

DIPLOMAMUNKA

Fekete Sándor
2023

Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem
Élelmiszertudományi és Technológiai Intézet

Szak neve: **MSc Élelmiszermérnöki**
Specializáció neve: **Élelmiszertechnológia és termékfejlesztés**

Diplomadolgozat készítés helye: **Budapest**

Hallgató: **Fekete Sándor**

A diplomadolgozat címe: **A só és víz diffúziójának vizsgálata
száraz sózás, nedves pácolás és
ultrahangos nedves pácolás során**

Konzulens: **dr. Jónás Gábor**

Beadás dátuma: **2023. május 2.**



diplomadolgozat készítés helyének vezetője
(név)

konzulens
(név)

Dr. Friedrich László
specializáció felelős



Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem
Élelmiszertudományi és Technológiai Intézet
Állattermék és Élelmiszertartósítási Technológia Tanszék

**A só és víz diffúziójának vizsgálata száraz
sózás, nedves pácolás és ultrahangos
nedves pácolás során**

Fekete Sándor

Budapest

2023

TARTALOMJEGYZÉK

1.	BEVEZETÉS	4
2.	CÉLKITŰZÉS.....	5
3.	IRODALMI ÁTTEKINTÉS	6
3.1.	A pácolás fogalma	6
3.1.1.	A pácolás fogalma a Magyar Élelmiszerkönyv szerint	7
3.1.2.	A pácolás köznyelvi és szakirodalmi meghatározása	7
3.1.3.	Pácolási eljárások	9
3.1.4.	Diffúzió gyorsításán alapuló pácolási eljárások	11
3.2.	A pácolás során végbemenő folyamatok	12
3.2.1.	Színkialakulás	12
3.2.2.	Mikrobiológiai stabilitás	13
3.2.3.	A nitrites pácsó egyéb hatásai	13
3.2.4.	A só hatása a szöveti szerkezetre	14
3.2.5.	A pácolási folyamat gyorsításának lehetőségei	15
3.2.6.	A sejtmembrán áteresztő képességét javító modern eljárások	17
3.3.	Az aktív ultrahang elméleti háttere	21
3.3.1.	Az aktív ultrahang fizikája	21
3.3.2.	Az aktív ultrahang élelmiszeripari alkalmazása	24
3.3.3.	Nedves pácolás aktív UH kezeléssel	26
4.	ANYAG ÉS MÓDSZER	27
4.1.	Mérési módszer.....	27
4.1.1.	A hús előkészítése.....	27
4.1.2.	Kontroll minták.....	28
4.1.3.	Pácolási műveletek elvégzése.....	28
4.1.4.	Szárazanyag tartalom meghatározás.....	31
4.1.5.	Sótartalom meghatározás.....	31

4.2.	Diffúziós modellek.....	33
4.2.1.	Martuscelli diffúziós modellje.....	33
4.2.2.	Abbasi diffúziós modellje.....	34
4.2.3.	Telis diffúziós modellje.....	34
4.2.4.	Modellek illesztésének módszere.....	34
5.	EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉS.....	36
5.1.	Mérési eredmények.....	36
5.1.1.	A sótartalom mérés eredményei.....	36
5.1.2.	A víztartalom mérés eredményei.....	37
5.2.	Diffúziós állandók meghatározása.....	40
5.2.1.	A só diffúziós állandójának meghatározása.....	40
5.2.2.	A víz diffúziós állandójának meghatározása.....	41
6.	ÖSSZEFOGLALÁS.....	43
	IRODALOMJEGYZÉK.....	44
	KÖSZÖNET NYILVÁNÍTÁS.....	47

1. BEVEZETÉS

A pácolás, mint technológiai művelet ősidők óta jelen van az élelmiszer-előállításban, a pácolási folyamatot befolyásoló jelenségek azonban a mai napig tudományos kutatások tárgyát képezik. Ez utóbbi megállapítás jelentőségét az a tény adja, hogy a pácolás során lejátszódó változások időt igényelnek. Technológiai időt. A technológiai idő jelentősége pedig kettős:

Egyrészt kifejezi azt, hogy a termék gyártása mennyi időt vesz igénybe. Pénzügyi szempontból ez határozza meg a termék „forgási sebességét”, azaz hogy a gyártás során befektetett pénzt mennyi idő múlva kapja vissza a gyártó (itt mint „befektető”) az értékesítés eredményeképpen.

Másrészt kifejezi azt is, hogy a gyártás során mennyi terméket kell befogadnia a gyártó létesítménynek. Minél hosszabb egy művelet elvégzéséhez szükséges idő, annál nagyobb termékmennyiséget kell elhelyezni a műveleti folyamatban. Természetesen ennek is vannak pénzügyi vonzatai: a nagyobb technológiai tér nagyobb és drágább beruházást jelent, a későbbi üzemeltetés során pedig rendszerint az üzem „szűk keresztmetszeteként” korlátozza a kibocsátható termékvolument.

Tekintettel arra a tényre, hogy az ipari élelmiszer-előállítás is elsősorban egy üzleti vállalkozás a sok közül, üzleti érdekek vezérlik. Az a célja, hogy minél kisebb beruházást követően legyen képes minél gyorsabb forgású termékek jövedelmező előállítására. Mivel a „technológiai idő” egyértelműen a pénzügyi érdekek ellen dolgozik, minden vállalkozás arra törekszik, hogy ezt minimalizálja. Nincs ez másként a pácolt húskészítmények esetében sem. A gyártók minimalizálni akarják a pácolás technológiai idejét.

Jelen dolgozatomban a pácolás gyorsításának módszereit járom körül, a diffúziós tényező csökkentésével pedig részletesebben is foglalkozom.

2. CÉLKITŰZÉS

Jelen diplomamunkámban a következő vezérfonal mentén haladok:

Munkám első részében áttekintést adok a húsok pácolásának eljárásáról, tisztázom az ezzel kapcsolatos fontosabb fogalmakat, s felvázolom az ipari gyakorlatban ma elterjedt pácolási technológiákat. E módszerek tárgyalásakor szem előtt tartom a pácolás gyorsításának követelményét, s ismertetem azok fontosabb pozitív és negatív velejáróit is.

Fontosnak tartom kitérni az iparban még nem-, vagy csak kevésbé elterjedt eljárások ismertetésére is, mint például a pácolás kombinálása HHP, PEF, felengedettéssel, illetve aktív ultrahangos kezeléssel. Mivel saját vizsgálataimban az aktív ultrahang alkalmazását is vizsgálom, ennek fontosabb jellemzőit és hatásait is bemutatom.

Saját vizsgálatom során célul tűzöm ki, hogy három pácolási eljárást vessek össze egymással. E három pácolási mód:

Száraz sózás	-	hagyományos eljárás
Nedves pácolás	-	iparban elterjedt eljárás
Aktív ultrahanggal kombinált nedves pácolás	-	innovatív eljárás

Tekintettel arra, hogy a pácolás „technológiai idejére” a só diffúziója, a termék kihozatalára pedig a nedvesség diffúziója van a legnagyobb hatással, e két állandó meghatározása a vizsgálataim célja. A só és a víz diffúziós állandóját tehát meghatározom mindhárom pácolási mód esetén, s ezek alapján hasonlítom össze ezeket az eljárásokat.

3. IRODALMI ÁTTEKINTÉS

3.1. A pácolás fogalma

A pácolás, mint tartósítási és élvezeti értéket javító élelmiszer-kezelési eljárás nagy múltra tekint vissza – különösen az európai civilizációk történetében. A pácolás során lezajló legfontosabb változásokért a só, mint vízaktivitás csökkentő anyag felelős. A vízaktivitás csökkentésével javítja a termék eltarthatóságát, maga a konyhasó (NaCl) pedig mint ízfokozó és ízesítő anyag jelenik meg a pácolt húsban, szalonnában. Nitrites pácso alkalmazása esetén az élelmiszer-biztonsági megfontolásokon túl a pácolás színekialakító hatással is bír az előállított termékre.

Természetesen nem minden olyan eljárást nevezhetünk pácolásnak, amely során só vagy nitrites pácso kerül a termékbe, ezért fontos a pácolás és természetesen a sózás fogalmának is a tisztázása.



1. **Ábra** – Száraz sózás (www.lovefood.com, letöltés: 2023. április 14.)

3.1.1. A pácolás fogalma a Magyar Élelmiszerkönyv szerint

A Magyar Élelmiszerkönyv 1-3/13-1 számú előírása a húskészítményekről és egyes előkészített húsokról pontosan meghatározza a sózás, nedves sózás, száraz sózás (1. ábra), továbbá a pácoláson belül a lassú pácolás és gyors pácolás fogalmát (Magyar Élelmiszerkönyv 1-3/13-1, A rész, III. 15, 19, 22 és 23.):

„15. Nedves sózás: a félkész termék vagy összetevői meghatározott időtartamra sóoldatba való helyezése...

...19. Pácolás:

19.1. lassú pácolás: a terméket tartósítás, íz- és színekialakítás céljából étkezési só, nitriteket, illetve nitrátokat és más összetevőket tartalmazó oldatba merítik, vagy felületüket ezen anyagok keverékével bedörzsölik és pácérettségig érlelik; vagy

19.2. gyorspácolás: a termékbe, vagy a termék egyes alapanyagaiba íz- és színekialakítás céljából étkezési só, nitriteket, illetve nitrátokat, valamint más összetevőket tartalmazó páclevet injektálnak, illetve vákuum alatt vagy anélkül a szöveti részekbe juttatnak...

...22. Sózás: a termék vagy összetevői tartósítási, állomány- és ízki alakítási módja, amely lehet száraz és nedves sózás.

23. Száraz sózás: a hús, illetve szalonna összetevők sózó edényben, étkezési sóval való behintése, bedörzsölése.”

3.1.2. A pácolás köznyelvi és szakirodalmi meghatározása

A köznyelvben a pácolás alatt általában a sóoldatba mártást, a sózás fogalma alatt pedig a száraz sóval történő bedörzsölést, vagy beborítást értik. A köznyelvi meghatározást azonban mind a Magyar Élelmiszerkönyv, mind pedig a húsipari szakmai nyelv helyteleníti. A Magyar Élelmiszerkönyv fent bemutatott definíciói alapján ugyanis a pácolás egyik alapvető funkciója a szín kialakítása, amelyet jellemzően nitrites pácsó alkalmazásával érünk el. Ezzel szemben a sózásnak csak tartósító-ízki alakító feladata van, s étkezési só felhasználásával történik.

Lőrincz és Lencsepeti (1973) a Húsipari Kézikönyvben ugyancsak a fogalmak tisztázására hívják fel a figyelmet: „A pácolás egyik értelmezése szerint színekialakító anyagokkal való kezelést jelent, másik értelmezése szerint pedig a nyersanyag sóoldattal való kezelését, azaz „nedves” sózást, szemben a „száraz” sózással. Az utóbbi elvileg nem helyes...”

A jelen diplomamunka címében szereplő kifejezések a köznyelvet követik annak érdekében, hogy az átlagos olvasó is könnyen eligazodjon. A szakmai igényesség azonban megköveteli, hogy ezen a ponton fogalmilag tisztázzam a vizsgálatom során alkalmazott eljárásokat:

„száraz sózás”: Lassú pácolás (MÉ), mely során nitrites pácsoval borítjuk be a húsmintát.

„nedves pácolás” (2. ábra) és „ultrahangos nedves pácolás”: Szintén lassú pácolás (MÉ), mely során nitrites pácso oldatába merítjük a húsmintát.



2. Ábra – Nedves pácolás (www.savariaforum.hu, letöltés: 2023. április 14.)

3.1.3. Pácolási eljárások

A legrégebbi, hagyományos módszer a **száraz sózás**. Nem igényel jelentős eszközparkot, alkalmazásához tulajdonképpen csak páckádakra van szükség. Hátránya, hogy a termékben a „pácolási mag” és a páclé közötti távolság jellemzően nagy (a húsméret, -szerkezet és -alak függvénye), továbbá a só húsban való vándorlására vonatkozó diffúziós tényező nem javítható. Ebből fakadóan hosszú átfutási idő és nagy fajlagos alapterület-igény jellemzi. További probléma, hogy a felületi sókoncentráció nagyon magas, így a megfelelő élvezeti érték eléréséhez külön műveletben kell megoldani a kiegyenlítést (pl. kiegyenlítő tárolással, lemosással vagy áztatással), amelyek szintén hely és időigényes eljárások, s mikrobiológiai kockázatokkal is járnak. (lásd. Lőrincz és Lencsepeti, 1973) Annak ellenére, hogy gyártása a megnevezett okok miatt kevésbé gazdaságos, továbbra is fontos termék, s létjogosultsága tagadhatatlan a „tradicionális termékeket” kereső és fogyasztó vásárlók körében.

Szintén klasszikusnak mondható eljárás a **nedves sózás**. Sok tekintetben hasonlít a száraz sózáshoz, de a felületi sókoncentráció jobban szabályozható, kisebb a termék zsugorodása és kedvezőbb a kihozatala. A diffúziót befolyásoló tényezők (pácolási mag-felület távolság és a diffúziós tényező) azonban szintén nem befolyásolhatók. Sőt. Az alacsonyabb felületi koncentráció miatt csökken a koncentráció gradiens, ami nem kedvez a pácolási időnek. Alkalmazásához szintén egyszerű berendezésekre van csak szükség: pácoló kádakra, amelyek fedéllel, vagy leszorító ráccsal rendelkeznek, hogy ne emelkedjen ki a termék a pácléből. A nagy terület és időszükséglet miatt olyan termékek gyártásánál ajánlott, amelyeknek az ára „elbírja” ezt a jelentős tárolási igényt.

Tűs pácolás: A pácolási mag mihamarabbi sóéretté válása a pácolási mag - felület távolság csökkentésével elősegíthető. Tűs pácoló berendezés (3. ábra) segítségével a páclevet a termékbe fecskendezve ez a távolság lecsökkenthető két tű közötti távolság felének megfelelő értékre, s így a pácolás pillanatában már csaknem egyenletes páclé eloszlás érhető el a termékben. Hátránya, hogy a befecskendezett páclé lyukacsossá teszi a terméket, elveszíti eredeti állományát, valamint a hús által esetleg nem kellően megkötött

páclé fogyasztói szempontból alacsonyabb minőségi kategóriába kényszeríti az előállított termékeket.



3. Ábra – VAKONA gyártmányú 105 tús pácoló
(www.vakona.de, letöltés: 2023. április 14.)

A pácolási idő (és így a területigény) csökkentését a diffúziós tényező javításával is el lehet érni. Ennek az iparban már régóta bevált és széles körben alkalmazott módja a **mechanikus eljárás**, amit „tumlerezésnek” nevezünk. Eszköze a tumbler, amely készülhet fekvő (4. ábra) vagy dönthető álló kivitelben. Lőrincz és Lencsepeti (1973) szerint ezek az eljárások „A diffúziót más vándorlási jelenségekké változtatják... A felület fellágyul, szivacsossá válik, és magába szívja a sóoldatot. A lassú diffúzió tehát csak a mélyebb rétegekbe rövidebb úton szállítja a sót.” Ebből a szempontból tehát igazából nem a diffúziós tényező módosításáról beszélünk, hanem tulajdonképpen egy „látszólagos diffúziót” hozunk létre, amely a szivacsatásból és az izomszöveten belüli diffúzióból tevődik össze.



4. Ábra – DORIT gyártmányú fekvő tumblerok
(www.dft-gmbh.de, letöltés: 2023. április 14.)

3.1.4. Diffúzió gyorsításán alapuló pácolási eljárások

Látható, hogy a húsiparban széles körben elterjedt különböző eljárások közül a „lassú” eljárások rendkívül hely- és időigényesek, a „gyors” eljárások pedig oly mértékben megváltoztatja a termék szerkezetét, hogy az tulajdonképpen már nem tekinthető a lassú eljárásokkal készütekkel azonos kategóriájú terméknek. A pácolási eljárások ipari fejlesztése már évtizedek óta irányul olyan technológiák fejlesztésére és az ipari alkalmazásba történő bevezetésére, amelyek amellet képesek lerövidíteni a pácolási időt, hogy kímélik a termék szerkezetét. A legfontosabb ilyen „kíméletes” pácolási technológiák a HHP, a PEF, a felengedtetés és az aktív ultrahang alkalmazása. A jelen diplomamunkámban elvégzett kísérletek és mérések során ez utóbbi eljárással foglalkoztam behatóan.

Amint azt a Magyar Élelmiszerkönyv definíciójának bemutatásakor már vázoltam, a pácolási folyamat célja a megfelelő szín kialakulása, a biztonságos élelmiszer előállításához elkerülhetetlen tartósító hatás elérése és a fogyasztó számára rendkívül fontos íz kialakítása. (Lásd. 1. táblázat)

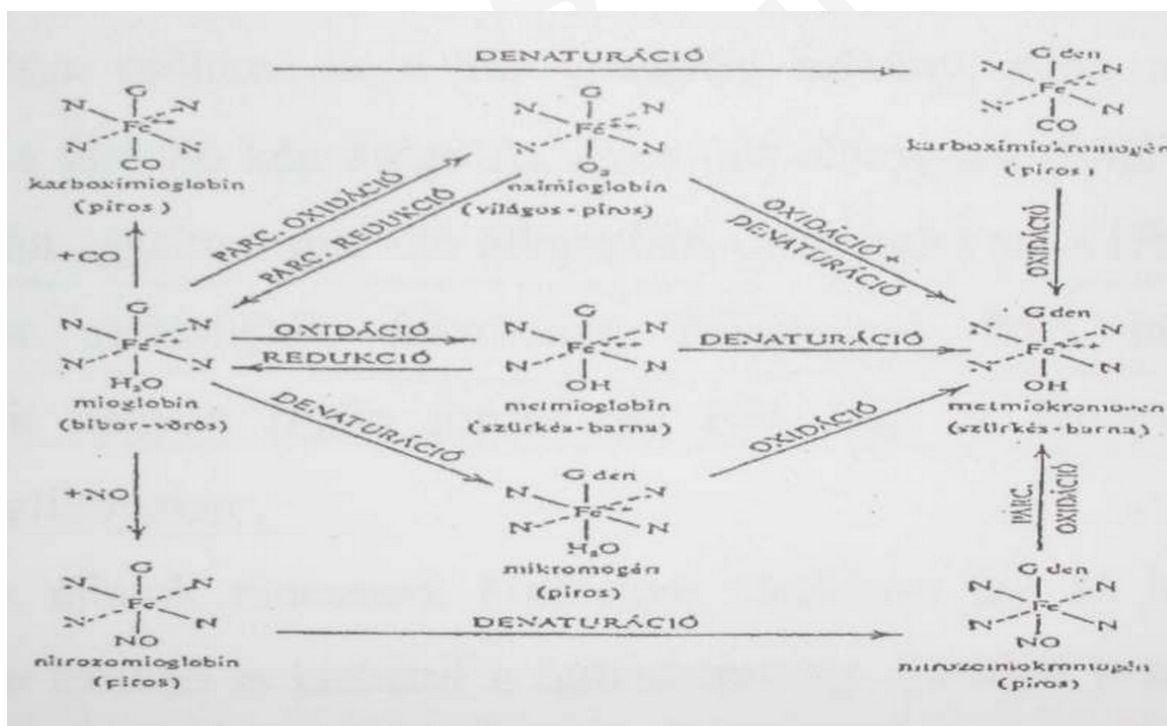
	szín	biztonság	íz
NaCl		vízaktivitás csökkenés	sós íz, ízfokozó hatás
NaNO ₂	nitrozo-mioglobín	Cl. botulinum gátlása	(ízfokozó, avasodásgátló)

1. Táblázat – A pácsó hatása a termékre (saját szerkesztés)

3.2. A pácolás során végbemenő folyamatok

3.2.1. Színkialakulás

A nitrites pácsóban megtalálható NaNO₂ hatására a mioglobín nitrozo-mioglobinná alakul, majd a sótartalom hatására bekövetkező denaturáció következtében jellegzetes vöröses-barna színt ad a terméknek. (5. ábra)



5. Ábra – A mioglobín színreakciói (Balla és Siró, 2007)

3.2.2. Mikrobiológiai stabilitás

A konyhasó (NaCl) koncentráció növelése csökkenti a termék vízaktivitását, így a legtöbb baktérium szaporodását már egészen alacsony sókoncentráció is gátolja. Lőrincz és Lencsepeti (1973) szerint „...a sókoncentráció csekély növelésével már jelentős eltarthatóságnövelés jár együtt, különösen hőkezelt készítmények esetén. A sókoncentráció növelésének elsősorban az érzékszervi tulajdonságok („sósság”) szabnak gátat...” A nitrites sóban található nátrium nitrittel (NaNO₂) kapcsolatban pedig Barta és Körmendy (2007) felhívják a figyelmet arra, hogy „A nitritek erősen gátló hatásúak a *Clostridium botulinum* spórákra is, így a húsfélék tartósításában ma is nagy gyakorlati jelentőségük van.”

A napjainkban elterjedt kardió-vaszkuláris civilizációs betegségekre tekintettel egyre nagyobb hangsúlyt kap a sószegény táplálkozás és így a pácolt termékekben jelen lévő sótartalomnak már jogszabályok által megkövetelt módon is csökkennie kell. Például a Magyar Élelmiszerkönyv 1-3/13-1 számú előírása a húskészítményekről és egyes előkészített húsokról, B része a 2.1 Nyers sonkák, továbbá a 9. Parasztsonka, parasztlapocka, valamint a 10. Angolszalonna esetén 2017. július 1-től 6%-ról 5%-ra csökkentette a megengedhető maximális sótartalmat. Egyre fontosabbá válik tehát a higiénikus üzemi környezet és a gátelmélet alkalmazása a gyártás során.

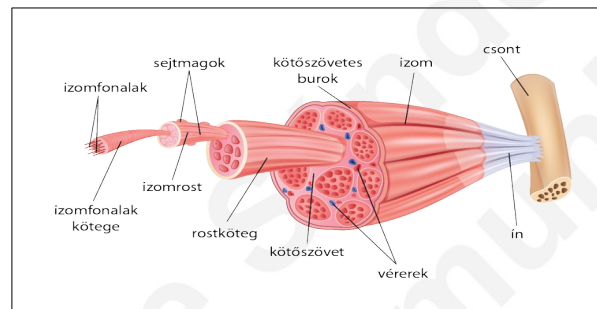
3.2.3. A nitrites pácsó egyéb hatásai

A nitrites pácsónak avasodásgátló hatása is van, Zsarnóczay (2011) szerint azonban ez a hatás függ a termék típusától. Vörösárukon és szárazárukon végzett vizsgálatai során párizsinál cáfolta, kolbászoknál azonban megerősítette a nátrium nitrit avasodásgátló (pontosabban avasodást lassító) hatását. Ugyanő tanulmányában igazolta, hogy a nitrit alkalmazása javítja a többi érzékszervi paraméter (illat, íz, állomány, összbenyomás) bírálati eredményeit, ezt a hatást azonban már viszonylag kis mennyiség esetén kifejti, a nitrit mennyiségének további növelése pedig már nem képes tovább javítani a termék jellemzőit.

3.2.4. A só hatása a szöveti szerkezetre

A só ételmiszer-biztonságra gyakorolt és ízki alakító hatásán túl számolnunk kell egy szintén élvezeti-értéket befolyásoló további hatástípussal is: a szöveti szerkezet lazításával, s ezáltal az állomány puhításával.

A hús ugyanis az Európai Parlament és a Tanács 1169/2011/EU rendelet VII. melléklet B. részének 17. pontja szerint az állatok vázizomzata. A vázizomzat izmokból, amelyek pedig elemi rostokat tartalmazó izomrost kötegekből állnak (6. ábra). Az elemi rostok főtömegét adó miofibrillumok olyan fehérjemolekula-komplexek, amelyek poláris csoportjai képesek arra, hogy különböző ionokat, vagy poláris molekulákat kössenek meg.



6. Ábra – Az izomszövet felépítése

(www.nkp.hu, letöltés: 2023. március 24.)

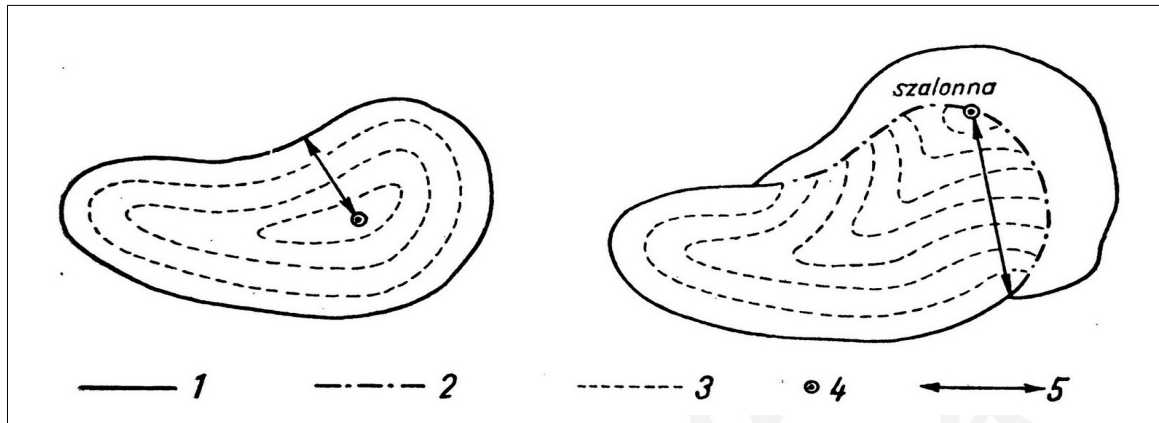
Pácolás során a bevitt sótartalomnak köszönhetően az izomszövetben megnövekszik a Na^+ és Cl^- ionok koncentrációja, s a klorid ionok a miofibrillumok felületére kötődve a miofibrillumok töltését negatív irányba tolják el. Az egymást taszító, negatív töltésű miofibrillumok így eltávolodnak egymástól, s a köztük lévő tér megnövekszik. Ez egyrészt lazítja, rághatóvá teszi a hús állományát, másrészt az így kialakuló, poláris térbe vízmolekulák áramlanak be, melyek hidrátburkot alkotva megkötődnek az intermiofibrilláris térben, s jelenlétükkel növelik a késztermék tömegét. Ez a jelenség természetesen önmagában nem elegendő ahhoz, hogy a kihozatali mérleg pozitív legyen, ugyanis az ozmotikus jelenségeknek köszönhetően a meg nem kötött víz távozik a szövetekből, így a termékben maradó vízmennyiséget e két tényező együttesen határozza meg.

3.2.5. A pácolási folyamat gyorsításának lehetőségei

Látható tehát, hogy a pácolási folyamat eredményeként jelentkező hatásokat a pácsó mielőbbi szöveti megjelenése hozza létre. Ipari alkalmazásban tehát az a cél, hogy ez a behatolási folyamat minél rövidebb idő alatt, minél egyenletesebb sókoncentráció mellett lejártsódjon. Ez utóbbi követelmény több szempontból fontos. Egyrészt célszerű elkerülni azokat a felesleges denaturációs jelenségeket, amelyeket a túl magas sókoncentráció okoz (pl. kérgesedés), másrészt a termékben kialakuló nagy koncentrációbeli különbségek fogyasztói szempontból kedvezőtlenek, s az ilyen termékeknel szükségessé válik egy plusz gyártási szakasz beiktatása, mely során megtörténik a sótartalom kiegyenlítődése a termék belsejében. Ez természetesen szintén időt igényel, s rendkívüli mértékben rontja az ipari létesítmény technológiai teljesítményét. A fentiekben már bemutattuk azokat klasszikus technológiákat, amelyek a pácolási sebességet nem a diffúziós tényező javításával, hanem a diffúziós útvonal csökkentésével (tűs pácolás), az állomány megváltoztatásával létrehozott vándorlási jelenség előidézésével (tumbler) próbálják javítani. A koncentráció különbség növelése is gyorsítja a folyamatot, hiszen növekszik a folyamat hajtóerejét adó koncentráció gradiens. Ez a technika azonban nem kedvez az egyenletes eloszlás követelményének, melynek fontosságát fent már kiemeltük.

A diffúzió sebességnek javítása a diffúziós tényező közvetlen növelésével is elérhető. Mivel a diffúziós tényező függ a hőmérséklettől, javítása a páclé ***hőmérsékletének emelésével*** is megvalósítható: +60°C fölötti hőmérséklet igen kedvezően hat a diffúzióra, mikrobiológiailag is biztonságos, azonban olyan denaturációt okoz, amely megváltoztatja a termék jellegét, s így elfogadhatatlan. +50°C körüli hőmérséklet minden szempontból megfelelne, de ipari megoldásokban nehéz a megvalósítása és rontja a vízkötő képességet is. A +40°C alatti tartomány már sajnos mind a patogén, mind a romlást okozó mikroorganizmusok elszaporodásának kedvez, így élelmiszer-biztonsági és termékminőségi okokból sem jöhet szóba. Lőrincz és Lencsepeti (1973) még +8°C felett is romlási jelenségekkel számolnak. Ipari gyakorlatban tehát ezt a hőmérsékletet alulról közelítve csak a +6-8°C-os hőmérsékleti tartomány jöhet szóba.

A diffúziós tényezőt a fentiekén túl befolyásolja még a *szöveti szerkezet* (hús-zsír-kötőszövet-bőr rétegek). Mivel ez jellemző a termékekre (7. ábra), ezért ezeket a kapacitások tervezésekor mindig figyelembe kell venni, de módosításukra nem nagyon van lehetőség.



7. Ábra – A szöveti szerkezet jelentősége (Lőrincz és Lencsepeti, 1973)

- 1) szabad felület, 2) szalonnával fedett húsfelület, 3) egyenlő sótartalom vonalai
4) pácolási mag, 5) legrövidebb pácolási magtávolság

A *páclé áramlási sebessége* is javítja a diffúziót, ugyanis az áramlás hatására folyamatos eltávolításra kerül a felülethez közeli alacsonyabb sókoncentrációjú páclé réteg, s ilyen módon javul a felületi anyagátadás. Kis geometriai méretű termékeknél ennek nagy jelentősége van, a nagy geometriai főméretű termékek esetén azonban – a hűtés elméletéhez hasonlóan – a diffúziót már nem az anyagátadás, hanem az anyagvezetés jelensége fogja meghatározni. Tekintettel arra a tényre, hogy a feldolgozó üzemekben elsősorban nem a kis geometriai méretű termékek gyártása foglalja le a technológiai gyártóteret és időt, hanem a nagy méretű termékek gyártása, a páclé áramlási sebességének növelésével a jelentősebb kapacitásproblémák nem orvosolhatók.

Végül ki kell térnünk a diffúziós tényezőt nagy mértékben befolyásoló tulajdonságra a *sejtmembrán átteresztő képességére* is.

3.2.6. A sejtmembrán átteresztő képességét javító modern eljárások

Azok a modern eljárások, melyek részben már ipari alkalmazásban állnak, részben még mindig kutatások tárgyát képezik, javarészt a sejtmembrán átteresztő képességének javítására épülnek.

A **Nagy Hidrosztatikus Nyomást (HHP)** alkalmazó élelmiszer-kezelési eljárásokat és berendezéseket (8. ábra) az élelmiszeriparban széles körben alkalmazzák, bár a technológia elterjednek egyelőre nem mondható.



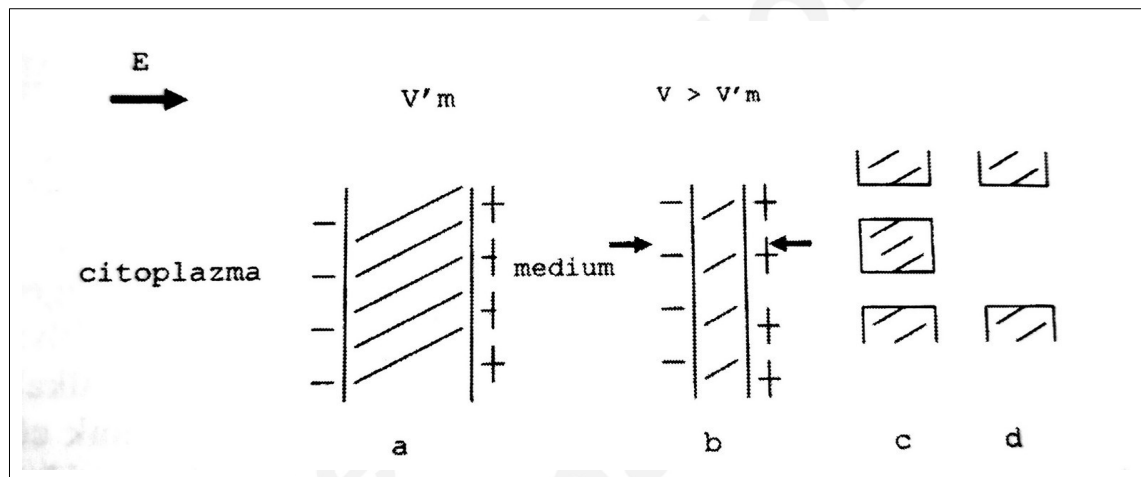
8. Ábra – HHP berendezés

(www.foodprocessing-technology.com, letöltés: 2023. március 24.)

Balla és Siró (2007) így határozza meg ezt az eljárást: „*A nagy hidrosztatikus nyomású technológia olyan tartósítóeljárás, ahol a folyékony vagy szilárd élelmiszereket 100 és 800 MPa közötti hidrosztatikus nyomásnak teszik ki.*” A HHP kezelés azonban nem csak tartósítási célra használható, ugyanis hatása sokrétű, komplex, több ponton avatkozik be az élelmiszerek állapotába, szerkezetébe. Balla és Siró (2007) szerint „*...antimikrobás hatásán túl sok más olyan hatása van, ami miatt szívesen alkalmazzák számos országban. Olyan feladatokra használható, mint pl. ... hússzerkezet-módosítás...*”. A hússzerkezet-módosítás jelenségét azzal magyarázza, hogy „*...a kezelés aktiválja a katepszin nevű*

proteolitikus enzimet, és roncsolja az izomfehérjék kapcsolódási pontjait.” Amellett azonban, hogy a szövetszerkezet lazítása kedvezően befolyásolja a szöveten belüli áramlási folyamatok sebességét, s ennek következtében növekedhet a só diffúziója is, sajnos számolni kell a hús felkeményedésével és fakulásával (Balla és Siró, 2007) is, melyek pácolt termékek esetén kedvezőtlen mellékhatásként ronthatják a termék fogyasztói megítélését. Mindezek mellett a beruházás igen költséges, így a technológia ezen a területen nem terjedt el.

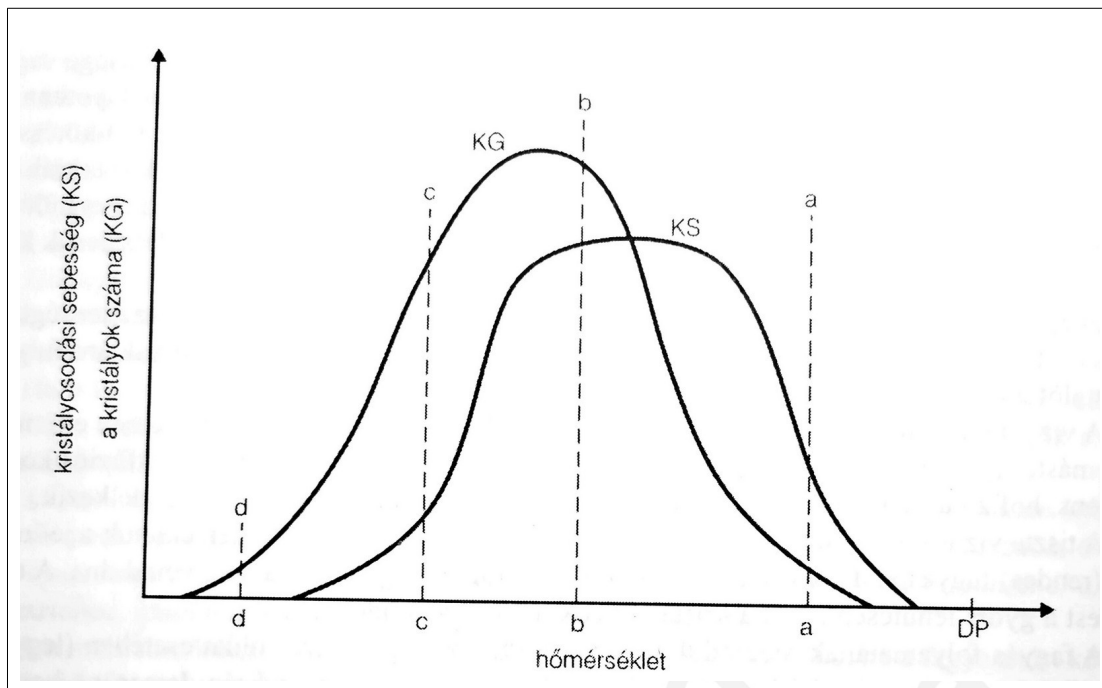
A **Pulzáló Elektromos Térerő (PEF)** alkalmazása szintén kiváltja a sejtmembrán átteresztőképességének javítását. Hatásmechanizmusát mutatja be a 9. ábra:



9. Ábra – A sejtmembrán dielektromos összeomlása (Balla és Siró, 2007)

a) sejtmembrán, b) kompresszió, c) reverzibilis pórusok, d) irreverzibilis pórusok

A PEF kezelés hatására a sejtmembrán két oldalán kialakuló töltésgradiens hatására a membránra a pulzáció frekvenciájának megfelelően lüktető mechanikai erő hat, mely a megfelelő kezelési paraméterek mellett irreverzibilis perforációt hoz létre a sejtmembránon. (Balla és Siró, 2007) A kezelést elsősorban folyékony élelmiszereknél alkalmazza az ipar, de folynak kutatások a PEF pácolás gyorsítására irányuló alkalmazhatóságára is.



10. Ábra – A kristályosodási sebesség és a kristálygócok számának alakulása a hőmérséklet függvényében (Beke Gy., 2002)

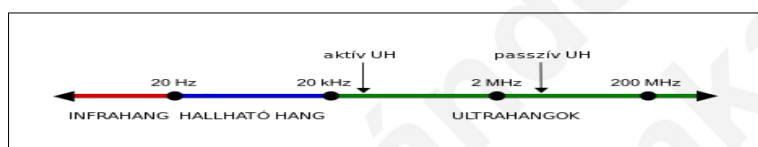
Pácolás felengedettési eljárással. Ismert fagyasztási-kristályosodási jelenség a gócképződési görbe és a kristálynövekedési görbe eltolódása. (Beke Gy., 2002) A gyakorlatban e görbék ismeretében meghatározható az a fagyasztási véghőmérséklet, amely a megvalósítani kívánt technológiai célnak megfelelő jégkristály-számot és -méretet eredményez a termékben. A fenti 10. ábrán látható diagram szerint beállítható az a fagyasztási hőmérséklet, amelyet alkalmazva a termék előzetes lefagyasztása során a hőmérséklet elég alacsony ahhoz, hogy a citoplazmában is meginduljon a jégkristály képződés, emellett azonban elég magas ahhoz, hogy itt a lehető legnagyobb méretű jégkristályok keletkezzenek. A hűtéstechnikában ezt a tartományt kerülni szokták, mivel ekkor a legjelentősebb a sejtmembránok jégkristályok által okozott sérülése, s ebből fakadóan nagy a csepegési veszteség is. A só diffúziója szempontjából azonban ez egy kedvező folyamat. Alkalmazhatósága mindemellett körültekintést igényel, ugyanis a fagyasztás utáni felengedettetés során jelentős lehet a csepegési veszteség s ebből fakadóan a kihozatal csökkenés is. Továbbá nem elhanyagolható szempont az értékes komponensek távozása, valamint az extracelluláris térbe kerülő el nem csepegett sejtnedv romlási folyamatokra gyakorolt hatása sem.

A sejtmembrán átteresztőképessége **aktív ultrahang** alkalmazásával is javítható – nedves pácolási eljárással kombinálva. Mivel ez az eljárás folyadékba merítve szilárd élelmiszerek kezelésére is használható (húsok nedves pácolása), továbbá nem jellemzi kihozatal romlás, s végül de nem utolsósorban beruházása sem oly költséges mint pl. egy HHP berendezése, az ipari alkalmazhatóságára vonatkozóan már régóta folynak kutatások. A.D. Alarcon-Rojo, et al. (2019) review cikkükben számos kutatási eredményt dolgoztak fel, mely kutatások már a 90-es évek óta, azaz csaknem három évtizede folynak. Összegzésükben felhívták a figyelmet arra, hogy az UH kezelések területe mind az élelmiszer-tartósítás, mind a termék-módosítás terén a mai napig vitatott. A széles körű ipari alkalmazhatóság érdekében további tisztázó tudományos munkákra van tehát szükség.

3.3. Az aktív ultrahang elméleti háttere

3.3.1. Az aktív ultrahang fizikája

Holics (1992) definíciója szerint „...a 20.000 Hz-nél nagyobb frekvenciájú hangok az ultrahangok.” Más szerzők (Y. Yao, et al., 2020) már az emberi hallásküszöbtől, 16.000 kHz-től definiálják az ultrahang fogalmát. Ugyanők meghatározzák az **aktív ultrahang** fogalmát is, amely a $0,1 \text{ W/cm}^2$ -nél nagyobb energiájú és 16 – 100 kHz frekvenciatartományba eső (azaz nagy energiájú, de viszonylag alacsony frekvenciájú) akusztikus hullámokat jelenti. A 11. ábra vázlatosan bemutatja az aktív ultrahang helyét az akusztikus hullámok között.



11. Ábra – Akusztikus hullámtartományok

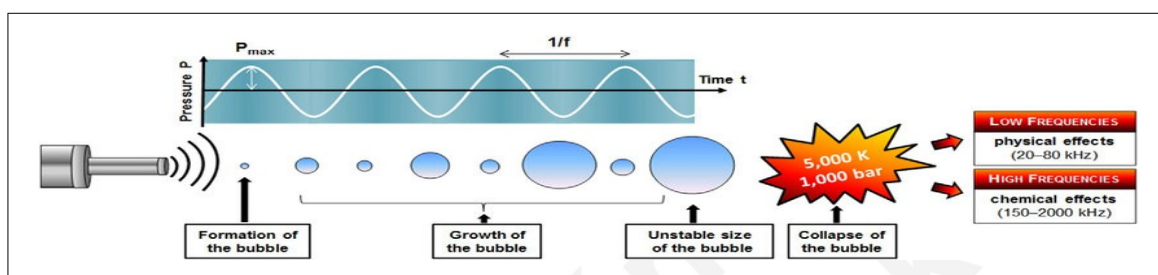
(en.wikipedia.org, letöltés: 2023. április 14., módosítva)

Az aktív ultrahang (Power ultrasound, illetve HIU – High Intensity Ultrasound) sajátossága, hogy az alkalmazott területen aktívan beavatkozik a kezelt anyagok szerkezetébe, állapotukat módosítja, így az élelmiszeriparban, orvostudományban és az ipar egyéb ágazataiban is alkalmazzák. Ezzel szemben a passzív ultrahang nem befolyásolja a vele kapcsolatba lépő anyagok szerkezetét, így ez utóbbi ipari-laboratóriumi alkalmazása csak a mérés technika területén terjedt el.

Az aktív ultrahang szerkezet-módosító, beavatkozó képességét annak köszönheti, hogy alkalmazása során több olyan fizikai és fizikai-kémiai jelenség lép fel, melyek lokálisan jelentős energiamennyiséget szabadíthatnak fel. Szilárd testekben mechanikus és termikus jelenségeket, folyadékokban pedig kavitációt idéznek elő.

A **kavitáció** hatásairól (12. ábra) Y. Yao, et al. (2020) az alábbiakra hívják fel a figyelmet:

„Folyadékok esetén a kavitációs üregek kialakulása, növekedése és hirtelen összeomlása helyileg nagy energiafelszabadulással jár, s igen magas hőmérséklet és nyomás keletkezik néhány ezred másodpercig. Ez a jelenség egyrészt kémiai, illetve fizikai változásokhoz vezet, másrészt támogatja az anyagáramlást a folyékony közegben. Mindezek mellett a magas hőmérsékletű és nyomású régiókban olyan erősen oxidáló anyagok is keletkeznek, mint például H_2O_2 és $\cdot OH$ gyökök, melyek kémiai reakciókban vehetnek részt, illetve lebonthatják a vízben oldott nem illékony poláris szerves vegyületeket.” (Y. Yao, et al., 2020¹)



12. Ábra – Kavitáció és hatásai

(www.researchgate.net, letöltés: 2023. április 14.)

Folyadékokban a kavitáció tehát sokféle hatást fejt ki a folyékony közegre és az abba helyezett szilárd testek folyadékkal határos felületére is.

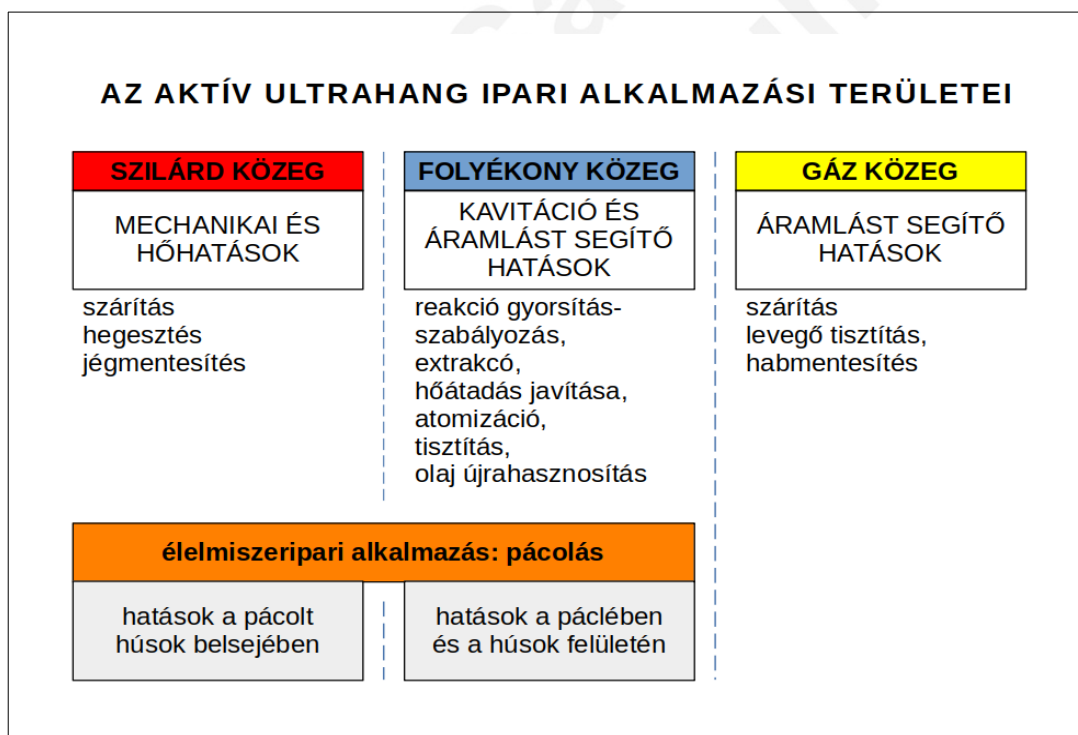
Szilárd testekben aktív ultrahang hatására elsősorban mechanikus jelenségek játszódnak le. Szintén Y. Yao, et al. (2020) hívják fel a figyelmet az úgynevezett „szivacs-effektusra”. Az aktív ultrahang hatására ugyanis gyors egymásutánban tágul és szűkül az anyag, ami egyrészt olyan mikrorepedések keletkezéséhez vezet, amelyek új utakat jelentenek az anyagáramlási folyamatok számára, másrészt a testben lévő üregeket „pumpálva” segíti a szilárd testek belsejében történő anyagáramlási folyamatokat. Az elnyelt akusztikus energia egy része emellett hővé alakul, s enyhén emeli a kezelt anyag hőmérsékletét.

1 Saját fordítás

	Termikus jelenség
Szilárd fázis	egyenletes hőmérséklet emelkedés kis mértékű hőfokváltozás
Folyadék fázis	csak a kavitációs térben történik hőmérséklet emelkedés a kavitációs térben rendkívül nagy a hőfokváltozás

2. Táblázat – Aktív ultrahang hatására kialakuló termikus jelenségek

A fentiek alapján kijelenthető, hogy mind a folyadékokban, mind a szilárd testekben fellépnek termikus jelenségek, de ezek természete eltérő (lásd. 2. Táblázat). A folyadék fázisban fellépő termikus jelenségek különlegességét az adja, hogy a lokálisan kialakuló igen magas hőmérséklet miatt kémiai reakciók is lezajlanak, molekulák kötése szakadhatnak fel, molekula-részek, illetve atomok válhatnak le molekulákról. Ez ugyan csak egy mind időben, mind térben korlátozott hatás, az élelmiszerek kezelésében mégis nagy jelentősége van, melyre az alábbiakban még visszatérünk.



13. Ábra – Az aktív UH ipari alkalmazásának területei
(Y. Yao, et al., 2020 alapján átszerkesztve, bővítve)

Az aktív ultrahang ipari alkalmazása ma már sokrétű és széles körben elterjedt. (13. ábra) Használják kémiai reakciók gyorsítására-szabályozására, szárításra, hegesztésre, extrakciós eljárásokban, folyadékok hőáramának javítására, jég-leolvasztásra, olaj újrahasznosítására, cseppek atomizálására, tisztításra, stb. De a speciális ipari területek mellett a hétköznapi életben is találkozhatunk vele, például a fogorvosnál fogkő eltávolítás alkalmával. Tekintettel azonban a jelen diploma dolgozat tárgyára, a továbbiakban kizárólag élelmiszeripari, azon belül pedig a húsipari alkalmazásokra koncentrálok.

3.3.2. Az aktív ultrahang élelmiszeripari alkalmazása

Az aktív ultrahang élelmiszeripari alkalmazása A.D. Alarcon-Rojo, et al. (2019) szerint jelenleg még vitákkal terhelt területe a tudománynak. Mindez annak ellenére igaz, hogy hatásáról részletes tanulmányok és cikkek sokasága áll rendelkezésre és az aktív UH hatásossága az élelmiszerekre vitán felül áll.

A.D. Alarcon-Rojo, et al. (2019) megállapították, hogy az aktív UH egyértelműen javítja a **mikrobiológiai biztonságot**, különösen ha más tartósítási technológiákkal kombinálva alkalmazzák. A kezelés roncsolja a mikroorganizmusok sejtmembránját, ily módon letális sérülést, sejtlízist idéz elő. Tanulmányukban kiemelték, hogy ez az antimikrobás hatás a kezelést követő hűtve-tárolás során is megmarad.

Számos kutatás (például Friedrich, 2008) igazolta a kezelés kedvező hatását a húsok **rágthatóságára, puhaságára** vonatkozóan. Megállapította, hogy az ultrahangos kezelés a hús állományát nagy mértékben lazítja. A laza szövetszerkezet egyenletesebb só- és vízeloszlást eredményez, s a kezeletlen húshoz képest a kezelt hús keménysége is egyenletesebbnek mondható teljes keresztmetszetében. Szintén Friedrich (2008) bizonyította a 2-4 W/cm² közötti intenzitású aktív UH kezelés kedvező hatását a diffúzió sebességére, s ebben a tartományban meghatározta a diffúziós tényező és az intenzitás összefüggését is:

$$D \text{ [m/s}^2\text{]} = 2,7 * 10^{-10} * e^{0,477*I}, \text{ ahol } I \text{ [W/cm}^2\text{]} \text{ az UH intenzitása}$$

A húsok állományának kedvező változása több tényezőnek is köszönhető. Egyrészt a sejtmembránok áteresztő képessége nem csak a mikroorganizmusokra van hatással, hanem a sejtes szerkezetű élelmiszerek sejtmembránjait is roncsolja, csökkentve ezzel a szerkezet rágással szembeni ellenállását. Szintén a hús puhulását idézheti elő az aktív UH hatása az enzimek aktivitására – legalábbis a fehérjék bontását végző enzimek (pl. katepszin) számára kedvező intenzitástartományban.

Az élelmiszerek *víztartó képességére* (WHC) vonatkozóan A.D. Alarcon-Rojo, et al. (2019) ellentmondásos kutatási eredményekről számoltak be. A kezelés ugyanis önmagában alkalmazva friss húsok esetén kifejezetten növelte a vízvesztéséget, más technológiákkal kombinált termékek előállításánál (pl. pácolás) azonban javította a WHC-t.

Az aktív UH alkalmazása során – főleg a kavitációt kísérő rendkívül magas lokális hőmérséklet okozta kémiai reakcióknak köszönhetően – sajnos kifejezetten negatív hatásokkal is számolni kell. A termékekben *oxidációs instabilitás* alakulhat ki a keletkező szabad .OH gyökök következtében. Mivel az óriás fehérjemolekulák is sérülnek, előre nem meghatározható helyeken alakulhatnak ki *keresztkötések*. További kedvezőtlen hatás, hogy a keletkező H₂O₂ befolyásolja, *rontja a termék színét*. Ezen a ponton hadd jegyezzem meg, hogy a termékfejlesztés kezdeti szakaszában ez utóbbi nem feltétlenül negatív jelenség. A színváltozás ugyanis könnyen észlelhető, jól detektálható, s a megfelelő kezelési paraméterek kísérleti meghatározásakor esetleg indikátorként is alkalmazható.

A.D. Alarcon-Rojo, et al. (2019) összegzésükben úgy találták, hogy a negatív hatások elfogadható szintre történő csökkentése egyrészt a tartósítási technológiákban már jól ismert „gátelmélet”, azaz *más technológiákkal való kombináció* segítségével valósítható meg. Másrészt felhívták a figyelmet arra, hogy az eddig elérhetővé vált hatalmas mennyiségű tudományos munka ellenére még mindig vannak információs „fehér foltok” az UH kezelések *idő – intenzitás és egyéb faktorok* húsokra gyakorolt együttes hatását illetően.

3.3.3. Nedves pácolás aktív UH kezeléssel

Az aktív UH kezeléssel kombinált nedves pácolás egy tipikusan „kombinált” technológia. Az UH ezen a területen történő alkalmazása kifejezetten ígéretes. Tekintettel arra, hogy az ilyen típusú kezelés során a termékben végbemenő folyamatok az ultrahangtól függetlenül is végbemennek, az ultrahangos kezelés intenzitása és időtartama rugalmasan állítható, s beállítható úgy, hogy a negatív hatások jelentkezésére az alkalmazott paraméterek mellett még ne kerüljön sor.

A nedves pácolás során telített nitrites pácsó oldatba helyezik a húst, s az eljárás során a fentiekben a részleteiben már tárgyalt folyamatok zajlanak le:

- a páclé sótartalma bediffundál a hús szöveteibe
- a víz kétirányú áramlást végez, s a termék vízfelvételét vagy veszteségét a kettő eredője határozza meg: az ozmotikus nyomás következtében a húsból távozik a víz, a víz saját koncentráció gradiense következtében pedig a termék belseje felé áramlik a víz
- a magas sókoncentráció által érintett szövetekben denaturálódnak bizonyos fehérjék
- a nitrites pácsó elvégzi egyrészt színekialakító, másrészt mikrobiológiailag elkerülhetetlen feladatát

Látható, hogy a pácolás során végbemenő folyamatok csaknem mindegyikét a diffúzió jelensége határozza meg. Az aktív ultrahang alkalmazása ezt a diffúziós tényezőt növeli meg, ami a folyamatok gyorsabb lejátszódását teszi lehetővé. Ipari alkalmazásban ez rövidebb átfutási időt, 1 kg termékre vonatkoztatva pedig kisebb üzemi alapterület-igényt jelent.

4. ANYAG ÉS MÓDSZER

4.1. Mérési módszer

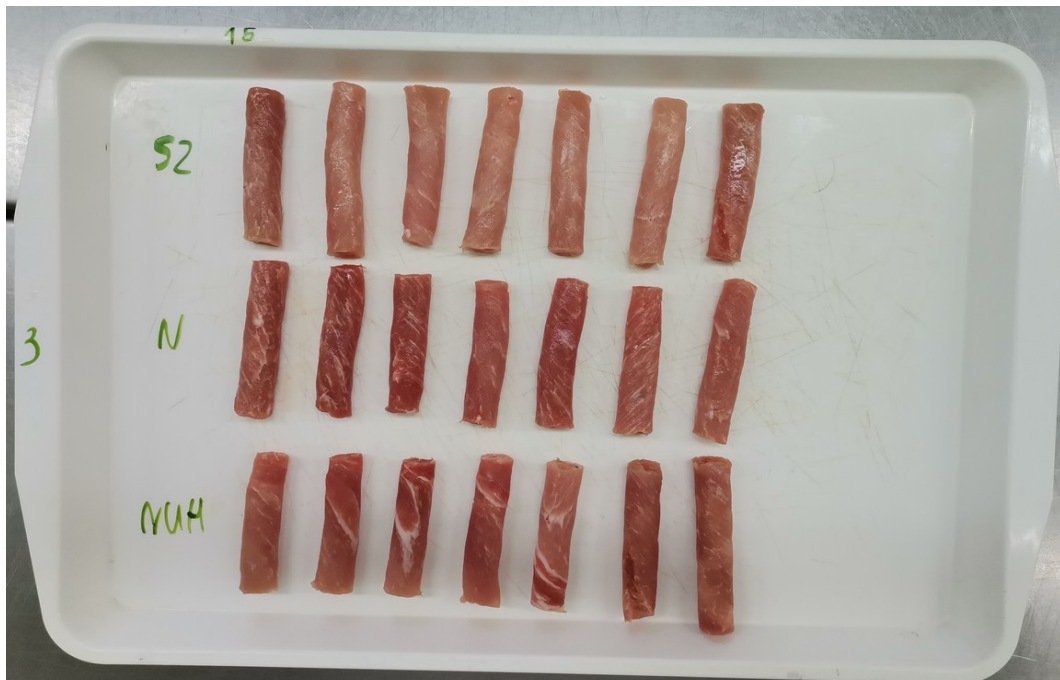
4.1.1. A hús előkészítése

A vizsgált minta alapanyaga előhűtött sertés hosszúkaraj, melyet a SPAR Magyarország Kft. Bicskei Húsüzeméből szereztünk be 2023. március 6-án. A kivágott teljes húsrészeket beszerezést követően kezelhető méretű darabokra vágtuk és a mérés napjáig fagyasztó szekrényben tálcán tároltuk. (14. ábra)



14. Ábra – Fagyasztva tárolt sertés hosszúkaraj (saját fénykép)

A mérési nap reggelén a laborhelyiségben alufóliával lefedve felengedettük kb. $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ig. Ezen a hőmérsékleten a mérési minták kivágása könnyebben megvalósítható, mint magasabb hőfokon. Az egész húsrészek zsírmentes részeiből, az izomrostokkal párhuzamosan összesen 69 db, $L=80\text{ mm}$ hosszúságú és $D=\text{Ø}15\text{ mm}$ átmérőjű hengert vágunk ki, s lemértük a kiindulási tömegét. A kivágott húsminták közül 3+3 db-ot elkülönítettünk kontrollmintának, a többit tálcákra rendeztük, s a mérések kivételével a párolgási tömegvesztés minimalizálása érdekében alufóliával lefedve tartottuk. Mivel minden mérést 3x ismételtünk meg, így ennek megfelelően rendeztük a mintákat 3 db tálcára, s a tálcákon jelöltük az egyes húsminták kezelési módját és idejét. (15. ábra)



15. Ábra – A 3. mérési sorozathoz tartozó tálca (saját fénykép)

*SZ – száraz sózás, N – nedves pácolás, NUH – nedves pácolás + ultrahang
bal oldali oszlop: 15 perc kezelési idő, majd rendre: 30/60/90/120/150/180 perc*

4.1.2. Kontrollminták

A kontroll minták közül 3 db-on nem végeztünk semmilyen kezelést. Ez a minta szolgáltatja a kezeletlen hús jellemzőit. A másik 3 db-ot sótartalom kiegyenlítődéig (kb. 2 napig) telített pácsóoldatba helyeztük, amely a „végtelen ideig” pácolt hús jellemzőit szolgáltatja.

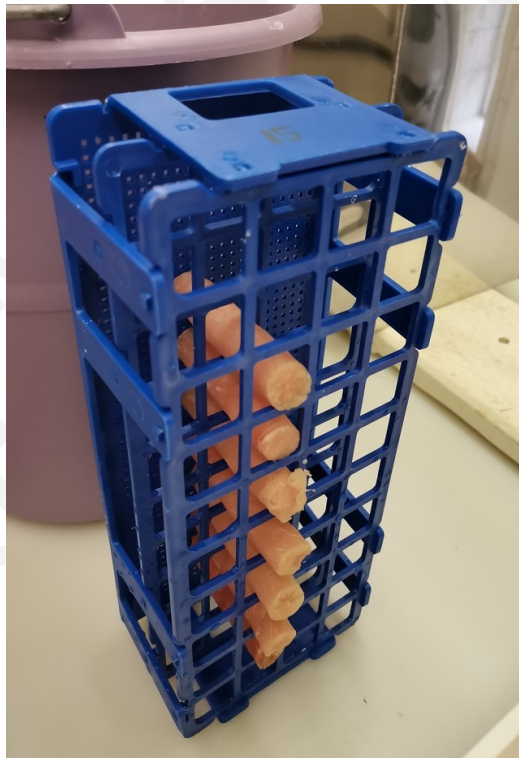
4.1.3. Pácolási műveletek elvégzése

Az első mérési sorozat elindítása előtt annyi nitrites pácsót helyeztünk egy üvegtálba, amennyivel a pácolandó húsokat teljesen be lehet borítani. (16. ábra) Az üvegtál szélén bejelöltük a 15 perces minta felőli oldalt, s a mintákat pácolási időnek megfelelő sorrendben úgy helyeztük a tálba és borítottuk be sóval, hogy az mindegyik mintát minden irányból lefedje. 15 perc sózási idő leteltével kivettük az első mintát, tiszta vízben leöblítettük, felületéről a vizet leittattuk, megmértük a pH-t és a kezelés utáni tömegét.



16. Ábra – Száraz sózás (saját fénykép)

A műveletet 30/60/90/120/150/180 percnél ugyanígy elvégeztük a többi húsmintán is. Mérést követően a mintákat az eredeti tálcára raktuk vissza úgy, hogy a kezelési módot és időtartamot később is be lehessen azonosítani. A tálcát a további (szárazanyag- és sótartalom) mérésekig alufóliával lefedve tároltuk.



17. Ábra – Minták elhelyezése a nedves pácoláshoz (saját fénykép)

A nedves pácolásra kerülő mintákat oldalára állított kémcsőtartó állványba helyeztük a 17. ábrának megfelelően, s műanyag vödörben telített pácsó oldatba (szobahőmérsékleten 26,3%) merítettük. A minták pácolási idő leteltét követő kiszedése, öblítése, lemérése a száraz sózásnál részletezett módon történt.

Az ultrahangos kezeléssel kiegészített nedves pácoláshoz összeállítottuk az ultrahang generátort és a pácolási teret (18. ábra). Az ultrahang generátor $P=400\text{W}$ teljesítményű, a sugárzófej pedig $D=60\text{ mm}$. A kibocsátott akusztikus energia az alábbi képlettel számítható:

$$E = P / A = \frac{P}{\left(\frac{D}{2}\right)^2 \pi} = \frac{400\text{ W}}{\left(\frac{6\text{ cm}}{2}\right)^2 \pi} = 14,1474 \frac{\text{W}}{\text{cm}^2}$$

Ez az akusztikus energia további számításainkban nem játszik ugyan szerepet, azt azonban mindenképpen közölnünk kell, hogy a jelen dolgozat későbbi szakaszaiban bemutatott eredmények 19 kHz frekvencia és $14,1474\text{ W/cm}^2$ akusztikus energiájú kezelést követően álltak elő.



18. Ábra – Ultrahangos kezelőtér kialakítása (saját fénykép)

Az ultrahangos kezeléssel kiegészített nedves pácolás során a minták bekészítése után a kémcsőtartó állványt elfektetve úgy helyeztük el a kezelőtérben, hogy az ultrahang sugárzás egyenletesen érje a mintákat. Egyébként az ultrahangos nedves pácolás mérése minden tekintetben azonos módon történt mint az egyszerű nedves pácolás.

Mindhárom pácolást összesen 3 alkalommal, tehát 3 mérési sorozatot végrehajtva végeztük el, vagyis a 3 párhuzamos minta 3 egymástól független pácolásból származik. Ezt követően először a szárazanyag tartalmat, végül a sótartalmat határoztuk meg.

4.1.4. Szárazanyag tartalom meghatározás

A szárazanyag tartalom meghatározásához minden henger közepéből kivágtunk egy korongot, melyet igyekeztünk 1-2g közötti tömegűre vágni. Minden egyes kivágott korongot olyan petricsészére helyeztünk, melynek tömegét előzetesen lemértük, táráztuk, oldalára pedig feljegyeztük a minta azonosítóját: pl. SZ/30/2 (azaz száraz sózás, 30 percig, a 2. mérési sorozatból). A szelet tömegét szintén feljegyeztük. Az így elkészített és megjelölt mintákat szárítószekrényben 105 °C-on, tömegállandóságig szárítottuk, s a szárítás utáni együttes tömeget szintén lemértük, s feljegyeztük. A minta szárazanyag tartalmát az alábbi módon határoztuk meg:

$$SZA = \frac{m_v - m_p}{m_h}$$

ahol m_v – a szárítás után visszamért petricsésze tömege, m_p – az üres petricsésze tömege és m_h – a pácolt húsminta tömege.

4.1.5. Sótartalom meghatározás

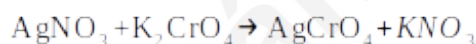
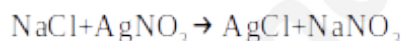
Törzsoldat elkészítése

A sótartalom Mohr-eljárással történő meghatározásához csak a mintahengerek belsejét használtuk fel, hogy keresztmetszetében minél homogénebb legyen a vizsgált húsminta, a mérési modellt ne befolyásolja a véglapok felőli sódiffúzió. Az így előkészített mintából aprítás után kb. 4-5 g tömegű mennyiséget Stift lombikba kimértünk. A Stift-lombikot ezt követően félig töltöttük desztillált vízzel, s 80°C-os vízfürdőben 25 perc alatt kioldottuk a

sótartalmat. Kioldás után a lombik tartalmát jeges vízfürdőben szoba-hőmérsékletűre hűtöttük, a lombikot a 100 cm³ jelre töltöttük, majd a szilárd részeket redős szűrőpapíron leszűrtük.

Titrálás

Mivel a titrálás alapfeltétele a semlegeshez közeli pH, a törzsoldat pH-ját előzetesen ellenőriztük. A törzsoldat pH-ja minden esetben semleges volt. Az így ellenőrzött törzsoldatból 10 ml mennyiségeket kálium-kromát (K₂CrO₄) indikátor jelenlétében ezüst-nitrát (AgNO₃) mérőoldattal titráltunk. A titrálás során először ezüst-klorid (AgCl) válik ki, mivel ennek oldhatósága kisebb, mint az ezüst-kromáté (Ag₂CrO₄). Amikor az oldatban lévő összes kloridion (Cl⁻) AgCl-ként kivált, már a mérőoldat egy cseppnyi feleslegétől is vöröses színű Ag₂CrO₄ csapadék keletkezik, ami a titrálás végpontját jelzi. A reakcióegyenlet a következő:



Az AgNO₃ mérőoldat fogyása alapján a minta NaCl tartalma az alábbi egyenlettel számolható:

$$\text{NaCl} \left[\frac{m}{m} \% \right] = \frac{V_f \times f \times E \times V_{ST}}{V_T \times m}, \text{ ahol}$$

V _f [ml]	a mérőoldat fogyása,
f=1,3375	a mérőoldat faktora,
E = 5,85 mg / ml (0,1n AgNO ₃)	só egyenérték,
V _{ST} = 100 ml	a Stift-lombik térfogata,
V _T = 10 ml	titrált térfogat,
m [mg]	bemért hús tömege

4.2. Diffúziós modellek

A fizikai jelenségeket a tudomány megfigyeli, majd jellemzően modellek alkalmazásával írja le. Ezek a modellek különböző kutatók különböző gondolatmenetének köszönhetően eltérően épülhetnek fel, a természeti jelenséget – adott esetben a diffúziót – azonban jól leírják. Mivel a fizikai mérések során a vizsgált minták átlagos só és átlagos nedvességtartalmát tudtuk meghatározni, olyan diffúziós modelleket keresünk, amelyek az alábbi logikát követik:

$$\frac{c_t - c_0}{c_x - c_0} = \text{MODELL}(D)$$

Az egyenlet bal oldalát ismerjük, hiszen ezt mértük meg. A kontroll minták biztosítják számunkra a c_0 és a c_∞ értékeket, a c_t koncentráció értékeket pedig több időpontra vonatkozóan (15/30/60/90/120/150 perc) is meghatároztuk.

Jobb oldalát egy olyan modell adja, ami jól leírja a vizsgált jelenséget. Esetünkben Martuscelli et al (2017), Abbasi et al (2012) és Telis et al (2014) modelljeit alkalmaztuk. A modellek D – diffúziós tényezőt adó paraméterét a modellek illesztésével határoztuk meg.

4.2.1. Martuscelli diffúziós modellje

Martuscelli et al (2017) modellje a β paraméteres Weibull eloszlást követi:

$$\frac{c_t - c_0}{c_x - c_0} = 1 - e^{-\left(\frac{t \cdot D_{calc}}{R^2}\right)^\beta}$$

ahol esetünkben $R = 0,075$ m (a mintahenger sugara), $\beta = 0,7$ (húsoknál jól használható paraméter), $t = 900 / 1800 / 3600 / 5400 / 7200 / 9000 / 10800$ sec, a pácolási időknek megfelelően, D_{calc} pedig a számított diffúziós tényező. A modell a tényleges diffúziós tényezőt a minta alakját kifejező R_g (dimenzió nélküli) tényezővel módosítja, amely hosszú hengeres test esetén $R_g = 9,5$:

$$D_{eff} = \frac{D_{calc}}{R_g}$$

4.2.2. Abbasi diffúziós modellje

Abassi et al (2012) modellje Bessel függvény gyökeivel:

$$\frac{c_t - c_0}{c_x - c_0} = \sum_{n=1}^n \frac{4}{\mu_n^2} e^{(-\mu_n^2 \frac{D \cdot t}{R^2})}$$

ahol esetünkben $n=50$ közelítést alkalmazunk, μ_n a Bessel függvény gyöke, $R = 0,075$ m (a mintahenger sugara), $t = 900 / 1800 / 3600 / 5400 / 7200 / 9000 / 10800$ sec, a pácolási időknél megfelelően, D pedig a számított diffúziós tényező.

4.2.3. Telis diffúziós modellje

Telis et al (2004) modellje a diffúzió számítását az alábbi közelítéssel oldja meg:

$$\frac{c_t - c_0}{c_x - c_0} = 1 - \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=0}^n \frac{1}{(2n+1)^2} e^{\frac{-[2n+1]^2 \cdot \pi^2 \cdot D \cdot t}{R^2}}$$

ahol mi szintén $n=50$ közelítést alkalmazunk, $R = 0,075$ m (a mintahenger sugara), $t = 900 / 1800 / 3600 / 5400 / 7200 / 9000 / 10800$ sec, a pácolási időknél megfelelően, D pedig a számított diffúziós tényező.

4.2.4. Modellek illesztésének módszere

Mindegyik módszer esetén az egyenlet bal oldalát XLS táblázatba rendezve számítottam ki.

A száraz sózás sókoncentráció mérési adatait és a modell illesztési egyenlet bal oldalának értékeit a 3. táblázat tartalmazza. A többi pácolási módhoz tartozó sókoncentrációs adatokat hasonlóan rendeztem táblázatba.

t [sec]	c ₀ [m/m%]	c _t [m/m%]	c _∞ [m/m%]	(c _t -c ₀) / (c _∞ -c ₀)
0	0,46	0,46	18,6	0,00
900	0,46	3,54	18,6	0,17
1800	0,46	4,92	18,6	0,25
3600	0,46	6,74	18,6	0,35
5400	0,46	7,98	18,6	0,41
7200	0,46	8,9	18,6	0,47
9000	0,46	9,92	18,6	0,52
10800	0,46	10,5	18,6	0,55

3. Táblázat – A hús só koncentrációjának alakulása száraz sózás esetén

A víztartalom mérési adatait és a hozzájuk tartozó modell illesztési egyenlet bal oldalát a sótartalomnál ismertettekkel analóg módon alakítottam ki.

Az egyenletek jobb oldalait szintén táblázatba rendeztem, s a diffúziós állandókat a táblázatkezelő SOLVER eszközével határoztam meg úgy, hogy az egyenlet két oldala között fennálló különbség minimális legyen. Ehhez a SOLVER futtatása során a mért-modellezett eredmények különbsége négyzetösszeg átlagának gyökét, azaz az RMSE (root-mean-square-deviation) értékét minimalizáltam.

5. EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉS

5.1. Mérési eredmények

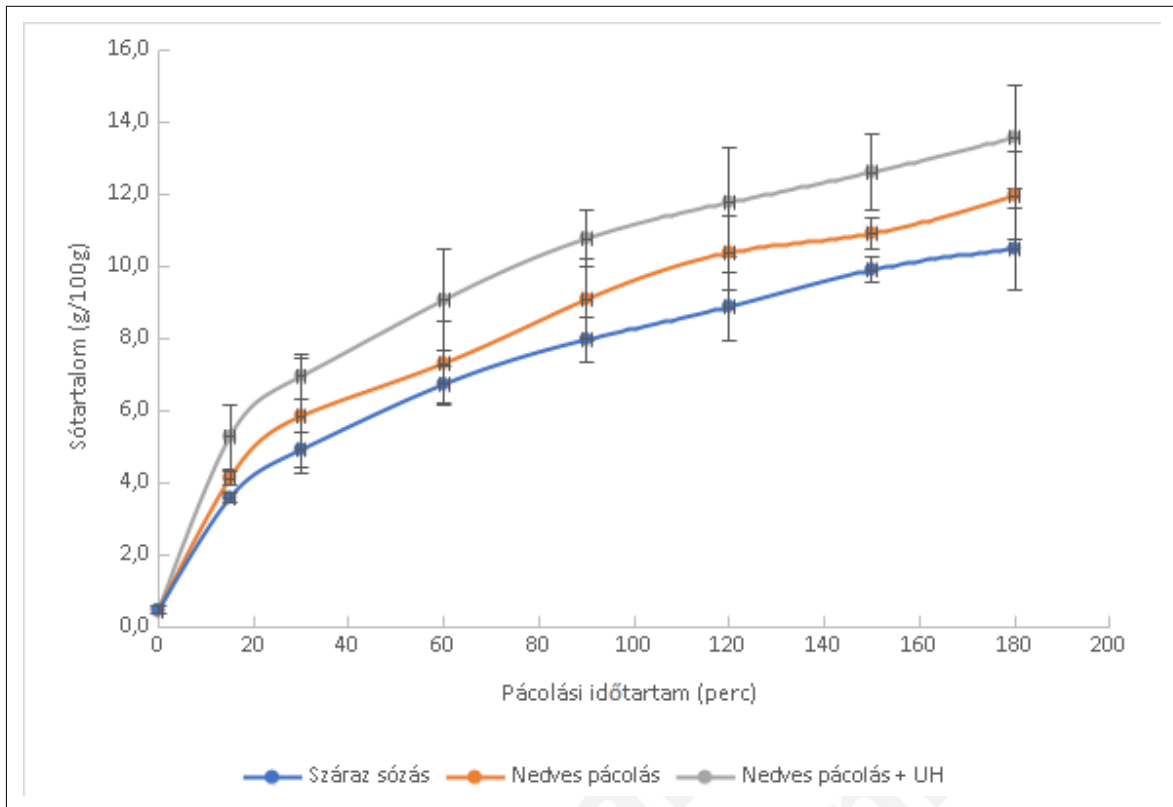
5.1.1. A sótartalom mérés eredményei

Vizsgálataim során meghatároztam a sótartalom alakulását mindhárom típusú pácolás során. Minden mérést háromszor végeztem el, s ezek átlagértékeit a 4. táblázatban, diagramját pedig a 19. ábrán mutatom be.

t [perc]	c ₀ [m/m%]	c _t [m/m%]			c _∞ [m/m%]
		száraz s.	nedves p.	nedv. p. + UH	
0	0,46	0,46	0,46	0,46	18,6
15		3,54	4,13	5,28	
30		4,92	5,86	6,96	
60		6,74	7,32	9,08	
90		7,98	9,1	10,79	
120		8,9	10,39	11,79	
150		9,92	10,93	12,63	
180		10,5	11,98	13,6	

4. Táblázat – A hús só koncentrációjának alakulása különböző pácolási módoknál

Az eredményeket megvizsgálva megállapítható, hogy a húsmintákban mérhető átlagos sókoncentráció a *leglassabban a száraz sózás* során, a *leggyorsabban pedig az aktív ultrahangos kezeléssel kiegészített nedves pácolás* során emelkedik. Tekintettel arra, hogy nedves pácolásnál telített sóoldatot használtunk, feltételezhető, hogy a hús felszínén mindkét eljárásnál egyformán közelít a telítetthez. A két eljárás között mégis jelentős különbség tapasztalható, melynek az a magyarázata, hogy száraz sózás során a só kristályos formában van jelen, s így egészen addig nem képes a diffúzióra, amíg a hús belsejéből kifelé diffundáló víz meg nem jelenik a környezetében, s oldatba nem viszi azt. A sónak a hús belseje felé irányuló diffúzióját tehát limitálja a víznek a húsból kifelé irányuló diffúziója.



19. Ábra – Sókoncentráció alakulása száraz sózás, nedves pácolás és ultrahanggal támogatott nedves pácolás során

A nedves pácolás és az aktív ultrahangos kezeléssel kiegészített nedves pácolás között szintén szembevetendő a különbség. Az ultrahangos kezelés ugyanis a hús felszínén ható kavitációs jelenségek következtében lazítja a szöveti szerkezetet, a hús belsejében pedig a „szivacs-effektus” segíti az oldatba vitt só áramlását. Vizsgálatunk tehát igazolja az eddigi kutatási eredményeket (Y. Yao, et al., 2020), s egyértelműen megállapítható, hogy a sókoncentráció változása megfelel az alábbi sorrendnek:

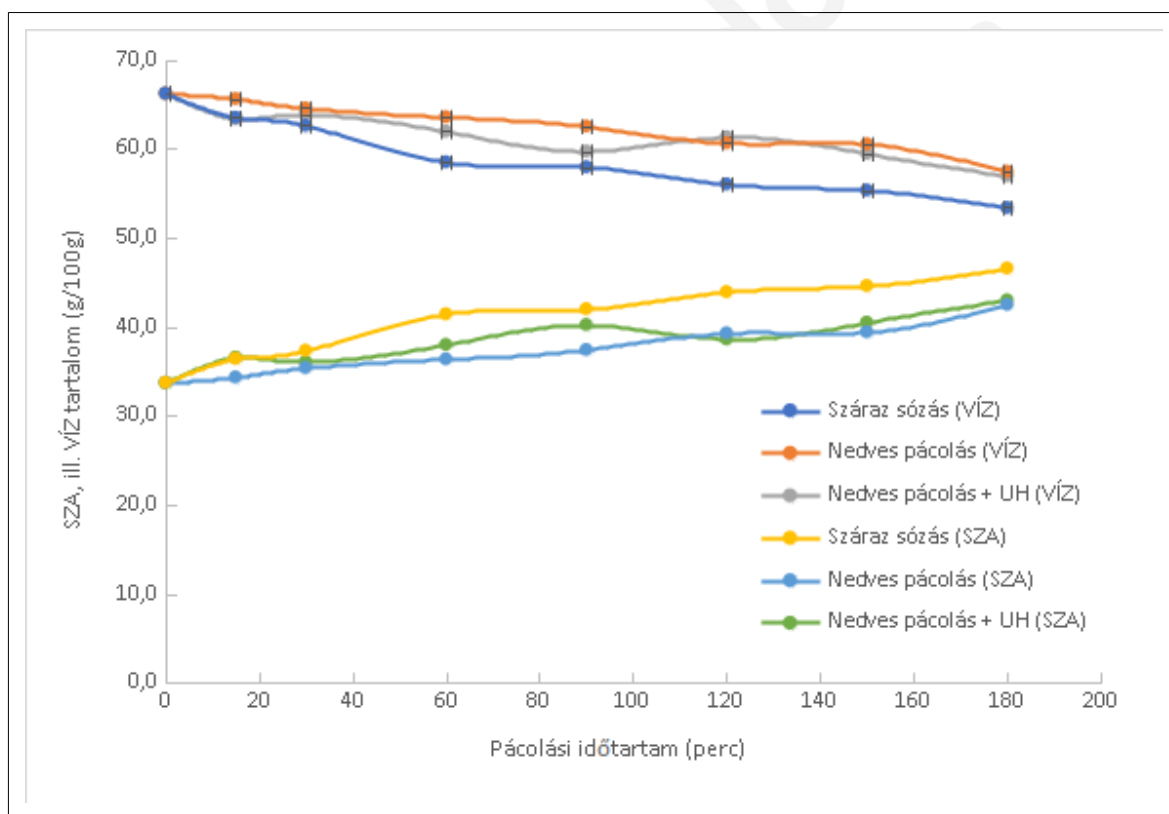
SZÁRAZ SÓZÁS < NEDVES PÁCOLÁS < NEDVES PÁCOLÁS + UH

5.1.2. A víztartalom mérés eredményei

Az előzőekben bemutatott sótartalomhoz hasonlóan a víztartalom alakulását is meghatároztam mindhárom típusú pácolás során. A három független mérés átlagértékeit az 5. táblázatban foglalom össze, grafikusan pedig a 20. ábrán mutatom be.

t [perc]	X ₀ [m/m%]	X _t [m/m%]			X _∞ [m/m%]
		száraz s.	nedves p.	nedv. p. + UH	
0	66,1	66,24	66,24	66,24	76,6
15		63,53	65,64	63,4	
30		62,63	64,58	63,9	
60		58,54	63,6	61,98	
90		57,97	62,55	59,74	
120		56,05	60,68	61,35	
150		55,36	60,56	59,48	
180		53,4	57,48	56,97	

5. Táblázat – A víztartalom alakulása

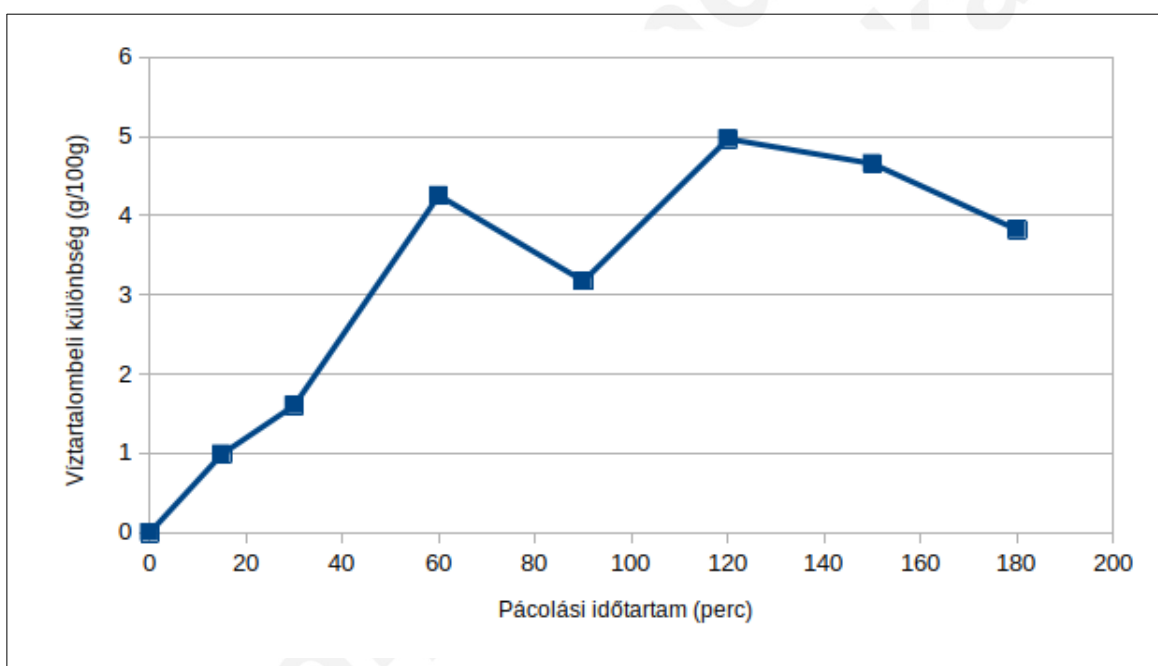


20. Ábra – Víz- és szárazanyag tartalom alakulása száraz sózás, nedves pácolás és ultrahanggal támogatott nedves pácolás során

A mérési eredmények jól mutatják, hogy száraz sózásnál mindig alacsonyabb a termék víztartalma, mint nedves pácolási módok esetén. Ennek az az oka, hogy nedves pácolási módok esetében a víz áramlását az ozmotikus jelenségek mellett egy további tényező is

befolyásolja: a víz koncentrációja a felületen magasabb, mint a hús belsejében, s az így megjelenő termék belseje felé mutató koncentráció gradiens ellensúlyozza, gátolja a víz termékből történő távozását a pácolás során.

Megfigyelhető továbbá, hogy a nedvességtartalombeli különbség a száraz sózás és a másik két pácolási mód között kb. a 60. percig folyamatosan növekszik. A 60. pácolási perctől kezdve azonban ez a különbség beáll egy körülbelül 4%-os szintre. (21. ábra) A pácolási eljárások gazdaságossági számításainál tehát érdemes figyelembe venni, hogy nedves pácolás esetén azonos pácolási idők mellett kb. 4%-os kihozatali többlet érhető el, mint száraz esetén. Érelt-szárított sonkaféléknél ez hátrányos, hiszen ezt a plusz vizet is el kell később párologtatni. Hőkezelt termékek esetén azonban növelheti a késztermék kihozatalát.



21. Ábra – Vízartalom többlet a nedves pácolásoknál a száraz sózáshoz képest

Megfigyeltem továbbá, hogy a nedves pácolás és az ultrahanggal támogatott nedves pácolás esetén hasonlóan alakult a nedvességtartalom változása, annak ingadozása a mérés során meghaladta a kimutatható különbséget, így a két nedves pácolási mód hatása a termékre e tekintetben nem tér el egymástól.

5.2. Diffúziós állandók meghatározása

5.2.1. A só diffúziós állandójának meghatározása

A só diffúziós állandóját száraz sózás, nedves pácolás valamint aktív ultrahangos kezeléssel támogatott nedves pácolás esetén három modellel számítottam ki, s ennek eredményeit a 6. táblázatban foglalom össze.

	Diffúziós együttható – $D \cdot 10^{-10}$ [m ² /s]			RMSE		
	Martuscelli et al (2017)	Abbasi et al (2011)	Telis et al (2004)	Martuscelli et al (2017)	Abbasi et al (2011)	Telis et al (2004)
száraz sózás	4,42	4,22	3,36	0,0191	0,0048	0,0102
nedves pácolás	5,84	5,75	4,45	0,0211	0,0098	0,0152
nedves pác. + UH	8,53	8,55	6,3	0,0265	0,0105	0,0265

6. Táblázat – A só diffúziós tényezők értékei sertés karaj sózása, nedves pácolása és nedves pácolás + ultrahangos kezelés esetén

A 6. táblázatból jól látható, hogy a három vizsgált modell közül Abbasi et al (2011) modellje közelítette a legjobban a mért sótartalom értékeket – bármelyik pácolási módot is tekintjük. E modell szerint a száraz sózás diffúziós állandója $4,22 \cdot 10^{-10}$ m²/s, mely *nedves pácolás* alkalmazásával megközelítőleg *harmadával, aktív ultrahanggal támogatott nedves pácolás* alkalmazásával pedig *kétszeresére* javítható. Megállapíthatjuk továbbá, hogy annak ellenére, hogy a másik két modellezési mód eltérő numerikus eredményt adott, az egyes pácolási módok egymáshoz való viszonyát ugyanígy határozza meg. (7. táblázat)

	Martuscelli et al (2017)	Abbasi et al (2011)	Telis et al (2004)
nedves pácolás	+32,1%	+36,3%	+32,4%
nedves pác. + UH	+92,9%	+102,6%	+87,5%

7. Táblázat – Pácolási eljárások só diffúziót javító hatása a száraz sózáshoz képest

5.2.2. A víz diffúziós állandójának meghatározása

A víz diffúziós állandóját száraz sózás, nedves pácolás valamint aktív ultrahangos kezeléssel támogatott nedves pácolás esetén három modellel számítottam ki, s ennek eredményeit a 8. táblázatban foglalom össze.

	Diffúziós együttható – $D \cdot 10^{-9}$ [m ² /s]			RMSE		
	Martuscelli et al (2017)	Abbasi et al (2011)	Telis et al (2004)	Martuscelli et al (2017)	Abbasi et al (2011)	Telis et al (2004)
száraz sózás	2,18	2,42	1,63	0,1409	0,1426	0,1283
nedves pácolás	0,48	0,50	0,40	0,1049	0,1199	0,1091
nedves pác. + UH	0,73	0,79	0,59	0,0930	0,0962	0,0906

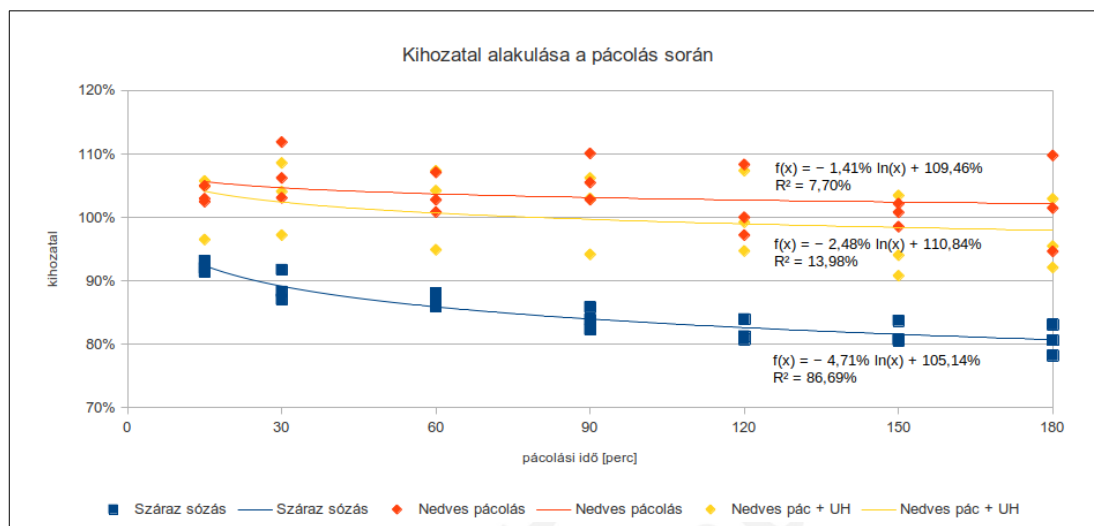
8. Táblázat – A víz diffúziós tényezőjének meghatározása

Mielőtt elemezni kezdjük a diffúziós együtthatóra kiszámított értékeket, fontosnak tartom megjegyezni, hogy a víztartalom esetében mindhárom modell sokkal pontatlanabbnak bizonyul, mint ahogyan azt a sótartalomnál tapasztalhatjuk. Ennek okai az alábbiak lehetnek:

1. A víz mozgását nem olyan tiszta diffúzió jellemzi mint a sóét, hanem amint a fentiekben azt már leírtam, kétirányú folyamatról van szó, melynek eredője adja a víz mozgásának hajtóerejét.

2. A víz megkötése nem csak a diffúzió elve alapján történik, hanem felületi megkötéssel is számolni kell. A mérés során fel is készültünk erre a jelenségre, ezért volt fontos lépés a pácolt minták felületéről a nedvesség leitatása. A felületi nedvesség leitatása azonban nem kivitelezhető tökéletesen. Egyrészt azért, mert a vízmolekulák erősebben kötődhetnek olyan poláris csoportokkal rendelkező molekulaláncokhoz a hús felületén, mint az itatóspapír anyagához. Másrészt a hús rostirányban kivágott felszíne olyan bordázott felületet, barázdákat tartalmaz, amelyek miatt a felületi víz egy része nem is érintkezik a leitatás során az itatóspapírral. Ezt a jelenséget igazolja a 22. ábrán látható kihozatal

alakulására illesztett trendvonalak egyenletei is, melyek száraz sózás esetén kb. 105%-ról, nedves pácolások esetén pedig egységesen megközelítőleg 110%-ról indulnak és nem 100%-ról! Ez a jelenség sajnos rontja a diffúzió modellezhetőségét. Ipari gyakorlatban pácolt-hőkezelt termékek kihozatalának javítására esetleg felhasználható. Mivel a víz felületi megkötése a felülettel arányos, a hőkezelt-pácolt termékek kihozatala javítható azáltal, ha kisebb geometriai méretű termékek kerülnek pácolásra.



22. Ábra – Kihozatal alakulása az egyes pácolási eljárásoknál

Az egyes modellek pontatlansága ellenére a só diffúziójához hasonlóan itt is jól kivehető a nedves pácolási eljárások víz diffúziót gyengítő hatása a száraz sózáshoz viszonyítva. (9. táblázat) Mivel a diffúzió itt a húsból kifelé irányul, ez a gyengítő hatás az ipari alkalmazásban kifejezetten kedvezőnek tekinthető.

	Martuscelli et al (2017)	Abbasi et al (2011)	Telis et al (2004)
nedves pácolás	-78,2%	-79,6%	-75,3%
nedves pác. + UH	-66,5%	-67,2%	-63,6%

9. Táblázat – Pácolási eljárások víz diffúziót befolyásoló hatása

6. ÖSSZEFOGLALÁS

A száraz sózás, a nedves pácolás és az aktív ultrahangos kezeléssel kiegészített nedves pácolás diffúzióra gyakorolt hatását vizsgáló munkám során az alábbiakat állapítottam meg:

1. Száraz sózással kezelt, $L=80$ mm hosszúságú és $D=\varnothing 15$ mm átmérőjű henger alakú hosszú karaj húsminta sóra vonatkoztatott diffúziós tényezője Abbasi et al (2011) modellje alapján $D = 4,22 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$.
2. A nedves sózás alkalmazása a só diffúziós tényezőjét mintegy harmadával növeli, $14,1474 \text{ W}/\text{cm}^2$ intenzitású, 19 kHz frekvenciájú aktív ultrahanggal kiegészítve pedig megkétszerezi.
3. Nedves pácolás alkalmazása során az $L=80$ mm hosszúságú és $D=\varnothing 15$ mm átmérőjű henger alakú hosszú karaj húsminta nedvességtartalma a 60. pácolási percre mintegy 4%-kal meghaladja a száraz sózással kezelt mintáét, ezt követően pedig fennmarad ez a különbség.
4. Az aktív ultrahangos kezelés a víz kifelé irányuló diffúzióját kis mértékben erősíti is.
5. A alkalmazott diffúziós modellek (Martuscelli et al, 2017, Abbasi et al, 2011, Telis et al, 2004) a víz diffúziós állandójának meghatározására kevésbé alkalmasak, de az egyes pácolási módok esetén a víz diffúziójának egymáshoz képesti alakulását kifejezik. Vizsgálataim szerint az aktív ultrahangos kezeléssel kombinált nedves pácolás a víz kifelé irányuló diffúziós tényezőjét a száraz sózáshoz képest megközelítőleg 65%-kal tudja csökkenteni, az egyszerű nedves pácolás pedig 75-80%-kal.
6. Felismertem a pácolás során jelentkező felületi vízmegkötés jelenségét. A felületi vízmegkötés mértéke $L=80$ mm hosszúságú és $D=\varnothing 15$ mm átmérőjű henger alakú hosszú karaj húsminta esetén száraz sózásnál a húsminta kezdeti tömegéhez viszonyított 5%, nedves- és ultrahanggal támogatott nedves pácolás esetén pedig 10% körül alakul.

IRODALOMJEGYZÉK

- ABBASI, ET AL.: *Mathematical modeling of moisture and solute diffusion in the cylindrical green bean during osmotic dehydration in salt solution*, Food and Bioproducts Processing 90, 64-71. (2012)
- A.D. ALARCON-ROJO, ET AL.: *Ultrasound and meat quality: A review*, Ultrasonics – sonochemistry 55, 369-382. (2019)
- BARTA J. ÉS KÖRMENDY I. (szerk.): *Növényi nyersanyagok hőközléses tartósító technológiái*, Mezőgazda Kiadó (2007), 84.
- BALLA CS. ÉS SIRÓ I. (szerk.): *Élelmiszer-biztonság és -minőség II.*, Mezőgazda Kiadó (2007), 118, 124, 129, 140-142.
- BEKE GY. (szerk.): *Hűtőipari kézikönyv – 2. Technológiák*, Mezőgazda Kiadó (2002), 56.
- FRIEDRICH L.: *Ultrahang alkalmazása húskészítmények minősítésében és gyártástechnológiájában*, doktori értekezés (2008)
- HOLICS L. (szerk.): *Fizika 1*, Műszaki Könyvkiadó (1992), 401.
- LŐRINCZ F. ÉS LENCSEPETI J. (szerk.): *Húsipari kézikönyv*, Mezőgazdasági Könyvkiadó Vállalat (1973), 535, 583-585, 588.
- M. MARTUSCELLI, ET AL.: *Prediction of the salt content from water activity analysis in dry-cured ham*, Journal of Food Engineering 200, 29-39. (2017)
- SZÚCS V. (szerk.): *Élelmiszeripari kézikönyv 1 – Alapfogalmak II.*, Nemzeti Agrárgazdasági Kamara (2018), 13-14.

V.R.N. TELIS, ET AL.: *Diffusion coefficients during osmotic dehydration of tomatoes in ternary solutions*, Journal of Food Engineering 61, 253-259. (2004)

Y. YAO, ET AL.: *Power ultrasound and its applications: A state-of-the-art review*, Ultrasonics – sonochemistry 62 (2020), 1, 9-12.

ZSARNÓCZAY G.: *Nitritmennyiségek hatásának vizsgálata húskészítményekben*, doktori értekezés (2011), 113-114.

Jogszabályok

MÉ-1-3/13-1 *A Magyar Élelmiszerkönyv 1-3/13-1 számú előírása a húskészítményekről és egyes előkészített húsokról*

1169/2011/EU rendelethez (2011. október 25.)

Elektronikus források

D. Meager (2022): loveFOOD, *A complete guide to Parma Ham*
<https://www.lovefood.com/guides/103641/what-is-parma-ham-prosciutto-di-parma>
(letöltés: 2023. április 14.)

Internet 1: Dorit DFT, *Vacuum Tumbler*
<https://www.dft-gmbh.de/en/machines/vacuum-tumblers> (letöltés: 2023. április 14.)

Internet 2: Food Processing Technology: *Hiperbaric 525 In-pack*
<https://www.foodprocessing-technology.com/products/hiperbaric-525-in-pack/#hiperbaric>
(letöltés: 2023. március 24.)

Internet 3: Research Gate, ***Schematic representation of the acoustic cavitation phenomenon***

https://www.researchgate.net/figure/Schematic-representation-of-the-acoustic-cavitation-phenomenon_fig1_283465606 (letöltés: 2023. április 14.)

Internet 4: Savaria Fórum Önkormányzati Hetilap, ***Páclé, érlelés és füstölés kell a jó húsvéti sonkának***

<https://www.savariaforum.hu/rovat/pacle-erleles-es-fustoles-kell-a-jo-husveti-sonkanak> (letöltés: 2023. április 14.)

Internet 5: Nemzeti Köznevelési Portál, ***Biológia 8. - II. Kültakaró és mozgás – 10. Az izmok működése***

https://www.nkp.hu/tankonyv/biologia_8/lecke_02_010 (letöltés: 2023. március 24.)

Internet 6: VAKONA, ***Pökelinjektor PI 54-105***

<https://www.vakona.de/project/pi-54-105/> (letöltés: 2023. április 14.)

Internet 7: Wikipedia, ***Ultrasound***

<https://en.wikipedia.org/wiki/Ultrasound> (letöltés: 2023. április 14.)

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Ezúton köszönöm meg **Dr. Jónás Gábor** konzulensemnek mindazt a szakmai segítséget, melyet munkám során nyújtott. Nélkülözhetetlen javaslataival támogatott. A mérések gyakorlati kivitelezésében oroszánrészt vállalt, s amiért különösen hálás vagyok – ezt a 69 mintán elvégzett monoton robot-munkák elvégzésében is megtette.

Továbbá köszönöm a **SPAR Magyarország Kereskedelmi Kft. Bicskei Húsüzemének**, hogy a kísérletekhez biztosította a hús alapanyagot.

Fekete Sándor
diplomamunka

SZERZŐI NYILATKOZAT

Alulírott **Fekete Sándor**

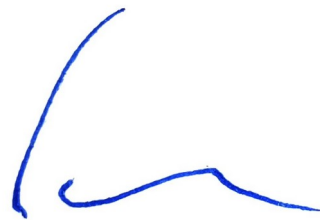
(Élelmiszermérnök MSc szak, levelező tagozat)

kijelentem, hogy **A só és víz diffúziójának vizsgálata száraz sózás, nedves pácolás és ultrahangos nedves pácolás során**

című diplomamunka a saját munkám eredménye. Azon részeket, melyeket más szerzők munkájából vettem át, egyértelműen megjelöltem, s az irodalomjegyzékben szerepeltettem.

Ha a fenti nyilatkozattal valótlan állítottam, tudomásul veszem, hogy a Záróvizsgabizottság a záróvizsgából kizár és záróvizsgát csak új dolgozat készítése után tehetek.

Budapest, 2023. május 2.



hallgató aláírása