Mota & Palau, 1999), sárgarépa (Gallego-Juárez et al., 1999), burgonya és alma (Rierra, et al., 2002), sajtok sólében áztatása (Sánchez, et al., 1999), alma ozmózisos dehidratálása (Simal, et al., 1998; Cárcel et al., 2007) és több extrakciós folyamat (Kim & Zayas, 1991; Romdhane & Gourdon, 2002; Alissandrakis, et al., 2003; Kimbaris, et al., 2006). Továbbá más kutatók a hús pácolása során alkalmazták az ultrahangot különböző intenzitás és frekvencia-tartományban (Sajas & Gorbatow, 1978; Mulet, et al., 2003). Tapasztalataik szerint az ultrahang eredményesen alkalmazható a diffúziónál a páclé beinjektálást követően.

Sajnos azonban az ultrahangnak a pácolási technológiában való alkalmazása nem tisztázott. A kapott eredmények nem egyöntetűek, sokszor ellentétesek. Ez is bizonyítja, hogy az ultrahang alkalmazása a pácolásnál rendkívül összetett, ha csak néhány tényezőt, mint például az intenzitást, a kezelési időt és a frekvenciát említjük meg.

Többen vizsgálataik alapján azt állapították meg, hogy az ultrahang nem hatékony a húsok pácolása során (Gisbert, 2001; Paulsen, et al., 2001). Hasonlóképpen rossz hatást értek el mások az ultrahang hullámoknak a hús mikro-szerkezetére gyakorolt hatásában (Sajas & Gorbatow, 1978; Reynolds, et al., 1978; Dolatowszki, 1989). Más szerzők szerint az ultrahangnak nincs hatása a pácolásra (Lyng, et al., 1997; Lyng, et al., 1998).

Az ultrahangos rendszerek alkalmazásával foglalkozó tanulmányok szerint a hatékonyságot befolyásoló két paraméter az intenzitás és az alkalmazott frekvencia. Számos tanulmány állítja,

hogyan van összefüggés az ultrahang intenzitása és az ultrahang hatásának érvényesülése és nagysága között (Lenart & Ausländer, 1980). Ugyanakkor az intenzitás hatása kevésbé megfogalmazott (Sajas & Gorbatow, 1978).

A nagy intenzitású ultrahang esetében az alkalmazott frekvencia általában 20 kHz körül van. Magasabb frekvenciánál növekszik az energia abszorpció, aminek következtében a maradék energia a külső rétegekben és a szilárd anyagban csökken.

Az ultrahang-intenzitás kialakításában az egyik fő szerepet a transducer játssza, ami nem más, mint egy elektromos energiát felhasználó generátor (Raso, et al., 1999). Korábban nem rendelkezett az irodalom teljes információval az ultrahangos hatómező, tér alakulásáról, azóta azonban kiderült, hogy ez a mező egyéb paraméterektől is függ. Ezek a jellemzők az edény mérete, geometriája, a rendszer jellemzői, a viszkozitás, a felszíni tenzió, a vízgőznyomás, a koncentráció, a hőmérséklet és az impedancia (Mason & Lorimer, 2002). Ezért az elektromos/akusztikus energia-átalakulási tényező határozza meg az akusztikus energia mértékét (Lin & Zhang, 2000).

A különböző kezelések összehasonlíthatósága érdekében az ultrahang-intenzitás hatását határozzák meg. Ennek megfelelően mérik az adott pillanatban az átlagos ultrahangos energiaátadást, amire különböző akusztikus térerő meghatározó módszereket fejlesztettek ki (Berlan & Mason, 1996). Ilyenek többek között a mikrofon/hidrofon és a kalorimetrikus mérések (Raso et al., 1999).

Bezzubov et al. (1967) tanulmánya szerint Zajasz és Ju a hús ultrahangos pácolását végezte. Vizsgálataik során az egyik alkalommal a húst hűtés nélkül 10-120 percig kezelték, máskor hűtötték majd 10-180 percig kezelték, harmadszor ugyancsak hűtés nélkül 10-100 percig kezelték ultrahanggal, majd 3 napon keresztül 18 °C-os sóoldatban tartották 4°C-on. Az általuk használt ultrahang frekvenciája 22, 300, 600, 750 és 1000 kHz volt. Eredményeik szerint az ultrahangos kezelés jelentősen meggyorsította a konyhasó behatolását a húsba. A besózott kísérleti húsminták egyenletesebben rózsaszínűek, míg a kontrollminták szürkefoltosak voltak. A só a hússzövetekben egyenletesebben oszlott el: 25 perces, 750 kHz-es ultrahangkezelés után a sótartalom a hús belső rétegeiben átlagosan 5,12%-ot, a külső rétegeiben 6,18%-ot tett ki, a hagyományos technológia szerint sózott hús belső rétegeiben pedig 1,74%-ot, illetve a külső rétegekben 4,34%-ot.

Továbbá megállapították, hogy a konyhasóoldatban a hús fölmelegedésének sebessége az ultrahangrezgések frekvenciájának emelésével jelentősen növekszik. A vizsgálatoknál azt tapasztalták, hogy már 5 perces 1000 kHz-es kezelés után a hús besugárzóhoz közel fekvő része teljesen megfőtt. A szalonnák 50-100 perces ultrahangos kezelésekor 1000 kHz frekvencián a szalonnából teljesen kiolvad a zsír.

A legjobb eredményeket húsnak sóoldatban 60-100 percig tartó 22 kHz-es ultrahang-kezelésével és utána a húsnak 2×24 órás sóoldatban tartásával érték el. Ekkor a hús élénk rózsaszínű lett, sótartalom átlagosan 15,01%-ot tett ki, míg a kontroll mintáknál ez az érték csak 8,7 % volt.

A végzett vizsgálatok alapján levont következtetések szerint a hús ultrahangos kezelésekor a fölmelegedés sebessége az ultrahangrezgések frekvenciájának és intenzitásának emelésével növekszik. Hús kezelésekor- anélkül, hogy utána a húst sóoldatban tartanának- a só behatolásának sebessége nagyobb frekvenciákon (300-1000 kHz) 20-40%-kal nagyobb, mint a 23 kHz frekvencián. A 22 kHz frekvenciás 60-100 percig tartó kezelés és az azt követő két napos sóoldatban tartás esetében a só maximális, csaknem kétszeres sebességgel hatol a húsba. Kísérleteik azt mutatták, hogy az ultrahang meggyorsítja a sónak a húsba való bedifundálását. Legalkalmasabb az alacsony, 20-22 kHz nagyságrendű frekvencia. Az ultrahang felületegységre jutó intenzitásáról azonban nem tesznek említést, ami meghatározó az állóhullám kialakulásában, mivel az állóhullám egyenletes intenzitású kezelőteret biztosít.

### **2.1.7.2 A nagy intenzitású ultrahang hatása a húsok szerkezetére, állományára, fizikai tulajdonságaira**

A marhahús esetében a porhanyósság az egyik legfontosabb minőségi tényező a fogyasztók vásárlása során. A kemény, tömött szerkezetű marhahús nagy problémát okoz az ipar számára is a feldolgozhatóságban (Koochmaraie, 1996). A hús porhanyósságát két fő komponens határozza meg a szerkezetét illetően. Az egyik az izom összehúzódásáért felelős hosszú miofibrillumok, a másik a kötőszöveti háló, ami a hús rágósságát okozza (Tarrant, 1998).

Különböző fizikai, kémiai és mechanikai hatásokkal és azok kombinációival javítható a hús puhasága, porhanyóssága. Ezeknek a kezeléseknél ismertek az előnyei és a hátrányai. A hagyományos érlelésnél a fehérjebontó proteázok hatására puhul a rágós, öreg hús (Koochmaraie, 1994). Az elektromos stimuláció egy előkezelés a rágósság megelőzésére, a hidegrövidülés megakadályozására (Hwang, Devine & Hopkins, 2003), de sajnos ez nem teszi a porhanyósabbá a marhahúst a normál eredetihez képest. A hús puhítása javítható a fél- vagy negyedtest keresztcsontnál történő felfüggesztésével (Sørheim & Hildrum, 2002), enzimes kezeléssel, enzim oldat beinjektálásával (Morrissey & Fox, 1981). A beinjektált oldat tartalmazhat nátrium kloridot, kalcium-kloridot, polifoszfátot és savakat (Berge et al., 2001; Eilers et al., 1994; Lawrence, et al., 2004). A beinjektált anyagok a húspanban lévő aktin és miozin közötti kötőerőt csökkentik, a fibrillumok közti teret növelik, a vízkötő, víztartó képességet javítják, így a hús nedvességtartalma megmarad, szerkezete lazul.

A mechanikai porhanyósítás a késes tenderizer alkalmazása, ami a kötőszöveti hálószerkezetet vágja át. Ezáltal a hőkezelés hatására csökken a zsugorodás mértéke, így nem préselődik ki a hús víztartalma, a hús lédúsabb, porhanyósabb marad (Hayward et al., 1980).

A nagynyomású kezelés (100-800 MPa) a húst puhítja, de sajnos a hús színét adó miooglobin denaturációja következtében színváltozás következik be, a vörös színezet csökken, így a jellegzetes friss hússzín eltűnik (Cheftel & Culioli, 1997). A hidrodinamikai kezeléseknél a robbantás kivitelezése, bonyolultsága okoz gondot (Solomon et al., 1997)

Az ultrahang alkalmazása az egyik további lehetőség a porhanyósításban a szövetek roncsolása, az izomrostok távolságnövelésével. A kialakult kavitáció során keletkező mikro-buborékok megváltoztatják a miofibrillumok felületét és kapcsolódását. Ezért széles körben alkalmazott a kutatásokban a biológiai anyagoknál az ultrahang kavitációs jelensége (Williams, 1983).

Számos kutató vizsgálta az alacsony frekvenciájú ultrahang hatását a húsok porhanyósságára (Jayasooriya et al., 2004). Néhány tanulmány az mutatja, hogy a porhanyósság növekszik az alacsony frekvenciás (22-40 kHz) kezelések által (Dickens et al., 1991; Dolatowski, 1988, Dolatowski, 1989). 25,9 kHz feletti frekvenciájú ultrahang 4 perces kezelése esetében nő a puhaság. Azonban a hosszabb, 8-16 perces kezelési időknél a hús keményedik (Smith et al., 1991).

Egyéb vizsgálatok szerint az alacsony 0.29 -1.55 Wcm<sup>-2</sup> közötti intenzitású ultrahangos fürdő nem puhítja a hús állományát (Lyung et al, 1997; Pohlman et al., 1997b). Ugyancsak hatástalan a nagy intenzitású (62 Wcm<sup>-2</sup>) ultrahang 15 másodperces kezelése is, mert az oldhatatlan kollagén mennyisége és a porhanyósság sem változik lényegesen az 1., a 3. és a 7. napon a kezeletlenhez képest (Lyung, et al., 1998a; 1998b).

Pohlman et al., (1997a) különbözőképpen kezelt nyers húsok főzése során vízben történő, ill. ultrahangos hőkezelést alkalmaztak. Vizsgálták a léveszteséget és az állományváltozást, ami nem mutatott szignifikáns eltérést.

Got et al., (1999) pre- és postrigor állapotú húsok nagy intenzitású (10 Wcm<sup>-2</sup>) és nagyfrekvenciás (2,6 MHz) kezelését végezték. Az alkalmazott frekvenciák hullámhossza kisebb, mint 1 µm, ami megegyezik az izomnyalábok elsődleges szerkezetével. Ezáltal az ultrahang hullámok az izomnyalábok közötti teret nagyobb mértékben növelhetik. A kezelés hatására a sejtmembrán sérül, a porhanyósság nő, az izomrostok fizikai stabilitása gyengül, gyorsulnak a proteolitikus folyamatok, vagyis a lizozim enzim hatására a katepszinek a fehérjebontást megindítják, illetve az intracelluláris állományban lévő kalcium ionok aktiválják a kalpait. A vizsgálatok során azt tapasztalták, hogy az ultrahang hatása kismértékben puhítja a nyers hús állományát az érlelés 3. és 6. napja között, azonban ez a különbség a 14. napra eltűnik

## **2.2 Pácolás**

A pácolás célja a húsok eltarthatóságának növelése, állományának puhítása, valamint a hús vörös színét adó mioglobin rögzítése pác-só hozzáadásával. A hagyományos pácolási technológia lassú, több hetet vesz igénybe. Ez a hosszú időtartam nem illeszthető be a mai kor igényeit kielégítő technológiába. A termelés és a kereskedelem összehangolása érdekében meghatározó a technológiai lépések gyorsítása, a késztermék minél hamarabbi előállítása.

### **2.2.1 A hús szerkezete**

Az izom felületét kötőszöveti hártya veszi körül, ami benyúlhat az izom belsejébe, mint kötőszöveti sövény. Szabad szemmel is látható, hogy finomabb és durvább részekből állnak az izomrost nyalábok, ahová a zsír lerakódhat, adva a hús intramuszkuláris zsírtartalmát (márványozottság).

A legalább 1000 miofibrillumból álló izomrost fénymikroszkóp alatt váltakozva eltérő fénytörésű szakaszokat tartalmaz, amit az izom harántcsíkolttsága indokol. A miofibrillumok a szarkoplazmába ágyazódva helyezkednek el, vastagságuk 1-2  $\mu\text{m}$ . Egy sötét szakasz kétoldalt világos zónával határolva és egy-egy sötét vonallal lezárva az izomműködés egységének, a szarkomérnek tekinthető. Ezt még tovább nagyítva fonalas szerkezetet találunk mind a sötét, mind a világos zónában. A sötét zónát vastag, a világosat vékony fonalak alkotják. Az aktinból álló vékony fonalak részben benyúlnak a miozinból álló vastag fonalak közé.

A húsok minősítése során az egyik legfontosabb tényező a hús vízkötő és víztartó képessége (Lawrie, 1998). A vízkötő képességet meghatározza a sertések genetikája, az izom tulajdonságai, a hőmérséklet, a vágás és a pH (Schäffer et al., 2002). A magas hőmérséklet és a hirtelen pH-csökkenés a miofibrillumok zsugorodását, fehérjedenaturációt okoz, aminek eredménye az alacsony víztartó képesség (Offer & Trinick, 1983). A húshibák, mint a DFD és a PSE nagymértékben befolyásolják a hús víztartó képességét, léeresztését (Offer 1991).

Az izom víztartó képessége azt jelenti, hogy a miofibrillumokat alkotó fehérjeszálak közötti térben nagymennyiségű víz halmozódik fel, és ennek a térnek csökkentése által a víz egy része kiszorul. Ez a lé először a sejtközötti térbe, majd a felületre jut, és csepegési léveszteség formájában távozik a húsból.

A víztartó képességen belül megkülönböztetünk szabad és kötött vizet. A szoros értelemben vett kötött víz az ún. hidrátvíz, az izom teljes víztartalmának 2-5%-át teszi ki. A technológiai értelemben vett kötött víz a fehérjeszálak között helyezkedik el, így mozgásában korlátozott. A fehérjeszálak közül kiszorult víz a szabad víz. A víztartó képességet az aktin-miozin kötés és a pH csökkenés által a fehérjék töltésváltozása és denaturációja befolyásolja. A víztartó képesség tekintetében a miozin a legfontosabb.

A csökkent sejttérfogattal és megnövekedett sejtközötti térrel rendelkező izomszövetet nyílt struktúrának, a duzzadt sejtekből állót pedig zárt struktúrának nevezik. A pácolás szempontjából a nyílt struktúrájú az előnyösebb.

A hús állománya a rigor állapottal, a pH-változással, a proteolitikus folyamatok fázisával, a vízkötő képességgel, valamint a kötőszövet-tartalommal függ össze. A vízkötő képességet a sejtek duzzadása vagy zsugorodása határozza meg (Vadáné, 1991).

A húsokban az izom víztartalma 75%. A feldolgozás célja egyes termékeknél a víztartalom növelése, ami a termék élvezeti értékét, emészthetőségét, állományát és kihozatalát javítja. Azonban lényeges, hogy a bevitt vizet a termék fehérjéi megkössék, ne történjen vízkiválás, ami a termék megítélését rontaná. Ezért meghatározó a hús vízkötő és víztartó képessége (Offer & Knight, 1988a). A vizet a miofibrillumok fehérjéi kötik meg mintegy 55-60%-ban. Ennek a víznek jelentős része a sejtközötti állományban a miozin vastag filamentumjai és az aktin vékony filamentumjai között található. A filamentumok közötti tér méretét meghatározza a pH, a szarkomerek hossza, az ionerősség, az ozmotikus nyomás és az izom állapota (pre- vagy post rigor) (Borisova & Oreshkin, 1992). Az izom technológiai tulajdonságai javíthatók nátrium-klorid és foszfátok hozzáadásával (Puolanne et al., 2001), mechanikai kezeléssel (Tyszkiewicz and Jakubiec-Puka, 1995),

Dolatowski és munkatársai (2004)  $2 \text{ W/cm}^2$  intenzitású 25 és 45 KHz frekvenciájú ultrahang marhahús vízkötő képességére való hatást vizsgálták vágást követő különböző időpontokban. Eredményeik szerint az alacsonyabb frekvencia hatása kedvező a húsok vízkötő képességét illetően mintegy 30-40%-kal a kezeletlen mintához képest.

### **2.2.2 A pácolásnál végbemenő fizikai folyamatok**

A pácolás során különböző méretű húsokba, húsdarabokba, vagy szalonnákba kívánunk adalékanyagokat (konyhasót, nitritet, foszfátokat, hidrokolloidokat) bejuttatni, és azokat egyenletesen eloszlatni.

Az adalékanyagok vándorlása a húson vagy szalonnán belül diffúzió útján történik. A diffúziós folyamatokra áramlási folyamatok is szuperponálódnak, hasonlóan az élelmiszerek hőkezelésénél fellépő hőátadási folyamatoknál, ahol a hővezetés a diffúzióval analóg jelenség (Körmendy, 1991).

A diffúziós folyamatok kinetikája analóg a hővezetésével. A hővezetést leíró Fourier féle differenciál egyenletben a hőmérséklet helyett koncentrációt helyettesítünk, akkor a Fick II. törvényét leíró differenciál egyenletet kapjuk.

A pácolás kezdetén a hús sótartalma 0-nak tekinthető, a kiegyenlítődéskor egyensúlyi állapot alakul ki a páclé és a hús sótartalmában. Az egyensúlyi állapot kialakulásának sebességét több tényező befolyásolja:



1. A minta geometriai mérete. Hasáb alakú hús esetében, ha a másik két dimenzió legalább háromszor nagyobb, mint a legkisebb oldal, akkor az adott sókoncentráció eléréséhez szükséges időtartam a legkisebb hosszúságú oldal négyzetével arányos.
2. A páclé kezdeti sókoncentrációja. A nagyobb koncentrációkülönbség növeli a diffúzió sebességét hasonlóan a hőkezelésnél a nagyobb hőmérséklet-gradiens.
3. A páclé-hús arány. Nagyobb páclé mennyiség gyorsítja a pácolási folyamatot.
4. Az anyagi minőségtől függő diffúziós állandó, ami meghatározza a diffúziós folyamatok sebességét. A szalonnában a kötőszöveti szövetek mentén lassúbb a diffúzió, mint a nagy víztartalmú húsokban. Ezért a részlegesen szalonnával fedett húsban a leglassabban pácolódó mag-rész eltolódik a geometriai középponttól a szalonna irányába.
5. A diffúziót bonyolítják a páclé adalékok és a húsalkotók között lejátszódó reakciók. A konyhasó a fehérjékkel reakcióba lép, ami a sóvándorlást megváltoztatja. A nátrium-nitrit nitrit-ionja kölcsönhatásba lép a húspigmentekkel, a polifoszfátok lassú diffúziója esetén húsenzimek monofoszfáttá bontják a polifoszfátokat, így a vándorlás mellett bomlási folyamatok is lejátszódnak.
6. A páclé és a pácolandó termék határfelületén koncentráció-gradiens alakul ki, ami felületi ellenállásban nyilvánul meg. Ezt a határréteg-vastagságot a páclé folyamatos áramoltatásával, mozgatásával, turbulens áramlás kialakításával csökkenthetjük. A helyzet ismét hasonló a hőátadáshoz, ahol a hőátadási tényező növelhető.
7. A pácolás hőmérséklete növeli a diffúziós folyamatok sebességét  $1^{\circ}\text{C}$ -onként 2%-kal. Vagyis a hőmérséklet növelésével a só diffúziója növelhető. Ez sajnos mikrobiológiai szempontból kifogásolt. A  $6^{\circ}\text{C}$ , ill. a  $8^{\circ}\text{C}$ -on történő pácolás esetében is találunk különbséget a diffúzióban. A mikrobiológiailag biztonságos magas hőmérséklet ( $72^{\circ}\text{C}$ ) viszont a fehérjék denaturációját okozná a pácolás befejeződése előtt. Eredménye színhiba, sötét szín, rossz vízkötő képesség, gyenge állomány, nagy hőkezelési veszteség. Az  $50^{\circ}\text{C}$ -on történő pácolás alkalmasnak tűnt, a denaturáció mértéke még alacsony, mikrobiológiailag megfelelő. Ez az eljárás azonban nem valósult meg a nehéz kivitelezhetősége miatt.
8. A vákuum alkalmazása nem növeli a diffúzió sebességét. A vákuum szerepe az aprított massa kedvezőbb színekialakításában, ill. a tumblerozás során az exszudátum kialakításában van (Körmendy und Gartner, 1958).

A pácolás során a konyhasó eloszlása a húson belül nem egyenletes. A hengernek feltételezett hús esetében a konyhasótartalom a hús középvonalában minimumnak tekinthető. Kivétel természetesen a henger két végének azon szakaszai, amelyek a henger magasságából kivont henger sugarát

jelentik. Teljes kiegyenlítődéskor egyensúlyi helyzet alakul ki, a sókoncentráció eloszlása a hús teljes keresztmetszetében egyenletes.

Érzékszervi és technológiai okok miatt fontos az adalékanyagok egyenletes eloszlása a pácolás végén. Amennyiben a magban, ami a hőátadásnál azonos a termikus középponttal, az adalékanyagok koncentrációja nem éri el a megfelelő szintet, akkor a termék közepén színhiba és vizenyős állomány alakulhat ki.

A befecskendezés a diffúziós utat csökkenti, mivel közvetlenül az izomrostok közé fecskendezzük a páclevet. Azonban a tökéletes és egyenletes eloszlás érdekében ajánlott az intramuszkuláris befecskendezés esetében is a fedőpácba helyezés. A tumblerezésnél a gépsonkák esetében a húsdarabok kisebb mérete, valamint az izomrostokat lazító mechanikai hatás nagymértékben gyorsítja a diffúziós folyamatokat.

A száraz sózás folyamata megfelel egy telített oldatnak, amely koncentrációja kb. 30 g/100ml, mivel a sókristályok nem tudnak részt venni a diffúzióban. Miután a só mennyisége feleslegben van, így a lé-hús arány végtelennek tekinthető. A külső lé az ozmóziskülönbség hatására a húsból kivándorló léből és az abban feloldódó száraz sóból áll.

A diffúziós állandó értéke durván a molekulatömeg köbgyökével fordítottan arányos. Ezért a  $10^5$  molekulatömegű összetett fehérjék vándorlási sebessége a kisméretű konyhasóhoz és a hasonló adalékanyagokhoz képest rendkívül alacsony. Ezért az adalékfehérjék egyenletes eloszlása nem oldható meg befecskendezéssel pácolás esetén sem (Körmendy, 1991).

### **2.2.3 A pácolás alatt végbemenő biokémiai és kémiai folyamatok**

A pácolt termékek víztartó képességének, állományának, színének, ízének, aromájának és eltarthatóságának kialakításában a pác-sók közösen vesznek részt.

A só és foszfát víztartó képességre, állományra és színre gyakorolt hatása háttérben a kolloidkémia áll. Ennek megfelelően a fehérjeláncok eltávolodnak egymástól, a köztük lévő távolság nő. Ez lehetővé teszi a fehérjék duzzadását és kioldódását. A víztartó képesség javulása optikai változásokat is okoz, a duzzadt rostok több fényt nyelnek el, és sötétebb, vörösebb színűnek látszanak.

A húsban a víztartó képessége megmutatja, hogy a hús saját és/vagy a hozzáadott vízének a préselés vagy hőkezelés hatására milyen mennyiségét tartja meg. Ezen képesség kolloidkémiai háttere az izom szerkezetével magyarázható. A víz a polipeptidláncok közötti térben helyezkedik el kötött állapotban. A polipeptidek töltéssel rendelkező oldalláncok révén negatív töltésfelesleget okoznak a fehérjék izoelektromos pontjánál nagyobb pH tartományban. Az izoelektromos pont pH=5,2 körüli érték, ahol a pozitív és a negatív töltések száma azonos, így kifelé a fehérje semleges, nem

reakcióképes, nincs taszítóerő az egyes peptidláncok között, ami növelné a víz megkötése számára a teret. Ennél kisebb pH-értéknél ismét töltésfelesleg alakul ki, de nem negatív, hanem pozitív. Bármilyen irányú töltésfelesleg esetében a láncok közötti tér nő, ami a vízkötő képesség javulását okozza.

A kloridionok pH=5,2-nél nagyobb tartományban negatív töltésfelesleget okoznak. A post mortem folyamatok pH csökkenése során nő a pozitív töltések száma, amit egyre nagyobb mennyiségű kloridionnal tudunk kompenzálni, illetve a negatív töltésfelesleget növelni a vízkötő képesség javításához. Az izoelektromos pontnál kisebb pH esetében a kloridionok hatása fordított, mivel a pozitív töltések túlsúlya és vele együtt a tér is csökken.

Az izomfehérjék közül a szarkoplazma fehérjék már híg sóoldatban is oldhatók, ezek már fiziológiás körülmények között is oldottak. A miofibrilláris fehérjék fiziológiás körülmények között nincsenek oldva. Az oldódásuk 0,3-0,6 mólos konyhasó oldatban lehetséges. Innen a nevük, sóoldható fehérjék. Megfelelő mennyiségű sóoldattal a fehérjeláncok oldatba vihetők.

Ismeretes az ATP szerepe az izomműködésben, ill. reakcióképessége a miofibrilláris fehérjékkel, főleg a miozinnal. A pirofoszfát ATP analógnaként képes fokozni a miozin oldódását, és a miofibrillumok duzzadását NaCl-dal együtt. A maximális duzzadóképeség 5,8%-os konyhasó oldattal érhető el. A pirofoszfát a vastag filamentumok (miozinnyalábok) depolarizációja által elősegíti a miozin kioldódását, foszfát jelenlétében a maximális duzzadáshoz fele annyi konyhasó szükséges. Kísérletek bizonyítják, hogy a pirofoszfát önmagában még 0,5% koncentráció esetében sem javítja a víztartó képességet.

#### **2.2.4 Tumblerezés**

A húsipari gyártók folyamatosan arra törekednek, hogy a húsban a vízkötő képességet, a víztartó képességet és a hús állományának lazítását fokozzák. Ennek megfelelően a tumblerezés során a hús szöveteinek masszírozása hatásos módszer az ipari pácolási technológiában (Addis & Schanus, 1979; Xargayo & Lagares, 1992). A tumblerezéskor kialakult mechanikai energia hatására a páclébevitel gyorsítható, a só és az oldott fehérjék közötti kötés erőssége növelhető az izomban.

A tumblerezés, ill. a masszírozás eredményes a hús fizikai állapotának megváltoztatását illetően. Az aprított húsból álló sonkák kötése javul, jobb konzisztencia és szeletösszetartás alakul ki, valamint erősödik a víztartó képesség (Gillett, et al., 1981, 1982, Krause, et al., 1978; Shackelford, et al., 1989, Siegel, et al., 1978, Theno, et al, 1978b). A húsdarabok közötti kötőerő befolyásolja a kihozatalt, az állományt. Ez a kötés a húsban a miofibrilláris fehérjék feltárásának mértékétől függ. Általánosan elfogadott, hogy a mechanikailag roncsolt szövetek növelésével és a magas ionerősség következtében növekszik a fehérjék feltárhatósága. Ennek eredményeképpen az izomfehérjék

oldhatósága és ezzel együtt a hőkezelt, főtt sonkák kihozatala nő (Asghar, et al., 1985; Whiting, 1988). A termékekben egyre emelkedik a hozzáadott víz mennyisége, ennek határt szab a fehérje oldékonyságának mértéke, ami a páclé alacsony ionkoncentrációja mellett csökken. A páclé maximális só-, ill. ionkoncentrációját a végtermék élvezeti értéke, az úgynevezett sós ízének mértéke határozza meg (Trout & Schmidt, 1984, 1986b).

A húsdarabok aprítása, keverése során bekövetkező változásokat és a só/víz/zsír arányának változtatásának hatását többen vizsgálták (Claus, et al., 1990; Eilert & Mandigo, 1995; Hand, et al., 1992; Sylvia, et al., 1994, Trout & Schmidt, 1984). A tumblerezés, masszírozás során a víz mennyisége határt szab az ionerősség növekedésének. A hozzáadott páclé mennyisége a tumblerezés során kialakult kötéseknél és az állományjellemzők javulásának köszönhetően növelhető rendkívül magas arányban a restrukturált sonkák esetében. A különböző kombinációk, az adalékanyagok alkalmazása által fejleszhető a víz kötése és a sonkák állománya. Valószínű, hogy a páclében az egyes adalékanyagok ionerősséget befolyásoló szinergens hatásának köszönhetően tovább javíthatók a vízmegkötés és az állomány tulajdonságok a sonkákban.

A pácolt termékeknél rendkívül fontos a tumblerezés vagy masszírozás során képződő fehérje exszudátum. Ez nem más, mint egy kb. 10% fehérjetartalommal bíró fehérjeoldatba ágyazott duzzadt izomrost- és miofibrillum-törmelék. Az exszudátum jellemzőit a miozintartalma határozza meg. Az exszudátum hőkezelés hatására koagulálódik, denaturálódik, így a húsdarabokat összeragasztja, a keletkezett kéreg a hőkezelési veszteséget csökkenti, mivel lezárja a belső húsrétegekből szivárgó vizet. Ilyenkor csak a metszéslapon tapasztalhatunk szivárgást. Ez elkerülhető, ha a hús teljes tömegében kialakul az exszudátum, azonban ez csak befecskendezéssel és optimális forgatással érhető el.

A befecskendezett páclé a rostnyalábok mentén, majd a rostok közötti térben terjed. Ezt követően jut be a sejtbe és duzzasztja azt. A forgatás mechanikai hatásának köszönhetően a sejtek, sejtfalak felszakadnak, tartalmuk kiáramlik, a membránok sérülése következtében azok áteresztőképessége nő, ami segíti a páclé bejutását, eloszlását, ill. megkötődését (Xargayo & Lagares, 1992). Ez alkotja az exszudátumot, ami oldott fehérjékből és duzzadt miofibrillumokból áll. Az exszudátum kötőképessége habosodás esetében rossz, ezért fontos a vákuum alkalmazása. A forgatástól, masszírozástól a belső rétegek is sérülnek. Maga a duzzadás is segíti a sejtfeltárást, mivel feszíti szét a sejtet. A tumblerezés során a forgatás és a szünet periodikus változása fokozza a duzzadást és a sejtfeltárást. Sajnos a forgatás során képződő súrlódás hatására a hús felmelegszik, a forgatási szünet alatt az anyag hőmérséklete visszacsökken. A szünet nemcsak a visszahülés, hanem a duzzadás és a gélesedés miatt is szükséges. A túlzott pihentetés káros, mivel az exszudátum felszívódik és a hús megkeményedik, a tartályban a húsköcsök összeragadnak, amit megbontva nem

állnak össze ismét. 0°C alatti hőmérsékleten történő pácolásnál javul a duzzadóképeség és a sejtfeltárás.

A pácléadalékok jó reakcióképesége javítja a húsfehérjék feltárását, kinyerését. Az adalékok közül jelentősebb főleg a nátrium-klorid és a foszfát, ami növeli a pH-t és az ionerősséget (Siegel et al., 1978). A tumblerezés során a hús felszíni rétegeiben szerkezetbeli változás történik. A kezelés során a fehérjék maximális duzzadása megy végbe. Az aktomiozin komplex felbomlása által növekszik az intracelluláris fehérjék hozzáférése a pácléhez (Tyszkiewicz and Jakubiec-Puka, 1995). A tenderizálás és a tumblerezés kombinációjával a tumblerezési idő csökkenthető, ill. a hatékonyság növelhető.

### **2.2.5 Porhanyósítás**

A hús szöveteinek késes tenderizerrel vagy tumblerral történő mechanikai kezelése jól ismert, általánosan alkalmazott technológia a húsiparban. Mindkét kezelés az izom szerkezetét roncsolja, a húsok felületi szöveteit megbontja és miofibrilláris fehérjéket szabadít fel. A szövetek roncsolása által a fehérjék feltárása nő, ami az izomfehérjék nagyobb mértékű oldhatósága következtében a vízkötő- és víztartó képességet javítja, így a termék főzési vesztesége csökken (Motycka & Bechtel, 1993; Xargayo & Lagares, 1992). A késes tenderizer a sűrűn egymás mellett elhelyezett, éles pengéi által fokozza a hús kötőszöveteinek átvágását, az izomrostokat rövidebb szegmensekre vágja. Számos tanulmány igazolja, hogy a késes tenderizer növeli a hús porhanyósságát (Binder, et al., 1985; Flores, et al., 1986; Jeremiah, et al., 1999; Loucks, et al., 1984; Lyon, et al., 1983, Mandigo & Olson, 1982; Tatum, et al., 1978; Savell, et al., 1977). A nagy kötőszövet-tartalmú húsok kezelése során fokozottan hatásos a különböző tenderizálási módok, mint a szűrés, a vágás és a fogaskerekek törő hatása, és a tumbler együttes alkalmazása (Savell, et al., 1982; Schackelford, et al., 1989). A tumbler és a tenderizálás kombinációjával jelentős mértékben javítható a húsok vízkötő képessége és állománya. A késes tenderizer kiegészítője a tumblerezési technológiának.

### **2.2.6 A konyhasó szerepe és diffúziós kinetikája**

A konyhasó egy tradicionálisan alkalmazott anyag a pácolási technológiában. A nátrium-klorid tartósítószerként a száraz sózás esetében a fehérjék víztartó képességének csökkentőjeként ismert. A száraz sózás hatásmechanizmusa szerint a só diffundál a húsba, a hús víztartalma pedig ozmosis útján távozik a húsból. Valamint a felületen a magas sókoncentráció hatására a fehérjék irreverzibilis kisózása megy végbe. Ezért a konyhasó rontja a fehérjék víztartó képességét.

A nedves pácolás esetében 6% sókoncentrációjú páclénél a konyhasó egyik fő funkciója, hogy a miofibrilláris fehérjéket oldja, majd a kioldás és a feltárás által javítja a fehérjék kötéseit, zsíremulzió képző képességét, a víztartó képességét, ezzel csökkentve a hőkezelési veszteséget és

növelve a hús minőségét és állományát (Sofos, 1986). A só alkalmazása által változik a vízvisszatartás, a szerkezet és a víztartalom, valamint a fehérjék oldhatósága (Offer & Knight, 1988a).

A hús vízkötő képessége azt a képességet jelenti, amely megmutatja, hogy mennyi vizet vesz fel a hús a megemelt sókoncentráció hatására (Offer & Trinick, 1983). A vízkötő képesség hatására megváltozik a termék lédúsága, állománya és íze (Trout, 1988). Ismeretes, hogy csak a miozin, az aktin és bizonyos mértékben a tropomiozin felelős a hús vízkötő képességéért (Morrisey, et al., 1987). A húsok páclébe helyezését követően a hús szélső rétegeinek és a geometriai középpontjának sótartalma között egyensúlyi helyzet alakul ki bizonyos időtartam után. Számos kutató foglalkozott a húsban a só diffúziójával (Djelveh & Gros, 1988, Dussap & Gros, 1980, Fox, 1980; Gros, et al., 1984, Sabadini, et al., 1998, Wang, et al., 2000, Wood, 1966). A hagyományos manufaktúrák sózás-pácolás esetében rendkívül fontos a sóbehatolás mértéke és a diffúziós tényező ismerete.

A nedves pácolás az ozmotikus dehidratáció egyik módja, amely a koncentrált sóoldatba merítés útján történő vízelvonást jelent. Az ozmotikus dehidratáció során a vízvesztés és a sófelvétel menetét a Fick II. törvénye írja le. Több kutatás foglalkozik az egydimenziós tömegáram vizsgálatával. Az oldat sódiffúzióját kajmán húsban egyszerűsített képlettel számolta Raoult- Wack (1994).

A páclé arányának növelése a húsban egyrészt gazdasági alapon előnyös, másrészt az alacsonyabb páclé- hús arány lehetővé teszi a tömegegyensúly ellenőrzését (Medina-Vivanco et al., 2002).

A diffúziós tényező ismerete lényeges a szükséges kezelési idő pontos meghatározásához, figyelembe véve a termékben a végleges sókoncentrációt és a sóeloszlást.

$$\frac{-dv}{d\tau} = \Delta C \cdot D \frac{A}{\delta} \quad (5.)$$

$$D = \frac{\varepsilon}{\phi^2} \cdot D_0 \cdot \frac{p_0}{p} \cdot \left( \frac{T}{T_0} \right)^m \quad (6.)$$

Ahol:

$-dv/d\tau$  = az időegység alatt kicserélődő anyag mennyisége (g/s)

$\Delta C$  = koncentráció gradiens ( $g/m^3$ )

$D$  = diffúziós állandó ( $m^2/s$ )

$A$  = felület ( $m^2$ )

$\delta$  = rétegvastagság (m)

$\varepsilon$  = porozitás

$\Phi$  = termékre jellemző formatényező

$p/p_0$  = nyomásarány

$T/T_0$ =hőmérsékletarány

$D_0$  = eredeti diffúziós állandó, (Mellor, 1978)

Számos munka került publikálásra a tömegáramról és a sódiffúzióról a sertés-, marha-, baromfihúsban valamint a halakban (Medina- Vivanco et al., 1998; Sabadini et al., 1998; Teixeira & Tobinaga, 1998; Wang et al., 2000; Chiralt et al., 2001). Paleari et al. (2000) a sózott és pácolt bivalyhús, Zegeye (1999) a sózott, füstölt tevehús termékek diffúziójával foglalkozott. A kajmán húsának sózásáról írt tanulmányt Lopes Filho et al. (2002). Eredményként a kajmán hús szorpciós izotermáit határozta meg, vagyis a hőmérséklet növekedésével a diffúzió sebessége növekszik.

A gázok a folyadékok és a szilárd anyagok diffúziós tényezője a szilárd fázisban kisebb, mint a folyadék, vagy a gáz rendszerekben. A kémiai és a biológiai folyamatoknál a szilárd anyagokban az anyagátadásnak fontos szerepe van. Ilyenek többek között a hús pácolása során a kémiai anyagok, adalékok diffúziós transzportja. Számos tanulmány és irodalom szerint a pácolás, a füstölés, a sózás és a marinálás alapja a kémiai alkotóelemek diffúziója (Fox, 1980; Wood, 1966).

A diffúziós tényező függ a hőmérséklettől, aminek mértéke számolható az Einstein-egyenlettel (Cacace & Mazza, 2003). Az összefüggés szerint a diffúziós tényező arányos a hőmérséklettel és a dinamikai viszkozitás reciprokával. Gou, Comaposada és Arnau (2003) a konyhasó diffúziójának hőmérsékletfüggését vizsgálták sertés sonkában. Tapasztalataik szerint a hőmérséklet növekedésével a páclé sótartalma csökkent, tehát a sonkéé nőtt. Ez azt jelentette, hogy a diffúzió mértéke emelkedett. Hamdami, et al., (2004) nagy porozitású modell-élelmiszerek anyagátadási tulajdonságait vizsgálták fagyasztási hőmérséklettartományban. Eredményeik alapján a nedvesség diffúziója nőtt a hőmérséklet emelésével.

Az irodalom szerint a nátrium-klorid diffúziós állandója a különböző fajtájú húsban eltérő. Vestergaard (2004) szerint a kloridionok diffúziós tényezője a pácolt húsban jól becsülhető. Ez az érték 2°C-on kb.  $2-4 \times 10^{-10}$  m<sup>2</sup>/s. Különböző húsok esetében a diffúziós tényező más és más, ezért igen nehéz egymáshoz viszonyítani. Összehasonlításként a sertéskaraj (longissimus dorsi) és a marha gömbölyű felsál (semitendinosus) húsokban a diffúziós tényező értéke  $3 \times 10^{-10}$  m<sup>2</sup>/s, ill.  $2 \times 10^{-10}$  m<sup>2</sup>/s. A tapasztalatok alapján megállapítható, hogy az izomrostok iránya nincs hatással a diffúziós tényezőre. A roncsolásmentes <sup>22</sup>Na izotópos vizsgálat szerint a nátrium klorid diffúziós tényezője  $5-7 \times 10^{-10}$  m<sup>2</sup>/s 21°C-on (Vestergaard, et al., 2007).

### **2.2.7 A foszfát szerepe a pácolásban**

A foszfátok széles körben alkalmazott adalékanyagok a hús, a baromfi és a tengeri eredetű állati élőlények (sea-food termékek) feldolgozásában. Három kémiai szerepet látnak el; pH-kiegyenlítés,

fémionokkal való kelátképzés, anionok által ionerőség növelése. A foszfátok javítják vízkötést, az oxidációs avasodási folyamatokat gátolják, a mikrobiológiai romlás elleni védelemben játszanak szerepet, javítják az állományt és az emulzióképzést, stabilizálják a színt és ízváltozás okoznak (Dziezak, 1990; Gökalp, et al., 1999, Kinsman, et al., 1994; Price & Schweigert, 1987, Steinhauer, 1983, Varnam & Sutherland, 1995). Az iparban manapság a poli- és a pirofoszfát alkalmazása jellemző. A foszfátmolekula-lánc hosszának növekedése kapcsolatban van a polielektrolit rendszer tulajdonságaival. A foszfátmolekula-lánc felbomlásának hatására a fehérje molekulák pozitív töltése csökken, így a fehérjék oldhatósága nő, ami a vízkötés mértékét javítja. Ezért a vízkötés mértéke és módja a foszfát típusától függ. A poli-, a pirofoszfát és a nátrium-tripolifoszfát a legnagyobb mértékben alkalmazott foszfát a húsiparban (Dziezak, 1990; Lampila, 1992, Steinhauer, 1983). A fehérjedús élelmiszerek, mint a sertés-, marha-, baromfihúsok és a tengeri eredetű állati (seafood) termékek természetes ortofoszfát tartalma a nukleotidokban, a foszfolipidekben található (Tenhet, et al., 1981a). Bonyolult a természetes ortofoszfát mennyiségének általános meghatározása a foszfáttal kezelt húsokban, mivel ez az érték széles határok között mozog (Lawrie, 1998; Lee, et al., 1998).

Több kutatás igazolja a foszfát pozitív hatását a hús vízkötő képességére, a hús lédúságára, a hőkezelési- és elcsepegő léveszteség csökkentésére és az oxidáció visszaszorítására (Batista, et al., 1999; Hsu & Chung, 2001; Hsu & Yu 1999; Krause, et al., 1978, Lee et al., 1998; Lemos, et al., 1999; Martin, et al., 2002; Moiseev & Cornforth, 1996; Puolanne, et al., 2001; Ruusunen et al., 2003; Shahidi & Synowiecki, 1997, Sheard, et al, 1999; Steinhauer, 1983). A foszfát csökkenti a mikrobiológiai romlást a húsban, kedvezően befolyásolja a hús állományjellemzőit, mint az adhéziót, a keménységet, a gumisságot, a rághatóságot és a porhanyósságot (Banks, et al., 1998, Capita, et al., 2000; Mu, et al., 1997; Pohlman, et al., 2002). Stabilizálja a színt és az ízt (Batista et al., 1999, Hsu & Yu, 1999; Hsu & Chung, 2001; Krause et al., 1978; Lee et al., 1998; Lemos et al., 1999; Martin et al., 2002; Scana et al., 2000; Sheard et al., 1999, Tenhet et al., 1981a). A nagy páclébevitelű termékek, mint a bélbe töltött sonkák gyártása során a foszfát alkalmazása fontos. A foszfátok azonban nagymolekulák, oldékonyságuk a molekulamérettel fordított arányban csökken. A jelentősebb mértékben alkalmazott di-és trifoszfátok oldhatósága és membránon való átjutása, ill. diffúziójának sebessége meghatározó a pácolásnál. A nagy, akár 90%-os, páclébevitel csak adalékanyagok hozzáadásával érhető el. Ennek oka egyrészt a vízkötő- és a víztartó képesség növelése, és az állomány javítása. Másrészt a foszfát hozzáadásával a konyhasó, vagy pácsó mennyisége felére csökkenthető azonos fehérje-oldékonysági szint esetében is. Ezért lényeges számunkra a só diffúziója mellett a foszfát bejuttatása a szövetekbe.

A hús, ill. húskészítmények nátrium-tripolifoszfátba való mártása során megindul a foszfátmolekulák diffúziója a termékbe miközben az első réteg közvetlen kapcsolatba kerül a fehérjékkel



és a hús felületét borító vízzel (Tenhet, et al., 1981a; 1981b). A foszfát diffúziójának vizsgálatával, a diffúziós tényezővel foglalkozott Ünal et al. (2004). A diffúziós tényező segítségével nyomon követhető és számszerűsíthető a foszfát és a hús mátrix között lejátszódó folyamat, meghatározható a hozzáadott foszfát mennyisége (Ünal et al., 2004). A foszfát hozzáadása korlátozott, maximum értéke 0,5% a késztermék tömegére számítva, ezért is fontos a bevitt foszfát mennyiségének ellenőrzése (Lampila, 1992).

### 3 Célkitűzés

#### 3.1 A húskészítmények minősítésének innovatív fejlesztése passzív ultrahang alkalmazásával

- A különböző típusú füstölt húsos szalonnák esetében mindig kétséges, hogy a termék belsejében mennyi a szalonna és mennyi a húsréteg vastagsága. Ez a tényező mind a feldolgozóipar, mind a kereskedelem, mind pedig a fogyasztó számára lényeges szempont. Sajnos egy normál méretű, táblás kolozsvári szalonna belsejébe nem látunk bele anélkül, hogy a terméket, vagy az alapanyagot felvágnánk. Ezzel a szalonna roncsolódik, elveszti eredeti jellegét. Manapság egyre jellemzőbb ugyan a szeletelt, vagy a 10-20 dkg-os kiszerezésű készítmények gyártása, de a feldolgozóipar számára az alapanyagként szolgáló teljes méretű (25/50cm) császárszalonna belső rétegeinek hús-zsír aránya legfeljebb csak becsülhető. Ez egyrészt gazdaságilag, másrészt technológiailag meghatározó az ipar és a kereskedelem számára.

A fent említett okokból kifolyólag céлом volt a nagyfrekvenciás passzív ultrahang roncsolásmentes előnyét felhasználva a szalonnák hús-zsír arányának meghatározása.

Ennek megfelelően célként szerepelt a szalonnák zsír- és húsrétegeiben az ultrahang hullámok terjedési sebességének és csillapodásának mérése, a csillapítási tényezők meghatározása.

- A szárazáru gyártásnál az érleléskor, ill. a tárolás folyamán lényeges szempont a szalámirudak száradása, minőségi hibaként jelentkező kérgesedése. Kérgesedéskor a szalámi külső felületéről hirtelen nagy mennyiségű víz távozik, ami a száraz kéreg kialakulásához vezet. A kialakult kéreg az érleléskor megakadályozza a belső rétegek folyamatos, egyenletes száradását, így nem alakul ki a jó minőségű, homogén állományú szalámi. Szélsőséges esetekben akár úgynevezett szakadások is keletkezhetnek a rúd belsejében. Ez valójában a massa szétszakadását jelenti, amit a hirtelen száradás okoz. Az ilyen szalámi minőségileg kifogásolt egyrészt szeleteléskor jelentkező érzékszervi hatása miatt, másrészt ebben a keletkező üregben történő oxidációja, avasodása miatt.

A nem megfelelő tárolási körülmények hasonlóan kéreg kialakulását eredményezik, ami ugyancsak minőségi hibát okoz.

Ezért célként fogalmaztam meg az említett szárazáru kérgesedési folyamatának detektálását, a már kialakult kéreg vastagságának becslését roncsolásmentes ultrahangos mérés technika alkalmazásával.

A szalonnákkal egyetemben ebben az esetben is az ultrahanghullámok terjedési sebességét, csillapodását kívántam vizsgálni.

Az érlelési folyamat (15 hét) egyes időpontjaiban az ultrahanghullámok terjedési sebességének, a csillapodásának, a szálámiminták csillapítási tényezőjének és a szárazanyag-tartalmának ismeretében az érlelési folyamatban a szálámirudak kérgesedési állapotának monitorozása is a vizsgálataim részét képezik. Ezzel a kísérletsorozattal az érlelési technológia nyomon követését, a kéreg kialakulásának megelőzését céloztam meg.

### **3.2 A pácolási technológia fejlesztése aktív ultrahang alkalmazásával**

A pácolás szerepe a szín, íz, aroma és állomány kialakítása, valamint az eltarthatóság növelése, amit a pác-só bejuttatásával érhetünk el. A hagyományos pácolás során a só diffúziója lassú. A diffúzió sebességét növelő eljárásoknak a hús fizikai szerkezete, biokémiája és biológiája szab határt.

A pácolás során nemcsak a bejutott só mennyisége fontos, hanem annak egyenletes eloszlása is. A manapság alkalmazott tumblerezés ugyan nagymértékben gyorsítja a só bejutását a húsba, de a hús keresztmetszetében az eloszlás nem egyenletes. A páclé beinjektálása egyenletes sóeloszlást tesz lehetővé, azonban ez a módszer csak a nagydarabos húsoknál alkalmazható, a kisdarabos bélbe töltött, vagy a gépben főtt sonkáknál nem.

Az említett okokból kifolyólag olyan eljárás kifejlesztését céloztam meg, amely a pác-só diffúziójának sebességét növeli, az egyenletes sóbehatolás és fokozottabb állománykialakítás által a pácolási időt lerövidíti, kedvezőbb állományt eredményez és a kihozatalt javítja.

- A dolgozatban céлом volt a sóbehatolás sebességének nyomon követése, vagyis a diffúziós tényező meghatározása a hagyományos sóleben történő pácolás, a tumblerezés és a különböző intenzitású ultrahanggal történő kezelés, valamint az alkalmazott pácolási idő esetében.
- Továbbá célul tűztem ki az előző pontban említett egyes kezelések hatásának vizsgálatát és összehasonlítását, a húsmintán belüli sóeloszlás meghatározását, valamint a kezeléseknél a hús állományára való hatását penetrációs vizsgálatokkal kívántam meghatározni.
- A hagyományos pácolás, a tumblerezés és az ultrahanggal való pácolás által az izomrostok fellazulnak, a fehérjeszerkezet megváltozik, a fehérjék feltárhatósága javul. A felsorolt hatások a vízkötő képességet nagymértékben befolyásolják, ezért céloztam meg az egyes kezelés típusok, a különböző intenzitású ultrahangok és pácolási idők hatásának vizsgálatát elvégezni a húsok vízkötő- és víztartó képességére.
- Elektronmikroszkóppal végzett mérésekkel kívántam a kezeléseknél és a kezelési időknek az izomrostok közötti tér nagyságára, valamint a rostok vastagodására, duzzadására történő hatásának vizsgálatát elvégezni.

- DSC vizsgálatok alapján céлом volt következtetni a fehérjék vízkötő-képességére, ezáltal az egyes kezelések fehérjék duzzadókéességére gyakorolt hatására.

A laboratóriumi kísérleteknél a diffúziós tényező, a sótartalom, az állomány, a rostszerkezet és a vízkötő- és víztartóképesség eredményeit összegezve elsődleges céлом az ultrahangos pácolás optimális intenzitás értékének meghatározása, valamint az alkalmazott 30, 90 és 180 perces pácolási idők közül az ultrahangos kezelés szempontjából leghatékonyabb időtartam meghatározása.

Az irodalmi adatok szerint az ultrahanggal való kezelésnek állománylazító hatása és a kavitáció membránfelületre történő hatása által membránáteresztő képesség növelő hatása van. Ezért a sóbehatolás és a sóeloszlás mértéke az ultrahangos kezelések esetében kedvezőnek várható. Ennek megfelelően céлом volt meghatározni a kezelési idő és az ultrahang intenzitásának hatását a bediffundált só mennyiségére, a mintán belüli eloszlására, valamint a hús állományára.

*Sonka töltelékes húskészítmény gyártásával céлом volt:*

- az ultrahangos, a tumbleres és a hagyományos pácolású kezelések és kezelési idők hatásának vizsgálata a bélbe töltött sonka hőkezelés előtti masszájának keménységére, szilárdságára és kohezivitására. Ebből eredően az optimális ultrahangos kezelési idő meghatározása az ultrahangos pácolás alkalmazásakor,
- az egyes kezelés típusoknak, mint a hagyományos sólében való pácolásnak, a tumblerezésnek és a különböző intenzitású ultrahangos pácolásnak, valamint a pácolási időknek a hőkezelt kész sonka állomány jellemzőire, mint a rugalmasságára, a keménységére, a kohézióra, a szilárdságra, a vágási ellenállásra, a rághatóságra, a rágási munkára stb. gyakorolt hatás elemzése különböző állományvizsgálati módszerek eredményeinek összehasonlításával.
- összehasonlító vizsgálat végzése a hagyományos pácolás, a tumblerezés és az ultrahangos pácolás hatásának értékelésére a termék mozaikosságának, külső megjelenésnek és léeresztő képességére vizsgálata alapján.

## 4 Anyag és módszer

Ebben a fejezetben az előzőekkel egyetemben a passzív és az aktív ultrahang alkalmazásánál használt mintákat, mérési módszereket és kezelési eljárásokat mutatom be. Külön fejezetként a passzív- és az aktív ultrahang egyes részleteit.

### 4.1 Passzív ultrahang

#### 4.1.1 Anyagok

A mérések során homogén anyagok használata volt indokolt, mert csak egynemű, homogén rétegekben lehet vizsgálni az ultrahang hullámok viselkedését. Az egynemű anyagok vagy azok rétegei alkalmasak arra, hogy adott jellemzőt állapítsunk meg róluk. Ezek az anyagjellemzők az ultrahang terjedési sebessége és csillapodása. Abban az esetben tudunk következtetni az esetleges mintán belüli hibákra (a technológia nem megfelelő betartása, nem megfelelő alapanyag), ha ismerjük a standard értékeket. Ha ezektől valamiféle eltérést tapasztalunk, akkor az valamilyen mintán belüli eltérésnek, hibának tekinthető. Az olyan anyagok, amelyek nem tekinthetők homogénnek - gondolok egy kérges réteget tartalmazó szalámira - problémát okoznak a modell elkészítése esetén, mert a későbbiekben ehhez viszonyítanám a többi mérést, és így hibás eredményeket kapnék. Az eddigieket szem előtt tartva választottam ki a mintákat, melyeket a Fizika — Automatika Tanszék és a Hűtő- és Állattermék Technológiai Tanszék biztosított. A téliszalámi, a szalonnák hús- és zsírrétegei homogénnek tekinthetők. A téliszalámi az egyenletes aprítás révén tekinthető homogénnek. A szalonnák esetében egy adott kötőszövet-állomány, ami önmagában hordozza a homogenitás feltételét, képezi az adott réteget. Az egyes rétegek csak geometriai tulajdonságban (kisebb vastagság) térnek el.

A legtöbb élelmiszer, főleg a húsipari termékek tárolása hűtőben történik. A mintákat a mérésen kívüli időtartam alatt 8°C-os hűtőben tároltam. Ezáltal elkerültem az esetleges romlásokat és az ebből fakadó mintabeli változásokat és mérési hibákat. A mérés során a mérőhelyiség levegőjének hőmérséklete 20°C, relatív páratartalma 83-85% volt, ezért a méréskor a szalonnaminták hőmérséklete megemelkedett 11-13°C-ra. A téliszalámi-minták tárolása hűvös, szellős helyiségben 15-16°C-on történt. A tárolóhelyiség páratartalma 80-82% volt, a mintát zsírpapírba és cellofán fóliába csomagoltam a további kiszáradás, ill. kérgesedés megakadályozására.

A téliszalámi érlelése során felhasznált mintákat a Herz Zrt-től szereztem be. A minták szállítása és tárolása során a szalámirudakat polietilén fóliába csomagoltam, 15-16°C-on tároltam a vizsgálat kezdetéig.

## A méréskor felhasznált minták

### *Kolozsvári szalonna*

Pácolt – füstölt, csont nélküli húsipari termék, amelyben a hús- és zsírrétegek egymáson helyezkednek el, ezek aránya kb. 50-50%. Bőrös, szalonnás oldalasból készül, 3- 5 cm vastag, 15-22 cm széles, 40-50 cm hosszú téglalap. Vágásfelületén legalább 3 húscsíknak kell lenni az áru bármely részén. Esetünkben bőr- és porc nélküli mintát vizsgáltam, hogy csak a hús- és a zsírrétegek szerepeljenek a mérésben. Gyakorlatilag a termék mai megfelelője a bacon szalonna.



**8. ábra:** Kolozsvári szalonna metszeti képe (Forrás: saját, 2007)

### *Kenyérszalonna*

Pácolt - füstölt húsipari termék, melyet szinte csak zsír alkot. Hát- és nyakszalonnából készül, 8-10 cm széles 20-30 cm hosszú 1,5-5 cm vastag. Íze enyhén sós, füstölt. Színe a felületen világos sárgásbarna, vágásfelületük fehér. Esetünkben nyakszalonnát vizsgáltam, ami vastagságát tekintve 4-5 cm, és 1-2 cm húsréteget tartalmazott.

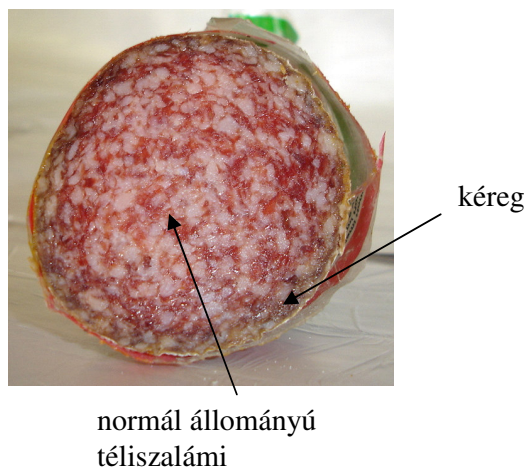


**9. ábra:** Kenyérszalonna metszeti és felülnézeti képe (Forrás: saját, 2007)

### *Téliszalámi*

Sertéshúsból és ipari szalonnából készült nyers, füstölt, szárítással tartósított töltelkes húskészítmény. Metszés lapja sötétpiros, benne rizsszemnyi fehér szalonnakockák láthatók. Mesterséges színezőanyagot nem tartalmaz. Burkolatán szürkésfehér penészbevonat található. Töltéskor a rúd átmérője 75 mm, ami az érlelés végére zsugorodik, a késztermékrúd átmérője 54

mm. A késztermék szárazanyag-tartalma 28%(m/m). A helytelen érlelési technológia és tárolás alatt alakulhat ki a kéreg, ami szárazabb, alacsonyabb víztartalmú, keményebb állományú a normál téliszalámihoz képest.



**10. ábra:** Normál állományú téliszalámi metszeti képe (Forrás: saját, 2007)

**11. ábra:** Kérges téliszalámi metszeti képe (Forrás: saját, 2007)

A szalonna mintákban a zsír- és húsrétegeket, valamint a téliszalámiban a normál állományú és kérges rétegek elválasztása a szöveti összetételkülönbség (hús, zsír), ill. a szín alapján történt (élénkvoros, normál téliszalámi réteg és barnult, sötét kéreg).

#### 4.1.2 A vizsgálat elve, fizikai alapjai

Ultrahangos vizsgálat során az ultrahang ( $f = 20.000 \text{ Hz}$ ) azon tulajdonságát használjuk fel mérésre, hogy különböző közegekben különböző sebességgel halad. Ilyen eltérő akusztikai sűrűségű anyag lehet pl. a téliszalámiban lévő kérges és normál állományú rétegei. Ha tehát a vizsgált mintában nincs anyagfolytonossági hiány vagy anyagszerkezeti változás, akkor az ultrahang intenzitásának csökkenésével a mintán keresztül halad, ha pedig a mintában anyagfolytonossági hiány vagy anyagszerkezeti változás van, akkor nagymértékben lecsillapodik, vagy nem halad keresztül az anyagon.

A kísérlethez számítógépes mérőrendszert alakítottam ki, melyben a programozható ultrahang-frekvenciás készüléket (ULTRAN HPN 5000) egy 386 DX—40PC vezérelte. A használt transducerek: 50 kHz, 250 kHz, 500 kHz, 1 MHz és 2 MHz névleges rezonanciafrekvenciájú, száraz csatolású, szélessávú fejek voltak (gyártmány: A314S-SU Model, Parametrics, Waltham, MA). A vevőfej jelét Tektronics 2230, 100 MHz—es digitális tároló—oszilloszkóppal, illetve egy 486 DX2—66 számítógépbe épített Keithley — oszcilloszkóp emuláló mérőkártya és Visualscope

szoftver segítségével vizsgáltam. A minták hőmérsékletének mérése digitális hőmérővel (típus: Testo 452) történt.

A kísérleteknél a transzmissziós eljárást alkalmaztam; a mintákon adott gyakorisággal különböző szélességű ultrahang-impulzust bocsátva át, a válaszjeleket oszcilloszkópon és számítógépes mérőrendszer alkalmazásával mértem. A számítógépes mérőrendszert csak az első vizsgálatoknál alkalmaztam, mert így túl zajos volt a kapott jel, és az adatfeldolgozást ez hátrányosan befolyásolta. Az adó-vevőket a környezeti rezgéseket csillapító rétegre helyezett állványon rögzítettem. A kapott jelek nagyban függenek a mérőfejek felülethez való érintkezésétől, ezért egy állandó súlyterhelésű pozicionáló berendezést készítettem. Az adó (alsó fej) és vevő (felső fej) közé száraz csatolással helyezett mintadarabok a jellemző réteghatáron szétvágott minták különböző rétegeiből kivágott 1,5-54 mm vastag planparallel szeletek voltak. A néhány húsipari termék vizsgálatára alkalmas mérőfej kiválasztásához és a mérés specifikálásához a 30 kHz-től 1 MHz-ig terjedő ultrahang frekvenciatartományban különböző (50, 250, 500 kHz, 1 MHz) adó-vevőket próbáltam. A mérőfejek tetszőleges frekvenciájú gerjesztő-feszültséggel használhatóak, de a névleges frekvenciájú gerjesztő-feszültség az optimális. Az 1 MHz frekvenciájú adó-vevő bizonyult megfelelőnek, mert a többi transducernél a jel vagy túlvezérelt, vagy túl kicsi, vagy rendkívül zajos volt. Tehát az 1 MHz-es transducer alkalmazásánál mért jel nagysága és tisztasága, és ezáltal kiértékelhetősége megfelelő volt, így a továbbiakban ezt az érzékelőfejet használtam. Az impulzussorozat 170 Hz gyakoriságú volt. A jelerősítés-értékeket a minták szöveti felépítésének, vastagságának megfelelően 0-tól 80 dB-ig lehetett változtatni. A méréseknél többnyire 0-tól 40dB-ig állítottam be a jelerősítés-értékeket. Az 50 dB-től nagyobb erősítés esetén túl zajos volt a rendszer használható adatok méréséhez. A számítógépen kiadott gerjesztő-feszültség jel 27-400 V között volt változtatható, így a különböző típusú és vastagságú mintákhoz (kolozsvári szalonna, téliszalámi) illetve rétegeikhez alakítható. Általában a 60 és a 120 V-os feszültséget használtam. A beállított gerjesztő-feszültség értékek a mintára adott impulzusok amplitúdóját határozták meg, a jelerősítés-értékek pedig a kijövő jel felerősítésére szolgáltak azért, hogy a vevőn mérhető kimenőjel jobban érzékelhető, könnyebben kiértékelhető legyen. A kapott jel nagyrészt 100 és 1200 mV között változott. Az 1200 mV feletti jel túlvezérelt volt, ami így elvesztette az információtartalmát.

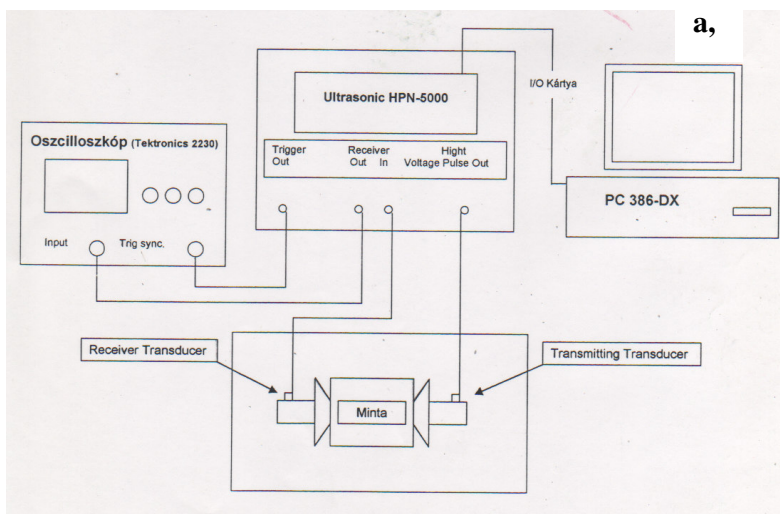
A csillapítás adta információtartalom megőrzése érdekében, a kimenőjelet a kiadott gerjesztő-feszültség és jelerősítés-értékek kombinációjával ez alatt az érték alatt (1200 mV) kellett tartani. Ez viszont szükségessé tette a normálást. Ezért vezettem be az ún. látszólagos kimenőjelet és a csillapítás kiszámításához szükséges látszólagos bemenőjelet. A szalonnák esetében egész táblákat, a téliszalámi minta esetében egész rudakat vizsgáltam. Az egyes mérési pontokban megmértem a



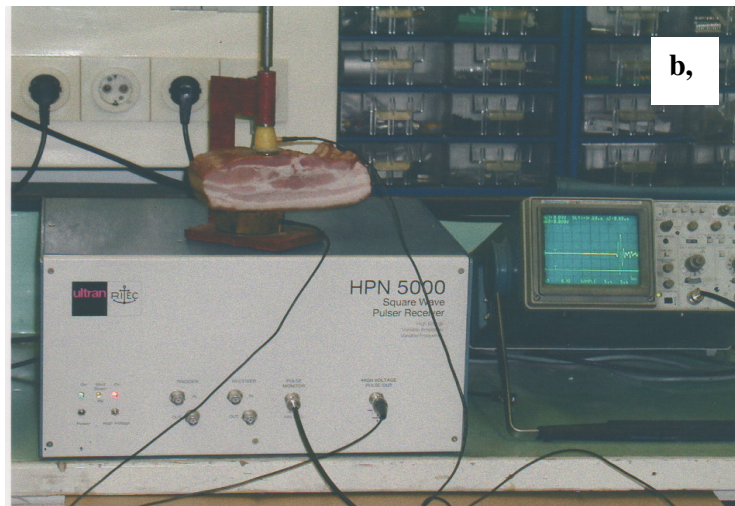
teljes szalonnában és a szalámi rúdban az ultrahanghullámok csillapodás és terjedési idejét, és így meghatároztam az ultrahang terjedési sebességét és csillapodását a minták adott pontjaiban. Ezt követően külön-külön rétegenként is megmértem azokat az adott pontokban. A mérések pontosítása és a mérőrendszer ellenőrzése érdekében ugyanabban a pontban az ultrahang terjedési idejét, látszólagos kimenőjelét és csillapodását más-más jelerősítés és gerjesztő-feszültség beállítások mellett is megmértem. Az így kapott értékek egységesítése és matematikai számítása után egy adott réteg egy adott pontjára megközelítőleg azonos terjedési idő, látszólagos kimenőjel és csillapításértékeket kaptam. A mérési pontoknál a szalonnákban lévő egyes rétegek (hús- zsír) vastagságát, valamint a téliszalámiban a szeletek vastagságát közvetett módon, tizedmilliméter pontosságú digitális tolómérővel mértem (Toshiba 4032).

A különböző érlelési idejű téliszalámi minták szárazanyag/nedvesség-tartalmát Sartorius YTC 01L típusú nedvességtartalom-mérő készülékkel határoztam meg. A minták szárazanyag-tartalmának, az ultrahang hullámok terjedési sebességének és csillapodásának változását mértem és ábrázoltam grafikusán az érlelés idő folyamán.

Előkísérletekben vizsgáltam a terjedési sebesség és a csillapítás hőmérsékletfüggését az 5°C-tól 25°C-ig terjedő tartományban (5, 10, 15, 20, 25°C-on), valamint irányfüggését a minta rétegeire merőleges és párhuzamos áthaladás esetében. A mérés során a következő mérőrendszert használtam (12/a, b. ábra):



12/a. ábra: Mérőrendszer vonalas ábrája (Forrás: saját, 2000)

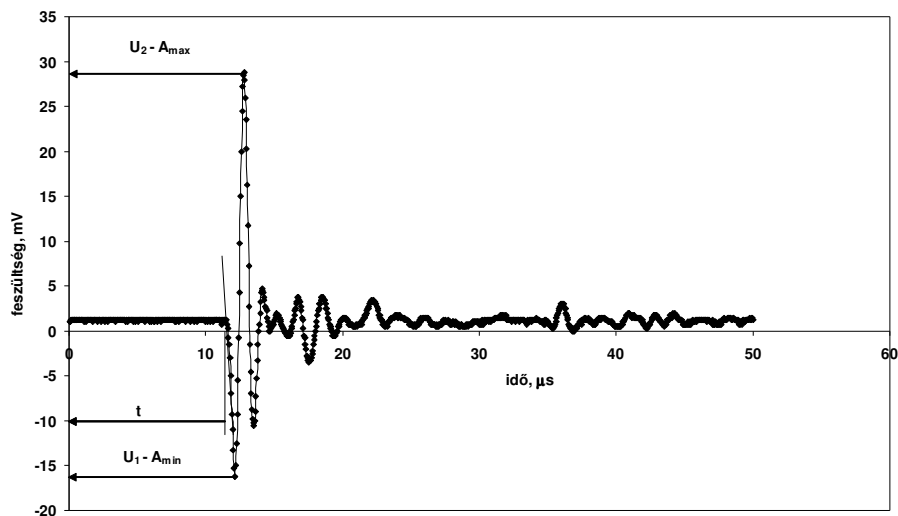


12/b. ábra: Mérőrendszer, mintarögzítés (Forrás: saját, 2000)

### 4.1.3 Az ultrahang-jellemzők és a készülékállandó meghatározása

#### A mért jel kiértékelése

A mért adatok kiértékelése során a vevőn mérhető kimenőjel nagyságát és a jel késését határoztam meg. Az egyes mintákból kilépő jel nagyságát szinuszos jel esetén annak amplitúdójával jellemezhetjük. Mivel itt az impulzusszerű gerjesztés miatt a **13. ábrán** látható „jelsomag” lép ki, a jelszintet a középértékhez viszonyított legnagyobb pozitív ( $U_1$ ) és legkisebb negatív ( $U_2$ ) feszültségek közül abszolút értékben a nagyobbal közelítettem. Az ultrahang impulzus lefutó éléhez képest mértem az oszcilloszkópon a válaszjel késését, azaz a terjedési időt ( $t$ ), melyből kiszámítottam a minta vastagságának ismeretében az egyes anyagokban az ultrahang terjedési sebességét.



13. ábra. A vevőn mérhető kimenőjel értékelése kenyérszalonna modellanyagra

### **A látszólagos kimenőjel megállapítása**

A vizsgált anyagok csillapítása igen széles tartományban változott, ezért - az alkalmazott készülék beállítási lehetőségeit kihasználva - különböző gerjesztő-feszültségeket ( $U_i$ ) és különböző jel-erősítés értékeket ( $G$ ) kellett alkalmaznom. Mindez befolyásolta a kimenőjelet, tehát a minták összehasonlíthatósága érdekében a mért kimenőjelet ( $U_m$ ) korrigálni, normálni kellett. Ezért bevezettem az egységnyi gerjesztő-feszültséghez és egységnyi erősítéshez tartozó **látszólagos kimenőjel** fogalmát:

$$U_{ki} = \frac{U_m}{U_i \cdot G} \quad (7.)$$

$U_m$ : az oszcilloszkópon mért kimenőjel, [V]

- $U_i$ : pedig az ultrahang-adóra kapcsolt gerjesztő-feszültség, [V]

- $G$ : a készülék beállított jel-erősítése:

$$G = 10^{\frac{G_{dB}}{20}} \quad (8.)$$

$G_{dB}$ : a beállított logaritmikus erősítési tényező

Az összefüggéssel kiszámított egységesített adatok már összehasonlíthatóak, illetve a zsír-hús arány (vastagság) becslésére, a légzárványok, valamint szövetszerkezeti különbségek kimutatására alkalmasak.

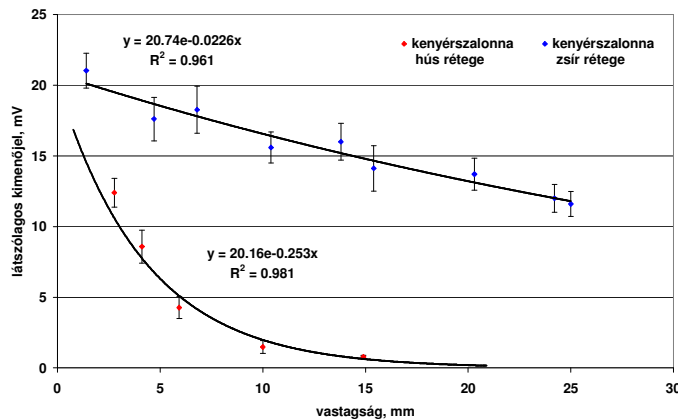
### **A csillapítási modell felvétele, a csillapítási tényező**

A mérés elején annak a modellnek a felírása volt a cél, ami leírja a mintákban az ultrahang csillapódását. Az első méréseket a kenyérszalonna modellanyagra végeztem, mert az ebben található zsír- és húsrétegek abszolút homogén állományt biztosítottak. A modell felállítása során különböző vastagságú szeleteket vágtam az adott mintából, és ezek csillapított jelét mértem.

A fenti (7-8.) képletet felhasználva, és behelyettesítve a beállított erősítés, feszültség értékeket és a szeletek vizsgálatakor kapott jeleket, megkaptam a látszólagos kimenőjeleket, amiket a minta-vastagság függvényében ábrázoltam (**14. ábra**). A látszólagos kimenőjel és a vastagság összefüggése minden esetben közelíthető a szakirodalomban található exponenciális modellel (Tarnóczy, 1963). A modell szerint az anyagon áthaladó ultrahang hullámok intenzitása csökken, vagyis csillapodik. A csillapodás a rezgőmozgás energiájának és ezzel együtt amplitúdójának fokozatos csökkenése. A rezgőmozgás amplitúdója a távolsággal exponenciálisan lecsökken a súrlódás vagy egyéb veszteségek következtében. A csökkenés mértékét a kitevőben szereplő  $\alpha$  elnyelési,- vagy csillapítási tényező szabja meg. A folyamatot az alábbi összefüggés írja le:

$$U_{ki} = a \cdot e^{-b \cdot \alpha} \quad (9.)$$

A modell paramétereit részben a mérési összeállításra ( $a$ ), részben magára az anyagra jellemzőek, ( $e = 2.718$  a természetes logaritmus alapszáma),  $b$  a minta vastagsága [mm] és  $\alpha$  [1/mm] a csillapítási tényező. A csillapítási tényező annak a vastagságnak a reciprokéértéke, mely alatt valamely csillapodó rezgés amplitúdója eredeti értékének  $e$ -ad részére csökken.



**14. ábra.** A látszólagos kimenőjel változása a vastagság függvényében a modell-anyagokban (kenyérszalonna zsírja, kenyérszalonna húsa)

A látszólagos kimenőjelértékek vastagság függvényében történő ábrázolása során kapott exponenciális grafikonok esetében a görbéket leíró egyenletekben szereplő exponenciális kitevő, tehát a csillapítási tényező reciproka megmutatja a kimenőjel  $e$ -ad ( $2,718$ ) részére csökkenéséhez tartozó mintavastagságot.

### A látszólagos bemenőjel megállapítása

A mintába belépő jel szintje méréssel nem állapítható meg (0 rétegvastagság!), de a fenti modell alapján következtethetünk az értékére  $d=0$  behelyettesítéssel:

$$U_{be} = U_{ki}^{(0)} = a \cdot e^0 = a \quad (10.)$$

Tehát a modell „ $a$ ” paramétere éppen a látszólagos bemenőjel értékét adja. Ez az érték — mint viszonyítási alap — szükséges az anyagot jellemző csillapítási tényező meghatározásához. A modell-anyagok vizsgálata alapján ez az érték átlagosan  $20,8$ -nak adódott, tehát a modell mérési összeállításra jellemző paramétere:  $a = 20,8$ .

### Csillapítás

A csillapítás exponenciális jelenség. Ezt mutatja a látszólagos kimenőjelnek a vastagság függvényében történő változása is (**14. ábra, 7. egyenlet**). Az exponenciális grafikonról az egyes vastagsághoz tartozó értékek nehezen leolvashatók, és kezelhetők. Ezért az egyes minták különböző vastagságaihoz tartozó csillapítás értékeknek ( $A$ ) a grafikonról való egyszerűbb leolvashatósága

érdekében logaritmáltam a látszólagos kimenőjel értékeket a szakirodalomban alkalmazott alábbi összefüggéssel (Javorszkij és Detlaf, 1974):

$$A = 20 \cdot \lg \frac{U_{be}}{U_{ki}} \quad (11.)$$

$U_{be}$  a látszólagos bemenőjel, értéke 20,8 V a (10.) összefüggés alapján.

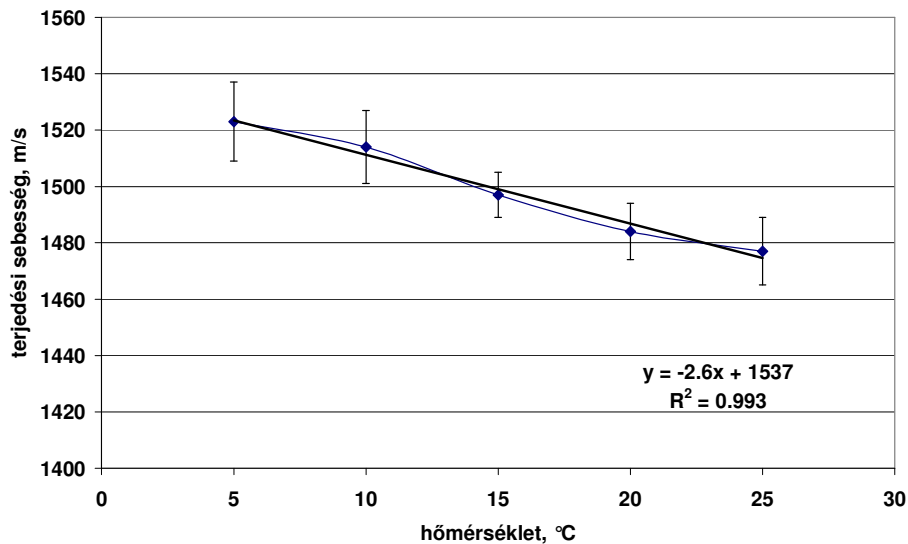
Az így átszámított csillapítás értékeket a vastagság függvényében ábrázoltam. A kapott grafikonokon a vastagság és a logaritmált csillapítás értékek között 99%-os valószínűségi szinten lineáris kapcsolatot tapasztaltam.

A csillapítási értékek számításának matematikai egyszerűsítése szerint a logaritmált látszólagos kimenőjelnek, vagyis a csillapításnak a mintavastagság függvényében történő ábrázolásakor az illesztett egyenes meredekségének 8,68-cal való osztásával megkapjuk a csillapítási tényező értékét.

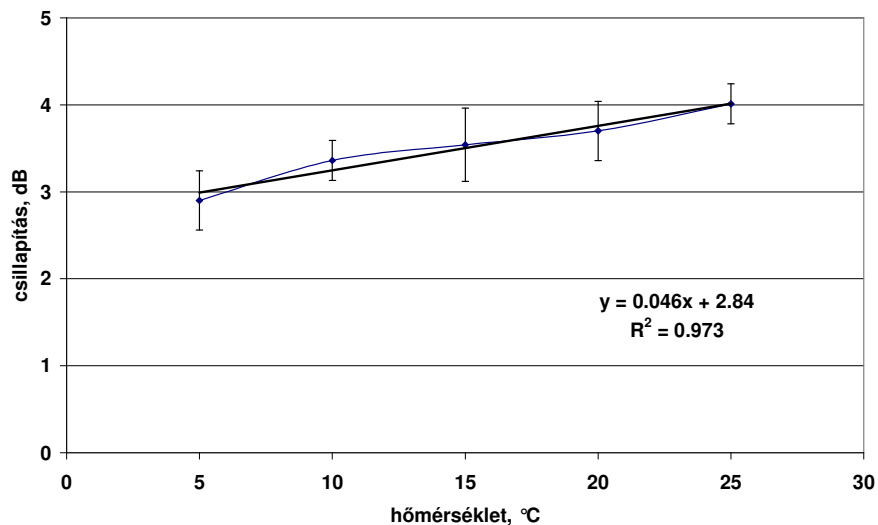
$$\frac{20}{\ln U_{ki} / \lg U_{ki}} = \frac{20}{2,302} = 8,68 \quad (12.)$$

### **A vevőn mérhető jel hőmérsékletfüggése**

A vizsgált mintákban az ultrahanghullámok terjedését és csillapodását a hőmérséklet erősen befolyásolta, mert a nagyobb hőmérsékleten (25 °C) a szalonna és a szalámi felületére folyékony halmazállapotú zsír került, és így a nagyobb folyadékmennyiségen kisebb a gerjesztett ultrahang csillapodása. A próbamérések során a kívánt hőmérsékletre hűtött (5, 10, 15, 20, 25 °C) közel 20 mm vastag kenyérszalonna zsírrétegekben az ultrahang terjedési sebességét és csillapodását mértem, és a különböző hőmérsékletekhez tartozó terjedési sebesség és csillapodás-értékeket hasonlítottam össze.



**15. ábra: Kenyérszalonna zsírréteg modellanyagban az ultrahanghullámok terjedési sebességének hőmérsékletfüggése**



**16. ábra: Kenyérszalonna zsírréteg modellanyagban az ultrahanghullámok csillapodásának hőmérsékletfüggése (20 mm vastag minta)**

Az ultrahanghullámok terjedési sebessége a csemegeszalonna zsírrétegében lineárisan csökkent, a csillapodása pedig nőtt a hőmérséklet emelkedésével a vizsgált hőmérséklet tartományban (**15-16. ábra**). Tehát a hőmérséklet jelentősen befolyásolja az ultrahanghullámok terjedési sebességét és csillapodását. Ezért a mérések közbeni melegedésének elkerülése érdekében célszerű volt a mérést gyorsan és azonos időintervallumok alatt elvégezni. Ebből kifolyólag a mérések folyamán a minták azonos időtartamig (15 másodperc) voltak behelyezve a mintatartóba. Miután tapasztaltam a hőmérsékletnek a terjedési időre és a csillapodásra való hatását, a továbbiakban minden minta esetében állandó hőmérsékleten (20 °C) végeztem a méréseimet.

### **A vevőn mérhető jel irányfüggése**

Az előkísérletek során vizsgáltam a mintákban az ultrahang terjedési idejének és csillapodásának változását rétegekkel párhuzamos és merőleges áthaladás esetén is. Ezzel az előkísérlettel arra kerestem a választ, hogy milyen mértékben befolyásolja a mérést az, ha a rostokkal párhuzamosan vagy merőlegesen haladnak át az ultrahanghullámok a mintán.

Tapasztalataim szerint a szalámiknál egyáltalán nincs különbség a mérőfej és a minta elhelyezkedése között. Ennek magyarázata, hogy aprított húskészítményről lévén szó, a szalonna és húsmozaikok elhelyezkedése, mérete és rostiránya nem meghatározó.

A szalonnáknál különbséget tapasztaltam a mérések eredménye között. A rostokra merőleges mérés esetében az ultrahanghullámok terjedési sebessége kisebb, a csillapítása volt, mint a rostokkal párhuzamosnál. A gyakorlatban történő mérés során a mérőfejek mindig csak merőleges helyezkednek el a minta felületén, technikailag a mérést nem oldalról, hanem a minta alsó és felső felületén végezzük.

### **A csillapítás additivitása**

Az előkísérletek és a matematikai összefüggések felhasználásával hipotézisként vetődött fel a csillapítás értékek additivitása, melyről a rétegvizsgálatok elvégzése után bizonyosodhattam meg. Ezért ezen elméleti összefüggés bizonyítását a rétegvizsgálatok fejezetben mutatom be a matematikai modell részletezésével együtt.

## **4.2 Aktív ultrahang**

### **4.2.1 Anyagok**

1, A kísérletekhez csont nélküli sertéskarajt (longissimus dorsi) használtam, mivel ez a húsrész egy önálló izomcsoport, így anyaga homogénnek tekinthető. A vizsgálatok megkezdése előtt a karaj felületéről eltávolítottam a szivárványhártyát, és kialakítottam a hengeres formát. Az alapanyagot a Borkesz Hús Kft. sertésvágó- és daraboló üzeméből szereztem be, a sertések fajtája Kahyb hibrid húsertés volt. A félsertések E minősítésűek voltak, vagyis a csontos-hús/szalonna aránya 55-60 % közé esett. A húsok pH-ja 5,8-5,9 között változott, a maghőmérséklete a kísérletek kezdetekor 5 °C volt. A felhasznált karajmintát kétféle méretben alkalmaztam: mintegy 5 x 5 cm alapterületű, 2 cm vastag, ~6-7 dkg tömegű, és egy 7 cm átmérőjű, 450 g tömegű formában (**17. ábra**).



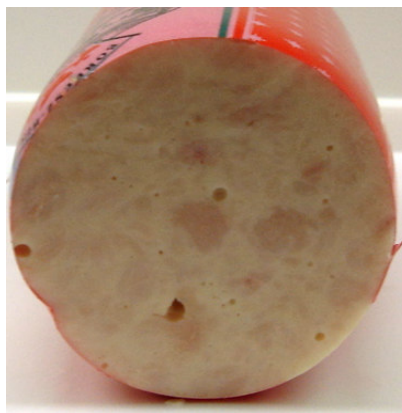
**17. ábra:** 7 cm-es csont nélküli karaj (Forrás: saját, 2007)

2, A pácolási technológiában a gépsonka gyártásakor meghatározó a nyers sonkamassza állománya, a massa összetartó ereje. Ezért a különböző kezeléssel pácolt kisdarabos sonkamassza (**18. ábra**) vizsgálatát végeztem.



**18. ábra:** Különböző páclé/hús arányú sonkamassza (90, 100, 110, 120 és 130%)

3, A sonka késztermék minőségét illetően lényeges a sonkák külső megjelenése, léeresztése, mozaikossága és állománya (**19. ábra**). Ezért különböző méréseket végeztem a hőkezelt, kész sonkakészítményen.



**19. ábra:** Különböző páclé/hús arányú sonka készítmény (90, 100, 110, 120 és 130%)



## 4.2.2 Kísérleti eszközök

### Tumbler

Az iparban a húspácolás során alkalmazott berendezés - a tumbler - a **20. ábrán** látható.



**20. ábra:** Tumbler berendezés (Forrás: saját, 2007)

Tumbler: Inject Star programozható, állítható forgási sebességű, 20 l-es tartállyal rendelkező berendezés. Beállítható vákuumérték 1000-10 mbar. A tumblertartály forgási sebessége: 1-10 fordulat/perc.

A beállított értékek a következők voltak a kísérletek során: nyomásérték a tartályban 50 mbar (95 % vákuum), forgatási sebesség: 7 fordulat/perc. Pácolási teremhőmérséklet 6°C.

### Nagy intenzitású ultrahangos gerjesztő berendezés

A kísérletek során alkalmazott ultrahangos gerjesztő berendezés a **21. ábrán** látható.



**21. ábra:** Ultrahangos sugárzó (Forrás: saját, 2007)

Ultrahangos készülék: 20 kHz frekvenciájú, 100 W maximális teljesítményű,  $5.09 \text{ Wcm}^{-2}$  intenzitású ultrahangos sugárzófej. A teljesítmény az ultrahangot generáló piezokristályok rezgési amplitúdójának változtatásával módosítható 50-100 % közötti értékben. Az amplitúdó a gerjesztő-feszültség állításával alakítható.

A méréseket 20 KHz frekvencián végeztem, mert a magasabb frekvencia hátrányosan hat a minták szerkezetére, lé- és zsírkiválást okoz (Zajasz & Ju, 1983). A rendszer alapbeállítása a tranziens

kavitációnak megfelelő frekvenciára volt hangolva, a finomhangolást mindig a kezelések megkezdésekor a tranziens kavitációt kísérő sziszegő hang kialakulásáig végeztem.

Kísérleteim során 50 mm átmérőjű sugárfőfejet használtam. A sugárfőfej homloklapfelületének és a berendezés kapacitásának ismeretében számítható a felületegységre jutó intenzitás értéke:  $100/19.625 = 5.09 \text{ Wcm}^{-2}$ . Ennek megfelelően más méretű (átmérőjű) sugárfőfej csatlakoztatásával, illetve a piezokristály amplitúdójának módosításával a leadott intenzitás értéke változtatható. Kezeléseim során a felületegységre jutó intenzitást a kapacitás változtatásával módosítottam a sugárfőfej méretét nem változtattam. Az alkalmazott intenzitás értéke tehát 2.0, 2.5, 3.0, 3.5, és 4.0  $\text{Wcm}^{-2}$ . A pácolás 6°C-os hűtőteremben, ellenőrzött körülmények között történt.

### 4.2.3 Kezelések

1. A **diffúziós tényező vizsgálata** során használt 5 x 5 cm alapterületű és 2 cm vastag húsokat minden esetben 2 kg tömegű (~1,75 l), 20 m/m%-os nitrites pác-sóoldatba helyeztem. A pác-só 99,5 % NaCl-ot és 0,5% Na-nitritet tartalmazott, a pácolás 6°C-on történt. A minták tömege ~6-7 dkg volt, ami a páclé/hús tömegarány tekintetében lényeges. A méréskor egyszerre 3 minta kezelése történt, így a páclé/hús tömegarány 1:10. A húsba bejutott só mennyisége a páclé koncentrációjához képest rendkívül kicsi, ezért a páclé sókoncentrációja a húshoz viszonyítva  $\infty$ -nek tekinthető.

A mintákat 10, 20, 30, 60, 90, 120 és 180 percig folyamatosan, pihentetés nélkül kezeltem tumblerrel vagy ultrahanggal, vagy hagyományos pácolással. Az ultrahangos kezelés során 2.0, 2.5, 3.0, 3.5, és 4.0  $\text{Wcm}^{-2}$  intenzitású 20 kHz frekvenciájú ultrahangot alkalmaztam.

2. A karaj húsminta **vízkötő- és víztartó képességének, az aktín denaturációs hőmérsékletének mérésénél és a hússzerkezet vizsgálatánál** 10:1 páclé/hús arányt és a 4 tömegszázalékos páclevet használtam a fehérjedenaturáció és duzzadási okok miatt. Az ultrahangos pácolás során 2.0, 2.5, 3.0, 3.5, és 4.0  $\text{Wcm}^{-2}$  intenzitású 20 kHz frekvenciájú ultrahangot alkalmaztam, a kezelési idők 30, 90 és 180 perc mind az ultrahangos, a tumbleres, és a hagyományos pácolás esetében.
3. A karajmintán belüli **sóeloszlás és állományeloszlás vizsgálatánál** csont nélküli sertéskarajból (longissimus dorsi) kivágott, 7 cm átmérőjű darabokat kezeltem különböző idejű és különböző kezelésekkel. A pácolásnál a diffúziós tényező meghatározásánál alkalmazott 20 (m/m) %-os pác-só oldatot alkalmaztam. A minták tömege 450-470 g között változott, egyszerre 3 minta pácolása történt, a páclé tömege 2000 g, így a páclé/hús tömegarány értéke 1,4:1.

Az ultrahangos kezelést a továbbiakban 2,0, 2,5 és 3,0  $Wcm^{-2}$  intenzitású 20 kHz frekvenciájú ultrahanggal végeztem, mivel a laboratóriumi mérések alapján a vízfelvétel, a víztartó képesség és az állomány tekintetében ezek bizonyultak optimálisnak. A tumbler forgási sebessége 7 fordulat/perc, az alkalmazott nyomásérték a tumblertartályban 50 mbar volt (95% vákuum). A kísérletben külön-külön ultrahangos kezelést és tumblerézést használtam. A pácolás 20 perces szünetekkel történt mindkét berendezésnél, hasonlóan az iparban alkalmazott technológiához (20 perc forgatás, 20 perc pihentetés). A kezeléseknél a pácolási időt változtattam, ennek megfelelően 1, 2 és 3 órás pácolást végeztem mind az ultrahangos, mind a tumbleres eljárás során.

4. A **sonkamassza állománymérési** kísérleteihez alkalmazott páclé összetevőit adott arányban elegyítettem. Ezt követően a vizsgálatokhoz felhasznált sertés karajt 12 mm lyukátmérőjű tárcsán ledaráltam, és hozzáadtam a páclevet.

Pácléadalék összetétele:      2,2% Nitrites sókeverék  
   0,4% Tetra-nátrium-pirofoszfát  
   32,5% Tari-100  
   64,9% Húsfehérje

Sonkamassza összetétele: Pácléadalék 11%, hús alapanyag 52%, víz 37%. A pácléadalékot a Hungaro Casing Kft.-től szereztem be. Az így kapott páclé-hús keverék első 1/3-át tumblerrel, második 1/3-át ultrahanggal kezeltem, a harmadik 1/3 részt pedig kezelés nélkül, hűtőben állni hagytam. Mindhárom pácolásnál három párhuzamos kezelést végeztem. Az ultrahang esetében 2,5  $Wcm^{-2}$  intenzitást alkalmaztam, amit a kisméretű karajmintával végzett vizsgálatok alapoztak meg. A karajmintán belüli sóeloszlás és állományeloszlás kísérletek által egyértelművé vált, hogy a 3 órás kezelésnél rövidebb pácolás hatása nem elegendő. A kezeléseket 3, 4, illetve 5 óra volt, 6°C-on. A kezelési idő elteltével a kapott masszát 4 órán át 5°C-on pihentettem.

5. Az aprított sonkáknál (gépben főtt vagy tömlős) végzett kísérletsorozatban növeltem a hozzáadott páclékeverék mennyiséget további 10, 20, 30, ill. 40%-kal a hústra számítva. Ennek megfelelően a kihozatali ~5, 10, 15 és 20%-kal javultak, a páclé/hús arány 100, 110, 120 és 130%-ra emelkedett. A kezeléseket és a vizsgálatokat háromszor ismételt meg. A vizsgálatokkal azt kívántam meghatározni, hogy a különböző pácolási eljárásokkal készített **eltérő arányban növelt páclétartalmú sonkamasszák és sonkakésztermékek állományában, víztartó képességében és mozaikosságában** van –e különbség. Vagyis valamely kezeléssel elérhető –e, hogy a páclébevitel növelése ellenére a késztermék állománya, léeresztő tulajdonsága és mozaikossága jelentős mértékben nem változik.

A felhasznált alap- és adalékanyagok származása és felhasználása, valamint az eszközök és technológiai paraméterek megegyeztek a kezelési idő meghatározásának fejezetében leírtakkal, csak a páclé/hús arány nőtt.

A különböző kezelésekkel készített és eltérő páclétartalommal bíró sonkamasszát az állománymérést követően 90 mm átmérőjű műbélbe töltöttem, és 78°C-os térben, 72°C maghőmérséklet elérése után 20 perc hőtartásig hőkezeltem. A kívánt hőmérséklet elérése után a termékeket hidegvizes zuhannyal hűtöttem 15°C alá. A további, +5°C alá történő hűtést ventilációs hűtőben végeztem.

#### 4.2.4 Vizsgálatok

##### Sótartalom meghatározása

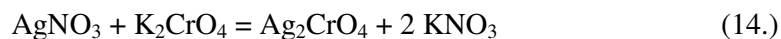
A sótartalom mérésével a diffúziós tényező értékét és a mintán belüli sókoncentráció kialakulását határoztam meg.

##### **Diffúziós állandó (D) meghatározása**

A diffúziós tényező meghatározásakor arra kerestem a választ, hogy az ultrahanggal történő pácolás, illetve a tumblerezés mennyivel gyorsabb sóbehatolást eredményez a hagyományos, sólében történő hosszú idejű pácolási technológiával szemben. Az irodalmi adatok szerint az ultrahang gyorsítja a diffúziót, de nem tisztázott, hogy mennyire. Ennek megfelelően az sem tisztázott, hogy a tumblerezés hatásosabb e tekintetben, vagy az ultrahang alkalmazása.

A kezeléseket követően a szeletek közepéből 2 cm átmérőjű hengereket vágtam ki. A hengerek aljáról és tetejéről leittattam szűrőpapírral a páclevet, majd a 2 cm magas hengerben határoztam meg a sótartalmat gravimetriásan Mohr- módszerrel (Volpato et al., 2007).

A **Mohr-** módszer elve, hogy ha NaCl oldatot  $K_2CrO_4$  indikátor jelenlétében  $AgNO_3$  oldattal titráljuk, akkor előbb az  $AgCl$  válik ki, mivel ez rosszabbul oldódik, mint az  $Ag_2CrO_4$ . Ha azonban az oldatban lévő összes klorid iont kicsaptuk, az  $AgNO_3$  első fölöslegétől vörösésbarna  $Ag_2CrO_4$  csapadék válik le, amitől a titrálás végpontja észrevehető. A reakcióegyenlet a következő:



A meghatározás csak semleges, 7,0-7,1 pH mellett valósítható meg, mivel az  $Ag_2CrO_4$  savanyú közegben feloldódik, lúgos közegben  $Ag_2O$  vagy  $AgCO_3$  keletkezik. A titrálás előtt célszerű az oldat pH-ját megvizsgálni, és ha szükséges,  $KHCO_3$ -tal semlegesíteni.

A diffúziós állandó (D) meghatározása az alábbi képlet alapján történt (Telis et al., 2004).

$$\frac{C_0 - C_t}{C_0 - C_{eq}} = 1 - \sum_{n=0}^{\infty} \frac{8}{(2n+1)^2 \pi^2} \cdot e^{\frac{-D(2n+1)^2 \pi^2 t}{L^2}} \quad (15.)$$

$C_0$  a hús kiindulási sótartalma ( $C_0=0$ )

$C_t$  a hús sótartalma az adott időpontban (10, 20.....180 perc kezelés után)

$C_{eq}$  a kiegyenlítődési sókoncentráció

$n$  elemszám (mi 0-50-ig számoltunk, mert az egyenlet két oldala közötti négyzetes eltérés már négy tizedesnél kisebb volt, ami mutatja, hogy az adott koncentrációkra illesztett görbék jól követik a koncentráció változását)

$D$  diffúziós állandó ( $m^2/s$ )

$t$  idő (s)

$L$  a henger magassága (m)

A kiegyenlítődési koncentráció ( $C_{eq}$ ) meghatározása (Körmendi, 1991):

$$d_{\infty} = \frac{p}{p + 0,75} \cdot d_0 \quad (16.)$$

$p$  a páclé/hús arány (a páclé és a hús mennyiségét is literben kell kifejezni; 1liter hús=1,07 kg, a sóoldat tömege adott (2 kg), a 20 m/m%-os sóoldat sűrűsége 1,148 g/cm<sup>3</sup>)

$d_0$  a sóoldat kezdeti koncentrációja (20g/100g)

$d_{\infty}$  a sóoldat koncentrációja a kiegyenlítődéskor (g/100ml)

A sovány hús ~75%-a víz:

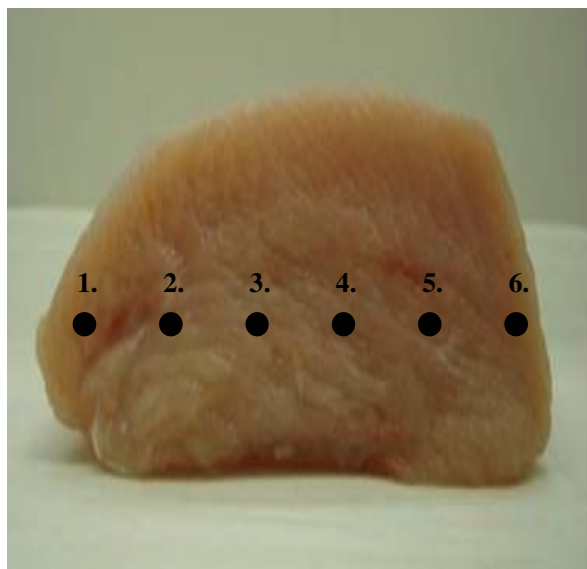
$$c'_{\infty} = 0,75 \cdot d_{\infty} \text{ (g/100ml)} \quad (17.)$$

Ezt g/100g-ban kifejezve kapjuk a  $c_{\infty}$ -t, ami kiegyenlítődési koncentráció ( $c_{eq}$ ) (a sózott hús sűrűsége ~1,08 g/cm<sup>3</sup>).

### Sóeloszlás meghatározása a karajmintában

A kísérlettel a kezelési idők és az ultrahang intenzitásának hatását vizsgáltam a sóbehatolás, a sóeloszlás tekintetében. A páclé húsba történő bediffundálásának és eloszlásának meghatározását sótartalom meghatározással végeztem. A kezeléseket után az egész húsok közepéből a rostirányra merőlegesen kivágtam egy 2,5 cm vastag szeletet. A kapott kör keresztmetszetű szeletek egymásra merőleges átmérőjének vonalában közel 1 cm középpont távolságra 6 db 1 cm átmérőjű hengert vágtam ki, majd ezekben határoztam meg a sótartalmat a már említett Mohr-módszerrel. A 22.

**ábrán** illusztráltam a mért pontokat, természetesen a húsminta keresztmetszete nem elnyúló, hanem mintegy 7 cm átmérőjű, egyenletes sugarú, hengeres húsdarab.



**22. ábra:** A sótartalom-meghatározás mintavételi pontjai (Forrás: saját, 2007)

### **Az állománymérés**

Az állománymérés során vizsgáltam az egyes pácolási eljárások hatását a karaj minta állományjellemzőire. Mértem a karajmintán belüli állomány eloszlást, vagyis a kezeléseket hatását a hús keménységére a minta teljes keresztmetszetébe. Meghatároztam a hőkezeletlen sonkamassza extrúziós és adhéziós erejéből az optimális pácolási időt, valamint összehasonlítottam különböző módon kezelt, eltérő páclétartalmú sonka késztermékek állományát a technológiai és érzékszervi szempontok alapján.

Az állományméréseknél Instron 4302 típusú univerzális állománymérő készüléket alkalmaztam aktuálisan a méréshez megfelelő feltétellel.

### **Karajminta állománymérése (TPA)**

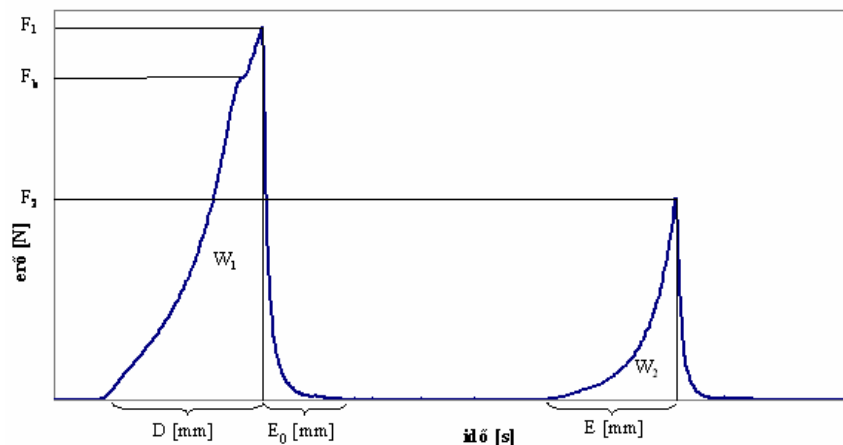
Az ultrahangos kezelés, a tumblerezés és a hagyományos páclébe helyezés hatását vizsgáltam a hús állományára Ruiz et al. (2005) kísérletei alapján. Ismeretes a tumbler és az ultrahang jelentős pozitív hatása a hús keménységére, rugalmasságára és porhanyósságára. A tumbler a mechanikai ütés és masszírozás által lazítja a hús rostjait, ami által növeli a köztük lévő teret, és így segíti a felvehető víz mennyiségét. Az aktív ultrahang a kavitáció mechanikai hatásával ugyancsak lazítja a rostokat, ami a porhanyósságot és a vízkötő képességet hasonlóan javítja. Azonban érdekes és összetett a pácolás folyamata, mivel egyrészt a hús porhanyósodik, puhább lesz, ezáltal vizet köt meg, ami viszont a duzzadás következtében a hús keményedését okozza. Az említett okokból kifolyólag választottam az állományprofil-analízist, ami nemcsak a keménységet, hanem a rostok

közötti kohéziót, összetartást is mutatja. A módszer lényege, hogy az emberi harapást utánozva a vizsgálandó anyagból készített próbatestet **kétszer összenyomják**, olyan mértékben, hogy a belső szerkezete megroppanjon. A felvett erő – deformáció (idő) görbéről leolvasott, illetve az adatokból számolt jellemzők az érzékszervi úton történő elemzéssel jól összehasonlítható eredményeket szolgáltatnak (**23-24. ábra**).

A pácolást követően a szeletekből egyenként 3 db 25,4 mm átmérőjű hengert vágtam ki. Majd minden henger alsó és felső felszínéről 0,5 cm-es réteget távolítottam el, mivel mind a tumbler, mind pedig az ultrahang esetében a mechanikai hatás ezeket a rétegeket átstrukturálja, így a belső szövetek duzzadási állapotáról téves információt kaphatunk. Az így kapott próbatestek magassága 20 mm volt, amelyet magasságának 50 %-áig nyomtam össze. A minta hőmérséklete a mérés alatt 14-16°C volt. A mérőfej sebessége 120 mm/perc, az adatgyűjtési sebesség 20 pont/sec volt, 1 kN-os mérőcellát használtam (Cheng & Sun, 2007).



**23. ábra:** Instron 4302 típusú univerzális állománymérő készülék, az állományprofil analízis (TPA) során használt feltétellel (Forrás: saját, 2007)



**24. ábra:** Állományprofil görbe jellemzői (texture profile analysis) (Forrás: saját, 2007)

$F_b$  [N] az izomrostok belső szerkezetének megroppantásához szükséges erő, amelynek értéke alatt a változás reverzibilis, biológiai folyáshatár,

$F_1, F_2$  [N] az adott deformáció eléréséhez szükséges, már irreverzibilis változásokat okozó erő az első illetve második összenyomás során, a minta legnagyobb deformációjához tartozó keménysége, továbbiakban keménység (vizsgálataim során az  $F_1$  értéket használtam),

$D$  [mm] deformáció mértéke,

$S$  [N/mm] szilárdság, adott deformáció eléréséhez szükséges erő,

$E_0$  [mm] a minta azonnal visszanyert magassága,

$E$  [mm] rugalmasság, a minta visszanyert magassága a deformáló erő megszüntetése után,

$W_1, W_2$  [J] az adott deformáció eléréséhez szükséges munka az első illetve második összenyomás során, a görbe alatti terület az első illetve a második összenyomásig,

A fenti adatokból számított paraméterek

$K$  kohézió, a mintát összetartó belső kötések ereje,  $K = W_2/W_1$  (dimenzió nélküli)

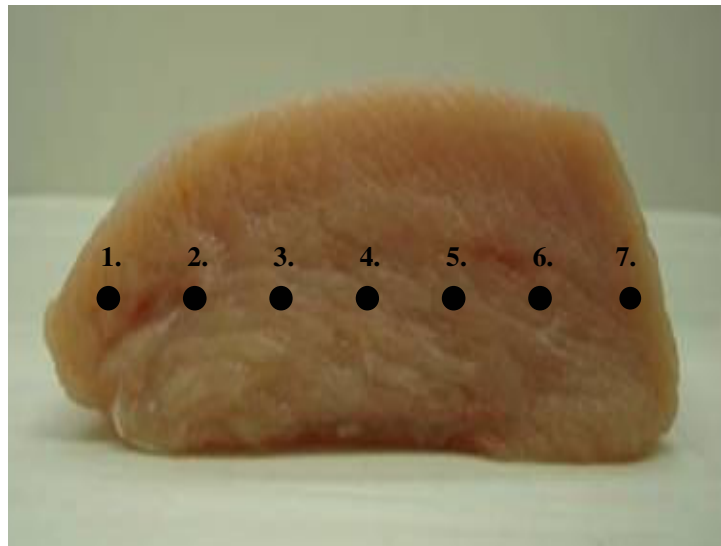
$R$  [J] rághatóság, a szilárd élelmiszer teljes szétrágásához szükséges energia, mértéke a keménység, kohezivitás és rugalmasság elsődleges paraméterekhez kapcsolódik,  $R = F_1 * K * E$

### **Állományváltozás mérése a karajminta keresztmetszetében**

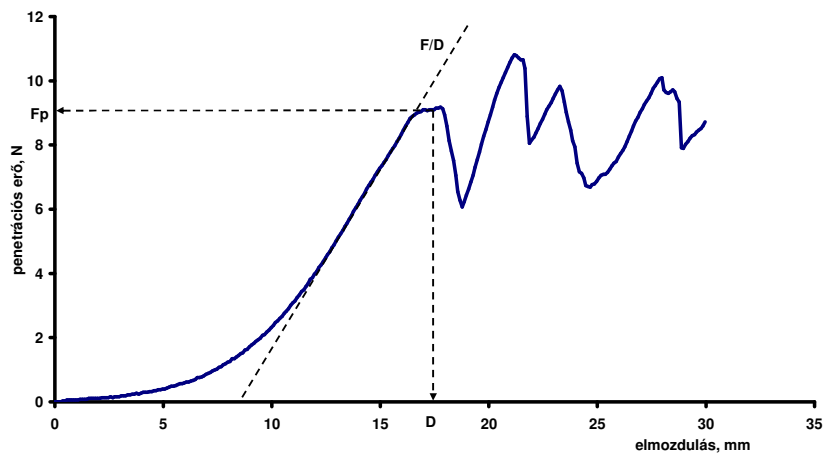
A penetráció az emberi fog behatolását modellezi a rágás során. A penetrációs méréssel arra kerestem a választ, hogy az ultrahangos kezelés és a tumblerezés hatására az izomrostok közötti összetartó erő milyen mértékben változik, valamint a hús keresztmetszetében a tumbler, illetve az ultrahang mechanikai hatásai milyen mértékben érvényesülnek. A belső rétegekben megtörténik -e az izomrostok lazítása, a miofibrillumok távolságának növelése a teljes mintán belül.

Az állományméréskor a sóeloszlás meghatározásánál alkalmazott kezeléseket és azonos mintát (7 cm hosszú hártványlanított csontnélküli egész karajt) használtam. A kezeléseket után a mintákat középen kettévágtam a rostirányra merőlegesen, majd az állományvizsgálat során a minták teljes keresztmetszetét 5 mm átmérőjű szűrőfejjel egymástól 1cm-re 7 helyen szúrtam meg (Jang and Lee, 2005) (25. és 26. ábra). A minta hőmérséklete a mérés alatt 14-16 °C volt. A mérőfej sebessége 100 mm/perc, az adatgyűjtési sebesség 20 pont/sec, a behatolás mélysége 6 mm volt. A méréshez 1 kN-os mérőcellát használtam (Honikel, 1998).





25. ábra: 5mm átmérőjű penetrációs fej behatolása a húsba (Forrás: saját, 2007)



26. ábra: A penetráció erőviszonyai (Forrás: saját, 2007)

$F_p$  [N] penetrációs erő

$D$  [mm] keresztfej elmozdulás

Penetrációs mérésnél a mérőfeltét átmérője sokkal kisebb, mint a vizsgált felület. A húsminta mérése a rostirányra párhuzamos irányban történik.

A penetrációs feltét először összenyomja a mintát, majd  $D$  [mm] keresztfej elmozdulásnál átszakítja a hús felületét, az ehhez szükséges penetrációs erő  $F_p$  [N]. A hús rostos szerkezete miatt a görbe lefutása  $D$  elmozdulástól kezdve nem egyenletes. Az erő visszaesik, amikor a feltét az izomrostokat vagy az azokat körülvevő kötőszöveti hátrát átszakította, illetve szétfeszítette és növekszik, amikor az alatta lévő anyagot tömöríti.

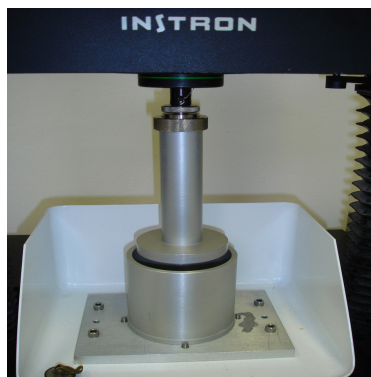
### Sonkamassza állománymérése, a kezelési idő meghatározása

A masszán végzett Back-extrúziós cellával végzett állománymérés által információt kaptam a hőkezeletlen nyers sonkamassza exszudátumának és húsmozaikjainak az összeállásáról, adhéziójáról, a massa tapadósságáról, a kialakult koloid rendszer stabilitásáról, vagyis az egyes húsdarabok és az exszudátum közötti összetartó erő mértékéről az egyes kezelések és kezelési idők

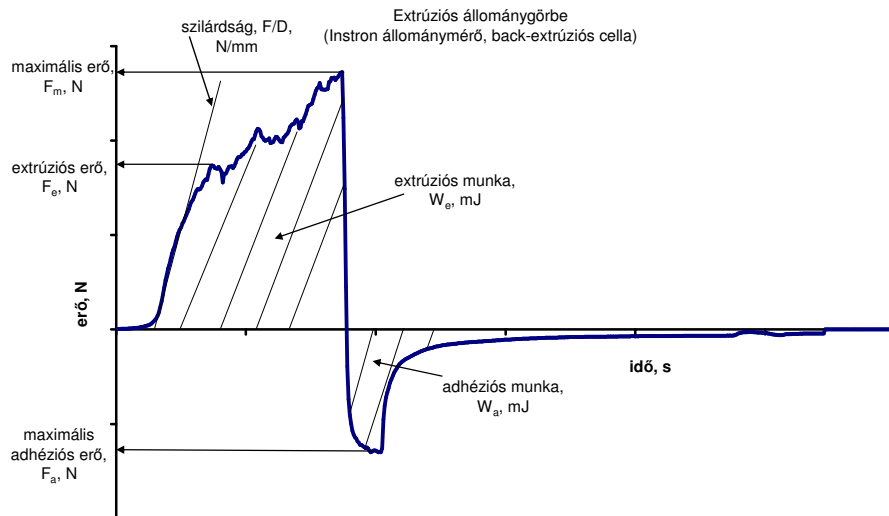
függvényében. A kezelési időktől függően változik a massa állománya, ami technológiai továbbfeldolgozhatóság, minőség szempontjából meghatározó. Az extrúziós adatok ismeretében meghatároztam a megfelelő állomány kialakulásához szükséges kezelési időt.

A Back-extrúziós cella egy 102 mm belső átmérőjű hengerből és benne mozgó kisebb átmérőjű (95 mm) nyomófejből áll (27. ábra). A nyomófejet 100 mm/perc sebességgel mozgattuk, az adatgyűjtési sebesség 20 pont/sec volt. A mérés 1 kN-os mérőcellával történt. A hengerbe 150 g anyagot mértem be. Az ismétlések száma kezelésenként 10, a minta hőmérséklete a mérés alatt 14-16°C volt (Gujral et al., 2002).

A mérés kezdeti szakaszában kompresszió történik, majd a masszára jellemző erőértéknél (extrúziós erő,  $F_e$ , [N]) a nyomófej elkezd az anyagot keresztülréselni a résen. A görbe első, felfutó szakaszának meredeksége a vizsgálati anyag szilárdságával egyenes arányban van. A nyomófej alatt a maximális elmozdulásnál 5 mm vastag anyagréteg található, amely  $F_{max}$  (maximális erő, [N]) erővel terheli a nyomófejet. Az extrúziós erő és a maximális erő adja a massa keménységét. A nyomófej felfelé húzásakor a vizsgálati anyag tapadása miatt szintén erő mérhető, ami a massa adhéziós ereje ( $F_a$ , [N]) (28. ábra). Tehát a három fő jellemző a massa állományvizsgálatánál az extrúziós erő, a maximális erő és az adhéziós erő, amelyek vizsgálataim és értékeléseim tárgyát képezték a massa állománymérésekor.



27. ábra: Back-extrúziós cella (Forrás: saját, 2007)



**28. ábra:** Back –extrúziós cella erőviszonyai (Forrás: saját, 2007)

### **Páclé/hús arány növelésének hatása a massa és a sonka késztermék állományára**

A megnövelt páclé-tartalmú sonkamassa állományméréséhez az előzőekben már alkalmazott Back extrúziós cellát használtam.

A szakirodalomban is általában több állománymérési módszert alkalmaznak egy mintasorozat értékelése során, ezért választottam a sonka késztermék állományának mérésére egyben a TPA módszert, a Warner- Bratzler és a Kramer cellát egyaránt. Amennyiben a különböző cellákkal meghatározott adott állományjellemzők azonosak, akkor egyértelműen bizonyított az egyes kezelések állománybeli hatása.

A TPA módszert azért választottam mind a pácolt, nyers hús, mind később a késztermékként megjelenő gépsonka esetében, mert ezzel a cellával mérhető a legkülönbözőbb állományjellemző. Ezáltal teljesebb képet kaphatunk a minták állományáról: keménységéről, rágási munkájáról, rágthatóságáról, amelyek meghatározó technológiai jellemzők a pácoláskor, és jelentős érzékszervi jellemzők gépsonka termékek fogyasztása során.

#### Állománymérés Warner-Bratzler cellával

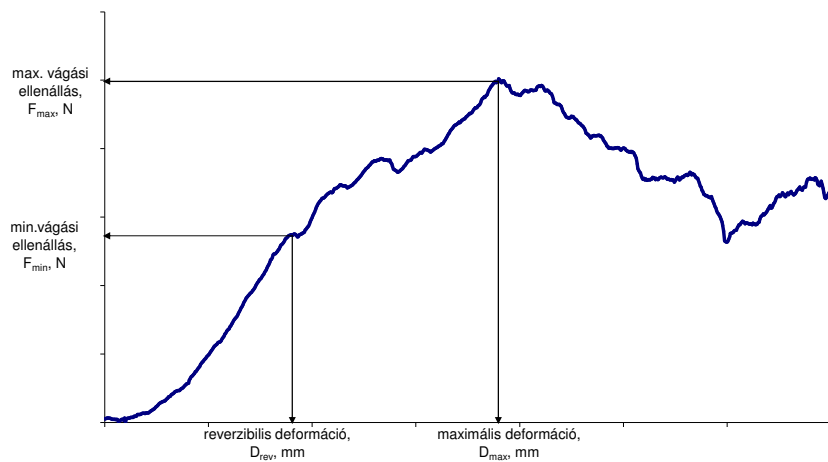
A cellát a vágás közben fellépő igénybevétel modellezésére fejlesztették ki. A vágási ellenállás által meghatározható a sonka keménysége és szilárdsága. Ezzel a módszerrel arra kerestem a választ, hogy a különböző kezeléssel pácolt sonkákban az állományt tekintve melyik kezelés hatására alakult ki a legstabilabb rendszer, melyik kezelés által kötötték meg leghatékonyabban a hozzáadott páclevet a hús fehérjéi.

A cellában mozgó penge hossza 138 mm, szélessége 76 mm, vastagsága 1,3 mm, benne 60°-os csúcshögű fordított V alakú kivágás. A vágóél gömbölyített. A penge a cella rögzített részének oldalán kialakított vezetősínbén csúszik végig, majd a cella alján lévő résbe illeszkedve teljesen

elvága a behelyezett mintát. A mérés során a lefelé mozgó vágóél egyre nagyobb felületen érintkezik a mintával, ezáltal az összenyomás mértéke (és a minta ellenállása) nő. A vizsgálati anyagra jellemző erő (deformáció) értéknél a penge belevág a mintába, majd a teljes keresztmetszetét átvágja ( $F_{\max}$ , N,  $D_{\max}$ , mm) (29-30. ábra).

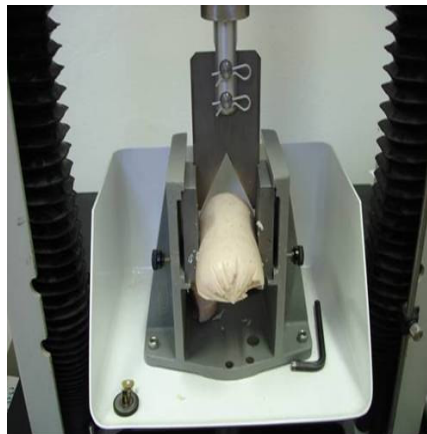
A keresztfej sebessége 100 mm/perc volt, az adatgyűjtés 20 pont/sec sebességgel történt. A méréshez 1 kN-os erőmérőcellát használtam hasonlóan Ruiz és munkatársai által végzett kísérletekhez (2005).

A minta előkészítése során a 90 mm átmérőjű sonkarudakat hosszában kettévágtam, és az így előállított félkör metszetű rudakat mértem. A minta hőmérséklete 14-16°C volt, tíz párhuzamos mérést végeztem kezelésenként.



29. ábra: Warner-Bratzler cella erőviszonyai (Forrás: saját, 2007)

A maximális vágási ellenállás adja a sonka keménységét, ezért az eredmények ismertetésekor a keménység fogalmát használtam.



30. ábra: Warner-Bratzler-féle mérőcella (Forrás: saját, 2007)

### Állománymérés Kramer-féle nyírócellával

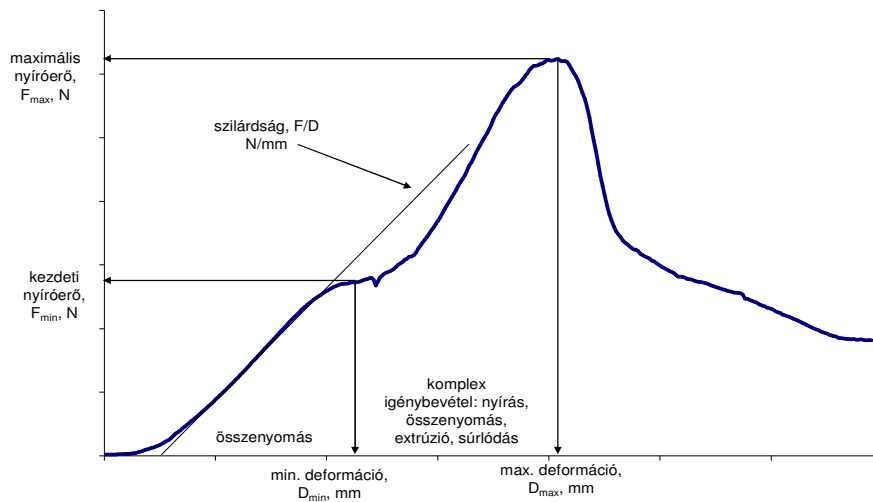
A Kramer-féle nyírócella álló része négyszögletes alakú, belső mérete 67x67x63 mm, fedele levehető (Cavitt, et al., 2004). A cella tetején és alján 3,18 mm (1/8 inch) széles hosszanti rések találhatóak. A mozgó rész 10 db, az alsó és felső résekbe illő, kissé flexibilisen rögzített lemezből áll, amely a cella belsejében kialakított vágatokban csúszik végig a mérés során. A mozgó feltét hosszabb, mint a cella álló része, így a belehelyezett anyagot teljes mértékben elnyírja. A nyíróerőt adó Kramer cella a harapás és a rágás folyamatát modellezi. A Kramer cellával végzett vizsgálataimmal a sonka szilárdságát, a Warner-Bratzler cellához hasonlóan a minta keménységét határoztam meg.

A cellában lévő (ismert tömegű, vagy térfogatú) mintát a lefelé mozgó feltét először összenyomja. A görbe kezdeti szakaszának meredeksége a minta szilárdságára utal ( $F/D$ , N/mm), azaz megmutatja, hogy egységnyi deformációhoz mekkora erő szükséges. A vizsgálati anyagra jellemző erő értéknél ( $F_{\min}$ , N) a lemezek a mintát az alsó réseknek préselik, ez a reverzibilis deformáció határértéke ( $D_{\min}$ , mm). Ezután az anyag az alsó réseken keresztül kinyomódik (extrúzió), ugyanakkor a lemezek behatolva a mintába, elnyírják azt. Az ábrán megfigyelhető, hogy a minta szilárdsága az  $F_{\min}$ -ot meghaladó erőnél az első szakaszra jellemző értékhez képest nagyobb. A cellában lévő anyag teljes keresztmetszetének elnyírásakor mérjük a maximális nyíróerőt ( $F_{\max}$ , N), az ehhez tartozó deformáció a  $D_{\max}$ , mm (**31-32. ábra**).

A mintákból kezelésként 5-5 db 67 mm hosszú, 20x 20 mm-es hasábokat vágtam. A mérés során a próbatesteket úgy helyeztem a cellába, hogy a mozgó feltét lemezei keresztirányban nyírják szét (ilyen elrendezésnél mérhető a legnagyobb erő). A minta hőmérséklete a mérés alatt 14-16°C volt.



**31. ábra:** Kramer-féle nyírócella (Forrás: saját, 2007)



**32. ábra:** Kramer-féle nyírócella erőviszonyai (Forrás: saját, 2007)

A maximális nyíróerő értéke mutatja meg a sonkaminta keménységét, ezért a későbbiekben keménység néven ismertetem az állománymérés eredményeinek összehasonlításakor.

### **Vízköti képesség vizsgálata**

A vízkötő képesség megmutatja, hogy az adott kezelés hatására a hús mennyi vizet, illetve páclevet köt meg. A nemzetközi irodalomban water-binding capacity (WBC) néven ismert. Sajnos több esetben keverik a víztartó képességgel, ami viszont a víz kötésének erősségével, a léeresztéssel függ össze.

A vízkötő képesség meghatározását Graiver és munkatársai (2006) vizsgálata szerint végeztem. A mérések során meghatároztam a mintaként felhasználandó hús egy részéből annak víztartalmát a kezelések előtt. A fennmaradó nagyobb húsmennyiséget kezelésnek vettem alá, majd a kezelt húsok víztartalmát mértem meg. A százalékos víztartalomból kiszámítottam a hús vízkötő képességét.

$$WBC = \frac{m_{ku} - m_{ke}}{m_{ke}} \quad (18.)$$

Az összefüggésben:  $m_{ku}$  a hús minta kezelés utáni víztartalma [g/100g];  $m_{ke}$  a húsminta kezelés előtti víztartalma [g/100g]. Ezzel a módszerrel csak a felvett víz mennyiségét határoztam meg, a bevitt só mennyiségét nem.

### **Víztartó képesség vizsgálata**

A víztartó képesség, szakirodalomban water holding capacity (WHC), valamilyen mechanikai hatást, pl.: súlyterhelés, centrifugálás, követően megtartott vízmennyiséget jelent. Gyakorlatilag megmutatja, hogy a felvett víz, vagy páclé milyen mértékben kötődik a fehérjékhez, bizonyos ideig tartó állás után mennyi vizet enged el, illetve tart meg a hús (Dolatowski and Twarda, 2004).

A pácolt, nyers hús és a késztermékként megjelenő gépsonka esetében mértem a víztartó képességet a különböző pácolási módok és paraméterek hatását megfigyelve.

A víztartó-képesség meghatározásának gyors módszere a préselési próba, Grau und Hamm módszer (Grau und Hamm, 1953). A vizsgálathoz előkészített, exszikkátorban tárolt szűrőpapír csíkot tárgylemezre helyeztem, és erre analitikai pontossággal lemért 200-300 mg tömegű hús- és sonkamintát mértem be. A mintát a másik tárgylemezzel lefedve 2 kg tömegű súllyal 5 percig préseltem. A szűrőpapírba felszívódott húslevet infralámpa segítségével beszárítottam, a folt területét a szűrőpapírból kivágtam, majd a szűrőpapír területek és tömegarányok segítségével meghatároztam a folt területét. A minta tömegére vonatkoztattam a foltterületet, ami jellemző a víztartó képességre.

### **Páclé/hús arány növelésének hatása a víztartó, ill. a léeresztő képességre**

A sertéskarajnál végzett vizsgálatokkal azonos módon mértem a sonkakészítmények víztartó képességét jellemző léeresztő képesség mérését.

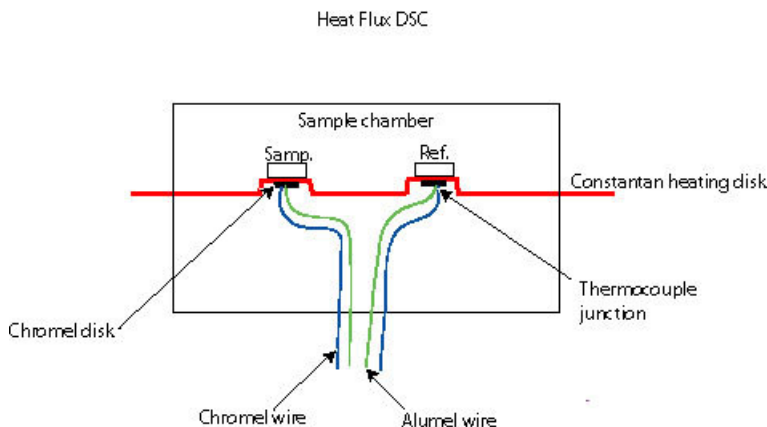
### **DSC vizsgálatok**

A húsfehérjék termodinamikai tulajdonságainak, stabilitásának és denaturációjának vizsgálatára használják a DSC-t (Differential scanning calorimetry) (Barbut & Findlay, 1991; Thorarinsdottir, et al., 2002). A húsok DSC-s mérésénél a kapott görbének három fő jellemző pontja lényeges a fehérjéket illetően. Ezek a miozin 54-58 °C, a szarkoplazmatikus fehérjék és a kollagén 65-67 °C és az aktomiozin F és G részét alkotó aktin 71-83 °C között denaturálódik (Findlay, et al., 1986). Az izom konyhasó tartalmának egyenletes növekedését jelzi az aktin és a miozin termoállapotának instabilitása (Kijowski & Mast, 1988; Quinn, et al., 1980), vagyis a konyhasónak a fehérjeszerkezetre gyakorolt hatása megváltoztatja a fehérjék denaturációs hőmérsékletét. Ismeretes, hogy a konyhasó növeli a fehérjék oldhatóságát, ami elősegíti duzzadásukat, vízfelvételüket. Feltételezésem szerint az egyes kezelések befolyásolják a bejutott só mennyiségét a húsba, így az oldott fehérjék aránya és az általuk felvett víz mennyisége is változik. Ennek következtében a gyorsabb sóbejutás és a nagyobb vízfelvétel a fehérjék denaturációs hőmérsékletében eltérést mutat az egyes kezeléseknél megfelelően.

Összegezve, a DSC vizsgálatokkal arra kerestem a választ, hogy a különböző kezelést alkalmazó pácolási eljárásoknál a felvett páclé mennyisége és maga a kezelés fiziko-kémiai hatása hogyan befolyásolja a fehérjék denaturációjának hőmérsékleti maximumát (Graiver et al., 2006)

A differential scanning calorimeter (DSC) berendezés (típus: Micro DSC III. Setaram, Batch & Flow CS32; France, Caluire) alapjait tekintve hővezetési kaloriméternek tekinthető. Általános felépítésükben egy olyan mérőcella szerepel, amellyel egyértelmű, jól szabályozható termikus ellenálláson keresztül egy stacioner állapotú, homogén hőmérsékletű, nagy hőkapacitású termosztát

van kapcsolatban. A rendszert hőárammérő egészíti ki. A minta átalakulása során keletkező hőmennyiséget a hőfluxus mérése útján meghatározhatjuk. A DSC berendezések vázlatos felépítését a **33. ábra** mutatja be.



**33. ábra:** DSC felépítése (Forrás: McNaughton and Mortimer, 1975)

A mintatartóknak a DSC műszerben két helyük van, az egyik a minta (samp.) a másik a referencia anyag (ref.) helyéül szolgál.

Analitikai mérleget használtam a mintatartók, kupakok és minták pontos tömegének meghatározásához. A mintatartók és kupakok tömegének mérése után szükséges az összepárosításuk. A legkisebb tömegű testhez a legnagyobb tömegű kupak párosítása javasolt. A beméréskor a hús tömege 0,5 - 0,8 g közötti tartományba essen.

A program, amit a pácolt hús mérésére beállítottam, a következő volt:

- 25°C-ról 90°C-ra való felfűtés 2°C/perc
- 90°C-ról 25°C-ra való lehűtés 3°C/perc
- 25°C-on való tartás 5 perc
- 25°C-ról 90°C-ra való felfűtés 2°C/perc
- 90°C-ról 25°C-ra való lehűtés 3°C/perc

### **Izomrostok szerkezetének vizsgálata elektronmikroszkóppal**

Az elektronmikroszkópos vizsgálatokkal a kezeléseknek az izomrostok közötti távolságok változására, a rostok duzzadására, valamint a miofibrillumok szerkezeti változására kerestem a választ. Ennek megfelelően a pásztázó vizsgálatokkal az izomrostbeli eltéréseket, hatásokat, a transzmissziós technikával pedig a miofibrillumokban történő változásokat határoztam meg, hasonlóan a Graiver (2006) és munkatársai által végzett vizsgálatokhoz.



Az elektronmikroszkópos felvételeket a Budapesti Corvinus Egyetem Központi Laboratóriumában végeztük. A pásztázó és a transzmissziós elektronmikroszkópos vizsgálatokhoz a minták előkészítései a 3. számú mellékletben találhatók.

### **Mozaikosság vizsgálata**

A sonka késztermékről készített fotók segítségével illusztráltam a kezelések hatását a sonkakészítmények mozaikosságát illetően.

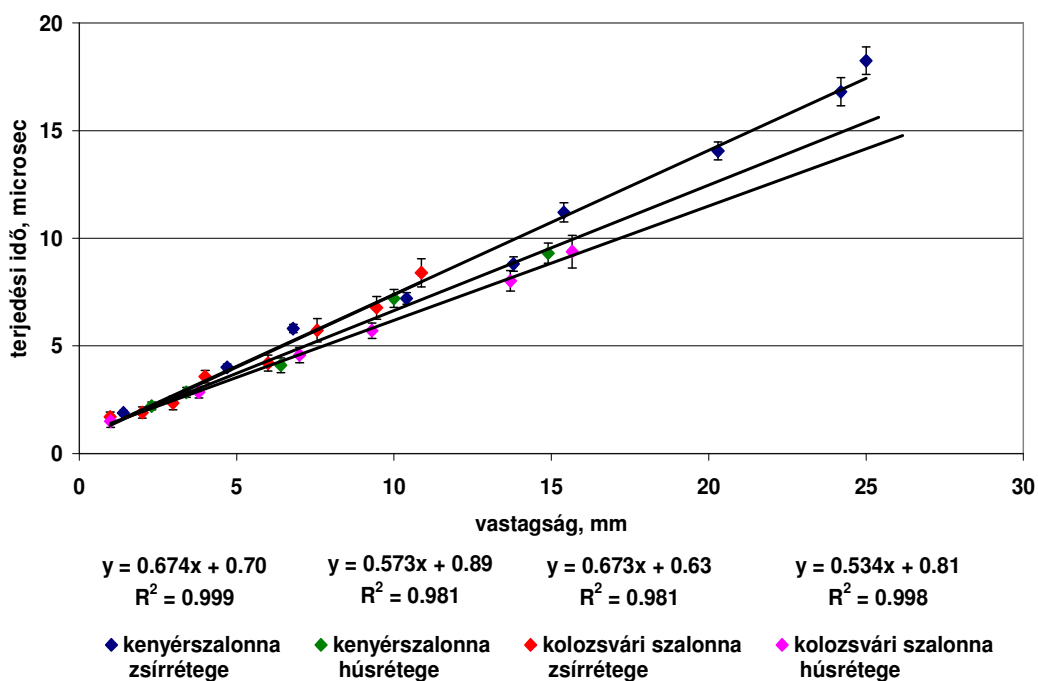
## 5 Eredmények és kiértékelés

Az eredmények és kiértékelésük fejezetben a passzív és az aktív ultrahang által végzett vizsgálatok és kezelések eredményeit és azok elemzését mutatom be.

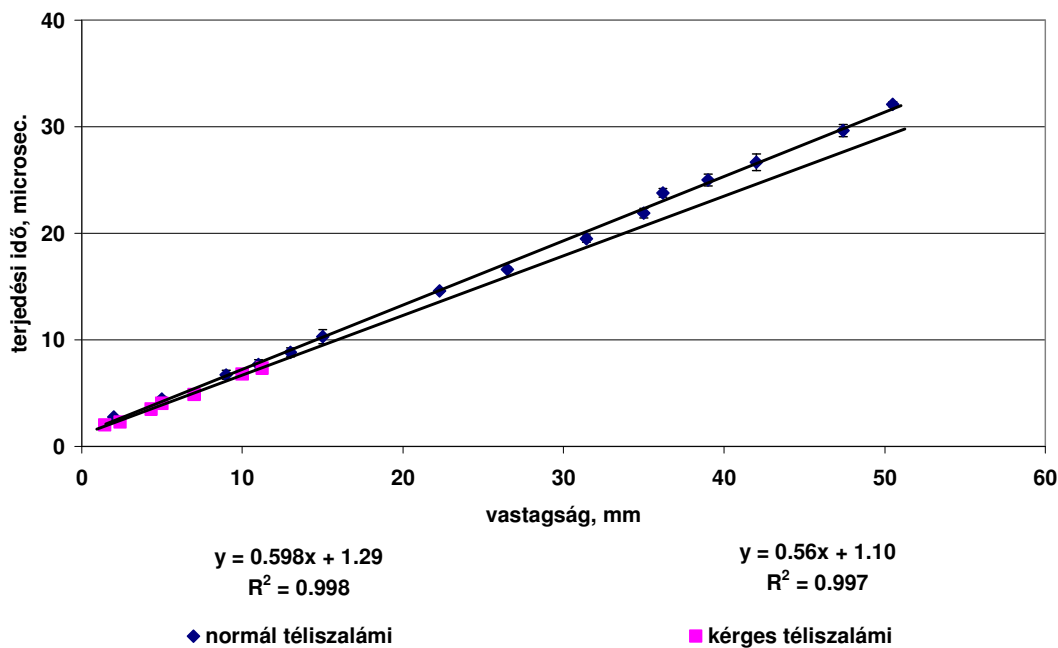
### 5.1 Passzív ultrahangjellemzők

#### 5.1.1 Az ultrahanghullámok terjedési ideje különböző mintákban

A következőkben az egy termékmintán belüli adatok összehasonlíthatósága érdekében egyazon mintatípusból származó, de különböző minőségű vizsgálati anyagokat - téliszalámi (szabványnak megfelelő, kéréses), szalonnák (zsír, húsréteg) - közös koordináta-rendszerben ábrázoltam a megfelelő paramétere, mint a terjedési idő, a látszólagos kimenőjel és a csillapítás szerint.



34. ábra: Szalonnamintákban az ultrahanghullámok terjedési ideje



**35. ábra:** Normál állományú téliszalámban és téliszalámi kérgében az ultrahanghullámok terjedési ideje

A **34-35. ábrák** grafikonjai tartalmazzák a különböző mintákban az ultrahanghullámok terjedési idejét. A vizsgált minták rétegeinek vastagsága és az azokon áthaladó ultrahanghullámok átjutási ideje között lineáris összefüggést tapasztaltam. Az illesztett egyeneseknek pozitív tengelymetszete figyelhető meg, vagyis a nulla vastagsághoz is tartozik egy bizonyos időtartam. Ennek magyarázata, hogy az ultrahang-impulzusnak idő szükséges a mérőfejek védőlemezen való átjutáshoz, ezért egy kis késés jön létre az adó- és a vevőfejek között. Ez a késés különböző, aminek oka a mérőfejek és a minta felülete közötti eltérő kontaktus. A terjedési sebességet tekintve számunkra az illesztett egyenes meredeksége a meghatározó.

A rétegvastagság – terjedési idő grafikonokon a vastagságokhoz tartozó terjedési idő értékekre illesztett egyenesek meredekségének reciprokértéke az adott anyagban az ultrahang hullámok terjedési sebessége. A vastagság függő változóként történő ábrázolásánál a terjedési sebesség közvetlenül megállapítható, azonos az illesztett egyenes meredekségével.

A szalonnamintákban, ill. a rétegekben az ultrahang terjedési idejét vizsgálva megállapítható (**34. ábra**), hogy a kolozsvári szalonna és a kenyérszalonna zsírrétegeiben a terjedési idő és így a számított terjedési sebesség szinte azonos. A szalonnákban a terjedési idő jelentősen eltér a kolozsvári szalonna és a kenyérszalonna húsában mért értékektől. A mérések alapján a zsírrétegekben a terjedési sebesség és a hozzá tartozó szórás  $1484 \pm 24$  és  $1486 \pm 37$  m/s, a húsrétegekben  $1745 \pm 32$  és  $1873 \pm 38$  m/s.

A húsban való nagyobb terjedési sebesség oka, hogy a húsrétegekben a rostok és a sejtek egymáshoz képest közelebb helyezkednek el, mint a laza szerkezetű, távolabb elhelyezkedő

zsírsejtek a szalonnában. A hús sejtjei a füstölés hatására ~15% vizet veszítenek. Az így kialakuló száradás eredményeként a sejtek tömörebbé, keményebbé válnak, ami az ultrahanghullámok terjedését segítik, mivel a fémhez hasonlóan kemény felületté válnak, amik a rezgéseket jól vezetik. A téliszalámi mintáknál (35. ábra) megfigyelhető, hogy a kérges téliszalámiban az ultrahang terjedési sebessége nagyobb, ~1740 ± 39 m/s, míg a normál szalámi rétegé 1673 ± 18m/s. Ez a különbség nem olyan jelentős, mint a szalonnák hús- és zsírrétegei között, de szignifikáns. Az ultrahangnak a kéregben való gyorsabb terjedésének az oka, hogy a száradás hatására a kéreg hús- és szalonnamozaikjai tömörebbé válnak, a köztük lévő „üres tér” lecsökken, ami a szalonnák húsrétegeihez hasonlóan segíti az ultrahanghullámok átadását sejtről-sejtre.

Tehát az általam mért terjedési sebesség értékek jól behatároltak, a korrelációs tényező szerint is megfelelően pontosak ( $r^2=0,98-0,99$ ), további számítások, kísérletek alapjául szolgálhatnak.

A Ghaedian et al., (1997) által felállított összefüggés szerint az egyes rétegeknél az ultrahanghullámok terjedési sebességének ismeretében számítható a teljes mintában az ultrahang terjedési sebessége (Shannon et al., 2004).

$$\frac{100}{v^2} = \sum_{j=1}^n \frac{\Phi_j}{v_j^2} \quad (4.)$$

A  $\Phi_j$  és  $v_j$  a tömegszázalék és az ultrahang terjedési sebessége az adott komponensben.

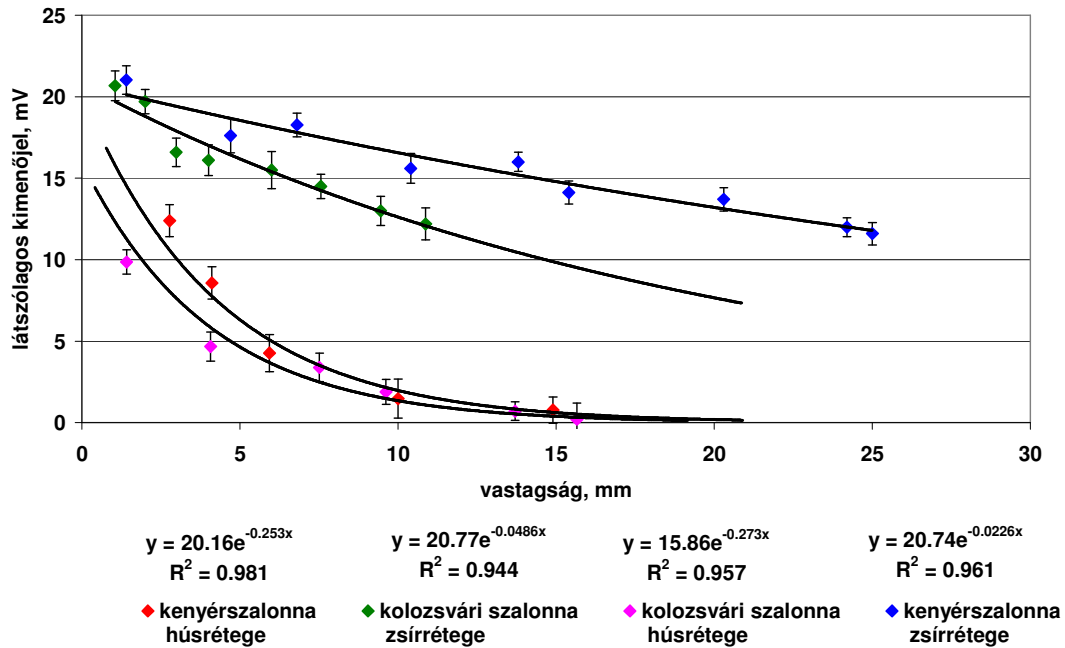
A méréseknél meghatározható a teljes mintában az ultrahang terjedési sebessége és a minta teljes vastagsága. Ezért a Ghaedian- féle összefüggés szerint kiszámolható a %-os összetétel, vagyis a szalonnáknál a hús- és a zsírrétegek vastagsága, ill. a téliszalámi rudaknál a kérgesedés mértéke. Néhány példa látható a **1. táblázatban**.

**1. táblázat**

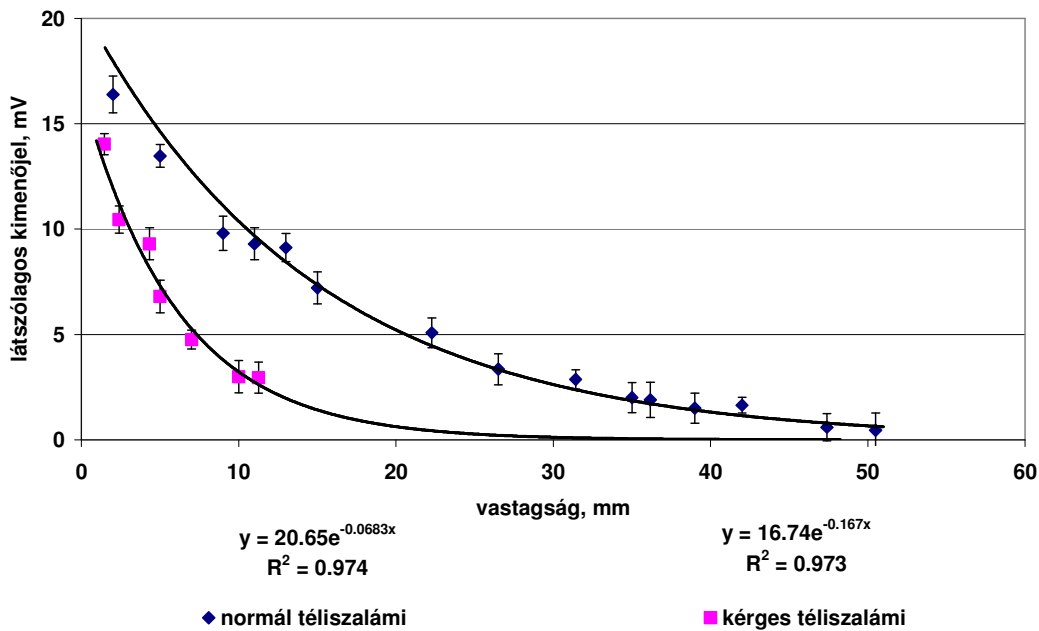
Megnevezés	Tömegmérés alapján, (m/m)%	Számított ultrahangterjedési sebesség a teljes mintában, m/s	Mért ultrahangterjedési sebesség a teljes mintában, m/s
Kolozsvári szalonna hústartalma	55,4	1673 ± 14	1665 ±16
Kolozsvári szalonna zsírtartalma	44,6		
Kenyérszalonna hústartalma	9,3	1502 ± 21	1498 ±12
Kenyérszalonna zsírtartalma	90,7		
Téliszalámi normál állománytartalma	87,3	1681 ± 19	1694 ±23
Téliszalámi kéreg tartalma	12,7		

A számított és a mért terjedési sebesség értékek összehasonlítása alapján megállapítható, hogy a két érték statisztikailag azonosnak tekinthető. Tehát igazolható, hogy az egyes rétegekben az ultrahang terjedési sebességének ismeretében meghatározható az egyes rétegek aránya, ill. vastagsága.

### 5.1.2 Az ultrahanghullámok látszólagos kimenőjele különböző mintákban

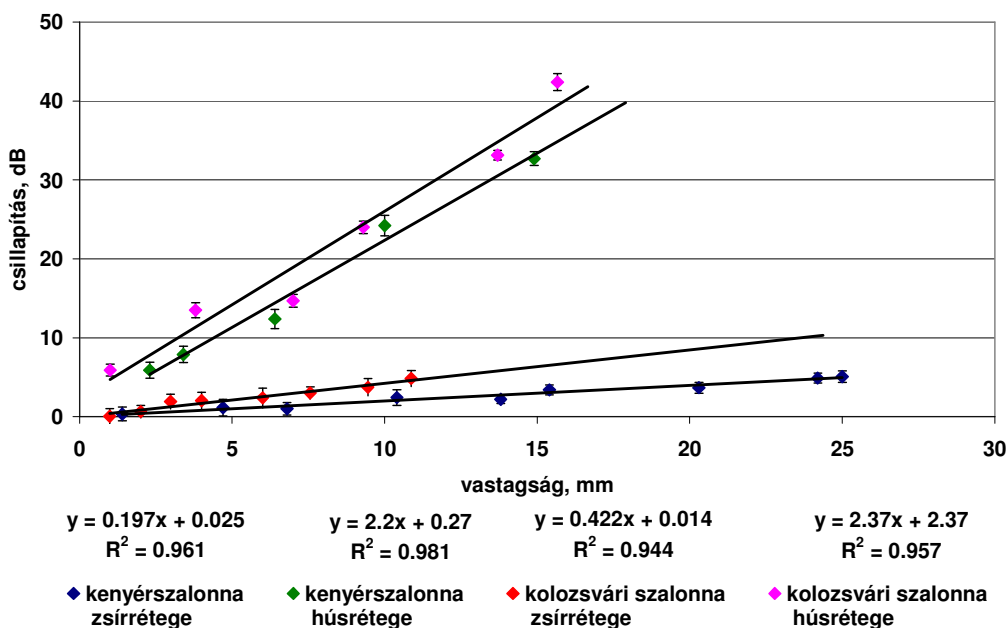


36. ábra: Szalonnamintákban az ultrahang hullámok látszólagos kimenőjele

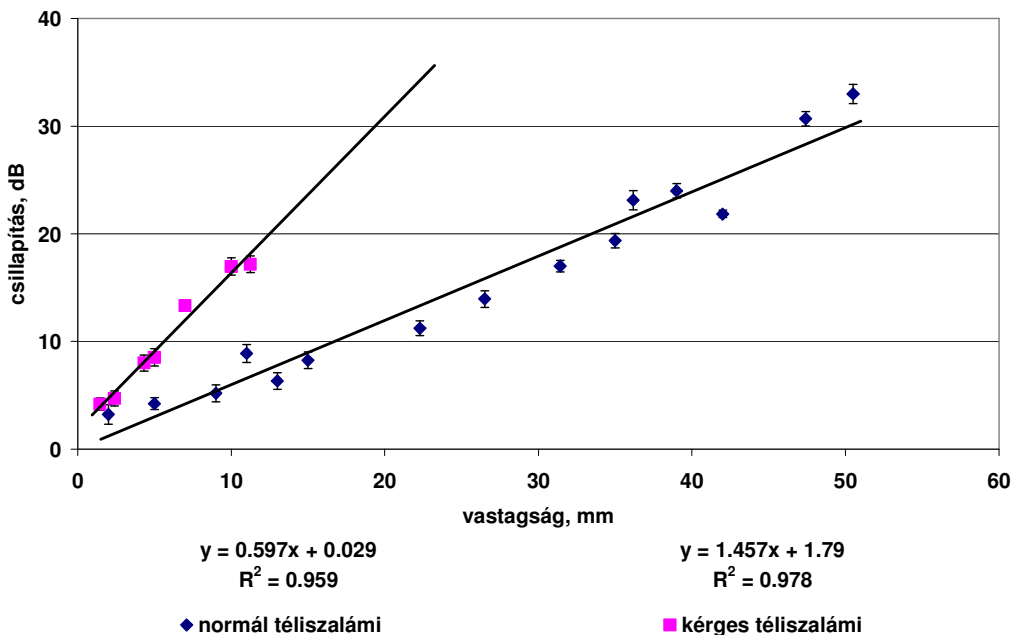


37. ábra: Normál állományú téliszalámiban és téliszalámi kérgében a látszólagos kimenőjel

### 5.1.3 Az ultrahang hullámok csillapódása különböző mintákban



38. ábra: Szalonnamintákban az ultrahang hullámok csillapódása



39. ábra: Normál állományú téliszalámiban és téliszalámi kérgében a csillapodás

A látszólagos kimenőjel ábrázolása esetén az egyes vastagságokhoz tartozó amplitúdó értékek exponenciális lefutású görbét adnak (36-37. ábrák). Sajnos ezek leolvasása, használata nehézkes, ezért logaritmálás által kiszámítottam (11. összefüggés) a csillapítás értékeket. Majd ezen értékeket

ábrázoltam a vastagság függvényében. Az így kapott értékekre már egyenes illeszthető, alkalmazása könnyebb, közvetlen leolvasást eredményez (**38-39. ábrák**).

A szalonnák (**38. ábra**) csillapítás mérésénél megállapítható, hogy a kenyér- és a kolozsvári szalonna húsában az ultrahang csillapodása közel azonos, és nagymértékben eltér a szalonnák zsírrészeinek csillapítás értékeitől.

A már ismertetett (**10.**) összefüggés szerint a számított csillapítási tényező és a hozzá tartozó szórás a húsrétegeknél  $0,27 \pm 0,09$  1/mm és  $0,25 \pm 0,081$  1/mm, míg a szalonnákéból számított csillapítási tényező és annak szórása  $0,049 \pm 0,008$  1/mm és  $0,023 \pm 0,005$  1/mm. Vagyis a húsrétegeknél 3,65 ill. 3,95 mm, a szalonnáknál pedig 44,18 ill. 20,57 mm vastagságú réteg csillapítja az ultrahangot e-ad részére. Az értékekből látható, hogy szignifikáns a különbség a zsír- és a húsrétegek csillapítása, ill. csillapítási tényezője között, ami a rétegvastagság meghatározásakor a rétegek azonosítása szempontjából lényeges.

Azon minták csillapítják nagyobb mértékben az ultrahanghullámokat, amelyek csillapítási tényezője nagyobb, mivel az adott anyagból vékonyabb réteg eléri ugyanazt a csillapítást, vagyis ugyanolyan mértékben csillapít.

A téliszalámi esetében (**39. ábra**) a kérges minták csillapítása szignifikánsan nagyobb a szabványos, normál állományú szalámirétegekhez képest. Ennek magyarázata a száraz, alacsony víztartalmú kérges réteg szigetelő hatása, amely lecsökkenti a mintán átjutott ultrahanghullámok mennyiségét, elnyeli azokat.

A kísérletekben mért adathalmazból számított csillapítási tényezőket összehasonlítva szignifikáns különbség figyelhető meg a kérges réteg és a normál téliszalámi csillapítási tényezője között. A kéregnél ez az érték  $0,167 \pm 0,015$  1/mm, a normál állományú téliszaláminál pedig  $0,068 \pm 0,012$  1/mm. Vagyis a 6 cm vastag kéreg és közel 15 cm vastagságú normál állományú téliszalámi réteg csillapítja az ultrahangot e-ad részére.

Az ultrahang-terjedési sebesség és csillapítás értékei az egyes szalonna és téliszalámi rétegekben a **2. táblázatban** található.

## 2. táblázat

Megnevezés	Terjedési sebesség, m/s	Csillapítási tényező, 1/mm	A jel amplitúdójának e-ad részére csökkenéséhez szükséges mintavastagság, mm
Kenyérszalonna zsírrétege	$1484 \pm 24$	$0,023 \pm 0,0021$	$44,18 \pm 4,05$
Kenyérszalonna húsrétege	$1745 \pm 32$	$0,25 \pm 0,061$	$3,95 \pm 1,0$

Kolozsvári szalonna zsírrétege	1486 ± 37	0,049 ± 0,008	20,57 ± 3,18
Kolozsvári szalonna húsrétege	1873 ± 38	0,27 ± 0,052	3,66 ± 0,69
Kérges téliszalámi	1739 ± 39	0,167 ± 0,027	6,01 ± 0,97
Normál, szabványos téliszalámi	1673 ± 18	0,068 ± 0,011	14,64 ± 2,0

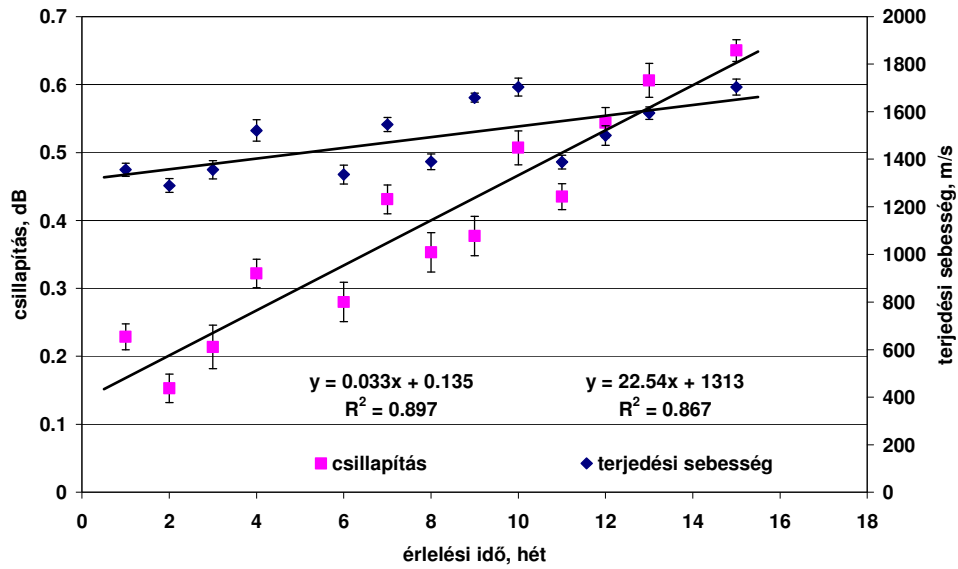
Összességében megállapítható, hogy a szárazabb, tömörebb rétegekben, mint a szalonnák húsrétegei és a téliszalámi kérges része, az ultrahanghullámok terjedési sebessége nagyobb. A száraz, merev rétegben az ultrahanghullámok intenzitása csökken, azonban a száraz rétegekben az ultrahanghullámok terjedési sebessége nagyobb, mint a laza szerkezetű, nagy víztartalmú anyagokban.

Az ultrahanghullámok csillapítását vizsgálva megállapítható, hogy a szaláminál az említett száraz kéreg, vagy a szalonnák húsrétege nagyobb mértékben csillapítja az ultrahangot, tehát csillapítási tényezőjük nagyobb. Összegezve, a száraz, tömöttebb rétegekben az ultrahanghullámok gyorsabban terjednek, azonban a hullámok amplitúdója és egyben intenzitása nagymértékben lecsökken.

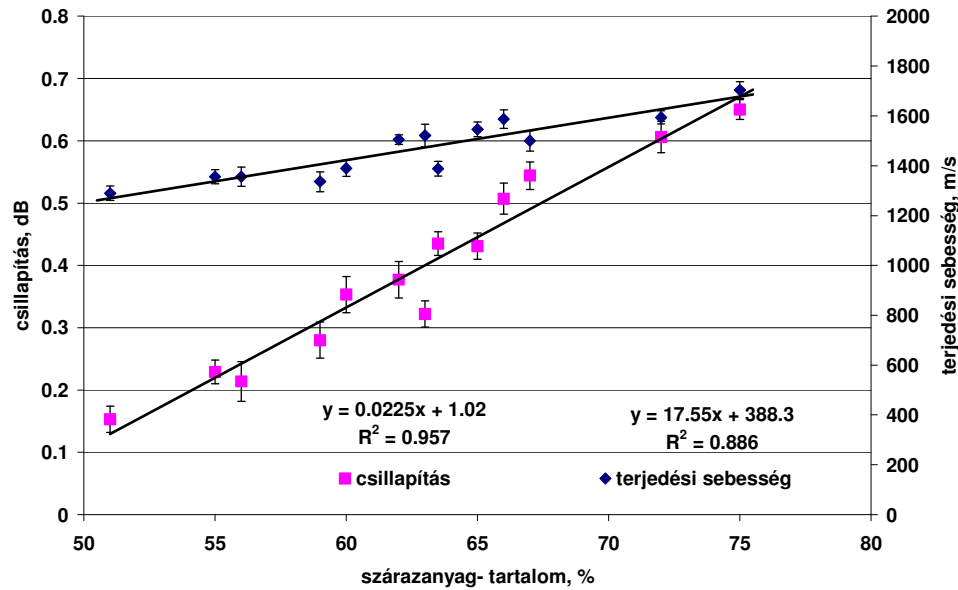
#### **5.1.4 Az ultrahangjellemzők és a szárazanyag-tartalom változása a téliszalámi érlelése során**

Az érlelési idő egyes időpontjaiban (hetente) megmértem a téliszalámi rúdak szárazanyag-tartalmát, a téliszalámi mintákban az ultrahang terjedési sebességét és csillapodását. Az adott érlelési időpontokban a minták vastagságához tartozó logaritmált csillapításértékekre egyenest illesztettem. Majd ezen egyenesek meredekségét adtam meg az adott érlelési időhöz tartozó csillapításértékeknek. A meredekség mértékegysége dB/mm, azonban a rúdak vastagságát konstansnak feltételezve elhagyható a mm, és a dB marad. A grafikonokon ezen meredekségek változása látható az érlelés során.

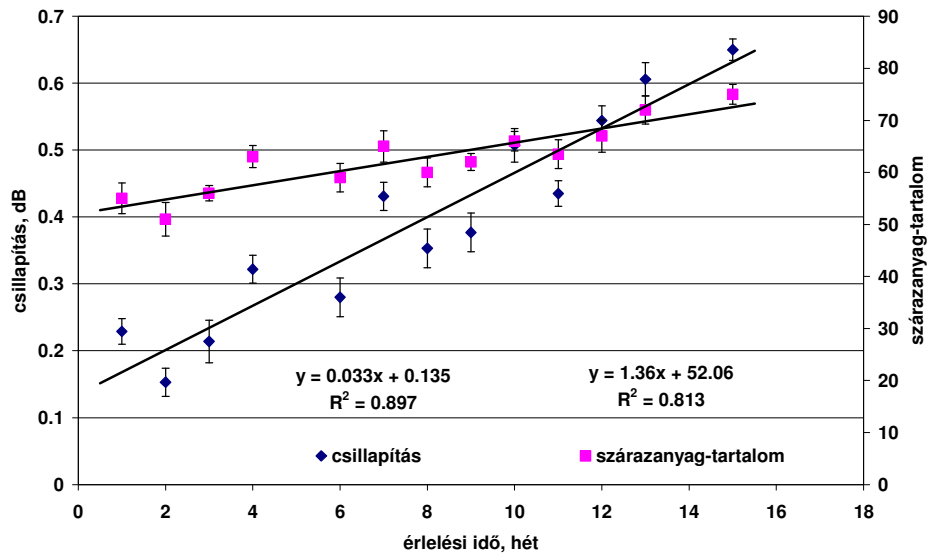




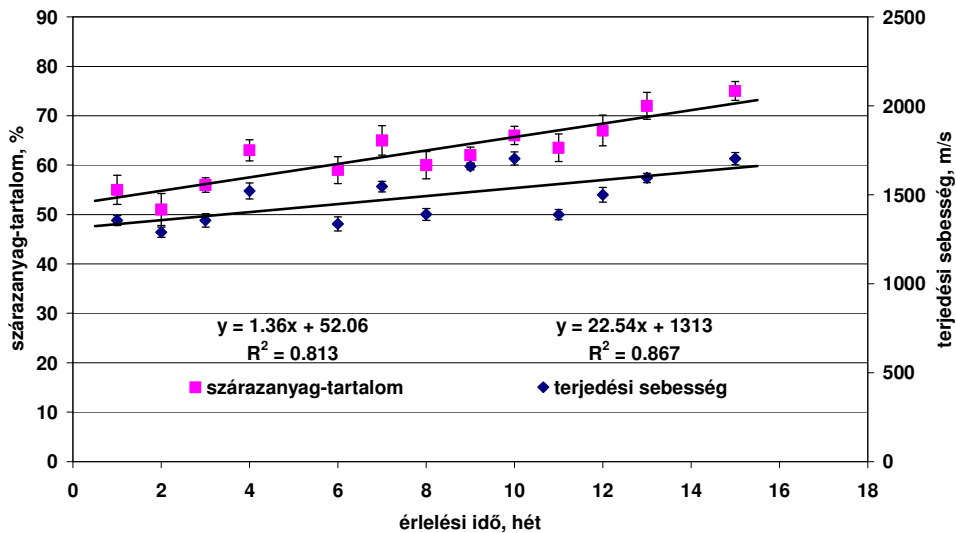
40. ábra: Téliszalámi mintákban az ultrahang csillapodásának és a terjedési sebességének változása az érlelés során



41. ábra: Téliszalámi mintákban az ultrahang csillapodásának és a terjedési sebességének változása a szárazanyag-tartalom változás függvényében az érlelés során



**42. ábra:** Téliszalámi mintákban az ultrahang csillapodásának és a salámi szárazanyag-tartalmának változása az érlelés során



**43. ábra:** Téliszalámi mintákban az ultrahang terjedési sebességének és a salámi szárazanyag-tartalmának változása az érlelés során

A **40-43 ábrán** látható, hogy az ultrahang terjedési sebessége és logaritmikus csillapodása Lull és munkatársai (2002) megállapításához hasonlóan folyamatosan lineáris módon változik a szárazanyag-tartalom változásának függvényében. Vagyis az ultrahanghullámok terjedési sebességének és csillapodásának mérésével nyomon követhető az érlelés során a szárazanyag-tartalom-változás folyamata. Tehát az ultrahangjellemzők mérése alapján roncsolásmentesen, a rúd felvágása nélkül becsülhető az egyes érlelési állapotokhoz tartozó szárazanyag-tartalom, és ennek megfelelően maga az érettségi állapot.

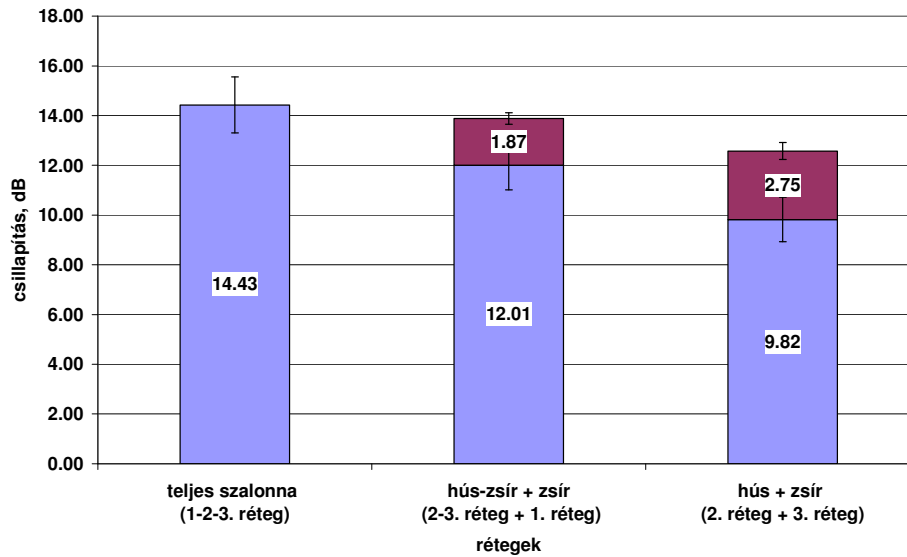
A technológus számára ismert az érlelési folyamat adott periódusa, tudja mikor kezdődött az érlelés. Ennek megfelelően az érlelés folyamán beazonosíthatók az adott időpontokhoz tartozó mért ultrahang jellemzők értékei (terjedési sebesség, csillapodás) a fenti kalibrációs grafikonokon szereplő értékekkel. Amennyiben a mért és a kalibrációs értékek nem egyeznek, technológiai hibára következtethetünk. A csillapodás, ill. a sebesség növekedésekor feltehetően kérgesedés kezdődött el, ami időben történő detektáláskor megszüntethető, később legfeljebb csökkenthető. A két ultrahang jellemző csökkenésekor visszapuhulásra lehet következtetni, amit a páratartalom megfelelő csökkentésével, esetleg a hőmérséklet növelésével lehet korrigálni.

Az érlelőteremben több ponton elhelyezett mérőfejpárral és szoftverrel az érlelés folyamata nap mint nap nyomon követhető a termék sérülése nélkül.

### **5.1.5 Rétegvizsgálat a vastagság és a csillapítás additivitása alapján**

Méréseim során a rétegvizsgálattal az volt a céлом, hogy az egyes mintákon belüli rétegek vastagságát (hús — zsír arány a kolozsvári szalonnában) meghatározzam, és a mintákon belüli technológiai hibákat (kérges réteg a téliszalámiban) kimutassam. Ezért végeztem el az egyes minták rétegenkénti feldarabolását, elválasztását. A szalonnák esetében a hús- és a zsírrétegek, a téliszaláminál pedig a szabványnak megfelelő és a kérges részek jól elválaszthatóak voltak. A rétegvizsgálatok során céлом volt megállapítani, hogy az egyes rétegek tulajdonságából (csillapítás) következtetni lehet-e az egész mintára, illetve az egyes mintákban a rétegek vastagságára. A **44-46. ábrákon** és a **3-5. táblázatban** megfigyelhető az egyes rétegek csillapításának additivitása, miszerint az egy mintán belüli két különböző szövet-összetételű réteg csillapításának összege közel azonos a teljes minta csillapításával.

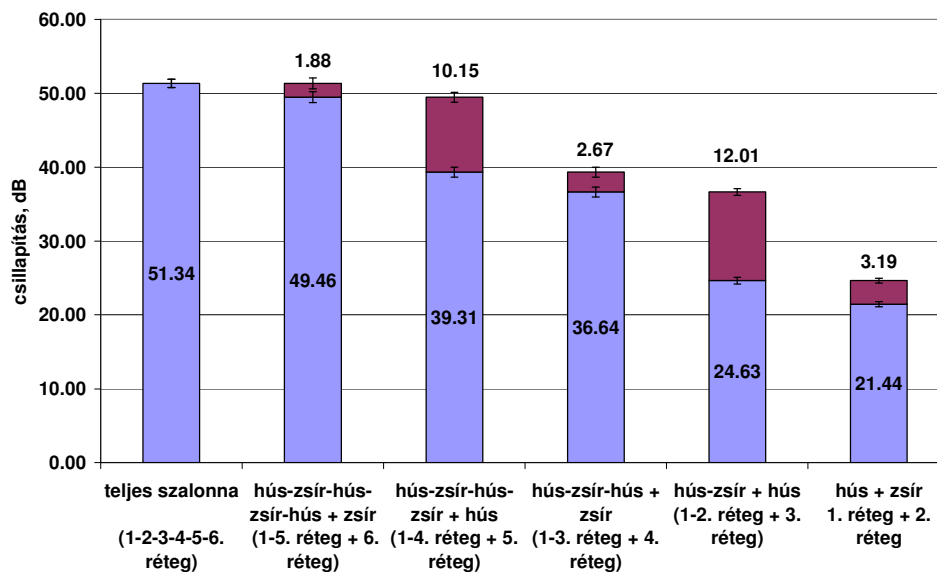
Az ábrákon oszlopdiaagram segítségével ábrázoltam a rétegek csillapításának additivitását. A grafikonok alatt található táblázatok szemléltetik a rétegek csillapítását és vastagságát. Az adatok között szereplő számított csillapítás a teljes mintán belüli rétegek csillapításösszege, ami az egész minta csillapításával összehasonlítható.



44. ábra: Kenyérszalonna rétegvizsgálata

3. táblázat: Kenyérszalonna rétegvizsgálata

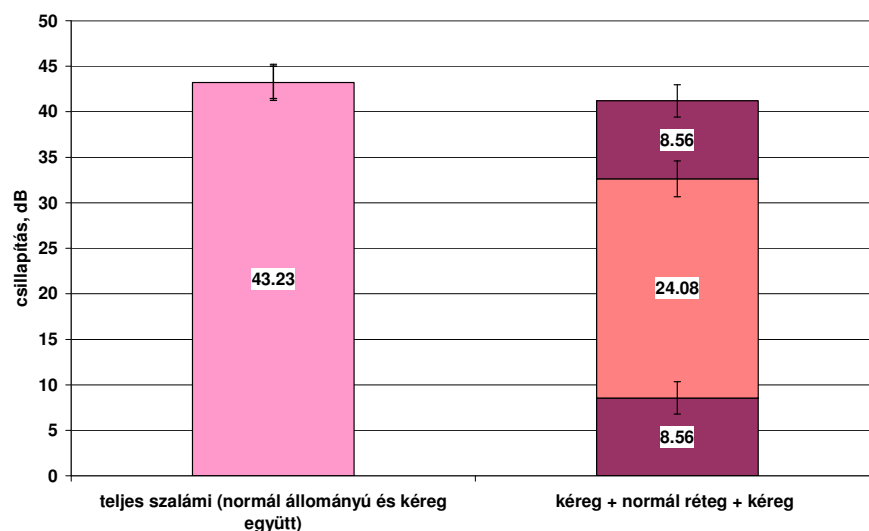
Megnevezés	Mért csillapítás, dB	Számított csillapítás, dB	Mért vastagság, mm	Számított vastagság, mm
1-2-3. réteg	14,43 ± 1,12	13,88 ± 1,35	25,6 ± 1,77	25,4 ± 2,03
1. réteg (zsír)	1,87 ± 0,23		7,8 ± 1,34	
2-3. réteg (hús és zsír)	12,01 ± 1,01	12,12 ± 1.26	17,8 ± 1,13	17,8 ± 1,45
2. réteg (hús)	9,82 ± 0,89		4,3 ± 1,05	
3. réteg (zsír)	2,75 ± 0,34		13,5 ± 1,65	



45. ábra: Kolozsvári szalonna rétegvizsgálata

**4. táblázat:** Kolozsvári szalonna rétegvizsgálata

Megnevezés	Mért csillapítás, dB	Számított csillapítás, dB	Mért vastagság, mm	Számított vastagság, mm
Teljes szalonna (1-2-3-4-5-6. réteg)	51,34 ± 0,56	50,32 ± 1,76	36,2 ± 2,23	35,15 ± 1,67
Hús-zsír-hús-zsír-hús + zsír (1-5. réteg + 6. réteg)	49,46 ± 0,74 + 1,88 ± 0,32	48,61 ± 1,12	32,12 ± 1,87 4,03 ± 0,65	31,01 ± 1,78
Hús-zsír-hús-zsír + hús (1-4. réteg + 5. réteg)	39,31 ± 0,67 + 10,15 ± 0,38	38,95 ± 1,34	28 ± 1,97 4,12 ± 0,87	29,19 ± 1,13
Hús-zsír-hús- + zsír (1-3. réteg + 4. réteg)	36,64 ± 0,67 + 2,67 ± 0,45	36,38 ± 1,21	21,95 ± 1,23 6,05 ± 0,97	22,01 ± 1, 21
Hús-zsír + hús (1-2. réteg + 3. réteg)	24,63 ± 0,47 + 12,01 ± 0,28	24,38 ± 0,98	16,83 ± 1,57 5,12 ± 1,05	16,83 ± 1,06
Hús + zsír (1. réteg + 2. réteg)	21,44 ± 0,74 + 3,19 ± 0,34		8,98 ± 1,13 7,85 ± 1,23	



**46. ábra:** Kérges és normál téliszalámi rétegvizsgálata

**5. táblázat:** Kérges és normál téliszalámi rétegvizsgálata

Megnevezés	Mért csillapítás, dB	Számított csillapítás, dB	Mért vastagság, mm	Számított vastagság, mm
1-2. réteg (teljes szalámi)	43,23 ± 2,30	41,27 ± 2,23	55,18 ± 2,1	57,06 ± 2,54
1. réteg (kéreg a rúd teljes kerületén)	17,12 ± 1,78		10,13 ± 1,56	
2. réteg (normál állományú réteg)	24,08 ± 1,97		45,05 ± 2,34	

A kéreg a szalámirúd teljes kerületén keletkezik, ezért a rúd vizsgálatokor egyszerre a két oldalon kialakult kérget mérjük. Ennek a „dupla” kéregnek az összes-csillapítása 16,2 dB. Feltételezve,

hogy a kéreg szimmetrikusan alakul ki, egyoldali kéreg csillapítása 8,1 dB, és ennek megfelelően a kéreg vastagsága 10/2 mm, vagyis 5 mm.

A vizsgálatok alapján bizonyított, hogy a minták különböző rétegeire megállapított csillapításadatok összeadódnak. A kenyérszalonna, a kolozsvári szalonna és a téliszalámi minták esetében (**44-46. ábra**) látható, hogy a külön mért 1. réteg és 2. réteg, illetve 3. réteg csillapításának az összege közel azonos az együttesen vizsgált 1. és 2., ill. 3. réteg csillapításával.

Az egyes rétegek vastagságának meghatározásához a (9.) összefüggés alapján bevezettem a fajlagos csillapítást ( $c$ ) [dB/mm], ami 1 mm vastagságú réteg csillapítása.

$$c = \frac{A}{d} \quad (19.)$$

-  $A$ : csillapítás, dB

-  $d$ : rétegvastagság, mm

A csillapítás additivitását a fajlagos csillapítás felhasználásával a következő összefüggés mutatja:

$$c \cdot d = c_1 \cdot d_1 + c_2 \cdot d_2 \quad (20.)$$

-  $d$  a teljes minta vastagsága ( $d = d_1 + d_2$ ) [mm],

-  $c$  a teljes minta átlagos fajlagos csillapítása ( $cd = A_{\text{teljes}}$  — az egész minta csillapítása) [dB/mm],

-  $d_1$  az egyik réteg vastagsága [mm],

-  $d_2$  a másik réteg vastagsága [mm],

-  $c_1$  az egyik réteg ( $d_1$ ) fajlagos csillapítása [dB/mm],

-  $c_2$  a másik réteg ( $d_2$ ) fajlagos csillapítása [dB/mm].

Egész minta (tábla szalonna, rúd téliszalámi) mérésekor meghatározzuk a teljes minta csillapítását, ill. annak vastagságát. Az eltérő szöveti összetételű rétegek fajlagos csillapításának ismeretében kiszámíthatjuk az egyes rétegek vastagságát a (19.) összefüggés átrendezésével:

$$d_1 = d \cdot \frac{c - c_2}{c_1 - c_2} \quad (21.)$$

-  $d_1$  a meghatározni kívánt réteg vastagsága,

-  $d$  a teljes minta vastagsága,

-  $c$  a teljes minta átlagos fajlagos csillapítása

-  $c_1$  az egyik meghatározni kívánt réteg fajlagos csillapítása,

-  $c_2$  a másik meghatározni kívánt réteg fajlagos csillapítása.

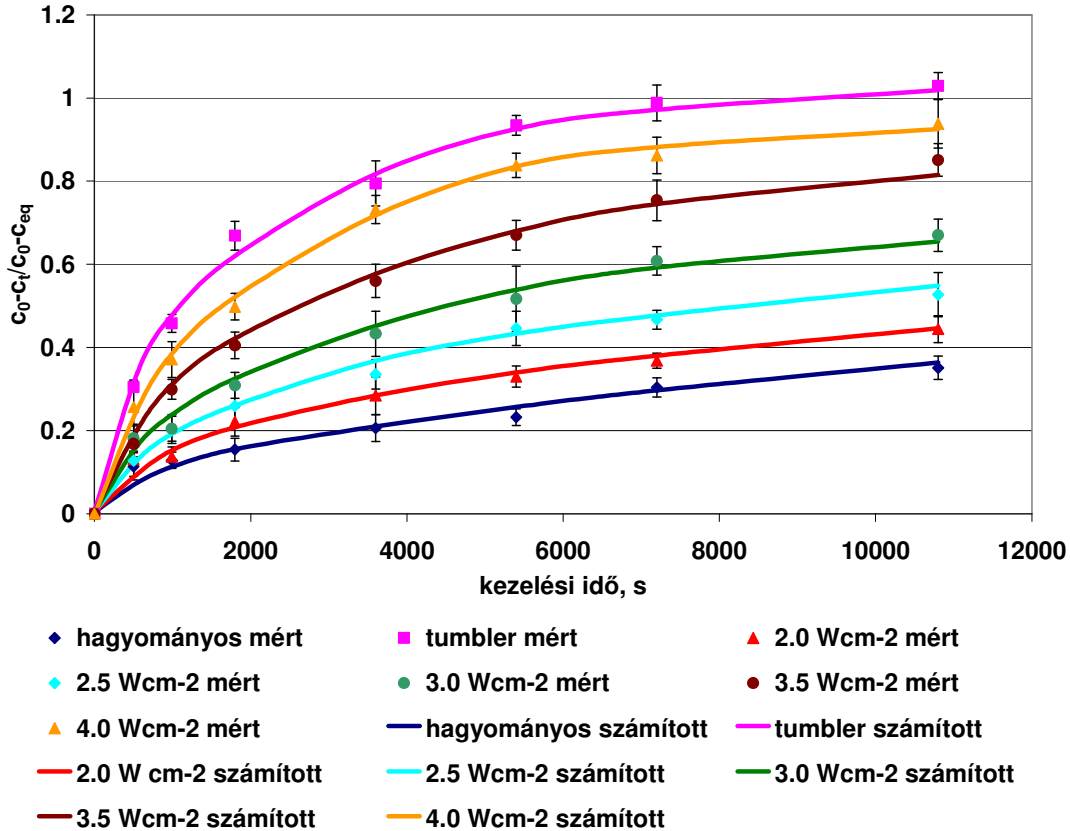
Megállapíthatjuk a csillapítás additivitását. Ezt felhasználva két eltérő szövetszerkezetű és összetételű réteg vastagsága nagy biztonsággal becsülhető, aminek következtében meghatározható a vizsgált minta (téliszalámi, kolozsvári szalonna) minősége (kéreg jelenléte), ill. hús-zsír aránya.

## 5.2 Aktív ultrahang alkalmazásának eredményei és értékelése

### 5.2.1 Sótartalom alakulása

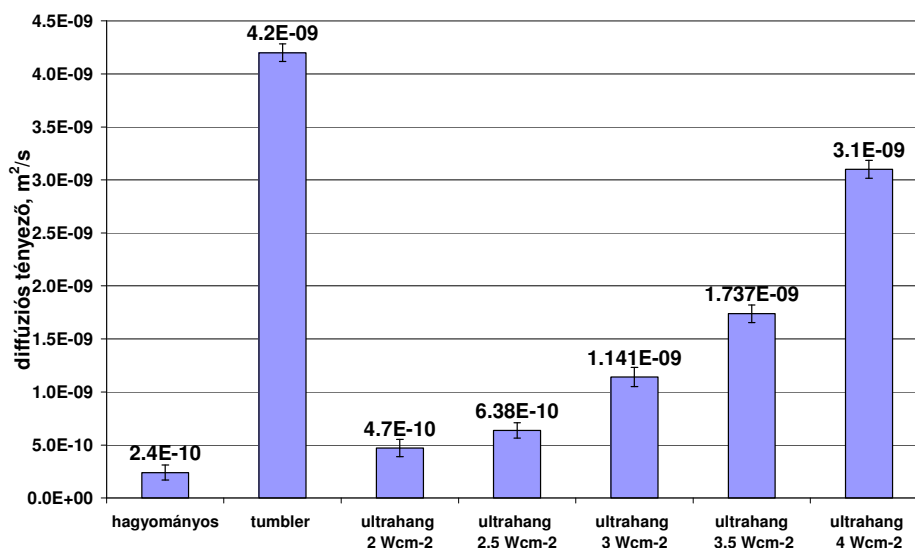
A sótartalom fejezetben a diffúziós tényezőértékeit, valamint a karajmintán belüli sóeloszlás eredményeit részleteztem.

#### Diffúziós tényező értékei



47. ábra: A mért és a számított sókoncentráció-külöbségi hányados alakulása pácolási idő függvényében különböző pácolási eljárásoknál

A 47. ábrán megfigyelhető, hogy a mért koncentrációk és a Fick II. törvénye által számolt értékek jól illeszkednek, vagyis az alkalmazott modell által számított értékek jól követik a mért értékeket. Ez a mérések pontosságát és a modell megfelelőségét igazolja, illetve a diffúziós tényező pontos és reális számítását teszi lehetővé.



**48. ábra:** A diffúziós tényező alakulása a különböző pácolási módoknál

A grafikonon (48. ábra) megfigyelhető, hogy a só diffúzióját tekintve a tumblerezés a leghatékonyabb, vagyis a só behatolás sebessége a tumbler esetében a leggyorsabb, azonban a 4 Wcm<sup>-2</sup> intenzitású ultrahanggal történő pácolás diffúziójának sebessége nagyságrendileg azonos a tumblerével. Lényeges különbség a két intenzív mechanikai eljárást alkalmazó módszer - a nagyobb intenzitású ultrahangos kezelés és a tumblerezés, valamint a hagyományos pácolás sóbehatolásának sebessége között tapasztalható (6. táblázat).

**6. táblázat:** A diffúziós tényező értéke a különböző pácolási kezeléseknél

Kezelések	Diffúziós tényező, m <sup>2</sup> /s
Hagyományos pácolás	2,4 x 10 <sup>-10</sup>
Tumblerezés	4,2 x 10 <sup>-9</sup>
2 Wcm <sup>-2</sup> intenzitású ultrahagnál	4,7 x 10 <sup>-10</sup>
2,5 Wcm <sup>-2</sup> intenzitású ultrahagnál	6,38 x 10 <sup>-10</sup>
3 Wcm <sup>-2</sup> intenzitású ultrahagnál	1,14 x 10 <sup>-9</sup>
3,5 Wcm <sup>-2</sup> intenzitású ultrahagnál	1,73 x 10 <sup>-9</sup>
4 Wcm <sup>-2</sup> intenzitású ultrahagnál	3,1 x 10 <sup>-9</sup>

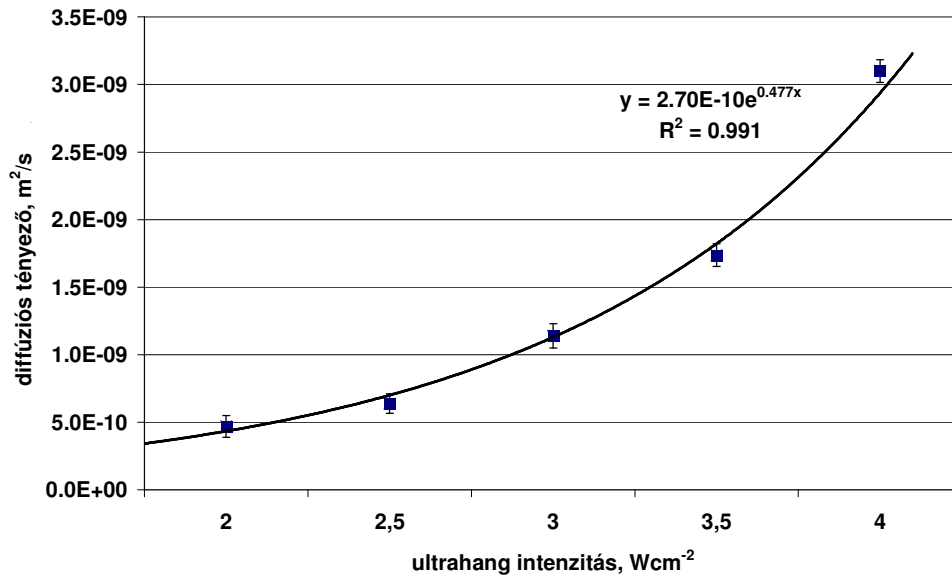
A diffúziós tényező a sertéskarajban hagyományos pácolás esetében Fox szerint (1980) 180 mg/l koncentrációnál 5°C-on 2,2 x 10<sup>-10</sup> m<sup>2</sup>/s. Wood (1966) azonos értéket kapott 12°C-nál. Gros et al. (1984) 2°C-on 2,19 x 10<sup>-10</sup> m<sup>2</sup>/s diffúziós tényezőt határozott meg.

Az eredmények alapján megállapítható, hogy az aktív ultrahang alkalmazása a vizsgált intenzitás-tartományban gyorsítja a diffúziót, és az alkalmazott tartományban az intenzitás növelésével a diffúzió sebessége (99%-os determinációs együtthatóval jellemezve) exponenciálisan nő a



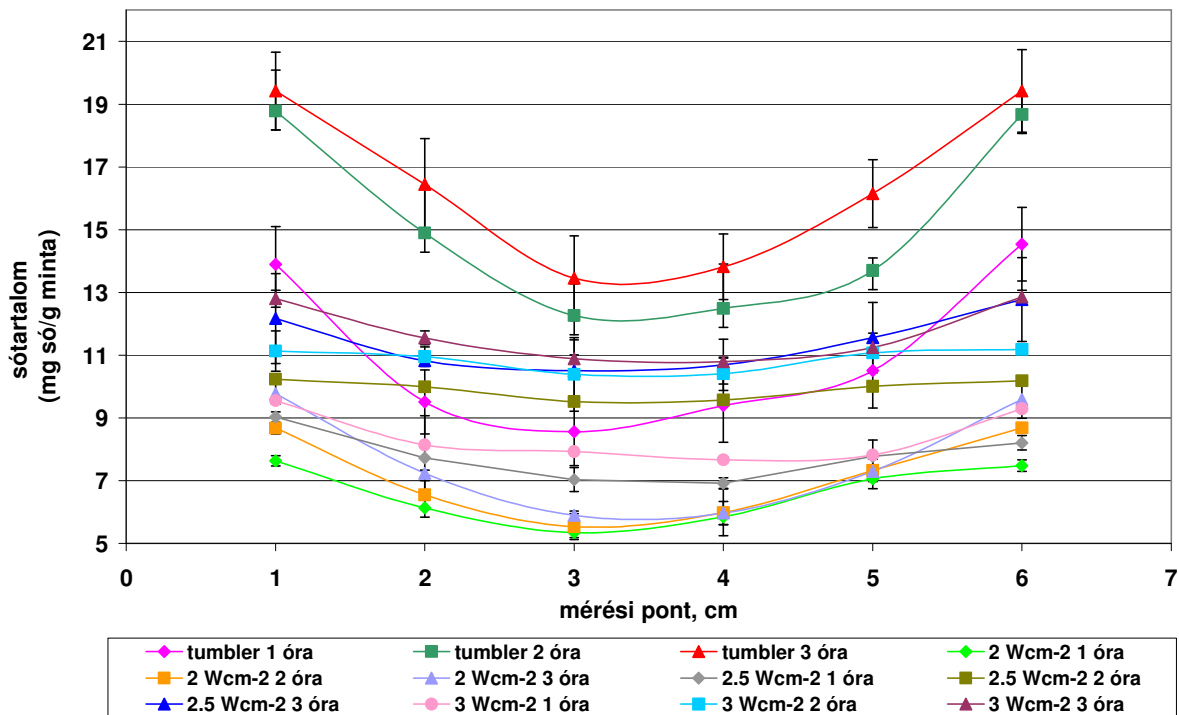
$d = 2,7 \cdot 10^{-10} \cdot e^{0,477 \cdot I}$  alakú összefüggés szerint (49. ábra), ahol  $d$ : a diffúziós tényező, [ $m^2/s$ ];  $I$ : az ultrahang intenzitása, [ $Wcm^{-2}$ ].

A fenti összefüggés szerint  $1 Wcm^{-2}$  intenzitásnöveléssel 61,1%-os diffúziós tényező növekedést érhetünk el. Hasonlóan az intenzitás növelésével diffúzió növekedést állapított meg Sajas & Gorbатов, 1978-ban, valamint Lenart & Ausländer, 1980-ban.



49. ábra: Az ultrahang-intenzitás hatása a diffúziós tényezőre

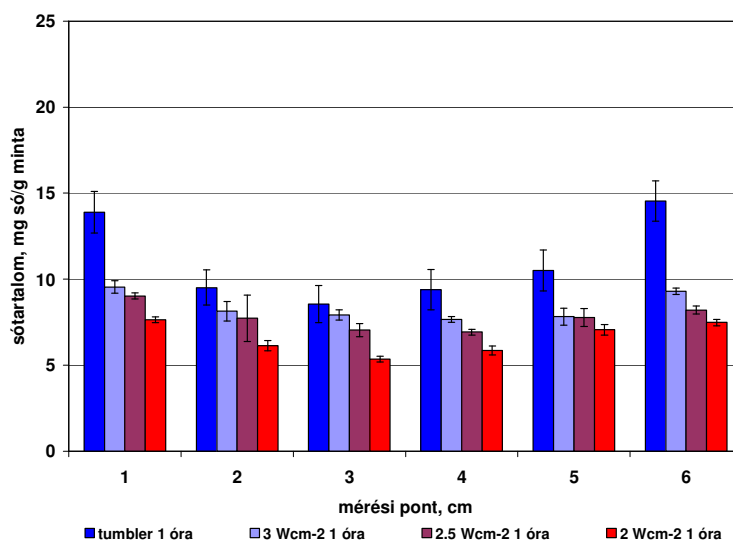
### Sóeloszlás alakulása



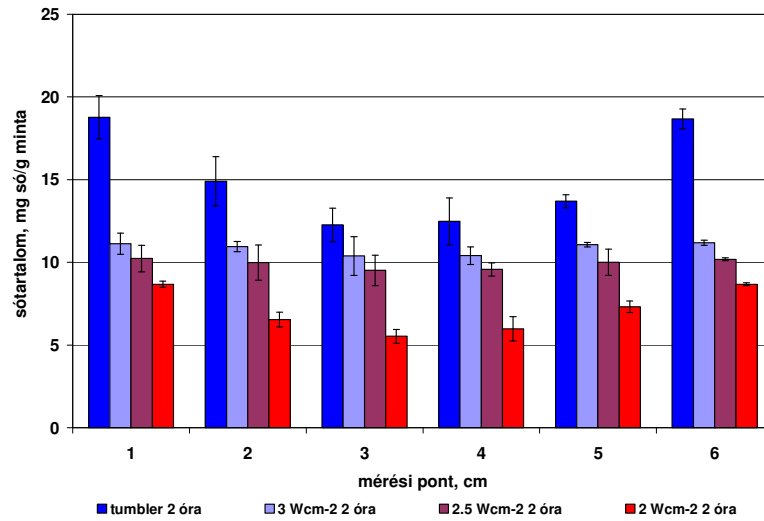
50. ábra: A mintán belüli sóeloszlás alakulása a különböző kezeléseknél

**7. táblázat:** A sókoncentráció alakulása a húsok külső és középső rétegeiben különböző pácolási eljárásoknál

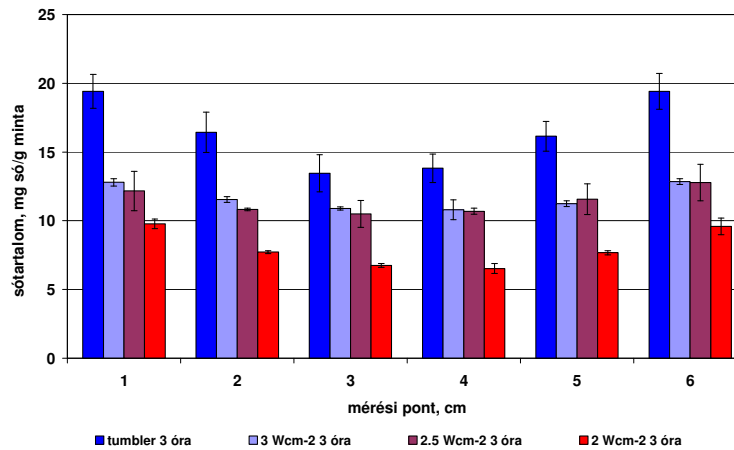
Kezelések	Sókoncentráció a minta szélső rétegében, mg só/g minta	Sókoncentráció a minta középső rétegében, mg só/g minta
Tumbler 3 óra	19,42	13,46
Tumbler 2 óra	18,78	12,26
Tumbler 1 óra	13,9	8,56
3 Wcm <sup>-2</sup> intenzitású ultrahang 3 óra	12,8	10,89
3 Wcm <sup>-2</sup> intenzitású ultrahang 2 óra	11,15	10,39
3 Wcm <sup>-2</sup> intenzitású ultrahang 1 óra	9,55	7,93
2,5 Wcm <sup>-2</sup> intenzitású ultrahang 3 óra	12,17	10,51
2,5 Wcm <sup>-2</sup> intenzitású ultrahang 2 óra	10,24	9,52
2,5 Wcm <sup>-2</sup> intenzitású ultrahang 1 óra	9,03	7,04
2 Wcm <sup>-2</sup> intenzitású ultrahang 3 óra	9,78	5,9
2 Wcm <sup>-2</sup> intenzitású ultrahang 2 óra	8,68	5,54
2 Wcm <sup>-2</sup> intenzitású ultrahang 1 óra	7,64	5,35



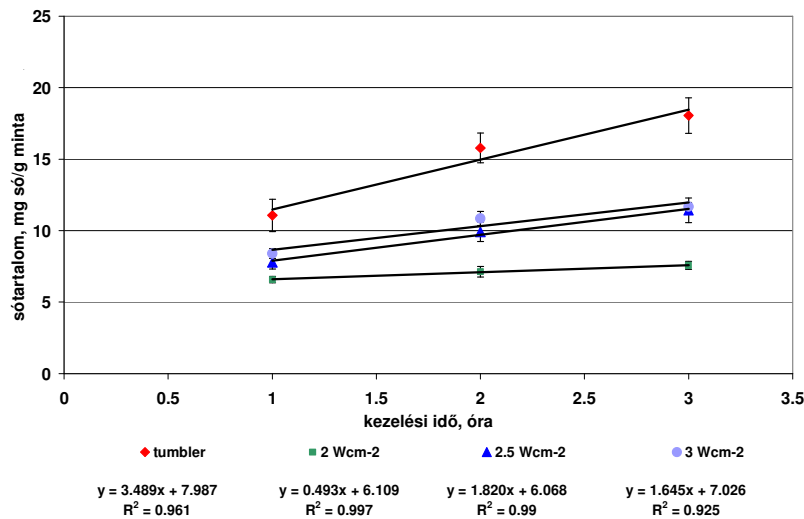
**51. ábra:** A mintán belüli sóeloszlás alakulása a különböző típusú 1 órás kezeléseknél



52. ábra: A mintán belüli sóeloszlás alakulása a különböző típusú 2 órás kezeléseknél



53. ábra: A mintán belüli sóeloszlás alakulása a különböző típusú 3 órás kezeléseknél



54. ábra: A mintán belüli átlagos sókoncentráció alakulása a kezelési idő függvényében a tumblers és a különböző intenzitású ultrahangos pácolásnál

A karajmintán belüli sóeloszlást tekintve megállapítható, hogy a minta geometriai középpontja felé haladva a sókoncentráció csökken, ill. a magtól kifelé haladva nő (**7. táblázat**). A kezelési idő növelésével a két szélsőérték közötti eltérés csökken, bizonyos idő - tapasztalati becsléseim szerint néhány nap - múlva kiegyenlítődik. A **51-54. ábrákon** megfigyelhető, hogy a tumbler által bevitt só mennyisége a legnagyobb mindhárom kezelés esetében. Tehát a diffúzió tekintetében a tumbler a leghatásosabb. Azonban a minták szélső rétegeiben és a magjában mért sókoncentráció mértéke között jelentős eltérés, mintegy 60% -os differencia található. Vagyis a 400 g-os mintán belül a sóeloszlás nem egyenletes, ezért pihentetés szükséges a sókoncentráció kiegyenlítődéséhez. A mai technológiában legalább 2 nap.

Az ultrahangnál a  $2 \text{ Wcm}^{-2}$  intenzitás esetében az eloszlás, a tumblerhez hasonlóan, egyenlőtlen, és a sókoncentráció alacsony. Vagyis ez az intenzitásérték nem növeli jelentősen a sejtmembránok átteresztő képességét. Azonban a  $2,5$  és a  $3,0 \text{ Wcm}^{-2}$  intenzitású ultrahang feltehetően erőteljes hatást gyakorol a sejtfaalak permeabilitására.

Összességében a rétegenkénti sókoncentráció értékeinek vizsgálata alapján megállapíthatjuk, hogy az ultrahanggal történő pácolásnál a  $2,5$  és a  $3,0 \text{ Wcm}^{-2}$  intenzitással közel egyenletes sóeloszlást érhetünk el. A tumblerezett húsok esetében a különbség mintegy 15 % a középső és a szélső rétegek sótartalma között. Az intenzitás növelésével a bevitt só mennyisége nő, amit Cárcel et al. (2007) kutatási eredményei is alátámasztanak. Ez érzékszervi és egészségügyi szempontból is meghatározó, mivel manapság a pácolás szerepe nem elsősorban az eltarthatóság növelésében nyilvánul meg, hanem az érzékszervi és élvezeti érték növelésében. Ugyanis a fogyasztók egyre kevesebb NaCl-t fogyasztanak. A sókülönbértékük csökkent, nem kedvelik a sós ízű húskészítményeket, ill. tudatosan is csökkentik a sóbevittelt. Tehát a pácolás során nem elsődleges cél a magas sótartalom a termékben belül. Technológiai, kihozatali, valamint élvezeti szempontból elengedhetetlen feltétel, hogy a bevitt só eloszlása, elosztatása egyenletes legyen.

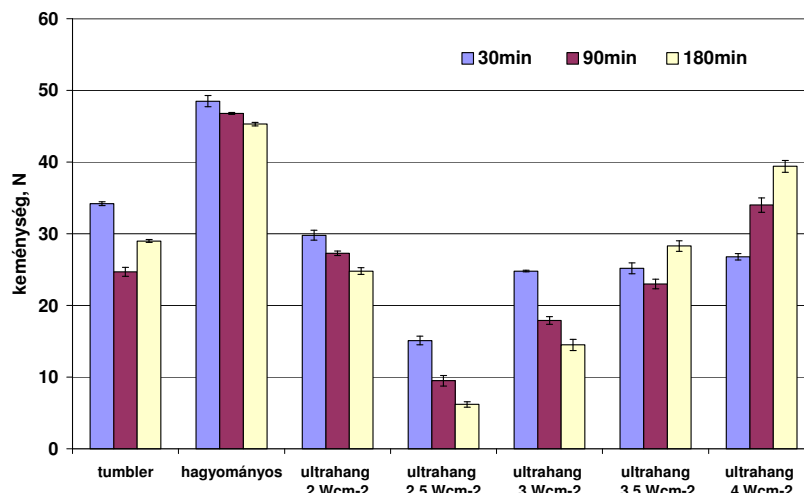
A tumbleres és a hagyományos pácolásnál hosszabb idejű pácolás és magasabb sókoncentráció, vagyis nagyobb sókoncentráció különbség szükséges a megfelelő szintű, egyenletes sókoncentráció eléréséhez.

Az ultrahangos technológiának köszönhetően egyenletes sóeloszlással gyorsabban elérhető a pácérett állapot, amihez kisebb sókoncentráció szükséges. Ezáltal akár alacsonyabb szintű sóbevittelt biztosíthatunk a pácolt termékekbe és így a fogyasztók szervezetébe.

### **5.2.2 Állományvizsgálat eredményei**

Ebben a fejezetben a pácolt, nyers hús állományváltozását, a karajminta keresztmetszetében az állományeloszlást, a sonkamassza és a sonka késztermék állományváltozását mutatom be az egyes kezelések és kezelési paraméterek esetében.

## A kezelések hatása a hús állományára



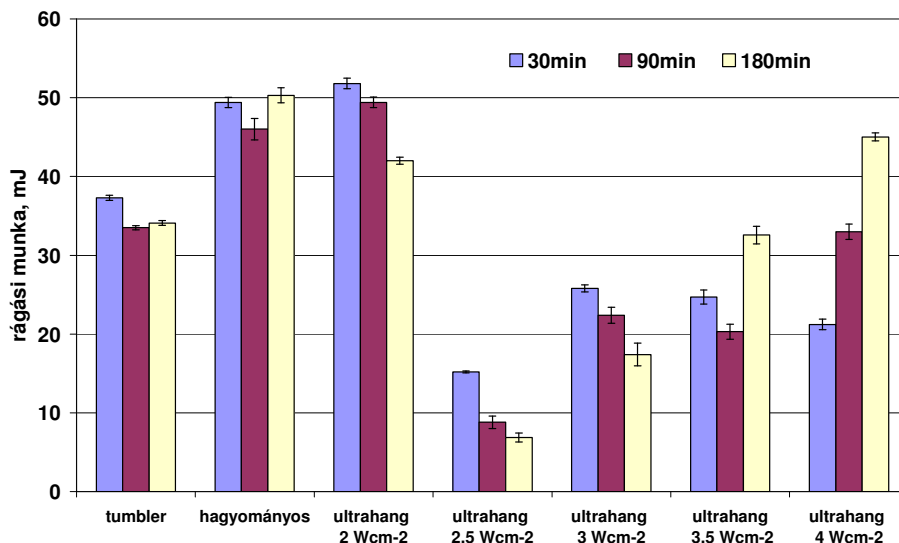
**55. ábra:** Az egyes kezelési módok és a kezelési idők hatása a húsminta keménységére az első összenyomáskor

Az **55. ábra** alapján megállapítható, hogy a  $2,5 \text{ Wcm}^{-2}$  intenzitású ultrahanggal pácolt minták keménysége jelentősen csökken. Ezek a húsok puhábbak a hagyományosan pácolt, a tumblerezett és a nagyobb intenzitású ultrahanggal pácolt húsokhoz képest. Ennek magyarázata, hogy a tumbler mechanikai ütései a felületen és a külső rétegben a fehérjéket részlegesen denaturálják, ami keményedéshez vezet. Ezt támasztják alá Xargayo & Lagares (1992) eredményei is. A nagyobb intenzitás esetében a kavitáció okozta nagy mechanikai lökeshullámok és a képződött hő ugyancsak denaturálják a húsminta fehérjéit. Ezek a fehérjék további duzzadásra nem, vagy csak kismértékben képesek, merevebbek, így a vízfelvételük gyengébb, az állományuk kedvezőtlen.

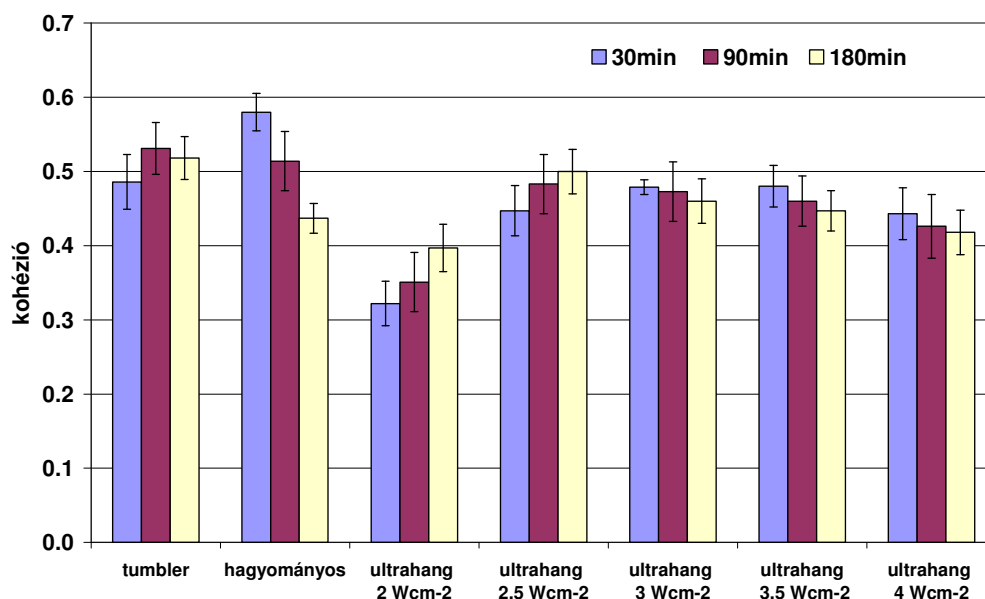
A kezelési időket vizsgálva megfigyelhető, hogy a hagyományos és az alacsony intenzitású ( $2-3 \text{ Wcm}^{-2}$ ) ultrahangos pácolásnál a pácolási idő növelésével a minták állománya puhul. A magasabb intenzitásértékeknél és a tumblerozásnál a 3 órás kezelés hatására a húsok kismértékben visszakeményedtek. Feltételezhetően ezt szintén a pihentetés nélküli mechanikai behatások során fellépő denaturáció okozza.

A vizsgált minták kisméretűek voltak. A denaturáció elsősorban a külső rétegekben jelentkezik. Ezért valószínű, hogy nagyobb darabok esetén ez a hatás kisebb mértékű mind a tumbler, mind pedig a nagyobb intenzitású ultrahang esetében.

Hasonló következtetések vonhatók le a húsminták összenyomásához szükséges munkánál is (**56. ábrák**). Azonban fontos kihangsúlyozni, hogy a  $2,5$  és a  $3 \text{ Wcm}^{-2}$  intenzitású ultrahanggal kezelt minták állománya, rostozata sokkal lazább szerkezetet mutatott, amit a mérések során érzékszervileg is tapasztaltunk. Az említett kezelt húsok külső megjelenésükben a vágás-meleg, hullamerevség előtti állapotot mutatták.



**56. ábra:** Az egyes kezelési módok és a kezelési idők hatása a húsminta első összenyomásához szükséges munkára

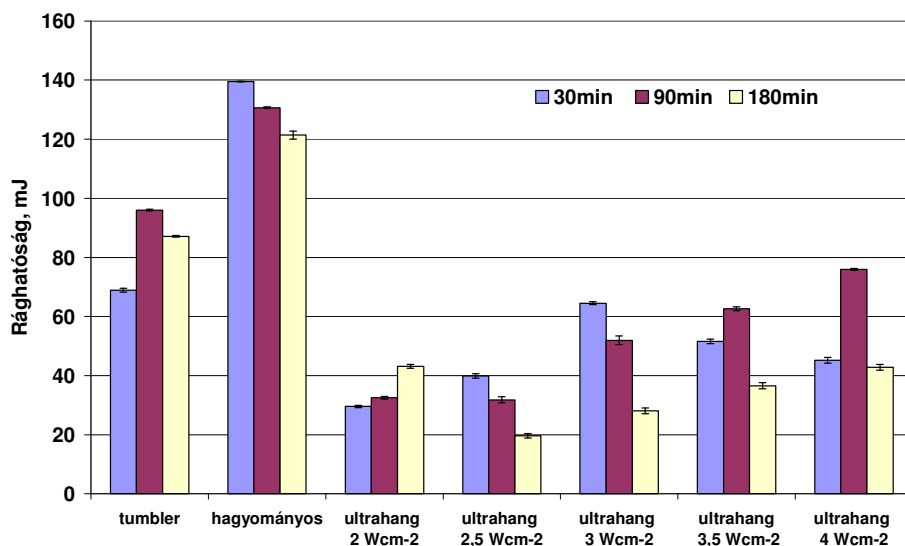


**57. ábra:** Az egyes kezelési módok és a kezelési idők hatása a húsminta izomrostjainak kohéziójára

A minták kohezívitasát tekintve érdekes megállapítást tehetünk (**57. ábra**). Annak ellenére, hogy a keménységnél a nagyobb intenzitás, a tumblerezés és a hagyományos pácolás többszörösen keményebb hússzerkezetet eredményezett, a 2,5 Wcm<sup>-2</sup> intenzitású ultrahanggal kezelt minták a tumblerrel és a hagyományos pácolással közel azonos kohezívitasát mutattak.

Tehát a 2,5 Wcm<sup>-2</sup> intenzitású ultrahanggal kezelt minták laza szerkezetű, puha állománya ellenére a húsmátrixon belüli összetartó erő viszonylag magas. Ezt jelzi, hogy az izomrostok közötti tér

megegyező, azonban az izomrostok nem szakadnak szét egymástól. Vagyis kisebb méretű húsok ultrahangos kezelésekor sem kell tartanunk a húsdarabok szétesésétől, a húsmozaik eltűnésétől.



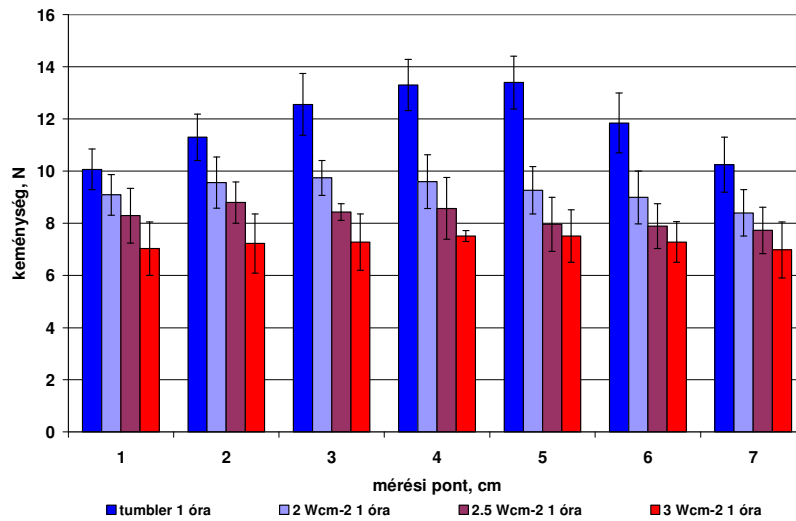
**58. ábra:** Az egyes kezelési módok és a kezelési idők hatása a húsminta rághatóságára

A rághatóságnál a nagy értéket képviselő minták számítanak rágósaknak, mert az összerágásukhoz nagyobb munkára (mJ) van szükség. Vagyis a kis rághatósági értékű húsok porhanyósak. Tehát az **58. ábra** alapján megállapítható, hogy a hagyományosan pácolt húsok rendkívül rágósak, azonban a pácolás folyamán a rághatóság kismértékben javul. A tumblerezett karajminták rágásához szükséges energia nagysága nő a kezelési idő növelésével. Az ultrahanggal kezelt húsok lényegesen kisebb energiabefektetéssel rághatók. Az optimum ismételtelen a 2,5 Wcm<sup>-2</sup> intenzitás, de hasonló értéket tapasztaltam a 2 és 3 Wcm<sup>-2</sup> esetében is. A 2 és a 3 Wcm<sup>-2</sup> -nál a kezelési idő növelésével javul a rághatóság, a 3,5 és a 4 Wcm<sup>-2</sup>-nál ingadozó hatás figyelhető meg.

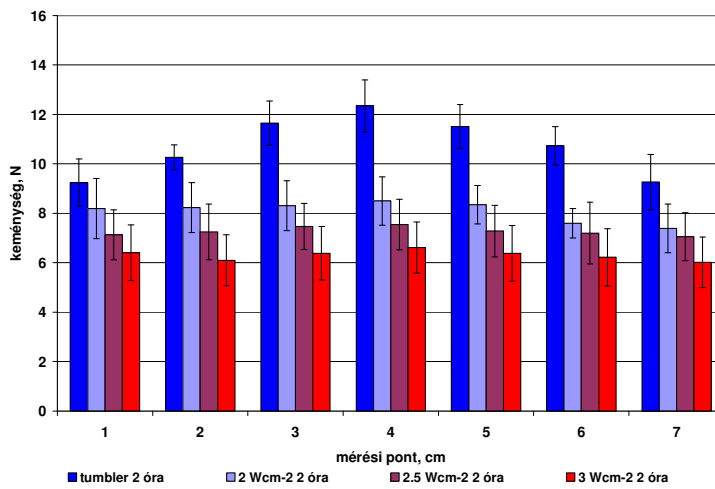
Tehát a húsok állományát tekintve az aktív ultrahang alkalmazásának fontos szerepe van a miofibrillumok fellazításában. A kialakult kavitáció megváltoztatja a miofibrillumok felületét és kapcsolódását (Jayasooriya, et al., 2004). Az alacsony intenzitás viszont nem lazítja meg a húsok rostjait megfelelő mértékben (Lyung, et al, 1997; Pohlman, et al., 1997b).

#### Állományeloszlás a karajminta keresztmetszetében

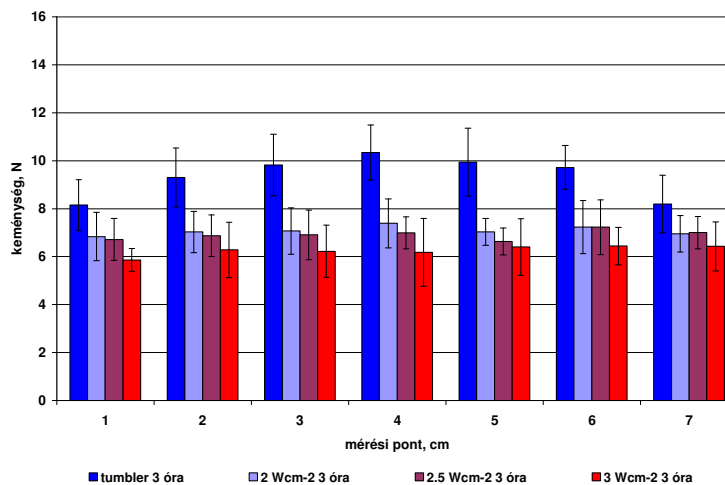
A pácolási gyártástechnológia tekintetében kiemelkedő szerepe van a laza és egyöntetű állománynak, mivel az egyenletesen, az egész hús teljes keresztmetszetében történő izomrost lazítás elsegíti a páclé egyenletes eloszlását a húsban.



59. ábra: Az állomány alakulása a különböző típusú 1 órás kezeléseknél



60. ábra: Az állomány alakulása a különböző típusú 2 órás kezeléseknél



61. ábra: Az állomány alakulása a különböző típusú 3 órás kezeléseknél



Az állományt tekintve jelentős különbségek tapasztalhatók az ultrahangos és a tumbleres pácolás között (59-61. ábra).

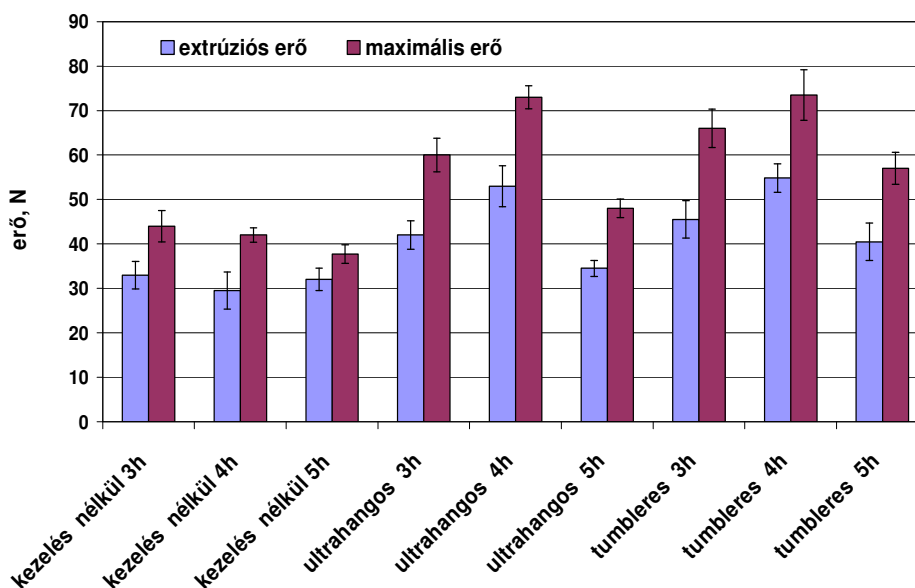
A tumblerezés esetében tapasztalható, hogy a forgatás mechanikai hatása főleg a felületen érvényesül. Ezt erősítik meg Tyszkiewicz (1995) kutatási eredményei is. A masszírozás szövetlazító hatása a nagyobb méretű húsok (300-400g) geometriai középpontjában csak kismértékben érezhető, az ütés ereje elnyelődik, lecsillapodik a húsban. Ennek következtében a pácléeloszlás sem egyenletes a tumblerezett húsnál (Shackelford, et al., 1989, Siegel, et al., 1978).

Az ultrahang hatásmechanizmusa nagymértékben eltér a tumblertől. A gerjesztett mechanikai hullámok, ill. a láncreakcióként végigvonuló, nagy energiát adó kavitáció képes behatolni a hús magközepébe, és lazítani azt. Ennek köszönhetően a húsok izomrostjai közötti kötések lazulnak, távolságuk nő, a hús porhanyósabbá válik. A teljes mintán belüli egységes laza hússzerkezet fokozottan növeli a páclé diffúzióját, egyenletes eloszlását a húsmintában.

Továbbá az egyes kezelések hatását vizsgálva megfigyelhető, hogy a vizsgált tartományban a pácolási idő növelésével a hús keménysége csökken, a kezelés módjától függően egységes állomány alakulhat ki. Az intenzitás növelésével a hús állománya tovább puhul, az izomrostjai közötti kötőerő csökken. A megállapítás megegyezik Jayasooriya és kutatótársai (2007) következtetéseivel is.

#### Sonkamassza állománya a kezelési idő meghatározására

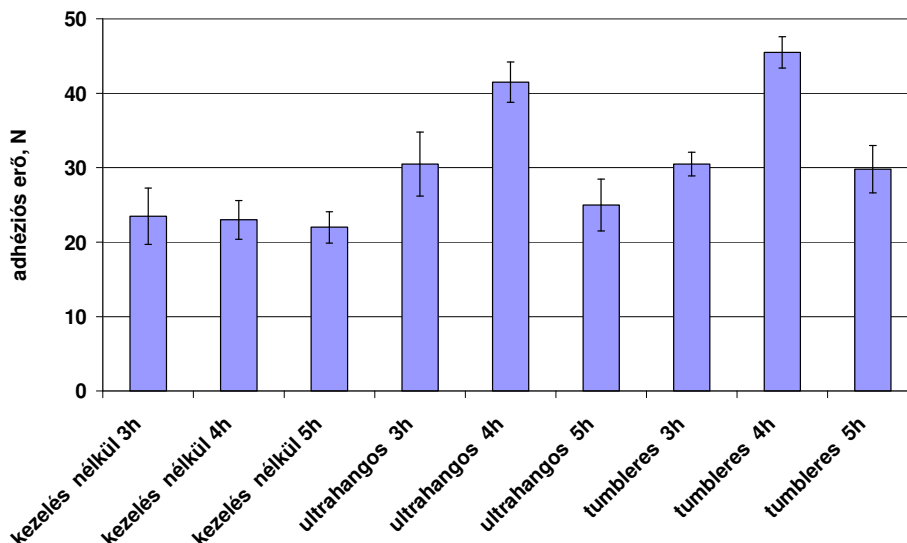
Az alábbi grafikonon a különböző kezelési idők hatása látható a massa keménységére, ami az extrúziós- és a maximális erő értékekkel jellemezhető.



62. ábra: A massa extrúziós- és a maximális erejének változása a kezelések hatására

A 62. ábrán megfigyelhető, hogy a kezelés nélküli minták maximális ereje, vagyis keménysége az állásidő előrehaladtával csökkent. Az ultrahangos és tumbleres kezeléseknél a minták

összenyomásához szükséges extrúziós erő és a maximális erő a 3 és 4 órás kezelésnél a kezelési idő növelésével nőtt, azonban az 5 órás kezelésnél erőteljesen csökkent. Számunkra technológiailag a jól összeálló, kemény massa előnyös. Ebben az esetben a keménység a sejtek duzzadását jelenti, mivel a sejtek feltárt fehérjéi a hozzáadott vizet megkötik, így duzzadt állapotuknak köszönhetően keménységük nő. Ez alapján megállapítható, hogy 4 óránál hosszabb ideig tartó kezelés nem indokolt, mert ezzel a kezeléssel érhető el a legstabilabb rendszer.



**63. ábra:** A massa tapadósságára jellemző maximális adhéziós erő változása a kezelések hatására

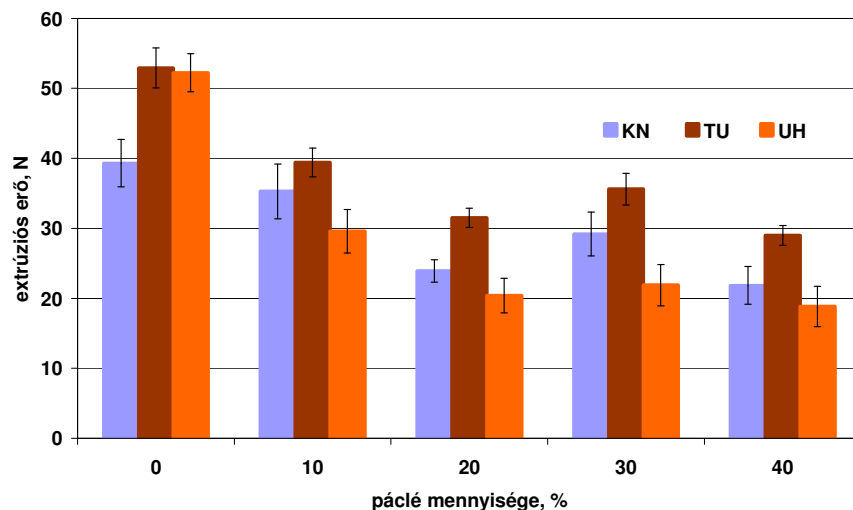
Az adhézió értéke alapján információt kaptunk a hőkezeletlen minta (massza) alkotóinak egymáshoz való kötéséről, vagyis hogy milyen mértékben összeálló a massa egésze (**63. ábra**). A grafikon értékei alapján megállapítható, hogy mind az ultrahang, mind a tumbler esetében a massa a 4 órás kezelés során vált a leginkább „összetartóvá”.

### Növelt páclébevitelű sonkamassa és sonkakészítmény állományjellemzői

Az állománymérés során vizsgáltam a massa és a hőkezelt sonka késztermék állományában bekövetkező változásokat a pácléarány növelésének hatására.

#### 1. Massa állományváltozása a páclénövelés hatására

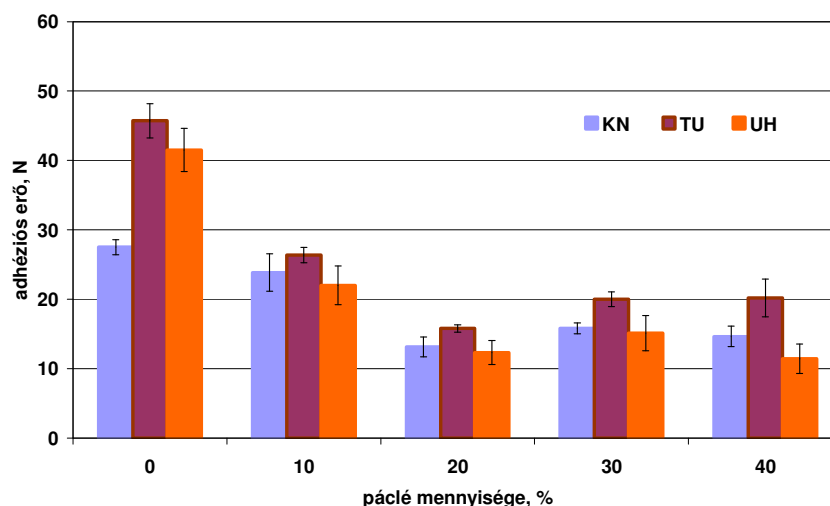
Az massa állományvizsgálatát, az előzőekben a kezelési idő meghatározásához hasonlóan, az extrúziós erő és az adhéziós erő változásával határoztam meg. A mérés eszköze a *Back-extrúziós cella* volt.



KN- hagyományos pácolás, kezelés nélkül; TU- tumbler; UH- ultrahangos kezelés  
**64. ábra:** A mért extrúziós erők változása a hozzáadott páclé növekedésével

A **64. ábrán** megfigyelhető, hogy a tumblerrel kezelt minták esetén kaptuk a legmagasabb extrúziós értékeket. Ennek oka, hogy a tumbler a forgatás során töri, aprítja a húst, feltárja a sejtet. Ezáltal a feltárt fehérjében dús sejtnedv a hozzáadott adalékanyagokkal és vízzel viszkózus gélstruktúrát alkot (Asghar, et al., 1985; Whiting, 1988). Az ultrahangos és a tumbleres kezelések hatása a kezeletlenhez képest jelentős, a masszában az egyes húsdarabok és az exszudátum erős kötést alkot. Az eredeti, a hús tömegére számított 90 %-os pácléadalék-mennyiségnél a tumbler és az ultrahang között nincs szignifikáns különbség. A pácléadalék mennyiségének növelésével azonban a tumblerezett minták gélstruktúrája erősebb, mint az ultrahanggal kezelt vagy a hagyományos kezelés nélküli masszáké.

A kezdeti pácléadalék mennyiségének 10% -os növelésén túl az extrúziós értékek függetlenné váltak a bevitt pácléadalék mennyiségétől. Megfigyelhető, hogy mind a három kezelésnél a 0-10 % plusz, vagyis a hús tömegére számított 90-100% hozzáadott páclé esetében csökken az extrúziós erő, vagyis csökken a massa összetartó ereje. További páclé növelésnél a rendszer érzéketlen az extrúziós erőt illetően. A legkiegyenlítettébb értékeket az ultrahangos kezelésnél tapasztalhatjuk. Az első 0-10% közötti szakasz meredeksége jellemző az adott kezelésre, ami a tumbler és az ultrahang esetében nagyságrendileg azonos. Vagyis az extrúziós erőt tekintve az ultrahangos kezelés és a tumblerezés hatása között nincs különbség, azonban a kezelés nélkülitől jelentősen eltérnek.



KN- hagyományos pácolás, kezelés nélkül; TU- tumbler; UH- ultrahangos kezelés  
**65. ábra:** Az adhéziós erő változása a hozzáadott páclé növelése során

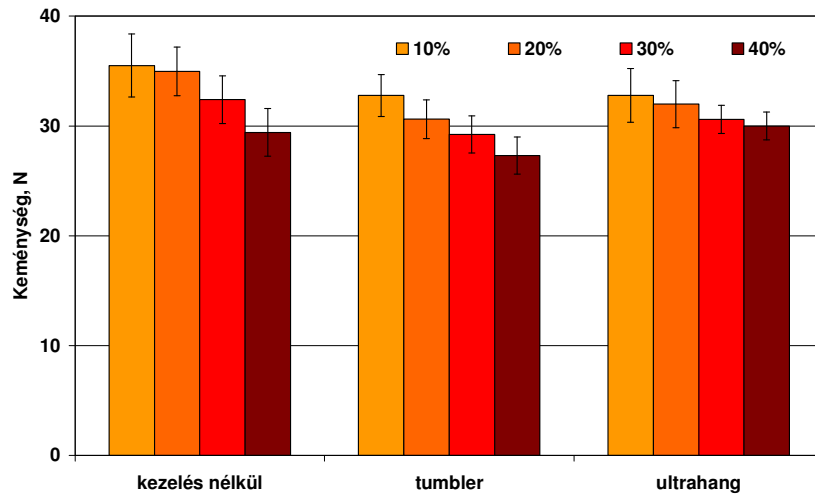
A tumblerrel kezelt minták esetén az adhéziós erő nagyobb a többi kezelésekhöz képest. Azonban ez a különbség nem szignifikáns. A tumbler hatása a már említett mechanikai ütés sejtfeltáró hatásának köszönhető (65. ábra.). A feltárt sejtfalból kifolyó fehérje, gélesebb állományt képez, ami a nagyobb szeletösszetartást eredményezi, ugyanakkor a mozaikosság eltűnik. Az ultrahanggal kezelt mintáknál ugyan kisebb az adhéziós erő, viszont a felület mozaikos képet mutat.

Mindhárom tényezőnél (extrúzió, szilárdság, adhézió) az első 0-20 %-os szakaszban látható a különbség a kezelés nélküli és a kezelt (ultrahanggal, tumblerrel) minták értékei között. A meredekségek a kezelt minták esetén közel azonosak, míg a kezeletlen mintánál sokkal alacsonyabb. Megállapítható, hogy az ultrahang alkalmazásával a tumblerrel azonos állományjellemezőkkel rendelkező massa készíthető. Azonban a termék jellegét meghatározó mozaikosság az ultrahangos kezeléskor megmarad.

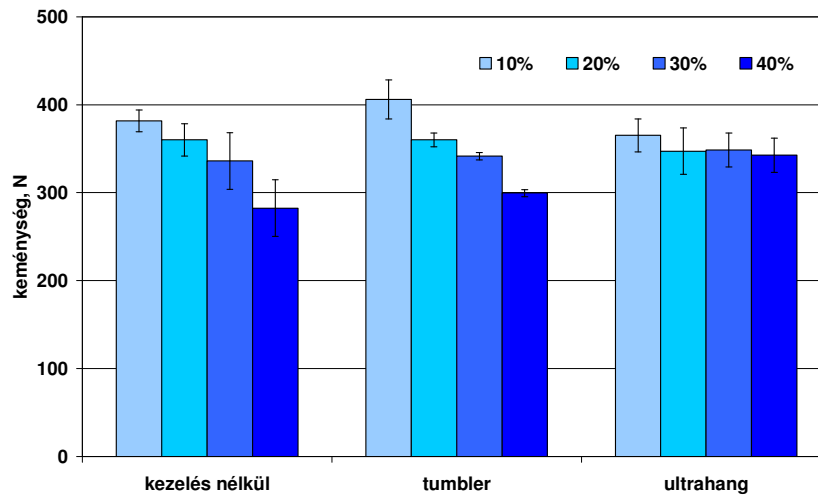
## 2. Sonka késztermék állományváltozása a páclénövelés hatására

A kísérletek során, mint ahogy azt már az anyag és módszer fejezetben említettem, többféle állománymérő cellát alkalmaztam a kész sonkák állománybeli alakulásának elemzésére a páclé arányának növelése során. Az alkalmazott cellák a Warner-Bratzler, a Kramer és a TPA módszer voltak.

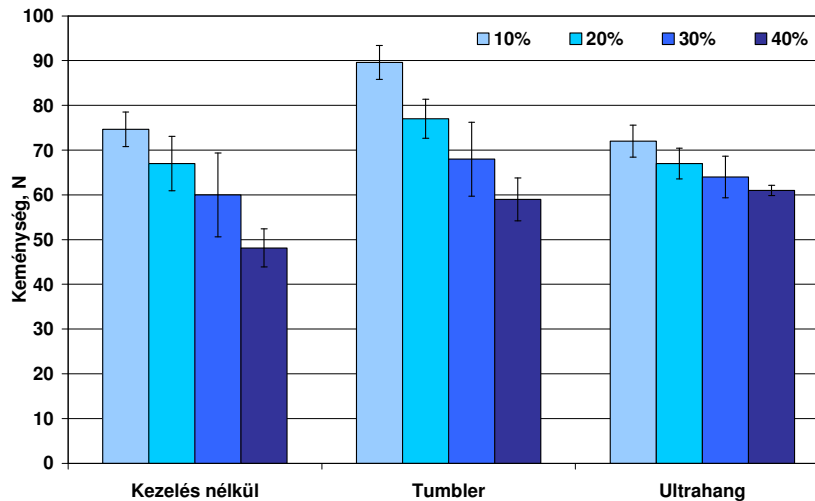
Az egyik jellemző, a **keményesség** változásának meghatározása, mely az egyes mérési módszerekkel az alábbiak szerint alakult.



66. ábra: A különböző kezelésű sonkák keménysége Warner-Bratzler cellával mérték alapján



67. ábra: A keménység változása a kezeléstípusok függvényében Kramer cellával mérték alapján

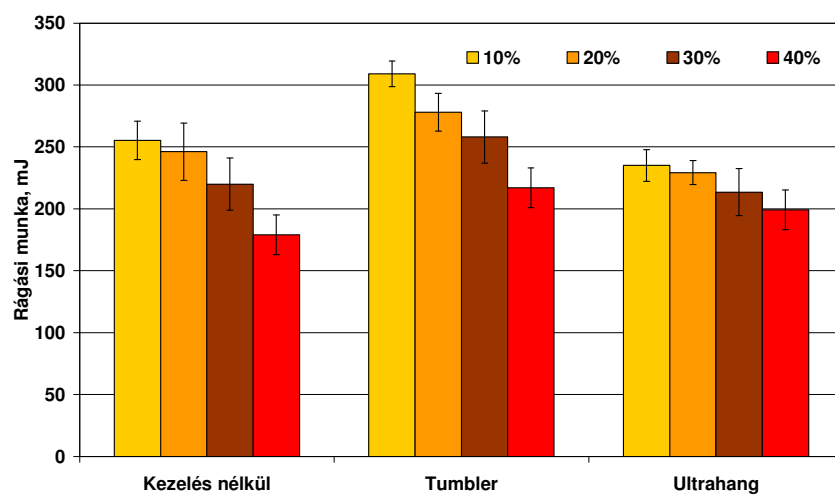


68. ábra: A keménység alakulása egyes kezeléstípusoknál TPA módszer alkalmazásával az első összenyomáskor

A Warner-Bratzler, a Kramer cella és a TPA módszer eredményei alapján (66-68. ábra) megállapítható, hogy a sonkák keménysége a pácléarány növelésével hasonló módon változik az egyes kezelések esetében (hagyományos pácolás (természetes diffúzió) = kezeletlen, tumbler és ultrahang). A hozzáadott páclé mennyiségére azonban nem egyformán reagálnak a minták keménység értékei. A kezelés nélküli mintáknál a magasabb hozzáadott páclé/hús arány (30-40%) esetében kisebb keménység tapasztalható Pietrasik & Shand, (2003) eredményei szerint is. A tumblerrel kezelt minták a legkeményebbek, mert a szemcseméret kisebb lett (a tumbler mechanikailag aprítja a hússzemcséket), így a fajlagos felület és a feltárt fehérje mennyisége nőtt. A mozaikosság csökkent, a massa homogénné vált.

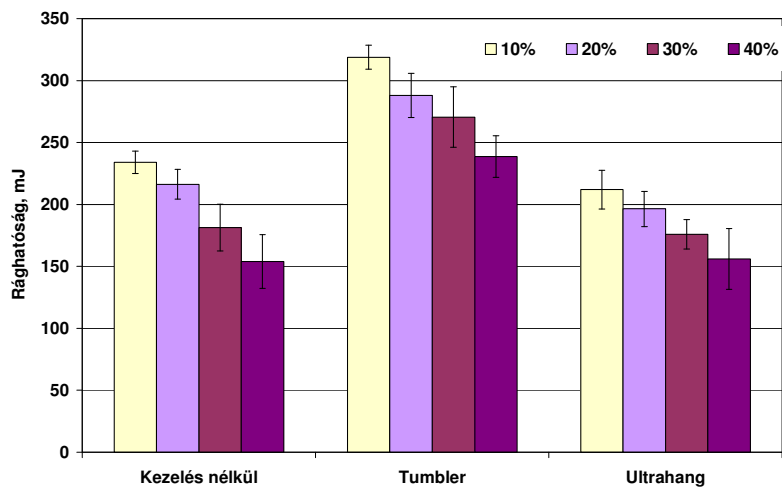
Az ultrahanggal kezelt minták puhábbak, keménységük kisebb, mint a tumblerezett húsoké. A keménységértékük azonban egyenletesebb, kisebb mértékben érzékeny a páclé/hús arányának változására, az ultrahanghullámok pozitív hatását mutatja tehát, a tartományon belüli egyenletesség, míg a kezeletlen mintáknál ez szélesebb tartományban mozog.

A másik két állományjellemző, a *rágási munka és a rághatóság*, változásának mérése, mely az alábbiak szerint változott a pácléarány növelése által.



**69. ábra:** A rágási munka változása a kezeléstípus függvényében az első összenyomáskor

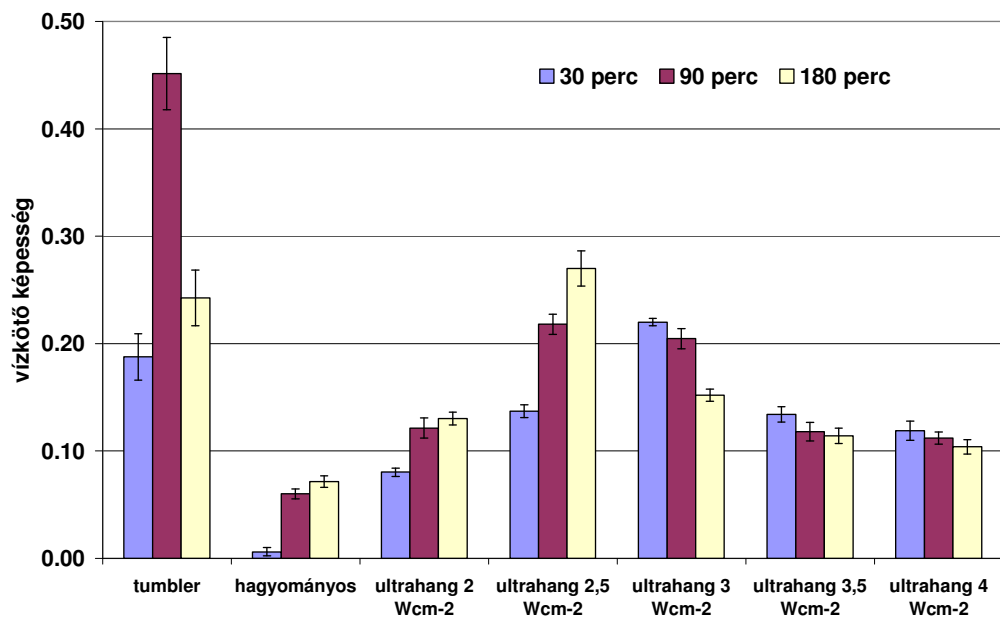
Az összerágáshoz szükséges munka az ultrahanggal kezelt minták esetén a legkisebb, tehát ezeket a mintákat tudjuk legkönnyebben összerágni. A páclé növelés során a legkisebb eltérés az ultrahanggal kezelt minták esetében adódik (69. ábra). Vélhetőleg az ultrahanggal kezelt minták esetében az ultrahang befolyásolja a szabad és a kötött víz arányát. A szarkoplazmatikus fehérjékre, az albuminra és globulinra, mint izomfehérjék szerkezetére hat.



**70. ábra:** A rághatóság alakulása a kezeléstípusok függvényében

A **70. ábrán** a rághatósági értékek alakulását láthatjuk. Az ultrahanggal kezelt minták esetén alacsonyabb ez az érték, könnyebben rágható a termék, az összerágáshoz szükséges munka kisebb. A páclé növelés során a legkisebb eltérés az ultrahanggal kezelt minták esetében adódik. Vélhetőleg az ultrahanggal kezelt minták esetében az ultrahang befolyásolja a szabad és a kötött víz arányát, a szarkoplazmatikus fehérjékre, az albuminra és globulinra, mint izomfehérjék szerkezetére hat.

### 5.2.3 Vízkötő képesség



**71. ábra:** Az egyes kezelések és a kezelési idők hatása a vízkötő képességre

A húsok vízkötő képességét vizsgálva megfigyelhető (**71. ábra**), hogy a tumblerezés által érhető el a legnagyobb mértékű vízfelvétel. Azonban észlelhető a túlzott kezelés hatása, mert a 3 órás tumbleres kezelés már kevesebb mennyiségű víz felvételét okozza, mint a 2,5 Wcm<sup>-2</sup> intenzitású ultrahang.

A kezelések, a hagyományos pácolás folyamatossága és az ultrahang irodalom szerinti folytonos alkalmazása miatt, az összehasonlíthatóság érdekében, szünet nélkül történtek. Ezért egyrészt a fehérjedenaturáció, másrészt a pihentetés hiányából származó kisebb mértékű duzzadás ment végbe. A tumbleres kezelésnél a 90 perc volt eredményes.

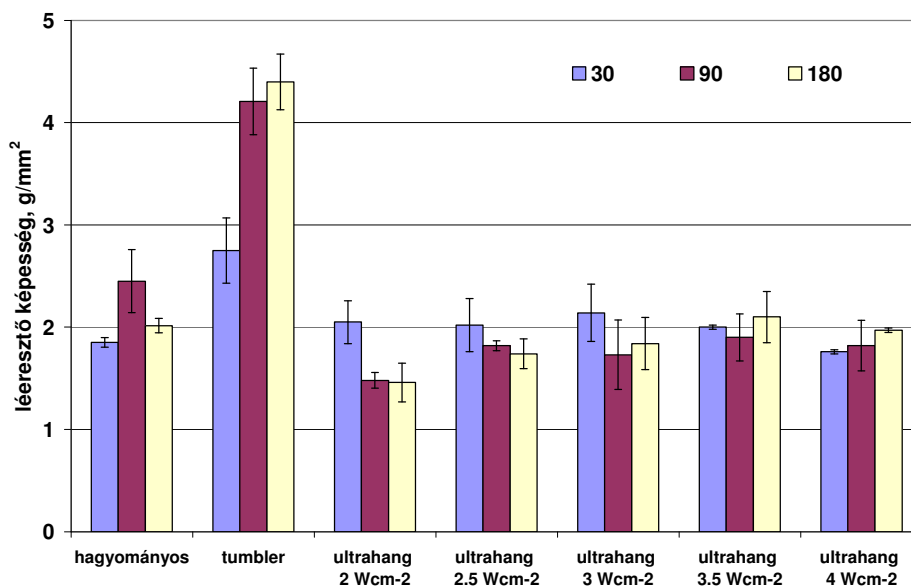
A hagyományos pácolás természetesen alulmaradt a többi kezeléshez képest, de a kezelési idő előrehaladtával emelkedett teljesen a sókoncentráció kiegyenlítődésegig, ami 4 napot vett igénybe.

A 4% sókoncentráció a duzzadást és sófelvételt segíti a pácolási folyamatban a képződött negatív ionok taszításából származó rosttávolság-növekedés által.

Az ultrahang esetében jelentősebb hatás a  $2,5 \text{ Wcm}^{-2}$  intenzitású 90 és 180 perces kezeléssel értem el, azonban a  $3 \text{ Wcm}^{-2}$  intenzitású 30 és 90 perces kezelés is jelentős vízfelvételt mutatott. Az alacsonyabb intenzitás hatása nem jelentős, a gerjesztett hullámok energiája kismértékű, és a kezelési időtartama is rövid. A magasabb intenzitás esetében a kezelési idő növelésével tovább csökkent a vízfelvevő képesség a  $2,5 \text{ Wcm}^{-2}$  intenzitású kezeléshez képest. A keménység mérésénél tapasztaltakhoz hasonlóan a kialakult részleges fehérjedenaturáció okozhatja a vízfelvételbeli csökkenést.

#### 5.2.4 Vízartó képesség

A vízartó képesség eredményeiben mutatom be a pácolt, nyers húsok és a gépsonkák vízartó képességét, illetve léeresztését.



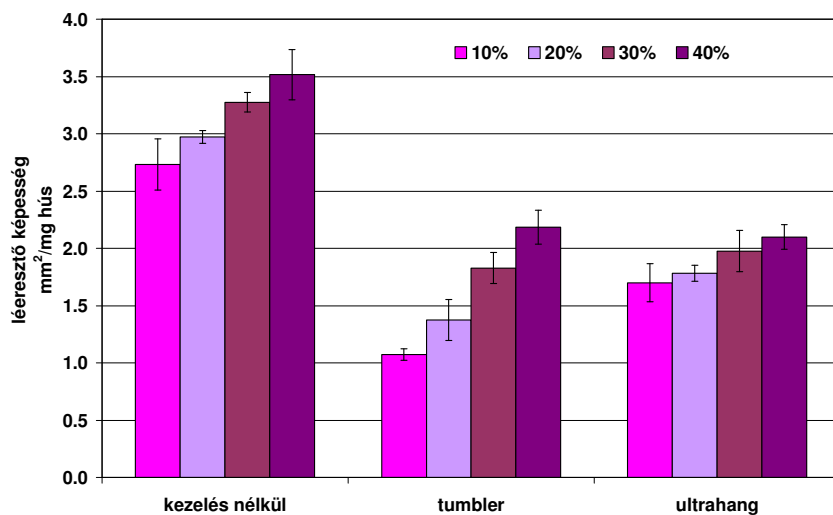
72. ábra: Az egyes kezelések és a kezelési idők hatása a hús léeresztő képességére

A vízfelvétel fontos szempont a kihozatal tekintetében, azonban „a vizet, vagy páclevet nem elég a húsba bevinni, azt benne is kell tartani”. Vagyis legalább olyan lényeges a hús vízartó képessége a pácolást követően, mint a vízkötő képesség. A vízartó képességet meghatározza a hús léeresztő



képessége. Minél nagyobb egy minta léeresztése, annál rosszabb a víztartó képessége. Tehát a **72. ábra** szerint bizonyítható, hogy az ultrahanggal kezelt és a hagyományosan pácolt minták a felvett vizet jól megkötötték, léeresztésük kicsi. A tumblerezett húsok a felvett vízmennyiségük nagy részét azonban nem tartották kötésben. Vagyis a felvett vizet fizikailag gyengén, vagy egyáltalán nem kötötték meg. A két kezelés közötti különbség oka feltehetően a fizikai vonzás. Feltehető, hogy a tumblerezésnél nagyobb szerepe van a felületen a mechanikai hatásra létrejövő szerkezetnek, az exszudátumnak, míg az ultrahang a belső rétegekben is kifejti hatását. Az ultrahanggal kezelt mintáknál részben a kavitáció, részben a rezgések hatására történő rostlazítás hatására megnőtt a miofibrillumok szabad felülete, ami képes a vizet erősebben megkötni.

Fontos megemlíteni, hogy a hagyományos technológiával pácolt karajminták kis mennyiségű vizet kötöttek meg, így azt könnyen meg is tudták tartani. Jelentős mennyiségű vízfelvételt a tumblers és a 2,5- 3 Wcm<sup>-2</sup> intenzitású ultrahangos kezeléssel értem el. Megfigyelhető, hogy az ultrahangos kezelések és a kezelési idők közötti eltérés nem szignifikáns, de a 2,5 Wcm<sup>-2</sup> intenzitású ultrahang hatása a víztartó képességre a leghatékonyabb. Dolatowski (2004) eredményei is hasonlóak, miszerint a 25 KHz frekvenciájú 2 Wcm<sup>-2</sup> intenzitású ultrahang hatása kedvező a húsok vízkötő képességére.



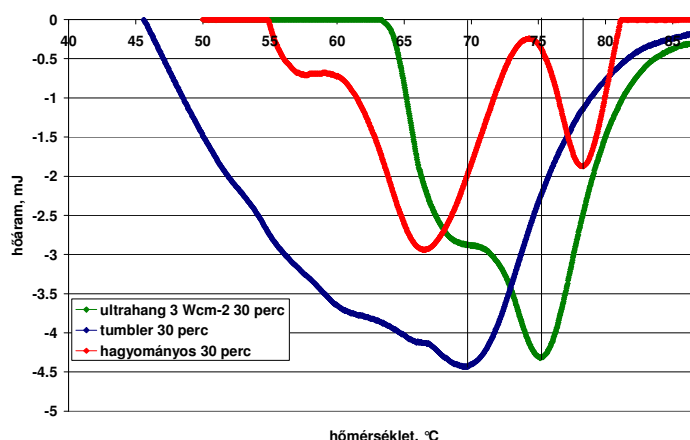
**73. ábra:** A víztartó képesség, léeresztés alakulása a kezeléstípusok függvényében

A karajminta víztartó képesség vizsgálatához hasonlóan, a nagy léeresztő képességű húsok víztartó képessége a leggyengébb. Ennek megfelelően a **73. ábrán** megfigyelhető, hogy a tumblerezett húsok 90-100 % páclé/húsarányú sonkák esetében kisebb a léeresztés, azonban a nagyobb pácléarányú sonkák esetében a különbség az ultrahangos és a tumblers minták között nem számottevő, sőt az ultrahangoson pácolt 130 % hozzáadott páclével készült sonka léeresztése némileg kisebb. A kezelés nélküli, természetes diffúzió által pácolt hús esetében a léeresztés jelentősen nagyobb. Vagyis a tumblerezett és az ultrahanggal pácolt gépsonka víztartó képessége közel azonos, a hagyományoshoz képest jelentősen

nagyobb. Annak ellenére, hogy a tumbleres kezeléssel előállított sonka léeresztésének értéke alacsonyabb a kevesebb pácléadalék hozzáadásánál (10, 20%), az ultrahang alkalmazásánál megállapítható, hogy a hozzáadott pácléadaléknak a lévesztésre való hatása nem olyan ugrásszerű, mint a tumblerrel kezelt húsoknál. Feltehetően ez az ultrahang rezgéseinek a hús miofibrillumaira való hatásával magyarázható.

A karajminta léeresztésével összehasonlítva látható, hogy a nyers húsnál a tumblerezett hús léeresztése nagyobb- a vízfelvétele is szignifikánsan nagyobb- a sonkák esetében a tumblerezett sonka léeresztése kisebb, igaz nem jelentős különbséggel. Ennek magyarázata, hogy a tumblerezés során képződő exszudátum a hőkezelés hatására denaturálódik, ami magában tartja a felvett vizet, és megszilárdulást követően préselés hatására nehezen engedi el azt.

### 5.2.5 Differential Scanning Calorimetry



74. ábra: Különböző módon kezelt húsokban az aktin termogramja

8. táblázat: A különböző technológiával pácolt húsokban az aktin denaturációs hőmérséklet-maximuma

kezelések	Denaturációs hőmérséklet maximum, °C
Hagyományos 30 perc	78,42
Hagyományos 90 perc	77,21
Hagyományos 180 perc	74,98
Tumbler 30 perc	69,85
2 Wcm <sup>-2</sup> 30 perc	77,97
2 Wcm <sup>-2</sup> 90 perc	76,42
2,5 Wcm <sup>-2</sup> 30 perc	73,15
3 Wcm <sup>-2</sup> 30 perc	71,82
3,5 Wcm <sup>-2</sup> 30 perc	74,27
4 Wcm <sup>-2</sup> 30 perc	75,33

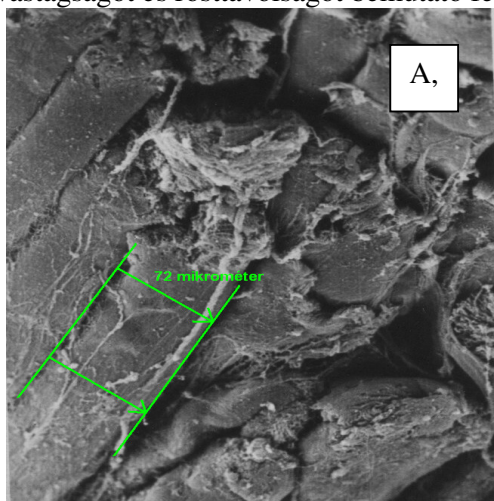
A vizsgálatok során minden kezelésnél elvégeztem a mérést, azonban a grafikonon nem szerepel az összes kezelés eredménye (74. ábra, 8. táblázat). Nem tüntettem fel azokat, amelyek a kezelés hatására denaturálódtak.

A karajmintákban az aktin denaturációs hőmérsékleti maximumát vizsgálva a keménységgel, a vízkötő és víztartó képességgel összefüggő megállapítás tehető, mely szerint a húsok aktin fehérjéi a folyamatos, pihentetés nélküli 1,5-3 órás tumblerezés során a mechanikai ütés hatására denaturálódnak. Ugyanez mondható el az ultrahang esetében is, ahol csak a  $2 \text{ Wcm}^{-2}$  intenzitásnál volt mérhető a 30 és a 90 perces kezelésnél denaturációs hőmérsékletcsúcs. A többi ultrahangos kezelésnél csak a 30 perces volt értékelhető. Ennek magyarázata, hogy a denaturáció már a kezelés közben megtörtént. A hagyományos pácolás esetében, mivel nincs denaturációt okozó hatás, mérhető denaturációs hőmérséklet-maximumokat tudtam meghatározni. Az intenzitás növekedésével csökkent az aktin denaturációs hőmérséklete. A  $2 \text{ Wcm}^{-2}$  intenzitású ultrahangnál és a hagyományos pácolásnál látható, hogy a kezelési idő növelésével a denaturációs hőmérsékleti csúcs értéke csökkent. A 4%-os sóoldat javítja a fehérjék duzzadását, ezért a denaturációs hőmérsékleti maximum értéke csökken (Kijowski & Mast, 1988; Quinn, et al., 1980). A vizsgálatok alapján megfigyelhető, hogy a tumblerezés és az ultrahangos kezelés hatására csökkent az aktin denaturációs hőmérsékleti maximuma. Tehát a tumblerezés és az ultrahang alkalmazása a vízfelvételt javítja. Az ultrahang intenzitásának növelésével a  $2\text{-}3 \text{ Wcm}^{-2}$  tartományban a denaturációs hőmérséklet-maximum csökkent, vagyis nőtt a felvett víz mennyisége. Magasabb intenzitásnál ( $3,5\text{-}4 \text{ Wcm}^{-2}$ ) a denaturációs hőmérsékleti csúcs kisebb, tehát kevesebb a megkötött víz.

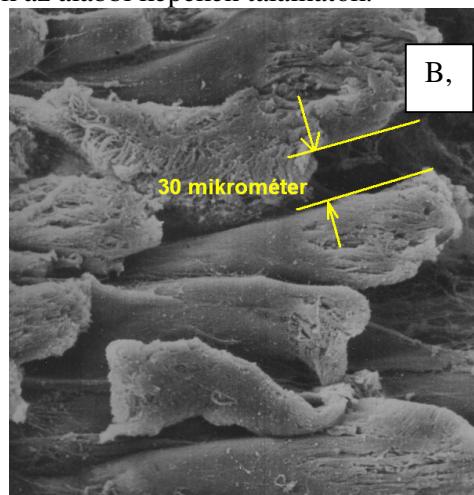
## 5.2.6 Hússzerkezet változása

### Pásztázó elektronmikroszkópos felvételek

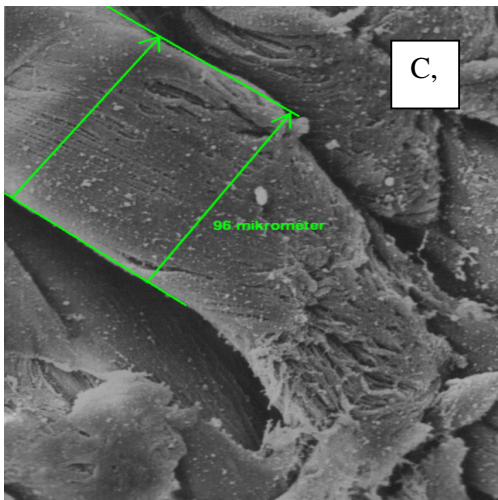
A rostvastagságot és rosttávolságot bemutató felvételek az alábbi képeken találhatóak.



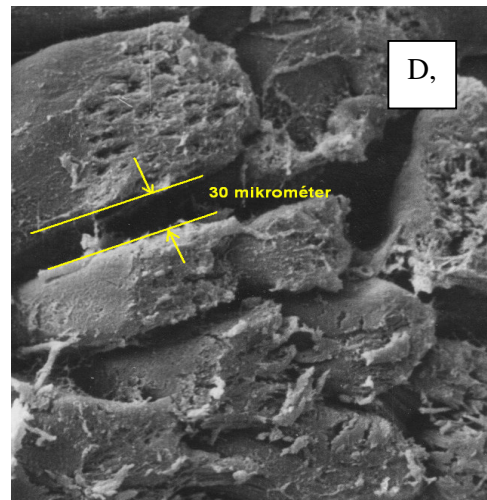
$4 \text{ Wcm}^{-2}$  intenzitású ultrahanggal 180 percig kezelt minta rostvastagsága



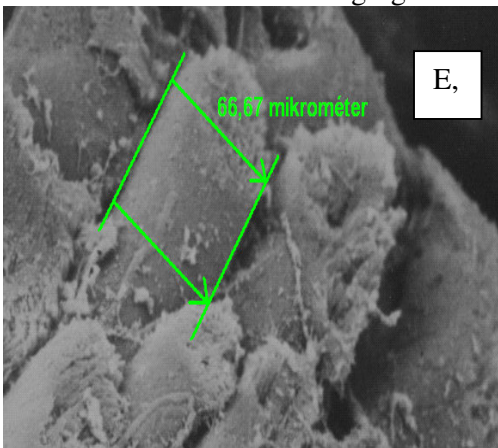
$4 \text{ Wcm}^{-2}$  intenzitású ultrahanggal 180 percig kezelt minta rosttávolsága



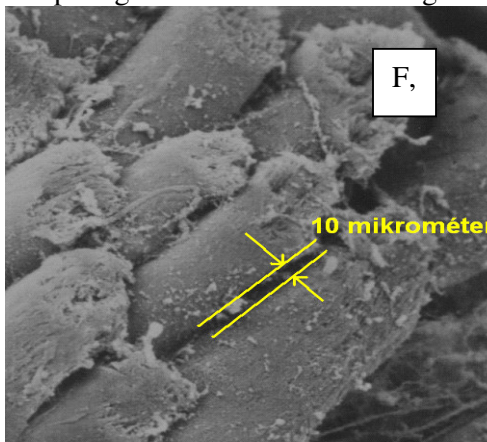
4 Wcm<sup>-2</sup> intenzitású ultrahanggal 90 percig kezelt minta rostvastagsága



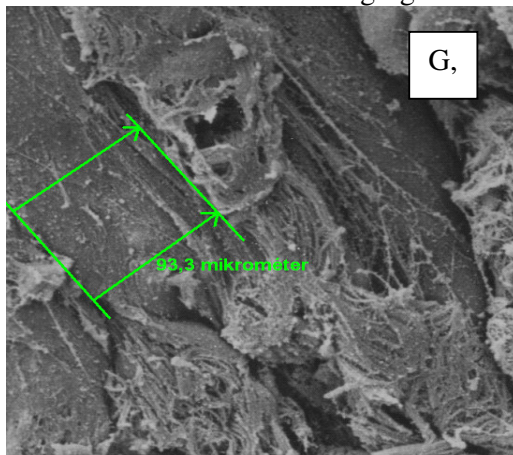
4 Wcm<sup>-2</sup> intenzitású ultrahanggal 90 percig kezelt minta rosttávolsága



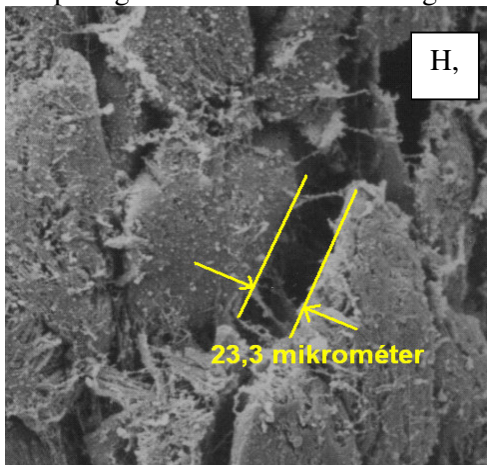
4 Wcm<sup>-2</sup> intenzitású ultrahanggal 30 percig kezelt minta rostvastagsága



4 Wcm<sup>-2</sup> intenzitású ultrahanggal 30 percig kezelt minta rosttávolsága

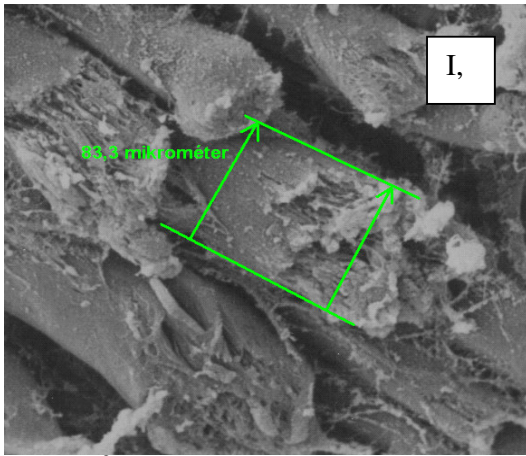


3 Wcm<sup>-2</sup> intenzitású ultrahanggal 180 percig kezelt minta rostvastagsága

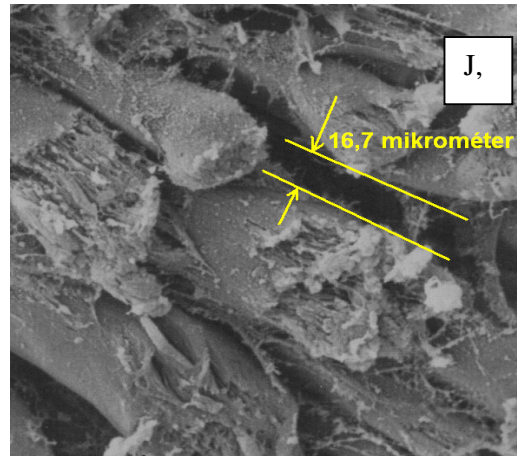


3 Wcm<sup>-2</sup> intenzitású ultrahanggal 180 percig kezelt minta rosttávolsága

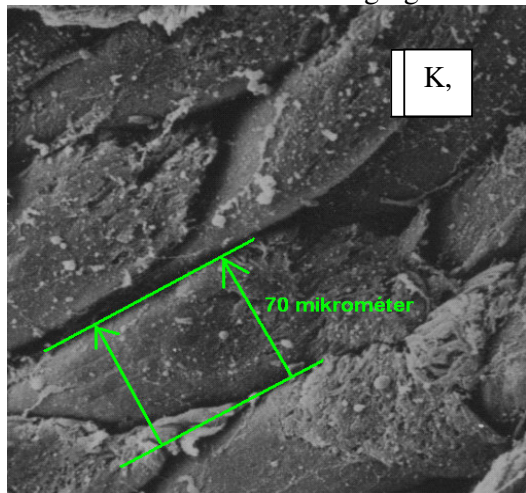




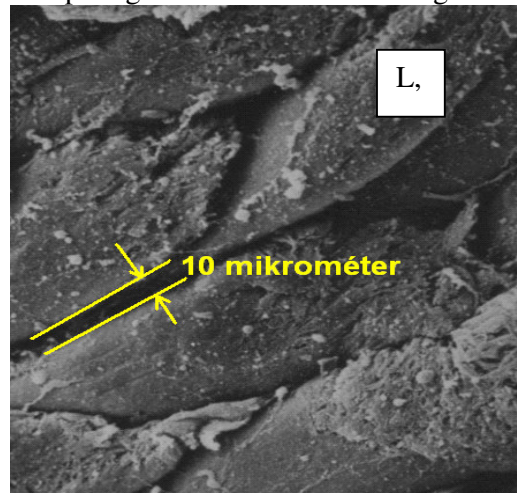
3 Wcm<sup>-2</sup> intenzitású ultrahanggal 90 percig kezelt minta rostvastagsága



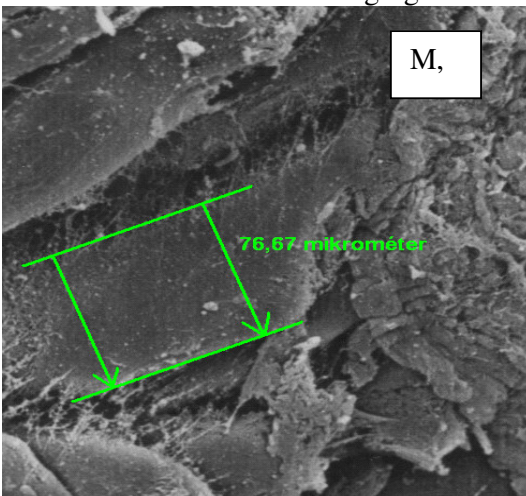
3 Wcm<sup>-2</sup> intenzitású ultrahanggal 90 percig kezelt minta rosttávolsága



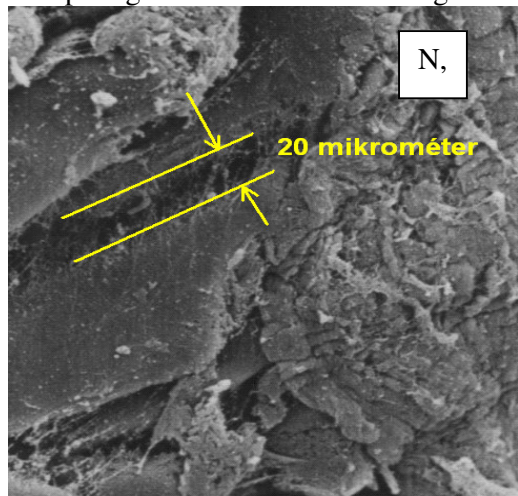
3 Wcm<sup>-2</sup> intenzitású ultrahanggal 30 percig kezelt minta rostvastagsága



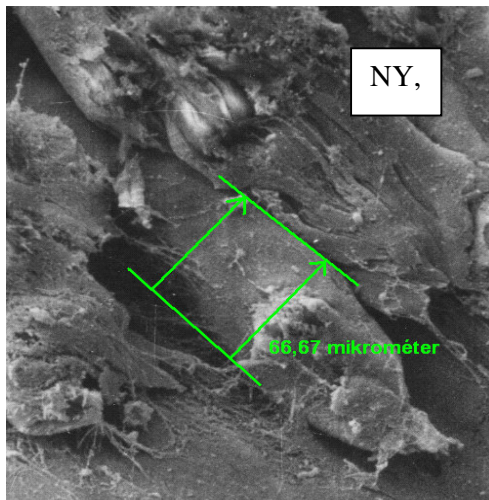
3 Wcm<sup>-2</sup> intenzitású ultrahanggal 30 percig kezelt minta rosttávolsága



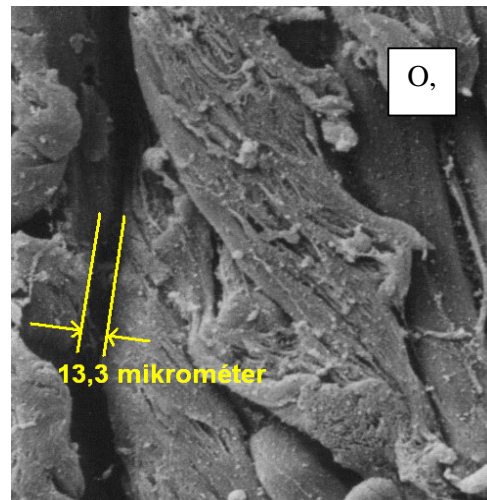
2,5 Wcm<sup>-2</sup> intenzitású ultrahanggal 180 percig kezelt minta rostvastagsága



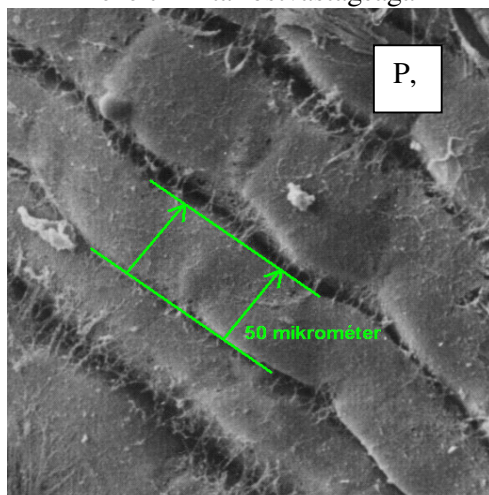
2,5 Wcm<sup>-2</sup> intenzitású ultrahanggal 180 percig kezelt minta rosttávolsága



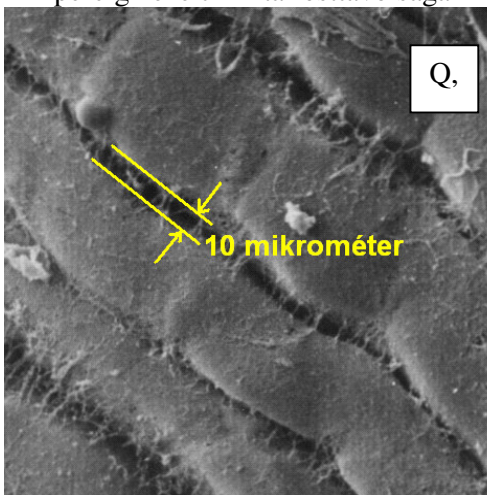
2,5 Wcm<sup>-2</sup> intenzitású ultrahanggal 90 percig kezelt minta rostvastagsága



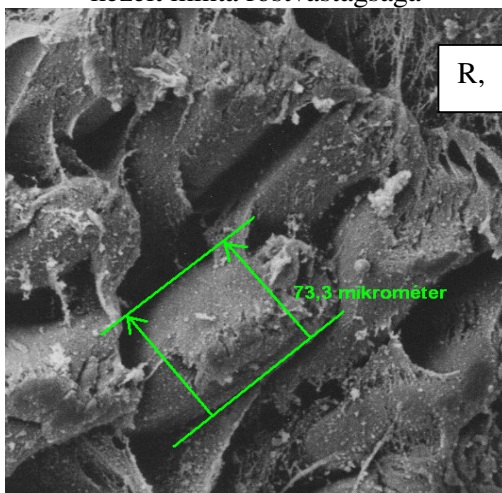
2,5 Wcm<sup>-2</sup> intenzitású ultrahanggal 90 percig kezelt minta rosttávolsága



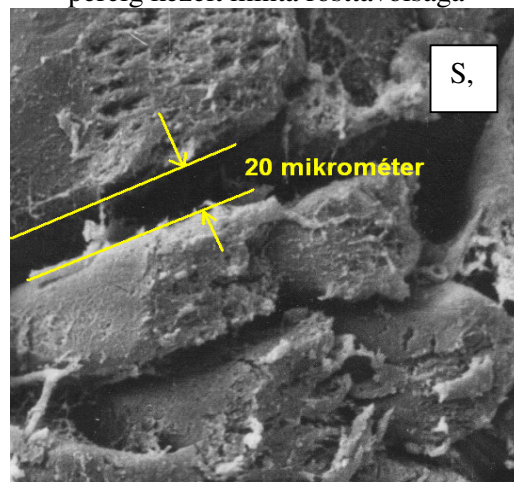
2,5 Wcm<sup>-2</sup> intenzitású ultrahanggal 30 percig kezelt minta rostvastagsága



2,5 Wcm<sup>-2</sup> intenzitású ultrahanggal 30 percig kezelt minta rosttávolsága

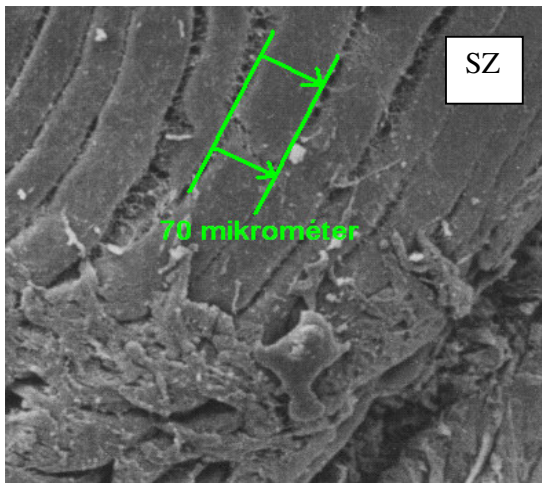


Tumblerral 180 percig kezelt minta rostvastagsága

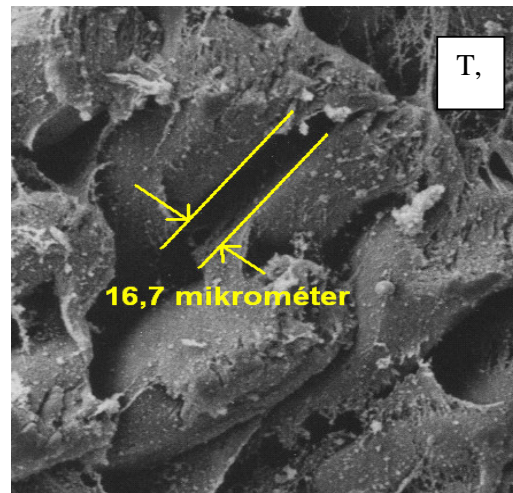


Tumblerral 180 percig kezelt minta rosttávolsága

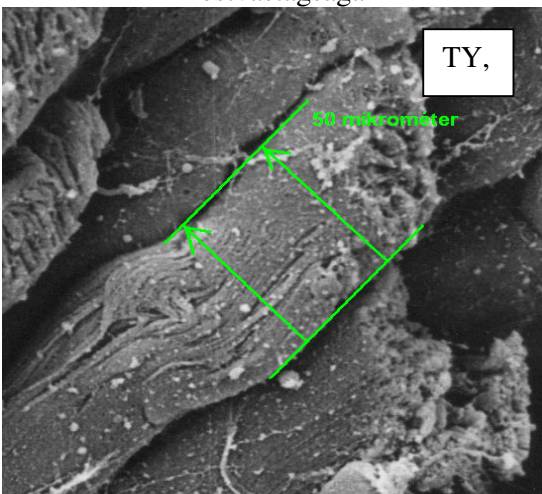




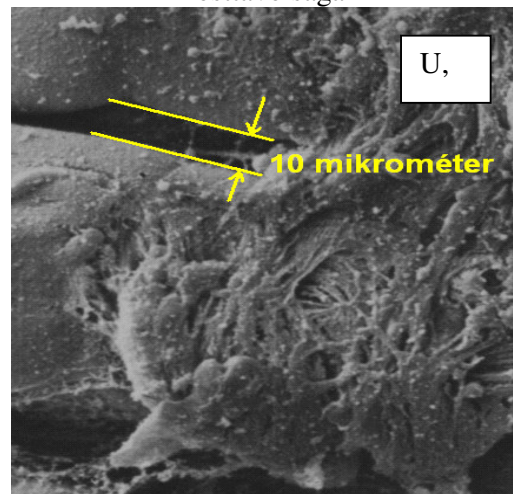
Tumlerrel 90 percig kezelt minta rostvastagsága



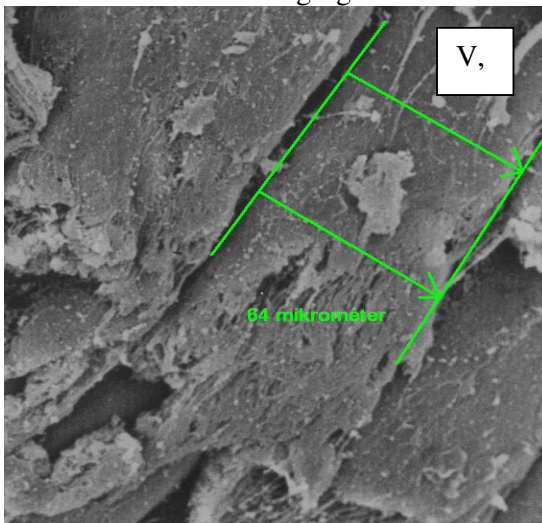
Tumlerrel 90 percig kezelt minta rostávolsága



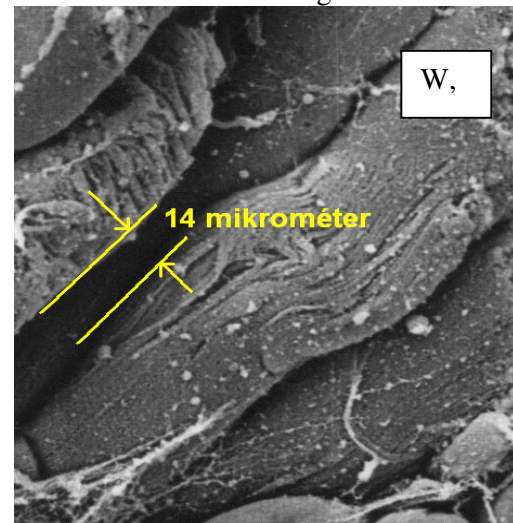
Tumlerrel 30 percig kezelt minta rostvastagsága



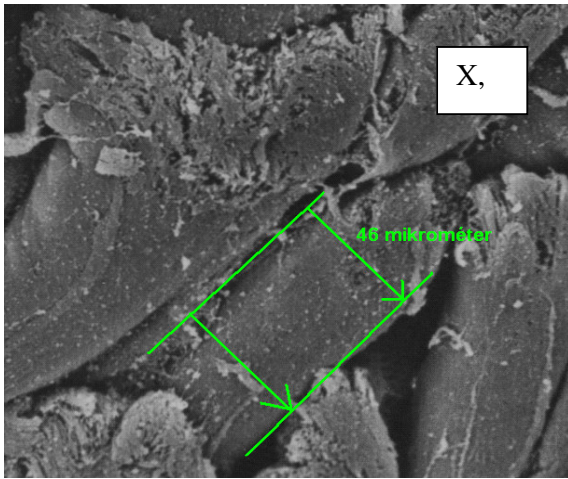
Tumlerrel 30 percig kezelt minta rostávolsága



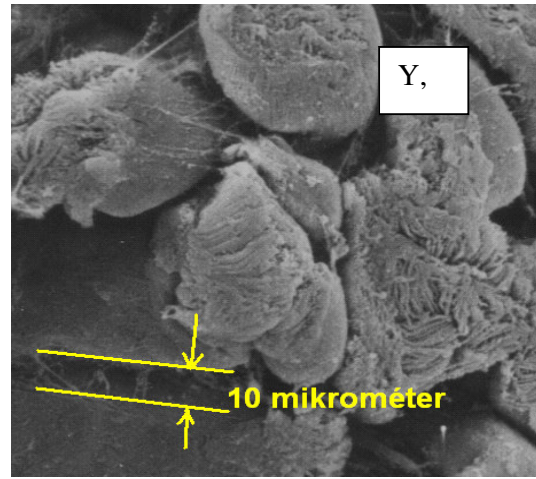
Hagyományos módon 180 percig kezelt minta rostvastagsága



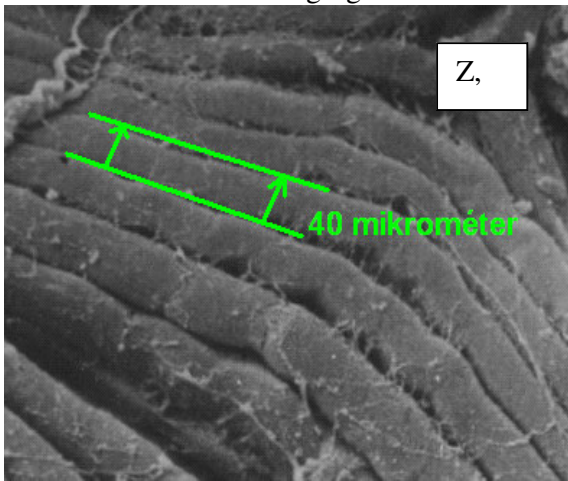
Hagyományos módon 180 percig kezelt minta rostávolsága



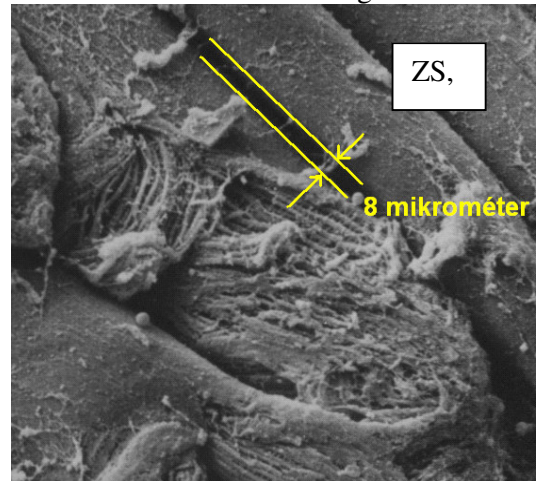
Hagyományos módon 90 percig kezelt minta rostvastagsága



Hagyományos módon 90 percig kezelt minta rosttávolsága



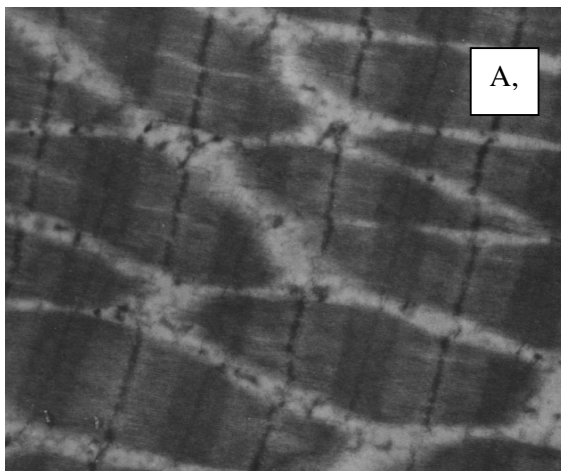
Hagyományos módon 30 percig kezelt minta rostvastagsága



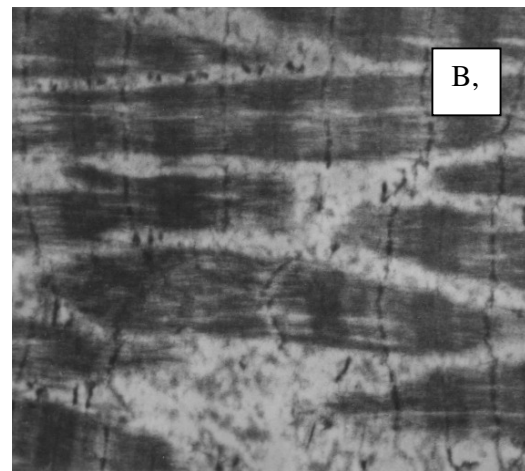
Hagyományos módon 30 percig kezelt minta rosttávolsága

**75. ábra:** Az egyes pácolási módok hatása a húсок izomrostjainak vastagságára és távolságára

**Transzmissziós elektronmikroszkópos felvételek**



**76. ábra:** Kezelés nélküli hús miofibrilláris szerkezete



**77. ábra:** 2,5 Wcm<sup>-2</sup> intenzitású ultrahanggal kezelt hús miofibrilláris szerkezete (az aktin és miozin rostokat függőleges irányba rögzítő Z-vonal töredezése)



**9. táblázat:** A rostvastagság és a rosttávolság alakulása az egyes kezelési módok és kezelési idők esetében

kezelések	Rostvastagság, $\mu\text{m}$	Rosttávolság, $\mu\text{m}$
Hagyományos 30 perc	40	8
Hagyományos 90 perc	46	10
Hagyományos 180 perc	64	14
Tumbler 30 perc	50	10
Tumbler 90 perc	70	16,6
Tumbler 180 perc	73,3	20
2,5 $\text{Wcm}^{-2}$ 30 perc	50	10
2,5 $\text{Wcm}^{-2}$ 90 perc	66,67	13,3
2,5 $\text{Wcm}^{-2}$ 180 perc	76,67	20
3 $\text{Wcm}^{-2}$ 30 perc	70	10
3 $\text{Wcm}^{-2}$ 90 perc	83,3	26,7
3 $\text{Wcm}^{-2}$ 180 perc	93,3	23,3
4 $\text{Wcm}^{-2}$ 30 perc	66,67	10
4 $\text{Wcm}^{-2}$ 90 perc	96	30
4 $\text{Wcm}^{-2}$ 180 perc	72	30

Az elektronmikroszkópos felvételeken, illetve a **9. táblázatban** megfigyelhető, hogy a kezelések időtartamának és az ultrahang intenzitásának növelésével nő a rostok közötti távolság és a rostok vastagsága. A rosttávolság növelése lehetővé teszi a vízfelvétel növelését, azonban a kialakult fehérjedenaturáció határt szab a vízmolekulák megkötésének. A vizsgált 2,5- 4  $\text{Wcm}^{-2}$  intenzitás tartományban az intenzitás és a kezelési idő növelésével a rostok távolsága növekszik. A tumbleres kezelésekből származó rosttávolság értéke kisebb, mint a 2,5  $\text{Wcm}^{-2}$  intenzitású ultrahanggal 3 órán át kezelt mintáknál. Érdekes jelenség, hogy a tumblerezés esetében a kezelési idő hatása eltér az ultrahangos pácolásétól. A tumbler rövid kezelési időnél kevésbé fejti ki hatását, de a kezelési idő növelésével ez a hatás kisebb mértékben növelhető. Az ultrahangnál a hatás már rövidebb kezelési időnél jelentős, a pácolási idő növelése a rosttávolságot tovább növeli. Az ultrahang hatékonysága azzal magyarázható, hogy a kavitáció okozta nagyenergiájú lökéshullámok és nyomásingadozások a miofibrillumok fehérjemembránjainak felületén elősegítik az azonos töltésű ionokból álló töltésfelesleg kialakulását. Az azonos töltések taszító hatásának köszönhetően a rosttávolság nő.

A rostvastagság tekintetében kimagasló hatás a 4  $\text{Wcm}^{-2}$  intenzitású 90 perces kezelésnél figyelhető meg, ahol a rostok duzzadása 40 %-kal nagyobb, mint a többi kezelésnél tapasztaltaknál. A kezelési idő növelése a rostvastagsághoz hasonlóan növeli a duzzadás mértékét, azonban a kialakuló fehérjedenaturáció rontja az állományt.

A különböző kezelések hatására eltérő mértékben növekszik a rostvastagság. A rostok vastagsága, ill. duzzadása a fehérjékhez kötött víz mennyiségétől függ. Ezért a nagyobb rostvastagsághoz nagyobb vízfelvétel tartozik. Ennek megfelelően várható, hogy a nagyobb intenzitásnál a vízkötő

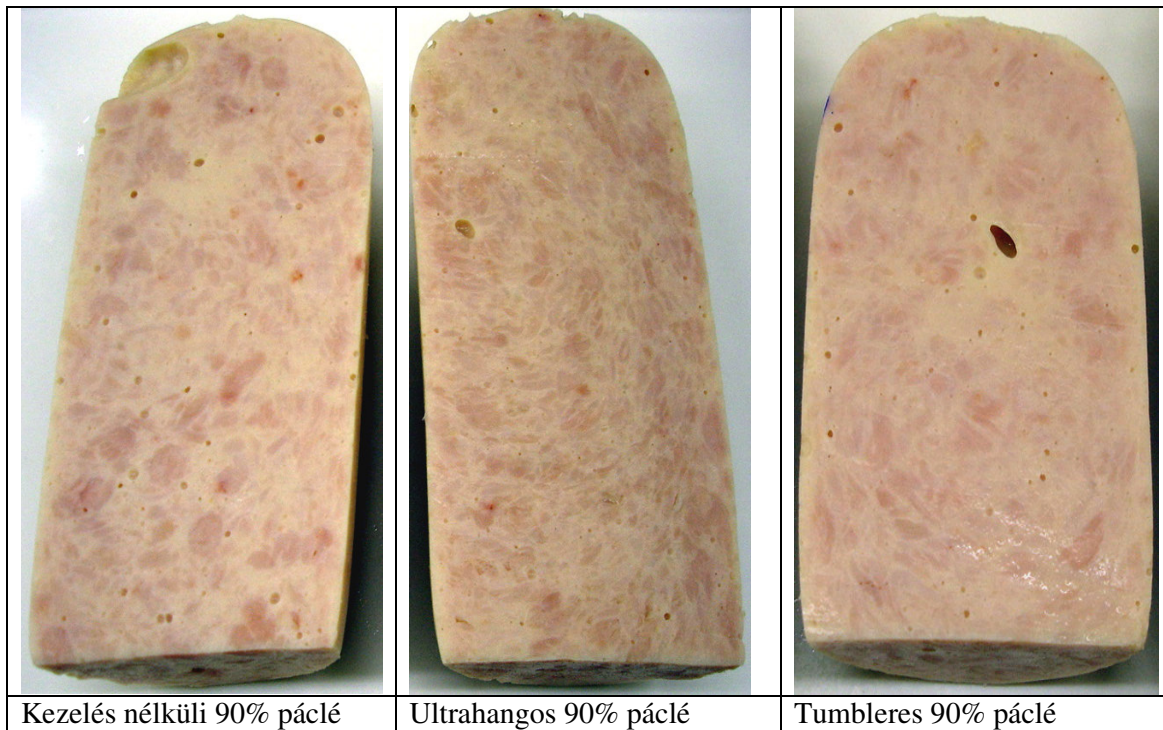
képesség a legjobb. A nagyobb intenzitású (3-4 Wcm<sup>-2</sup>) ultrahangos kezelés fehérjedenaturációt okoz, ezért a vízkötő képesség csökken. Ezzel magyarázható, hogy a nagyobb rostvastagság és rosttávolság ellenére a 3-4 Wcm<sup>-2</sup> intenzitású ultrahangos kezelésnél a vízkötő képesség kisebb, mint a 2,5 Wcm<sup>-2</sup> intenzitású ultrahangos pácolásnál és a tumblerezésnél.

A transzmissziós felvételeken látható (76-77. ábra), hogy a 2,5 Wcm<sup>-2</sup> intenzitású ultrahang megtöri az aktin és miozin szálakat keresztirányban rögzítő Z-vonalat. A felvételek jól illusztrálják az aktív ultrahang erős mechanikai, biokémiai hatását a hús belső szerkezetében. Ennek következményeként a hús rostozata fellazul, élvezeti értéke és vízkötő képessége javul.

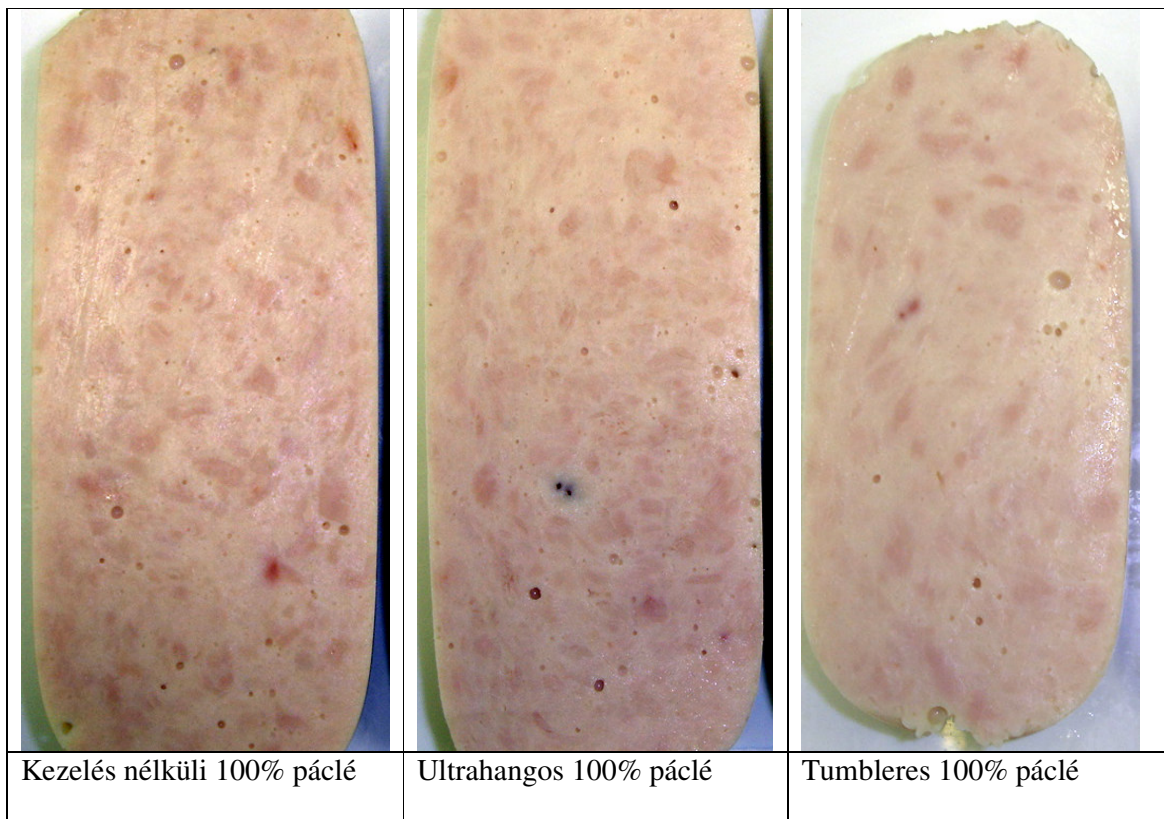
Dolatowski et al., (2004), Graiver et al., (2006), Got el al., (1999) eredményei alapján is az ultrahang lazítja a hús szerkezetét, növeli a miofibrillumok távolságát.

Tehát megállapítható, hogy az intenzitás növelésével a miofibrillumok vastagsága és távolsága nő. Az aktint és miozint keresztirányban rögzítő Z-vonal feltöredezik, ami a rostok fellazulását eredményezi.

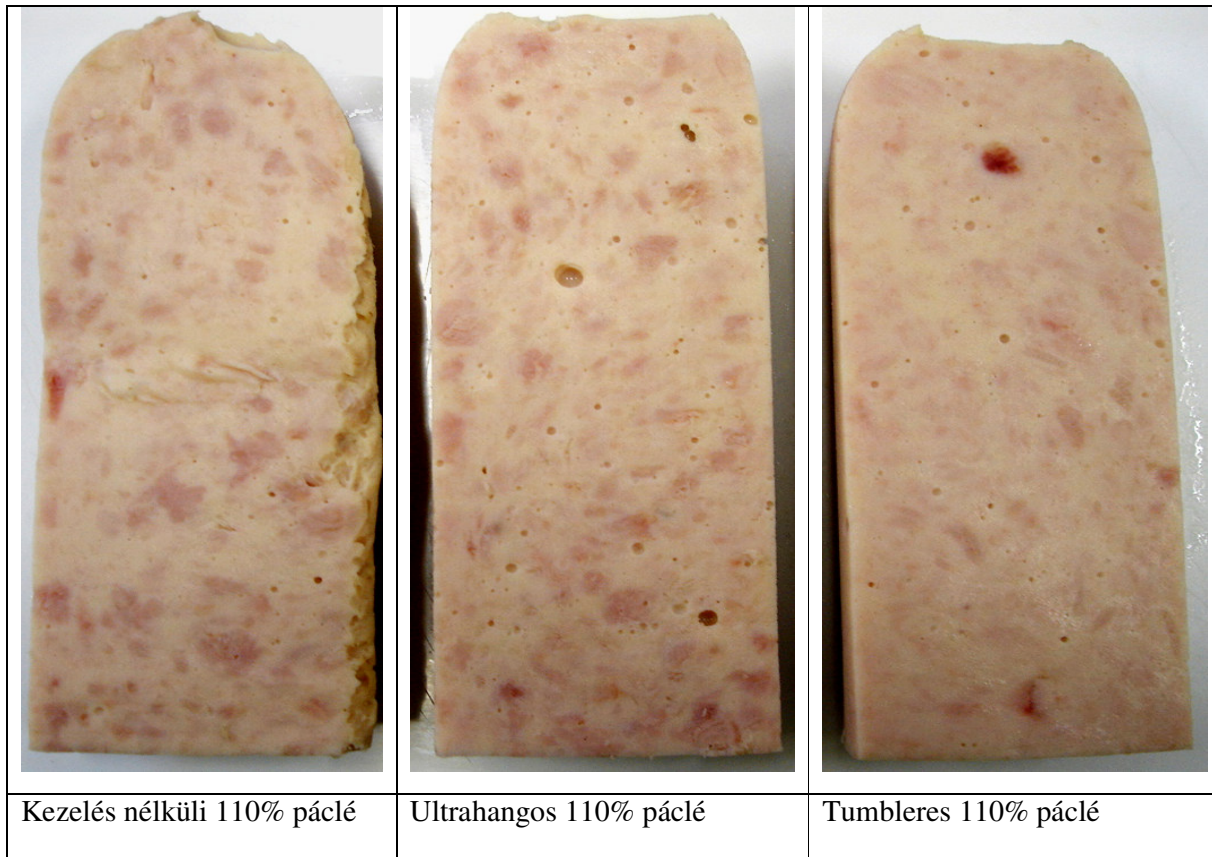
### 5.2.7 Mozaikosság vizsgálata



78. ábra: Különböző módon kezelt sonkák 90% páclé hozzáadásakor

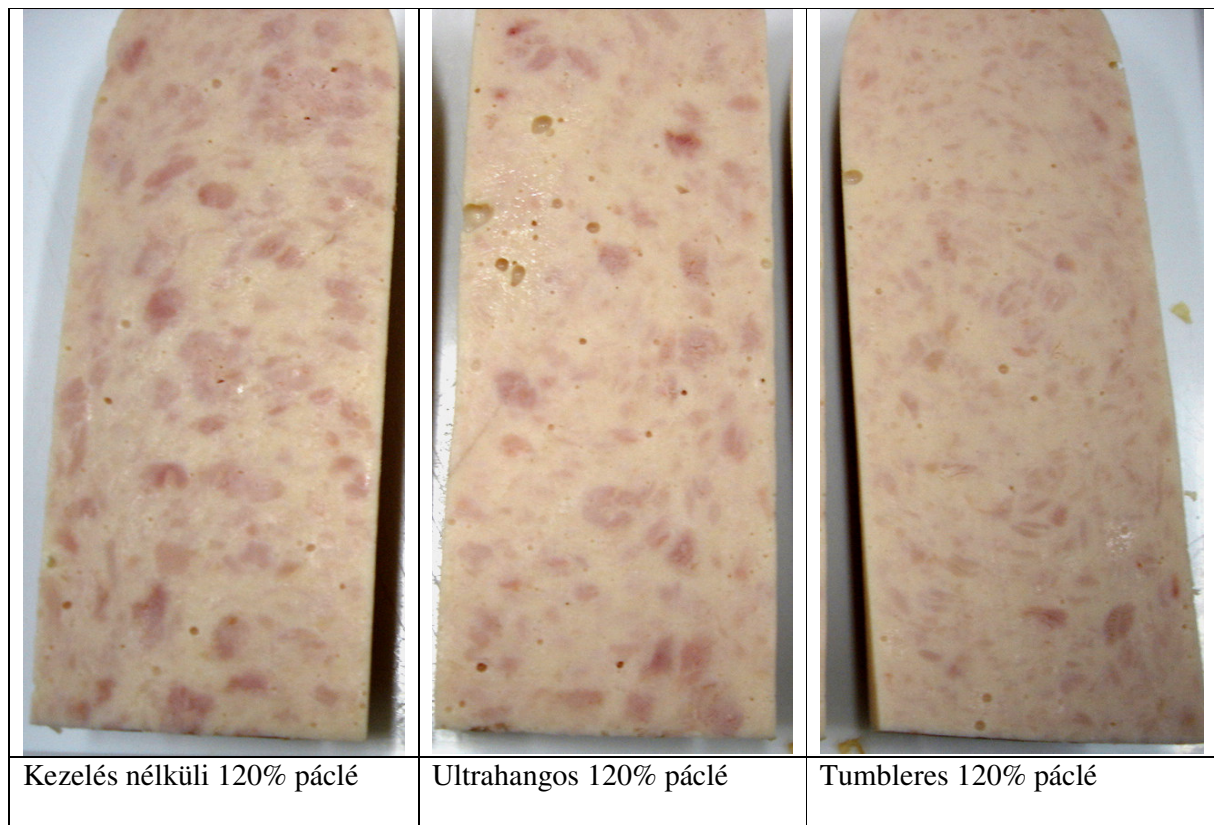


**79. ábra:** Különböző módon kezelt sonkák 100% páclé hozzáadásakor



**80. ábra:** Különböző módon kezelt sonkák 110% páclé hozzáadásakor





**81. ábra:** Különböző módon kezelt sonkák 120% páclé hozzáadásakor



**82. ábra:** Különböző módon kezelt sonkák 130% páclé hozzáadásakor

A fotókon látható, hogy a páclé mennyiségének növelése a mintákat eltérő mértékben világosabbá tette (78-82. ábra), ami várható is volt a hús, a massa „hígulása” miatt, mivel a mioglobin koncentráció csökkent.

A kezeléseket összehasonlítva megállapítható, hogy a tumblerrel kezelt minták világosabbak lettek, mint az ultrahanggal kezelték. Ennek oka, hogy a tumbleres kezelés során a húsdarabok mechanikai erő hatására darabolódnak, a sejtek roncsolódnak, a sejtnedvük szabaddá válik, és eloszlik a páclében. A darabolódás miatt egyrészt kisebb a mozaikosság mértéke, nincsenek a metszéslapon mozaikképző húsdarabok, amik a mintát egyes pontokban sötétebbé tennék, valamint a tumblerezés hatására a sejtekből kijutó fehérjék növelik a minta világosságát. A páclé növelésével a piros szín intenzitása szemmel láthatóan csökkent. Az egyes kezeléseket nem okoznak jelentős különbséget, de az ultrahanggal kezelt minták piros színének intenzitása magasabb volt. A tumblerrel kezelt minták esetében a mechanikai erő hatására a plazmafehérjék a mioglobin felületére denaturálódnak, így a mioglobin nem tud élénkpiros színű nitrozómioglobinná alakulni. Az ultrahanggal történő pácolás a minták világosságát kismértékben befolyásolta.

A metszéslapokon látható, hogy az ultrahangos pácolással készített termékben 10-15mm-es, vörös hús-mozaikok találhatóak, a mozaikképző húsdarabok megmaradnak, színük a terméknek megfelelő vörös árnyalatú marad.

A tumbleres pácolással készített termékekben a már említett mechanikai erő hatására a hús szövetének szerkezete nagymértékben roncsolódik (Whiting, 1988), így ennek a készterméknek a metszéslapja homogén, mozaikképző húsdarabokat csak kis számban és elszórtan tartalmaz.

Tehát az ultrahang alkalmazásával a termék mozaikos marad, megtartja eredeti jellegét. Ez a termék külső megjelenésében, a szakemberek szerint pozitív megítélésben is mutatkozik.

## 6 Következtetések, javaslatok és gyakorlati alkalmazás

A passzív ultrahanggal végzett kísérletek alapján megállapítható, hogy a szárazabb, tömörebb rétegekben, mint a szalonnák húsrétegei és a téliszalámi kérges része, az ultrahanghullámok terjedési sebessége nagyobb. Vagyis a száraz, száradó, merev rétegekben az ultrahang terjedési sebessége nagyobb, mint a laza szerkezetű, magas nedvességtartalmú rétegekben.

Az ultrahang hullámok csillapítását vizsgálva megállapítható, hogy a szaláminál az említett száraz kéreg, vagy a szalonnák húsrétege nagyobb mértékben csillapítja az ultrahangot, tehát csillapítási tényezőjük nagyobb.

Tehát a száraz, tömöttebb rétegekben az ultrahang hullámok gyorsabban terjednek, azonban intenzitásuk nagymértékben csökken, vagyis nagyobb mértékben csillapodnak, mint a lazább, rugalmasabb szerkezetű, folyadékfázist tartalmazó anyagokban.

Az említett terjedési sebességértékek ismeretében a szalonnák hús –zsír aránya becsülhető. A téliszalámi minősítése során ellenőrizhető az esetleges kérgesedés, ill. a kéreg vastagsága.

Bebizonyítottam a csillapítás additívitasát a vizsgált minták esetében. Ezt felhasználva két eltérő szövetszerkezetű és összetételű réteg vastagsága nagy biztonsággal becsülhető, aminek következtében roncsolásmentesen meghatározható a vizsgált minta (téliszalámi, kolozsvári szalonna) minősége (kéreg jelenléte), ill. hús-zsír aránya.

Az érlelés adott időpontjában méréssel meghatározható a szalámirúdon áthaladó ultrahang hullámokterjedési sebessége és csillapódása. A kapott értékeket a kalibrációs grafikonnal összehasonlítva az adott időponthoz tartozó sebesség és csillapítás értékekkel megállapítható az érlelési folyamat periódusa. Vagyis becsülhető az adott rúd szárazanyag-tartalma, ami meghatározója az érlelésnél a szikkadtsági foknak. Ezért a technológiai paraméterek szükség szerint változtathatók, amelyek a minőségbiztosítás és a gazdaságosság szempontjából meghatározóak.

Az ultrahanggal való pácolás eredményei alapján megállapítható, hogy az aktív ultrahang alkalmazása a vizsgált intenzitástartományban gyorsítja a diffúziót, tehát alkalmazásával a húsokba történő sóbevitel gyorsítható. Az alkalmazott tartományban az intenzitás növelésével a diffúzió sebessége exponenciálisan nő. A mintán belüli sóeloszlás egyenletes, ezért azonos sókoncentráció kialakításához akár kisebb sókoncentrációjú páclé is alkalmazható, nem szükséges a nagy koncentrációkülönbség a hús és a páclé között a diffúzió hajtóerejeként.

Az ultrahang okozta kavitáció eredményeképpen a hús állománya lazább szerkezetűvé válik. A sótartalomhoz hasonlóan a puha állomány a hús teljes terjedelmére jellemző, ami elősegíti a sódiffúziót és növeli az élvezeti értéket.

Vizsgálataim szerint a  $2,5 \text{ Wcm}^{-2}$  intenzitású ultrahang az optimális az állományt, a vízkötő és- tartó képességet illetően. Nagyobb intenzitás ( $3-4 \text{ Wcm}^{-2}$ ) esetében a só diffúziója gyorsabb és az elektronmikroszkóp felvételeken láthatóan nagyobb a miofibrillumok közötti tér, illetve a rostok vastagsága is nagyobb, azonban a kezelés hatására fellépő denaturáció rontja az állományt, csökkenti a vízkötő-és tartó képességet. Összegezve az ultrahanggal pácolt minták a felvett vizet jól megkötötték. A tumblerezett húsok nagy mennyiségű víz felvételét mutatták, azonban a felvett vízmennyiségük nagy részét nem tartották kötésben. Vagyis a felvett vizet fizikailag gyengén, vagy egyáltalán nem kötötték meg.

Az üzemi körülmények között készített gépsonkák gyártásánál ajánlatos a 4 órás kezelés a tumblerezésnél és az ultrahangos pácolásnál. A pácolás során a denaturáció elkerülése érdekében javasolt a 20 perc kezelés és 20 perc szünet alkalmazása mind a tumbler, mind az ultrahangnál.

Az állományjellemzőket vizsgálva megállapítható, hogy az ultrahanggal kezelt húsok lényegesen kisebb energiabefektetéssel rághatók, a sonkák állománya az ultrahang hatására puhul, rághatóságuk javul, ami szintén igazolja az ultrahangnak az izomrostokra gyakorolt lazító, technológiailag pozitív hatását. Az optimum ismételten a  $2,5 \text{ Wcm}^{-2}$  intenzitás, de hasonló értéket tapasztaltam a  $2$  és  $3 \text{ Wcm}^{-2}$  esetében is. A  $2$  és a  $3 \text{ Wcm}^{-2}$ -nál a kezelési idő növelésével javul a rághatóság, a  $3,5$  és a  $4 \text{ Wcm}^{-2}$ -nál ingadozó hatás figyelhető meg. Az ultrahanggal pácolt sonkák állománya lazább szerkezetű, jól összeálló, víztartó képessége megfelelő. A sonkatermék megtartja eredeti mozaikosságát, tehát az ultrahang a tumblerrel ellentétben nem roncsolja szét a húsmozaikokat. A páclé/hús arányának növelése az ultrahanggal pácolt sonkák állományában és víztartó képességében kisebb mértékű változást okoz, mint a tumblerezett sonkáknál. Vagyis az ultrahanggal pácolt sonkák kevésbé érzékenyek a hozzáadott páclé mennyiségének növelésére, tehát az ultrahangos pácolási technológia a kihozatali mutatókat javítja.

## 7 Összefoglalás

Dolgozatomban az ultrahang húsipari alkalmazását tűztem ki célul. Ennek megfelelően bemutattam az ultrahang előállításának, alkalmazásának lehetőségeit, az aktív ultrahang hatását a húsminták szerkezetére, valamint a pácolást befolyásoló tényezőket és technológiai lépéseket. Vizsgálataim során a roncsolásmentes passzív ultrahangot alkalmaztam a szalonnák hús- zsír arányának, a téliszalámi kérgesedésének és érlelési folyamatának nyomon követésére. Az aktív ultrahangnak a húsok szerkezetére gyakorolt mechanikai hatását alkalmaztam a pácolási technológiában a pácolási technológia innovatív fejlesztése céljából.

A passzív ultrahang használatakor mértem, ill. meghatároztam az ultrahang terjedési sebességét, csillapodását a vizsgált szalonna minták hús- és zsírrétegeiben, valamint a téliszalámi normál állományú rétegeiben és a kérgében. Továbbá meghatároztam a minták egyes rétegeinek a csillapítási tényezőjét. A mérések során vizsgáltam a kapott jel intenzitásának alakulását a mintákra merőleges és párhuzamos mérőfej elhelyezkedés, valamint különböző hőmérsékletek esetében.

A minták egyes rétegeinek csillapítását megmértem, majd bizonyítottam a csillapítás additivitását, vagyis azt, hogy az egyes rétegek csillapítását összeadva megkapjuk a teljes minta csillapításértékét.

A terjedési sebesség, a csillapítás és a csillapítási tényező ismeretében meghatároztam a minták hús-zsír arányát. Tehát olyan mérés-technikai módszert dolgoztam ki, ami információt ad a kereskedelem, a feldolgozóipar és a fogyasztó számára a szalonnák minőségéről.

A téliszalámi vizsgálata alapján bebizonyítottam, hogy az ultrahang terjedési sebessége és csillapodása által meghatározható a nem megfelelő technológiával végzett érlelés és tárolás folyamán keletkező száraz kéreg megjelenése és vastagsága.

Továbbá a téliszalámi érlelési folyamata nyomon követhető az ultrahang jellemzők mérésével. Mind a terjedési sebesség, mind a minták csillapító hatása megfelelően jellemzi az érlelés szakaszait, és a termék szárazanyag-tartalmát. Tehát az ultrahang alkalmazásával roncsolásmentesen nyomon követhető az érlelés folyamata, észlelhető az esetlegesen képződő kéreg. Ezzel a módszerrel gyakorlatilag automatizálható a szalámigyártás legkritikusabb lépése, az érlelés.

Az aktív ultrahang pácolási technológiában való alkalmazása során vizsgáltam az ultrahang intenzitásának és a kezelési időnek a hatását a húsok állományára, porhanyósságára. Továbbá kísérletsorozattal határoztam meg a diffúziós tényező alakulását, összehasonlítva a hagyományos és a tumbleres pácolással. Az ultrahangos pácolás diffúziós tényezője a vizsgált intenzitástománnyban növelte a diffúziós tényezőt, azonban még a  $4 \text{ Wcm}^{-2}$  intenzitás is csak megközelíti a tumblerezés diffúziós tényezőjét, de nem éri el.



Vizsgálataim során meghatároztam a tumblers és az ultrahangos pácolás hatását a mintán belüli sóeloszlásra és állományváltozásra. Az ultrahang egyenletesebb sóeloszlást és egyenletesen puhább állományt biztosított a húsminta keresztmetszetében. Természetesen a kettő összefügg, az egyenletes laza szerkezetnek köszönhetően a pácléeloszlás is egyenletesebb, mint a tumbler esetében. A kezelési idő és az intenzitás növelése segíti az egyenletességet a sóeloszlásban és az állományban.

Elektronmikroszkópos vizsgálatokkal mértem az egyes pácolási eljárások hatását az izomrostok szerkezetére, a miofibrillumok távolságának változására és duzzadására. A készített felvételek bizonyítják, hogy az ultrahang nagymértékben lazítja az izomrostokat, így a miofibrillumok vízfelvétele nő, ami által azok duzzadnak. Ez látható a miofibrillumok vastagságának növekedésében is. A vizsgált 2- 4 Wcm<sup>-2</sup> intenzitás-tartományban az intenzitás növekedésével nő a miofibrillumok távolsága és vastagsága.

Differencial Scanning Calorimetry mérésekkel határoztam meg a kezelések hatását az aktín denaturációs hőmérsékletére és a fehérjék vízkötésére. Továbbá vizsgáltam a pácolási eljárások (hagyományos, tumblers, ultrahangos) hatását a húsok vízfelvételére és víztartó képességére. Az utóbbit léeresztő képesség mérésével határoztam meg.

A dolgozatban vizsgáltam a különböző kezelések hatását sonkamassza állományára is. A massa állománymérésekor az optimális pácolási időt határoztam meg, eredményként a 4 órás pácolás bizonyult megfelelőnek.

Az ultrahangos-, a tumblers- és a hagyományos pácolás hatását kutattam a kész, aprított sonkatermékek esetében. A kísérletek során növeltem a hozzáadott páclé mennyiségét, majd mértem az állományváltozást az egyes kezeléseknél. A kapott eredmények szerint az ultrahang kezelésű sonkák kevésbé érzékenyek a pácléarány növelésére, vagyis az egyenletesebb pácléeloszlásnak köszönhetően a páclé megkötése jobb. Az ultrahanggal pácolt sonkák könnyebben rághatók.

A páclé arányának növelésénél vizsgáltam a sonkakészítmények víztartó képességét, a késztermék mozaikosságát. A sonka víztartó képessége az ultrahangos kezelés hatására kismértékben elmarad a tumblerezett terméktől, azonban nem olyan érzékeny a páclénövelésre.

A mozaikosságnál az ultrahang jelentős előnyének tartom a tumblers technológiához képest, hogy az ultrahanggal pácolt aprított mozaikos gépsonkák megtartják mozaikosságukat, ami a szakemberek véleménye szerint pozitív tulajdonság.

Tehát, az elvégzett kezelések és vizsgálatok alapján bebizonyosodott, hogy az ultrahanggal javítható a pácolási technológia és ezzel együtt a termékek minősége is. További vizsgálatok elvégzése után esetlegesen a tumblers technológiával kombinálva magas páclébevitelű, gyors pácolási technológia érhető el.

## 8 Tézisek (új tudományos eredmények)

1. Adatbázist készítettem a szalonna késztermékek hús- és zsírrétegeiben, valamint a téliszalámi normál és kérges rétegeiben az ultrahanghullámok terjedési sebességéről. Bebizonyítottam, hogy a mért terjedési sebességértékek ismeretében meghatározható a szalonnák hús- zsír aránya és a téliszalámiban a kéreg vastagsága.
2. A rétegvizsgálatok alapján bebizonyítottam, hogy az ultrahanghullámok logaritmikus csillapítása additív, vagyis az egyes rétegek csillapítását összeadva megkapjuk a teljes minta csillapítását. Ezek felhasználásával módszert dolgoztam ki ismeretlen belső rétegarányú szalonna- és szalámiminta rétegvastagságainak becslésére az ultrahangos csillapítás és a minta vastagságának mérése alapján, felhasználva a lehetséges komponensek csillapítási jellemzőit tartalmazó adatbázist.
3. A kísérletek alapján módszert dolgoztam ki egyrészt az ultrahang terjedési sebességének, másrészt a csillapodásának mérésével a téliszalámi szárazanyag-tartalmának becslésére, és a kéreg megjelenésének ellenőrzésére az érlelés során. A terjedési sebesség- és a csillapításmérés módszere külön-külön is alkalmas az érlelés monitorozására, azonban a két módszer együttes alkalmazásával növelhető a szárazanyag-tartalom becslés pontossága.
4. Az aktív ultrahangnak a pácolási technológiában való alkalmazása során bebizonyítottam, hogy az ultrahang a sódiffúzió sebességét növeli. Az ultrahang intenzitásának növelésével exponenciálisan növelhető a diffúzió a  $2 - 4 \text{ Wcm}^{-2}$  intenzitás-tartományban. Az ultrahangos besugárzás vizsgált intenzitás-tartományában ( $2 - 4 \text{ Wcm}^{-2}$ ) a diffúziós tényező ( $d$ , [ $\text{m}^2/\text{s}$ ]) a  $d=2,7 \cdot 10^{-10} \cdot e^{0,477 \cdot I}$  összefüggés szerint változik az intenzitással ( $I$ , [ $\text{Wcm}^{-2}$ ]).
5. Az ultrahanggal kezelt húsokban az állomány a hús teljes keresztmetszetében egyenletesebb, a minták szélső és középső rétegeinek keménysége között szinte nincs különbség. Az aktív ultrahangnak a húsok szerkezetére gyakorolt hatását elemezve igazoltam, hogy az ultrahangos kezelés a hús állományát nagymértékben lazítja, 2 - 3-szorosára növeli a miofibrillumok közötti teret. A vizsgált intenzitás-tartományban már  $3 - 4 \text{ Wcm}^{-2}$  intenzitásnál 1,5 óra alatt jelentős rosttávolság növekedés érhető el. Az ultrahang okozta laza szerkezetnek köszönhetően egyenletesebb sóeloszlás és vízfelvétel biztosított a mintán belül.
6. A húsmintákon belüli sókoncentrációt vizsgálva bebizonyítottam, hogy  $3 \text{ Wcm}^{-2}$  intenzitású ultrahanggal már 3 órás pácolásnál jelentős mértékű, a tumblerezett hús középrétegében mért sókoncentrációt megközelítő 1,2 %-os sótartalom érhető el. Az ultrahanggal kezelt húsokban a rétegenkénti koncentrációkülönbség kiegyenlítettebb, a  $3 \text{ Wcm}^{-2}$  intenzitású, 3 órás kezelésű ultrahang alkalmazásával a húsmintán belüli sókoncentráció-különbségek szinte teljes

mértékben kiegyenlíthetők, ezért a tumbleres vagy a befecskendezéses pácolással kombinálható, és így a pácolási idő csökkenthető.

7. Az aktív ultrahanggal pácolt húsminták esetében megállapítottam, hogy az ultrahangos kezelés mintegy 100 %-ban növeli a miofibrillumok vastagságát a felvett víz duzzadó hatása által. A vizsgált intenzitás-tartományban már a 3 - 4 Wcm<sup>-2</sup> intenzitású 1,5 órás kezeléssel maximális rostvastagság növekedés tapasztalható. A lazító hatás jelentősen javítja a hús vízkötő képességét, de nem éri el a tumblerrel pácolt húsnál mért értéket. Az ultrahanggal kezelt hús a felvett vizet nagyobb arányban megtartja, tehát az ultrahangos kezelés jelentősen javítja a víztartó képességet.
8. Az üzemi körülmények között gyártott gépsonkák vizsgálata során megállapítottam, hogy a sonkák állománya az ultrahang hatására puhul, rághatóságuk javul, ami szintén igazolja az ultrahangnak az izomrostokra gyakorolt lazító, technológiailag pozitív hatását. Az ultrahangnak az izomrostokra gyakorolt lazító hatásának ellenére a termék mozaikossága megmarad. A páclé/hús arányának növelése az ultrahanggal pácolt sonkák állományában és víztartó képességében kisebb mértékű változást okoz, mint a tumblerezett sonkáknál. Az ultrahanggal pácolt sonkák kevésbé érzékenyek a hozzáadott páclé mennyiségének növelésére, tehát az ultrahangos pácolási technológia a kihozatali mutatókat javítja.

## Felhasznált irodalom

1. Abouelkaram, S., Suchorski, K., Buquet, B., Berge, P., Culioli, J., Delachartre, P., & Basset, O. (2000). Effects of muscle texture on ultrasonic measurements. *Food Chemistry*, 69, 447–455.
2. Addis, P. B., & Schanus, E. S. (1979). Massaging and tumbling in the manufacture of meat products. *Food Technology*, 33(4), 36–40.
3. Ade-Omowaye, B. I. O., Talens, P., Angersbach, A., & Knorr, D. (2003). Kinetics of osmotic dehydration of red bell peppers as influenced by pulsed electric field pre-treatment. *Food Research International*, 36, 475–483.
4. Alissandrakis, E., Daferera, D., Tarantilis, P. A., Polissiou, M., & Harizanis, P. C. (2003). Ultrasound-assisted extraction of volatile compounds from citrus flowers and citrus honey. *Food Chemistry*, 82, 575–582.
5. Alliger, H., (1975). Ultrasonic disruption. *American Laboratory* 10, 75-85.
6. Asghar, A., Samejima, K., & Yasui, T. (1985). Functionality of muscle proteins in gelation mechanisms of structured meat products. *CRC Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 22, 27–106.
7. Atchley, A. A., Crump, L. A. (1988). Acoustic Cavitation and Bubble Dynamics. In.: Suslick, S. K.: *ultrasound, Its Chemical, Physical and Biological Effects*. VCH Verlagsgesellschaft mbH, Weinheim, pp. 1-63.
8. Banks, W. T., Wang, C., & Brewer, M. S. (1998). Sodium lactate/sodium tripolyphosphate combination effects on aerobic plate counts, pH and color of fresh pork longissimus muscle. *Meat Science*, 50(4), 499–504.
9. Barat, J. M., Grau, R., Ibáñez, J. B., Pagan-Moreno, M. J., Flores, M., Toldrá, F., and Fito, P. (2006). Accelerated processing of dry-cured ham. Part I. Viability of the use of brine thawing/salting operation. *Meat Science*, 72 (4), 757-765.
10. Barbut, S., & Findlay, C. (1991). Influence of sodium, potassium and magnesium chloride on thermal properties of beef muscle. *Journal of Food Science*, 56, 180–182.
11. Batista, I., Vidal, I., Lourencio, H. M., Sousana, I., & Nunes, M. L. (1999). Tenderisation of the dog cockle (*Glycymeris glycymeris*) meat by polyphosphates. *European Food Research Technology*, 210, 31–33.
12. Bechar, A., Mizrach, A., Barreiro, P., Landahl, S. (2005). Determination of Mealiness in Apples using Ultrasonic Measurements. *Biosystems Engineering* (2005) 91 (3), 329-334.

13. Bendall, J.R., (1973). In: Bourue (Ed.), *The Structure and Function of Muscle*, Academic Press, pp. 243-309.
14. Benedito, J., Carcel, J. A., Rossello, C., & Mulet, A. (2001). Composition assessment of raw meat mixtures using ultrasonics. *Meat Science*, 57(4), 365–370.
15. Bérces György, Tasnádi Péter, Skrapits Lajos (2003). *A fizika alapjai*. Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, p. 18.
16. Berge, P., Ertbjerg, P., Larsen, L. M., Astruc, T., Vignon, X., & Moller, A. J. (2001). Tenderization of beef by lactic acid injected at different times post mortem. *Meat Science*, 57(4), 347–357.
17. Berlan, J., & Mason, T. J. (1996). Dosimetry for power ultrasound and sonochemistry. In T. J. Mason (Ed.). *Advances in Sonochemistry* (Vol. 4, pp. 1–73). London: JAI Press Inc.
18. Bert E. Verlinden, Veerle De Smedt, Bart M. Nicolai (2004) Evaluation of ultrasonic wave propagation to measure chilling injury in tomatoes. *Postharvest Biology and Technology* 32, 109-113.
19. Bezzubov, A. D., Garlinszkaja, E. I., Fridman, V. M. (1967). Ultrahang felhasználása az élelmiszeriparban, *Műszaki Könyvkiadó, Budapest* p. 9-47, 116-119.
20. Binder, T. D., Montgomery, R. E., Bagley, C. P., & McMillin, K. W. (1985). Influence of electrical stimulation, blade tenderization and postmortem vacuum aging upon the acceptability of beef finished on forage or grain. *Journal of Animal Science*, 61, 584–589.
21. Borisova, M. A. und Oreshkin, F. E. (1992), On water conditions in pork meat. *Meat Science* 31, 257-265.
22. Branscheid, W., Dobrowolski, A. und Horeth, R., (1997). Bestimmung der Handelsklassen und des Handelswertes von Schweinehälften mit dem Gerät Autofom. *Fleischwirtschaft* Vol. 77., No. 7., pp. 954-968.
23. Brøndum, J., Egebo, M., Agerskov, C., & Busk, H. (1988). On-line pork carcass grading with the Autofom ultrasound system. *Journal of Animal Science*, 76, 1859-1868.
24. Brown, B., Goodman, J.E., (1971). *Ultrasons de Haute Intensité Applications Industrielles*. Ed. Dunod, Paris.
25. Budó, Á., Póczy, J. (1962). *Kísérleti Fizika*. Tankönyvkiadó, Budapest, p. 319, 361.
26. Cacace, J. E., & Mazza, G. (2003). Mass transfer process during extraction of phenolic compounds from milled berries. *Journal of Food Engineering*, 59, 379–389.

27. Capita, R., Alonso-Calleja, C., Sierra, M., & Moreno, B. (2000). Effect of trisodium phosphate solutions washing on poultry meat. *Meat Science*, 55, 471–474.
28. Cárcel, J. A., Benedito, J., Bon, J., Mulet, A. (2007). High intensity ultrasound effects on meat brining. *Meat Science* 76 (2007) 611–619.
29. Cárcel, J. A., Benedito, J., Golás, Y., Niñoles, L., & Mulet, A., (2004). Heat and mass transfer in high-power ultrasonics. In: *Proceedings of the Second Innovative Foods Centre Conference*, Sydney, Australia.
30. Cárcel, J. A., Benedito, J., Rosselló, C., & Mulet, A. (2007). Influence of ultrasound intensity on mass transfer in apple immersed in a sucrose solution. *Journal of Food Engineering*, 78, 472–476.
31. Cassidy, R. D., Ockerman, H. W., Krol, B., Von Roon, P. S., Plimpton, R. F., & Cahill, V. R. (1978). Effect of tumbling method, phosphate level, and final cook temperature on the histological characteristic of tumbled porcine muscle tissue. *Journal of Food Science*, 43, 1514–1518.
32. Cavitt, L. C., Youm, D. W., Meullenet, J. F., Owens, C. M., and Xiong, R. (2004) Prediction of poultry Meat Tenderness Using Razor Blade Shear, Allo- Kramer Shear, and Sarcomere Length. *Journal of Food Science*, 2004 Nr. 1, Vol. 69. 11-15.
33. Chambaz, A., Dufey, P.-A., Kreuzer, M., Gresham, J., 2002. Sources of variation influencing the use of real-time ultrasound to predict intramuscular fat in live beef cattle. *Can. J. Anim. Sci.* 82, 133-139.
34. Chanamai, R., & McClements, D. J. (1999). Ultrasonic determination of chicken composition. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 47, 4686–4692.
35. Cheftel, J. C., & Culioli, J. (1997). Effects of high pressure on meat: a review. *Meat Science*, 46(3), 211–236.
36. Cheng, Q., Sun, D. W. (2007) Effect of cooking bag and netting packaging on the quality of pork ham during water cooking. *Meat Science* 75 (2007) 243-247.
37. Cheng, Q., Sun, D. W., Scannell, A. G. M. (2005) Feasibility of water cooking pork ham processing as compared with traditional dry and wet air cooking methods. *Journal of Food Engineering* 67 (2005) 427-433.

38. Chiralt, A., Fito, P., Barat, J. M., Andrés, A., González-Martínez, C., Escriche, I., Camacho, M. M. (2001). Use of vacuum impregnation in food salting process. *Journal of Food Engineering*, Oxford, v. 49, p. 141-151, 2001.
39. Claus, J. R., Hunt, M. C., Kastner, C. L., & Kropf, D. H. (1990). Low-fat high-added water bologna: effect of massaging, preblending, and time of addition of water and fat on physical and sensory characteristics. *Journal of Food Science*, 55, 338–341, 345.
40. Coupland, J. N. (2004). Low intensity ultrasound. *Food Research International*, 37(6), 537–543.
41. Cross, H. R., & Belk, K. E. (1994). Objective measurements of carcass and meat quality. *Meat Science*, 36, 191–202.
42. Crum, L. A. (1994). Sonoluminescence. *Phys Today* 1994; Vol 47., pp.22-29.
43. Da Mota, V. M., & Palau, E. (1999). Acoustic drying of onion. *Drying Technology*, 17(4–5), 855–867.
44. De Smedt V (2000). Measurement and modeling of mealiness in apples. PhD Thesis, Katholieke University of Leuven, Belgium
45. Deumier, F., Trystram, G., Collignan, A., Guedider, L., & Bohuon, P. (2003). Pulsed vacuum brining of poultry meat: interpretation of mass transfer mechanisms. *Journal of Food Engineering*, 58(1), 85–93.
46. Devitt, C. J. B., Wilton, J W., Mandell, I. B., Fernandes, T. L., Miller, S. P., (2001). Genetic correlation estimates between ultrasound measurements on yearling bulls and carcass measurements on finished steers. *J. Anim. Sci.* 79, 2790-2797.
47. Dickens, J. A., Lyon, C. E., & Wilson, R. L. (1991). Effect of ultrasonic radiation on some physical characteristics of broiler breast muscle and cooked meat. *Poultry Science*, 70(2), 389–396.
48. Djelveh, G., & Gros, J. B. (1988). Measurement of effective diffusivities of ionic and non-ionic solutes through beef and pork muscles using a diffusion cell. *Meat Science*, 23, 11–20.
49. Dolatowski, Z. J. (1988). Ultrasonics. 2- influence of ultrasonics on the ultrastructure of muscle tissue during curing. *Fleischwirtschaft* 68, 1301±1303.
50. Dolatowski, Z. J. (1989). Ultraschall. 3. Einfluss von Ultraschall auf die Produktionstechnologie und Qualität von Kochschinken. *Die Fleischwirtschaft*, 69(1), 106–111.

51. Dolatowski, Z. J. und Twarda, J. (2004). Einfluss von Ultraschall auf das Wasserverbindungsvermögen von Rindfleisch. *Fleischforschung und Entwicklung*, 2004/12, pp. 95-99.
52. Duiheneuf, T. M., Gibbs, S. J., Hall, L. D., (1997). Measurement of the inter-diffusion ions during pork brining by one-dimensional Na-23 magnetic resonance imaging (MRI). *Journal of Food Engineering*, Oxford, v. 31, n. 4, p. 457-471.
53. Dussap, C. G., & Gros, J. B. (1980). Diffusion-sorption model for the penetration of salt in pork and beef muscle. In P. Linko, Y. Malkii, J. Olkku, & J. Larinkari (Eds.). *Food process engineering* (vol. I, pp. 407). London: Elsevier Applied Science.
54. Dziezak, J. D. (1990). Phosphates improve many foods. *Food Technology*, 44(4), 80–82, 85–86, 89, 92.
55. EC-Regulation, No. 2967/85. (1985). Laying down detailed rules for the application of the Community scale for grading pig carcasses, amended by Regulation (EC) No. 3127/94, 1994
56. Eggert, J. M., Depreux, F. F. S., Schinckel, A. P., Grant, A. L., & Gerrard, D. E. (2002). Myosin heavy chain isoforms account for variation in pork quality. *Meat Science*, 61(2), 117–126.
57. Eilers, J. D., Morgan, J. B., Martin, A. M., Miller, R. K., Hale, D. S., Acuff, G. R., et al. (1994). Evaluation of calcium chloride and lactic acid injection on chemical, microbiological and descriptive attributes of mature cow beef. *Meat Science*, 38(3), 443–451.
58. Eilert, S. J., Mandigo, R. W. (1995). Use of phosphates and salt to improve lean meat water retention in high-moisture preblends. In 41st International Congress of Meat Science & Technology, San Antonio, USA, 454-455.
59. Faustman, C., & Cassens, R. G. (1990). The biological basis for discoloration in fresh meat. A review. *Journal of Muscle Foods*, 1, 217–243.
60. Fernandez, X., Monin, G., Talmant, A., Mourot, J., & Lebret, B. (1999a). Influence of intramuscular fat content on the quality of pig meat – 1. Composition of the lipid fraction and sensory characteristics of *M. longissimus lumborum*. *Meat Science*, 53(1), 59–65.
61. Fernandez, X., Monin, G., Talmant, A., Mourot, J., & Lebret, B. (1999b). Influence of intramuscular fat content on the quality of pig meat – 2. Consumer acceptability of *M. longissimus lumborum*. *Meat Science*, 53(1), 67–72.
62. Findlay, C. J., Stanley, D. W., & Gullett, E. A. (1986). Thermomechanical properties of beef muscle. *Meat Science*, 22, 57–70.



63. Fisher, A. V. (1997). A review of the technique of estimating the composition of livestock using the velocity of ultrasound. *Computers and Electronics in Agriculture*, 17(2), 217–231.
64. Flores, H. A., Kastner, C. L., Kropf, D. H., & Hunt, M. C. (1986). Effects of blade tenderization and trimming of connective tissue on hot-boned, restructured, pre-cooked roasts from cows. *Journal of Food Science*, 51, 1176–1179.
65. Floros, J., & Liang, H. (1994). Acoustically assisted diffusion through membranes and biomaterials. *Food Technology* (December), 79–84.
66. Flynn, H. G. (1964). In *Physical Acoustics*, Vol. 1B, ed., Mason, W. P. Academic Press, New York, pp 57-172.
67. Fox, J. B. (1980). Diffusion of chloride, nitrite and nitrate in beef and pork. *Journal of Food Science*, 45, 1740–1744.
68. Freese, M., & Makow, D. (1968). High-frequency ultrasonic properties of freshwater fish tissue. *Journal of the Acoustical Society of America*, 44, 1282–1289.
69. Fry, F. J. (1978). *Ultrasound: Its Application in Medicine and Biology*. Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam-Oxford-New York
70. Gallego-Juárez, J. A., Rodríguez-Corral, G., Gálvez-Moraleda, J. C., & Yang, T. S. (1999). A new high-intensity ultrasonic technology for food dehydration. *Drying Technology*, 17(3), 597–608.
71. Ghaedian, R., Coupland, J. N., Decker, E. A., & McClements, D. J. (1998). Ultrasound determination of fish composition. *Journal of Food Engineering*, 35, 323–337.
72. Ghaedian, R., Decker, E. A., & McClements, D. J. (1997). Use of ultrasound to determine cod fillet composition. *Journal of Food Science*, 62, 500–504.
73. Gillett, T. A., Cassidy, R. D., & Simon, S. (1981). Effect of continuous massaging on bind, yield, and color of hams. *Journal of Food Science*, 46, 1681–1683.
74. Gillett, T. A., Cassidy, R. D., & Simon, S. (1982). Ham massaging. Effect of massaging cycle, environmental temperature and pump level on yield, bind, and color of intermittently massaged hams. *Journal of Food Science*, 47, 1083–1088 1095.
75. Gisbert, M. (2001). Process variables influence on the physico-chemical and biochemical evolution of dry cured loin. Ph.D. Thesis. Universidad Politécnica de Valencia. Valencia, Spain.

76. Got, F., Culioli, J., Berge, P., Vignon, X., Astruc, T., Quideau, J. M., et al. (1999). Effects of high-intensity high-frequency ultrasound on ageing rate, ultrastructure and some physico-chemical properties of beef. *Meat Science*, 51(1), 35–42.
77. Gou, P., Comaposada, J., & Arnau, J. (2003). NaCl content and temperature effects on moisture diffusivity in the Gluteus medius muscle of pork ham. *Meat Science*, 63, 29–34.
78. Gökalp, Y. H., Zorba, Ö, & Kaya, M. (1999). Et ürünleri işleme. Atatürk Üniversitesi yayınları, Erzurum, pp. 125–133.
79. Graiver, N., Pinotti, A., Califano, A., Zaritzky, N. (2006) Diffuzion of sodium chloride in pork tissue. *Journal of Food Engineering* 77 (2006) 910-918.
80. Grau, R., und Hamm, R. (1953). Eine einfache Methode zur Bestimmung der Wasserbindung im Muskel. *Naturwiss.* 40, 29-30.
81. Gros, J. B., Dussap, C. G., & González-Méndez, N. (1984). Engineering Sciences in the Food Industry. In B. M. McKenna (Ed.). *Engineering and food* (vol. 1, pp. 287–322). London: Elsevier Applied Science.
82. Gujral, H. S., Kaur, A., Singh, N., Sodhi, N. S. (2002). Effect of liquid whole egg, fat and textured soy protein on the textural and cooking properties of raw and baked patties from goat meat. *Journal of Food Engineering* 53 (2002) 377–385.
83. Györi, E., Fekete, A., Kerti, K., Seregély, Zs., and Szentgyörgyi, Á. (1997). Ultrasonic propagation in damaged fruit tissues. IFAC/ISHS/CIGR/EUROGENG 2<sup>nd</sup> International Workshop on Control Application in Postharvest and Processing Technology, pp. 345.
84. Hamdami, N., Monteau, J. Y., & Le Bail, A. (2004). Transport properties of a high porosity model food at above and sub-freezing temperatures. Part II: Evaluation of the effective moisture diffusivity from drying data. *Journal of Food Engineering*, 62, 385–392.
85. Hand, L. W., Mandigo, R. W., & Calkins, C. R. (1992). The effects of preblending time on physical and textural properties of coarse sausages. *Meat Science*, 31, 13–24.
86. Harkányi, Z. (1988). *Ultrahang diagnosztika*; MTA, Budapest, p.38.
87. Hassen, A., Wilson, D. E., Amin, V. R., Rouse, G. H., (1999). Repeatability of ultrasound-predicted percentage of intramuscular fat in feedlot cattle. *J. Anim. Sci.* 77, 1335-1340.
88. Hassen, A., Wilson, D. E., Rouse, G. H., (2003). Estimation of genetic parameters for ultrasound-predicted percentage of intramuscular fat in Angus cattle using random regression models. *J. Anim. Sci.* 81, 35-45.

89. Haydock, D., & Yeomans, J. M. (2003). Acoustic enhancement of diffusion in a porous material. *Ultrasonics*, 41, 531–538.
90. Hayward, L. H., Hunt, M. C., Kastner, C. L., & Kropf, D. H. (1980). Blade tenderization effects on beef longissimus sensory and Instron textural measurements. *Journal of Food Science*, 45(4), 925–930, 935.
91. Herring, W. O., Kriese, L. A., Bertrand, J. K., Crouch, J., (1998). Comparison of four real-time ultrasound systems that predict intramuscular fat in beef cattle. *J. Anim. Sci.* 76, 364-370.
92. Honikel, K. O. (1998) Reference methods for the assessment of physical characteristics of meat. *Meat Science*, 51(1), 35-42.
93. Hsu, S. Y., & Chung, H. Y. (2001). Effects of j-carregenan, salt, phosphate and fat on qualities of low fat emulsified meatballs. *Journal of Food Engineering*, 47, 115–121.
94. Hsu, S. Y., & Yu, S. H. (1999). Effects of phosphate, water, fat and salt on qualities of low-fat emulsified meatball. *Journal of Food Engineering*, 39, 123–130.
95. Hwang, I. H., Devine, C. E., & Hopkins, D. L. (2003). The biochemical and physical effects of electrical stimulation on beef and sheep meat tenderness. *Meat Science*, 65(2), 677–691.
96. Jang, J. D. & Lee, D. S. (2005). Development of sous-vide packaging process for Korean seasoned beef. *Food Controll* 16 (2005) 285-291
97. Javorszkij B. M., Detlaf A. A. (1974) *Fizikai zsebkönyv – Műszaki Könyvkiadó, Budapest*, p. 1033.
98. Jayasooriya, S. D., Bhandari, B. R., Torley, P., & D’Arcy, B. R. (2004). Effect of high power ultrasound waves on properties of meat: a review. *International Journal of Food Properties*, 7(2), 301–319.
99. Jayasooriya, S. D., Torley, P. J., D’Arcy, B. R., Bhandari, B. R. (2007). Effect of high power ultrasound and ageing on the physical properties of bovine Semitendinosus and Longissimus muscles. *Meat Science* 75 (2007) 628-639.
100. Jenderka, K.V., Gärtner, T., Zacharias, M., Heynemann, H., & Cobet, U. (1999). System independent tissue typing of human testis and prostate. In *Proceedings of the 1999 IEEE ultrasonics symposium, Lake Tahoe, Nevada, USA*.
101. Jeremiah, L. E., Gibson, L. L., & Cunningham, B. (1999). The influence of mechanical tenderization on the palatability of certain bovine muscles. *Food Research International*, 32, 585–591.

102. Juodeikiente, G., Schleining, G., Kunigelis, V., & Adomaitis, V. (1994). Theoretical and experimental investigated correlation between acoustic and structural properties of crackers. *Ernaehrung*, 18(5), 235–237.
103. Katikou, P. (1998). The distribution of lipids in the fillets of farmed Atlantic salmon (*Salmo salar*): Determination by means of a rapid extraction method. Master's Thesis, University of Bristol, UK.
104. Kijowski, J. M., & Mast, M. G. E. (1988). Effect of sodium chloride and phosphates on the thermal properties of chicken meat proteins. *Journal of Food Science*, 53(2), 367–370, 387.
105. Kim, N., Amin, D. E., Wilson, D., & Rouse, G. H. (1996). Application of newer signal and image processing techniques for ultrasound beef quality evaluation research. A. S. Lea. et, R1331.
106. Kim, S. M., & Zayas, J. K. (1991). Effects of ultrasound treatment on the properties of chymosin. *Journal of Food Science*, 56(4), 926–930.
107. Kimbaris, A. C., Siatis, N. G., Daferera, D. J., Tarantilis, P. A., Pappas, C. S., & Polissiou, M. G. (2006). Comparison of distillation and ultrasound-assisted extraction methods for the isolation of sensitive aroma compounds from garlic (*Allium sativum*). *Ultrasonics Sonochemistry*, 13, 54–60.
108. Kinsman, D. M., Kotula, A. W., & Breidenstein, B. C. (1994). *Muscle foods*. New York: Chapman & Hall.
109. Kipfmüller, H., Bodis, K., Peschke, W., & Eichinger, H. M. (2000). Qualität von Schweinefleisch. Beeinflussung durch das intramuskuläre Fett. *Ernährungsumschau*, 47(11), 416–422.
110. Knorr, D., Zenker, M., Heinz, V., & Lee, D. (2004). Applications and potential of ultrasonics in food processing. *Trends in Food Science & Technology*, 15, 261–266.
111. Koohmaraie, M. (1994). Muscle proteinases and meat aging. *Meat Science*, 36(1–2), 93–104.
112. Koohmaraie, M. (1996). Biochemical factors regulating the toughening and tenderization processes of meat. *Meat Science*, 43(Supplement 1), S193–S201.
113. Körmendy, L. (1991). A pácolásnál játszódó fizikai folyamatok. II. Húsipari Továbbképző Napok, Pácolt termékek gyártásának elmélete és gyakorlata, I. kötet. p. 78-84.,
114. Körmendy, L. und Gartner, Gy. (1958). Zur Technologie des Pökeln in der Fleischindustrie. *Z. Lebensmittel Unt. Forschung*, 107, 313.

115. Krause, R. J., Ockerman, H. W., Krol, B., Moerman, P. C., & Plimpton, R. F. (1978). Influence of tumbling, tumbling time, trim and sodium tripolyphosphate on quality and yield of cured hams. *Journal of Food Science*, 43, 853–855.
116. Krause, R. J., Plimpton, R. F., Ockerman, H. W., & Cahill, V. R. (1978a). Influence of tumbling and sodium tripolyphosphate and salt and nitrite distribution in porcine muscle. *Journal of Food Science*, 43, 190–192.
117. Kundu, T. (2004). *Ultrasonic nondestructive evaluation – engineering and biological material characterization*. Boca Raton: CRC Press.
118. Kuttruff, H. (1991). *Ultrasonics Fundamentals and Applications*. Elsevier Applied Science, London and New York.
119. Lampila, L. E. (1992). Functions and uses of phosphates in the seafood industry. *Journal of Aquatic Food Product Technology*, 1(3/4), 29–41.
120. Lawrence, T. E., Dikeman, M. E., Hunt, M. G., Kastner, G. L., & Johnson, D. E. (2004). Effects of enhancing beef longissimus with phosphate plus salt, or calcium lactate plus non-phosphate water binders plus rosemary extract. *Meat Science*, 67(1), 129–137.
121. Lawrie, R. A. (1998). *Lawrie's meat science*. Cambridge, UK: Technomic Press.
122. Lee, H., Luan, H., & Daut, D. G. (1992). Use of an ultrasonic technique to evaluate the rheological properties of cheese and dough. *Journal of Food Engineering*, 16, 127–150.
123. Lee, J. B., Hendricks, D. G., & Cornforth, D. P. (1998). Effect of sodium phytate, sodium pyrophosphate and sodium tripolyphosphate on physico-chemical characteristics of restructured beef. *Meat Science*, 50(3), 273–283.
124. Lemos, A. L. S. C., Nunes, D. R. M., & Viana, A. G. (1999). Optimization of still-marinating process of chicken parts. *Meat Science*, 52, 227–234.
125. Lenart, I., & Ausländer, D. (1980). The effect of ultrasound on diffusion through membranes. *Ultrasonics* (September), 216–218.
126. Lin, S., & Zhang, F. (2000). Measurement of ultrasonic power and electroacoustic efficiency of high power transducers. *Ultrasonics*, 37, 549–554.
127. Llull, P., Simal, S., Femenia, A., Benedito, J., Rosselló, C., (2002). The use of ultrasound velocity measurement to evaluate the textural properties of sobrassada from Mallorca. *Journal of Food Engineering* 52 (2002) 323–330.

128. Lopes Filho, J. F., Romanelli, P. F., Barboza, S. H. R., Gabas, A. L., Telis-Romero, J. (2002). Sorption isotherms of alligator's meat (*caiman crocodilus yacare*). *Journal of Food Engineering*, Oxford, v. 52, p. 201-206.
129. Loucks, L. J., Ray, E. E., Berry, B. W., Leighton, E. A., & Bray, D. G. (1984). Effects of mechanical tenderization and cooking treatments upon product attributes of pre- and post-rigor beef roasts. *Journal of Animal Science*, 58, 626–630.
130. Lőrincz, A. (2006). Az aktív ultrahang alkalmazása napjainkban, Mosonmagyaróvár p. 19.
131. Lu, M. F., Chung, Ch. F. (1996). Ultrasonic measurement of radish properties. *AgEng. Paper Madrid*, 96F-002.
132. Lyng, J. G., Allen, P., & McKenna, B. M. (1997). The influence of high intensity ultrasound baths on aspects of beef tenderness. *Journal of Muscle Foods*, 8 (3), 237–249.
133. Lyng, J. G., Allen, P., & McKenna, B. (1998a). The effects of pre- and post-rigor high-intensity ultrasound treatment on aspects of lamb tenderness. *Lebensmittel Wissenschaft und Technologie*, 31(4), 334–338.
134. Lyng, J. G., Allen, P., & McKenna, B.M. (1998b). The effect on aspects of beef tenderness of pre- and post-rigor exposure to a high intensity ultrasound probe. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 78 (3), 308–314.
135. Lyon, M., Kastner, C. L., Dikeman, M. E., Hunt, M. C., Kropf, D. H., & Schwenke, J. R. (1983). Effects of electrical stimulation, aging, and blade tenderization on hot-boned beef Psoas major and Triceps brachii muscles. *Journal of Food Science*, 48, 131–135.
136. Mandigo, R. W., & Olson, D. G. (1982). Effect of blade size for mechanically tenderizing beef rounds. *Journal of Food Science*, 47, 2095–2096.
137. Martin, F. F., Cofrades, S., Carballo, J., & Jiménez-Colmenero, F. (2002). Salt and phosphate effects on the gelling process of pressure/heat treated pork batters. *Meat Science*, 61, 15–23.
138. Mason, T. J., & Lorimer, J. P. (2002). *Applied sonochemistry. The uses of power ultrasound in chemistry and processing*. Weinheim: Wiley- VCH.
139. Mason, T. J., Paniwnyk, L., & Lorimer, J. P. (1996). The uses of ultrasound in food technology. *Ultrasonics Sonochemistry*, 3 (3), S253–S260.
140. McClements, D. J. (1994). Ultrasonic NDT of foods and drinks. In W. J. McGonnagle (Ed.), *International Advances in Nondestructive Testing* (vol. 17). Switzerland: Gordon and Breach Science.

141. McClements, D. J. (1995). Advances in the application of ultrasound and food analysis and processing. *Trend in Food Science and Technology* (9), 293–299.
142. McClements, D. J. (1997). Ultrasonic characterization of food and drinks: principles, methods and applications. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 37(1), 1–46.
143. McClements, D. J., & Povey, M. J. W. (1992). Ultrasonic analysis of edible fats and oils. *Ultrasonics*, 30, 383–388.
144. McNaughton, J.L., Mortimer, C.T.(1975):Differential Scanning Calorimetry. In: *Physical Chemistry Series Vol. 10*, Butterworths, London, UK (1975), pp. 1–43.
145. Medina-Vivanco, M., Sorbal, P. J. A., Hubinger, M. D. (1998). Mass transfer during dewatering and salting of tilapia for different volume brine to fillets ratios. In: *International Drying Symposium*, 11., 1998, Halkidiki. Proceedings... Thessaloniki: Ziti Publishing, 1998. v. A, p. 852-859.
146. Medina-Vivanco, M., Sorbal, P. J. A., Hubinger, M. D. (2002). Osmotic dehydration of talpia (ilapia) fillets in limited volume of ternary solutions. *Chemical Engineering Journal*, Oxford, v. 86, p. 199-205.
147. Mellor, J. D. (1978). *Fundamentals of freeze-Drying*. Academic Press, London, pp. 94-105.
148. Micklander, E., Bertram, C. H., Marnø, H., Bak, S. L., Andersen, J. H., Engelsen, B. S., Nørgaard, L., (2005). Early post mortem discrimination of water-holding capacity in pig longissimus muscle using new ultrasound method. *LWT* 38 (2005) 437-445.
149. Miles, C. A., & Fursey, G. A. (1977). Measurement of the fat content of meat using ultrasonic waves. *Food Chemistry*, 2, 107–118.
150. Miles, C. A., Fursey, G. A. J., Fisher, A. V., & Page, S. J. (1991). Estimation of lamb carcass composition from measurements of the speed of sound of ultrasound in the soft tissues of live animals and carcasses. *Meat Science*, 30, 245–256.
151. Miller, D. L. (1987). A review of the ultrasonic bioeffectiveness of microsonation, gas-body activation, and related cavitation-like phenomena. *Ultrasound Med. Biol.*, Vol. 13, pp. 443-470.
152. Mizrach A; Flitsanov U (1999). Nondestructive ultrasonic determination of avocado softening process. *Journal of Food Engineering*, 40, 139–144
153. Mizrach, A., Flitsanov, U., & Fuchs, Y. (1997). An ultrasonic nondestructive method for measuring maturity of mango fruit. *American Society of Agricultural Engineers*, 40(4), 1107–1111.

154. Mizrach, A., Flitsanov, U., Aerman, M., Zauberman, G., (2000). Monitoring avocado softening in low temperature storage using ultrasonic measurements. *Comput. Electron Agric.* 26 (2), 199-207.
155. Mizrach, A., Galili, N., Gan-Mor, S., Flitsanov, U., Prigozin, L., (1996). Model of ultrasonic parameters to assess avocado properties and shelf life. *Agric. Eng. Res.* 65, 261-267.
156. Mizrach, A., Galili, N., Rosenhouse, G., (1989). Determination of fruit and vegetable properties by ultrasonic excitation. *Trans. ASAE* 32, 2053-2058.
157. Mizrach, A., Galili, N., Rosenhouse, G., (1994). Method and a system for nondestructive determination of quality parameters in fresh produce. Isreal patent no. 109406. USA patent no. 5,589209 (December 31, 1996). French patent application no. 95 04869 (April 24, 1995).
158. Moiseev, I. V., & Cornforth, D. P. (1996). Sodium hydroxide and sodium tripolyphosphate effects on bind strength and sensory characteristics of restructured beef rolls. *Meat Science*, 45(1), 53–60.
159. Morrissey, P., Mulvihill, D., & O'Neill, E. (1987). Functional properties of muscle proteins. In B. J. F. Hudson (Ed.), *Developments in food proteins-5* London and New York: Elsevier. (pp. 195–256).
160. Morrissey, P. A., & Fox, P. F. (1981). Tenderisation of meat: a review. *Irish Journal of Food Science and Technology*, 5(1), 33–47.
161. Motycka, R. R., & Bechtel, P. J. (1983). Influence of pre-rigor processing, mechanical tenderization, tumbling method and processing time on the quality and yield of ham. *Journal of Food Science*, 48, 1532–1536.
162. Mu, D., Huang, Y. W., Gates, K. W., & Wu, W. H. (1997). Effect of trisodium phosphate on *Listeria monocytogenes* attached to rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) and shrimp (*Penaeus* spp.) during refrigerated storage. *Journal of Food Safety*, 17, 37–46.
163. Mulet, A., Bénédicto, J., Bon, J., & Rosselló, C. (1999). Ultrasonic velocity in cheddar cheese as affected by temperature. *Journal of Food Science*, 64(6), 1038–1041.
164. Mulet, A., Carcel, J. A., Bénédicto, J., Roselló, C., and Simal, S. (2003). Ultrasonic mass transfer enhancement in food processing. In J. Welti-Chanes, J. Véllez-Ruíz and G. Barbosa-Cánovas, Boca Raton: CRC Press *Transport Phenomena in Food Processing*, pp. 265-277.
165. Mulet, A., Carcel, J. A., Sanjuán, N., & Bon, J. (2003). New food drying technologies. Use of ultrasound. *Food Science and Technology International*, 9(3), 215–221.



166. Muralidhara, H. S., Ensminger, D., & Putnam, A. (1985). Acoustic dewatering and drying (low and high frequency): State of the art review. *Drying Technology*, 3(4), 529–566.
167. Nielsen, M., & Martens, H. J. (1997). Low frequency ultrasonics for texture measurements in cooked carrots. *Transactions of the ASAE*, 40(6), 1741–1748.
168. Offer, G. (1991). Modelling of the formation of pale, soft and exudative meat: effect of chilling regime and rate and extent of glycolysis. *Meat Science*, 30 (2), 157-184.
169. Offer, G., & Knight, P. (1988a). In: *Development in meat science* (fourth ed., pp. 63). London: Elsevier.
170. Offer, G., & Trinick, J. (1983). On the mechanism of water holding in meat: the swelling and shrinking of myofibrils. *Meat Science*, 8, 245–281.
171. Offer, G., Knight, P., Jeacocke, R. Almond, R., Cousins, T., Elsey, J., Parsons, N., Sharp, N., Starr, R., & Purslow, P. (1989). The structural basis of water-holding, appearance and toughness of meat and meat products, *Food microstruct* 8, 151-170.
172. Olkiewicz, M., Senik, J., & Tyszkiewicz, I. (1995). Pork meat tumbling. Binding ability of exudate. In 41st international Congress of Meat Science and Technology, San Antonio, USA, p. 491.
173. Paleari, M. A., Beretta, G., Colombo, F., Foschini, S., Bertolo, G., Camisasca, S. (2000). Buffalo meat as a salted and cured product. *Meat Science*, Oxford, v. 54, p. 365-367.
174. Park, B. S., Wittaker, A. D., Miller, R. K., & Hale, D. S. (1994). Predicting intramuscular fat in beef longissimus muscle from speed of sound. *Journal of Animal Science*, 72, 109–116.
175. Park, B. S., Whittaker, A. D., Miller, R. K., & Bray, D. E. (1994). Measuring intramuscular fat in beef with ultrasonic frequency analysis. *Journal of Animal Science*, 72, 117–125.
176. Paulsen, P., Hagen, U., & Bauer, F. (2001). Physical and chemical changes of pork loin. Ultrasonic curing compared to conventional pickle curing. *Fleischwirtschaft*, 81(12), 91–93.
177. Pietrasik, Z., Shand, P. J. (2003). The effect of quality and timing of brine addition on water binding and textural characteristics of cooked beef rolls. *Meat Science* 65 (2003) 771-778.
178. Pohlman, F. W., Dikeman, M. E., & Kropf, D. H. (1997a). Effects of high intensity ultrasound treatment, storage time and cooking method on shear, sensory, instrumental color and cooking properties of packaged and unpackaged beef pectoralis muscle. *Meat Science*, 46(1), 89–100.

179. Pohlman, F. W., Dikeman, M. E., & Zayas, J. F. (1997b). The effect of low-intensity ultrasound treatment on shear properties, color stability and shelf life of vacuum packaged beef semitendinosus and biceps femoris muscles. *Meat Science*, 45(3), 329–337.
180. Pohlman, F. W., Dikeman, M. E., Zayas, J. F., & Unruh, J. A. (1997c). Effects of ultrasound and convection cooking to different end point temperatures on cooking characteristics, shear force and sensory properties, composition, and microscopic morphology of beef longissimus and pectoralis muscles. *Journal of Animal Science*, 75(2), 386–401.
181. Pohlman, F. W., Stivarius, M. R., McElyea, K. S., & Waldroup, A. L. (2002). Reduction of *E. coli*, *Salmonella typhimurium*, coliforms, aerobic bacteria and improvement of ground beef color using trisodium phosphate or cetylpyridinium chloride before grinding. *Meat Science*, 60, 349–356.
182. Pohlman, F. W., Dikeman, M. E., Zayas, J. F., Unruh, J. A., Kropf, D. H., Stroda, S. (1995). Effects of ultrasound and convection cookery to different endpoint temperatures on beef longissimus and pectoralis muscle cooking and sensory properties, shear force, and microscopic morphology. 41st ICoMST, San-Antonio, USA 11, 328±329.
183. Price, J. F., & Schweigert, B. S. (1987). *The science of meat and meat products* (third ed.). USA: Food & Nutrition Press.
184. Puolanne, E. J., Ruusunen, M. H., & Vainionpää, J. I. (2001). Combined effects of NaCl and raw meat pH on water-holding in cooked sausage with and without added phosphate. *Meat Science*, 58, 1–7.
185. Quinn, J. R., Raymond, D. P., & Harwalkar, V. R. (1980). Differential scanning calorimetry of meat proteins as affected by processing treatment. *Journal of Food Science*, 45, 1146–1149.
186. Rahelic, S., Pribis, V., & Vicvic, Z. (1974). Influence of mechanical treatment of cured muscles on some characteristics of pasteurized canned pork. In *Proceedings of the 20th European meat research conference*, Dublin.
187. Raoult-Wack, A. L. (1994). Recent advances in the osmotic dehydration of foods. *Trends in Food Science and Technology*, Oxford, v. 5, p. 255-260.
188. Raso, J., Mañas, P., Pagán, R., & Sala, F. J. (1999). Influence of different factors on the output power transferred into medium by ultrasound. *Ultrasonics Sonochemistry*, 5, 157–162.

189. Reynolds, J.B., Anderson, D.B., Schmidt, G.R., Theno, D.M., Siegel, D.G. (1978). Effects of ultrasonic treatment on binding strength in cured ham rolls. *Journal of Food Science* 43, 866±869.
190. Romdhane, M., & Gourdon, C. (2002). Investigation in solid–liquid extraction: influence of ultrasound. *Chemical Engineering Journal*, 87, 11–19.
191. Roncales, P., Ceña, P., Beltran, J.A., Jaime, I., (1992). Ultrasonication of lamb skeletal muscle fibres enhances post mortem proteolysis. 38th International Congress of Meat Science and Technology, Clermont-Ferrand, France 3, 411-414.
192. Ruiz de Huidobro, F., Miguel, E., Blázquez, B., Onega, E. (2005). A comparison between two methods (Warner-Bratzler and Texture Profile Analysis) for testing either raw meat or cooked meat. *Meat Science* 69 (2005) 527-536.
193. Rust, R. E., & Olson, P. G. (1973). *Meat curing principles and modern practice*. Kansas City: Koch Supplies.
194. Ruusunen, M., Vainionpää, J., Puolanne, E., Lyly, L., Lähtenmäki, L., Niemistö, M., & Ahvenainen, R. (2003). Physical and sensory properties of low-salt phosphate—free frankfurters composed with various ingredients. *Meat Science*, 63, 9–16.
195. Sabadini, E., Carvalho, B. C., Jr., Sobral, P. J. do A., & Hubinger, M. D. (1998). Mass transfer and diffusion coefficient determination in the wet and dry salting of meat. *Drying Technology*, 16, 2095–2115.
196. Sajas, J. F., Gorbatow, W.M., (1978). Use of ultrasonics in meat technology. *Fleischwirtschaft* 6, 1009±1012.
197. Sánchez, E. S., Simal, S., Femenia, A., Benedito, J., & Rossello´ , C. (1999). Influence of ultrasound on mass transport during cheese brining. *European Food Research and Technology*, 209, 215–219.
198. Sapp, R. L., Bertrand, J. K., Pringle, T. D., Wilson, D. E., (2002). Effect of selection for ultrasound intramuscular fat percentage in Angus bulls on carcass traits of progeny. *J. Anim. Sci.* 80, 2017-2022.
199. Savell, J. W., McKeith, F. K., Murphey, C. E., Smith, G. C., & Carpenter, Z. L. (1982). Singular and combined effects of electrical stimulation, post-mortem ageing and blade tenderization on the palatability attributes of beef from young bulls. *Meat Science*, 6, 97–109.
200. Savell, J. W., Smith, G. C., & Carpenter, Z. L. (1977). Blade tenderization of four muscles from three weight-grade groups of beef. *Journal of Food Science*, 42, 866–871.

201. Scana, J. A., Delmore, R. J., Jr., Ames, R. P., Belk, K. E., Tatum, J. D., & Smith, G. C. (2000). Palatability of beef steaks marinated with solutions of calcium chloride, phosphate, and (or) beef-flavoring. *Meat Science*, 55, 397–401.
202. Schäffer, A., Rosenvold, K., Purlow P. P. and Andeersen, H. J., (2002). Physiological and structural events post mortem of importance for drip loss in pork. *Meat Science* 61, 355-366.
203. Schnett-Abraham, I, Trommer, E., Levetzow, R. (1992). Ultrasonics in sterilisation sinks. Applications of ultrasonics on equipment for cleaning and disinfection of knives at the workplace in slaughter and meat cutting plants. *Fleischwirtschaft*. Vol 72., No. 6., pp. 864-867.
204. Shackelford, S. D., Reagan, J. O., Mann, T. F., Lyon, C. E., & Miller, M. F. (1989). Effects of blade tenderization, vacuum massage time and salt level on chemical, textural and sensory characteristics of precooked chuck roasts. *Journal of Food Science*, 54, 843–845, 905.
205. Shahidi, F., & Synowiecki, J. (1997). Protein hydrolyzates from seal meat as phosphate alternatives in food processing applications. *Food Chemistry*, 60(1), 29–32.
206. Shannon, R. A., Probert- Smith, P. J., Lines, J., Mayia, F. (2004). Ultrasound velocity measurement to determine lipid content in salmon muscle; the effects of myosepta. *Food Research International* 37 (2004) 611-620
207. Shannon, R. A., Propert-Smith, P. J., Lines, J, Mayia, F. (2004). Ultrasound velocity measurement to determine lipid content in salmon muscle; the effect of myosepta. *Food Research International* 37 (2004) 611-620.
208. Sheared, P. R., Ute, G. R., Richardson, R. I., Perry, A., & Taylor, A. A. (1999). Injection of water and polyphosphate into pork to improve juiciness and tenderness after cooking. *Meat Science*, 51, 371–376.
209. Siegel, D. G., Theno, D. M., Schmidt, G. R., & Norton, H. W. (1978). Meat massaging: the effects of salt, phosphate and massaging on cooking loss, binding strength and exudate composition in sectioned and formed ham. *Journal of Food Science*, 43, 331–333.
210. Sigfusson, H., Decker, E. A., & McClements, D. J. (2001a). Ultrasonic characterization of Atlantic mackerel (*Scomber scombrus*). *Food Research International*, 34, 15–23.
211. Simal, S., Benedito, J., Sánchez, E. S., & Roselló, C. (1998). Use of ultrasound to increase mass transport rates during osmotic dehydration. *Journal of Food Engineering*, 36, 323–336.
212. Smith, N. B., Cannon, J. E., Novakofski, J. E., McKeith, F. K., & O'Brien, W. D. (1991). Tenderization of Semitendinosus muscle using high intensity ultrasound. In *Proceedings of the IEEE ultrasonics symposium, Orlando, FL, USA* (pp. 1371–1374).

213. Sofos, J. N. (1986). Use of phosphates in low-sodium meat products. *Food Technology*, 52–69.
214. Solomon, M. B., Long, J. B., & Eastridge, J. S. (1997). The hydrodyne: a new process to improve beef tenderness. *Journal of Animal Science*, 75(6), 1534–1537.
215. Sørheim, O., & Hildrum, K. I. (2002). Muscle stretching techniques for improving meat tenderness. *Trends in Food Science and Technology*, 13(4), 127–135.
216. Stabursvik, E., & Martens, H. (1980). Thermal denaturation of proteins in post rigor muscle tissue as studied by differential scanning calorimetry. *Journal of Science and Food Agriculture*, 31, 1034–1042.
217. Stabursvik, E., Fretheim, K., & Froystein, T. (1983). Myosin denaturation in pale, and exudative (PSE) porcine muscle tissue as studied by differential scanning calorimetry. *Journal of Science and Food Agriculture*, 240–244.
218. Steinhauer, J. E. (1983). Food phosphates for use in the meat, poultry and seafood industry. *Dairy and Food Sanitation*, 3(7), 244–247.
219. Sylvia, S. F., Claus, J. R., Marriott, N. G., & Eigel, W. N. (1994). Low-fat, high-moisture frankfurters: effects of temperature and water during extended mixing. *Journal of Food Science*, 59, 937–940.
220. Taiwo, K. A., Angersbach, A., & Knorr, D. (2003). Effects of pulsed electric field on quality factors and mass transfer during osmotic dehydration of apples. *Journal of Food Process Engineering*, 26(1), 31–48.
221. Tar, F. (1982). *Ultrahangfizika*. Kohó- és Gépipari Továbbképző és Módszertani Intézet, Budapest p. 23-27
222. Tarnóczy, T. (1962). *Akuszтика*. Akadémiai Kiadó, Budapest. p. 13.
223. Tarnóczy, T. (1963). *Ultrahangok*. Akadémiai Kiadó, Budapest. p. 261.
224. Tarrant, P. V. (1998). Some recent advances and future priorities in research for the meat industry. *Meat Science*, 49(Supplement 1), S1–S16.
225. Tatum, J. D., Smith, G. C., & Carpenter, Z. L. (1978). Blade tenderization of steer, cow and bull beef. *Journal of Food Science*, 43, 819–822.
226. Teixeira, M. B. F., Tobinaga, S. (1998). A diffusion model for describing water transport in round squid mantle during drying with a moisture-dependent effective diffusivity. *Journal of Food Engineering*, Oxford, v. 36, n. 2, p. 169-181, 1998.

227. Telis, V. R. N., Murari, R. C. B. D. L., & Yamashita, F. (2004). Diffusion coefficients during osmotic dehydration of tomatoes in ternary solutions. *Journal of Food Engineering*, 61(2), 253-259.
228. Tenhet, V., Finne, G., Nickelson, R., II, & Toloday, D. (1981a). Phosphorous levels in peeled and deveined shrimp treated with sodium tripolyphosphate. *Journal of Food Science*, 46, 350-356.
229. Tenhet, V., Finne, G., Nickelson, R., II, & Toloday, D. (1981b). Penetration of sodium tripolyphosphate into fresh and prefrozen peeled and deveined shrimp. *Journal of Food Science*, 46, 344-349.
230. Theno, D. M., Siegel, D. G., & Schmidt, G. R. (1977). Meat massaging technique. In *Proceedings of the meat industry research conference*, Chicago.
231. Theno, D. M., Siegel, D. G., & Schmidt, G. R. (1978b). Meat massaging: effects of salt and phosphate on the microstructure of binding junctions in sectioned and formed hams. *Journal of Food Science*, 43, 493-498.
232. Thorarinsdottir, K. A., Arason, S., Geirsdottir, M., Bogason, S., & Kristbergsson, K. (2002). Changes in myofibrillar proteins during processing of salted cod (*Gadus morhua*) as determined by electrophoresis and differential scanning calorimetry. *Food Chemistry*, 77, 377-385.
233. Trout, G. R. (1988). Techniques for measuring water-binding capacity in muscle foods- a review of methodology. *Meat Science*, 23, 235-252.
234. Trout, G. R., & Schmidt, G. R. (1984). Effect of phosphate type and concentration, salt level and method of preparation on binding in restructured beef rolls. *Journal of Food Science*, 49, 687-694.
235. Trout, G. R., & Schmidt, G. R. (1986b). Effect of phosphates on the functional properties of restructured beef rolls: the role of pH, ionic strength, and phosphate type. *Journal of Food Science*, 51, 1416-1423.
236. Tyszkiewicz, I. (1991). Nowoczesne metody mechanicznego oddziaływania na mięśnie (Modern methods of mechanical impact on muscles). *Gospodarka Mięсна*, 4, 9-11 (in Polish).
237. Tyszkiewicz, I. (1992). Zamienniki tłuszczu w przetwórstwie mięsa (Fat substitutes in meat processing). *Gospodarka Mięсна*, 11, 12-15 (in Polish).
238. Tyszkiewicz, I., & Jakubiec-Puka, A. (1995) Ultrastructure of mechanically tenderized pork muscle. *Meat Science* 41, 273-282.

239. Ünal, S. B., Erdoğan, F., Ekiz, H. I., Özdemir, Y. (2004). Experimental theory, fundamentals and mathematical evaluation of phosphate diffusion in meats. *Journal of Food Engineering* 65 (2004) 263-272.
240. Vadáné Kovács M. (1991). A pácolás alatt végbemenő biokémiai és kémiai folyamatok. II. Húsipari Továbbképző Napok, Pácolt termékek gyártásának elmélete és gyakorlata, I. kötet. p. 85-103.
241. Varnam, H., & Sutherland, C. F. (1995). *Meat and meat products: technology, chemistry and microbiology* (Vol. 3). London: Chapman & Hall.
242. Verlinder, B. E., Smedt, D. V., Nicolaï. M. B. (2004). Evaluation of ultrasonic wave propagation to measure chilling injury in tomatoes. *Postharvest Biology and Technology* 32 (2004) 109-113.
243. Vestergaard, C. (2004). Salt diffusion and salt distribution in meat curing. PhD dissertation, Biocentrum-DTU, Technical University of Denmark, Lyngby, Denmark.
244. Vestergaard, C., Lohmann Andersen B., Adler-Nissen, J. (2007). Sodium diffusion in cured pork determined by <sup>22</sup>Na radiology. *Meat Science* 1-8.
245. Volpato, G., Michielin, E. M. Z., Ferreira, S. R. S., Petrus, J. C. C. (2007). Kinetics of the diffusion of sodium chloride in chicken breast (pectoralis major) during curing. *Journal of Food Engineering* 79 (2007) 779–785.
246. Walstra, P., & Merkus, G. S. M. (1996). Procedure for assessment of the lean meat percentage as a consequence of the new EU reference dissection method in pig carcass classification. Report ID-DLO 96014. DLO-Institute for Animal Science and Health éd. Lelystad, The Netherlands. p. 22.
247. Wang, D., Tang, J., & Correia, L. (2000). Salt diffusivities and salt diffusion in farmed Atlantic salmon muscle as influenced by rigor mortis. *Journal of Food Engineering*, 43, 115–123.
248. Wells, P. N. T. (1999). Ultrasonic imaging of the human body. *Reports on progress in physics*, 62(5), 671–722.
249. Whiting, R. C. (1988). Ingredients and processing factors that control muscle protein functionality. *Food Technology*, 42, 104–110.
250. Whittaker, A. D., Park, B., Thane, B. R., Miller, R. K., & Savell, J. W. (1992). Principles of ultrasound and measurement of intramuscular fat. *Journal of Animal Science*, 70(3), 942–952.

251. Williams, A. R. (1983). *Ultrasound: biological effects and potential hazards*. London: Academic Press.
252. Wilson, D. E., (1992). Application of ultrasound for genetic improvement. *J. Anim. Sci.* 70, 973-983.
253. Wood, F. W. (1966). The diffusion of salt in pork muscle and fat tissue. *Journal of Science Food and Agriculture*, 17, 138–140.
254. Wright, D., & Winding, P. (1984). Differential scanning calorimetric study of muscle and its proteins: myosin and its subfragments. *Journal of Science Food and Agriculture*, 357–371.
255. Xargayo, M., & Lagares, J. (1992). Computerized massaging of meat. *Fleishwirtschaft*, 4, 28–35.
256. Yashoda, K. P., Jagannatha Rao, R., Mahendrakar, N. S., & Narasimha Rao, D. (2005). Marination of sheep muscles under pressure and its effect on meat texture quality. *Journal of Muscle Food*, 16(3), 184–191.
257. Zegeye, A. (1999). A note on the influence of heat treatment, salting and smoking on the acceptability of camel meat products. *Meat Science*, Oxford, v. 53, p. 217-219.



## 9 Mellékletek

### 9.1 1. számú melléklet

#### 9.1.1 Minta-előkészítés pásztázó elektronmikroszkópos vizsgálatokhoz

1. Minta tisztítása és feldarabolása – max. 5 mm

2. Fixálás

- ◆ Előfixálás 5% glutáraldehid oldatban 2 óra → mosás 0,07 M foszfát-pufferrel (pH 7,2 – 7,4) háromszor

- ◆ Utófixálás 1% osmiumteroxid oldatban 1,5 óra → mosás foszfát-pufferrel háromszor

3. Víztelenítés acetonsorozattal

30% - 10 perc

50% - 10 perc

70% - 1 éjszaka

90% - 10 perc

96% - 2\*10 perc

100% - 3\*10 perc

4. Kritikus ponton történő szárítás – BALZERS CPD 020 géppel

- ◆ Acetont CO<sub>2</sub>-ra cseréljük

- a kritikus ponton (p = 73,8 bar, t = 31°C) a CO<sub>2</sub> folyadék és telített gőzeinek sűrűsége azonos, a két fázis közötti határfelület eltűnik

- a minta felületi feszültség nélkül szárad ki, így az ultrastrukturális változások a minimálisra csökkenthetők

5. Ragasztás

- ◆ a mintát elektromosságot vezető fémtömbre rögzítjük

6. Vezetőképessé tétel – BALZERS SCD 040 katódporlasztóval

- ◆ a szigetelő mintát elektromosságot vezető vékony réteggel (arannyal) vonjuk be, így megszűnnek az elektromos feltöltődési jelenségek

- ◆ az aranyréteg vastagsága kb. 30 nm

7. Vizsgálat és felvételezés

- ◆ A vizsgálatot és a felvételek készítését TESLA BS-300 SCANNING Elektronmikroszkóppal végezzük.

## 9.1.2 Minta-előkészítés transzmissziós elektronmikroszkópos vizsgálatokhoz

1. Minta tisztítása és feldarabolása – max. 2 mm

2. Fixálás

- ◆ Előfixálás 5% glutáraldehid oldatban 2 óra → mosás 0,07 M foszfát-pufferrel (pH 7,2 – 7,4) háromszor

- ◆ Utófixálás 1% osmiumteroxid oldatban 1,5 óra → mosás foszfát-pufferrel háromszor

3. Víztelenítés aceton sorozattal

30% - 15 perc

50% - 15 perc

70% - 1 éjszaka szobahőmérsékleten

90% - 15 perc

96% - 2\*15 perc

100% - 3\*15 perc

4. A minta átítatása a beágyazó anyaggal, a műgyantával

- ◆ Beágyazó anyag = Agar Low Viscosity Resin

- ◆ Az átítatás fokozatosan, rázógépből történik:

- 1/1 Aceton/Agar eleggyel 2 óráig

- 1/2 Aceton/Agar elegyben 1 éjszakán át állni hagyjuk szobahőmérsékleten

- a tiszta műgyantában 2\*2 órán át hagyjuk, a jobb átítatás érdekében rázógépből tesszük

5. Beágyazás

- ◆ A mintát tiszta műgyantával együtt zselatinkapszulába, az irányított mintát szilikonformába tesszük

6. Polimerizálás

- ◆ 24 órára, 60°C-ra termosztátban helyezük

7. Faragás

- ◆ A felesleges műgyantát eltávolítjuk REICHERT TM60 faragógéppel

8. Ultravékony metszetek készítése

- ◆ 20-50 nm vastagságú metszeteket készítünk REICHERT OmHz ultramikrotómmal

9. Metszefestés, kontrasztosítás

- ◆ Uranilacetát oldattal 10 perc

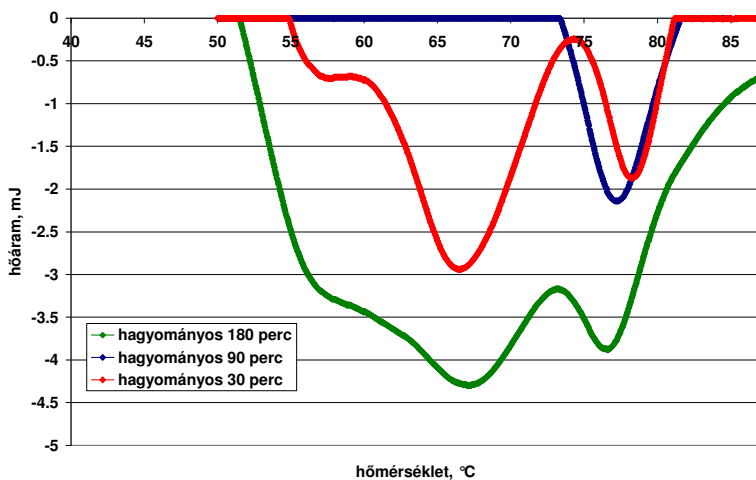
- ◆ Reynolds-féle ólomcitrát oldattal 4 perc

## 10. Vizsgálat és felvételezés

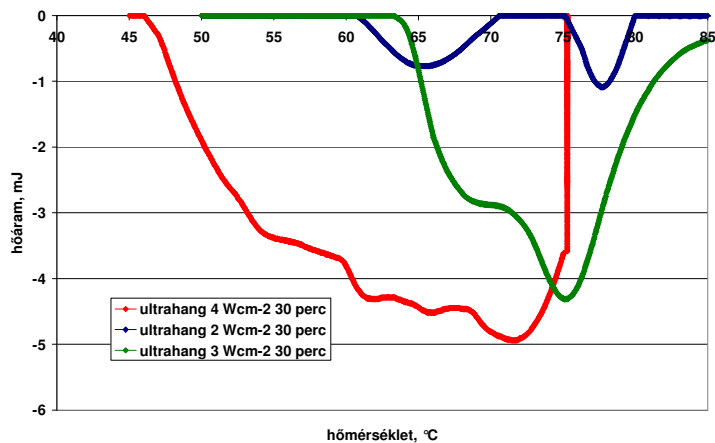
- ◆ TESLA BS500 Transzmissziós elektronmikroszkóppal (gyorsító feszültség 60-90 KV)

### 9.2 2. számú melléklet

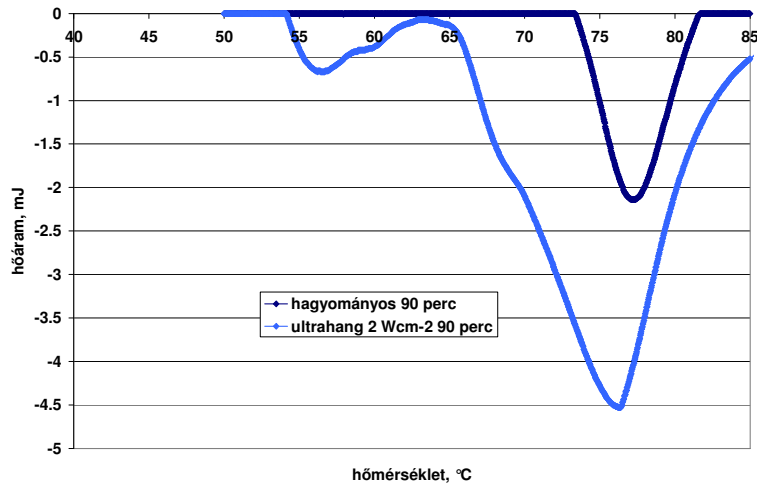
#### 9.2.1 DSC vizsgálatok eredményei



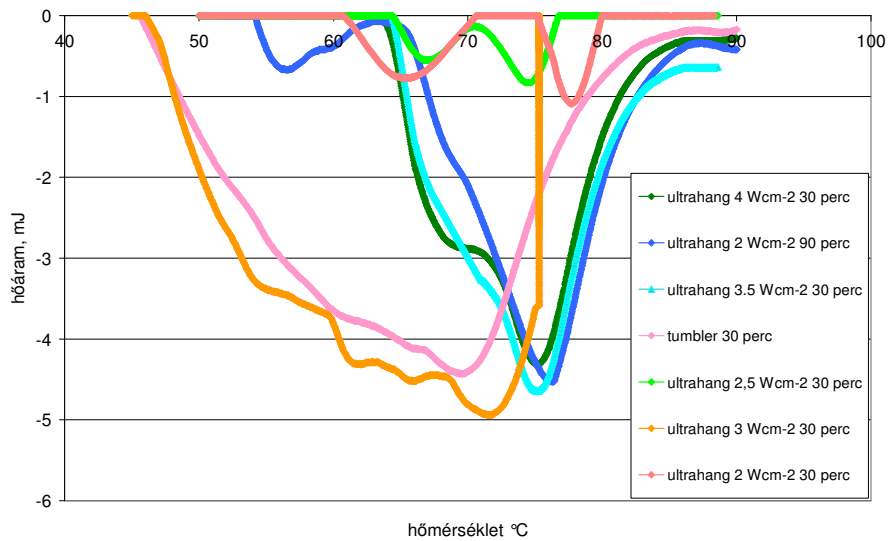
1/a. ábra: hagyományos technológiával különböző ideig pácolt húsokban az aktin termogramja



1/b. ábra: Különböző intenzitású ultrahanggal kezelt húsokban az aktin termogramja



1/c. ábra: Hagyományos pácolású és 2 Wcm<sup>-2</sup> intenzitású ultrahanggal 90 percig kezelt húsokban az aktin termogramja



1/d. ábra: Különböző kezeléssel pácolt húsokban az aktin termogram

## Köszönetnyilvánítás

Ezúton szeretnék köszönetet mondani:

Dr. Felföldi Józsefnek és Dr. Balla Csabának a témavezetői munkájukért,

Dr. Hodúr Cecíliának és Dr. Incze Kálmánnak a házivédésen való opponensi tevékenységükért és javaslataikért,

Dr. Fekete Andrásnak és Zukál Endrének az észrevételeikért és tanácsaikért,

Vén Csillának, Hanula-Kövér Gabriellának és Jónás Gábornak a műszaki segítségükért,

a Budapesti Corvinus Egyetem, Élelmiszertudományi Kar Hűtő- és Állatitermék Technológiai Tanszék és a Fizika-Automatika Tanszék munkatársainak a technikai közreműködésükért,

Családomnak és közvetlen kollegáimnak, akik türelmükkel és fáradozásukkal támogattak, valamint

Mindenkinek, aki segítette doktori értekezésem elkészítését!