



Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem

**A NAGY HIDROSZTATIKUS NYOMÁSKEZELÉS HATÁSÁNAK
VIZSGÁLATA A HÚS PÁCOLÁSA SORÁN**

Jónás Gábor

Budapest

2021

A doktori iskola

Megnevezése: Élelmiszertudományi Doktori Iskola

Tudományága: Élelmiszertudományok

Vezetője: Simonné Dr. Sarkadi Livia
Egyetemi tanár, DSc
Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem

Témavezető: Dr. Friedrich László Ferenc
Egyetemi tanár, PhD
Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem
Élelmiszertudományi és Technológiai Intézet
Állattermék és Élelmiszertartósítási Technológia Tanszék

A doktori iskola- és a témavezető jóváhagyó aláírása:

A jelölt a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem Doktori Szabályzatában előírt valamennyi feltételnek eleget tett, a műhelyvita során elhangzott észrevételeket és javaslatokat az értekezés átdolgozásakor figyelembe vette, ezért az értekezés védési eljárásra bocsátható.

.....
A Doktori Iskola vezetőjének jóváhagyása

.....
A témavezető jóváhagyása

TARTALOMJEGYZÉK

TARTALOMJEGYZÉK	1
1. BEVEZETÉS	3
2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS.....	5
2.1. A PÁCOLÁS TÖRTÉNETE.....	5
2.2. A PÁCOLÁS FOGALMA ÉS MÓDJAI	5
2.3. A PÁCOLÁS SORÁN VÉGBEMENŐ FIZIKAI ÉS KÉMIAI REAKCIÓK.....	7
2.3.1. Színkialakulás a pácolás során	7
2.3.2. A só hatása a pácolás során.....	10
2.3.3. A só diffúziója.....	11
2.3.4. A diffúziós folyamatok modellezése.....	13
2.3.5. A diffúziót befolyásoló tényezők	16
2.3.6. A só diffúzióját gyorsító eljárások.....	19
2.4. A NAGY HIDROSZTATIKUS NYOMÁSKEZELÉS HÁTTERE.....	20
2.5. A NAGY HIDROSZTATIKUS NYOMÁSKEZELÉS HATÁSA A HÚSOK ÉS HÚSKÉSZÍTMÉNYEK TULAJDONSÁGAIRA	22
2.5.1. A nyomáskezelés hatása a húsok állományára	23
2.5.2. A nyomáskezelés hatása a húsok színére.....	25
2.5.3. A nyomáskezelés hatása a húsfehérjékre	27
2.5.4. A nyomáskezelés hatása az emészthetőségre	30
2.5.5. A nyomáskezelés hatása a hús mikrostruktúrájára	31
2.5.6. A nyomáskezelés hatása a diffúzióra.....	33
2.6. AZ IRODALMI EREDMÉNYEK ÖSSZEGZÉSE.....	34
3. ANYAG ÉS MÓDSZER	36
3.1. A KÍSÉRLETI ALAPANYAG.....	36
3.2. A KÍSÉRLETEK ÉS MÉRÉSEK HELYSZÍNE	36
3.3. A NYOMÁSKEZELÉSI-PÁCOLÁSI KÍSÉRLETEK KIVITELEZÉSE	36
3.3.1. Páclében nyomáskezelés kivitelezése	36
3.3.2. Nyomáskezelést követő pácolás kivitelezése.....	38
3.3.3. Nyomáskezelés nélkül végzett pácolás	39
3.4. MÉRÉSI MÓDSZEREK ÉS SZÁMÍTÁSI METÓDUSOK.....	40
3.4.1. Nedvességtartalom meghatározása.....	40
3.4.2. Sótartalom (NaCl) meghatározása.....	40
3.4.3. Kiegyenlítődési só- és nedvességtartalom meghatározása	41
3.4.4. Só és víz diffúzió jellemzése matematikai modellekkel.....	41
3.4.5. Differenciális pásztázó kalorimetriás mérés	44
3.4.6. In vitro emésztési modellkísérlet	44
3.4.7. Poliakrilamid-gélelektroforézis vizsgálat (SDS PAGE).....	46
3.4.8. Pásztázó elektronmikroszkópos vizsgálat.....	47

3.4.9.	<i>Vízkötı képesség meghatározása</i>	47
3.4.10.	<i>Állománymérés</i>	48
3.4.11.	<i>Színmérés</i>	49
3.4.12.	<i>Statisztikai értékelés</i>	50
4.	EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK	51
4.1.	A KIEGYENLÍTŐDÉSI SÓKONCENTRÁCIÓK (C_{EQ}) ÉS NEDVESSÉGTARTALMAK (X_{EQ}) MEGHATÁROZÁSÁNAK EREDMÉNYEI	51
4.2.	SÓKONCENTRÁCIÓ KIEGYENLÍTŐDÉSI PROFILOK (C_T/C_{EQ}) A PÁCOLÁSOK SORÁN.....	53
4.3.	A SÓ ÉS VÍZ DIFFÚZIÓS TÉNYEZŐK (D_s , D_v) MEGHATÁROZÁSA MATEMATIKAI MODELLEK ALKALMAZÁSÁVAL	55
4.3.1.	<i>A só diffúziós tényezők (D_s) meghatározása</i>	55
4.3.2.	<i>A víz diffúziós tényezők (D_v) meghatározása</i>	60
4.3.3.	<i>A só (D_s) és víz diffúziós (D_v) tényezők eredményeinek összegzése</i>	64
4.4.	A HÚSFEHÉRJÉK ÁLLAPOTÁNAK ÉS MIKROSTRUKTÚRÁJÁNAK VIZSGÁLATI EREDMÉNYEI	65
4.4.1.	<i>Húsfehérjék állapotának kalorimetriás vizsgálata nyomáskezelés nélküli pácolás során</i> 65	
4.4.2.	<i>Húsfehérjék állapotának kalorimetriás vizsgálata a nyomáskezelés és pácolás kombinált alkalmazása során</i>	67
4.4.3.	<i>Húsfehérjék in vitro emészthetősége</i>	69
4.4.4.	<i>A hús mikrostruktúrájának vizsgálata pásztázó elektronmikroszkóppal</i>	71
4.4.5.	<i>A kalorimetriás és elektronmikroszkópos vizsgálatok eredményeinek összegzése</i> 74	
4.5.	A TECHNOLÓGIAI TULAJDONSÁGOK VIZSGÁLATI EREDMÉNYEI	75
4.5.1.	<i>A vízkötı képesség mérésének eredményei</i>	75
4.5.2.	<i>Az állománymérés eredményei</i>	77
4.5.3.	<i>A színmérés eredményei (CIELab)</i>	81
4.5.4.	<i>A technológiai tulajdonságok eredményeinek összegzése</i>	85
5.	ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK	86
6.	KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK	88
7.	ÖSSZEFOGLALÁS	90
	SUMMARY	93
	MELLÉKLETEK	96
	M1. IRODALOMJEGYZÉK	96
	KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS	119

1. BEVEZETÉS

A hús sózása, pácolása világszerte ismert, több ezer éves múltra visszatekintő tartósítási mód, amely során só és adalékanyagokat juttatunk a nyers hús belsejébe. Ez elősegíti a termék állománynak, színének, ízének, valamint mikrobiológiai stabilitásának kialakítását. A só (nátrium-klorid, NaCl) húsba való bejuttatása hagyományosan a sókristályok húsfelületre dörzsölésével és/vagy sóból készített oldatba, páclébe merítéssel történik. Előbbi előnye a hús gyorsabb dehidratációjában, utóbbié pedig a gyorsabb só bejutásban nyilvánul meg. A só húsba való bejutása és az abban való egyenletes eloszlása, a sókoncentráció kiegyenlítődése a páclé és a hús közötti só-tartalom különbség hatására kialakuló anyagtranszport jelenségnek, a diffúzióknak köszönhető. Ez egy természetes jelenség, ami normál körülmények között igen lassú folyamat. Ennek gyorsítására ezért olyan technikákat dolgoztak ki, mint pl. az injektálás vagy tumblerezés, amelyek a hús szerkezetének jelentős roncsolásával érik el a páclé gyorsabb bejutását és a sókoncentráció kiegyenlítődéését. A húsipari pácolási technológia korai fejlesztései gyakorlatilag ezeknek a berendezéseknek a továbbfejlesztését, gazdaságosabb üzemvitelűvé tételét jelentették. Mára a kutatási és fejlesztési irányokat kiszélesítették és kíméletesebb technikák alkalmazását és azok hatásait is vizsgálni kezdték. Ilyenek pl. az aktív ultrahang (Friedrich, 2008; Siró et al., 2009), a vákuum alatt végzett pácolás (Körmendy, 1991), vagy a pulzáló elektromos erőtér (Ciara K. McDonnell et al., 2014). Ebbe a sorba illeszthető be a nagy hidrosztatikus nyomáskezelés, ami egy nem-termikus, kíméletes tartósítási mód. Élelmiszeripari alkalmazására manapság egyre több példa található pl. a frissen facsart, tartósítószermentes gyümölcslevek, smoothie-k, avokádókrém, vagy a szeletelt, csomagolt prémium sonkafélék területéről. Alkalmazása lehetővé teszi az élelmiszergyártók számára, hogy megfeleljenek a biztonságos, friss megjelenésű, tápláló és innovatív élelmiszerek iránti növekvő igényeknek. A nyomáskezelés fő célja az élelmiszer mikrobiológiai biztonságának növelése a romlást, megbetegedést okozó mikroorganizmusok inaktiválása révén. Erre a nyomáskezelés jól alkalmazható, számos tanulmány támasztja alá mikrobiológiai hatékonyságát. Egyéb célból történő alkalmazására kevesebb példa található. Szórványosan lelhetők fel tanulmányok, amelyek a nyomáskezelésnek pl. az anyagtranszportra gyakorolt hatását vizsgálják. Ilyen pl. Rastogi és Niranján (1998) ananással, Sopanangkul et al. (2002) burgonyával, vagy Villacís et al. (2008) pulykamellel végzett kísérleti munkája, akik azt találták, hogy vizsgálati alapanyagaikban a mérsékelt nyomáskezelés (≤ 300 MPa) gyorsította a technológia szempontjából fontos komponensek diffúzióját. Mivel a hús pácolása során a só diffúziója a húsba nagyon lassú folyamat, ezért érdemesnek tartom azt vizsgálni, hogy a mérsékelt nyomáskezelés hatással van-e a só- és víz diffúzi-

ójára, a húsfehérjék állapotára, a hús mikrostruktúrájára és a technológiai szempontból fontos minőségi mutatókra nézve a nyomáskezelés nélkül, normál körülmények között végzett pácoláshoz képest. Ezért kísérleti célkitűzéseim a következők:

1. A nyomáskezelést ún. nyomásközvetítő közegben pl. vízben, propilén-glikolban stb. végzik. A kilúgozódás, a kereszt- és utófertőzés elkerülése érdekében a húst a nyomáskezelés előtt csomagolni szükséges. Ezt általában vákuumcsomagolással oldják meg, de a csomagolásba folyadék, pl. páclé is tölthető és a nyomáskezelés így is végezhető. **Célkitűzésem annak vizsgálata, hogy milyen hatása van a hús és páclé közötti sókiegyenlítődésre, a só- és víz diffúzióra, a húsfehérjék állapotára, a mikroszerkezetre és a hús technológiai és minőségi mutatóira nézve, annak, ha**
 - a) a nyomáskezelést páclébe csomagolt húson végzem,
 - b) a húst először nyomáskezelem majd ezt követően pácolom.
2. A bevezetésben említésre került szakirodalmi adatok alapján a mérsékelt nyomáskezelés (≤ 300 MPa) hatásosnak bizonyult bizonyos komponensek diffúziójának gyorsítására. Ezért **célkitűzésem annak vizsgálata, hogy a 100, 200 és 300 MPa nyomásoknak milyen hatása van a hús pácolása szempontjából fontos hús és páclé közötti sókiegyenlítődésre, a só- és víz diffúziójára, a húsfehérjék állapotára, a mikroszerkezetre és a hús technológiai és minőségi mutatóira nézve.**
3. Az 1. és 2. pontokban ismertetett nyomáskezelés és pácolás műveleteket 5 m/m% és 10% m/m% sókoncentrációjú páclevekben végzem, amivel **célom annak vizsgálata, hogy a páclé sókoncentrációjának a mérsékelt nyomásokkal kombinálva milyen hatása van a hús és páclé közötti sókiegyenlítődésre, a só- és víz diffúziójára, a húsfehérjék állapotára, a mikroszerkezetre és a hús technológiai és minőségi mutatóira nézve.**

2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS

2.1. A pácolás története

A vadászó, gyűjtögető életmódot folytató őseink egyik fő aggodalma minden bizonnyal az lehetett, hogy mit esznek és mikor. Fejlődésüknek köszönhetően i.e. 8 000-10 000 évvel eljutottak a tudatos állat- és növénytermesztésig megteremtve a biztonságos élelmiszerhez jutás lehetőségét. Azonban a szezonálisból adódó élelmiszerhiányt vagy a fogyasztásnál nagyobb zsákmány adta felesleget, mely gyakran megromlott, szeretne volna ínségesebb időkre tartalékolni, fogyasztható formában megőrizni. A véletlen adta tapasztalatok, mint a pl. füstölés nyújtotta romlásgátlás felébresztették az egyes eltarthatóság növelési módszerek tudatos alkalmazásának igényét. Egyik ilyen próbálkozás volt a nyers húsok tengeri sóval való bedörzsölése. A sózással való tartósítás valószínűleg a Földközi-tenger környékén fekvő dél-európai országokban kezdődött, mivel sajátos éghajlatuk lehetővé tette a természetes szárítást és érést is. Ezzel sikeresen tartósították a húsokat (Toldrá, 2002). A sózást azóta is ugyanolyan módon és sikerrel használjuk, mint több ezer évvel ezelőtt.

2.2. A pácolás fogalma és módjai

A pácolás több területen használatos kifejezés, pl. a fa erezettségét megőrző, színezésre alkalmazott eljárást is pácolásnak nevezik, de pácolják pl. a dohányt ízesítő és illatosító anyagokkal és a bőr pácolása is ismeretes. A húsiparban használt pácolás kifejezést számos húskészítmény esetében használják, bár jelentése terméktől függően változhat. Műveleti célja azonban minden esetben ugyanaz: sót (nátrium-klorid, NaCl) vagy sót és nitritet (NO_2^-)/nitrátot (NO_3^-) a húsba juttatni és abban egyenletesen eloszlatni. Hagyományosan a pácolás kifejezés olyan sókeverék (nátrium-klorid és nitrit) használatát jelenti, amely jellegzetes színt és ízt alakít ki a hústermékben.

A termékeket alapvetően két csoportba soroljuk a pácolás kivitelezési módja alapján (1. ábra): száraz sózás és nedves vagy fedőpácolás. A száraz sózás, vagy csak tisztán sónak vagy só és nitrát/nitrit keverékének felhasználását jelenti, amelyet egész húsdarabok pl. sonka, lapocka felületére dörzsölnek (2. ábra a)), vagy kis szemcseméretre aprított hússal kevernek össze (pl. kolbász). Előbbi során a só feloldódik a hús felületi nedvességtartalmában, ahonnan lassú vándorlás, az ún. diffúzió útján hatol a hús belsőbb rétegeibe. A pácolást követően ezeket a húsokat füstölhetik, majd néhány hétig, hónapig vagy akár éveken keresztül érlelik és szárítják.

A nedves vagy fedőpácolás a húsnak a só és nitrit/nitrát oldatában (páclében) áztatását, vagy a páclének a húsba való befecskendezését, vagy az artériás rendszeren keresztül történő bejuttatását jelenti (2. ábra b)), amit több nyílással ellátott tűkkel végeznek (pl. bacon). Az injektálás előnye a száraz sózáshoz és a fedőpácoláshoz képest, hogy a páclében oldott só rövidebb idő kell, hogy

egyenletesen eloszoljon, mivel a művelet a húson belüli diffúziós utat csökkenti. Másik megoldás-ként egész darab húst (pl. lapocka) sóoldatban áztatnak (2. ábra c)), vagy a sóoldatot aprított hús-hoz keverik (pl. főtt kolbászfélék). A nedves pácolás A pácolást követően füstölésre kerülhet sor, majd végül hőkezelik őket.



1. ábra: A pácolás fő módjai és a jellemző termékcsoportok (Flores és Toldrá, 1993 alapján)



a)



b)



c)

2. ábra: Húspácolási módok: a) száraz sózás b) injektálás c) nedves/fedő pácolás

(Forrás: <https://www.meatpoultry.com>; <https://www.pubs.ext.vt.edu>)

A húsiparban használatos pácolás kifejezést hazánkban a (48/2016. (VII. 18.) FM rendelet, 2016) a következők szerint definiálja:

Lassú pácolás: a terméket tartósítás, íz- és színi alakítás céljából étkezési só, nitrátsó, illetve nitrátokat és más összetevőket tartalmazó oldatba merítik, vagy felületüket ezen anyagok keverékével bedörzsölik és pácérettségig érlelik.

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

Ez a két definíció analóg az előzőekben bemutatott pácolási módokkal. A száraz sózás és nedves pácolás hatásai között nem mutatkozik jelentős különbség a húsok fiziko-kémiai és érzékszervi tulajdonságai tekintetében, de a száraz sózás kedvezőbb a dehidratáció szempontjából, míg a nedves pácolás a só húsba való bejutásának kedvez (Barat et al., 2003). Utóbbi magyarázata, hogy a páclében oldott só már disszociált formában, Na^+ és Cl^- ionokként áll rendelkezésre, míg a száraz sózás esetén a szilárd sókristályoknak először fel kell oldódniuk, ami bizonyos időt vesz igénybe. Emiatt a páclében oldott só hamarabb képes bejutni a hús szövetébe, ami időbeli előnyt jelent a húsban történő egyenletes eloszlás tekintetében a száraz sózáshoz képest. A nedves pácolásnak számos előnye mutatkozik a száraz sózással szemben, mint pl. a rövidebb pácolási idő, vagy a jobb kihozatal a sófelvétel és a vízvesztés könnyebb szabályozása miatt (Andrés et al., 2005; Thorarindottir et al., 2004). A gyorspácolás eredményeként a sóoldat gyorsabban oszlik el a húsban, a kihozatal is nagyobb, mint a száraz sózás vagy a nedves pácolás esetében.

A pácolás módjától függetlenül a sótartalom megnő a húsokban. Ez az eltarthatóságot kedvezően befolyásolja. A jelenleg érvényben lévő 48/2016. (VII. 18.) FM rendelet szerint a sótartalom nyers sonkák esetében max. 5,0 m/m%, hőkezelt sonkák esetében pedig max. 3,5 m/m% lehet (58%-os víztartalomra vonatkoztatva).

2.3. A pácolás során végbemenő fizikai és kémiai reakciók

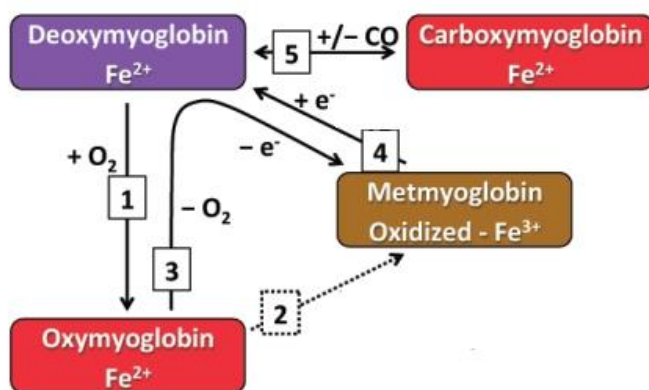
A pácolás során terméktől függően kisebb-nagyobb méretű húsdarabokba vagy szalonnába kívánunk adalékanyagokat, elsősorban só vagy só és nitrit/nitrát keverékét bejuttatni, majd azokat annak teljes tömegében egyenletesen eloszlatni. A sóval együtt adagolt nitrit szintén a húsba vándorol, ahol elsősorban a szín-, és mikrobiológiai biztonság kialakításában játszik szerepet. Emellett az avasodás gátlásában és az íz kialakításában is szerepe van.

2.3.1. Színekialakulás a pácolás során

A fogyasztók nagy része jellemzően a termék színe és megjelenése alapján dönt a termék megvásárlása vagy elutasítása mellett. Azért, hogy egy termék eladható legyen, meg kell felelniük a szín- és megjelenéssel kapcsolatos fogyasztói elvárásoknak. A végső észlelt színt azonban számos tényező befolyásolja: pl. az állatfaj, genetika, takarmányozás, a post-mortem végbemenő változások, különösen a pH és a hőmérséklet csökkenésének dinamikája, a tárolási hőmérséklet és idő, valamint a feldolgozási műveletek és nem utolsósorban a megvilágítás színe (Hunt and King, 2012).

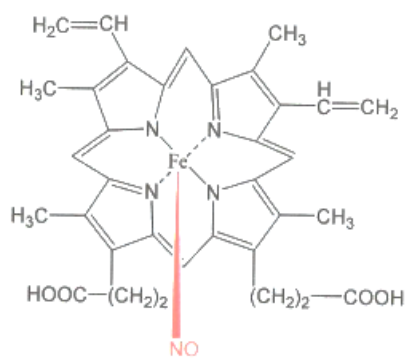
A hús színét döntően a benne lévő mioglobin, az izom pigmentje, kisebb mértékben pedig a hemoglobin, a vér pigmentje adja. A mioglobin az izom szarkoplazmájában oldott állapotban van, a hemoglobint pedig a vörösvértestek tartalmazzák. A hemoglobin a post-mortem tárolás alatt hemolízist szenved, így az is a sejtek közötti térbe kerül. A hemoglobin a kivérzéstől függő mennyiségben marad vissza a húsban és átlagosan az összes pigment tartalom kb. 5%-át teszi ki (Vadáné, 1991).

A mioglobin felépítését tekintve kb. 96% globuláris fehérjecsoportból és kb. 4% vas tartalmú, ún. hem csoportból állnak. A hem csoport a mioglobin α -hélix szerkezetén belül a fehérje hidrofób magjában helyezkedik el. A hem csoportban lévő vasatom hat kötés kialakítására képes. Ezek közül az 1-4. koordinációs helyen lévő kötésekkel kapcsolódik a hemet alkotó porfirin vázhoz, az 5. helyen lévő kötéssel pedig egy proximális hisztidinhez. A fennmaradó 6. koordinációs hely különböző ligandumok pl. oxigén (O_2), szénmonoxid (CO) vagy nitrogén-oxid (NO) reverzibilis megkötésére szolgál. Az ezen a helyen lévő ligandum és a vas vegyérték-állapota határozza meg a hús színét a mioglobin (Mb), deoximioglobin (DMb), oximioglobin (OMb), karboximioglobin (COMb) és metmioglobin (MMb) négy kémiai formája révén (3. ábra) (Suman and Joseph, 2013).



3. ábra: A húsban kialakuló mioglobin formák és redox átalakulásaik (forrás: Hunt and King, 2012) (Az egyes formák vizuálisan érzékelhető színeit az ábrán látható színek reprezentálják)

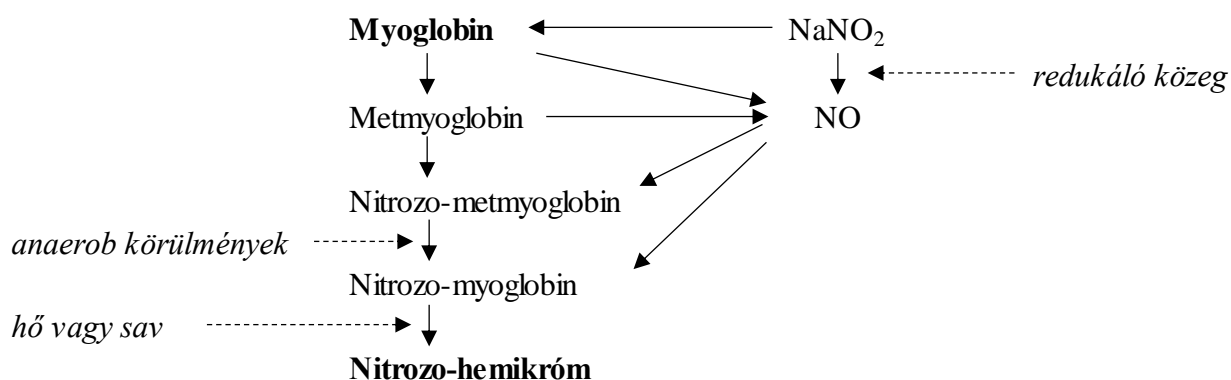
A mioglobin formák közötti reakciók reverzibilisek és a formák dinamikus egyensúlyban vannak (3. ábra). A húsban uralkodó helyi körülmények szabják meg, hogy melyik kerül túlsúlyba. A húsipari gyártástechnológia egyik célja, hogy a termékben tartós, élénk piros színű mioglobin formát alakítsunk ki. Ez úgy lehetséges, hogy ha a hemben lévő vasnak a két vegyértékű (Fe^{2+}) formában történő fennmaradását biztosítjuk. Erre a célra szolgál a nitrit (NO_2^-), amelynek származéka nitrogén-oxid (NO) formájában a hem Fe^{2+} ferroionjához kapcsolódva stabil, élénk piros színű ún. nitrozo-mioglobin (NOMb) formát alakít ki (4. ábra) (Suman and Joseph, 2013). Ez már stabil formának tekinthető, de hőkezeléssel pl. a főtt, pácolt sonkafélék gyártása során vagy más módon rózsaszín nitrozo-miokromogén formában rögzíthető.



4. ábra: A nitrozo-mioglobin szerkezete (forrás: Cornforth and Jayasingh, 2004)

A főtt, pácolt termékek gyártástechnológiájában alkalmazott hőkezelés denaturálja a mioglobint, amely a főtt húskészítmények jellegzetes fakó színét eredményezi. A mioglobin különböző redox formáinak (3. ábra) denaturációs hőmérséklete különböző, ami a mioglobin redox állapotától függ. A mioglobin hőérzékenysége a következő sorrend szerint csökken: COMb > DMb > OMb > MMb (Ballard, 2004).

A nyers sonkafélék sózása során a sóval együtt adagolt nitrit nitrogén-oxidá (NO) redukálódik, ami a deoximioglobin hem részéhez kötődve metmioglobin képződéséhez vezet. Ez a nyers hús gyors barnulását eredményezi. Ez megfigyelhető szinte minden olyan esetben, amikor a nyers húshoz nitritet tartalmazó sóoldatot adnak. Anaerob körülmények között a barna színt eredményező nitrozo-metmioglobin (NO-MMb) vörös színű nitrozo-mioglobinná (NOMb) redukálódik. A nitrozo-mioglobin (és a nitrozo-hemoglobin is) a pácolás és érlelés során kialakuló anaerob körülmények között bekövetkező pH változás hatására denaturálódik és a nyers, pácolt hússokra jellemző vörös színű nitrozo-hemikrómmá (NO-HCr) alakul át (5. ábra) (Atkinson and Follett, 1973).



5. ábra: Nitrozo-hemikrómmá vezető reakciók (forrás: Hunt and King, 2012)

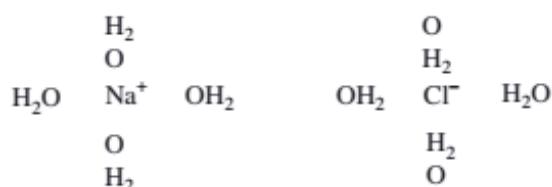
Érdeemes megjegyezni, hogy a hagyományos pármái sonka gyártásához nem használnak sem nitritet, sem pedig nitrátot, csak sót, mégis stabil vörös szín alakul ki az érlelés során. Korábban azt feltételezték, hogy ezt a piros pigmentet sztafilokokkusok állítják elő, de a jelenlétüket nem tudták kimutatni (Morita et al., 1996). Wakamatsu et al. (2005) modellrendszerben bebizonyították, hogy a piros pigment a cink-protoporfirin, ahol a hemben a vasat cink helyettesíti. Ez a húspan

enzimatis úton, anaerob körülmények között képződik, mikroorganizmusok jelenléte nélkül. A cink-protoporfirin főleg az intramuszkuláris zsiradékban helyezkedik el, valószínűleg a képződése közben szállítódik át az izomból a zsiradékba.

2.3.2. A só hatása a pácolás során

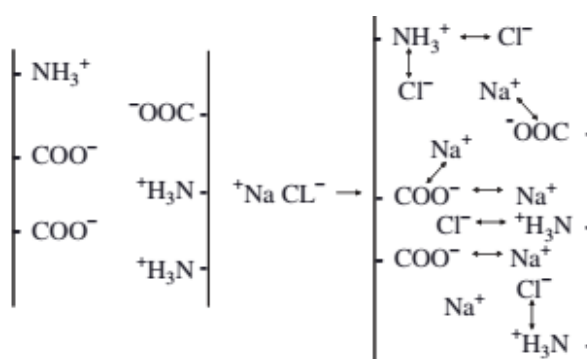
Kémiaailag a konyhasó nátrium-klorid (NaCl), ami vízben nátrium (Na⁺) és klorid (Cl⁻) ionokra disszociál. Molekulatömege 58,44 g/mol. Oldhatósága 35,7 g/100 ml és 39,1 g/100 ml között változik a hőmérséklet függvényében. Az 1%-os NaCl oldat 0,17 mol/l (M) koncentrációval egyenértékű. A száraz sonkafélék maximum 5% NaCl tartalma kb. 0,85 M-nak felel meg.

A nátrium-klorid vízmolekulákkal (H₂O) körülveve oldódik (6. ábra). A vízmolekulák poláros szerkezetűek, amelyek az oxigén atom körül részben negatív, a hidrogén atomok körül pedig részben pozitív töltésűek. Ennek eredményeként a vízmolekulák immobilizálódnak a Na⁺ és Cl⁻ ionok körül, így nem képesek részt venni kémiai és enzimatis reakciókban.



6. ábra: A vízmolekulák és a sóionok elrendeződése az oldódás hatására. A vízmolekulák orientációja jelzi polaritásukat. (forrás: Honikel, 2010)

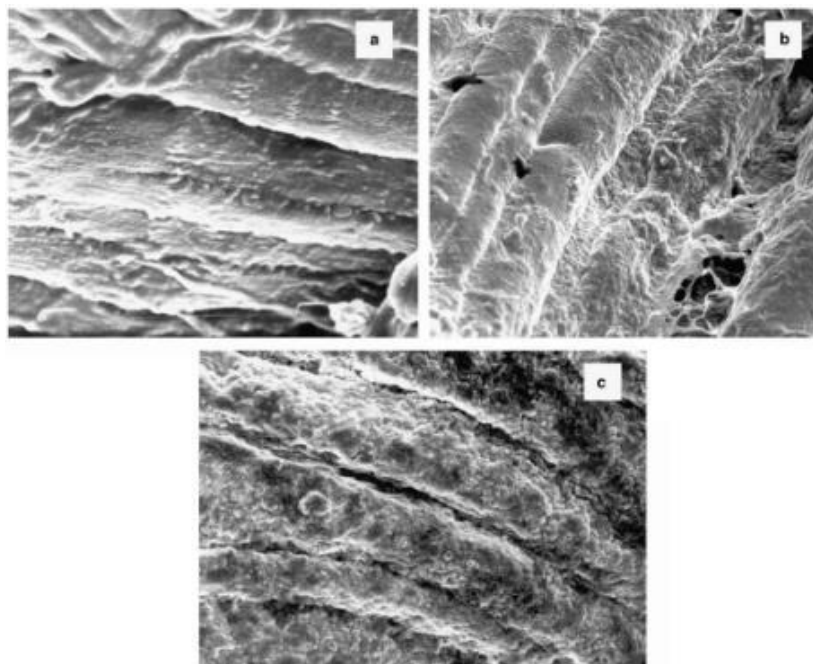
A vízben oldott sóionok körüli vízrétegek ellenére ellentétes töltésű ionok, mint pl. a húsfehérjék aminosav -COO⁻ és -NH₃⁺ oldalláncai képesek magukhoz vonzani őket. Így a vízmolekulákkal körülvevett sóionok képesek mobilizálódni és behatolni a miofibrilláris fehérjék közé (7. ábra).



7. ábra: A vízmolekulákkal körülvevett sóionok behatolása a hús miofibrilláris szerkezetébe. A miofibrillumok duzzadása. (forrás: Honikel, 2010)

Ennek következtében a fehérje-oldalláncok ionjai közötti vonzó erők gyengülnek, a miofibrillumok eltávolodnak egymástól és a húst felépítő fehérjészálak megduzzadnak. A fehérjészálak duzzadása Graiver et al. (2006) sertéskarajról készített elektronmikroszkópos képein is látható (8. ábra).

A 14% sókoncentrációjú páclében pácolt hús izomrostjai a duzzadás jeleit mutatják, de ettől nagyobb, 33% koncentráció esetén már dehidratált, töredezett felszínű rostok láthatók.



8. ábra: Különböző sókoncentrációjú oldatokban pácolt sertéskaraj pásztaó elektronmikroszkópos képe: a) 5%, b) 14%, c) 33% (forrás: Graiver et al., 2006)

A duzzadás lehetővé teszi, hogy több vízmolekula és só hatoljon a miofibrillumok közé. Ennek következtében a miofibrillumok közötti vonzóerő megszűnhet, kémiai értelemben feloldódnak. Az izomsejt fiziológiai koncentrációja alatt, kb. 1% NaCl = 0,17 M, a miofibrillumok oldhatatlanok. A sókoncentráció kb. 2%-ra növelése már a miofibrillumok részleges oldódását eredményezi. A fehérjék só hatására történő duzzadása és oldódása fokozza a pácolt húsok puhaságát (Siró et al., 2009).

A vízzel körülvevett sóionok és a húsfehérjék között kialakuló kötések alakítják ki a hús víztartó képességét. A víztartó képesség alatt a hús azon tulajdonságát értjük, hogy a saját víztartalmát és a pácolás során a húsba bejutott vizet milyen mértékben képes megtartani (Offer and Trinick, 1983). A víztartó képesség összefügg a sótartalommal. Kb. 10% sókoncentrációig a hús víztartó képessége nő, ettől nagyobb sókoncentráció esetén pedig jelentősen csökken (Graiver et al., 2006). A só a vízmolekulák immobilizálásával csökkenti a hús vízaktivitás (a_w) értékét, ezáltal növelve annak mikrobiális stabilitását és eltarthatóságát. Végül, de nem utolsó sorban a só az íz kialakításában is szerepet játszik.

2.3.3. A só diffúziója

A száraz sózás során a hús felületére juttatott szilárd só a felületi nedvességben feloldódik, így a húst vékony rétegben telített sóoldat veszi körül. A nedves/fedő pácolás során pedig a húst előre

elkészített sóoldatba merítik. Ezek hatására két fő transzportfolyamat, sófelvétel és vízleadás játszódik le. A sóionok a hús vizes fázisában diffundálnak, amivel egyidejűleg vízmolekulák lépnek ki a húsból, ami ellenállást okoz a só diffúziójával szemben (Gómez et al., 2019). A só és az adalékanyagok vándorlása a húsba és a húson belül elsősorban diffúzió útján történik.

A diffúzió elsősorban a fizika és a kémia tudományágban használatos fogalom. Az anyagi részecskék (elektronok, atomok, molekulák, ionok stb.) koncentráció-különbség hatására bekövetkező áramlását jelenti, ami a koncentráció-különbség kiegyenlítődéskéig, az egyensúlyi állapot eléréséig tart. A kiegyenlítődéskés a diffúziós folyamat vége, amikor a tömegáram sebessége nulla. A diffúzió sebessége a sóoldat és a hús közötti koncentráció gradienstől függ. A sózási, pácolási műveletek kezdeti szakaszában a hús só koncentrációjának jelentős növekedése figyelhető meg a folyamat elején lévő nagy koncentráció gradiens miatt. Ezt követően a diffúzió az egyensúlyi koncentráció eléréséig folyamatosan csökkenő tendenciát mutat. Hasonló tendencia figyelhető meg a nedveségtartalom változása során is (Barat et al., 2011; Volpato et al., 2007).

A diffúziós folyamatok kinetikája analóg a hővezetés kinetikájával. Ha a hővezetést leíró Fourier féle differenciál-egyenletben [1] a hőmérsékletet (T) koncentrációval (C) helyettesítjük, akkor a diffúzió kinetikáját leíró ún. Fick I. törvényét kapjuk [2], amely azt mutatja meg, hogy egy adott komponens t idő alatt, egységnyi felületen keresztül történő x irányú anyagárama (J_x) arányos a komponens x szerinti koncentráció gradiensével (Crank, 1975). Az anyagáramok y és z irányban hasonlóan definiálhatók.

$$J_Q = -\lambda \frac{\partial T}{\partial x} \quad [1]$$

$$J_x = -D \frac{\partial C}{\partial x} \quad [2]$$

$$J_y = -D \frac{\partial C}{\partial y} \quad [3]$$

$$J_z = -D \frac{\partial C}{\partial z} \quad [4]$$

Ahol:

J_Q	hőáram [W]
λ	hővezetési tényező [W/mK]
T	hőmérséklet [K]
$J_{x,y,z}$	anyagáram x, y, z irányban [mol/s]

D diffúziós tényező [m^2/s]

C koncentráció [mol/m^3]

Az anyagáram következtében egységnyi térfogatban (Δx , Δy , Δz) a koncentráció az idő függvényében változik:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \frac{[J_x(x + \Delta x) - J_x(x)]\Delta y\Delta z}{\Delta x\Delta y\Delta z} + \frac{[J_y(y + \Delta y) - J_y(y)]\Delta x\Delta z}{\Delta x\Delta y\Delta z} + \frac{[J_z(z + \Delta z) - J_z(z)]\Delta x\Delta y}{\Delta x\Delta y\Delta z}$$

[5]

Ha az egységnyi térfogat végtelenül kicsi, akkor az [5] egyenlet átalakítható:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \frac{\partial J_x}{\partial x} + \frac{\partial J_y}{\partial y} + \frac{\partial J_z}{\partial z}$$

[6]

Illetve, ha a diffúziós tényező állandó, akkor:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \left(\frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} \right)$$

[7]

A [6] és [7] egyenletek Fick II. diffúziós törvényeként ismertek.

2.3.4. A diffúziós folyamatok modellezése

Legyen szó akár a só, akár a nedvesség diffúziójáról, a matematikai modellezés elterjedt gyakorlattá vált, amellyel a kísérleti vizsgálatok ideje és költsége csökkenthető, eredményeik pedig a gyakorlatba is átültethetők (Graiver et al., 2009; Vodyanova, 2012). A száraz sonkafélék (pl. Serano-, Iberico-, Pármai sonka) gyártástechnológiájának időtartama néhány hónaptól, akár két évig is terjedhet. Ezek esetében a modellezés hasznos eszköz mind a sózási, mind a száradási kinetika ellenőrzésére és előrejelzésére. Nehéz azonban olyan általános modellt találni, amely minden élelmiszerhez megfelel és a kutatási munkák általában arra összpontosítanak, hogy egy meghatározott termékhez egy bizonyos modellt találjanak.

A modellek komplexitása az elérendő céltól függ, de általánosságban igaz, hogy minél egyszerűbb a diffúziós modell, annál könnyebb a matematikai megoldása, ezáltal használhatósága. Az egyszerűséggel vagy komplexitással együtt a modell egyenleteknek minél jobban közelíteniük kell a valós folyamatot (Katekawa and Silva, 2006). Így a modellek az adott folyamat valósághoz közeli leírásával szolgálnak, amellyel jó közelítéssel előre jelezhető akár a sókoncentráció, akár a nedvességtartalom alakulása különböző körülmények között (Gómez et al., 2015).

A modellek elméleti és empirikus kategóriákba sorolhatók. Az elméleti modelleket a tömeg és anyagmérlegről származtatják. Az elméleti modellek közül a diffúziós modelleket használják a legszélesebb körben, mivel a pácolás során a diffúzió a domináns transzportmechanizmus. A diffúzió modellezésekor rendszerint külön kezelik a só- és a víz anyagáramát (Costa-Corredor et al., 2010a). A diffúziót leíró kulcsegyenlet Fick II. törvénye [2], amelynek analitikai megoldásait széles körben használják a só diffúziós tényezőjének (D [m²/s]) számítására különböző geometriai alakzatok pl. gömb [8], henger [9], vagy végtelen síklap [10] esetében (Barat et al., 2011; Gou et al., 2003; Graiver et al., 2009, 2006).

$$\frac{C_0 - C_t}{C_0 - C_{eq}} = \frac{6}{\pi^2} \sum_{n=1}^{inf} \frac{1}{n^2} \exp\left(-n^2 \frac{\pi^2 Dt}{r^2}\right) \quad [8]$$

$$\frac{C_0 - C_t}{C_0 - C_{eq}} = \sum_{n=1}^{inf} \frac{4}{Be_n^2} \exp\left(-\frac{b_n^2 Dt}{r^2}\right) \quad [9]$$

$$\frac{C_0 - C_t}{C_0 - C_{eq}} = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=1}^{inf} \frac{1}{(2n-1)^2} \exp\left(-\frac{(2n-1)^2 \pi^2 Dt}{L^2}\right) \quad [10]$$

Ahol:

C_0	a hús kiindulási sótartalma [g/100 g]
C_t	a hús sótartalma t időpontban [g/100 g]
C_{eq}	a hús kiegyenlítődési sótartalma [g/100 g]
n	pozitív egész szám [dimenziómentes]
D	a só diffúziós tényezője [m ² /s]
Be	Bessel függvény n helyen vett gyöke [dimenziómentes]
r	sugár [m]
L	vastagság [m]

Az egyenletekben a koncentrációk (C) helyére nedvességtartalmat (X , [kg/kg szárazanyag]) helyettesítve a víz diffúziós tényezőjét kapjuk.

A Fick II. törvényből származtatott általános diffúziós egyenletek figyelembe veszik a húsban a só helyi koncentrációját (dC/dx). Mivel a kísérletek és mérések során a só átlag koncentrációja kerül meghatározásra, ezért az egyenleteket integrálják a kísérletileg meghatározott és a számított eredmények összehasonlítása érdekében.

A pácolás során bekövetkező anyagtranszport jelenségek só ionok (Na^+ , Cl^-) többkomponensű elektrolit oldatban való diffúziójának tekinthetők. A modellezéshez ismerni kell az ionok mozgását, az anyagmérleget és áramot, a töltésviszonyokat és az elektrolit folyadékmechanikáját. Az oldott anyagok nem diffundálnak egymástól függetlenül, köztük diffúziós potenciál jön létre, így az ionok egymással is kölcsönhatásba lépnek a diffúzió során (Pinotti et al., 2002). Az ilyen diffúziós folyamat leírására a Maxwell-Stefan egyenlet szolgál [11], ami jóval komplexebb, mint az előzőekben bemutatott Fick-egyenletek.

$$\frac{\nabla \mu_i}{RT} = \nabla \ln a_i = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n \frac{\chi_j}{\mathcal{D}_{ij}} (\vec{v}_j - \vec{v}_i) = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n \frac{c_j}{c \mathcal{D}_{ij}} \left(\frac{\vec{J}_j}{c_j} - \frac{\vec{J}_i}{c_i} \right) \quad [11]$$

Ahol:

∇	vektor differenciális operátor
X	mólarány
μ	kémiai potenciál
a	aktivitás
i, j	komponens indexek
n	komponensek száma
$D_{i,j}$	Maxwell-Stefan diffúziós tényező
$\rightarrow v_i$	az i komponens diffúziós sebessége
c_i	az i komponens moláris koncentrációja
c	teljes moláris koncentráció
$\rightarrow J_i$	i komponens fluxusa

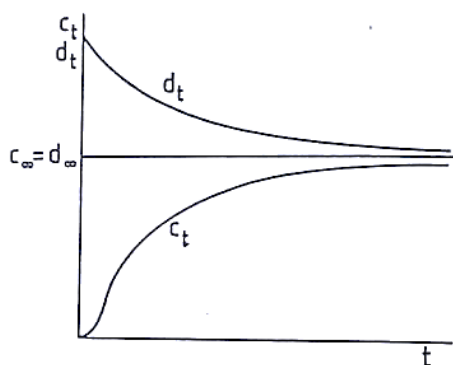
Komplexitása ellenére találhatók példák a használatára, pl. sertéshús pácolása során a NaNO_2 és KNO_3 diffúziós tényezőinek számítására (Pinotti et al., 2002), a víz és só egyidejű diffúziójának modellezésére szárazkolbász (Costa-Corredor et al., 2010b) és egész sonka (Pakowski et al., 2004) esetében.

Az empirikus modelleket kísérleti adatok illesztésével állítják elő, így ezek a modellek csak meghatározott körülmények között írják le a diffúziós folyamatokat. Ilyenek pl. az Azuara-, Peleg-, Zuggaramurdi és Lupin modell (Azuara et al., 1992; Corzo et al., 2012; Peleg, 1988; Zugarra-murdi and Lupín, 1980). Ezek a modellek figyelmen kívül hagyják az anyag belső ellenállását a vizsgált diffundáló anyaggal szemben, ezért csak a folyamat során tapasztalt

transzportmechanizmus általános megismerésére szolgálnak. Előnyük az elméleti modellekkel szemben az egyszerűségükben rejlik (Quintero-Chávez et al., 2012; Shi and Le Maguer, 2002).

2.3.5. A diffúziót befolyásoló tényezők

Ha egy húsdarabot sóoldatba, páclébe helyezünk, akkor a folyamat kezdetén, $t=0$ időpontban a hús elhanyagolható mennyiségű só-t tartalmaz, vagyis $c_0=0$. Ha a sóoldat kezdeti sókoncentrációja d_0 , akkor hosszab idő eltelte után (elméletileg $t=\infty$ -nél) a sóoldat és a hús sókoncentrációja kiegyenlítődik: $c_\infty=d_\infty$, egyensúlyi állapot áll be. A pácolási folyamat a kezdeti szakaszától eltekintve exponenciális képet mutat (c_t és d_t a hús és a páclé sókoncentrációja t időpontban) (Körmen- dy, 1991) (9. ábra).



9. ábra: A hús és a sóoldat (páclé) sókoncentrációjának változása a pácolás során (d_t - a páclé sókoncentrációja t időpontban; d_∞ - a páclé sókoncentrációja $t=\infty$ -nél; c_t - a hús sókoncentrációja t időpontban; c_∞ - a hús sókoncentrációja $t=\infty$ -nél)

(Forrás: Körmen- dy, 1991)

Az egyensúlyi állapot elérésnek időtartamát, vagyis a só diffúzióját számos tényező befolyásolja, amelyek a következők:

A pácolandó hús vagy szalonna geometriai mérete: ha húst egy olyan hasábnak képzeljük el amelynek legrövidebb oldala a , másik két dimenziója pedig $b>3a$ és $c>3a$, akkor közelítőleg érvényes a következő összefüggés: $t_1/t_2=a_1^2/a_2^2$ azaz egy adott sókoncentráció eléréséhez szükséges időtartam a legkisebb oldalhosszúság négyzetével arányos. Ez azt jelenti, hogy ha pl. a sonkát kicsontozzuk és ezzel az eredeti vastagságát kb. a felére csökkentjük, akkor a pácolás időtartama kb. a negyedére csökken. A páclé befecskendezése, injektálása rövidíti a diffúziós utat és így csökkenti a pácolás időtartamát is (Körmen- dy, 1991).

A páclé kezdeti sókoncentrációja (d_0) szintén befolyásolja a pácolás sebességét. A nagyobb sókoncentráció hatása hasonló módon érvényesül, mint a hőkezelésnél a nagyobb külső hőmérséklet, vagyis a nagyobb koncentráció különbség nagyobb diffúziós hajtóerőt generál. A só

diffúziója pozitív korrelációt mutat a páclé sókoncentrációjának növelésével (Aliño et al., 2010, 2009; Corzo and Bracho, 2007).

A páclé-hús aránya: a nagyobb páclé-hús arány gyorsítja a folyamatot. Nagyobb mennyiségű páclé esetén a páclé sókoncentrációja kisebb mértékben csökken, mint a kisebb arány esetén. Így a folyamat hajtóerejét képező koncentráció különbség adott esetben állandónak tekinthető.

A diffúziós folyamatok sebességét meghatározó diffúziós állandó, ami elsősorban az anyagi minőség függvénye. A szalonnában a kötőszöveti sövények mentén lassúbb a só vándorlása, mint a nagy víztartalmú sovány húsban. Ha a szalonnaréteget nem vágjuk le a húsról a száraz sózás vagy a nedves pácolás előtt, akkor a szalonnával fedett felületen a sóvándorlás lassúbb lesz. Ennek eredménye nemcsak a folyamat lassulása lesz, hanem az, hogy a leglassabban pácolódó „mag” rész pozíciója eltolódik a geometriai középpontból a szalonna rész irányába. A diffúziós állandó értéke közelítőleg a molekulatömeg köbgyökével fordítottan arányos (Körmendy, 1991).

Adalékanyagok és húsalkotók között lejátszódó reakciók: A húsba behatoló só a húsfehérjékkel kölcsönhatásba lép, ami a sóbehatolást befolyásolja. A nitrit reakcióba lép az izompigmentekkel (mioglobinnal), és egyéb fehérjékkel is. A polifoszfátok lassan diffundálnak és egyes enzimek képesek őket monofoszfáttá redukálni, így a vándorlási folyamatukat egy bomlási folyamat is kíséri.

A páclé és a hús határfelületén kialakuló koncentráció gradiens, ami felületi ellenállásban nyilvánul meg. A határréteg vastagságát oly módon csökkenthetjük, hogy a páclevet a folyamat alatt mozgatjuk, ezáltal turbulens áramlást hozunk létre. A helyzet itt is analóg a hőátadással, ahol a hőátadási tényezőt növelhetjük hasonló módon.

A pácolás hőmérséklete: a diffúziót a hőmérséklet jelentősen befolyásolja. A hőmérséklet növekedése növeli a molekulák hőenergiáját és mozgékonyágát, ami diffúziós sebességük növekedéséhez vezet (Pinotti et al., 2002; Telis et al., 2003). A diffúzió és a hőmérséklet általános összefüggését az Arrhenius-egyenlet írja le [12].

$$D = D_0 \exp\left(-\frac{E_a}{RT}\right) \quad [12]$$

Ahol:

D diffúziós tényező [m^2/s]

D_0 maximális diffúziós tényező végtelen hőmérsékleten [m^2/s]

E_a aktiválási energia [J/mol]

R egyetemes gázállandó [J/mol K]

T hőmérséklet [K]

A diffúziós folyamat sebességét a hőmérséklet 1°C-ként kb. 2%-kal növeli (Gou et al., 2003). Ezt a lehetőséget azonban mikrobiológiai okokból nehézkes kihasználni. Lényegesen magasabb, mikrobiológiailag már biztonságos hőmérsékleten pedig már a húsfehérjék esetleges denaturálódásával kell számolni. Történtek próbálkozások 50°C-on történő hús pácolásra. A fehérje denaturáció ezen a hőmérsékleten még lassú, a mikrobaszaporodás viszont már erősen korlátozott. Sikerült is megfelelő minőségű terméket előállítani, de az eljárás nem terjedt el, mert megvalósítása körülményes és drága (Körmendy, 1991).

A húst alkotó izomrostok iránya: a húrost irányának a só és a víz diffúziójára gyakorolt hatását széles körben tanulmányozták és azt találták, hogy a só és a víz diffúziója anizotróp módon történik a hússzövetben (Foucat et al., 1995; Gou et al., 2002; Hansen et al., 2008; Zhang et al., 2011). Viguer (2001) sertés karaj esetében nagyobb só és víz diffúziót tapasztalt az izomrostokkal párhuzamos irányban, mint arra merőlegesen. Nitrát diffúziója esetén ezzel ellentétes eredményről számolt be Gómez et al., (2017). Kísérletükben az izomrosttal párhuzamos irányban a nitrát diffúziója lassabbnak bizonyult, mint arra merőlegesen.

A hús rövidülése, zsugorodása: A sózás során bekövetkező nedvességvesztés a hús szerkezetének izotróp zsugorodásához vezet, ami azt jelenti, hogy a hús méretei minden irányban változnak.

A hús pH értéke: A hús pH értéke jelentős hatással van a só és a víz diffúziójára, mivel a pH összefüggésben van a hús víztartó képességével. Kolloidkémiai háttere az izom sajátos szerkezetével függ össze. A víz a fehérjeszálak közötti térben helyezkedik el immobilizált állapotban (2.3.2 fejezet). A fehérjeszálak töltéssel bíró oldalláncok révén negatív töltésfelesleget mutatnak az izoelektromos pontnál (IP) nagyobb pH-nál. A hús izoelektromos pontja 5,2 pH körüli érték, ahol a negatív és pozitív töltések száma azonos. Az IP-nél kisebb pH estén pozitív töltésfelesleg alakul ki. Bármilyen irányú töltésfelesleg mellett a láncok taszítják egymást, ami a láncok közötti tér növekedésével jár. A víztartó képesség minimuma az IP-nél van. Minden olyan hatás, ami a fehérjeláncok egymástól való távolságát csökkenti, az csökkenti a víztartó képességet. Ilyenek pl. a pH csökkentés, rigorkötés, denaturálódás-aggregálódás, nyomás stb. és fordítva is igaz: minden olyan hatás, ami a láncok távolságát növeli, a víztartó képességet is növeli (Vadáné, 1991). Cierach and Modzelewska-Kapituła (2011) sertéshússal végzett kísérletének eredményei azt mutatták, hogy az 5,4-5,5 pH értékű PSE (pale, soft, exudative – halvány, puha, léeresztő) jellegű hús nagyobb sókoncentrációt és só diffúziót ért el a 6,2-6,8 pH értékű DFD (dark, firm, dry – sötét, kemény, száraz) jellegű húshoz képest.

A hús víztartalma: a víz a hús fő alkotóeleme, a pácolás szempontjából a sómolekulák oldószere. Ha a hús víztartalma a pácolás során csökken, akkor oldószer híján a só diffúziója is csökken (Boudhrioua et al., 2003; Costa-Corredor et al., 2010a).

A sózás módja: Két sózási módszer különböztethető meg az alapján, hogy mennyi só kerül felhasználásra a hús pácolása során. Az egyiknél pontosan ismert mennyiségben, a másikon pedig feleslegben történik a só felhasználása. Utóbbi a gyakoribb módszer, amikor is a hús sózásához annyi sót használnak, hogy a felületén folyamatosan telített sóoldat (>30 g/100 ml) legyen jelen. A hús-páclé arány így végtelennek tekinthető, ami az elérhető legnagyobb koncentráció különbség miatt elviekben a leggyorsabb diffúziót biztosítja. Ennél a módszernél a végső sótartalmat a sózási idő határozza meg, ami egy mediterrán típusú sonkánál pl. 17-48 h/kg között változik (Toldrá, 2006, Toldrá et al., 2014). A másik módszernél pontosan ismert mennyiségű sót (kg só/kg hús) használnak fel a sózás során. Ez az időben változó sómennyiség hatással van a só diffúziójára. Ebben az esetben a sózás hosszabb ideig tart, mint a másik módszernél, mivel itt a húsnak az összes sót fel kell vennie. A sózás időtartama ebben az esetben a hús geometriai méretétől függ (Toldrá, 2002).

2.3.6. *A só diffúzióját gyorsító eljárások*

A pácolás során a só húsba való bejuttatása és az abban való egyenletes eloszlása sok tényezőtől függő, lassú folyamat. Ennek gyorsítására több műveletet dolgoztak ki, mint pl. az injektálás, tumblerezés, masszírozás és számos más technológiát teszteltek.

Az injektálás művelete során a sót oldat formájában, pácléként fecskendőkön keresztül intramuszkulárisan a hús szövetébe nyomják. A só így a húst alkotó izomrostok közé kerül, ami a diffúziós utat csökkenti, ezáltal gyorsabb sókiegyenlítődés érhető el. A páclé injektálható csontos és csont nélküli húsba egyaránt. A műveletet több tűt tartalmazó berendezéssel végzik, amelyeken a páclé nyomás és adagolás egyaránt szabályozható. A sóoldat injektálása után a húsokat rövid ideig pihentetik, ami elősegíti a só és az adalékanyagok diffúzióját az egész húsdarabban és/vagy páclébe helyezik az egyenletes sókoncentráció gyorsabb elérése érdekében (Toldrá, 2010). Az injektálást gyakran egészítik ki a tumblerezéssel („ütve-forgatással”) vagy masszírozással, aminek célja a só és adalékanyagok húsban való eloszlása, valamint a húsfehérjék kioldódása és feldarabolódásának elérése mechanikai munka hatására. A mechanikai munka eredményeként az izomsejtek fala felszakad és tartalmuk kiáramlik. A sejtmembránok sérülése miatt azok áteresztőképessége nő, ami segíti a páclé bejutását, eloszlását és megkötődését (Xargayó and Lagares, 1992). A fehérjék kioldódásával keletkezik az ún. exszudátum, ami egy kb. 10% fehérjetartalmú vízbe ágyazott, duzzadt izomrost és miofibrillum törmelék. A pácolt húsdarabok felületén az exszudátum hőkezelés

hatására denaturálódik, így azokat befedi és egymáshoz „ragasztja” azokat. Ez a hőkezelési veszteséget csökkenti, mivel lezárja a húsból szivárgó vizet. A tumblerezés eredményeként a hús állománya lazul, lédúsága pedig nő (Siró et al., 2009).

A só gyorsabb diffúzióját és kiegyenlítődéését célzó technológiák közül több szerző (Chen et al., 2020; Ozuna et al., 2013; Siró et al., 2009) eredménye alapján a nagy intenzitású ultrahang eredményesen használható a sódiffúzió növelésére és a tömegátadás fokozására. A pácolás közben alkalmazott vákuum vagy alternáló vákuum a hús „lélegeztetésének” elképzelésén alapult, amely során a hús szivacszerű viselkedésével lehet a páclé bejutás sebességét növelni. A vákuum alkalmazásának eredményességével kapcsolatban megoszlanak a vélemények: egyes vélemények szerint a vákuum alkalmazása nem növeli a diffúziós folyamatok sebességét (Körmendy, 1991), míg más kutatási eredmények ennek ellenkezőjéről számolnak be pl. pulzáló vákuum alkalmazása esetén (Deumier et al., 2003; Wang et al., 2016). A fagyasztott sonkák felengedtetése közben végzett száraz sózás a pácolási időt csökkentette a fagyasztás nélküli mintához képest. Kb. 60%-kal kevesebb idő volt szükséges azonos sókoncentráció eléréséhez (Barat et al., 2004). C.K. McDonnell et al. (2014) kutatási eredménye azt mutatta, hogy az alacsony frekvenciájú (100Hz), nagy impulzusszámú pulzáló elektromos erőtér (Pulsed Electric Field, PEF) kis mértékben fokozza a só diffúzióját. A nagy hidrosztatikus nyomáskezeléssel (High Hydrostatic Pressure, HHP) kombinált pácolás a só diffúzióját gyorsította (Villacís et al., 2008) és a pácolási időt rövidítette a normál, légköri nyomáson végzett pácoláshoz képest (Jin et al., 2014).

A technológiák között találhatóak ígéretesek és kevésbé ígéretesek is. Kutatási munkám során az előzőekben bemutatott technológiák közül a nagy hidrosztatikus nyomás hatásának vizsgálatát tűztem ki célul a húsok pácolása során. Így a következőkben a nyomáskezeléssel kapcsolatos irodalmi hátteret ismertetem.

2.4. A nagy hidrosztatikus nyomáskezelés háttere

A nagy hidrosztatikus nyomáskezelés (High Hydrostatic Pressure Process, HHP/HPP) vagy más elnevezéssel ultranagy nyomás (Ultra-High Pressure, UHP) egy ún. nem termikus élelmiszerfeldolgozási technológia, amely során az élelmiszert 100-600 MPa vagy annál nagyobb hidrosztatikus nyomásnak vetik alá (Banerjee and Verma, 2015; Farkas and Hoover, 2000; Yordanov and Angelova, 2010). Ezt a technológiát alapvetően a romlást, megbetegedést okozó mikroorganizmusok inaktiválására és nemkívánatos elváltozást okozó enzimek denaturálására hozták létre. Előnye, hogy az élelmiszerek jobban megőrzik íz és tápanyagukat a hőkezeléshez és más feldolgozási technológiákhoz képest (Rastogi, 2013). A nyomáskezelést az élelmiszerfeldolgozás egyre több

területén alkalmazzák, de jellemzően a magas minőséget képviselő termékek feldolgozótechnológiájában jelenik meg (Bansal et al., 2015).

A nagy hidrosztatikus nyomás hatását először a 19. század végén fedezték fel Bert Hite és munkatársai a Nyugat-Virginia Egyetem mezőgazdasági kísérleti állomásán, 1899-ben. Akkor Hite vizsgálatának tárgya és célja a tej nyomáskezeléssel (600 MPa) való tartósítása volt (Hite, 1899), majd későbbi kutatásai során 1914-ben a zöldségek és gyümölcsök eltarthatóságára gyakorolt hatását vizsgálta (Hite et al., 1914). Ezek után a témakörben egészen az 1980-as évekig csak elenyésző számú tanulmány készült. Az 1980-as évek közepén a nyomáskezelés újra az érdeklődés tárgya lett, mint a hőkezelés alternatív tartósítási módszere. Az áttörést 1992 hozta el, amikor Japánban piacra dobták az első nagy hidrosztatikus nyomással tartósított lekvárt (Knorr, 1993). Az azóta eltelt közel 30 évben a nagynyomású technológiát az élelmiszerfeldolgozás több területén bevezették.

A nyomáskezelésnek számos előnye van az élelmiszerbiztonság javítására használt egyéb technológiákkal szemben. A kezelés során az élelmiszer környezeti vagy alacsonyabb hőmérsékleten is nyomáskezelhető. A kovalens kötések nem módosítja, így nem befolyásolja pl. az ízvegyületeket és a vitaminokat. Ezért a nyomáskezelés a hőkezeléshez képest kevésbé változtatja az élelmiszer minőségét (Simonin et al., 2012). A nyomáskezelés alatt a mikroorganizmusok inaktiválása és a fehérjék denaturálódása következik be az alkalmazott nyomástól függően. A mikrobák inaktiválása a termék hosszabb eltarthatóságát eredményezi. Ezen kívül lassíthatók azok a kémiai reakciók is, amelyek pl. a vitaminok lebomlásához, vagy mellékízek kialakulásához vezetnek (Rastogi, 2013).

A nyomáskezelés során a terméket izotróp módon, vagyis térbeli iránytól függetlenül egyenletesen éri a hidrosztatikus nyomás. A nyomás általában csak kismértékű térfogat vagy alakváltozást okoz az élelmiszerben, kivéve, ha a nyomáskezelt termék üreges szerkezetű (pl. sajt). Ez esetben többnyire irreverzibilis alakváltozás következik be, az üregekben lévő gáz összenyomhatósága és ezáltal szerkezet összenyomódása miatt. A nyomáskezelés során az élelmiszerben érvényesülő általános jelenségeket a Le Chatelier- és a Pascal-elv írja le. A Le Chatelier-elv szerint az egyensúlyi állapotban lévő kémiai rendszerben az öt megzavaró külső tényezővel pl. nyomással szemben olyan változások mennek végbe, amelyek a külső tényező hatását igyekeznek csökkenteni (Jaeger et al., 2012). A Pascal-elv szerint a folyadékok a nyomást minden irányban, egyenletesen ún. izosztikus módon továbbítják. Így más tartósítási módszerekkel, pl. hőkezeléssel ellentétben a nyomáskezelés hatása független az élelmiszer méretétől és alakjától. A nyomás megszüntetésekor, a dekompressziót követően az anyag visszanyeri eredeti formáját (Yordanov and Angelova, 2010).

A nyomáskezelés lehetővé teszi az élelmiszergyártók számára, hogy megfeleljenek a biztonságos, friss megjelenésű, tápláló és innovatív élelmiszerek iránti növekvő igényeknek. Jelenleg a nyomáskezelés fő célja az élelmiszer mikrobiológiai biztonságának növelése a mikroorganizmusok (pl. *L. monocytogenes*) inaktiválása révén az érzékszervi tulajdonságok megváltozása nélkül. Nagy nyomással kezelt termékeket többnyire az Egyesült Államokban és Japánban találunk, de Európában is feltörekvően vannak a nyomáskezelt termékek. Ebben Spanyolország úttörő szerepet játszik, ahol először 1998-ban hoztak forgalomba 400 MPa, 17°C, 20 percig nyomáskezelt vákuumcsomagolt, szeletelt, főtt sonkát, ami 4°C-on 8 hét eltarthatóságot biztosított (Grèbol, 2002). Azóta nyomáskezelt sonkák, kolbászok és más hústermékek is megjelentek a boltok polcain (1. táblázat).

1. táblázat: Példák kereskedelemben kapható nyomáskezelt húskészítményekre (Bajovic et al., 2012)

Ország	Vállalat	Termék
Amerikai Egyesült Államok	Perdue Farms	Baromfihúsok
	Tyson Food	Sült csirke
	Cargill	Hamburger (Fressure®)
	Hormel	Szeletelt, pácolt sonka
Egyesült Királyság	Clomubus Foods	Fermentált kolbászok
	Delì24	Hús és sajt snack-ek
Görögország	Creta Farm	Extra szűz olívaolajjal marinált húsok
	Ifantis	Szeletelt, pácolt húsok (mortadella, sonka, szalámi)
Hollandia	Zwaneberg	Carpaccio
Kanada	Santa Maria Foods	Szeletelt szárazsonkafélék
Románia	Chris Tim	Fermentált kolbászok
Spanyolország	Campofrio	Szeltelt sonkák, baromfi és pulyka termékek, Serrano sonka, Chorizo kolbász

2.5. A nagy hidrosztatikus nyomáskezelés hatása a húsok és húskészítmények tulajdonságaira

A nyomáskezelés során a termékben bekövetkező változások eltérnek a más, pl. hőkezelés során bekövetkező változásoktól. Ezek a változások természetesen nem elhanyagolhatók és a Le Châtelier-elvből eredeztethetők. A nyomás hatással a van a makromolekulák (pl. fehérjék) szerkezetére, a lipidek és a víz átalakulási hőmérsékletére és számos más kémiai reakcióra (Tauscher, 1995). A bekövetkező hatások különböző tényezőktől, a feldolgozási paraméterektől vagy az elérni kívánt céltól függően lehetnek előnyösek vagy károsak (Rastogi et al., 2007). Ezért a húsok és húskészítmények minőségében a nyomás hatására bekövetkező változások vizsgálata fontos, nemcsak a tudományos közösség, hanem a húskészítmény-gyártók számára is. A hús minősége szubjektív megítélésű ugyan, de a gyártók és a fogyasztók számos fontos minőségi mutatóban egyetértenek.

Ezek a mutatók magukba foglalják az állományt (puhaságot, keménységet), lédúságot, megjelenést (a színt és szerkezetet egyaránt), a zsír- és fehérjetartalmat, a csepegési- és főzési veszteséget, a zsír oxidatív stabilitását, valamint az illatokat és szagokat (Borggaard and Andersen, 2004).

2.5.1. *A nyomáskezelés hatása a húsok állományára*

A nyomáskezelés hatásának vizsgálata során a húsok állománya volt az egyik leginkább vizsgált minőségi jellemző, mivel nagy érdeklődés mutatkozott a hús porhanyósításának, ún. tenderizálásának befolyásolására nagy hidrosztatikus nyomással. A hús puhulása, porhanyósodása a húsban lévő enzimikus rendszer működésének eredménye, ami a húsban végbemenő biokémiai változások, főként az endogén proteázok működésével hozható összefüggésbe. Működésük következtében az aktin és miozin közötti kölcsönhatások gyengülnek, a miofibrillumok a Z-vonal mentén feldarabolódnak, az elasztin szálak megbomlanak és az izomrostokat átszövő kötőszövet is meggyengül (Koohmaraie, 1994). A témakörben végzett munkák azt mutatták, hogy a pre-rigor állapotú marhahús 100 MPa, 30°C-on történő, 1-4 perces nyomáskezelése a hús jelentős, rostiránnyal párhuzamos 35-50%-nyi megrövidülését eredményezi (Bouton et al., 1977; Macfarlane, 2006). Ennek feltehető oka, hogy a nyomás hatására a szarkoplazmatikus retikulum membránjai felszakadoznak és a benne lévő Ca^{2+} ionok a citoszolba áramlanak. A Ca^{2+} , mint az izomösszehúzódban szerepet játszó ion az izom intenzív összehúzódbát eredményezi, továbbá a post-mortem glikolízist is felgyorsítja intenzív pH csökkenés kíséretében. Utóbbi a Ca^{2+} által katalizált foszforiláz aktiválódására vezethető vissza, ami az izomban lévő glikogénbontást serkenti (Okamoto et al., 1995). A pH változása, vagyis a nyomás által kiváltott glikolízissel kapcsolatos eredmények azt mutatják, hogy a pH változása függ a nyomástól, a hőmérséklettől és a nyomáskezelés időtartamától (Macfarlane et al., 1982).

A 2010-es években a Hormel Foods (Austin, Minnesota, USA) nevű élelmiszeripari vállalat ipari nyomáskezelési eljárást szabadalmaztatott pre-rigor húsok tenderizálására (Smit et al., 2010). Mint azt Macfarlane (2006) megállapította és Smit et al. (2010) is megfigyelték a post mortem glikolízis sebessége és mértéke a pre-rigor állapotú húsban befolyásolható a nyomásviszonyok szabályozásával, ami befolyásolja a hús porhanyósságát. Munkájuk során pre-rigor sertés karajt 175-225 MPa nyomáson, 5-180 másodpercig kezeltek, 10°C alatti hőmérsékleten. A nyomáskezelt hús 24 óra hűtőtárolást követően nagyobb pH értéket mutatott a nyomáskezelési nélküli húshoz képest. Továbbá 225 MPa-os nyomáskezelést követően 0,3 egységgel nagyobb pH értékről, kisebb csepegési veszteségről és a porhanyósság jelentős javulásáról, ugyanakkor a hús színének fakulásáról számoltak be. Eredményeik szerint a nyomáskezelés nélküli húsok nagyobb tejsav-tartalommal, vagyis kisebb pH értékkel rendelkeztek, mint a nyomáskezelt húsok, amiből a glikolízis gátlására lehet

következtetni. Más szerzők a pH érték kapcsán hasonló eredményeket kaptak post-mortem marhahús 200-300 MPa, 5 perc, szobahőmérsékletű kezelésekor, aminek hatására a hús enyhe, 0,2 egységnyi pH növekedéséről számoltak be (Horgan et al., 1990; Suzuki et al., 1990). A pH változását a fehérjék konformációjának változásával és a hisztidin imidazolium-csoportjának nyomás hatására történő felszabadulásával is magyarázták.

A pre-rigor húsok állományának puhulása, a hús porhanyósodása két enzimatikus rendszernek, a katepszin- és a kalpain-proteináz rendszer működésének eredménye. Ezek az enzimek már 100 MPa nyomáskezelése hatására is kiszabadulnak a sejtek lizoszómáiból és a miofibrillumokhoz kötődnek, ahol a kialakuló kötéseket bontják, porhanyósítva így a húst (Kubo et al., 2002). A kalpain aktivitása 200 MPa-ig a nyomással együtt nő, amit annak tulajdonítanak, hogy a kalpain-proteináz rendszer Ca^{2+} -mal aktiválódik (Homma et al., 1996), ami az előzőekben említett szarkoplazmatikus retikulumból szabadul fel nyomás hatására. Továbbá a nyomás inaktíválja a kalpain inhibitorát, a kalpasztatint. A pre-rigor húsok nyomáskezelését abban az esetben lehet kivitelezni, ha melegen csontozzák a húst. Ez kevés esetben valósítható meg, a legtöbb helyen hidegcsontozást végeznek, így többnyire post-rigor állapotú hús áll rendelkezésre. Ahogy a pre-rigor húsok esetében, úgy a post-rigor húsok esetében is azt figyelték meg, hogy a porhanyósodásban szerepet játszó katepszinek nyomáskezelés hatására kiszabadulnak a lizoszómákból és aktivitásuk a nyomással együtt nő (Homma et al., 1994). Jung et al. (2000) 130-520 MPa tartományban, 10°C-on, 260 másodpercig nyomáskezelt post-rigor marhahúsokban nagyobb katepszin aktivitását mutattak ki, mint a kezelés nélküli húsban. Eredményeik szerint a nyomáskezelés jelentősen befolyásolta mind a nyers, mind a hőkezelt hús (65°C, 1 óra) keménységét. Összességében a nyomáskezelt húsok keményebbnek bizonyultak, mint a kezelés nélküliek, és az 520 MPa-on kezelt húsok keményebbek voltak, mint a 130 MPa-on kezelt húsok. Jung et al., (2000) egy másik kísérleti munkájában 100–600 MPa tartományban, 10°C-on, 260 másodpercig kezelt post-rigor marhahúsokat. A nyomás hatására a miofibrillumok szétesését figyelték meg, azonban a húsok nem lettek puhábbak, porhanyósabbak. Ezért arra a következtetésre jutottak, hogy alkalmazott paraméterek mellett a nyomáskezelés nem javítja a post-rigor marhahús porhanyósságát. Hasonló eredményeket kapott Ma and Ledward, (2004) is, akik post-rigor marhahús 200-800 MPa, 20°C-on történő kezelése esetében a nyomás növekedésével a keménység növekedését figyelték meg. Kim et al. (2007) marhahús (*m. Semitendinosus*) 100–500 MPa, 15°C, 5 perces kezelését követően a húsokat 75°C-on maghőmérséklet eléréséig hőkezelték, majd ezt követően állományprofil analízist (Texture Profile Analysis, TPA) végeztek. Eredményei azt mutatták, hogy a 300 MPa-on kezelt húsok esetében a nyíróerő és a keménység jelentősen csökkent a kezelés nélküli húshoz képest. Azonban a 100 és

500 MPa-on kezelt húsok keménysége szignifikánsan nagyobbak bizonyult a kezelés nélkülihez képest, míg a 200 és 400 MPa-on kezelték esetében nem tapasztaltak különbséget.

A húsok szobahőmérsékleten vagy kisebb hőmérsékleten történő nyomáskezelését követően azok keményedése a miofibrillumokban okozott irreverzibilis szerkezeti változásokra vezethetők vissza (Scheibenzuber et al., 2002). A változás összefügg az alkalmazott nyomással és az a nyomásérték, aminél a szerkezet módosulása megkezdődik az állatfajtól függ (Iwasaki et al., 2006).

2.5.2. *A nyomáskezelés hatása a húsok színére*

A szín a hús egyik legfontosabb tulajdonsága, amely a fogyasztók egyik legfontosabb vásárlási kritériuma (Faustman and Cassens, 1990). A nyomás, nagyságától függően, kisebb-nagyobb mértékben befolyásolja a nyers hús színét. A világossági tényező (L^*) növekedése az egyik leggyakoribb színváltozás, amiről a vizsgálati eredmények beszámolnak és jellemzően 200 MPa nyomás feletti kezelések esetén már megfigyelhető (Beltran et al., 2004; Del Olmo et al., 2010; Marcos, 2014; Tintchev et al., 2013). Az L^* értékének növekedése a hús kifehéredésében mutatkozik meg, amit csirkehús esetében 400 MPa, 5-10°C kezelésnél (Beltran et al., 2004; Del Olmo et al., 2010), sertéshúsnál 200 MPa, 20°C (Korzeniowski et al., 1999), marhahúsnál pedig szintén 200 MPa nyomáson és 10°C hőmérsékleten figyeltek meg (Marcos et al., 2010). A hús kifehéredése fehérje koagulációval hozható összefüggésbe, amelynek eredményeként a szarkoplazma és/vagy miofibrilláris fehérjék elvesztik oldhatóságukat (Goutefongea et al., 1995), illetve a mioglobinnal, amely során a mioglobinnal lévő hem csoport elmozdul a helyéről vagy teljesen kiszabadul belőle (Carlez et al., 1995).

A hús vörös színezete (a^*) 400-500 MPa nyomáson és afelett jelentősen csökken, szürkés-barnás, főtt húsról jellemző szint eredményezve (Tintchev et al., 2010). Jung et al. (2003) marhahús 50-600 MPa, 10°C, 5 perc kezelése során arról számoltak be, hogy 300-350 MPa-ig a hús vörös színezete nő, e fölötti nyomás esetén azonban jelentősen csökken. Az a^* növekedését azzal magyarázzák, hogy 300 MPa alatti nyomás hatására a szürke színű metmioglobinnal redukálásáért felelős enzimrendszer aktiválódik, eltolva így a pigmentformák arányát az oxo-, és/vagy mioglobinnal irányába, amelyek piros színűek. Carlez et al. (1995) és Marcos et al. (2010) az a^* értékével kapcsolatban csökkenést tapasztaltak marhahús 350-400 MPa, 10-30°C között történő kezelése esetén. A csökkenést a mioglobinnal metmioglobinnal történő oxidációjával hozták összefüggésbe. Marhahús és darált marhahús 250-500 MPa tartományban végzett kezelése során a nyomás növekedésével a teljes mioglobinnal tartalom csökkenése és a szürke színű metmioglobinnal arányának növekedése figyelhető meg (Carlez et al., 1995). Sertéshús 600-700 MPa-on végzett kezelése során Raman-spektroszkópiás méréssel kimutatták, hogy a nyomás hatására a cseresznye-piros oximioglobinnalból

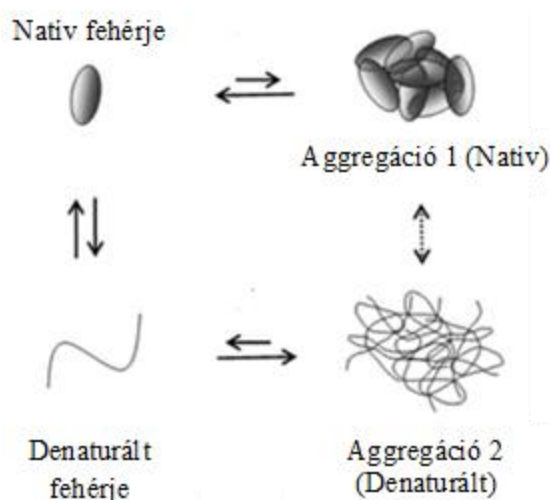
barna színű metmyoglobin képződik, amely denaturált, lilás színű dezoximiglobinná alakul át (Wackerbarth et al., 2009).

Bár a nyomáskezelések szemmel is látható elváltozásokat okoznak a nyers húsok színében, ezek az elváltozások hőkezelés vagy főzés után nagymértékben csökkennek (Gola et al., 2000; Mormur and Yuste, 2003). A hús vákuumcsomagolása oxigénmegkötővel vagy a hús nátrium-nitrittel (NaNO_2) és sóval (NaCl) való kezelése részben védi a húst az elszíneződéstől az 500 MPa nyomás alatti kezelések során (Carlez et al., 1995; Cheftel and Culioli, 1997). A húsok elszíneződését okozó reakciók, a mioglobin denaturációja vagy oxidációja, nagyobb mértékben függ a nyomás nagyságától, mint a kezelés időtartamától (Del Olmo et al., 2010; Jung et al., 2003; Tintchev et al., 2010).

Serra et al. (2007) eredményei alapján a pácolt sonkák vörös színezete a nyomással szemben kevésbé bizonyult érzékenynek, mint a nyers húsoké. Hasonló eredményt kapott Karłowski et al. (2002) és Rubio et al. (2007) pácolt marhahús nyomáskezelése során. Ennek magyarázata lehet, hogy a pácolás során használt nitrit hatására kialakuló nitrozo-mioglobin (NOMb) és a nitrozo-miokromogén pigmentek ellenállóbbak a nyomás okozta oxidáció és denaturáció hatásának, mint a tiszta mioglobin forma (Farkas et al., 2002; Pietrzak et al., 2007). A nyomáskezelés pácolt húsok színezetére gyakorolt hatása azonban nem mutat egységes képet. Az előzőekkel ellentétes hatásról, vagyis a pácolt hús színének nyomáskezelés hatására történő elváltozásáról is található szakirodalmi eredmények. Pl. Andrés et al. (2004) és Andrés et al. (2006) a szárazsonka esetében az a^* értékének csökkenését tapasztalta már 200 MPa nyomástól. Azonban szárazsonka és pácolt karaj 300 MPa, 14°C, 30 perc kezelése, közvetlenül a nyomáskezelés után szemmel látható színelkülönbséget eredményezett a kezelés nélküli termékhez képest. A termékek színezetében mutatkozó különbség azonban a tárolás során (4°C) fokozatosan csökkent, a 60. és 90. tárolási napokra pedig el is tűnt. A pácolt húskészítmények színeltávolításának elkerülése érdekében ajánlott a hőkezelés a nyomáskezelés elvégzése előtt (Goutefongea et al., 1995). Ez természetesen csak a hőkezelt, pácolt, darabolt termékek, mint a gépsonka, fóliás sonka, vagy főtt-füstölt húsvéti sonkák esetében jöhet szóba. Cukrok és édesítőszer használata a pácolás során növelte a húsfehérjék stabilitását 50-200 MPa, 5°C, 20 perc kezelések után, megelőzve így a nemkívánatos színeltávolítást, a főtt szín kialakulását (Ashie et al., 1999). Ezzel szemben a pácolt termékek gyártástechnológiájában alkalmazott füstölésnek nem mutatkozott hatása a nyomáskezelés okozta színeltávolítás kiűszöbölésében (Karłowski et al., 2002).

2.5.3. A nyomáskezelés hatása a húsfehérjékre

A fehérjék natív állapotban biológiailag aktívak, funkciójukat képesek ellátni. Ebben a stabil állapotban a fehérjék szabadentalpiája a legalacsonyabb, a szerkezetet sok másodlagos kötés stabilizálja. Az oldhatósága jó, mivel a poláros oldalláncok a molekula külső felszínén helyezkednek el. Denaturált állapotában a fehérje kitekeredett állapotban van, az oldhatósága csökken, funkcióját nem vagy csak részben tudja betölteni. A denaturációt követően a fehérjék aggregálódása következhet be, melynek során hidrofób kölcsönhatásokkal kötődnek egymáshoz. Ezek az aggregátumok lehetnek amorf vagy rendezett formájúak is. A húsok esetében a miozin aggregátumai felelősek elsősorban a rugalmas gél szerkezet kialakulásáért (Somkuti, 2013).



10. ábra: Fehérjeátalakulások (forrás: Kuroda, 2018)

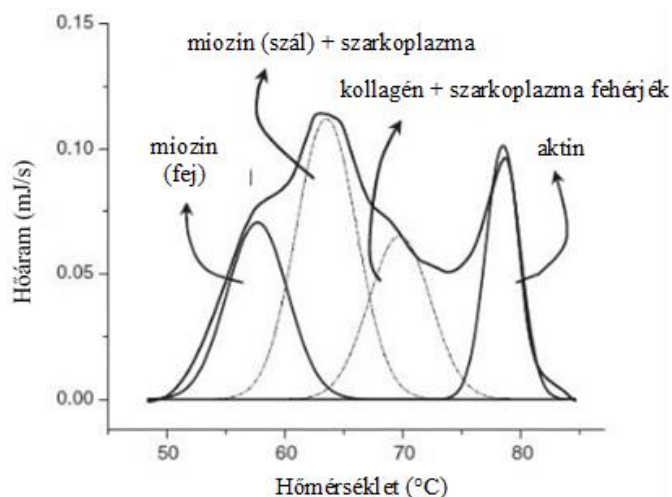
A kis molekulatömegű molekulák, mint pl. a peptidok, lipidek és szacharidok elsődleges szerkezetére csak a kb. 2000 MPa-nál nagyobb nyomás képes jelentős hatást gyakorolni, mivel az elsődleges szerkezetet kialakító és stabilizáló kovalens kötések csak az e fölötti nyomással létrehozott energiával lehet megbontani (Gross and Jaenicke, 1994). A peptidok között kialakuló hidrogénkötések eredményeként jön létre a fehérjék másodlagos szerkezete, az α -hélix vagy β -lemez. Ezek a hidrogénkötések már kisebb, kb. 1200 MPa nyomáson is felbomlanak. A fehérjék harmadlagos és negyedleges szerkezetét hidrofób-, ionos-, és nem-kovalens jellegű kötések alakítják ki. Ezekre a gyengébb kötések már a 100-600 MPa nyomás képes olyan hatást gyakorolni, amely a fehérje szerkezetében reverzibilis vagy irreverzibilis változást eredményez (Balny and Masson, 1993; Heremans and Smeller, 1998; Knorr et al., 2006). A változás nyomásfüggő, de általánosságban a 300 MPa feletti nyomáskezelés már irreverzibilis változást, denaturációt, koagulációt vagy aggregációt okoz a fehérjék szerkezetében. A 300 MPa alatti nyomáson a fehérjék szerkezetében történő változások általában reverzibilisek (Hendrickx et al., 1998). A fehérjék szerkezetének változása az

aminosav $-\text{COO}^-$ és $-\text{NH}_3^+$ oldalláncok közötti gyenge kötéseknek, külső erőhatásra történő felbomlására vezethető vissza. Ezeket a kötések a miofibrillumok közé bejutott só (Na^+ , Cl^-) is képes megbontani, ahogy az a 2.3.2 fejezetben is látható volt.

A nyomás hatással van a fehérjék szerkezetére. A nyomás hatására megváltozó fehérjeszerkezet hatással lehet a só diffúziójára, hasonlóan ahhoz, mint amikor a sütés-főzés során a már denaturálódott fehérjeszerkezetű húst akarjuk sózni. Ilyenkor a só már nehezebben hatol be a hús szövetébe a nyers, natív formához képest. Egy korai tanulmány (Macfarlane, 1985) kimutatta, hogy 100-300 MPa nyomástartományban az F-aktin és a miozin depolimerizálódik. Későbbi kutatások azt találták, hogy az aktin nyomás hatására reverzibilis átalakuláson (F-aktin \leftrightarrow G-aktin) megy keresztül (Ikeuchi et al., 2002; Jung et al., 2000b). A miofibrillumok nyomás hatására bekövetkező morfológiai és biokémiai változásait számos korai munka leírta (Messens et al., 1997; Yamamoto et al., 1990). Ebben a témakörben nyúlból izolált miozin szálak feji végeinek összekapcsolódását, aggregálódását tapasztalták 210 MPa nyomáson (0,5 M KCl, pH 6,0) (Yamamoto et al., 1993, Yamamoto et al., 1994). Csirkehúsból izolált miofibrillumokkal végzett kísérletben Iwasaki és Yamamoto (2002) hasonlókat tapasztaltak. Hsu et al. (2007) fluoreszcenciás és elektronmikroszkópos vizsgálataiban azt látta, hogy a miozin feji vége (0,2 M NaCl, pH 7,0) 150 MPa-on kezdett szerkezeti változást mutatni, míg az aktin-kötő helyek szerkezeti változásai 250-300 MPa nyomáson voltak megfigyelhetők. Tilápia (*Oreochromis aureus*) izomzatából származó aktomiozinnál (0,6 M KCl, pH 7,0) pedig 100 MPa-nál nagyobb nyomás már az aktomiozin aggregációját eredményezte.

Az egyes húsfehérjéknek a nagy nyomás hatására bekövetkező, szerkezettel összefüggő változása differenciális pásztázó kalorimetriás (Differential Scanning Calorimetry, DSC) mérésel is vizsgálható. Ez egy olyan módszer, amellyel egy adott anyag melegítés vagy hűtés során lezajló energiaváltozásait követhetjük nyomon, meghatározhatjuk entalpia- és fajhőváltozásait, valamint azokat a hőmérsékleteket, amelyeken ezek a változások végbemennek (<https://www.ogyei.gov.hu>). Az eredményként megjelenő hőáramgörbét, vagy ún. termogramokat felhasználva vizsgálható a húst (vagy egyéb szilárd vagy folyékony anyagot) alkotó összetevők fázisátalakulásai és kémiai átalakulásai. A hőáramgörbe segítségével meghatározható az átalakulás hőmérséklete, amit a csúcsok helye mutat meg és az átalakulás sebessége, ami pedig a csúcsok magasságával áll kapcsolatban, valamint az átalakuláshoz szükséges hőmennyiség is, ami megegyezik a csúcsok alatti terület értékével (Farkas, 1994). A termogramokon kirajzolódó negatív vagy pozitív csúcsok exoterm (hőtermelő) vagy endoterm (hőelnyelő) folyamatra utalnak. Az entalpia vagy a csúcsok hőmérsékletének változásai összefüggésbe hozhatók az egyes fehérjecsoportok denaturációjával, a

hús szerkezetének megváltozásával (Fernández-Martín, 2007). A húsfehérjék termikus átalakulásának vizsgálata összetett feladat, mert az egyes fehérjecsoportok, pl. a miofibrilláris fehérjék, a szarkoplazmafehérjék és a kollagén többféle termális átmentet mutatnak. Egy tipikus hőáramgörbén (11. ábra) három fő endoterm csúcs rajzolódik ki, kb. 59°C, 67°C és 80°C-nál, amik a miozinnak, a szarkoplazma fehérjéknek és a kollagénnak, valamint az aktinnak tulajdoníthatók (Speroni et al., 2014).



11. ábra: Húsfehérjék jellemző termogramja (forrás: Speroni et al., 2014)

Számos kutatás számolt be arról, hogy a miozin és a szarkoplazma fehérjecsoportok jellemzően kétféle termális átmentet mutatnak. A miozinnál először 45-54°C között történik átalakulás, ami a miozin feji végének denaturációját jelenti, majd 54-65°C között a miozin fibrilláris szál részének denaturációja megy végbe. A szarkoplazma fehérjék esetében pedig 54-62°C és 68-70°C közötti tartományban történik denaturáció. A kollagén átalakulása 67°C körül megy végbe. Az aktin denaturációja 75°C-80°C hőmérséklet tartományban következik be (Lörinczy and Belagy, 1995; Pighin and Gonzalez, 2008; Sikes et al., 2009; Stabursvik and Martens, 1980). A húst alkotó fő fehérjecsoportok érzékenyek lehetnek különböző vegyületek, pl. só, savak jelenlétére vagy külső behatásokra, mint pl. a nyomáskezelés. Az ezek hatására bekövetkező denaturációs változásokat, az ún. csúcs hőmérsékletek vizsgálatával értékelhetjük (Farkas, 1994).

Több kutatás foglalkozott a pácolás, valamint a nyomáskezelés fehérjeszerkezetre kifejtett hatásának vizsgálatával. Kajitani et al. (2011) 0,2-4% sókoncentrációjú páclevekben pácolt sertéshúsnál a sókoncentráció növelésével az aktin csúcshőmérsékletének csökkenését, valamint a szarkoplazma fehérjék és a kollagén csúcsának aktin felé közeledését tapasztalta. Eredményei továbbá azt mutatják, hogy 2% sókoncentráció felett a miozin csúcsa eltűnt a termogramokról, amiből annak denaturációjára következtethetünk. Hasonló eredményre és következtetésre jutott Thorarinsdottir et al. (2004) is pácolt tökehallal végzett vizsgálataiban. Ma és Ledward (2004)

nyomáskezelés hatását vizsgáló kísérletükben 0,1-800 MPa, 20°C-on marhahúst kezeltek és eredményeik azt mutatják, hogy a miozin és az aktin csúcsai 200 MPa-on ellaposodnak, ennél nagyobb nyomáson pedig fokozatosan eltűnnek. A görbék ellaposodása, a görbe alatti terület csökkenése a fehérjék szerkezetének megváltozására, denaturációra, kolagulációra, aggregálódásra utal. Ezzel szemben azt tapasztalták, hogy a kollagént nem volt jelentős hatással a nyomáskezelés. A miozin és az aktin nyomás stabilitását tekintve különbségek mutatkoznak a halak (Angsupanich et al., 1999; Schubring, 2005), a sertés (Cheah and Ledward, 1996; Fernández-Martín et al., 1997), a marha (Chapleau and de Lamballerie-Anton, 2003; Ma and Ledward, 2004) és a szárnyasok húsa között (Fernández-Martín, 2007; Zamri et al., 2006). A termoanalitikai eredmények alapján az figyelhető meg, hogy a melegvérű állatok húsfehérjéi ellenállóbbak a nyomással szemben, mint a hidegvérű állatoké. A madarak (baromfik) és az emlősök (sertés, marha, juh stb.) húsfehérjéinek nyomás stabilitása között azonban nem mutatkozik jelentős különbség.

2.5.4. A nyomáskezelés hatása az emészthetőségre

A húsfogyasztás szempontjából a nyomáskezelésnek a fehérjékre és ezáltal az emészthetőségre gyakorolt hatásának van jelentős szerepe. A legtöbb tanulmány *in vitro* emésztés-szimulációval, enzimek alkalmazásával vizsgálja az emészthetőséget, ami a tápanyagok biológiai hozzáférhetőségéről nyújt információt. A tápanyagok biológiai hasznosulása *in vivo* vizsgálatokat igényel. A nyomáskezelt élelmiszerek körében, így a húsok esetében is eddig kevés emészthetőségi vizsgálatot végeztek. A témakörben jelenleg fellelhető kutatási eredményeket a következőkben foglalom össze.

Linsberger-Martin et al. (2013) hőkezelt (100°C) és nyomáskezelt (600 MPa, 60°C) bab és borsó fehérje *in vitro* emészthetőségét vizsgálták és azt találták, hogy a nyomáskezelés jelentősen növelte az emészthetőséget a hőkezeléshez képest. Továbbá eredményeik azt mutatták, hogy a nyomáskezelt babban és borsóban az antinutritív anyagok aktivitás alacsonyabb volt, mint a hőkezeltekben, ami az emésztés szempontjából előnyös. Az antinutritív anyagok ugyanis különböző módon befolyásolják a tápanyagok hasznosulását. Csökkentik pl. a fehérje emészthetőségét, megkötnek bizonyos tápanyagokat, vagy károsítják a bélhámot, amivel csökkentik az emésztés hatékonyságát (Dublecz, 2011).

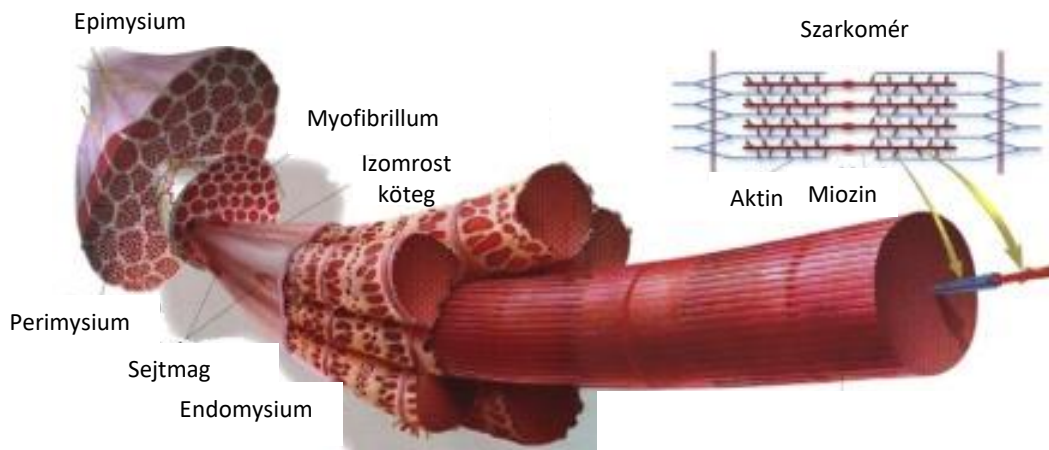
A 600 MPa, szobahőmérsékleten 10 percig kezelt marhahús a kezelést követően a főtt húshoz hasonló megjelenést és állagot mutatott, ahogy arra már a 2.5.2 fejezetben is volt példa. Azonban az így nyomáskezelt marhahús jobb *in vitro* emészthetőséget mutatott a kezelés nélküli húshoz képest. A nyomáskezelt marhahúsban kevesebb nagy molekulatömegű peptid és több szabad aminosavat mutattak ki az emésztési idő alatt, mint a kezelés nélküli húsból (Kaur et al., 2016).

Zhang et al. (2016) hosszúszárný kalmár (*Todarodes pacificus*) 200-600 MPa, szobahőmérsékleten, egy- és két ciklusban (20 perc és 2 x 10 perc) nyomáskezelését végezték. Eredményeik szintén azt mutatják, hogy a nyomáskezelés jelentősen javítja a hús *in vitro* emészthetőségét, ami a nyomás növekedésével együtt növekszik. A kísérletükben alkalmazott kezelési ciklusok közül a két ciklusban végzett kezeléseket eredményezték a legkönnyebben emészthető mintát. A nyomáskezelésnek az emészthetőségre gyakorolt hatása előnyös, különösen bizonyos csoportok, pl. idősek vagy szarkopéniában (izomerő-, és izomtömegvesztés) szenvedő emberek étrendjét illetően, akik számára könnyen emészthető fehérjéket és minimálisan feldolgozott élelmiszereket fogyasztását ajánlják (Bauer et al., 2013). Esetükben az izomtömeg pótlásához, fenntartásához, vagy az izomépítéshez a fehérjéből származó szabad aminosavak szükségesek. A nyomáskezelés szabad aminosav képződésre gyakorolt hatása azonban az élelmiszer mátrixtól függ (Pottier et al., 2017).

A nyomáskezelés és emészthetőség témakörében született tanulmányok egy jelentős része a különböző eredetű keményítők (hajdina, búza, tápióka, burgonya, kukorica) emészthetőségére összpontosít. Ezek eredményei azt mutatják, hogy a nyomáskezelés nagyobb mennyiségű lassan emészthető keményítőt, ezáltal kisebb glikémiás indexű élelmiszert eredményez, mint a hőkezelés (Liu et al., 2016; Papathanasiou et al., 2015). Ezen tanulmányok szerint a nagy hidrosztatikus nyomáskezelést alacsony glikémiás indexű ételek előállításához előnyösen és célszerűen lehet használni.

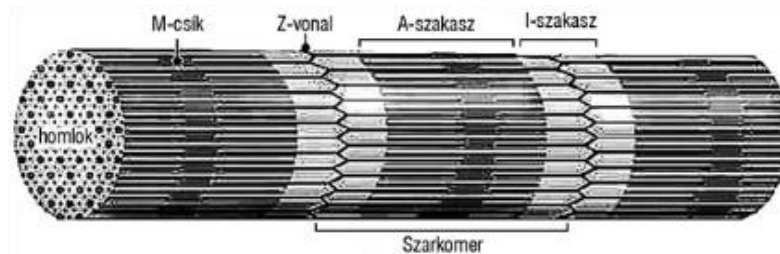
2.5.5. *A nyomáskezelés hatása a hús mikrostruktúrájára*

A hús egy hierarchikus rostokból felépülő szerkezet (12. ábra), aminek minden szintje rostok al egységéből áll. A szerkezet legmagasabb szintje maga az egész izom, amelyet kívülről egy kötőszöveti réteg, az ún. epimysium borít. Az izom fasciculákra, elsődleges izomrostkötegekre oszlik. Ezeket a kötegeket kívülről egy másik kötőszöveti réteg, az ún. perimysium borítja. Az izomrostkötegek egymással párhuzamosan futó kisebb, másodlagos izomrostkötegekből állnak, amelyeket kívülről szintén egy vékony perimysium réteg borít. Az elsődleges izomrostkötegek átmérője 1-5 mm, ezek a vágási felületen szemmel is láthatók. A másodlagos izomrostkötegek vékony, 20-80 µm átmérőjű szálakból, fibrillákból szerveződnek. A fibrillákat önálló sejtek építik fel, amelyek fő sejt szervecskéi a miofibrillumok. Ezek átmérője kb. 1 µm és egy sejten belül akár 1000 miofibrillum is lehet. A miofibrillumokban szabályos elrendeződésben, egymás mellett futva helyezkednek el az izom kontrakcióját végző aktin és miozin fehérjészálak (Purslow, 2017).



12. ábra: A vázizom szerkezete (Listrat et al. (2016) alapján)

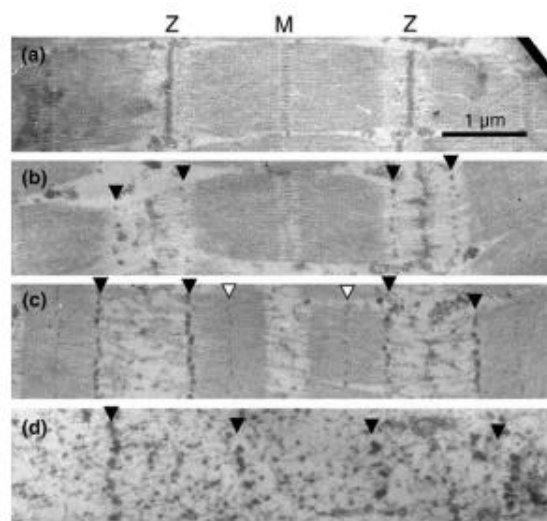
Szabályos elrendeződésüknek köszönhetően az izom elektronmikroszkópos képén ún. harántcsíkot látható, ami a fehérjeszálak egyszeresen fénytörő izotróp, világosabb és kétszeresen fénytörő, anizotróp, sötétebb szakaszainak váltakozásából adódik. A harántcsíkos izom szerkezetét a könnyebb értelmezés érdekében a 13. ábrán látható egységekre bontják. Az A-sáv a sötétebb szakasz, mivel polarizált fényben anizotróp-, az I-sáv pedig a világosabb szakasz, mivel ez izotróp tulajdonságú. Az A-szakaszt az M-vonal (vagy Hensen-sáv) osztja ketté, az I-szakaszt pedig a Z-vonal. Egy-egy ismétlődő szakasz határát a Z-vonal jelzi. Két Z-vonal közötti rész az ún. szarkomér egység (Vigh and Kondics, 1997).



13. ábra: A harántcsíkos izom szerkezete (forrás: Bárdos et al., 2007)

Már korai tanulmányok is rámutattak arra, hogy a hús szerkezetének változásai nagymértékben függenek attól, hogy a post mortem melyik időszakában, a pre-rigor vagy post-rigor szakaszában alkalmazzák a nyomáskezelést. A pre-rigor szakaszban végzett nyomáskezelés a hús intenzív összehúzódását eredményezi, a hossza 35-50%-kal csökkenhet. A kontrakciós sávok fénymikroszkóp alatt is láthatók (Cheftel and Culioli, 1997). Pásztázó elektronmikroszkópos és transzmissziós elektronmikroszkópos vizsgálataiban Elgasim és Kennick (1982) marhahús 103,5 MPa, 37°C, 2 perc kezelését követően megfigyelte, hogy a miofibrillumok közötti terek nőttek a kezelés hatására, továbbá duzzadt mitokondriumok és szarkoplazmatikus retikulumok voltak láthatók. A szarkomérek szerkezete is jelentős változást mutatott, a H-sávok és M-vonalak eltűntek, a Z-vonalak pedig megbomlottak.

A post-rigor szakaszban végzett nyomáskezelés hatására nem történik olyan összehúzódás, mint a pre-rigor húsok esetében, de a szarkomerek szerkezetében jelentős változások történnek. A 100 MPa, 25°C, 60 percig kezelt juhúsban Macfarlane és Morton (1978) az A-sávok közepén lévő M-vonalak eltűnését és az I-sávok szétesését tapasztalták. Ugyanakkor a Z-vonal szerkezete nem mutatott elváltozást a kezelés hatására. A nyomáskezelés során az aktin elmozdulhat az A-sáv mentén és amikor a nyomás hirtelen megszűnik összekapcsolódhat a miozinnal. Ezért feltételezhető, hogy a nyomás nem csak az aktinra, hanem az aktin felületén található regulációs proteinekre, a troponinra és a tropomiozinra is hatással van (Jung et al., 2000a; Suzuki et al., 1991; Suzuki et al., 1990). Iwasaki et al. (2006) elektronmikroszkópos felvételein (14. ábra) jól látszik az M- és a Z-vonalak nyomáskezelés hatására bekövetkező megszakadása.



14. ábra: Miofibrillumok ultrastruktúrája nyomáskezelt csirkehúsban
 a) nyomáskezelés nélkül, b) 100 MPa, c) 200 MPa, d) 300 MPa; kezelési idő 10 perc
 Z = Z vonal; M = M vonal. A fekete és fehér háromszögek aggregálódott fehérjéket jeleznek.
 (forrás: Iwasaki et al., 2006)

2.5.6. A nyomáskezelés hatása a diffúzióra

A hús pácolása során a hús alapanyagba sót vagy só-t, nitritet és egyéb adalékanyagokat juttatnak, terméktől függően száraz sózással, nedves/fedő pácolással vagy injektálással. A só és az adalékanyagok diffúzió útján vándorolnak a húsba és a hús szövetén belül is. Ez egy lassú folyamat, amelynek gyorsítására többféle próbálkozás történt, amelyek a 2.3.6 fejezetben kerültek bemutatásra.

A nyomáskezelés diffúzióra gyakorolt hatásáról kevés szakirodalmi adat áll rendelkezésre. Húsok pácolása során Villacís et al. (2008) vizsgálta a nyomáskezelés só diffúzióra gyakorolt hatását. Kísérletükben pulykamell páclében történő 0,1-300 MPa, 25°C, 15 perces nyomáskezelését végezték el. Eredményeik azt mutatták, hogy a 150 MPa nyomáson végzett pácolás a só diffúzióját

egy nagyságrenddel, vagyis 10-szeresére növelte a nyomáskezelés kezelés nélküli mintában számított értékhez képest. Ezt az izomsejteket borító hártályák és a húsfehérjék szerkezetében bekövetkező változásokkal magyarázták. Rastogi és Niranján (1998) ananász mintákat 100-700 MPa-on előkezelt az ozmotikus dehidráció felgyorsítására. A szerzők azt találták, hogy a dehidráció során a víz- és cukor diffúziós tényezői négy-, illetve kétszeresére növekedtek a nyomáskezelés hatására. Ezt a sejtfalak felszakadásával magyarázták, ami megkönnyítette a víz- és cukormolekulák diffúzióját. Sopanangkul et al. (2002) burgonyával végzett kísérlete során hasonló tapasztalt. Kísérletében a szacharóz diffúziója 400 MPa nyomásig növekvő tendenciát mutatott, ettől nagyobb nyomáson viszont csökkent, valószínűleg a szacharóz gélesedése miatt. Ahromrit et al. (2006) a nyomáskezelés rizs áztatása közben kifejtett hatásait vizsgálták. A szerzők azt figyelték meg, hogy a rizs vízfelvétele a nyomás és a hőmérséklet növekedésével növekvő tendenciát mutat és azt találták, hogy a 300 MPa, 60°C kezelés eredményezte a legnagyobb víz diffúziós együtthatót.

2.6. Az irodalmi eredmények összegzése

Az irodalmi áttekintés alapján képet kaphattunk arról, hogy a húsok pácolása egy több ezer éves múltra visszatekintő tartósító művelet, amit kisebb technológiai fejlődéssel, de annál nagyobb elméleti háttérismerettel alkalmazunk. A művelet célja, hogy só és adalékanyagokat, jellemzően nitritet/nitrátot juttassunk a húsba és annak teljes tömegében egyenletesen eloszlassuk. Ez fogja a pácolt termék eltarthatóságát, elvárt színét, állományát és ízét kialakítani. A pácolás klasszikus műveletei, a száraz sózás vagy nedves/fedő pácolás során a só húsba való bejutása lassú, hosszú időt igénybe vevő folyamat. Ennek gyorsítására különböző technikai megoldások születtek, ilyen pl. a páclé húsba való injektálása és a tumblezerés („ütve-forgatás”) vagy masszírozás. Ezekon kívül természetesen más technikák alkalmazása is vizsgálat tárgyát képezte és képezi, amelyek között található ígéretesek és kevésbé ígéretesek is. A szakirodalmi eredmények alapján előbbieknél közül való a nagy hidrosztatikus nyomáskezelés, amit Doktori értekezésem témájául választottam.

A nyomáskezelés alkalmazása és hatásainak vizsgálata több mint 100 éves múltra tekint vissza. Első alkalmazására és vizsgálatára 1899-ben került sor, azonban az utóbbi kb. 25 év az, amely során az alkalmazásában és a hatásaival foglalkozó tudományos ismeretanyagban a legtöbb eredményt hozta. A pácolt húsok területén a nyomáskezelés elsődleges célja a romlást okozó mikrobák inaktiválása, ami a termék hosszabb eltarthatóságát biztosítja. A témakörben fellelhető szakirodalmak nagy része ennek megfelelően a nyomáskezelés mikrobiológiai hatásait vizsgálja. Jóval kevesebb ismeretanyag áll rendelkezésre a pácolás során kifejtett hatásáról, pl. a só húsba való bejutásáról, ezzel összefüggésben a fehérjék állapotáról, a mikrostruktúra és a minőségi jellemzők változásáról. Ezért indokoltnak tartom a nyomáskezelési műveletnek a pácolás során a hús minőségi

jellemzőire gyakorolt hatását vizsgálni. Minthogy a témakörben igen kevés a szakirodalmi ismeret, az eredmények tudományos érdeklődésre tartanak számot.

Az ipari alkalmazást illetően érdemes szót ejteni arról, hogy a nyomáskezelő berendezések beruházási költsége jelentős. Általános vélekedés az, hogy csak olyan termékeknél van realitása az alkalmazásának, amelyek árába reálisan beépíthetők az ebből eredő plusz költséget. Ebből a szempontból a száraz, érlelt sonkafélék vagy a prémium hőkezelt sonkafélék alkalmasak erre célra. Előbbi termékek, mint a prémium minőséget képviselő hagyományos magyar parasztsonka, a mediterrán vidékeken népszerű Serrano-, Iberico-, Pármai vagy Bayonne sonkafélék ára jellemzően 10 ezer Ft/kg felett alakul, amibe a nyomáskezelés költsége könnyen beépíthető. A mediterrán, jellemzően a spanyol sonkafélék esetében a nyomáskezelés már kipróbált és alkalmazott művelet, amelyet az eltarthatóság növelésére eredményesen alkalmaznak.

3. ANYAG ÉS MÓDSZER

3.1. A kísérleti alapanyag

A kutatási munka során kísérleti alapanyagként *post-rigor* állapotú sertéskarajt (*m. Longissimus dorsi*) használtam, amelyet a SPAR Magyarország Kft. Regnum Húsüzem és Oktatóközpontból (2060 Bicske, SPAR út 0326/1.) napi, friss darabolásból szereztem be (pH $5,56 \pm 0,02$).

3.2. A kísérletek és mérések helyszíne

A kísérleti nyomáskezeléseket az SKC Consulting Kft., Lengyeltóti telephelyén végeztem (8693 Lengyeltóti 193/2 hrsz) egy Hiperbaric 135 (Hiperbaric, Burgos, Spanyolország) (15. ábra) nagy hidrosztatikus nyomáskezelő berendezésben.



15. ábra: Hiperbaric 135 nagy hidrosztatikus nyomáskezelő (forrás: <https://www.hiperbaric.com>)

A mérések elvégzésére a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem Élelmiszertudományi és Technológiai Intézetének, Állatiermék és Élelmiszertartósítási Technológia Tanszékén, valamint a NAIK ÉKI Biológiai Osztályán került sor.

3.3. A nyomáskezelési-pácolási kísérletek kivitelezése

A hús alapanyagot három részre osztottam, amelyeket **(i)** páclében nyomáskezelésre, **(ii)** nyomáskezelést követő pácolásra és **(iii)** nyomáskezelés nélkül, normál körülmények között végzett pácolásra használtam fel. Utóbbiak **(iii)** szolgáltak kontroll mintaként. A pácolásokat mindhárom esetben 5 m/m% és 10 m/m% sókoncentrációjú páclevekben végeztem, amit laboratóriumi tisztaságú nátrium-kloridból (NaCl, CAS: 7647-14-5) állítottam elő. A pácolások során a hús-páclé arány 1:4 volt. Az **(i)**-**(iii)** pácolásokat az alábbiak szerint végeztem.

3.3.1. Páclében nyomáskezelés kivitelezése

Az egész sertéskarajokat Normann NorTech (Normann Srl., Fontanafredda (PN), Olaszország) sokkoló fagyasztó berendezésben 15 perc időtartamban kéregfagyasztottam, majd az izomrostok irányára merőlegesen 30 mm vastagságú szeleteket vágtam. Ezután a szeleteket 10 percig kéregfagyasztottam az alaktartás céljából. Ezt követően a szeletekből 18 mm belső átmérőjű fém dugófúróval henger alakú mintadarabokat fúrtam ki, ezzel biztosítva a minél egyenletesebb átmérőt. A

mintadarabok kifűrása az izomrostokkal párhuzamos irányban történt. A kísérletek során törekedtem arra, hogy csak a látható zsír-, és durva kötőszöveti elemektől mentes húshengereket használjam fel. A húshengerek átlagos átmérője $d=17,7 \pm 0,9$ (átlag \pm szórás) mm, magassága $h=29,5 \pm 2,0$ mm, tömege pedig $m=6,7 \pm 0,9$ g volt ($N=300$ db). Ezt követően a húshengereket polietilén vákuumtasakokba helyeztem úgy, hogy egy tasakba 10 db húshenger került. Ezek egyik felét 5 m/m%-os, másik felét pedig 10 m/m%-os páclével öntöttem fel, majd a tasak száját fóliahegesztővel lezártam törekedve arra, hogy minél kevesebb levegő maradjon a tasakban. A tasakokat a 16. ábra látható módon alakítottam ki. A 3 db elkülönített húshengert a vízkötő képesség meghatározására használtam fel.



16. ábra: Páclébe helyezett húshengerek

Az így előkészített, páclében lévő húshengereket a 15. ábra látható nagy hidrosztatikus nyomású berendezésben 100, 200 és 300 MPa-on, 5°C-on, 100 MPa/perc nyomásnövelési sebességgel kezeltem 1, 3, 5, 10 és 15 perc nyomáson tartási idővel. A nyomás elengedése pillanatszerűen történt (<3 s).

Ahhoz, hogy az (i)-(iii) kísérletek során a húshengerek páclében tartózkodásának időtartamai azonosak legyenek lemértem a leghosszabb, 300 MPa-os kezelésekhöz tartozó teljes műveleti időtartamokat, vagyis azt az időt, amit a hús páclével való felöntése, a tasak zárása, a nyomáskezelés, kitarolása, bontása és a páclé leöntése igénybe vett. Az időtartamok a 2. táblázatban feltüntetettek szerint alakultak.

2. táblázat: Összes pácolási műveleti időtartamok a 300 MPa-on, páclében történő nyomáskezelések esetén

Nyomás	Nyomáson tartás időtartama	Összes pácolási műveleti idő
300 MPa	1 perc	7 perc
	3 perc	10 perc
	5 perc	13 perc
	10 perc	16 perc
	15 perc	23 perc

A kisebb nyomásokon végzett páclében kezelések, valamint a többi pácolás során is ehhez igazítottam a húsminták páclében tartózkodásának időtartamát.

A páclében nyomáskezelések kísérlet felépítését mutatja a 17. ábra.

Páclében nyomáskezelés						
Nyomás	100 MPa		200 MPa		300 MPa	
Páclé sókonc.	5 m/m%	10 m/m%	5 m/m%	10 m/m%	5 m/m%	10 m/m%
Nyomáskezelés + pácolás időtartama [perc]	7	7	7	7	7	7
	10	10	10	10	10	10
	13	13	13	13	13	13
	16	16	16	16	16	16
	23	23	23	23	23	23

17. ábra: A páclében nyomáskezelés kísérlet felépítése

3.3.2. Nyomáskezelést követő pácolás kivitelezése

Az egész sertéskaraj alapanyagokat polietilén vákuumtasakba csomagoltam, majd ezt követően Hiperbaric 135 (Hiperbaric, Burgos, Spanyolország) nagy hidrosztatikus nyomású berendezésben 100, 200 és 300 MPa-on, 5°C-on, 100 MPa/perc nyomásnövelési sebességgel, 5 perc nyomáson tartási idővel nyomáskezeltem. A nyomás elengedése pillanatszerűen történt (<3 s). A nyomáskezelt húsokból a 3.3.1 fejezetben bemutatott kéregfagyasztási módszert követve mintahengereket fűrtam ki, amelyek átlagos átmérője $d=17,8 \pm 0,7$ mm, magassága $h=29,8 \pm 2,1$ mm, tömege pedig $m=6,8 \pm 0,9$ g volt ($N=300$ db). Ezt követően a húshengereket polietilén vákuumtasakokba helyeztem úgy, hogy egy kezelésre 10 db húshenger került. Ezek egyik felét 5 m/m%-os, másik felét pedig 10 m/m%-os, 5°C hőmérsékletű páclével öntöttem fel, majd a tasakokat fóliahegesztővel lezártam. A tasakok kialakítása a 16. ábra látható módon történt. Az ily módon elkészített nyo-

máskezelt húshengerek pácolását 5°C hőmérsékletű hűtőkamrában a 2. táblázatban feltüntetett pácolási műveleti időtartamokig végeztem. A nyomáskezelést követő pácolási kísérlet felépítését mutatja a 18. ábra.

Nyomáskezelést követő pácolás						
Nyomás	100 MPa		200 MPa		300 MPa	
Nyomáskezelés időtartama	5 perc		5 perc		5 perc	
Páclé sókonc.	5 m/m%	10 m/m%	5 m/m%	10 m/m%	5 m/m%	10 m/m%
Pácolás időtartama perc	7	7	7	7	7	7
	10	10	10	10	10	10
	13	13	13	13	13	13
	16	16	16	16	16	16
	23	23	23	23	23	23

18. ábra: A nyomáskezelést követő pácolási kísérlet felépítése

3.3.3. Nyomáskezelés nélkül végzett pácolás

Az egész sertéskaraj alapanyagokból a 3.3.1 fejezetben bemutatott módon mintahengereket fűrtam ki, amelyek átlagos átmérője $d=17,7 \pm 0,5$ mm, magassága $h=29,7 \pm 1,9$ mm, tömege pedig $m=6,7 \pm 0,7$ g volt ($N=100$ db). Az elkészített húshengereket polietilén vákuumtasakba helyeztem, úgy hogy egy pácolásra 10 db húshenger került. Ezek egyik felét 5 m/m%-os, másik felét pedig 10 m/m%-os, 5°C hőmérsékletű páclével öntöttem fel, majd a tasakokat fóliahegesztővel lezártam és 5°C hőmérsékletű hűtőkamrában a 2. táblázatban feltüntetett pácolási műveleti időtartamokig pácoltam. A nyomáskezelés nélkül végzett pácolási kísérlet felépítését mutatja a 19. ábra.

Nyomáskezelés nélkül végzett pácolás		
Páclé sókonc.	5 m/m%	10 m/m%
Pácolás időtartama perc	7	7
	10	10
	13	13
	16	16
	23	23

19. ábra: Nyomáskezelés nélkül végzett pácolási kísérlet felépítése

A 3.3.1 - 3.3.3 fejezetben bemutatott kísérletek során a pácolási műveleti idők leteltével a húsokat kivettem a pácléből és szűrőpapírral óvatosan leitattam a felületükről a páclevet, leállítva így a további pácolódásukat. Ezt követően a következőkben bemutatásra kerülő méréseket és számításokat végeztem el.

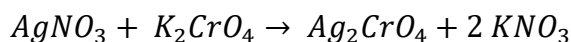
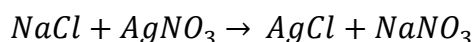
3.4. Mérési módszerek és számítási metódusok

3.4.1. Nedvességtartalom meghatározása

A húshengerek nedvességtartalmát [%] szárítószekrényben, 105°C-on történő tömegállandóságig történő szárítással határoztam meg. Párhuzamos mérések száma $n=3$.

3.4.2. Sótartalom (NaCl) meghatározása

A húshengerek végeiről 3-3 mm részt, a véglapokat levágtam, a sótartalom meghatározására az így megmaradó kb. 24 mm magasságú mintát használtam fel. Ezzel igyekeztem kiküszöbölni a rostirányú, véglapok felőli só diffúziót. A sótartalmat Mohr-féle eljárással határoztam meg 3 párhuzamos mérést végezve. A mintaelőkészítés során 3 húshenger véglap nélküli részét homogenizáltam, majd 4-5 g közötti (0,01 g felbontással ismert) tömeget mértem be 100 ml-es Stift lombikba és félig töltöttem desztillált vízzel. A lombikokat 25 percre 80°C-os vízfürdőbe helyeztem a sótartalom kioldása céljából, majd jeges vízben szobahőmérsékletűre hűtöttem. A hűtést követően a lombikokat jelre töltöttem, majd az oldatot redős szűrőpapíron leszűrtem a szilárd részek leválasztása céljából. A leszűrt törzsoldatból 10 ml mennyiségeket kálium-kromát (K_2CrO_4) indikátor jelenlétében ezüst-nitrát ($AgNO_3$) mérőoldattal titráltam. A titrálás során először ezüst-klorid ($AgCl$) válik ki, mivel ennek oldhatósága kisebb, mint az ezüst-kromáté (Ag_2CrO_4). Amikor az oldatban lévő összes kloridion (Cl^-) $AgCl$ -ként kivált, már a mérőoldat egy cseppnyi feleslegétől is vöröses színű Ag_2CrO_4 csapadék keletkezik, ami a titrálás végpontját jelzi. A reakcióegyenlet a következő:



Az oldatnak közel semlegesnek (pH 7,0-7,1) kell lennie, mert lúgos pH tartományban ezüst-hidroxid, míg savasban krómsav (H_2CrO_4) képződik, amik késleltetik a csapadékképződést. A titrálás előtt, szükség szerint kálium-hidrogén-karbonáttal ($KHCO_3$) lehet semlegesíteni az NaCl oldatot. Az $AgNO_3$ mérőoldat fogyása alapján a minta NaCl tartalma a [13] egyenlettel számolható.

$$NaCl [m/m \%] = \frac{V_f \times f \times E \times V_{ST}}{V_T \times m} \quad [13]$$

Ahol:

V_f	mérőoldat fogyása [ml]
f	mérőoldat faktora ($f=0,9335$; $f=0,9546$) (viszonzszám, ami azt mutatja meg, hogy a használt mérőoldat 1 ml-e hány ml 0,1 M-os oldatnak felel meg)
E	sóegyenérték (1 ml 0,1 M AgNO_3 5,85 mg NaCl-nak felel meg)
V_{St}	Stift lombik térfogata [ml]
V_t	titrált térfogat [ml]
m	bemért hús tömeg [mg]

3.4.3. Kiegyenlítődési só- és nedvességtartalom meghatározása

A kiegyenlítődési só (C_{eq} , m/m%) és nedvességtartalom (X_{eq} , %) a hús és a páclé közötti, végtelen hosszú ideig tartó pácolás esetén kialakuló egyensúlyi só és nedvességtartalom értéket jelenti. Ismerete nélkülözhetetlen a diffúziós számítások elvégzéséhez. Értékét kétféle módon határoztam meg, számítással Körmendy (1991) alapján, illetve kísérleti úton 24 órán tartó pácolással. Utóbbi esetében a pácolásokat, a 3.3.1 - 3.3.3 fejezetekben ismertetett pácolásokkal megegyező 5 m/m% és 10 m/m% sókoncentrációjú páclevekben, a nyomáskezelés-pácolás műveletekhez hasonlóan 5°C hőmérsékletű térben végeztem. A só és nedvességtartalom meghatározására a pácolás 7., 10., 13., 16., 23., 60., 180., 360. és 1440-ik percében került sor. A kísérleti úton meghatározott egyensúlyi C_{eq} és X_{eq} értékeként az 1440. percben mért értékeket használtam, mivel ezután már nem történt változás a hús só és nedveségtartalmában.

3.4.4. Só és víz diffúzió jellemzése matematikai modellekkel

A hús pácolása során a só és víz diffúziójának leírására a Fick II. törvényéből származtatott modelleket használtam ([14] – [16]). Alkalmazásukhoz abból a feltevésből indultam ki, hogy a húshengerekben a palásthoz képest a véglapok felülete elhanyagolható, vagyis csak sugárirányú, hengerszimmetrikus diffúzió történik és a húshengeren kívül a páclé sókoncentrációja állandó. A rostokkal párhuzamos irányú diffúzió hatását a só és nedvességtartalom meghatározás során a henger véglapjainak levágásával igyekeztem csökkenteni, kiküszöbölni.

- a) A [14] modell (Martuscelli et al., 2017) diffúziós folyamatot ír le, melyet a szerzők szárazsonka pácolása és érlelése során a só diffúziójának modellezésére használtak, geometriai megkötés nélkül.

$$\frac{C_t - C_0}{C_\infty - C_0} = 1 - e^{-\left(\frac{tD_s}{l^2}\right)^\beta} \quad [14] \text{ (Martuscelli et al., 2017)}$$

ahol:

- C_t a hús sótartalma t időpontban [g/100g]
 C_0 a hús sótartalma $t=0$ időpontban (kiindulási sótartalom) [g/100g]
 C_∞ a hús kiegyenlítődési sótartalma [g/100g]
 t idő [s]
 D_s sódiffúziós tényező [m^2/s]
 l a felület és mag közötti távolság (sugár, r) [m]
 β Weibull paraméter [dimenziómentes]

- b) A [15] modellt Abbasi Souraki et al., (2012) hengeres alakú zöldbab ozmotikus dehidratációja során a só és nedvesség diffúziójának meghatározására használta. Az általuk használt modell exponenciális tagja csökkenő tendenciát ír le. Ezt 1-SZUM formába írva telítődési folyamat írható le.

$$\frac{C_t - C_0}{C_\infty - C_0} = 1 - \sum_{n=1}^{\infty} \frac{4}{\mu_n^2} \exp\left(-\mu_n^2 \frac{D_s t}{R^2}\right) \quad [15] \text{ (Abbasi Souraki et al., 2012)}$$

ahol:

- C_t a hús sótartalma t időpontban [g/100g]
 C_0 a hús sótartalma $t=0$ időpontban (kiindulási sótartalom) [g/100g]
 C_∞ a hús kiegyenlítődési sótartalma [g/100g]
 D_s sódiffúziós tényező [m^2/s]
 t idő [s]
 R sugár [m]

μ_n az első típusú, nullarendű Bessel-függvény gyökei ($n=2,4048; 5,5201; 8,6537; 11,7915\dots$)

c) A [16] modell (Telis et al., 2003) paradicsomszelet ozmotikus dehidratációjára használta.

$$\frac{C_t - C_0}{C_\infty - C_0} = 1 - \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp\left(\frac{-D(2n+1)^2\pi^2 t}{R^2}\right) \quad [16] \text{ (Telis et al., 2003)}$$

ahol:

C_0 a hús sótartalma $t=0$ időpontban (kiindulási sótartalom) [g/100g]

C_t a hús sótartalma t időpontban [g/100g]

C_∞ a hús kiegyenlítődési sótartalma [g/100g]

D diffúziós tényező [m^2/s]

t idő [s]

R sugár [m]

A [14] – [16] egyenletekben a sótartalom (C) helyére nedvességtartalmat (X) írva a víz diffúziós tényezőjét (D_v) kapjuk. A [15] és [16] egyenletekben az exponenciális tag értéke az n növekedésével gyorsan csökken, így $n=\infty$ az első 50 tag ($n=0\dots50$) összegével jól közelíthető. A diffúziós tényező (D) értékét MS Excel 365 szoftver SOLVER bővítményével nem lineáris ARG módszerrel optimalizáltam úgy, hogy a mért és a számított só és víztartalom értékek közötti négyzetes eltérések összegének gyökét (Root Mean Squares of Error, $RMSE$) minimalizáltam. Az $RMSE$ tulajdonképpen a modellek mért adatokra illeszkedésének szorosságát mutatja. Az illeszkedés „jó-ságát”, a modell és a mért adatok kapcsolatának erősségét a determinációs együttható (R^2) értékével jellemeztem [17].

$$R^2 = \frac{\sum(Y_p - \bar{Y}_p)^2}{\sum(Y_p - Y)^2 + \sum(Y_p - \bar{Y}_p)^2} \quad [17]$$

ahol:

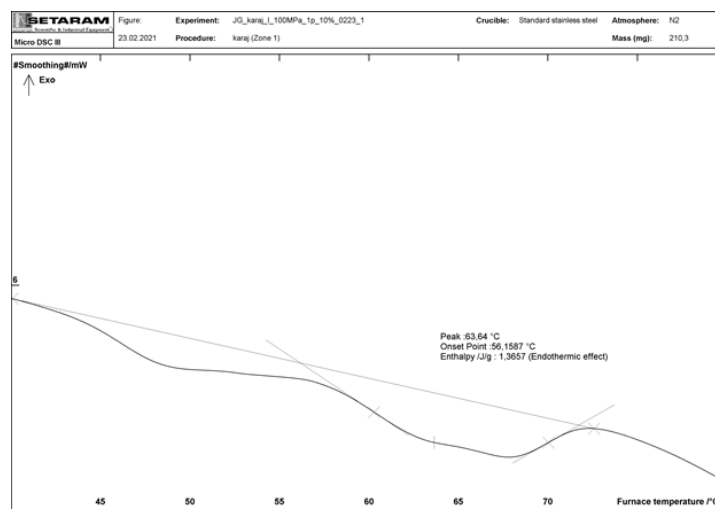
Y_p az Y változó predikált értéke

\bar{Y}_p az Y változó predikált értékének átlaga

A modellekre a továbbiakban Modell I. (Martuscelli et al., 2017), Modell II. (Abbasi Souraki et al., 2012) és Modell III. (Telis et al., 2003) megnevezésekkel hivatkozok.

3.4.5. Differenciális pásztázó kalorimetriás mérés

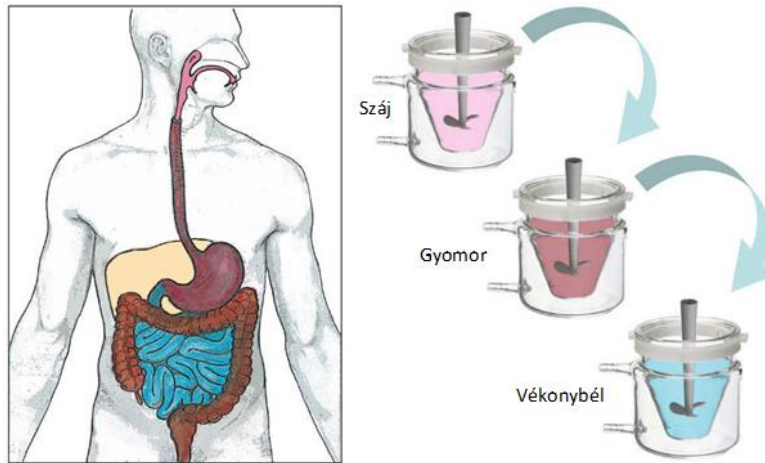
A pácolt húsok fehérjeállapotának vizsgálatát SETARAM MicroDSC III (SETARAM Instrumentation Caluire, Franciaország) termoanalitikai berendezésben végeztem. A mérés elvégzéséig a húsmintákat vákuumsomagolva -24°C hőmérsékletre fagyasztva tároltam. A mérés előtt a mintákat $20-22^{\circ}\text{C}$ hőmérsékletű vízben 15-20 perc alatt felengedtettem. A mérésre szánt húshengerek végeiről 3-3 mm részt, a véglapokat levágtam. A megmaradó kb. 24 mm magasságú hengert homogenizáltam és ebből vettem ki a méréshez szükséges húsmennyiséget ($210,6 \pm 10$ mg), amit hermetikusan zárható fém mintatartóba helyeztem. A szkennelt hőmérséklettartomány $25-90^{\circ}\text{C}$, a felfűtési sebesség $1^{\circ}\text{C}/\text{perc}$ volt. Referencia mintaként desztillált vizet használtam. A felfűtés során regisztrált hőáramokból kapott hőáramgörbéről a fehérjefrakciók denaturációs csúcshőmérséklet [$^{\circ}\text{C}$] értékeit, valamint lineáris alapvonalra integrálva a fehérjék állapotváltozását jellemző entalpiákat [J/g] $40-80^{\circ}\text{C}$ tartományban értékeltem (20. ábra), amelyeket SETSOFT 2000 v1.6 (SETARAM Instrumentation Caluire, Franciaország) szoftverben határoztam meg.



20. ábra: Sertéskaraj húsminta hőáramgörbéje és a denaturációs entalpia meghatározása lineáris alapvonalra integrálással $40-80^{\circ}\text{C}$ tartományban SETSOFT2000 v1.6 szoftverben

3.4.6. In vitro emésztési modellkísérlet

Az *in vitro* emésztést Minekus et al. (2014) által kidolgozott módszer szerint végeztem. A modellkísérlet során a tápcsatorna szerint három részre, a szájban, a gyomorban és a vékonybélben történő emésztési fázisokra osztható (21. ábra).



21. ábra: Az *in vitro* emésztési kísérlet fázisai (forrás: <https://www.lipolytech.com>)

Az emésztés szimulálásához használt emésztőnedvek:

- nyál - Simulated Salivary Fluid (SSF): pH=7,0
- gyomorfolyadék - Simulated Gastric Fluid (SGF): pH=3,0
- bélfolyadék - Simulated Intestinal Fluid (SIF): pH=7,0

Ezek tartalmazzák az emésztéshez szükséges elektrolit oldatot, emésztő enzimeket, kalcium-kloridot és vizet. Mivel a hús emésztése során a szájban történő szénhidrátbontásnak nincs nagy jelentősége az SSF oldat nem tartalmazott amilázt.

A vizsgálathoz szükséges hús mintát 2-3 mm-es méretűre daraboltam és 5 g tömeget mértem be. A száj fázisban (30 másodperc, 37°C) a minta és a mesterséges nyál aránya 50:50 w/v% volt. A harmonizált emésztési protokollal összhangban az enzimek aktivitása a feltételezett fiziológiás körülményeknek megfelelően lett beállítva, vagyis a végső szimulált gyomorfolyadékhoz pepszin, 2000 U/ml (Sigma P7012), a végső szimulált vékonybélfolyadékhoz pedig pankreatin, 100 TAME U/ml (Sigma P7545) került hozzáadásra, továbbá a vékonybélfolyadék 10 mM koncentrációban epekivonatot is tartalmazott (Sigma B8631). A felhasznált pepszin és pancreatin aktivitása Anson (1938) illetve Hummel (1959) alapján került meghatározásra. A pepszin aktivitása 2656 U/mg, a pancreatin 5,46 U/mg volt. Az epesav koncentrációját a Bile Acids Enzymatic Cycling Kit (Dialab, 903120) segítségével határoztam meg, a mért érték 2,05 mM/mg-nak adódott.

A gyomor fázis 2 órán keresztül tartott 37°C-on. A szimulált vékonybél emésztés esetén a gyomor fázist megismétltem és ezt követően adagoltam a mintához a szimulált vékonybélfolyadékot. A vékonybél emésztési szakaszt is a gyomor fázishoz hasonlóan 2 órán át végeztem 37°C-on rá-

zótermosztátban. A 2 óra leteltével az emésztett anyagot -80°C-ra hűtöttem leállítva ezzel az enzimikus reakciót. Az *in vitro* emésztési modellkísérlet eredményeként kapott mintákat a fehérjék molekulatömeg szerinti vizsgálatára fagyasztva szárítottam.

3.4.7. Poliakrilamid-gélelektroforézis vizsgálat (SDS PAGE)

Az *in vitro* emésztett húsminták fehérjéinek molekulatömeg szerinti szétválasztása SDS-PAGE (Sodium Dodecyl Sulphate-Polyacrylamide Gel Electrophoresis) módszerrel történt, vertikális rendszerben acrylamid/bis-acrylamid (830×730×1,0 mm) gélekkel, Laemmli (1970) módosított módszerével. A szétválasztás BioRad Mini Protean Tetra (Bio-Rad Laboratories Inc., USA) elektroforézis készülékkel történt. A vizsgálathoz készített 15%-os futtató- és 6%-os gyűjtőgélek összetételét a 3. táblázat tartalmazza. A futtató puffer összetétele (1000 ml): 3,03 g TRIS, 14,4 g glicin és 1 g SDS. A megszilárdult gél jelölő festékje futtató pufferből és brómfenolkékből állt. A húsminták oldószere (25 ml): 0,189 g TRIS, 0,5g SDS, 21,2 ml desztillált víz, 2,5 ml glicerin, 2,5 ml β-merkaptó-etanol. Az *in vitro* emészthetőségi vizsgálat liofilizált húsmintái 2 perc mintaoldószerezrel való forralással, majd lehűtéssel kerültek előkészítésre. A gélek zsebeibe a jelölő festékből 3 μl-t, a molekula standarból 6 μl-t, a mintákból 8 μl-t tettem. A molekula standard Precision Plus All Blue (Bio-Rad, USA) volt, ami 10 ismert molekulatömegű fehérjét tartalmazott a 10 – 250 kDa tartományban.

3. táblázat: SDS PAGE futtató- és gyűjtőgélek összetétele

Felhasznált anyagok		Futtató gél (15%)	Gyűjtő gél (6%)
30 %-os akrilamid oldat	[ml]	4	1
2 M-os TRIS puffer	[ml]	1,8	-
0,5 M-os TRIS puffer	[ml]	-	0,66
10%-os SDS	[μl]	50	55
desztillált víz	[ml]	2,06	3,23
TEMED	[μl]	6	6
APS	[μl]	50	50

Az elektroforézist 200 V-on, 45 mA-, 12 W-on végeztem 45 percen keresztül. A futtatást követően a fehérjék fixálása 20%-os TCA (triklór-ecetsav) oldatban történt, 20 percen keresztül. Ezután a gél mosása PAGE gélmosóval (összetétele 850 ml desztillált víz, 50 ml ecetsav és 100 ml etanol) enyhe, 15 percig tartó rázatás mellett történt. A mosást követően a géleket 0,2%-os Comassie Brilliant Blue (R250, Bio-Rad) festékkel festettem meg. A futtatott gélek szkennelése Gel Doc XR Scanner (Bio-Rad, USA) berendezéssel történt.



22. ábra: Bio-Rad Mini-PROTEAN 4 Cell és Gel Doc XR Scanner (forrás: <http://www.bio-rad.com>)

3.4.8. Pásztázó elektronmikroszkópos vizsgálat

Az elektronmikroszkópos vizsgálathoz a húshengereket hossz tengelyük irányában két részre vágtam. A vágott felületből a rostiránnyal párhuzamosan kb. 5 x 5 mm szélességű és 0,5 mm vastagságú húst metszettem ki, amelyet 5 ml 2,5%-os glutáraldehidben 24 órán keresztül 6°C-on fixáltam. A fixált mintát 10 ml 96%-os etanolban 24 órán keresztül dehidratáltam, majd végül a mintákat fagyasztva szárítottam. Az így előkészített húsminták mikrostruktúráját Thermo Scientific™ Prisma™ E SEM (Waltham, Massachusetts, USA) pásztázó elektronmikroszkóppal vizsgáltam.

3.4.9. Vízkötő képesség meghatározása

A vízkötő képesség a nemzetközi szakirodalomban „Water Binding Capacity”-ként (WBC) ismert kifejezés, ami azt mutatja meg, hogy a kísérletben használt hús alapanyag a kiindulási tömegére vetítve mennyi vizet, illetve páclevet [%] képes felvenni a különböző nyomáskezelési-pácolási művelet kombinációk eredményeként. A vízkötő képesség meghatározására egyedileg azonosított húshengereket használtam (16. ábra), amelyeknek mértem a páclével való felöntés előtti tömegét ($m_{t,0}$), majd a páclé leöntése és leitatása utáni tömegét (m_t). A számítás a [18] egyenlet alapján történt. Az eredményeket a három húshenger vízkötő képesség értékének átlagaként adtam meg.

$$\text{Vízkötő képesség [\%]} = \frac{m_t - m_{t,0}}{m_{t,0}} \times 100 \quad [18]$$

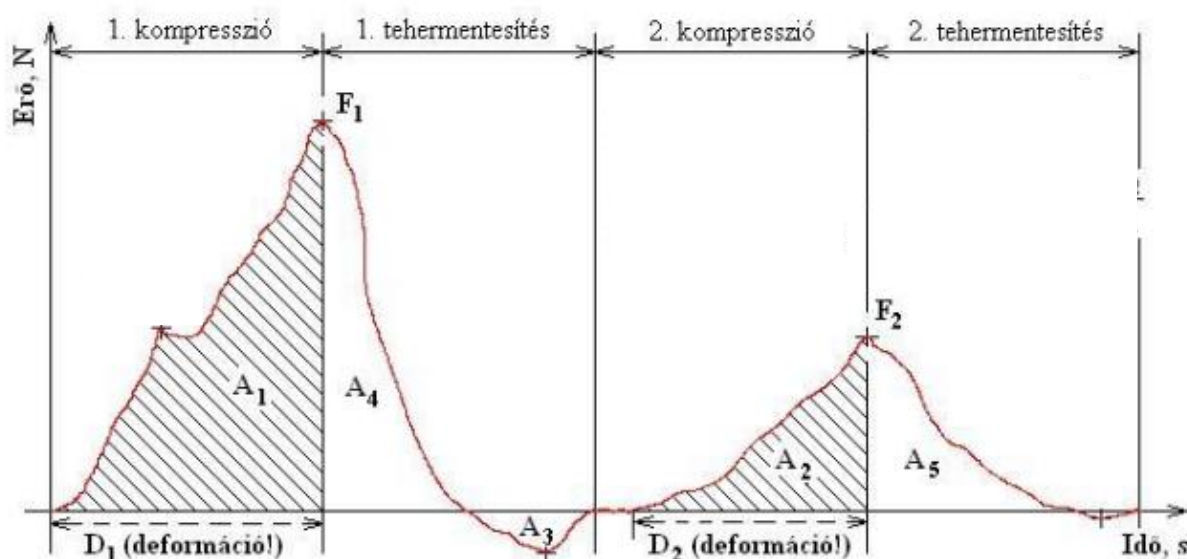
Ahol:

m_t a húshenger tömege a páclé leöntését és leitatását követően [g]

$m_{t,0}$ a húshenger tömege a páclével való felöntés előtt [g]

3.4.10. Állománymérés

Az állománymérését egy 500 N-os erőmérő cellával felszerelt SMS TA.XT Plus (Stable Micro Systems Ltd. Godalming, Surrey, UK) berendezéssel, állományprofil analízis (Texture Profile Analysis, TPA) módszerével végeztem. 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 történ elemzéssel is jól összehasonlítható eredményeket szolgáltatnak (Friedrich, 2008). Az állományprofil analízis jellegzetes deformációs görbét a 23. ábra mutatja, amelyről az alábbi paraméterek határozhatók meg.



23. ábra: Állományprofil analízis (TPA) jelleggörbéje (forrás: Csima, 2015 alapján)

Keményesség [H, N]: az első harapási ciklus során a maximális deformáló erő (F_1).

A_1 terület: az első harapási ciklus erő-idő görbéje alatti terület a mérés kezdetétől a maximális terhelés értékig, amely megfeleltethető az első harapással a mintán végzett kompressziós munkának.

A_2 terület: a második harapási ciklus erő-idő görbéje alatti terület a mérés kezdetétől a maximális terhelés értékig, amely megfeleltethető a második harapással a mintán végzett kompressziós munkának.

Kohezivitás [C], dimenzió nélküli]: kalkulált paraméter, az alaktartósság mértéke. A két csúcsgörbe alatti területeinek aránya ($C=A_2/A_1$).

Gumisság [G, g]: kalkulált paraméter, a keményég és a kohézió szorzata ($G=H*C$)

Rugalmasság [S, mm]: azt mutatja meg, hogy a rágás különböző szakaszaiban a vizsgálandó termék milyen mértékben nyeri vissza eredeti alakját.

Rágósság [Ch, g*mm]: kalkulált paraméter, a gumisság és a rugalmasság szorzata ($Ch=G*S$)

A húshengereket az állománymérés előtt szobahőmérsékletre temperáltam. A stabil mintapozíció miatt a húshengereket vízszintesen helyeztem a fej alá (24. ábra), ahol összenyomásuk a vastagságuk vagyis a húshengerek átmérőjének 50%-ig történt. A mérések során a fej sebessége 2 mm/s volt, az adatrögzítés minden esetben 0,049 N erő értéknél indult. A húsminták állományát a TPA görbékről meghatározott keménységgel és kohezivitással jellemeztem. Párhuzamos mérések száma $n=3$.



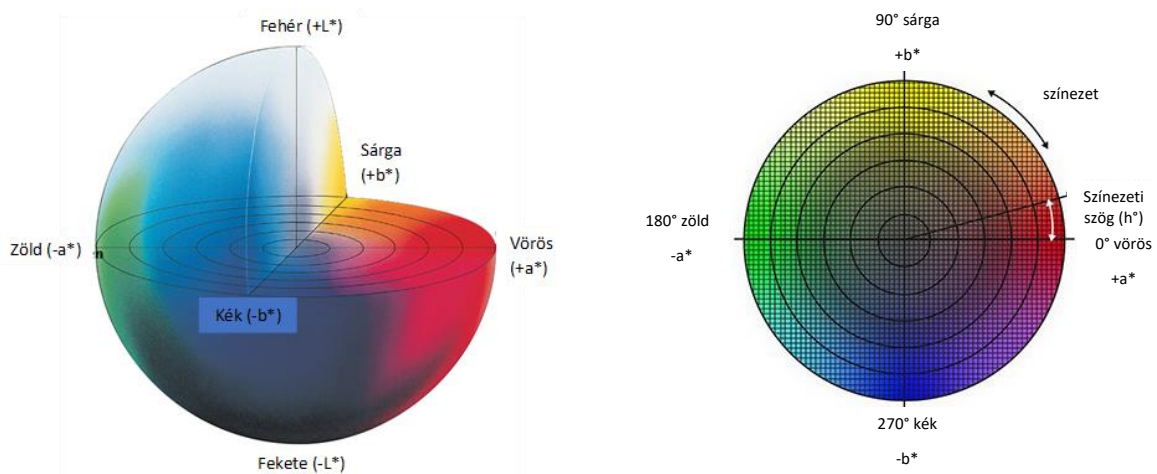
24. ábra: Sertéskaraj húshenger elhelyezése TPA állományméréshez

3.4.11. Színmérés

A színmérést Konica Minolta CR400 (Konica Minolta Inc., Japán) típusú tristimulosos színmérő készülékkel végeztem C65 megvilágítással. A készülék fényforrása xenon ívlámpa, amellyel megvilágítva a mérendő felületet az eszközben lévő nagy érzékenységű szilikon cellák érzékelik a visszaverődő elektromágneses hullámokat (<https://sensing.konicaminolta.us>). A mérés az additív színkeverés elvén alapul, amely szerint bármely szín előállítható három, adott hullámhosszúságú fény keverékeként (Hunt and King, 2012). A színmérést és értékelést a CIELab színingertérben végeztem, amelyben a világosság (L^*), a vörös-zöld (a^*) és sárga-kék (b^*) színtényezők kombinációja definiálja a színt a színingertérben (25. ábra). A CIELab színtényezők mellett a húsminták színárnyalatát a színezeti szöggel (angolul hue angle, h°) jellemeztem, mivel a húsok színét és fogyasztói megítélését alapvetően a vörös színárnyalatuk határozza meg. A színárnyalatot a sárga (b^*) és vörös (a^*) színtényezők arányából lehet meghatározni [19].

$$h = \arctan \frac{b^*}{a^*} \quad [19]$$

Ahogy azt a 25. ábra is mutatja $h=0^\circ$ jelenti a vörös színárnyaltot, $+90^\circ$ vagy -90° irányába távolodva a vörös színárnyalat egyre csökken és iránytól függően a sárga vagy kék árnyalat lesz a domináns. A színmérést a húshengerek felületén végeztem ($n=3$).



25. ábra: A CIE Lab színingertér és a színezeti szög (forrás: <https://sensing.konicaminolta.asia>)

3.4.12. Statisztikai értékelés

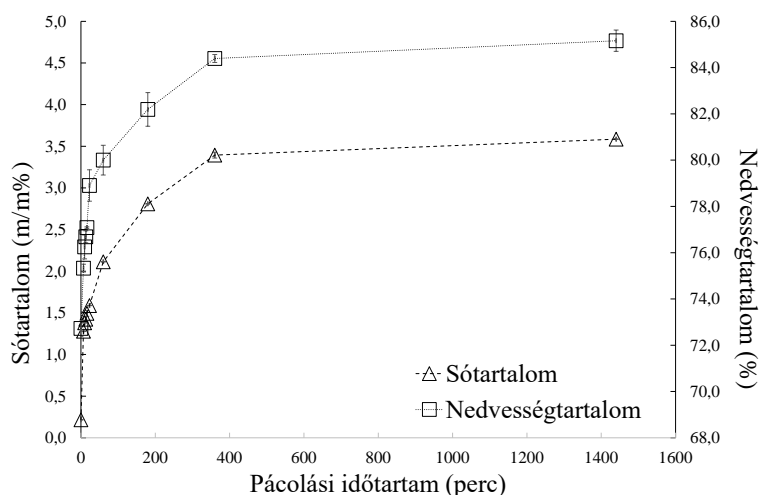
A mérési adatok statisztikai értékelését varianciaanalízissel (Analysis of Variance, ANOVA) végeztem IBM SPSS Statistics 20.0 (IBM Corp., USA) programban 95%-os konfidencia intervallummal ($p < 0,05$). Az értékelés független változói a nyomáskezelés-pácolás műveleti sorrendje (páclében nyomáskezelés, nyomáskezelést követő pácolás, nyomáskezelés nélküli pácolás), az alkalmazott nyomás (100, 200, 300 MPa) és a páclé sókoncentrációk (5 m/m% és 10 m/m%) voltak. A statisztikai értékelés során a parciális éta négyzet mutatót, mint hatásnagyság mutatót használtam, ami azt mutatja meg, hogy a független változók a függő változó varianciájának mekkora részét magyarázzák. Ebből a független változók hatásának nagyságára lehet következtetni.

A mérési eredmények grafikus ábrázolását Microsoft Excel 365 (Microsoft Corp., USA) programban végeztem. A diagramokon az adatpontok a mért értékek átlagát, a hibasávok pedig ezek (\pm) szórását mutatják.

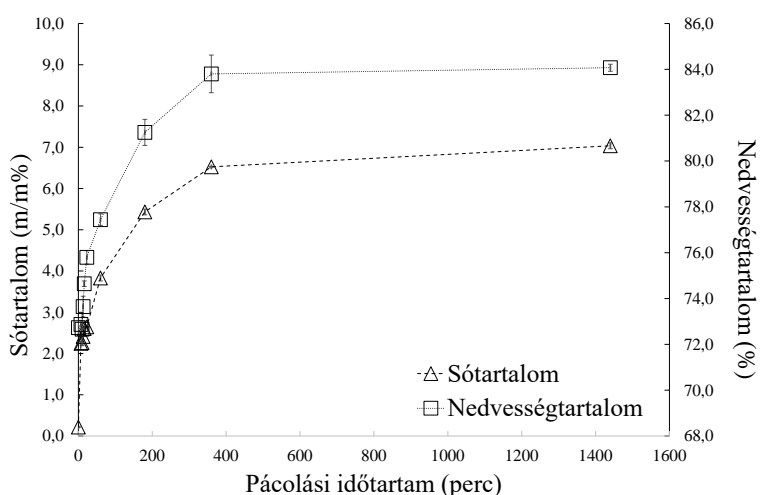
4. EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK

4.1. A kiegyenlítődési sókoncentrációk (C_{eq}) és nedvességtartalmak (X_{eq}) meghatározásának eredményei

A kísérleti munka első lépéseként a húsminták nyomáskezelés nélküli pácolását végeztem el 5 m/m% és 10 m/m%-os sóoldatokban, aminek célja a diffúziós számításokhoz szükséges kiegyenlítődési só (C_{eq}) és nedvességtartalom (X_{eq}) értékek meghatározása volt. A pácolást 5°C-on végeztem a páclé kevertetése nélkül, 1:4 hús-páclé aránnyal. A húsminták sótartalmának és nedvességtartalmának alakulását a pácolás során az 26. ábra és 27. ábra mutatja.



26. ábra: Sertéskaraj húsminták ($d=18$ mm, $h=30$ mm) só és nedvességtartalmának alakulása 5 m/m% só tartalmú páclében, nyomáskezelés nélkül, 5°C-on végzett pácolás során az idő függvényében



27. ábra: Sertéskaraj húsminták ($d=18$ mm, $h=30$ mm) só és nedvességtartalmának alakulása 10 m/m% só tartalmú páclében, nyomáskezelés nélkül, 5°C-on végzett pácolás során az idő függvényében

Az 26. ábrán és 27. ábrán látható, hogy a pácolás során egyidejűleg a só és a nedvesség húsba irányuló transzportfolyamata megy végbe. A só és a víz diffúziója a húsba az izomsejtek és a páclé

sótartalma közötti koncentráció-, valamint az ozmózisnyomás-különbség miatt alakul ki. A transzportfolyamat eredményeként a hús tulajdonságai megváltoznak. A nedvességtartalom növekedése a húst alkotó miofibrillumok duzzadásának és ezáltal a megnövekedő víztartó képességnek köszönhető, amelynek háttérében a sóból disszociáló Na^+ és Cl^- ionok állnak. A disszociált ionokat poláros vízmolekulák veszik körül, „leárnyékolva” kissé a töltésüket. Ennek ellenére azonban egyes ellentétes töltésű ionok, mint pl. a miofibrillumokat felépítő aminosavak $-\text{COO}^-$ vagy $-\text{NH}_3^+$ oldalláncai képesek magukhoz vonzani őket (Honikel, 2010). Ennek hatására a vízmolekulákkal körülvett Na^+ és Cl^- ionok az izomsejtekbe diffundálnak és behatolnak a miofibrillumok közé. Ennek hatására a fehérje oldallánccok közötti vonzó erők gyengülnek, távolabb kerülnek egymástól, így a miofibrilláris szerkezet megduzzad (Pinotti et al., 2002; Xiong et al., 2000). A miofibrillumok duzzadása még több vízmolekula behatolását teszi lehetővé, ami a pácolás közbeni vízfelvételt magyarázza (Cheng and Sun, 2008; Toldrá, 2002). Hasonló víz- és sófelvételt dokumentáltak darált marha- és sertéshús (Graiver et al., 2006; Medyński et al., 2000), valamint nyúl- hús esetében is (Offer and Trinick, 1983).

A hús mintahengerek kiindulási átlagos sóartalma 0,2 m/m%, nedvességtartalma pedig 72,0% volt. A kiegyenlítődési sókoncentráció 24 óra, vagyis 1440 perc pácolást követően $C_{eq, 5\%} = 3,6$ m/m% és $C_{eq, 10\%} = 7,0$ m/m% értéket, míg a nedvességtartalom $X_{eq, 5\%} = 85,2\%$ és $X_{eq, 10\%} = 84,1\%$ értéket ért el. A pácolás végén a páclevek sóartalma $C_{páclé, 5\%} = 4,8$ m/m% és $C_{páclé, 10\%} = 9,8$ m/m% volt. A páclé sótartalom csökkenése elhanyagolhatónak tekinthető. A kísérletben a hús-páclé arány 1:4 volt, ami lehetővé tette, hogy a páclé sótartalmának változása ne befolyásolja jelentősen a hús és páclé közötti sókoncentráció különbséget, ami a diffúziós folyamatok hajtóereje. A kiegyenlítődési sókoncentráció értékét a mérési eredmények mellett számítással is meghatároztam. A számítást Körmendy (1991) alapján a [20] és [21] egyenletek alapján végeztem.

$$d_{\infty} = \frac{p}{p + 0,75} \times d_0 \quad [20]$$

Ahol:

d_{∞} a pácolandó hús kiegyenlítődési sóartalma [g/100 ml]

p a hús-páclé arány. A páclé és a hús mennyiségét is literben kell kifejezni: 1 liter hús $\approx 1,07$ kg

d_0 a páclé sóartalma [g/100 ml]

A számítás során figyelembe vettem, hogy a pácolás előtt a húshenger nedvességtartalma $X_0=72,0\%$. A víz az a húsalkotó összetevő, amely a só számára az oldószert jelenti, ezért a hús kiegyenlítődési sóartalma:

$$C'_{eq} = X_0 \times d_{\infty} \quad [21]$$

Ahol:

C'_{eq} a pácolandó hús kiegyenlítődési sótartalma [g/100 ml hús]

X_0 a pácolandó hús nedvességtartalma [%]

A C'_{eq} értékét a sózott hús sűrűségének ismeretében (1,08 g/cm³) (Körmendy, 1991) tömegszázalékra [g/100 g hús] számítottam át. A [21] egyenlet alapján számolt kiegyenlítődési sótartalom értékek, valamint a méréssel meghatározott értékeket a 4. táblázat mutatja.

4. táblázat: A számolt és mért kiegyenlítődési sótartalom (C_{eq}) értékei sertéskaraj húsminták ($d=18$ mm, $h=30$ mm) 5 m/m% és 10 m/m% NaCl tartalmú páclében 24 órán át tartó pácolása esetén

Kiegyenlítődési sótartalom (C_{eq}) [m/m%]		
Páclé sókoncentrációja	C_{eq} számolt	C_{eq} mért
5 m/m%	3,1	3,6
10 m/m%	6,1	7,0

A számolt kiegyenlítődési sótartalom értékek 13,9% és 12,9%-kal kisebbnek adódtak, mint a mérések alapján meghatározott eredmények. Ennek feltételezhető oka, hogy a [20] és [21] egyenletekben szereplő egyes tényezőkre, úgymint a sózott hús sűrűsége és a hús liter mértékegységre történő átszámítására csak közelítő eredmények állnak rendelkezésre, ami a különbséget eredményezheti. A diffúziós számítások során a méréssel meghatározott ($C_{eq, 5\%} = 3,6$ m/m% és $C_{eq, 10\%} = 7,0$ m/m%) kiegyenlítődési sótartalom értékeket használtam fel.

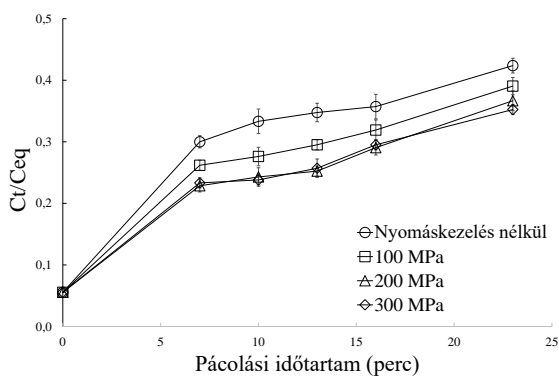
4.2. Sókoncentráció kiegyenlítődési profilok (C_t/C_{eq}) a pácolások során

A hús és a páclé közötti sókoncentráció kiegyenlítődés kinetikáját a 28. ábra és 29. ábra szemlélteti a páclében történő nyomáskezelések, a 30. ábra és 31. ábra pedig a hús nyomáskezelését követő pácolások során. Amint az látható, az ábrákon egy relatív értéket (C_t/C_{eq}) ábrázoltam a pácolási idő függvényében. A C_t a hús sótartalma adott t időpontban, C_{eq} pedig a hús sótartalma a kiegyenlítődési vagy egyensúlyi állapotban. A C_t/C_{eq} hányados azt mutatja meg, hogy az adott mérési időpontban mennyi só tartalmaz a hús, a hús és a páclé közötti sótartalom kiegyenlítődési állapotához képest. Ebből az arányból következtethetünk arra, hogy a teljes kiegyenlítődéshez képest a pácolás melyik szakaszában járunk. Ily módon szemléletesebb képet kaphatunk a pácolás folyamatáról, a sókoncentráció kiegyenlítődésének dinamikájáról. A nagyobb C_t/C_{eq} érték a hús és a páclé közötti gyorsabb sókiegyenlítődésre utal.

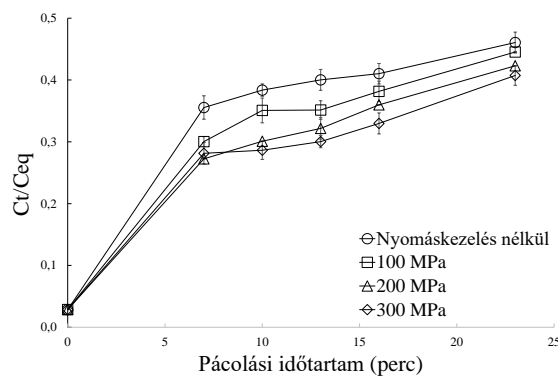
A különböző nyomáskezelés-pácolás és páclé koncentráció kombinációkban végzett pácolások során a C_t/C_{eq} érték minden esetben természetes, növekvő tendenciát mutattak. A kísérletben a leghosszabb pácolási idő 23 percnek adódott, ez idő alatt egyik húsminta sem érte el a teljes kiegyenlítődést ($C_t/C_{eq}=1,0$). A nyomáskezelések és pácolások végére a húsminták C_t/C_{eq} értékei a 0,35-0,50 tartományban alakultak. Ez azt jelenti, hogy az egyensúlyi sókoncentrációjukhoz képest 35-50% sómennyiség jutott be a húsba.

Az 5 m/m% és 10 m/m%-os páclében történő nyomáskezeléseknél (28. ábra és 29. ábra) a 100 MPa-on kezelt húsok a pácolás teljes időtartamában rendre nagyobb C_t/C_{eq} értékeket mutattak, mint a 200 és 300 MPa-on kezelték. Ugyanakkor a nyomáskezelés-pácolás időtartamában (7 – 23 perc) a nyomáskezelt húsminták C_t/C_{eq} értékei alatta maradtak a nyomáskezelés nélkül, vagyis normál körülmények között pácolt hús C_t/C_{eq} értékeinek. Ez azt mutatja, hogy a hús sókiegyenlítődése, mind az 5 m/m%, mind a 10 m/m% páclé koncentráció esetén lassabb, ha a nyomáskezelést a pácolás közben alkalmazunk, mint ha a pácolást nyomáskezelés nélkül végezzük.

A 10 m/m%-os páclében nyomáskezelt húsok a pácolás során nagyobb C_t/C_{eq} értékeket és görbéik intenzívebb felfutást mutattak, mint az 5 m/m%-os páclében kezelték (29. ábra). Az 5 m/m% és 10 m/m%-os páclében végzett nyomáskezelések között szignifikáns különbség azonban nem mutatkozott a C_t/C_{eq} értékekre nézve.



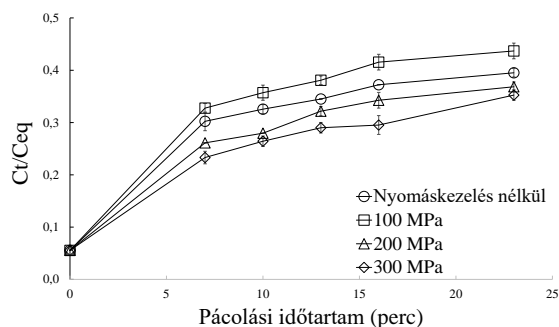
28. ábra: A sódiffúzió kinetikája sertéskaraj húsmintákban 5 m/m% sókoncentrációjú páclében történő nyomáskezelések során



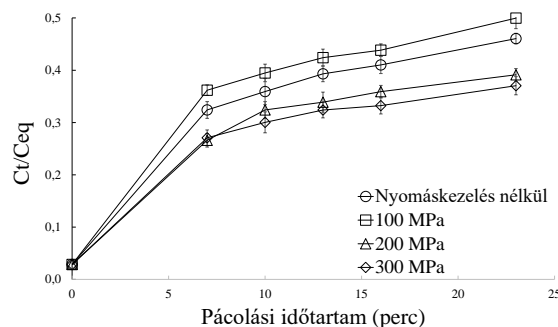
29. ábra: A sódiffúzió kinetikája sertéskaraj húsmintákban 10 m/m% sókoncentrációjú páclében történő nyomáskezelések során

A húsok 100, 200 és 300 MPa nyomáskezelését követően végzett 5 m/m% és 10 m/m%-os sókoncentrációjú páclében végzett pácolások sókiegyenlítődéseinek kinetikáját mutatja a 30. ábra és 31. ábra. A pácolás előtt 100 MPa-on kezelt húsok a pácolás teljes időtartama alatt rendre nagyobb C_t/C_{eq} értékeket mutattak, mint a nyomáskezelés nélküli, valamint a 200 és 300 MPa-on nyomáskezelt húsok. Utóbbiak C_t/C_{eq} értékei a nyomáskezelés nélküli hús pácolásához képest is kisebbnek bizonyultak. A hús pácolás előtti 100 MPa-os nyomáskezelése a hús gyorsabb sókiegyenlítődést

vetíti előre, mind a nyomáskezelés nélküli, normál körülmények között végzett pácoláshoz, mind a 200 és 300 MPa kezeléseket követő pácolásokhoz képest.



30. ábra: A sódiffúzió kinetikája sertéskaraj húsminták nyomáskezelést követő 5 m/m% sókoncentrációjú páclében történő pácolása során



31. ábra: A sódiffúzió kinetikája sertéskaraj húsminták nyomáskezelést követő 10 m/m% sókoncentrációjú páclében történő pácolása során

4.3. A só és víz diffúziós tényezők (D_s , D_v) meghatározása matematikai modellek alkalmazásával

A pácolás során lejátszódó diffúziós folyamat a sókiegyenlítődési profilok (C_t/C_{eq}) mellett a diffúziós tényezővel (D , m^2/s) együtt jellemezhető teljességében. A só és víz diffúziós tényezőjét a különböző pácolások során úgy határoztam meg, hogy a kísérletek során meghatározott sótartalom értékekre Fick II. törvényéből származtatott diffúziós modelleket illesztettem. Ezzel célom volt képet kapni arról, hogy a modellek mennyire alkalmasak leírni és milyen pontossággal képesek előre jelezni a diffúziós folyamatot. Egy jó diffúziós modell nagy pontossággal képes előre jelezni a só és víztartalom alakulását, ami a hús pácolás műveleti idejének meghatározását teszi lehetővé. A modellek használata során feltételeztem, hogy a kísérletben használt húshengerekben azok geometriája miatt ($d=18\text{ mm}$, $h=30\text{ mm}$) döntően sugárirányú, hengerszimmetrikus diffúzió történik, valamint, hogy a húshengeren kívül a páclé sókoncentrációja állandó. Utóbbit a kísérletben alkalmazott 1:4 hús-páclé arány volt hivatott szolgálni. Egy diffúziós modell akkor tekinthető megbízhatónak, ha a folyamatot megfelelő matematikai összefüggésekkel írja le, valamint, ha kicsi a különbség a modell által becsült és a mérésből származó értékek között.

4.3.1. A só diffúziós tényezők (D_s) meghatározása

A páclében nyomáskezelt húsok relatív sómennyiségeire $(C_t - C_0) / (C_{eq} - C_0)$ illesztett diffúziós modelleket a 32. ábra és 33. ábra mutatja, míg a húsok nyomáskezelését követően végzett pácolások

esetén illesztett modelleket a 34. ábra és 35. ábra szemlélteti. A diffúziós tényező (D) mértékegysége [m^2/s] miatt a modelleket mutató ábrákon a pácolási időtartam másodpercben [s] került feltüntetésre. A modell minél jobb illeszkedését a mérési adatokra a négyzetes eltérések összege gyöke ($RMSE$, Root Mean Square Error) minimalizálásával végeztem. A modell és a mért értékek közötti kapcsolat erősségét pedig a determinációs együttható (R^2) alapján vizsgáltam. A 32. ábra - 35. ábra a modellek és a mért értékek közötti jó illeszkedést mutatja. Az illesztések során minimalizált $RMSE$ értékeket és a számolt só diffúziós tényezők (D_S) értékeit az 5. táblázat és 6. táblázat foglalja össze. Szoros illeszkedést tapasztaltam mindhárom modell és a mért értékek között. A modellek és a mért értékek közötti kapcsolat erősségét jelző determinációs együttható $R^2 = 0,9063 - 0,9968$ közötti értéknek adódott, ami erős kapcsolatot jelez. A modelleket külön-külön vizsgálva a legerősebb kapcsolat ($R^2 = 0,9063 - 0,9968$) és a legjobb illeszkedés az 1. modellnél látható, ezért a só diffúziós tényezők (D_S) megállapítására és értékelésre az ebből számolt D_S értékeket használok fel. A D_S értékeket minden esetben $10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ nagyságrendben tüntettem fel a könnyebb összehasonlítás érdekében.

Az 5 m/m% sókoncentrációjú páclében nyomáskezelésnél (5. táblázat) a 100 MPa-os kezelés $D_S = 0,51 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ diffúziós tényezőt eredményezett, ami a 200 MPa-os kezeléshez képest 1,5-ször, a 300 MPa-hoz képest pedig 1,2-szer gyorsabb sódiffúziót jelent. Ugyanakkor látható, hogy a nyomáskezelés nélküli pácoláshoz képest ($D_S = 1,07 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$) a páclében nyomáskezelések esetében a só diffúziója kb. 50-60%-kal csökkent. Hasonló reláció látható a 10 m/m%-os páclében nyomáskezelésnél. Ebben az esetben is a páclében 100 MPa-on nyomáskezelte hús mutatta a legnagyobb só diffúziós tényező értéket ($D_S = 1,08 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$), ami a 200 és 300 MPa kezelésekhöz képest 2,3-szer, illetve 1,6-szor gyorsabb sódiffúziót jelent. Azonban az is látható, hogy a páclében nyomáskezelte húsok só diffúziós tényezői kb. 50-80%-kal kisebb értékeket mutatnak, mint a nyomáskezelés nélküli pácolás esetén ($D_S = 2,12 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$).

A hús nyomáskezelését követően végzett pácolások során számított só diffúziós tényező értékeket a 6. táblázat tartalmazza. A 100 MPa nyomáskezelést követően végzett 5 m/m%-os páclében pácolás során $D_S = 1,88 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ érték látható. Ez az érték a 200 MPa kezeléshez képest 3,3-szor, a 300 MPa-hoz képest pedig 6,0-szor nagyobb bizonyult, ami így a só gyorsabb diffúzióját jelent. A 100 MPa kezelés majd 5 m/m%-os páclében pácolás nemcsak a 200 és 300 MPa kezelésekhöz és pácolásokhoz képest, hanem a nyomáskezelés nélkül végzett pácoláshoz ($D_S = 1,07 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$) képest is nagyobb bizonyult, ami kb. 1,7-szer gyorsabb sódiffúziót jelent. A hús nyomáskezelését követően 10 m/m% sókoncentrációjú páclében végzett pácolások során a diffúziós tényezők értékei között hasonló reláció látható, mint az előzőekben részletezett 5 m/m% páclé esetében. Itt a 100 MPa-on kezelt majd 10 m/m%-os páclében pácolt hús ($D_S = 3,0 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$) a

200 MPa-hoz képest 6,1-szer, a 300 MPa kezeléshez képest pedig 7,3-szor gyorsabb só diffúziót mutatott. A nyomáskezelés nélküli hús pácolásához képest ($D_s=2,12 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$) pedig 1,4-szer bizonyult gyorsabbnak a só diffúziója. A nyomáskezelés és pácolás műveletek sorrendjét tekintve az eredmények azt mutatják, hogy a hús nyomáskezelése majd ezt követően végzett pácolása gyorsabb sódiffúziót eredményez, mint a pácolás közben végzett nyomáskezelés.

5. táblázat: 5 m/m% és 10 m/m% sókoncentrációjú páclében nyomáskezelt sertéskaraj húshengerek számított só diffúziós együttható (D_s) értékei és a modellek illeszkedésének szorosságát mutató négyzetes eltérések összegeinek gyökei (RMSE) és a determinációs együttható (R^2) értékei

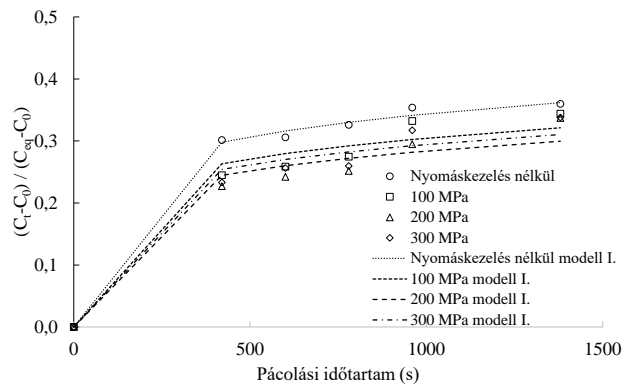
5 m/m% páclé	$D_s \times 10^{-9} \text{ (m}^2/\text{s)}$			Root mean square error, RMSE			R^2		
	modell 1.	modell 2.	modell 3.	modell 1.	modell 2.	modell 3.	modell 1.	modell 2.	modell 3.
Nyomáskezelés nélkül	1,07	2,43	2,06	0,007	0,035	0,040	0,9968	0,9312	0,9174
100 MPa	0,51	2,20	1,97	0,020	0,027	0,034	0,9668	0,9540	0,9364
200 MPa	0,34	1,90	1,71	0,021	0,023	0,028	0,9600	0,9608	0,9470
300 MPa	0,42	2,08	1,87	0,020	0,027	0,033	0,9644	0,9519	0,9345

10 m/m% páclé	$D_s \times 10^{-9} \text{ (m}^2/\text{s)}$			Root mean square error, RMSE			R^2		
	modell 1.	modell 2.	modell 3.	modell 1.	modell 2.	modell 3.	modell 1.	modell 2.	modell 3.
Nyomáskezelés nélkül	2,12	3,12	2,59	0,013	0,028	0,034	0,9912	0,9636	0,9505
100 MPa	1,08	2,93	2,57	0,027	0,027	0,036	0,9547	0,9637	0,9447
200 MPa	0,47	2,09	1,87	0,035	0,023	0,027	0,9068	0,9638	0,9569
300 MPa	0,67	2,19	1,96	0,037	0,014	0,016	0,9063	0,9872	0,9848

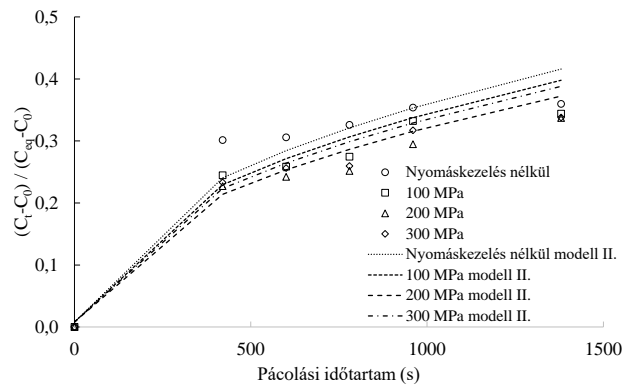
6. táblázat: A nyomáskezelést követően 5 m/m% illetve 10 m/m% sókoncentrációjú páclében pácolt sertéskaraj húshengerek számított só diffúziós együttható (D_s) értékei és a modellek illeszkedésének szorosságát mutató négyzetes eltérések összegének gyökei (RMSE) és a determinációs együttható (R^2) értékei

5 m/m% páclé	$D_s \times 10^{-9} \text{ (m}^2/\text{s)}$			Root mean square error, RMSE			R^2		
	modell 1.	modell 2.	modell 3.	modell 1.	modell 2.	modell 3.	modell 1.	modell 2.	modell 3.
Nyomáskezelés nélkül	1,07	2,43	2,06	0,007	0,035	0,040	0,9968	0,9312	0,9174
100 MPa	1,88	3,58	3,09	0,020	0,036	0,046	0,9797	0,9495	0,9243
200 MPa	0,56	2,16	1,93	0,020	0,020	0,026	0,9704	0,9736	0,9589
300 MPa	0,31	1,78	1,61	0,021	0,018	0,023	0,9594	0,9749	0,9623

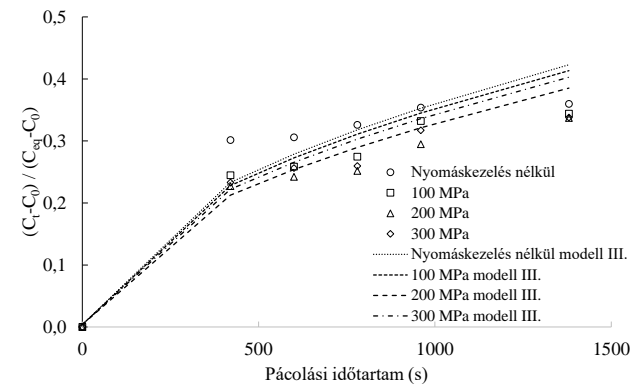
10 m/m% páclé	$D_s \times 10^{-9} \text{ (m}^2/\text{s)}$			Root mean square error, RMSE			R^2		
	modell 1.	modell 2.	modell 3.	modell 1.	modell 2.	modell 3.	modell 1.	modell 2.	modell 3.
Nyomáskezelés nélkül	2,12	3,12	2,59	0,013	0,028	0,034	0,9912	0,9636	0,9505
100 MPa	3,00	4,28	3,65	0,023	0,036	0,049	0,9754	0,9550	0,9270
200 MPa	0,49	1,95	1,75	0,026	0,010	0,015	0,9475	0,9927	0,9853
300 MPa	0,41	2,07	1,86	0,015	0,027	0,034	0,9808	0,9516	0,9326



a)



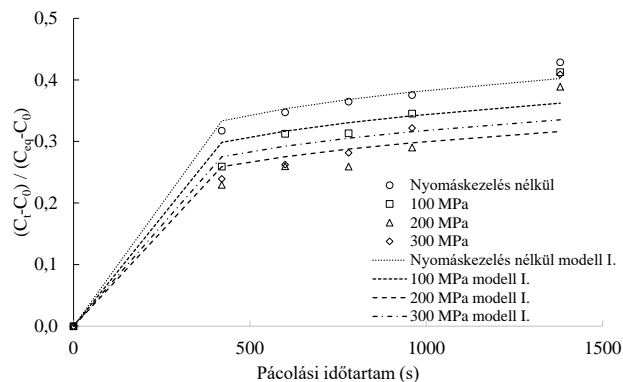
b)



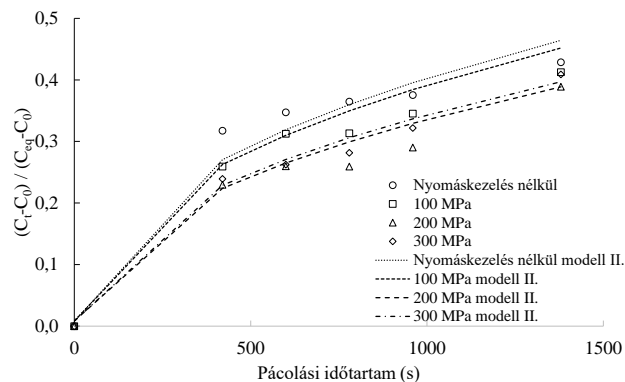
c)

32. ábra: Az 5 m/m% sókoncentrációjú páclében nyomáskezelt sertéskaraj húsminták relatív sómennyiség $(C_t - C_0) / (C_{eq} - C_0)$ változásaira illesztett diffúziós modellek.

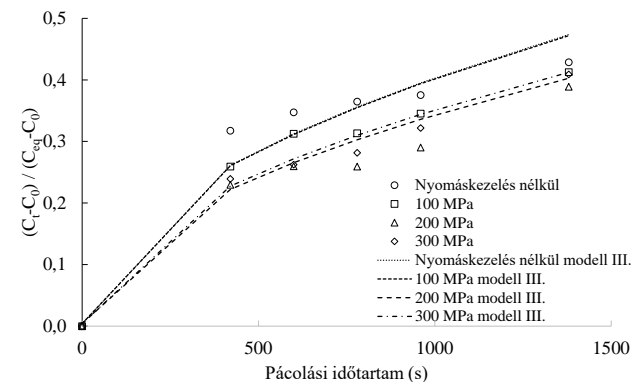
a) modell I., b) modell II., c) modell III.



a)



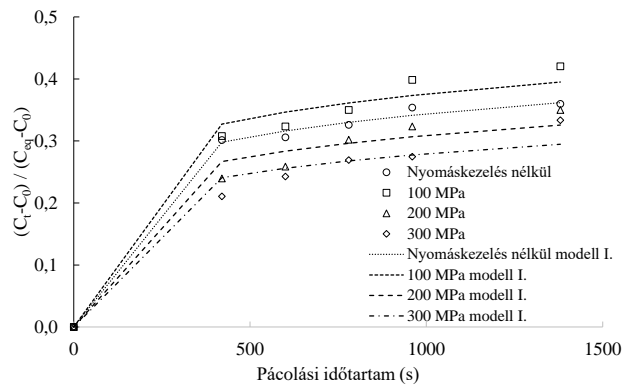
b)



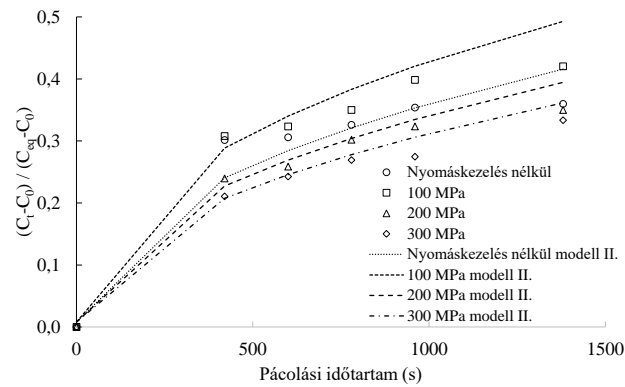
c)

33. ábra: A 10 m/m% sókoncentrációjú páclében nyomáskezelt sertéskaraj húsminták relatív sómennyiség $(C_t - C_0) / (C_{eq} - C_0)$ változásaira illesztett diffúziós modellek.

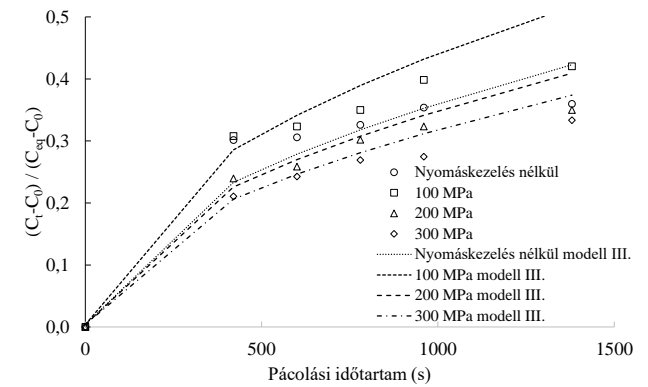
a) modell I., b) modell II., c) modell III.



a)



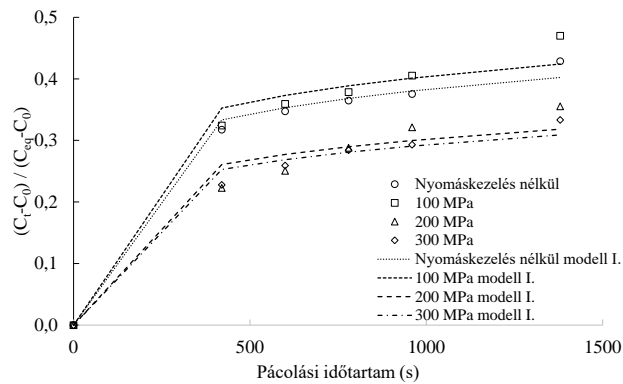
b)



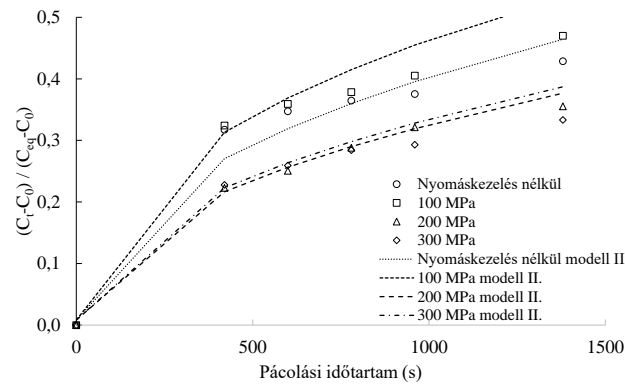
c)

34. ábra: A nyomáskezeléseket követően 5 m/m% sókoncentrációjú páclében pácolt sertéskaraj húsminták relatív sómennyiség $(C_r - C_0) / (C_{eq} - C_0)$ változásaira illesztett diffúziós modellek.

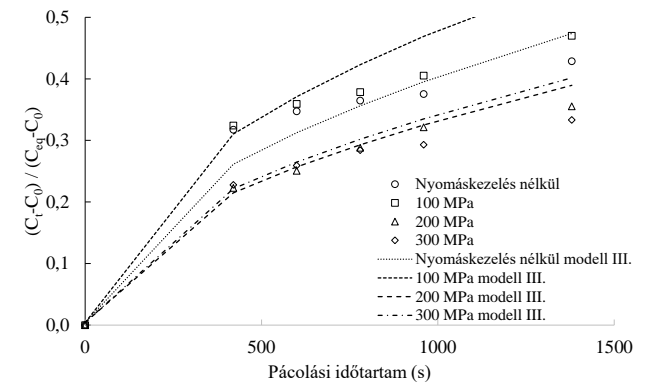
a) modell I., b) modell II., c) modell III.



a)



b)



c)

35. ábra: A nyomáskezeléseket követően 10 m/m% sókoncentrációjú páclében pácolt sertéskaraj húsminták relatív sómennyiség $(C_r - C_0) / (C_{eq} - C_0)$ változásaira illesztett diffúziós modellek.

a) modell I., b) modell II., c) modell III.

4.3.2. A víz diffúziós tényezők (D_V) meghatározása

A pácolás során a só diffúziójával egy időben a víz diffúziója is végbemegy (lásd 2.3.2 fejezet), így a pácolás során végbemenő transzportfolyamat ezzel együtt jellemezhető teljességében. A pácolt termékek gyártástechnológiájában a só mellett a víz diffúziója is lényeges különösen akkor, ha hőkezelt (főtt), pácolt termék előállítására a cél. A víz diffúziójának vizsgálatához természetesen ugyanazokat a Fick II. törvényéből származtatott modelleket használtam, amelyeket a sódiffúzió vizsgálatához. Ezek esetében a modelleket a húsok pácolása során mért relatív nedvességtartalom $(X_t - X_0) / (X_{eq} - X_0)$ változásokra illesztettem (36. ábra-39. ábra). Mindhárom modell esetében szoros illeszkedés látható a mért értékek és a modellek által előre jelzett értékek között (7. táblázat és 8. táblázat). A kapcsolatok erősségét jelző determinációs együttható alapján a víz diffúzió számításánál – a sóhoz hasonlóan – az 1. modell mutatta a legerősebb kapcsolatot ($R^2 = 0,9002 - 0,9951$) és legszorosabb illeszkedést ($RMSE = 0,020 - 0,105$). Így a víz diffúziós tényezőjének (D_V) megállapítására és értékelésére az ebből számolt értékeket használom fel. A D_V értékeket minden esetben $10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$ nagyságrendben tüntettem fel a könnyebb összehasonlítás érdekében.

Az 5 m/m% sókoncentrációjú páclében történő nyomáskezeléseknél (7. táblázat) a 100 MPa nyomás esetében kb. 1,5-szer gyorsabb víz diffúzió látható ($D_V = 0,88 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$), mint a 200 MPa ($D_V = 0,57 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$) és 300 MPa ($D_V = 0,59 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$) kezeléseknél. A nyomáskezelés nélküli pácoláshoz képest ($D_V = 1,11 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$) azonban a páclében nyomáskezelt húsok víz diffúziós tényezői 20-50%-kal kisebbnek bizonyultak. Hasonló reláció és különbség látható a 10 m/m% sókoncentrációjú páclében végzett nyomáskezeléseknél.

A hús 100 MPa nyomáskezelését követően végzett 5 m/m% sókoncentrációjú páclében pácolás ($D_V = 2,13 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$) esetében a 200 MPa-os kezeléshez képest 2,9-szer, a 300 MPa kezeléshez képest pedig 3,5-szer gyorsabb víz diffúzió látható (8. táblázat). A hús 5 m/m%-os páclében pácolását megelőzően végzett 100 MPa-os kezelés a nyomáskezelés nélkül végzett pácoláshoz ($D_V = 1,11 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$) képest is 1,9-szer gyorsabb víz diffúziós tényezőt eredményezett. A nyomáskezelést követően 10 m/m% sókoncentrációjú páclében végzett pácolások során a víz diffúziós tényezők értékei között hasonló reláció látható, mint az 5 m/m%-os páclé esetében. Itt a 100 MPa-on nyomáskezelt majd ezt követően pácolt hús ($D_V = 2,69 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$) a 200 MPa-hoz képest 3,2-szer, a 300 MPa kezeléshez képest pedig 3,9-szer gyorsabb víz diffúziót mutatott. A nyomáskezelés nélküli hús pácolásához képest ($D_V = 1,57 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$) pedig 1,7-szer bizonyult gyorsabbnak a víz diffúziója. A só diffúziójánál tapasztaltakhoz hasonlóan a víz diffúziója esetén is az látható, hogy a hús pácolását megelőző nyomáskezelés gyorsabb víz diffúziót eredményez, mint a pácolás közben végzett nyomáskezelés.

7. táblázat: 5 m/m% és 10 m/m% sókoncentrációjú páclében nyomáskezelt sertéskaraj húsminták számított víz diffúziós együttható (D_v) értékei és a modellek illeszkedésének szorosságát mutató négyzetes eltérések összegeinek gyökei (RMSE) és a determinációs együttható (R^2) értékei

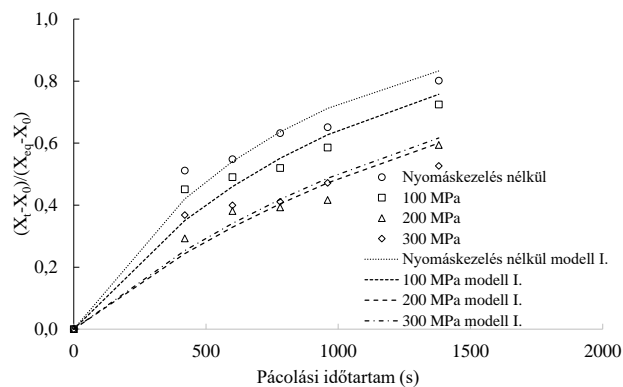
5 m/m% páclé	$D_v \times 10^{-8}$ (m ² /s)			Root mean square error, RMSE			R^2		
	modell 1.	modell 2.	modell 3.	modell 1.	modell 2.	modell 3.	modell 1.	modell 2.	modell 3.
Nyomáskezelés nélkül	1,11	1,14	0,82	0,047	0,021	0,025	0,9704	0,9929	0,9905
100 MPa	0,88	0,83	0,62	0,050	0,023	0,025	0,9591	0,9890	0,9880
200 MPa	0,57	0,43	0,35	0,037	0,033	0,028	0,9626	0,9629	0,9740
300 MPa	0,59	0,46	0,37	0,065	0,023	0,030	0,9002	0,9827	0,9717

10 m/m% páclé	$D_v \times 10^{-8}$ (m ² /s)			Root mean square error, RMSE			R^2		
	modell 1.	modell 2.	modell 3.	modell 1.	modell 2.	modell 3.	modell 1.	modell 2.	modell 3.
Nyomáskezelés nélkül	1,57	1,87	1,27	0,043	0,072	0,060	0,9799	0,9427	0,9601
100 MPa	1,11	1,19	0,85	0,060	0,097	0,084	0,9514	0,8697	0,9034
200 MPa	0,71	0,61	0,48	0,027	0,036	0,027	0,9852	0,9671	0,9825
300 MPa	0,83	0,74	0,58	0,031	0,041	0,032	0,9823	0,9646	0,9798

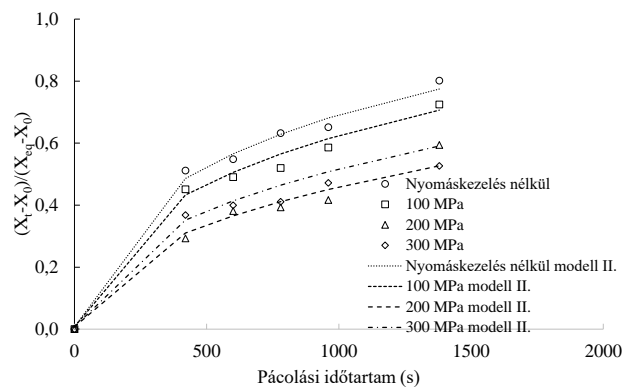
8. táblázat: A nyomáskezelést követően 5 m/m% és 10 m/m% sókoncentrációjú páclében pácolt sertéskaraj húsminták számított víz diffúziós együttható (D_v) értékei és a modellek illeszkedésének szorosságát mutató négyzetes eltérések összegének gyökei (RMSE) és a determinációs együttható (R^2) értékei

5 m/m% páclé	$D_v \times 10^{-8}$ (m ² /s)			Root mean square error, RMSE			R^2		
	modell 1.	modell 2.	modell 3.	modell 1.	modell 2.	modell 3.	modell 1.	modell 2.	modell 3.
Nyomáskezelés nélkül	1,11	1,14	0,82	0,047	0,021	0,025	0,9704	0,9929	0,9905
100 MPa	2,13	2,71	1,78	0,074	0,079	0,076	0,9507	0,9419	0,9470
200 MPa	0,73	0,63	0,49	0,020	0,050	0,041	0,9921	0,9385	0,9617
300 MPa	0,60	0,47	0,38	0,044	0,040	0,036	0,9521	0,9512	0,9622

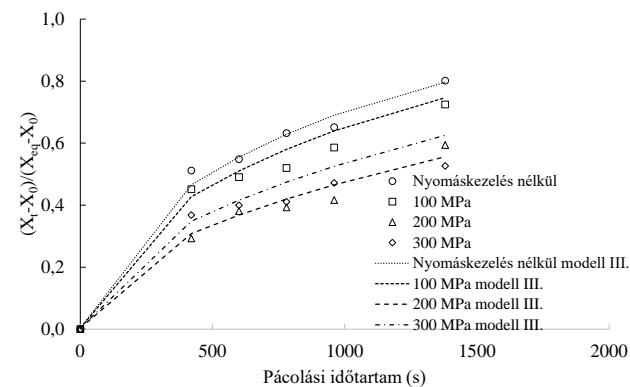
10 m/m% páclé	$D_v \times 10^{-8}$ (m ² /s)			Root mean square error, RMSE			R^2		
	modell 1.	modell 2.	modell 3.	modell 1.	modell 2.	modell 3.	modell 1.	modell 2.	modell 3.
Nyomáskezelés nélkül	1,57	1,87	1,27	0,043	0,072	0,060	0,9799	0,9427	0,9601
100 MPa	2,69	3,63	2,32	0,105	0,109	0,107	0,9132	0,9053	0,9093
200 MPa	0,83	0,78	0,59	0,023	0,057	0,046	0,9904	0,9338	0,9586
300 MPa	0,69	0,58	0,45	0,046	0,044	0,039	0,9551	0,9493	0,9612



a)



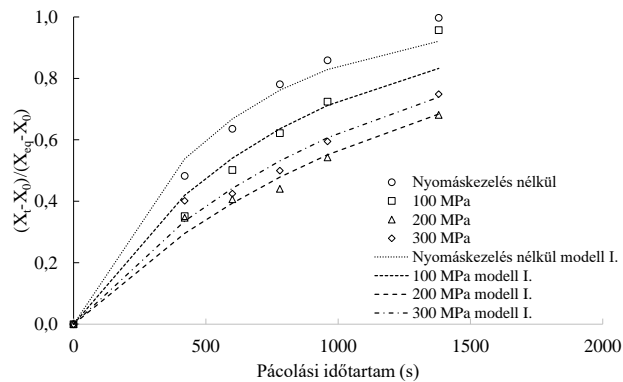
b)



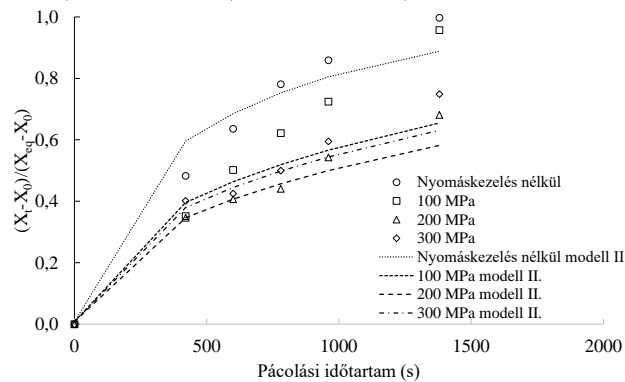
c)

36. ábra: Az 5 m/m% sókoncentrációjú páclében nyomáskezelt sertéskaraj húsminták relatív nedvességtartalmának $(X_t - X_0)/(X_{eq} - X_0)$ változására illesztett diffúziós modellek.

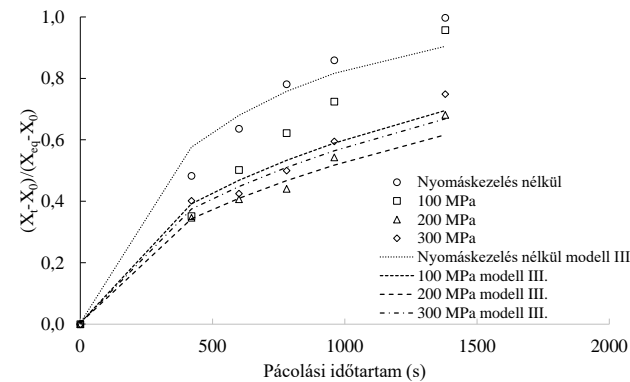
a) modell I., b) modell II., c) modell III.



a)



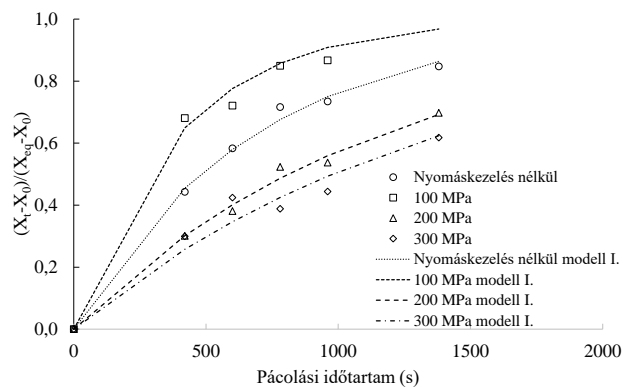
b)



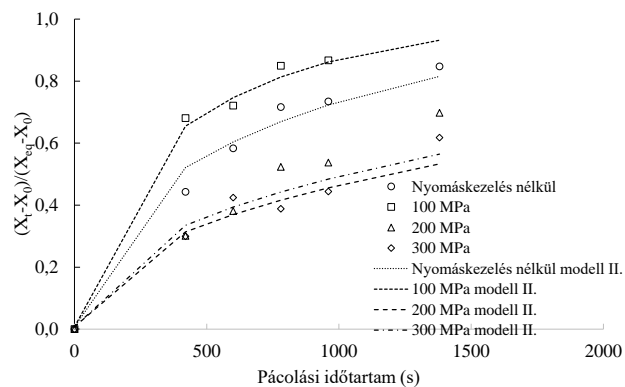
c)

37. ábra: A 10 m/m% sókoncentrációjú páclében nyomáskezelt sertéskaraj húsminták relatív nedvességtartalmának $(X_t - X_0)/(X_{eq} - X_0)$ változására illesztett diffúziós modellek.

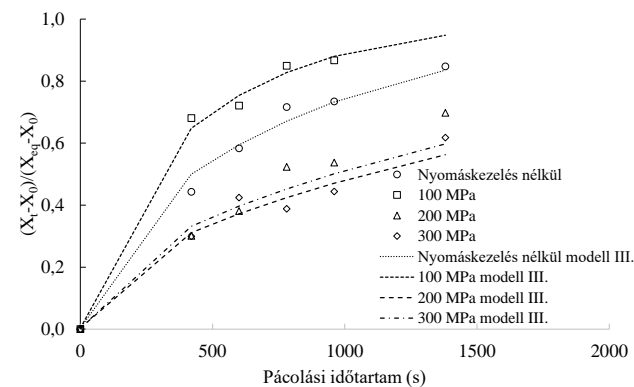
a) modell I., b) modell II., c) modell III.



a)



b)

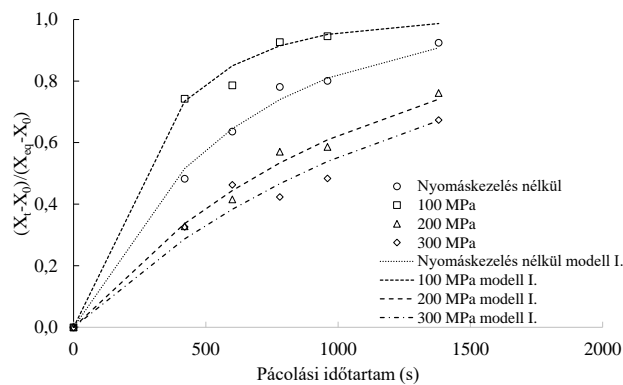


c)

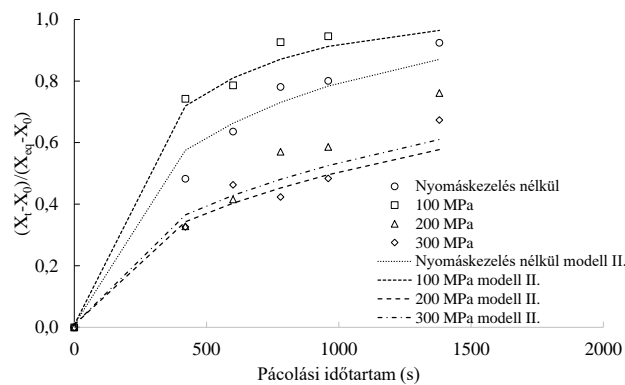
38. ábra: A nyomáskezeléseket követően 5 m/m% sókoncentrációjú páclében pácolt sertéskaraj húsminták relatív nedvességtartalmának

$(X_t - X_0)/(X_{eq} - X_0)$ változására illesztett diffúziós modellek.

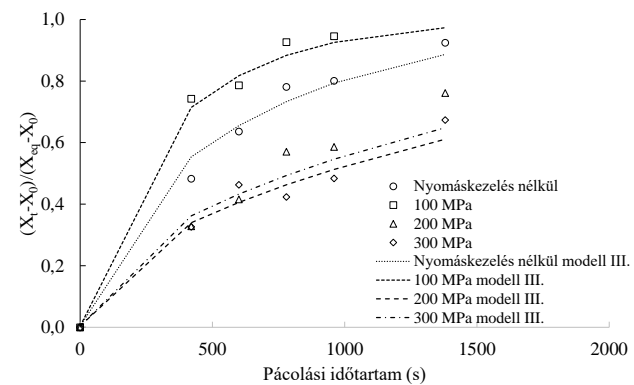
a) modell I., b) modell II., c) modell III.



a)



b)



c)

39. ábra: A nyomáskezeléseket követően 10 m/m% sókoncentrációjú páclében pácolt sertéskaraj húsminták relatív nedvességtartalmának

$(X_t - X_0)/(X_{eq} - X_0)$ változására illesztett diffúziós modellek.

a) modell I., b) modell II., c) modell III.

4.3.3. A só (D_s) és víz diffúziós (D_v) tényezők eredményeinek összegzése

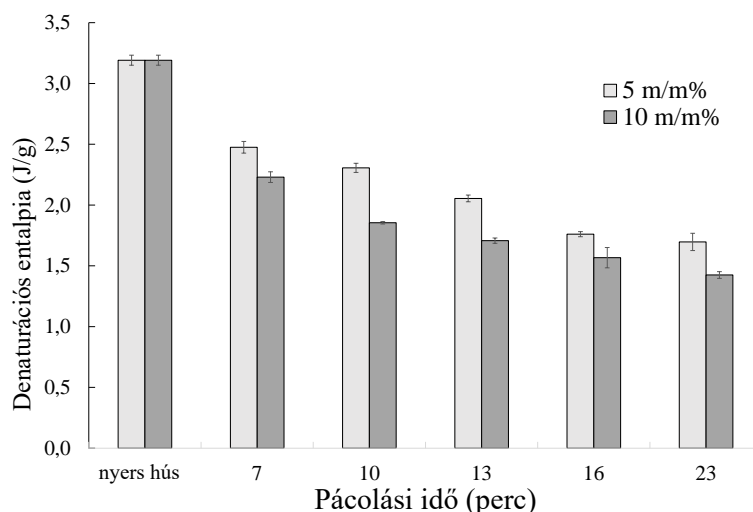
A diffúziós tényezők meghatározására használt matematikai modellek közül az 1. modell (Mariuscella et al., 2017) diffúziós eredményeit használtam fel az értékelés során, mivel ez mutatta a legszorosabb kapcsolatot a mért értékekkel. A diffúziós modell lehetővé teszi, hogy előre jelezzük a hús só vagy víztartalmának alakulását és a pácolás időtartamának meghatározását. Érdekes megjegyezni, hogy a másik két vizsgált modell is alkalmas a diffúzió leírására, ezek is jó illeszkedést mutattak a mért értékekre. A só diffúziós tényezői jellemzően a 10^{-9} m²/s, míg a vízé 10^{-8} m²/s nagyságrendbe estek. A só és víz diffúziója közötti különbség részben a molekulatömegük közötti különbségnek, részben pedig a víz immobilis-mobilis formájának tulajdonítható. A számított só és víz diffúziós tényezők alapján az látható, hogy a hús pácolását megelőzően végzett 100 MPa nyomáskezelés gyorsítja a diffúziós folyamatokat: a hús nyomáskezelése nélkül végzett pácoláshoz képest 1,4-1,7-szer gyorsabb sódiffúzió és 1,7-1,9-szer gyorsabb vízdifúzió látható, páclé sókoncentrációtól függően. A pácolást megelőző 100 MPa nyomáskezelés azonban nemcsak a nyomáskezelés nélküli, hanem a 200 MPa és 300 MPa kezelésekhöz képest is gyorsabb só és víz diffúziót eredményezett. Azonban a páclében történő nyomáskezelések esetén a diffúziós folyamatok lassabbnak, bizonyos esetekben 50-60%-kal lassabbnak bizonyultak a nyomáskezelés nélkül végzett pácoláshoz képest. Hús pácolás során a nyomáskezelés anyagtranszportra kifejtett hatását Villacís et al. (2008) vizsgálta. Kísérletükben 20x20x20 mm méretűre vágott pulyamelleket nyomáskezeltek 50-300 MPa tartományban, szobahőmérsékleten, 15 percig, 5 m/m% sókoncentrációjú páclében. Számításaik azt mutatták, hogy 50-150 MPa tartományban a só diffúziós tényezője 7-10-szeresére növekszik a nyomáskezelés nélküli pácoláshoz képest. Kísérletemben hasonló tendencia látszódtott abban az esetben, amikor a húst először nyomáskezelttem, majd ezt követően pácoltam. A pácolás közben végzett nyomáskezelésnél kapott sódiffúziós eredményeim azonban nem támasztják alá Villacís et al. (2008) eredményeit. A nyomáskezelés esetükben is növelte a víz diffúzióját, a kezelés nélküli pácoláshoz képest 10-, illetve 100-szorosára. Ennek a nagymértékű növekedésnek magyarázata lehet, hogy kísérleti alapanyaguk fagyasztott pulykamell volt, amit felengedtetés után készítettek elő. A fagyasztás-felengedtetés az izomsejteket borító membránok átteresztő képességének megváltozása miatt jelentős befolyással lehetett a só és víz diffúziójára. A mintaelőkészítés során kéregfagyasztást alkalmaztam a húshengerek készítéséhez, azonban a fagyott részeket nem használtam fel. Eredményeimmel hasonló megfigyelést tett Sopianangkul et al. (2002) is, aki ugyan nem hús, hanem burgonya esetében tapasztalta a szacharóz diffúziójának növekedését nyomáskezelés hatására. Kísérletükben a diffúziós tényező értéke a nyomással együtt növekvő tendenciát mutatott és a maximális értéket 400 MPa-nál találták. Ezen a nyomáson a szacharóz diffúziós tényezője 8-szorosa volt a nyomáskezelés nélküli burgonyáénak.

4.4. A húsfehérjék állapotának és mikrostruktúrájának vizsgálati eredményei

4.4.1. Húsfehérjék állapotának kalorimetriás vizsgálata nyomáskezelés nélküli pácolás során

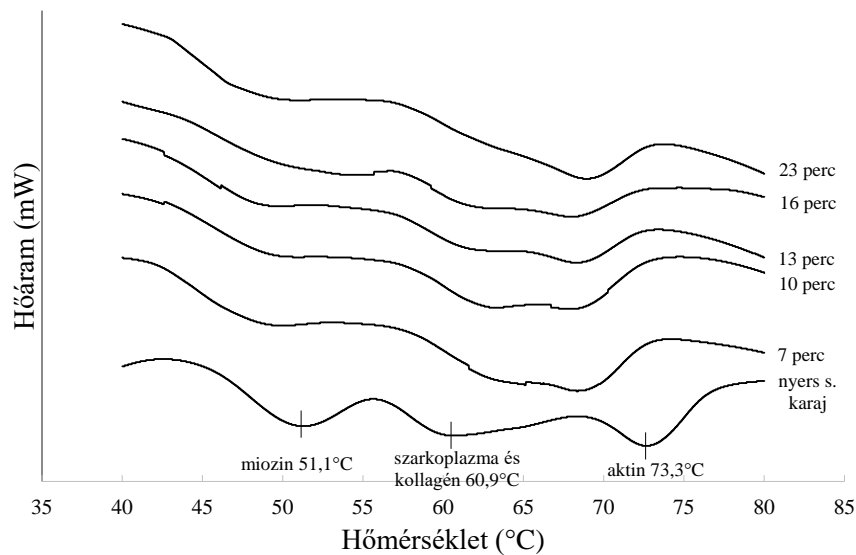
A húsfehérjék állapotváltozásának kalorimetriás vizsgálata során első lépésként azt vizsgáltam, hogy a nyomáskezelés nélkül, normál körülmények között végzett pácolás milyen hatással van a fehérjék állapotára. A mérések során felvett hőáramgörbéket felhasználva a fehérjék állapotát a fehérjefrakciók csúcshőmérséklete és a denaturációjukhoz szükséges hőmennyiség (entalpia, J/g) alapján értékelem. Utóbbi a csúcsok alatti területből határozható meg integrálással, amit 40-80°C hőmérséklettartományban végeztem. A sertéshús tipikus hőáramgömbéjén három fő endoterm csúcs rajzolódik ki, kb. 59°C, 67°C és 80°C-nál, amik a miozinnak, a szarkoplazma fehérjéknek és a kollagének, valamint az aktinnak feleltethetők meg (Speroni et al., 2014). A kísérletemben használt nyers sertéskaraj hőáramgömbéjén a három fő fehérjecsoport denaturációs csúcsának hőmérséklete kisebbnek adódott, a miozin csúcsa 51,1°C-nál, a szarkoplazma fehérjéké és kollagéne 60,9°C-nál, az aktiné pedig 73,3°C-nál látható (41. ábra). Sertéskarajnál hasonló denaturációs hőmérsékleteket talált Csehi (2019) és Kenesei (2018) is. A csúcshőmérsékletek eltolódásának oka lehet, hogy a fehérjefrakciók többféle termális átmenetet mutatnak. A miozin esetében először 45-54°C között történik átalakulás, ami a miozin feji végének denaturációját jelenti. A miozin fibriláris részének denaturációja 54-65°C között megy végbe. A szarkoplazma fehérjék esetében 54-62°C és 68-70°C közötti tartományban figyeltek meg denaturációt, míg az aktinnál 75-80°C tartományban (Lőrinczy and Belagyi, 1995; Pighin and Gonzalez, 2008; Sikes et al., 2009; Stabursvik and Martens, 1980).

Az 5 m/m% és 10 m/m% sókoncentrációjú páclében pácolt sertéskaraj minták denaturációs entalpia értékeinek alakulását mutatja a 40. ábra a pácolási idő függvényében. A pácolások során a 10 m/m%-os páclében pácolt sertéskaraj mintáknál rendre szignifikánsan kisebb entalpia értékek mutatkoznak, mint az 5 m/m%-os páclében pácolt mintáknál ($p < 0,05$). Ez azt jelzi, hogy a 10 m/m%-os páclében pácolt húsmintákban a fehérjék egy része denaturálódott. Arról, hogy mely fehérjék állapotában következett be változás a pácolások során a 41. ábra és 42. ábra hőáramgömbéi adnak felvilágosítást.

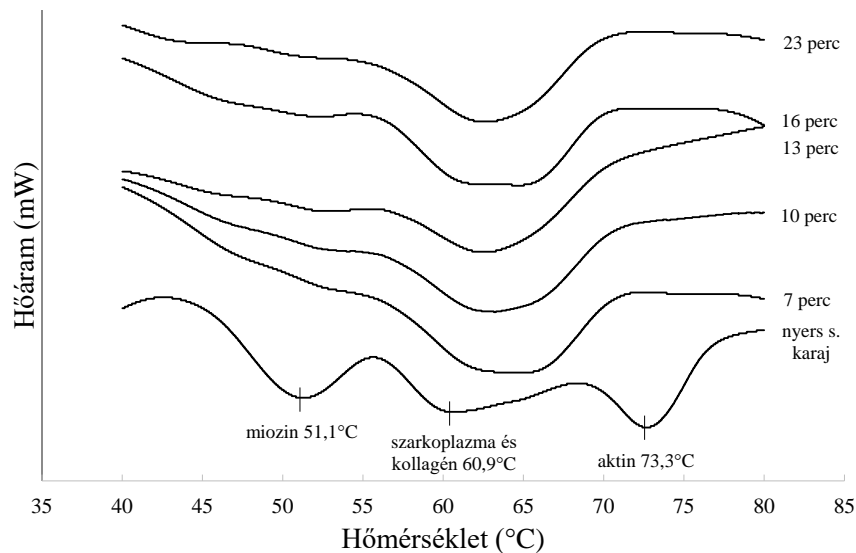


40. ábra: Az 5 m/m% és 10 m/m% sókoncentrációjú páclében, nyomáskezelés nélkül pácolt sertéskaraj denaturációs entalpia átlagértékeinek alakulása a pácolási idő függvényében.

Az 5 m/m%-os páclében pácolásnál látható (41. ábra), hogy a nyers húshoz képest a miozin és az aktin csúcshőmérsékletei már a 7 percig tartó pácolás hatására is csökkentek. Előbbi csúcshőmérséklete 48°C-ra csökkent, míg az aktin csúcsa „összeolvadt” a szarkoplazma fehérjék és kollagén csúcsával. Hasonló eredményről számolt be Kajitani et al. (2011), akik sertés hátszín pácolása során a páclé sókoncentrációjának növelésével az aktin csúcshőmérsékletének csökkenését, valamint a szarkoplazma fehérjék és a kollagén csúcsának aktin felé közeledését tapasztalták. A 10 m/m% sókoncentrációjú páclében pácolás esetén (42. ábra) az aktinnál hasonló csúcs eltolódás és „összeolvadás” látható, mint az 5 m/m%-os páclében pácolásnál. A miozin csúcsa azonban már 7 perc pácolást követően nem azonosítható, ami a miozin denaturációjára utal. Ez a fehérjék oldhatóságának ionkoncentrációval való összefüggésével magyarázható. A pácolás során a húsba bejutó só disszociált ionjai megkötik a szabad vízmolekulákat, hidrátburkot alakítanak ki maguk körül. Ahogy a pácolás során egyre több só jut a húsba a szabad vízmolekulák mennyisége is egyre csökken, majd egy szint után már a fehérjéket körülvevő hidrátburok is a sóionok vonzása alá kerül. Ez azt jelenti, hogy a húsfhérjék körül elvékonyodik az a hidrátburok, ami oldatban tartja őket. A hidrátburok elvékonyodásának hatására a fehérjék közötti kölcsönhatások felerősödnek. Ennek eredményeként a húsfhérjék elvesztik eredeti szerkezetüket, denaturálódnak. Ez az ún. kiszózás („salting-out”) jelensége (Gou et al., 2003). Kb. 2,5 m/m% az a sókoncentráció, aminél már a miozin denaturációjára lehet számítani (Kajitani et al., 2011). A 10 m/m%-os páclében végzett kísérletem során a pácolás 7. percében a húsminta abszolút sótartalma 2,1 m/m% volt, vagyis kissé alacsonyabb sótartalomnál tapasztaltam a miozin denaturációját, mint az említett szerzők.



41. ábra: Az 5 m/m% sókoncentrációjú páclében, nyomáskezelés nélkül pácolt sertéskaraj húsminták hőáramgörbéi a pácolás során



42. ábra: A 10 m/m% sókoncentrációjú páclében, nyomáskezelés nélkül pácolt sertéskaraj húsminták hőáramgörbéi a pácolás során

4.4.2. Húsfehérjék állapotának kalorimetriás vizsgálata a nyomáskezelés és pácolás kombinált alkalmazása során

A páclében nyomáskezelt húsok, valamint a húsok nyomáskezelését követően végzett pácolások során felvett hőáramgörbék alapján meghatározott denaturációs entalpia és csúcshőmérséklet értékeket a 9. táblázat foglalja össze. A nyers húshoz képest mind a páclében nyomáskezelt, mind a nyomáskezelést követően pácolt húsok szignifikánsan kisebb denaturációs entalpia értéket mutattak ($p < 0,05$). A kétféle nyomáskezelés-pácolás műveleti sorrend kombináció között azonban nem jelentkezett szignifikáns különbség az entalpiaértékekben, vagyis a művelet sorrendjének nincs

szignifikáns hatása a húsfehérjék denaturációjára. A nyomáskezelt húsok esetében jóval kisebb entalpiaértékek adódtak, mint a nyers húsnál, a statisztika eredmény alapján a különbség szignifikánsnak is bizonyult ($p < 0,001$). Ez azt jelzi, hogy már a 100 MPa-on végzett nyomáskezelés is jelentős hatással van a húsfehérjék szerkezetének megváltozására. A nyomásérték növekedésével az entalpia értékek szignifikánsan csökkenő tendenciát mutattak, ami jelzi a nyomáskezelés fehérje denaturáló hatását. A nyomásértékek növekedésével (100, 200, 300 MPa) a fehérjefrakciók denaturációs csúcshőmérséklet értékei csökkenő tendenciát mutattak. Pl. nyers sertéskarajban a miozin csúcsa 51,1°C-nál található, ami a 100 MPa-on végzett kezelés során 47,4 - 49,8°C tartományba csökkent, 200 és 300 MPa nyomás alkalmazása esetén pedig eltűnt, nem volt detektálható. Marhahússal végzett nyomáskezelési kísérletében (0,1-800 MPa) Ma és Ledward (2004) is a miozin csúcsának eltűnéséről számolt be 200 MPa feletti nyomásokon, amit a miozin szerkezetének megváltozásával, denaturációjával magyaráznak. Csökkenés látható az aktin csúcshőmérsékleténél is, amelynek csúcsa „összeolvadt” a szarkoplazmafehérjék és kollagén frakciók csúcsával. Hasonlót tapasztaltam a nyomáskezelés nélkül végzett hús pácolása során (4.4.1 fejezet), de hasonló eredményről számolt be Csehi (2019) is sertéskaraj 100-600 MPa tartományban végzett nyomáskezelése során. A 10 m/m% páclé sókoncentrációjú páclében pácolt húsminták denaturációs entalpiája és miozin csúcshőmérséklete is kisebb értékét mutatott, mint az 5 m/m%-os páclében pácolt húsmintáké, ami a nyomáskezelés mellett a páclében használt sómennyiség fehérjedenaturáló hatását is jelzi.

9. táblázat: Sertéskaraj húsminták fehérjefrakcióinak denaturációs csúcshőmérsékletei és denaturációs entalpia értékei (átlag \pm szórás) a különböző nyomáskezelési-pácolási műveletekben

Műveleti sorrend	Páclé sókoncentráció	Nyomás	Denaturációs csúcshőmérséklet (°C)			Denaturációs entalpia (J/g)
			Miozin	Szarkoplazma fehérjék és kollagén	Aktin	
Nyers sertéskaraj	-	-	51,1 \pm 0,2	60,9 \pm 0,4	73,3 \pm 0,2	3,191 \pm 0,041
Páclében nyomáskezelés	5 m/m%	100 MPa	49,7 \pm 0,4	61,7 \pm 0,2	69,0 \pm 0,4	1,983 \pm 0,710
Páclében nyomáskezelés	5 m/m%	200 MPa	48,8 \pm 0,3	61,1 \pm 0,3	68,6 \pm 0,4	1,789 \pm 0,752
Páclében nyomáskezelés	5 m/m%	300 MPa	-	61,4 \pm 0,6	-	0,976 \pm 0,632
Nyomáskezelést követő pácolás	5 m/m%	100 MPa	49,8 \pm 0,2	60,4 \pm 0,3	68,1 \pm 0,5	2,143 \pm 0,955
Nyomáskezelést követő pácolás	5 m/m%	200 MPa	-	60,6 \pm 0,4	-	1,679 \pm 0,571
Nyomáskezelést követő pácolás	5 m/m%	300 MPa	-	61,1 \pm 0,2	-	1,309 \pm 0,589
Páclében nyomáskezelés	10 m/m%	100 MPa	47,7 \pm 0,1	63,8 \pm 0,3	-	1,735 \pm 0,556
Páclében nyomáskezelés	10 m/m%	200 MPa	-	62,9 \pm 0,2	-	1,758 \pm 0,410
Páclében nyomáskezelés	10 m/m%	300 MPa	-	61,7 \pm 0,2	-	0,922 \pm 0,553
Nyomáskezelést követő pácolás	10 m/m%	100 MPa	47,4 \pm 0,4	65,0 \pm 0,3	-	1,972 \pm 0,591
Nyomáskezelést követő pácolás	10 m/m%	200 MPa	-	62,7 \pm 0,1	-	1,353 \pm 0,438
Nyomáskezelést követő pácolás	10 m/m%	300 MPa	-	62,5 \pm 0,3	-	1,270 \pm 0,344

Az eredmények alapján a húsfehérjék állapotára a páclé sókoncentrációja és a nyomáskezelés is hatással van. Utóbbi hatása szignifikánsnak is bizonyult ($p < 0,001$). Ezek hatására a fehérjék denaturálódnak, szerkezetük megváltozik, ami egy könnyebben hozzáférhető és emészthető tápanyagot szolgáltat.

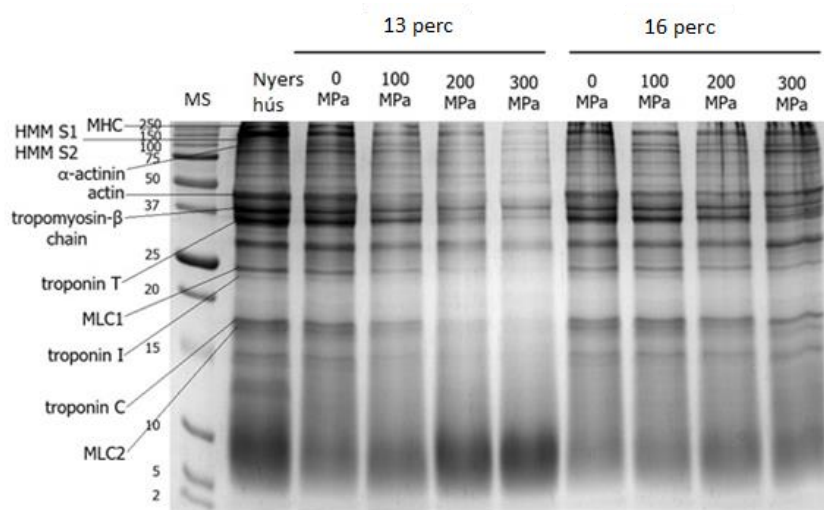
4.4.3. Húsfehérjék *in vitro* emészthetősége

A pácolt hústermékek, főként a szárazsonkafélék gyártása és fogyasztása szempontjából az emészthetőség vizsgálatának nagy szerepe van, mivel ezek nyers termékek, amelyek emészthetőségét a pácolás során bejutott só és az érlelésük során lezajló proteolitikus folyamatok alakítják ki. Az előző (4.4.2) fejezet kalorimetriás eredményeiből látható, hogy a só és nyomáskezelés hatására a hús fehérjei denaturálódnak, ami szerkezetük megváltozását, a fehérjék „kitekeredését” jelenti. Ennek eredményeként a húsfehérjék hozzáférhetőbbé válnak az emésztőenzimek számára. Tanulmányok rámutattak arra, hogy a só és a nyomáskezelés hatással van a fehérjék emészthetőségére (Buckow et al., 2013; Sun et al., 2011), azonban a kettő együttes hatásáról jelenleg nem áll információ rendelkezésre, ezért célszerűnek tartottam az emészthetőség alakulásának vizsgálatát. Az *in vitro* emésztés-szimuláció során gyomor- és vékonybél enzimek (pepszin, tripszin) alkalmazásával vizsgáljuk az emészthetőséget, ami a fehérjék biológiai hozzáférhetőségéről nyújt információt. Az emésztést követően a fehérjéket SDS-poliakrilamid gélelektroforézissel (SDS-PAGE) molekulasúly szerinti szétválasztás alapján vizsgálhatjuk.

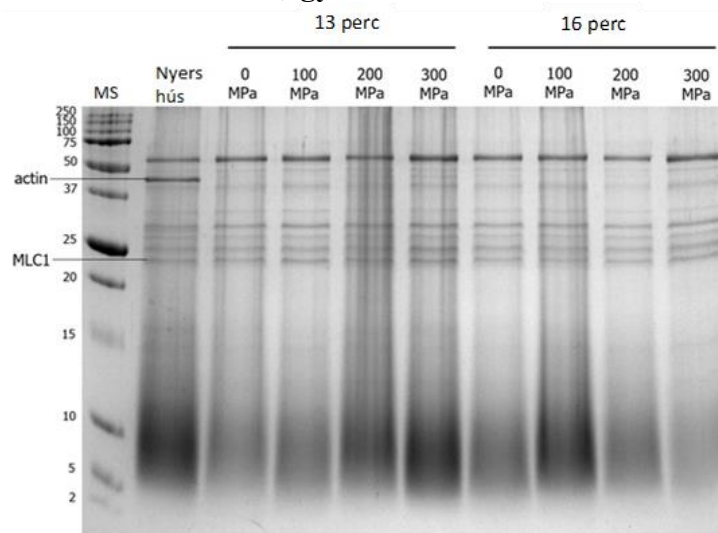
Az *in vitro* emészthetőséget az 5 m/m%-os páclében nyomáskezelt 13 és 16 perc műveleti idejű húsmintákon végeztem. Ez az az időtartam, amit ipari tapasztalatok szerint termelés-szervezési okokból kifolyólag általánosságban alkalmaznak. A húsminták *in vitro* gyomor- és vékonybélfázis emésztése utáni SDS-PAGE elválasztási képét a 43. ábra mutatja. Az elválasztási képeken látható fehérje sávokat molekulasúlyuk szerint azonosítottam, amely alapján a miozin nehéz láncú fehérjei (MHC) 250 kDa, az aktin 43 kDa, a troponin-T 35 kDa, a miozin könnyű láncú fehérjei (MLC) pedig 23 kDa és 16 kDa molekulasúlyonál láthatók. A 0 MPa jelölés a nyomáskezelés nélkül pácolt húsmintát jelöli.

A gyomoremésztés elválasztási képén (43. ábra a)) látható, hogy a nyomáskezelés nélkül (0 MPa) 13, illetve 16 percig pácolt húsminták fehérjesávjai a nyers húséval hasonló képet mutatnak, csak a 10 kDa alatti sávban látható különbség. A pácolt mintáknál a 10 kDa alatti sáv intenzitása kisebb, mint a nyers húsnál. Ez azt mutatja, hogy a pácolásnak ebben az időtartamban a húst alkotó fő fehérjék emészthetőségére nem volt jelentős hatása. A 13 perces nyomáskezeléseknél a nyomás növekedésével a miozin könnyű láncú fehérjei (16 kDa és 23 kDa), a troponin-T (35 kDa), az aktin (43 kDa) és a miozin nehéz láncú fehérjesávjainak (250 kDa) intenzitásában látható csökkenés. A 200 és 300 MPa nyomáskezeléseknél a 10 kDa alatti, peptid-szintű tartományban egy erősebb

diffúz sáv is megjelent. A 16 perces nyomáskezelések esetében nem mutatkozott különbség a fehérjesávok intenzitásában. A vékonybélben történő emésztés elválasztási képét az 43. ábra B) mutatja. A gél felső felső tartományában azonosítható nagy molekulatömegű (>100 kDa) fehérjék lebomlottak, sávjaik a nyers és a pácolt-nyomáskezelt mintáknál egyaránt eltűntek. Ennek oka lehet, hogy a vékonybél emésztést szimuláló tripszin több helyen képes a fehérjét bontani, mint a gyomorfázisban használt pepszin (Li et al., 2017). Néhány lebomlott fehérje diffúz zónaként a 2-15 kDa tartományban halványan látható. A kisebb molekulatömegű aktin (43 kDa) aktin sávja a nyers húsnál még azonosítható, azonban a pácolt, valamint a pácolt-nyomáskezelt minták esetében sávjának intenzitása jelentősen csökkent. Az elválasztási kép alapján a pácolásnak és nyomáskezelésnek a hús vékonybélfázisban történő emészthetőségére nem mutatkozott hatása.



a) gyomor fázis



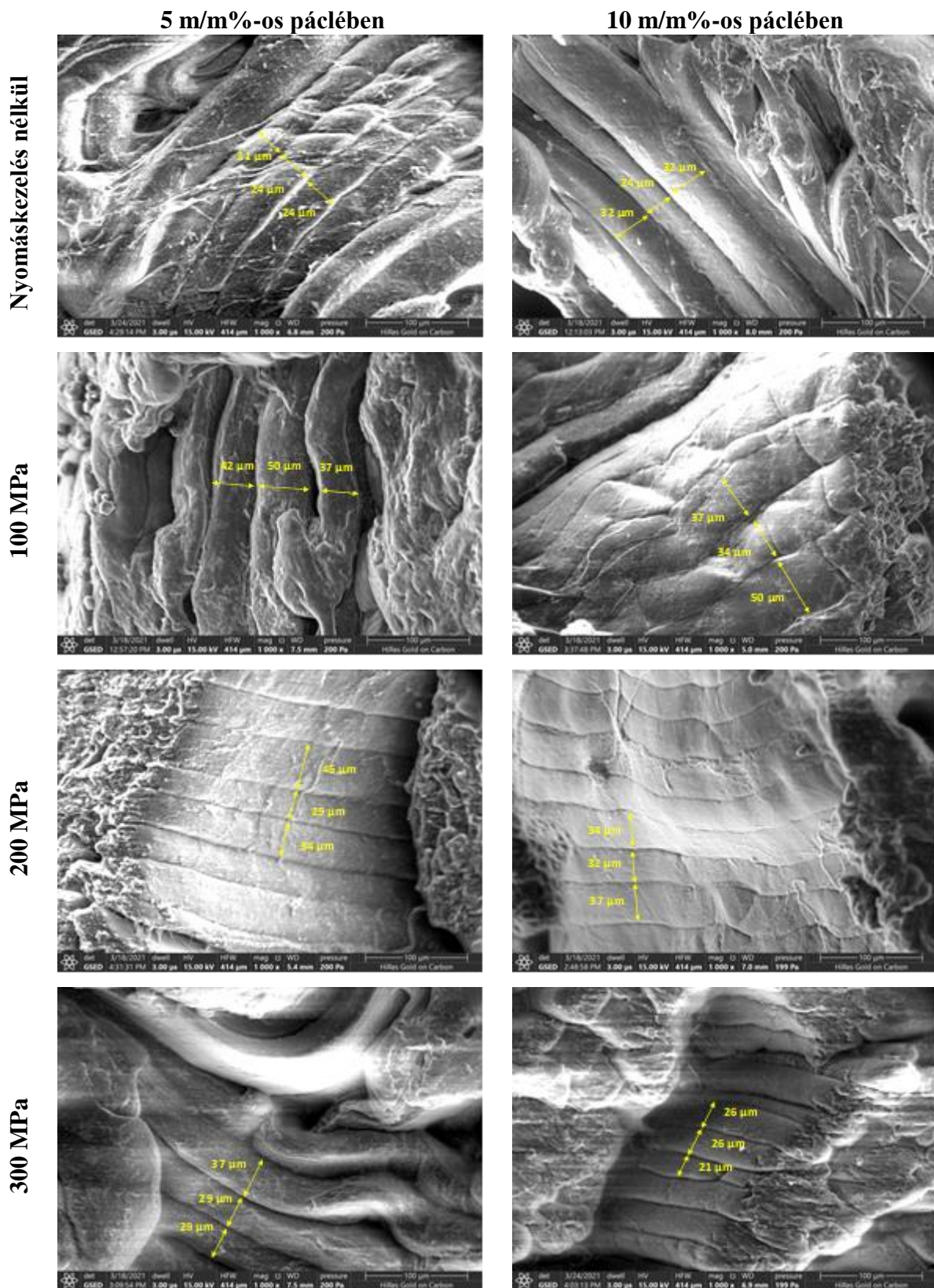
b) vékonybél fázis

43. ábra: Páclében nyomáskezelt sertéskaraj húsminták *in vitro* emésztés utáni SDS PAGE elválasztási képe. a) gyomorfázis b) vékonybélfázis.

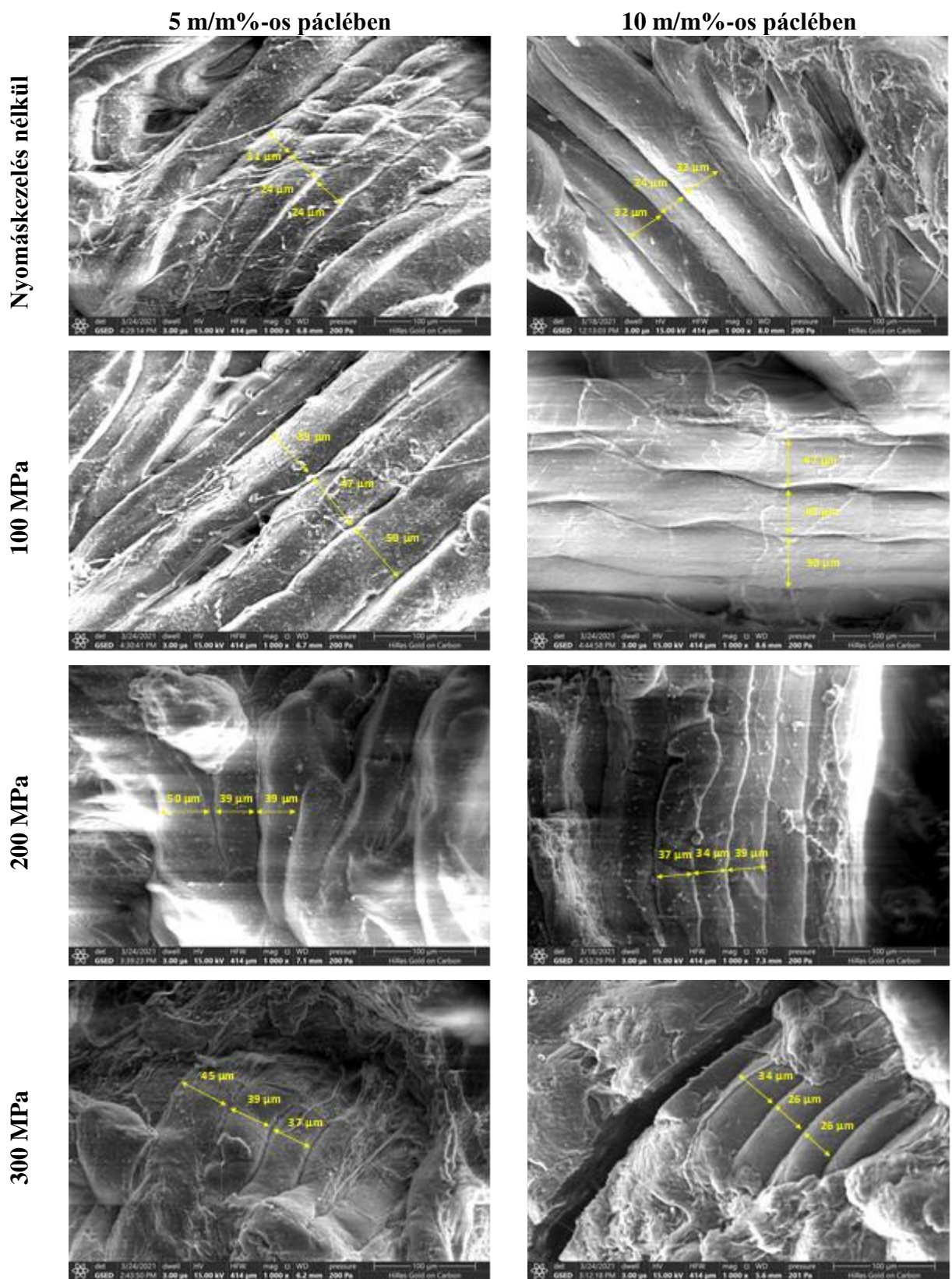
MS molekula standard, 0 MPa nyomáskezelés nélkül pácolt hús

4.4.4. A hús mikrostruktúrájának vizsgálata pásztázó elektronmikroszkóppal

A 44. ábra és 45. ábra mutatja a sertéskaraj húsminták pásztázó elektronmikroszkóppal feltérképezett mikrostruktúráját a páclében nyomáskezelés és a nyomáskezelést követően végzett pácolások esetében.



44. ábra: A páclében nyomáskezelt sertéskaraj húsminták mikrostruktúrája (nagyítás 1000x)



45. ábra: A nyomáskezelést követően pácolt sertéskaraj húsminták mikrostruktúrája (nagyítás 1000x)

10. táblázat: Sertéskaraj húsminták rostvastagságai különböző nyomáskezelés-pácolás és páclé sókoncentráció kombinációk esetén (átlag ± szórás)

Műveleti sorrend	Páclé sókoncentráció	Nyomás	Rostvastagság (µm)
Nyomáskezelés nélkül	5 m/m%	0 MPa	23±2
Nyomáskezelés nélkül	10 m/m%	0 MPa	29±5
Páclében nyomáskezelés	5 m/m%	100 MPa	43±7
Páclében nyomáskezelés	5 m/m%	200 MPa	36±8
Páclében nyomáskezelés	5 m/m%	300 MPa	32±5
Nyomáskezelés utáni pácolás	5 m/m%	100 MPa	46±5
Nyomáskezelés utáni pácolás	5 m/m%	200 MPa	43±6
Nyomáskezelés utáni pácolás	5 m/m%	300 MPa	40±4
Páclében nyomáskezelés	10 m/m%	100 MPa	40±8
Páclében nyomáskezelés	10 m/m%	200 MPa	34±3
Páclében nyomáskezelés	10 m/m%	300 MPa	25±3
Nyomáskezelés utáni pácolás	10 m/m%	100 MPa	47±3
Nyomáskezelés utáni pácolás	10 m/m%	200 MPa	37±3
Nyomáskezelés utáni pácolás	10 m/m%	300 MPa	29±5

Az elektronmikroszkópos felvételek alapján a húst alkotó rostok felülete láthatóan sérülésmentes, ép maradt. A 100-300 MPa nyomás által kifejtett mechanikai hatás nem okozott morfológiai elváltozást a megfigyelt 100 µm mérettartományban.

A rostok vastagságát tekintve (10. táblázat) a 100 MPa-on nyomáskezelt húsmintákon látszanak a legvastagabb rostok, 40 µm feletti átlagos vastagsággal. A rostok vastagodása, duzzadása nagyobb mennyiségű páclé és ezáltal só húsba való bejutására utal. A só ionjai (Na⁺, Cl⁻) vízzel körülvéve hozzákötődnek a húsfehérjékhez, növelve így közöttük az elektrosztatikus taszítóerőt. Ennek hatására a fehérjeszerkezet megduzzad (Cheng and Sun, 2008). Offer és Trinick már 1983-as munkájukban is beszámoltak arról, hogy a só az izomrostok duzzadását okozza. A duzzadás a nyomáskezelés nélkül pácolt minták esetében is látható, ahol is a 10 m/m%-os páclében pácolt hús rostvastagsága kb. 25%-kal nagyobb, mint az 5 m/m%-os páclében pácolt hús esetében. Hasonlót tapasztalt Villacís et al. (2008) is pulykamell pácolási kísérletében. A felvételek alapján mindegyik nyomáskezelés-pácolás kombinációnál nagyobb rostvastagság látható, mint a nyomáskezelés nélküli pácolásnál. A nyomáskezelés-pácolás műveleti sorrendjét tekintve a nyomáskezelés után végzett pácolásoknál nem szignifikáns mértékben, de nagyobb rostvastagság látható, mint a páclében nyomáskezelés esetében. Az alkalmazott nyomás növekedésével a rostvastagságok szignifikánsan csökkenő (p<0,001) tendenciát mutatnak.

4.4.5. A kalorimetriás és elektronmikroszkópos vizsgálatok eredményeinek összegzése

A kísérleteim során felhasznált nyers sertéskaraj fő fehérjecsoportjainak denaturációs csúcshőmérsékletei 51,1°C (miozin), 60,9°C (szarkoplazmafehérjék és kollagén) és 73,3°C (aktin) hőmérséklet értékeknél voltak azonosíthatók. A fehérjék állapotának megváltozásában a páclevek sókoncentrációjának hatása megmutatkozott. A nyomáskezelés nélkül 10 m/m%-os páclében végzett pácolás esetén már egy viszonylag rövid ideig, 7 percig tartó pácolás hatására a miozin és aktin denaturációját tapasztaltam, ami a kisózás jelenségével hozható összefüggésbe. A nyomáskezelés hatása szignifikánsnak bizonyult a fehérjék állapotára nézve. Már a 100 MPa kezelés is a fő fehérjefrakciók denaturációs csúcshőmérsékletének eltolódását, csökkenését eredményezte, ami a fehérjeszerkezetben bekövetkezett változásra utal. A 200 és 300 MPa nyomáskezelések hatására a miozin csúcsa teljesen eltűnt, míg az aktiné a szarkoplazmafehérjék csúcsával olvadt össze, ami ezek denaturációját jelenti. A húsfhérjék állapotára nézve az alkalmazott nyomások hatása erőteljesebbnek bizonyult, mint a páclé sókoncentrációja. A nyomás denaturáló hatása szignifikánsnak is bizonyult. A fehérjék szerkezetének megváltozása, a fehérjék „kitekeredése” egy nagyobb felületen hozzáférhető tápanyagot biztosít, aminek az emésztés szempontjából nagy jelentősége van. A nyomáskezelésen-pácoláson átesett húsminták *in vitro* emésztését (gyomorfázis) követően elvégzett SDS PAGE elválasztási képei alapján a miozin könnyű láncú fehérjéinek, a troponin-T, az aktin és a miozin nehéz láncú fehérjesávjainak intenzitásában volt csökkenés megfigyelhető. Ez arra utal, hogy ezek a fehérjék az emésztés során kisebb molekulatömegű komponensekre, peptid méretűre bomlottak. Ilyen kisebb molekulatömeget mutató, ún. diffúz sávok a 200 és 300 MPa, 13 perc művelti idejű nyomáskezelések esetén voltak láthatóak. Ezek a kis méretű molekulák a tápcsatornában való felszívódás szempontjából kedvezőbbek a szervezet számára, mint a nagyobb, komplex molekulák. A nyomáskezelés-pácolás időtartamának nem mutatkozott hatása a kisebb molekulatömegű anyagok képződésére, ezáltal a húsfhérjék gyomorban történő emészthetőségre nézve. Érdeemes megjegyezni azonban azt, hogy az emésztési kísérletben vizsgált pácolt alapanyag ebben a formájában még nyers anyagnak tekintendő, ami attól függően, hogy milyen jellegű termék, pl. szárazsonka, vagy főtt, pácolt áru készül belőle, a gyártástechnológia további szakaszaiban éri el a fogyasztásra alkalmas állapotát. Azonban a nyomáskezelésnek már a pácolást követően megmutatkozó kedvező hatása mindenképpen biztató az emészthetőség további alakulására nézve.

A kísérletben elvégzett különböző nyomáskezelés-pácolás kombinációk nem voltak látható hatással a húrostok morfológiájára a megfigyelt 100 µm mérettartományban. A húrostok vastagsága összhangban van a felvett páclé és ezáltal a só mennyiségével. A nyomáskezelés-pácoláson átesett

minták mindegyike nagyobb rostvastagságot mutatott, mint a nyomáskezelés nélkül pácolt húsminták, ami arra mutat, hogy a nyomáskezelés elősegítheti a páclé húsba való bejutását, előidézve így az ún. duzzadást. A legnagyobb rostvastagságok (>40 μm) a 100 MPa-on nyomáskezelt-pácolt húsminták esetében voltak megfigyelhetők, amiből a többi kezeléshez képesti nagyobb páclé felvételre következtethetünk. A hús mikrostruktúrájának változásai szorosan kapcsolódnak a hús technológiai szempontból fontos jellemzőinek, pl. a vízkötő- és víztartó képesség, valamint a hús állományának kialakulásához.

4.5. A technológiai és minőségi tulajdonságok vizsgálati eredményei

4.5.1. A vízkötő képesség mérésének eredményei

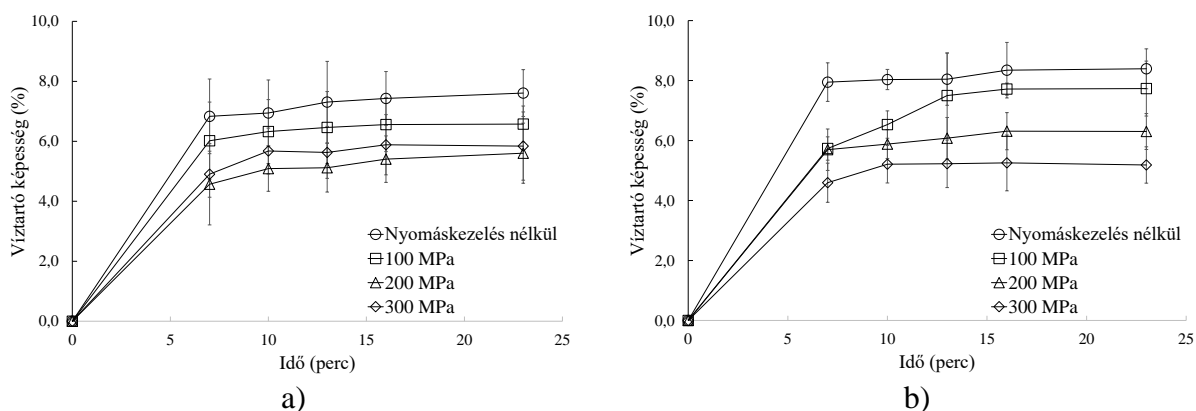
A vízkötő képesség azt mutatja meg, hogy a hús alapanyag a kiindulási tömegére vetítve mennyi vizet, illetve páclevet [%] vesz fel a különböző nyomáskezelés-pácolás művelet kombinációkban. A páclé felvételének nagy jelentősége van mind az élvezeti érték kialakítása, mind a kihozatal szempontjából.

A páclé és a hús közötti sókoncentráció különbség hatására a só és a víz anyagárama indul meg a hús felé, vagyis a hús páclevet vesz fel, ezért a vízkötő képesség a pácolás időtartamának előrehaladtával telítési görbével jellemezhető növekvő tendenciát mutat (46. ábra és 48. ábra).

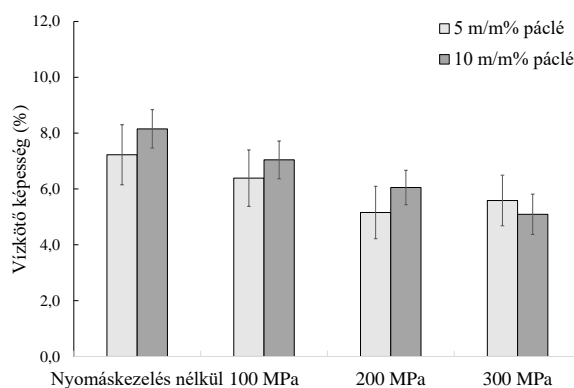
A páclében történő nyomáskezelések során az alkalmazott nyomás növekedésével a húsminták víztartó képessége csökkenő tendenciát mutatott, vagyis minél nagyobb nyomáson történt a kezelés, annál kisebb lett a hús páclé felvevő képessége (46. ábra). A nyomás hatása szignifikánsnak ($p < 0,001$) is bizonyult a húsminták vízkötő képességére nézve. A 47. ábra eredményeiből látható, hogy a páclében nyomáskezelt húsminták vízkötő képessége elmaradt a nyomáskezelés nélkül, vagyis normál körülmények között pácolt húsmintákétól. Az 5 m/m%-os páclében nyomáskezelt húsknál 10-30%-kal, a 10 m/m%-os páclében kezeltéknél pedig 10-50%-kal kisebb páclé felvétel látható a nyomáskezelés nélkül pácolt húshoz képest. A 10 m/m%-os páclében nyomáskezelt húskok nagyobb vízkötő képesség értéket mutattak, mint az 5 m/m%-os páclében kezelték, de a különbség nem szignifikáns.

A nyomáskezelést követően végzett pácolásoknál (48. ábra és 49. ábra) a 100 MPa-on kezelt húskok szignifikánsan ($p < 0,001$) nagyobb vízkötő képességet mutattak a nyomáskezelés nélkül pácolt, valamint a 200 és 300 MPa kezelést követően pácolt húskokhoz képest is. A nyomáskezelés nélkül pácolt húshoz képest ez kb. 29%-kal, a 200 és 300 MPa-on kezeltékhez képest pedig 40-56%-kal több páclé felvételét jelenti. Ez azt mutatja, hogy a hús pácolás előtt végzett 100 MPa-os kezelése jelentősen javítja a hús vízkötő képességét. A nagyobb vízkötő képesség nagyobb mennyiségű

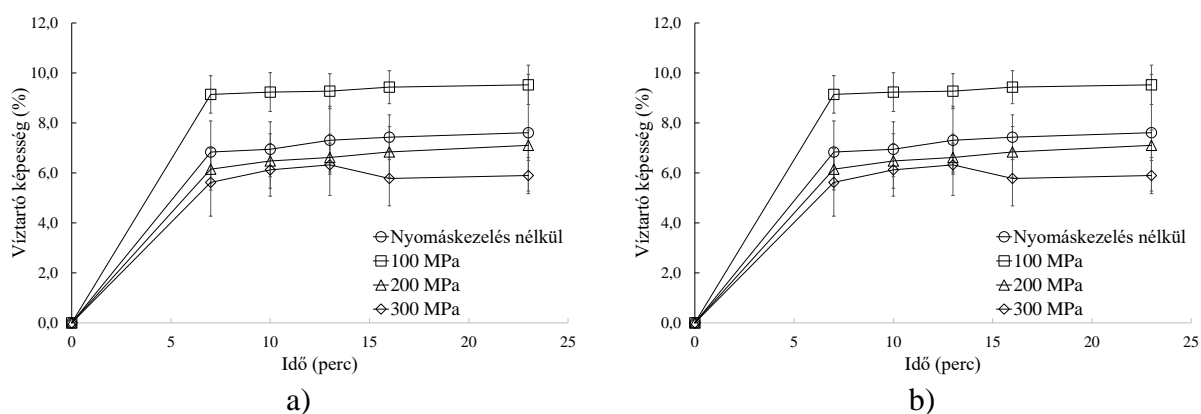
páclé és ezzel együtt só felvételét jelenti. A só ionjai a húsfehérjék oldalláncaihoz kapcsolódnak, ahol az azonos töltésű ionok között elektrosztatikus taszítóerő ébred. Ennek hatására a húsfehérjék távolodnak egymástól, a húst alkotó izomrostok megduzzadnak. Ez volt látható az elektronmikroszkópos felvételeken is (45. ábra), ahol a 100 MPa-on nyomáskezelést követően pácolt húsminták mutatták a legnagyobb rostvastagságot ($46\pm 5\ \mu\text{m}$ és $47\pm 3\ \mu\text{m}$) (10. táblázat). A nyomáskezelést követően 10 m/m%-os páclében pácolt húsok szignifikánsan ($p<0,001$) nagyobb vízkötő képesség értékeket mutattak, mint az 5 m/m%-os páclében kezelték. Ennél a műveleti sorrendnél mind a nyomásnak, mind a páclé sókoncentrációjának szignifikánsnak bizonyult hatása a húsok vízkötő képességére nézve. A parciális éta négyzet mutató alapján a nyomás hatásának nagysága (0,659) jóval erőteljesebbnek bizonyult, mint a páclé sókoncentrációjáé (0,122). A páclében nyomáskezelés és a nyomáskezelést követően végzett pácolásokat összehasonlítva utóbbi szignifikánsan ($p<0,001$) nagyobb vízkötő képességű, páclé felvételű húst eredményezett.



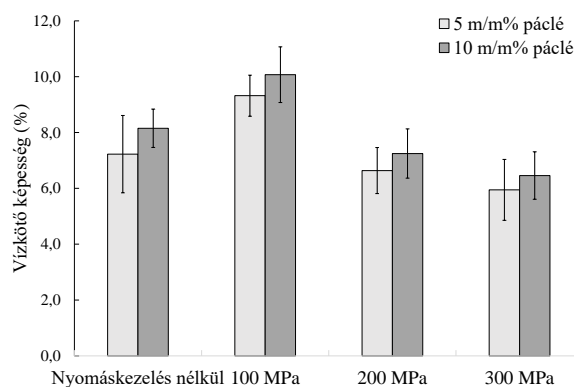
46. ábra: Sertéskaraj húsminták vízkötő képességének alakulása páclében történő nyomáskezelések során. a) 5 m/m%-os páclében, b) 10 m/m%-os páclében



47. ábra: Páclében nyomáskezelt sertéskaraj húsminták vízkötő képességének átlagértékei a nyomás függvényében



48. ábra: Nyomáskezelést követően pácolt sertéskaraj húsminták vízkötő képességének alakulása a pácolás során. a) 5 m/m%-os páclében, b) 10 m/m%-os páclében

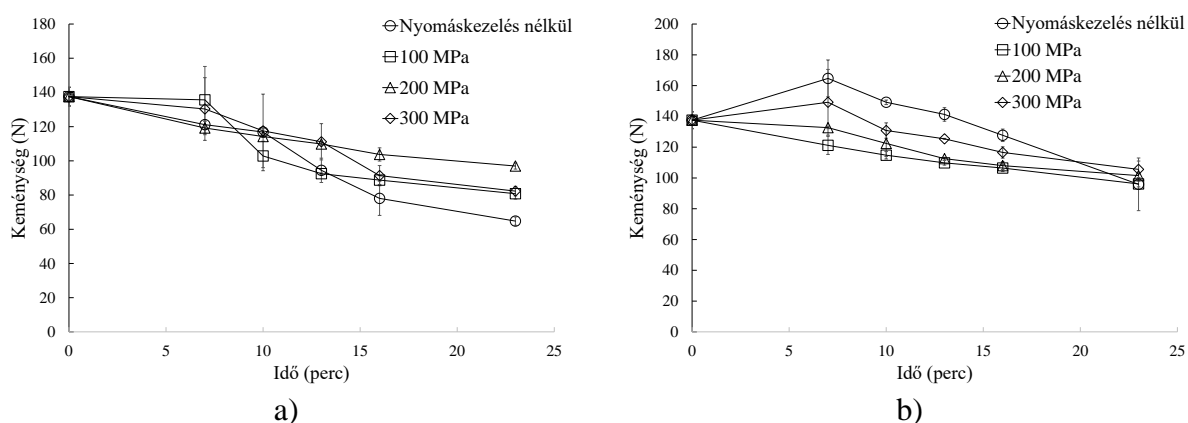


49. ábra: Nyomáskezelést követően pácolt sertéskaraj húsminták vízkötő képességének átlagértékei a nyomás függvényében

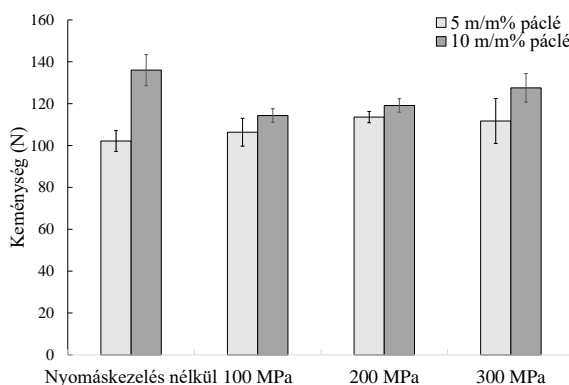
4.5.2. Az állománymérés eredményei

A nyomáskezelte-pácolt húsminták állományát az állományprofil analízisből (Texture Profile Analysis, TPA) származó keménység és kohezivitás alapján értékeltem. Utóbbi a hús összetartó erejéről szolgáltat információt. A páclében nyomáskezelés során a húsminták keménységében és kohezivitásában a műveleti idő előre haladtával enyhén csökkenő tendencia látható (50. ábra és 52. ábra). A páclében nyomáskezelte húsok keménysége az alkalmazott nyomás növekedésével kismértékű növekvő tendenciát mutatott (51. ábra). A páclében nyomáskezelte minták között a 100 MPa-on kezelt húsminták mutatták a legkisebb keménységértéket, ezek bizonyultak a legpuhábbnak. Az alkalmazott nyomás növekedésével a keménységértékek kismértékű növekedése látható. Legkeményebbnek a 10 m/m%-os páclében, 300 MPa-on kezelt húsminta bizonyult, amelynek keménység értéke szignifikánsan nagyobb volt a 100 és 200 MPa-on nyomáskezelte mintához képest. Villacís et al. (2008) pulykamellen páclében végzett 50-300 MPa, 15 perc nyomáskezelési kísérlete során hasonló eredményt kapott. A szerzők a 150 MPa-on nyomáskezelte mintát találták

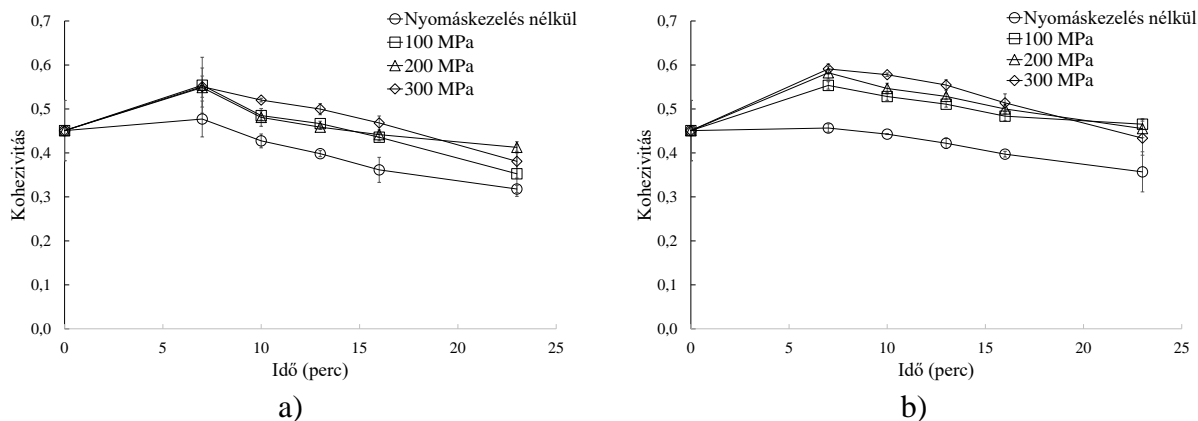
a legpuhábbnak, az ettől nagyobb nyomáson végzett kezeléseknél a húsok keményedését tapasztalták. Ennek magyarázata lehet a miozin a 100-200 MPa nyomás hatására bekövetkező szerkezetváltozása (Angsupanich et al., 1999), amit a 4.4.2 fejezetben a kalorimetriás mérések során a miozin denaturációs csúcshőmérsékletének csökkenésében én is tapasztaltam. Az 5 m/m% sókoncentrációjú páclében nyomáskezelt húsok kis mértékben, de szignifikánsnak ($p < 0,001$) tekinthető mértékben puhábbnak bizonyultak, mint a 10 m/m%-os páclében kezelt húsok. A páclében nyomáskezelt húsok szignifikánsan nagyobb ($p < 0,001$) kohezivitást mutattak, mint a nyomáskezelés nélkül pácolt minták (53. ábra). Az alkalmazott nyomásértékek között nem látható jelentős különbség a húsminták kohezivitásában, azonban a páclé sókoncentrációk tekintetében a 10 m/m%-os páclében nyomáskezelt húsok kohezivitása szignifikánsan ($p < 0,001$) nagyobbak bizonyult az 5 m/m%-os páclében pácolt mintákhoz képest. A páclében nyomáskezelt húsok keménységének alakulására a hatásnagyság (parciális éta négyzet) vizsgálata alapján a műveleti idő (0,831) és a páclé sókoncentrációja (0,662) gyakorolja a nagyobb hatást, míg a nyomás értéke kisebb szerepűnek bizonyult (0,298).



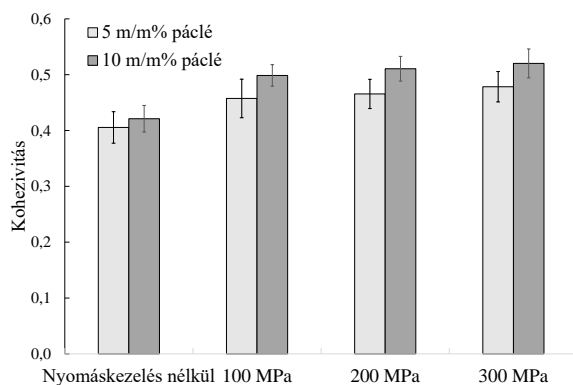
50. ábra: Páclében nyomáskezelt sertéskaraj húsminták keménységének alakulása a nyomáskezelések során. a) 5 m/m%-os páclében, b) 10 m/m%-os páclében



51. ábra: Páclében nyomáskezelt sertéskaraj húsminták keménységének átlagértékei a nyomás függvényében



52. ábra: Páclében nyomáskezelt sertéskaraj húsminták kohezivitásának alakulása a nyomáskezelések során. a) 5 m/m%-os páclében, b) 10 m/m%-os páclében

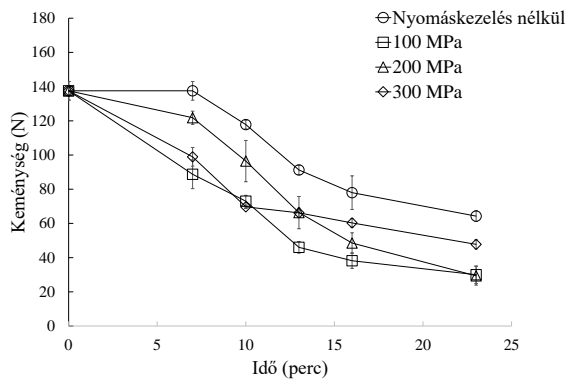


53. ábra: Páclében nyomáskezelt sertéskaraj húsminták kohezivitásának átlagértékei a nyomás függvényében

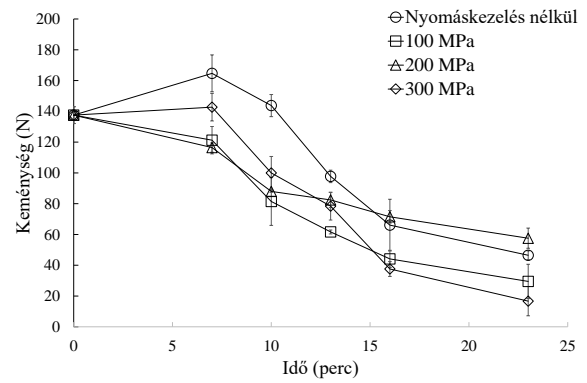
A nyomáskezelést követően pácolt húsminták keménysége és kohezivitása a pácolási idő előre haladtával jól láthatóan csökkenő tendenciát mutat (54. ábra és 56. ábra). A pácolás időtartamának hatása szignifikánsnak ($p < 0,001$) bizonyult e két állományjellemezőre nézve.

A pácolás előtt nyomáskezelt húsok kisebb keménység értékeket mutattak, vagyis puhábbak voltak, mint a nyomáskezelés nélkül pácolt minták. A 200 és 300 MPa-on előkezelés után pácolt húsok keményebbnek bizonyultak, mint a 100 MPa-on kezelték. A páclében történő nyomáskezelésekhez hasonlóan a nyomáskezelést követő pácolás során is az 5 m/m%-os páclében pácolt húsok mutattak kisebb keménység értékeket. A páclé sókoncentrációja szignifikáns hatásúnak ($p < 0,001$) bizonyult a húsok keménységére nézve. Az 57. ábrán látható kohezivitás átlag értékekben csak a 200 MPa nyomáskezelés után pácolt húsmintánál látható kisebb kiugró érték, de az alkalmazott nyomások és a kohezivitás alakulása között nem látható tendencia.

A nyomáskezelést követően pácolt húsok keménységének alakulására a hatásnagyság (parciális éta négyzet) vizsgálata alapján a pácolási idő (0,961) hatása bizonyult a legnagyobbnak, míg a páclé sókoncentrációja (0,626) és az alkalmazott nyomás kisebb szerepűnek bizonyultak (0,586).

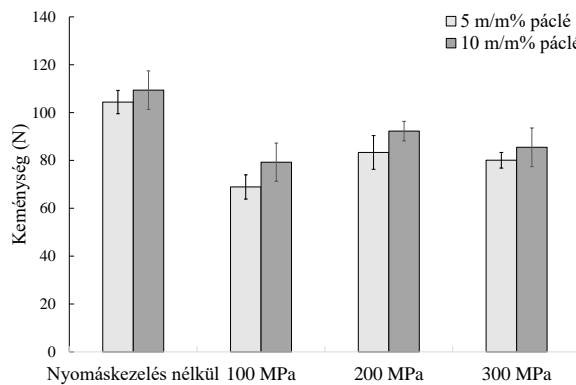


a)

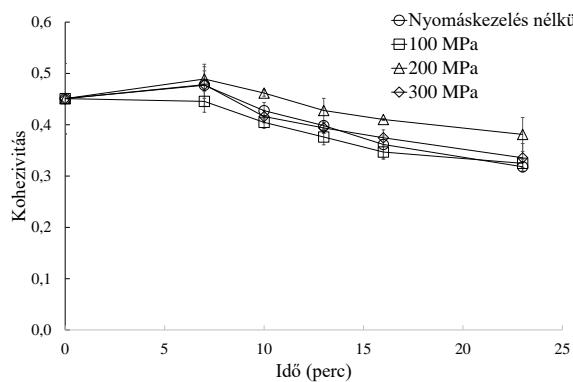


b)

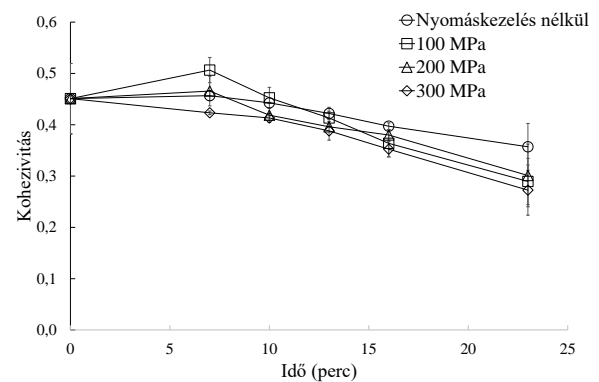
54. ábra: Nyomáskezelést követően pácolt sertéskaraj húsminták keménységének alakulása a pácolás során. a) 5 m/m%-os páclében, b) 10 m/m%-os páclében



55. ábra: Nyomáskezelést követően pácolt sertéskaraj húsminták keménységének átlagértékei a nyomás függvényében

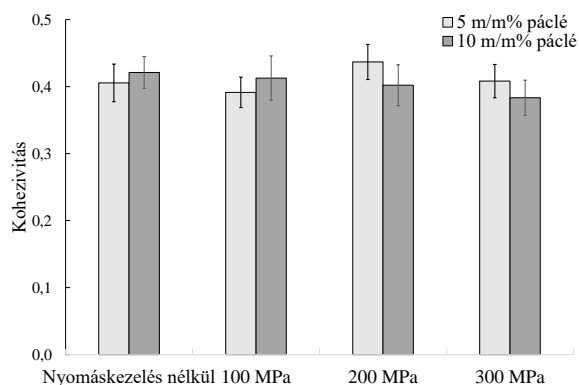


a)



b)

56. ábra: Nyomáskezelést követően pácolt sertéskaraj húsminták kohezivitásának alakulása a pácolás során. a) 5 m/m%-os páclében, b) 10 m/m%-os páclében



57. ábra: Nyomáskezelést követően pácolt sertéskaraj húsminták kohezivitásának átlagértékei a nyomás függvényében

A páclében nyomáskezelés és a nyomáskezelést követően végzett pácolásokat összehasonlítva utóbbi szignifikánsan ($p < 0,001$) kisebb keménységű, vagyis puhább húsmintákat eredményezett, mint a páclében nyomáskezelés vagy a nyomáskezelés nélkül végzett pácolás.

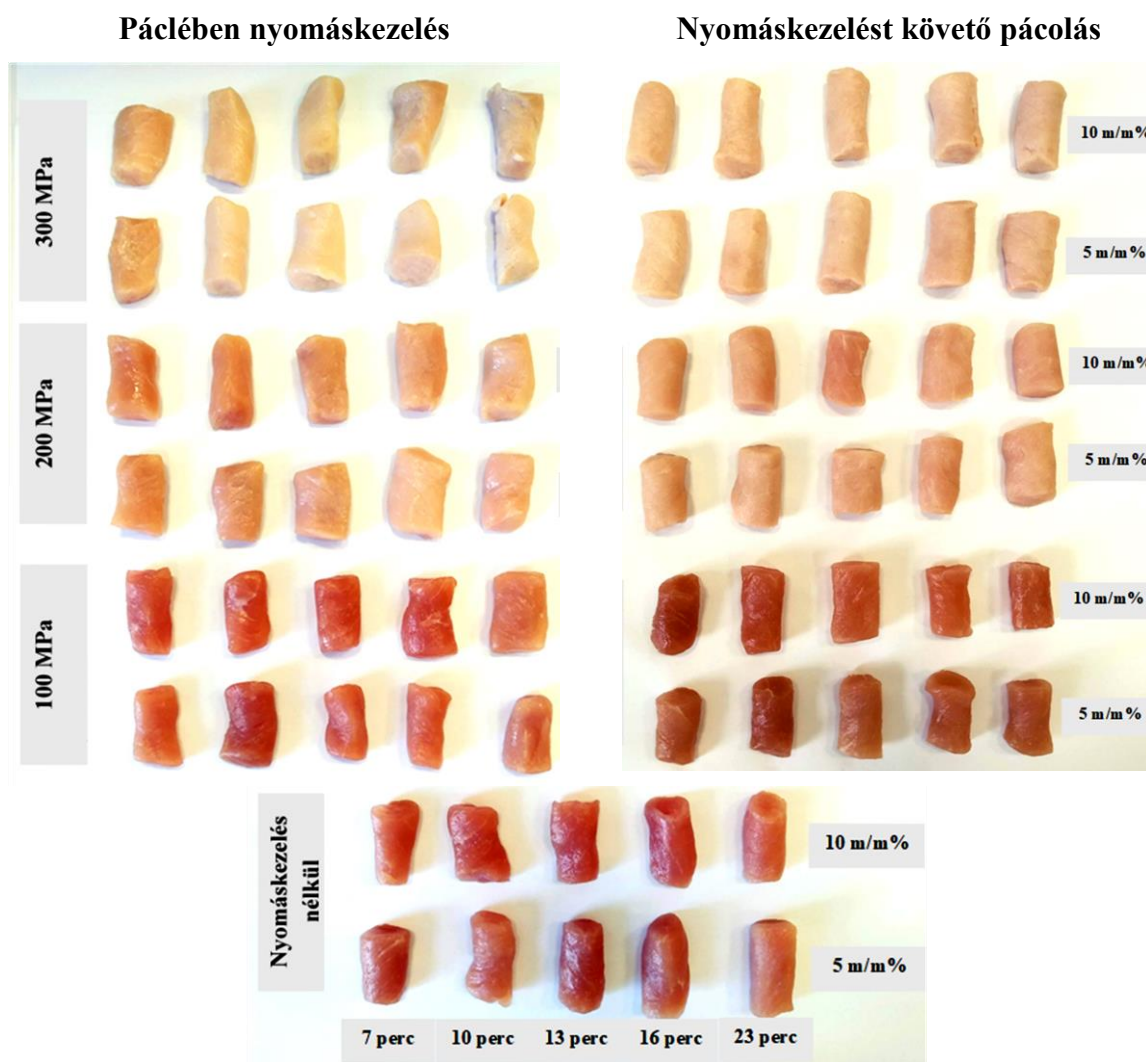
A post-rigor húson végzett tanulmányok szintén a húsok nyomás hatására történő keményedéséről számolnak be. Jung et al. (2000b) 130-520 MPa tartományban (10°C , 260 másodperc) nyomáskezelt post-rigor marhahúsokban a nyomás növekedésével a húsok keményedéséről számoltak be. Kísérletükben a nyomáskezelt húsok mindegyike keményebbnek bizonyult, mint a kezelés nélküli és a 130 MPa-on kezelt húsok kevésbé keménynek, vagyis puhábbnak bizonyultak, mint az 520 MPa-on kezelt húsok. Megállapításuk szerint a nyomáskezelés nem puhította, porhanyósította a post-rigor marhahúst. Ma és Ledward (2004) is hasonló eredményről számoltak be post-rigor marhahús 200-800 MPa tartományban (20°C) végzett kezelése során. A nyomás növekedésével ők is a hús keménységének növekedését figyelték meg. Kísérleteimben az említett szerzőkhöz hasonlóan a nyomás növekedésével a mintaként használt post-rigor sertéshúsok keményedését tapasztaltam.

A keménységértékek alakulásában szerepe lehet a húsok vízkötő képességének. Szemügyre véve ezeket az látható, hogy a nagyobb vízkötő képességű húsok kisebb keménység értéket mutattak, vagyis puhábbnak bizonyultak, mint a kisebb vízkötő képességet mutatók. Ennek magyarázata lehet, hogy a húsba bejutó páclé „hígítva a húsalkotókat” puhább állományt eredményez.

4.5.3. A színmérés eredményei (CIELab)

A húsminták vizuális megjelenésében (58. ábra) jól látható a nyomáskezelések hatása. A nyomásérték növekedésével a húsok egyre világosabbak lettek, jellegzetes vörös színük csökkent. A 300 MPa-on kezelt minták főtt hússal hasonlító megjelenést mutattak. A megjelenés alapján a páclében

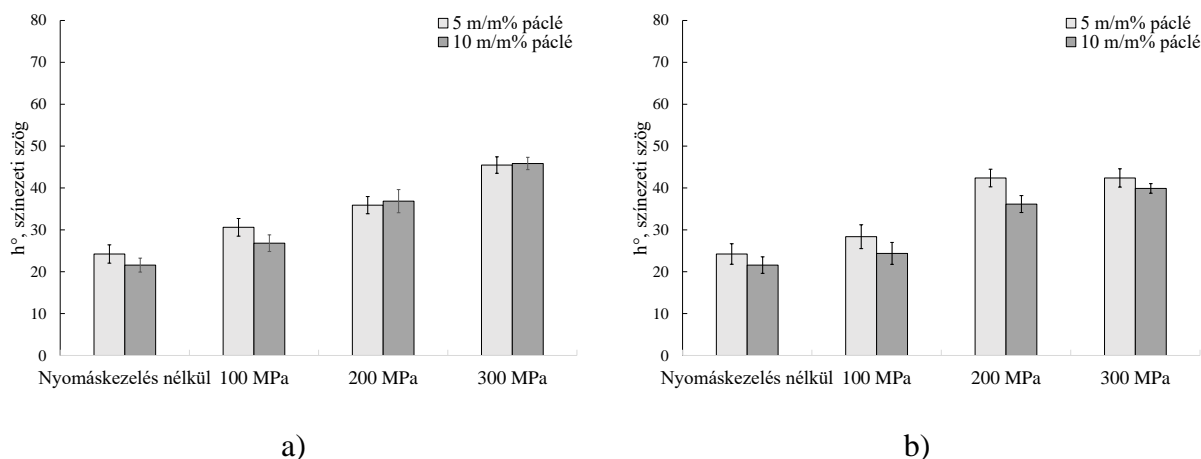
nyomáskezelte húsok kicsit élénkebb, „élettelibb” színűek, mint a nyomáskezelést követően pácoltak. Az 5 m/m% és 10 m/m% páclé koncentrációknak egyik esetben sem látható jelentős hatása.



58. ábra: Húsminták vizuális megjelenése a páclében nyomáskezelések és a nyomáskezelést követő pácolások során

A sertéshús jellegzetes színe a vörös, amit a CIELab színingertérben legjobban a színezeti szöggel (h°) lehet kifejezni, ami azt mutatja meg, hogy milyen távolságra vagyunk a vörös színtől. A vörös színt a 0° jelenti, ettől pozitív irányba ($+90^\circ$) a sárga színezet, negatív irányba (-90°) haladva pedig a kék lesz egyre dominánsabb. Az 59. ábra mutatja a húsminták színezeti szögét a különböző nyomáskezelés-pácolás kombinációk esetében. Látható, hogy a nyomáskezelések hatására a h° értéke növekszik, vagyis a kezelt húsok vörös színezete egyre csökken. A páclében nyomáskezelte húsoknál (59. ábra a)) a 300 MPa-os kezelés esetében látható a legnagyobb h° érték, ami kicsivel 45° feletti értéket mutat. Ez azt jelenti, hogy itt már a sárga színezet kissé dominánsabb, mint a vörös színezet. Hasonló értéket mutattak a 200 és 300 MPa nyomáskezelést követően 5 m/m%-os páclében pácolt húsok (59. ábra b)). A 10 m/m%-os páclében nyomáskezelte, illetve nyomáskezelés után 10 m/m%-os páclében pácolt húsok szignifikánsan ($p < 0,05$ és $p < 0,001$) kisebb h° értékeket

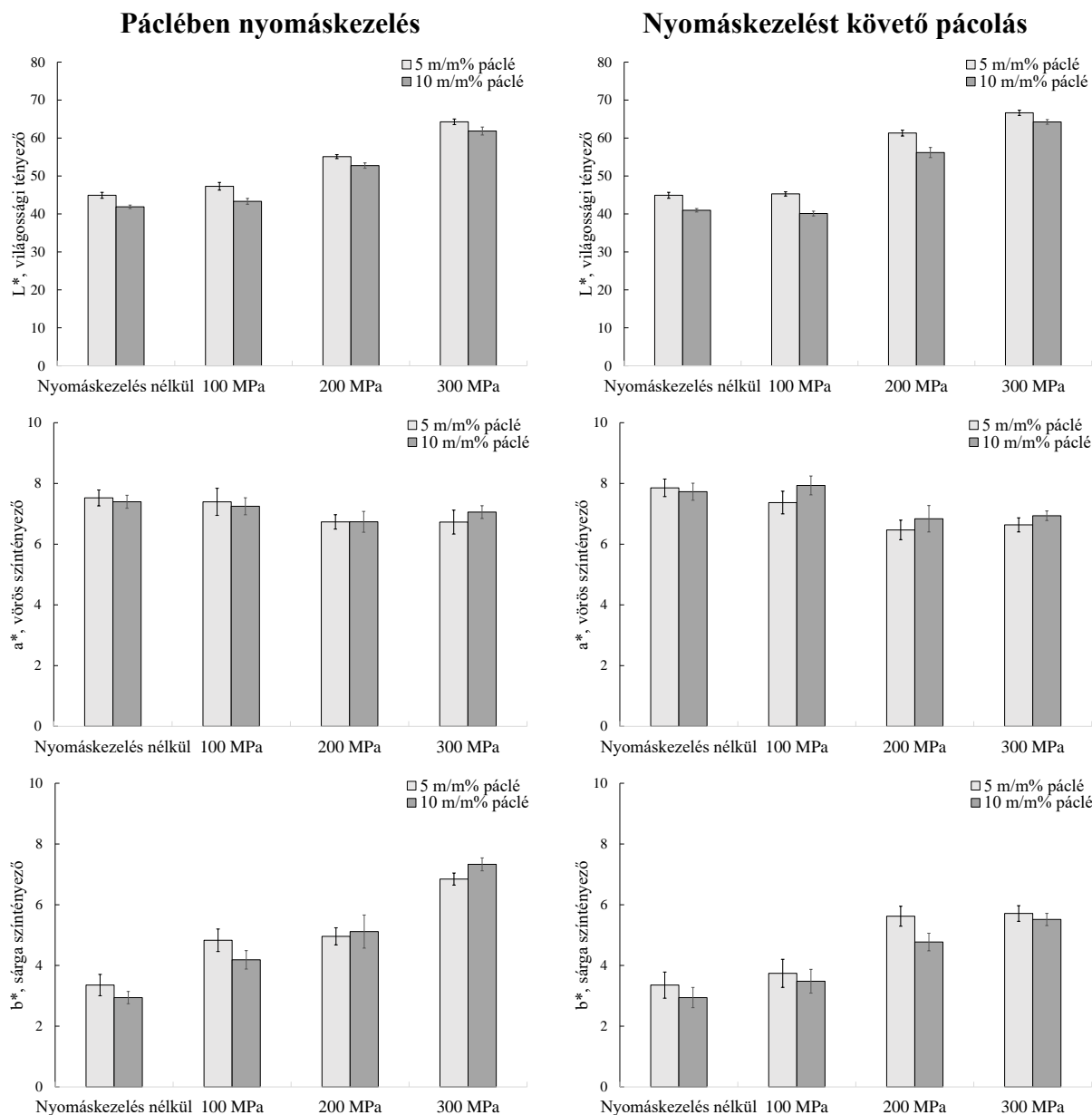
mutattak, vagyis vörösebb színezetűek voltak, mint az 5 m/m% páclé használata esetén. A hús vörös színének „megőrzése” szempontjából előnyösebbnek mutatkozott a hús nyomáskezelés után végzett pácolása (59. ábra b)), ezek átlagosan kisebb h° értéket mutattak, mint a páclében nyomáskezeltek.



59. ábra: Sertéskaraj húsminták vörös színezetét jellemző színezeti szögek (h°) átlagértékei a nyomás függvényében. A kisebb érték vörösebb színezetet jelent. a) páclében nyomáskezelés, b) nyomáskezelést követő pácolás

Az 60. ábra mutatja a páclében nyomáskezeltek és a nyomáskezelést követően pácolt húsok világossági (L^*), vörös (a^*) és sárga (b^*) színtényezőinek alakulását az alkalmazott nyomás függvényében. A nyomás növekedésével a húsminták L^* értéke növekvő tendenciát mutatott, nagyobb nyomáson a húsok szignifikánsan ($p < 0,001$) világosabbak lettek, kifehéredtek. A húsok L^* értékének növekedése az egyik leggyakoribb színváltozás, amiről több szerző is beszámolt és jellemzően 200 MPa vagy afeletti nyomáskezelések esetén figyelték meg (Beltran et al., 2004; Del Olmo et al., 2010; Marcos et al., 2010; Tintchev et al., 2010). A hús kifehéredése két okra vezethető vissza: 1. a húsfehérjék nyomás hatására történő koagulálódik, ennek eredményeként a szarkoplazma és/vagy miofibrilláris fehérjék elvesztik oldhatóságukat (Goutefongea et al., 1995), ami a hús fényvisszaverő képességét megváltoztatja, és 2. a mioglobinnal nyomás hatására denaturálódhat (Carlez et al., 1995). Utóbbi a hús jellegzetese piros színét adó pigmentanyag, amely szerkezetének megváltozása (a hem csoport kiszabadulása a porfirin vázából) a vörös színezet (a^*) csökkenésében jelentkezik, ahogy az a páclében nyomáskezeltek és a nyomáskezelést követően pácolt húsmintáknál is megfigyelhető (60. ábra). A sárga színezet (b^*) az alkalmazott nyomás növekedésével együtt szignifikánsan ($p < 0,001$) növekvő tendenciát mutatott. A páclé sókoncentrációjának a páclében nyomáskezeltek húsok L^* értékére, a nyomáskezelést követően pácolt húsoknál pedig azok L^* és a^* értékére nézve mutatkozott szignifikáns hatása. Az L^* és a^* színtényezők változására a nyomás értéke mellett a nyomáskezelés-pácolás műveletének időtartama is szignifikáns hatása mutatko-

zott, ami azt jelenti, hogy a hús várhatóan annál világosabb lesz és annál inkább veszít vörös színezetéből minél hosszabb a művelet időtartama. A vizsgált kísérleti faktorok (nyomás, páclé koncentráció, műveleti idő, műveleti sorrend) közül minden színtényező esetében a nyomás hatása bizonyult a legerőteljesebbnek. Hasonló megállapításra jutott a nyomás és a kezelési időtartam tekintetében Del Olmo et al. (2010), Jung et al. (2003) és Tintchev et al. (2010) is.



60. ábra: Sertéskaraj húsminták világossági (L^*), vörös (a^*) és sárga (b^*) színtényezőinek átlagértékei a nyomás függvényében, a páclében nyomáskezelés és a nyomáskezelést követő pácolási műveletekben

4.5.4. *A technológiai és minőségi tulajdonságok eredményeinek összegzése*

A húsok technológiai szempontból fontos tulajdonságai a vízkötő képesség, az állomány és a szín. A hús vízkötő képessége a só és víz pácléként történő felvételének képességét jelenti. Ennek a főtt sonkafélék gyártása során van nagy jelentősége, mivel a felvett páclé alakítja ki a termékre jellemző ízt, színt és állományt, valamint a kihozatalra is pozitív hatással van. A 100 MPa-on nyomáskezelt majd ezt követően pácolt húsok a kiindulási tömegük 9,3-10,1%-ának megfelelő mennyiségű páclevet voltak képesek felvenni, ami jóval nagyobb érték a nyomáskezelés nélkül pácolt húsokhoz (7,2-8,2%), valamint a 200 és 300 MPa-on nyomáskezelt húsokhoz (5,9-7,2%) képest is. A páclében nyomáskezelt húsok esetében azonban a kezelések kedvezőtlenül hatottak a hús páclé felvételére. Ezeknél csak 5,1-7,0%-os páclé felvétel volt látható. A hús vízkötő képessége és állománya között kapcsolat fedezhető fel. A nagyobb vízkötő képességű húsok, kisebb keménység értékeket mutattak. Ennek magyarázata lehet, hogy a nagyobb mennyiségű páclé „hígítja” a hús alkotókat, ami kisebb keménységértéket, vagyis puhább húst eredményezett. A nyomáskezelés hús színére gyakorolt hatásában az irodalmi adatokkal összehangban lévő eredmények mutatkoztak. A nyomás növekedésével – a nyomáskezelés-pácolás műveleti sorrendjétől függetlenül – a hús világosodása és a vörös szín intenzitásának csökkenése volt megfigyelhető.

5. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

1. **Elsőként bizonyítottam, hogy a nyomáskezelés és pácolás műveleti sorrendje befolyásolja a só és víz diffúzióját sertéskaraj esetében.**

A sertéskaraj 100 MPa, 5 perc, 5°C-on történő nyomáskezelését követő 5 m/m% sókoncentrációjú páclében pácolása 1,7-szer gyorsabb só és 1,9-szer gyorsabb vízdifúziót, 10 m/m% sókoncentrációjú páclében pácolása pedig 1,4-szer gyorsabb só és 1,7-szer gyorsabb víz difúziót eredményez a nyomáskezelés nélkül, vagyis normál körülmények között végzett pácoláshoz képest.

2. **Megállapítottam, hogy a só és víz diffúziójának legpontosabb predikcióját Martuscelli et al. (2017) modellje szolgáltatja.**

Megállapításomat illesztés és kapcsolat erősség (R^2) vizsgálatokra alapoztam, melyek alátámasztást nyertek a gyakorlati mérésekkel történő összehasonlításban, tehát ez a modell alkalmas leginkább a hús só és nedvességtartalmának pontos előrejelzésére a pácolás során, valamint a pácolási idő meghatározására.

3. **Megállapítottam, hogy a nyomáskezelés és pácolás nem okoz morfológiai elváltozást a sertéskaraj mikrostruktúrájában.**

Megállapításomat pásztázó elektronmikroszkópos felvételekre alapozom, amelyeken az 5 m/m% és 10 m/m% sókoncentrációjú páclében 100-300 MPa-on nyomáskezelt, illetve a 100-300 MPa nyomáskezeléseket követően 5 m/m% illetve 10 m/m% sókoncentrációjú páclében pácolt sertéskarajok 100 μm mérettartományú rostjai sérülésmentesek, épek voltak.

4. **Megállapítottam, hogy a páclében történő nyomáskezelés hatással van a sertéskaraj *in vitro* emészthetőségére.**

A sertéskarajban az 5 m/m% sókoncentrációjú páclében történő 200 és 300 MPa nyomáskezelés hatására a miozin könnyű láncú fehérjéi, a troponin-T, az aktin és a miozin nehéz láncú fehérjéi az *in vitro* gyomoremsztés során 10 kDa alatti, peptid méretű komponensekre bomlanak, amelyek méretüknél fogva kedvezőbbek a tápcsatornában való felszívódás szempontjából, mint a nagyobb molekulatömegű fehérjék.

5. **Megállapítottam, hogy a nyomáskezelés és pácolás műveleti sorrendje hatással van sertéskaraj vízkötő képességére.**

Megállapításomat arra alapozom, hogy a sertéskaraj pácolása előtt végzett 100 MPa nyomáskezelés szignifikánsan nagyobb vízkötő képességet eredményez, mind a 200 és 300 MPa kezelésekhez, mind a páclében végzett 100-300 MPa nyomáskezelésekhez képest.

6. **Megállapítottam, hogy nyomáskezelés és pácolás műveleti sorrendje, az alkalmazott nyomás, a páclé sókoncentrációja és a nyomáskezelés-pácolás időtartama befolyásolja a sertéskaraj keménységét.**

Megállapítottam, hogy az alkalmazott 100-300 MPa nyomásoknak és az 5 m/m%, 10 m/m% páclé sókoncentrációknak szignifikáns hatása van, és a hatásnagyság vizsgálat alapján bizonyítottam, hogy a nyomáskezelés és pácolás műveleti sorrendjének és időtartamának hatása a legerőteljesebb a sertéskaraj keménységére nézve.

7. **Megállapítottam, hogy a nyomáskezelés és pácolás műveleti sorrendje, az alkalmazott nyomás, a páclé sókoncentrációja és a nyomáskezelés-pácolás időtartama befolyásolja a sertéskaraj világosságát és vörös színezetét.**

Megállapításomat hatásnagyság vizsgálat eredményeire alapozom, amely alapján a sertéskaraj világosságára (CIELab, L*) és a vörös színezetet kifejező színezeti szögre (h°) az alkalmazott nyomás hatása a legnagyobb.

6. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

A doktori értekezésem kísérleti munkája során azt vizsgáltam, hogy a sertéskaraj 100, 200 és 300 MPa mérsékelt nyomáskezelése, a nyomáskezelés és pácolás műveleti sorrendje, valamint a páclé sókoncentrációja milyen hatással van a hús és páclé közötti sókiegyenlítődésre, a só- és víz diffúziójára, a húsfehérjék állapotára és mikrostruktúrájára, valamint a hús technológiai szempontból fontos minőségi mutatóira, a vízkötő képességére, állományára és színezetére nézve. A hús pácolása során az egyik legfontosabb kérdés a páclé és hús közötti sókiegyenlítődés, valamint a só- és víz húsba történő diffúziója. A 100 MPa (5 perc, 5°C) nyomáskezelést követően pácolt húsok a 200 és 300 MPa kezelést követően pácolt húsokhoz, a páclében nyomáskezelte húsokhoz és a nyomáskezelés nélkül pácolt húsokhoz képest is gyorsabb sókiegyenlítődést mutattak. A nyomáskezelés során a nyomás hatására a húsban térfogatváltozás történik, a húst alkotó rostok, fehérjeszálak közötti tér csökken. Az ily módon kialakuló kompakt hús szerkezetbe a páclében nyomáskezelés során só ionjai nehezebben hatolnak be, mint a nyomáskezelés után már „relaxált” hús szerkezetbe. Ez magyarázhatja, hogy a nyomáskezelést követően pácolt húsok nagyobb só és víz diffúziós tényezőket mutattak, mint a páclében nyomáskezeltek. A kiegyenlítődés gyorsaságát, sebességét számszerűsítő só és víz diffúziós tényezők (D , m^2/s) számítására használt Fick II. törvényéből származtatott diffúziós modellek alátámasztották ezt a relációt. A 100 MPa nyomáskezelést követően pácolt húsoknál – páclé koncentrációtól függően – 1,4-1,7-szer gyorsabb só és 1,7-1,9-szer gyorsabb víz diffúzió mutatkozott a hús nyomáskezelése nélkül végzett pácolásához képest. A diffúziós modelleket tekintve (Martuscelli et al., 2017) modellje mutatta a leoszorosabb és legerősebb illeszkedést a mérési adatokkal, így a későbbiekben ez jól használható a sertéskaraj pácolása során a sótartalom alakulásának előrejelzésére, a pácolási időtartam meghatározására. A hús pácolás előtt végzett 100 MPa nyomáskezelésnél tapasztalt gyorsabb só és víz diffúzió hatása a technológiai tulajdonságokban, a vízkötő képességben és az állományban, valamint a hús mikrostruktúrájában is megmutatkozott. A páclében nyomáskezelte húsokhoz képest ezeknél jobb vízkötő képesség, vagyis nagyobb páclé felvétel volt tapasztalható, ami mikrostrukturális szinten a húsrstok duzzadásában is megfigyelhető volt. A pácolás előtt nyomáskezelte húsok puhábbnak bizonyultak a pácolás közben nyomáskezeltekhez képest, ami a nagyobb páclé felvétellel állhat kapcsolatban. A puhulás összefüggésben lehet a katepszin- és a kalpain-proteináz rendszer működésével is, amelyek szakirodalmi eredmények alapján 100 MPa nyomáskezelés hatására kiszabadulnak az izomsejtek lizozómáiból és a miofibrillumok közötti kötéseket bontva puhítják, porhanyósítják a húst (Homma et al., 1996; Kubo et al., 2002). Az így kialakuló puhább állományú hússzerkezetbe könnyebben hatol be a só és a víz, mint egy keményebb szerkezetbe. A megfigyelt

100 μm mérettartományban egyik nyomáskezelés és pácolás kombinációs esetében sem mutatkozott a húsok szerkezetében morfológiai elváltozás, ami kifejezetten előnyös a pácolt húsfélék gyártásánál. A pácolt termékek jellemzője, hogy darabos húsokból készülnek és az eredeti izomszerkezet felismerhető még a kisebb húsdarabokból készült termékekben (pl. gépsonkában) is. A pácolt termékek egyik értékét a hús természetes megjelenése adja.

Az eredmények alapján arra következtettek, hogy a hús pácolás előtt végzett nyomáskezelése hasznos kiegészítése lehet a hagyományos pácolási műveleteknek a nagyobb a só- és vízdifúzió, a vízkötő vagy páclé felvevő képesség javítása és a puhább állomány elérése érdekében. Az alkalmazott nyomást azonban körültekintően kell megválasztani (100 MPa, 5 perc, 5°C), mert az ettől nagyobb nyomás hátrányosan hat a difúzióra és az említett tulajdonságokra.

7. ÖSSZEFOGLALÁS

A húsok sózásának, pácolásának célja só és egyéb adalékanyagok húsba való bejuttatása. Ennek hagyományos technikái a száraz sózás és a fedőpácolás adottak, amely során a só a hús és a páclé közötti koncentrációkülönbség hatására vándorol a húsba, ami több tényezőtől függő, lassú, időigényes folyamat. A sóbehatolás gyorsítására olyan technikákat fejlesztettek ki mint pl. a tumblerezés, injektálás, amik a hússzövet mechanikai roncsolásával képesek a só behatolásának és húsban való kiegyenlítésének gyorsítására. A pácolás technológiai fejlesztései többnyire e technikák működésének gazdaságosabbá tételére irányultak. Az utóbbi 2-3 évtizedben a kutatások és fejlesztések fókuszát kiszélesítették és más, kíméletes technológiai megoldások felé is fordultak. Ilyenek az ultrahang, a vákuum, a pulzáló elektromos erőter, vagy a nagy hidrosztatikus nyomás. Utóbbit egyre szélesebb körben alkalmazzák a mikrobiológiai stabilitás, az eltarthatóság növelése céljából. A hús pácolás során kifejtett hatásairól jelenleg kevés eredmény érhető el, ezért doktori munkám során a nagy hidrosztatikus nyomáskezelésnek a pácolódásra és a hús egyes technológiai tulajdonságaira kifejtett hatásának vizsgálatát tűztem ki célul. A nyomáskezelést hidrosztatikus nyomást közvetítő közegben, rendszerint vízben, esetleg propilén-glikolban végzik. A kilúgozódás és a keresztzennyeződések elkerülése érdekében a húst a kezelés előtt csomagolni szükséges. A csomagolást általában vákuumcsomagolással oldják meg, de a csomagolásba pl. páclé is tölthető, így pácolás a nyomáskezeléssel együtt is végezhető. A szakirodalomkutatás során azt találtam, hogy a mérsékelt nyomáskezelés (≤ 300 MPa) hatásosnak bizonyult anyagátadási műveletekben a diffúzió gyorsítására (Rastogi and Niranjana, 1998; Sopanangkul et al., 2002; Villacís et al., 2008). Ezekből kiindulva arra kerestem a választ, hogy milyen hatása van a hús és páclé közötti sókiegyenlítésre, a só- és víz diffúzióra, a húsfehérjék állapotára, a mikroszerkezetre és a hús technológiai mutatóira, a vízkötő képességre, állományra és színezetre nézve a pácolás és nyomáskezelés műveleti sorrendjének, az alkalmazott nyomásnak, a páclé sókoncentrációjának és a pácolás időtartamának abban az esetben, ha:

- a) a nyomáskezelést páclébe csomagolt húson végzem
- b) a húst először nyomáskezelem majd ezt követően pácolom
- c) a hús pácolását nyomáskezelés nélkül, normál körülmények között végzem
- d) illetve, ha az a) és b) pontok nyomáskezelési műveleteit 100, 200 és 300 MPa nyomáson, 5 m/m% és 10 m/m% sókoncentrációjú páclevekben végzem.

Kísérleti alapanyagként sertéskarajt (*Longissimus dorsi*) használtam, amelyből henger alakú ($d=18$ mm, $h=30$ mm) próbatesteket alakítottam ki, amelyeket 1:4 hús-páclé aránnyal az a)-d) pontokban felsorolt kombinációkban pácoltam.

A kísérletek első lépéseként a húsminták kiegyenlítődési só- és víztartalmát határoztam meg (C_{eq} , X_{eq}), amelyek a hús és páclé közötti só- és víztartalom kiegyenlítődés dinamikájának (C_t/C_{eq} , X_t/X_{eq}) jellemzéséhez és az anyagtranszport sebességét leíró diffúziós tényező (D , m^2/s) számításának elvégzéséhez szükségesek. A C_t/C_{eq} és X_t/X_{eq} időbeli alakulásának alapján a legdinamikusabb kiegyenlítődést a 100 MPa (5 perc, 5°C) nyomáskezelt húsminták mutatták, ami gyorsabb só- és vízbehatolásra utal, mind a 200 és 300 MPa-on kezelt húsokhoz, mind a nyomáskezelés nélkül pácolt húsokhoz képest. A kiegyenlítődés sebességét számszerűen jellemző só és víz diffúziós tényezőket Fick II. törvényéből származtatott matematikai modellekkel (Abbasi Souraki et al., 2012; Martuscelli et al., 2017; Telis et al., 2004) határoztam meg. A modellek pontosságát a só- és víztartalom mérési eredményeire illesztéssel és a köztük lévő kapcsolat erősségével vizsgáltam, ami alapján Martuscelli et al. (2017) modellje mutatta a legszorosabb illeszkedést és legerősebb kapcsolatot. Ez azt jelenti, hogy a modell nagy pontossággal képes előre jelezni a hús só- és víztartalmának alakulását, ezáltal a gyártástechnológia szempontjából fontos pácolás időtartam meghatározását. A modell alapján számított só- (D_s) és vízdifúziós (D_v) tényezők értékek számszerűen is alátámasztották a kiegyenlítődés dinamikájánál tapasztalt relációkat. A 100 MPa-os kezelést követő 5 m/m%-os páclében pácolás esetén 1,7-szer nagyobb só és 1,9-szer nagyobb víz diffúziós tényezőt, 10 m/m%-os páclében pácolás esetén pedig 1,4-szer nagyobb só és 1,7-szer nagyobb víz diffúziós tényezőt mutatott a nyomáskezelés nélkül pácolt húsokhoz képest. A 200 és 300 MPa-os nyomáskezeléseket követő pácolásoknál ettől kisebb diffúziós tényezők mutatkoztak, csakúgy, mint a páclében történő 100-300 MPa nyomáskezelések során.

A szakirodalmi eredményekből ismert, hogy a hús fehérjéinek harmad- és negyedleges szerkezetét kialakító hidrofób-, ionos-, nem kovalens jellegű kötésekre már 100-600 MPa nyomás is képes olyan hatást gyakorolni, amely a fehérjeszerkezetben reverzibilis vagy irreverzibilis változást eredményez (Balny and Masson, 1993; Heremans and Smeller, 1998; Knorr et al., 2006). Továbbá a só is képes hasonló szerkezetváltozást létrehozni bizonyos koncentráció felett, amit az ún. kiszózás (angolul *salting-out*) jelensége okoz (Gou et al., 2003). A húsfehérjék nyomáskezelés és pácolás során bekövetkező változásának vizsgálatára kalorimetriás méréseket végeztem. Már a 100 MPa nyomáskezelések is a fő fehérfrakciók, a miozin és aktin denaturációs csúcshőmérsékletének eltolódását, csökkenését eredményezték. A 200 és 300 MPa nyomáskezeléseknél a miozin csúcsa nem volt detektálható, míg az aktiné a szarkoplazmafehérjék csúcsával olvadt össze. A húsfehérjék állapotára nézve az alkalmazott nyomások hatása erőteljesebbnek bizonyult, mint a páclé sókoncentrációja. A húsfehérjék szerkezetének megváltozása, „kitekeredésük” nagyobb felületen hozzáférhető tápanyagot biztosít, aminek az emésztés szempontjából nagy jelentősége van.

A nyomáskezelésen-pácoláson átesett húsminták az *in vitro* emésztés során peptid méretű komponensekre bomlottak, amelyek a tápcsatornában történő felszívódás szempontjából kedvezőbbek, mint a nagyobb méretű, komplex molekulák. A technológiai szempontból fontos vízkötő képesség, a 100 MPa nyomáskezelést követően pácolt húsmintáknál mutatta a legnagyobb értéket, ami azt jelenti, hogy ezek vették fel a pácolás során a legtöbb páclevet. Ez számszerűen 9,3-10,1% páclé felvételt jelent, a kiindulási tömegre vonatkoztatva. Ennek hatása, a húrostok duzzadása az elektronmikroszkópos felvételeken is látható volt. A húrostok vastagsága ezeknél a húsmintáknál bizonyult a legnagyobbaknak ($>40 \mu\text{m}$). Ugyanakkor a nyomáskezelés-pácolás kombinációk egyike sem okozott morfológiai elváltozást a hússzerkezetben a megfigyelt mérettartományban ($100 \mu\text{m}$). A nagyobb vízkötő képességet mutató húsminták puhább állományt eredményeztek. Ennek magyarázata lehet, hogy a nagyobb mennyiségű páclé „hígítja” a hús alkotókat, ami kisebb keménységértéket, vagyis puhább húst eredményezett. Az állomány, keménység alakulásában a legnagyobb hatásúnak a nyomáskezelés-pácolás sorrendje bizonyult. A nyomáskezelést követően pácolt húsok jelentősen kisebb keménység értékeket mutattak, vagyis puhábbal voltak, mint a páclében nyomáskezelt húsok. A nyomáskezelés hús színére gyakorolt hatásában az irodalmi adatokkal összhangban lévő eredmények mutatkoztak. A különböző nyomáskezelés-pácolás műveltekben a hús színére a nyomás hatása bizonyult a legerőteljesebbnek. Az alkalmazott nyomás növekedésével – a nyomáskezelés-pácolás műveleti sorrendjétől függetlenül – a hús világosodása és a vörös szín intenzitásának csökkenése volt megfigyelhető, a 300 MPa-on kezelt húsok főtt húshoz hasonló, fakó megjelenést mutattak. A vörös színárnyaltot jellemző színezeti szög (h°) alapján a hús vörös színének „megőrzése” szempontjából előnyösebbnek mutatkozott a nyomáskezelést követően végzett pácolás, mint a páclében nyomáskezelés.

Az eredmények alapján a hús pácolás előtt végzett nyomáskezelése hasznos kiegészítése a lehet a só- és vízdifúzió, a vízkötő vagy páclé felvevő képesség javítása és a puhább hús állomány elérése érdekében.

SUMMARY

The aim of salting and brining is to introduce salt and other additives into the meat. The traditional techniques of salting and brining is well known, where the salt penetrates into the meat due to the difference in concentration between the meat and brine. It is a slow and time-consuming process that depends on several factors. Techniques such as tumbling and injection have been developed to accelerate salt penetration and equilibration in the meat by mechanically destroying the meat tissue. Technological developments in this field have mostly been aimed at making these techniques more economical. In the last 20 – 30 years, the focus of research and development has become wider and turned towards milder technological solutions, e.g. ultrasound, vacuum, pulsed electric fields or high hydrostatic pressure. The high hydrostatic pressure is more and more often used to increase microbiological stability and shelf life. At present few information is available on the effects of pressure treatment on meat brining, so my doctoral thesis aimed to study the effects of high hydrostatic pressure treatment on curing and on some technological properties of meat.

The pressure treatment is carried out in a hydrostatic pressure medium, usually water, possibly propylene glycol. In order to avoid leaching and cross-contamination, the meat should be packaged before pressure treatment. Packing is usually done by vacuum packing, but the packing can also be filled with e.g. brine (salt solution), so that curing can be done together with the pressure treatment. In some research paper I have found that moderate pressure treatment (≤ 300 MPa) has been effective in accelerating diffusion in mass transfer operations (Rastogi and Niranjana, 1998; Sopanangkul et al., 2002; Villacís et al., 2008). Based on these, I studied the effect of the sequence of brining and pressure treatments, the pressure levels, brine concentrations and the duration of brining on the salt equilibrium between meat and brine, salt and water diffusion, meat proteins, microstructure, water binding capacity, texture and colour in case of

- a) the pressure treatment is carried out on meat packaged in brine
- b) the meat is first pressure treated followed by brining
- c) the brining is carried out under normal conditions (without pressure treatment)
- d) the a) and b) are carried out at pressures of 100, 200 and 300 MPa in brine solutions with a salt concentration of 5 m/m% and 10 m/m%.

Pork loin (*Longissimus dorsi*) obtained from a local slaughterhouse was used for all investigations. Cylinder shaped meat samples (diameter (d)=15 mm, height (h)=80 mm) were cut from the meat parallel to the longitudinal axis of the meat fibers. Meat cylinders were brined according to combinations of a) – d).

As a first step of the experiments, the equilibrium salt and water contents of the meat samples were determined (C_{eq} , X_{eq}). These are necessary to characterize the salt and water equilibrium dynamics (C_t/C_{eq} , X_t/X_{eq}) between meat and brine and to calculate the diffusion coefficient (D , m^2/s) describing the mass transport rate. Based on the time evolution of C_t/C_{eq} and X_t/X_{eq} , the most dynamic equilibration was observed in the 100 MPa (5 min, 5°C) pressure treated meat samples, indicating faster salt and water penetration, both in comparison to the 200 and 300 MPa treated meats and to the meat cured without pressure treatment. The salt and water diffusion coefficients were determined by using mathematical models derived from Fick's Law II (Abbasi Souraki et al., 2012; Martuscelli et al., 2017; Telis et al., 2004). The accuracy of the models was assessed by fitting the salt and water content measurements and the 'strength' of the relationship between them. Model of Martuscelli et al., (2017) showed the closest fit and strongest relationship. This means that this model is able to predict with high accuracy the changing of salt and water content of the meat, thus determining the brining time, which is important for the production technology.

The salt (D_s) and water diffusion (D_v) coefficients confirmed the relationships observed for the equilibration dynamics. Meat brined after pressure treatment at 100 MPa showed 1.4 times higher salt and 1.7 times higher water diffusion coefficients in case of 5 m/m% brine and 1.7 times higher salt and 1.9 times higher water diffusion coefficients in case of 10 m/m% brine compared to meat brined without pressure treatment. Lower diffusion coefficients were observed for brinings following pressure treatments of 200 and 300 MPa, as well as for all pressure treatments in brine.

It is known from the literature that hydrophobic, ionic, non-covalent bonds forming the tertiary and quaternary structures of meat proteins can be affected by pressures as high as 100-600 MPa, resulting in reversible or irreversible changes in protein structure (Balny and Masson, 1993; Heremans and Smeller, 1998; Knorr et al., 2006). In addition, salt can also produce similar structural changes above a certain concentration, caused by the phenomenon of salting-out (Gou et al., 2003). Calorimetric measurements were performed to investigate the changes in meat proteins structure during pressure treatment and brining. Pressure treatments as low as 100 MPa resulted in a shift and decrease in the peak denaturation temperatures of the major protein fractions, myosin and actin. For the 200 and 300 MPa pressure treatments, the peak of myosin was not detectable, while that of actin fused with the peak of sarcoplasmic proteins. The effect of the applied pressures on the denaturation of the meat proteins was found to be more pronounced than the concentration of brine. The change in the structure of meat proteins provides a larger surface area available of human body, which is important for digestion. The pressurization in brine resulted in meat samples that were degraded during in vitro digestion into peptide-sized components, which are more favourable for intestinal absorption than larger complex molecules.

The water binding capacity, which is important from a technological point of view, was highest in meat samples brined after pressure treatment of 100 MPa. This means that they absorbed the most brine during brining. The brine uptake was 9.3 – 10.1% based on the initial weight. The effect of this, namely the swelling of the fibers, was also visible in scanning electronmicroscopic micrographs. The meat fibre thickness was found to be the highest in these meat samples (>40 μm). However, none of the pressure-brining combinations caused morphological changes in the meat tissue in the observed size range (100 μm). Meat samples with higher water binding capacity resulted in softer texture. This may be explained by the fact that the higher amount of brine 'dilutes' the meat constituents, which resulted in a lower hardness value, i.e. softer meat. The sequence of pressure treatment and brining had the greatest effect on the development of hardness. Meats brined after pressure treatment showed significantly lower hardness, i.e. they were softer than in brine pressurized samples. The results on the effect of pressure treatment on meat colour were consistent with the literature. The effect of pressure level on meat colour was found to be the strongest factor. As the pressure level increased, a lightening (L^*) of the meat and a decrease in the intensity of the red colour were observed, independently of the sequence of the pressure treatment and brining. Meat treated at 300 MPa appeared similar to cooked meat. Based on the hue angle (h°), brining after pressure treatment was found to be preferable to pressure treatment in brine in terms of 'maintaining the red colour of the meat'.

The results show that pressure treatment of meat before brining can usefully complement brining to improve salt and water diffusion, water binding and/or brine absorption and to achieve a softer meat.

MELLÉKLETEK

M1. IRODALOMJEGYZÉK

1. 48/2016. (VII. 18.) FM rendelet, 2016. A Magyar Élelmiszerkönyv kötelező előírásairól szóló 152/2009. (XI. 12.) FVM rendelet módosításáról.
2. Abbasi Souraki, B., Ghaffari, A., Bayat, Y., 2012. Mathematical modeling of moisture and solute diffusion in the cylindrical green bean during osmotic dehydration in salt solution. *Food Bioprod. Process.* 90, 64–71. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2010.11.015>
3. Ahromrit, A., Ledward, D.A., Niranjan, K., 2006. High pressure induced water uptake characteristics of Thai glutinous rice. *J. Food Eng.* 72, 225–233. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.11.013>
4. Aliño, M., Grau, R., Baigts, D., Barat, J.M., 2009. Influence of sodium replacement on the salting kinetics of pork loin. *J. Food Eng.* 95, 551–557. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2009.06.016>
5. Aliño, M., Grau, R., Fernández-Sánchez, A., Arnold, A., Barat, J.M., 2010. Influence of brine concentration on swelling pressure of pork meat throughout salting. *Meat Sci.* 86, 600–606. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2010.04.010>
6. Andrés, A., Rodríguez-Barona, S., Barat, J.M., Fito, P., 2005. Salted cod manufacturing: influence of salting procedure on process yield and product characteristics. *J. Food Eng.* 69, 467–471. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.08.040>
7. Andrés, A.I., Adamsen, C.E., Møller, J.K.S., Ruiz, J., Skibsted, L.H., 2006. High-pressure treatment of dry-cured Iberian ham. Effect on colour and oxidative stability during chill storage packed in modified atmosphere. *Eur. Food Res. Technol.* 222, 486–491. <https://doi.org/10.1007/s00217-005-0176-x>
8. Andrés, A.I., Møller, J.K.S., Adamsen, C.E., Skibsted, L.H., 2004. High pressure treatment of dry-cured Iberian ham. Effect on radical formation, lipid oxidation and colour. *Eur. Food Res. Technol.* 219, 205–210. <https://doi.org/10.1007/s00217-004-0939-9>
9. Angsupanich, K., Edde, M., Ledward, D.A., 1999. Effects of High Pressure on the Myofibrillar Proteins of Cod and Turkey Muscle. *J. Agric. Food Chem.* 47, 92–99. <https://doi.org/10.1021/jf980587p>
10. Anson, M.L., 1938. THE ESTIMATION OF PEPSIN, TRYPSIN, PAPAIN, AND CATHEPSIN WITH HEMOGLOBIN. *J. Gen. Physiol.* 22, 79–89.
11. Ashie, I.N.A., Lanier, T.C., MacDonald, G.A., 1999. Pressure-induced Denaturation of Muscle Proteins and its Prevention by Sugars and Polyols. *J. Food Sci.* 64, 818–822. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1999.tb15919.x>
12. Atkinson, J.L., Follett, M.J., 1973. Biochemical studies on the discoloration of fresh meat. *J. Food Technol.* 51–58.
13. Azuara, E., Cortés, R., Garcia, H.S., Beristain, C.I., 1992. Kinetic model for osmotic dehydration and its relationship with Fick's second law. *Int. J. Food Sci. Technol.* 27, 409–418. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1992.tb01206.x>

14. Bajovic, B., Bolumar, T., Heinz, V., 2012. Quality considerations with high pressure processing of fresh and value added meat products. *Meat Sci.* 10.
15. Ballard, C.M., 2004. Thermal denaturation of carboxymyoglobin and the effect of carbon monoxide, pH, and injection enhancement on display and cooked color of beef. MSc Thesis. Kansas State University.
16. Balny, C., Masson, P., 1993. Effects of high pressure on proteins. *Food Rev. Int.* 9, 611–628. <https://doi.org/10.1080/87559129309540980>
17. Banerjee, R., Verma, A.K., 2015. Minimally Processed Meat and Fish Products, in: Siddiqui, M.W., Rahman, M.S. (Eds.), *Minimally Processed Foods: Technologies for Safety, Quality, and Convenience*, Food Engineering Series. Springer International Publishing, Cham, pp. 193–250. https://doi.org/10.1007/978-3-319-10677-9_10
18. Bansal, V., Siddiqui, M., Rahman, M., 2015. Minimally Processed Foods: Overview, in: *Food Engineering Series*. pp. 1–15. https://doi.org/10.1007/978-3-319-10677-9_1
19. Barat, J.M., Baigts, D., Aliño, M., Fernández, F.J., Pérez-García, V.M., 2011. Kinetics studies during NaCl and KCl pork meat brining. *J. Food Eng.* 106, 102–110. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2011.04.022>
20. Barat, J.M., Grau, R., Pagán-Moreno, M.J., Fito, P., 2004. Replacement of pile salting by simultaneous brine thawing–salting in Spanish cured ham manufacturing. *Meat Sci.* 66, 603–608. [https://doi.org/10.1016/S0309-1740\(03\)00176-1](https://doi.org/10.1016/S0309-1740(03)00176-1)
21. Barat, J.M., Rodríguez-Barona, S., Andrés, A., Fito, P., 2003. Cod salting manufacturing analysis. *Food Res. Int.* 36, 447–453. [https://doi.org/10.1016/S0963-9969\(02\)00178-3](https://doi.org/10.1016/S0963-9969(02)00178-3)
22. Bárdos L., Husvéth F., Kovács M., 2007. *Gazdasági állatok anatómiájának és élettanának alapjai*. Mezőgazda Kiadó, Magyarország.
23. Bauer, J., Biolo, G., Cederholm, T., Cesari, M., Cruz-Jentoft, A.J., Morley, J.E., Phillips, S., Sieber, C., Stehle, P., Teta, D., Visvanathan, R., Volpi, E., Boirie, Y., 2013. Evidence-based recommendations for optimal dietary protein intake in older people: a position paper from the PROT-AGE Study Group. *J. Am. Med. Dir. Assoc.* 14, 542–559. <https://doi.org/10.1016/j.jamda.2013.05.021>
24. Beltran, E., Pla, R., Capellas, M., Yuste, J., Mor-Mur, M., 2004. Lipid oxidation and colour in pressure- and heat-treated minced chicken thighs. *J. Sci. Food Agric.* 84, 1285–1289. <https://doi.org/10.1002/jsfa.1778>
25. Borggaard, C., Andersen, J.R., 2004. MEASUREMENT OF MEAT QUALITY, INSTRUMENTAL, in: *Encyclopedia of Meat Sciences*. pp. 675–680. <https://doi.org/10.1016/B0-12-464970-X/00101-X>
26. Boudhrioua, N., Bonazzi, C., Daudin, J.D., 2003. Moisture and Salt Transfers During Constant Temperature Drying of Gelatin Gels: Effects of Composition and of Water Flux Intensity. *Chem. Eng. Res. Des.*, 9th Congress of the French Society of Chemical Engineering 81, 1113–1122. <https://doi.org/10.1205/026387603770866263>
27. Bouton, P.E., Ford, A.L., Harris, P.V., Macfarlane, J.J., O'shea, J.M., 1977. Pressure-Heat Treatment of Postrigor Muscle: Effects on Tenderness. *J. Food Sci.* 42, 132–135. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1977.tb01235.x>

28. Buckow, R., Sikes, A., Tume, R., 2013. Effect of High Pressure on Physicochemical Properties of Meat. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 53, 770–786. <https://doi.org/10.1080/10408398.2011.560296>
29. Carlez, A., Veciana-Nogues, T., Cheftel, J.-C., 1995. Changes in Colour and Myoglobin of Minced Beef Meat Due to High Pressure Processing. *LWT - Food Sci. Technol.* 28, 528–538. <https://doi.org/10.1006/fstl.1995.0088>
30. Chappleau, N.J., de Lamballerie-Anton, M.I., 2003. Changes in myofibrillar proteins interactions and rheological properties induced by high-pressure processing. *Eur. Food Res. Technol.* 216, 470–476. <https://doi.org/10.1007/s00217-003-0684-5>
31. Cheah, P.B., Ledward, D.A., 1996. High pressure effects on lipid oxidation in minced pork. *Meat Sci.* 43, 123–134. [https://doi.org/10.1016/0309-1740\(96\)84584-0](https://doi.org/10.1016/0309-1740(96)84584-0)
32. Cheftel, J.C., Culioli, J., 1997. Effects of high pressure on meat: A review. *Meat Sci.* 46, 211–236. [https://doi.org/10.1016/S0309-1740\(97\)00017-X](https://doi.org/10.1016/S0309-1740(97)00017-X)
33. Chen, F., Zhang, M., Yang, C., 2020. Application of ultrasound technology in processing of ready-to-eat fresh food: A review. *Ultrason. Sonochem.* 63, 104953. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2019.104953>
34. Cheng, Q., Sun, D.-W., 2008. Factors Affecting the Water Holding Capacity of Red Meat Products: A Review of Recent Research Advances. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 48, 137–159. <https://doi.org/10.1080/10408390601177647>
35. Cierach, M., Modzelewska-Kapituła, M., 2011. EFFECTS OF pH VALUES AND FAT CONTENT ON SODIUM CHLORIDE DIFFUSION RATE IN PORK. *J. Food Process. Preserv.* 35, 129–142. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4549.2009.00465.x>
36. Cornforth, D.P., Jayasingh, P., 2004. Colour and pigment, in: Jensen, W.K. (Ed.), *Encyclopedia of Meat Sciences*. Oxford: Elsevier Academic Press, pp. 249–256.
37. Corzo, O., Bracho, N., 2007. Water effective diffusion coefficient of sardine sheets during osmotic dehydration at different brine concentrations and temperatures. *J. Food Eng.* 80, 497–502. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.06.008>
38. Corzo, O., Bracho, N., Rodríguez, J., 2012. Comparison of Peleg and Azuara et al. models in the modeling mass transfer during pile salting of goat sheets. *LWT - Food Sci. Technol.* 46, 448–452. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2011.12.002>
39. Costa-Corredor, A., Muñoz, I., Arnau, J., Gou, P., 2010a. Ion uptakes and diffusivities in pork meat brine-salted with NaCl and K-lactate. *LWT - Food Sci. Technol.* 43, 1226–1233. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2010.03.018>
40. Costa-Corredor, A., Pakowski, Z., Lenczewski, T., Gou, P., 2010b. Simulation of simultaneous water and salt diffusion in dry fermented sausages by the Stefan–Maxwell equation. *J. Food Eng.* 97, 311–318. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2009.10.021>
41. Crank, J., 1975. *The mathematics of diffusion*, 2d ed. ed. Clarendon Press, Oxford, [Eng].
42. Csehi, B., 2019. NAGY HIDROSZTATIKUS NYOMÁSKEZELÉS HATÁSA ÁLLATI EREDETŰ TERMÉKEK FEHÉRJESZERKEZETI ÉS FIZIKO-KÉMIAI TULAJDONSÁGAIRA, in: *PhD Dolgozat*. Szent István Egyetem.

43. Csima, G., 2015. ZSELATIN ALAPÚ ÉDESIPARI TERMÉK REOLÓGIÁJÁNAK JELLEMZÉSE, in: PhD Dolgozat. Budapesti Corvinus Egyetem. <https://doi.org/14267/phd.2015035>
44. Del Olmo, A., Morales, P., Ávila, M., Calzada, J., Nuñez, M., 2010. Effect of single-cycle and multiple-cycle high-pressure treatments on the colour and texture of chicken breast fillets. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.* 11, 441–444. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2010.01.012>
45. Deumier, F., Bohuon, P., Trystram, G., Saber, N., Collignan, A., 2003. Pulsed vacuum brining of poultry meat: experimental study on the impact of vacuum cycles on mass transfer. *J. Food Eng.* 58, 75–83. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(02\)00366-7](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(02)00366-7)
46. Duplecz K., 2011. Takarmányozás. Debreceni Egyetem.
47. Elgasim, E.A., Kennick, W.H., 1982. Effect of High Hydrostatic Pressure on Meat Microstructure 9.
48. Farkas, D.F., Hoover, D.G., 2000. High Pressure Processing. *J. Food Sci.* 65, 47–64. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2000.tb00618.x>
49. Farkas J., 1994. A DSC-termoanalitikai módszer néhány élelmiszertudományi alkalmazása. *Élelmiszervizsgálati Közlemények XL*, 180–189.
50. Farkas, J., Hajós, G., Szerdahelyi, E., Andrásy, E., Krommer, J., Mészáros, L., 2002. Protein changes in high pressure pressurized raw sausage batter. *Proc. Int. Congr. Meat Sci. Technol.* 25–30 August 2002 Rome Italy 180–191.
51. Faustman, C., Cassens, R.G., 1990. The Biochemical Basis for Discoloration in Fresh Meat: A Review. *J. Muscle Foods* 1, 217–243. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4573.1990.tb00366.x>
52. Fernández-Martín, F., 2007. Bird muscles under hydrostatic high-pressure/temperature combinations: A DSC evaluation. *J. Therm. Anal. Calorim.* 87, 285–290. <https://doi.org/10.1007/s10973-006-7809-6>
53. Fernández-Martín, F., Fernández, P., Carballo, J., Jiménez Colmenero, F., 1997. Pressure/Heat Combinations on Pork Meat Batters: Protein Thermal Behavior and Product Rheological Properties. *J. Agric. Food Chem.* 45, 4440–4445. <https://doi.org/10.1021/jf9702297>
54. Flores, J., Toldrá, F., 1993. , in: Macrea, R., Robinson, R., Sadle, M., Fullerlove, G. (Eds.), *Curing: Processes and Applications*. In *Encyclopedia of Food Science, Food Technology and Nutrition*. Academic Press, London.
55. Foucat, L., Benderbous, S., Bielicki, G., Zanca, M., Renou, J.P., 1995. Effect of brine injection on water dynamics in postmortem muscle: study of T2 and diffusion coefficients by MR microscopy. *Magn. Reson. Imaging* 13, 259–267. [https://doi.org/10.1016/0730-725x\(94\)00094-j](https://doi.org/10.1016/0730-725x(94)00094-j)
56. Friedrich L., 2008. Ultrahang alkalmazása húskészítmények minősítésében és gyártástechnológiájában, in: PhD dolgozat. Budapesti Corvinus Egyetem.

57. Gola, S., Mutti, P., Manganeli, E., Squarcina, N., Rovere, P., 2000. Behaviour of *E. coli* 0157:H7 strains in model system and in raw meat by hpp: Microbial and technological aspects. *High Press. Res.* 19, 91–97. <https://doi.org/10.1080/08957950008202541>
58. Gómez, J., Sanjuán, N., Arnau, J., Bon, J., Clemente, G., 2019. Modeling of sodium nitrite and water transport in pork meat. *J. Food Eng.* 249, 48–54. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2019.01.008>
59. Gómez, J., Sanjuán, N., Arnau, J., Bon, J., Clemente, G., 2017. Diffusion of nitrate and water in pork meat: Effect of the direction of the meat fiber. *J. Food Eng.* 214, 69–78. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.06.028>
60. Gómez, J., Sanjuán, N., Bon, J., Arnau, J., Clemente, G., 2015. Effect of temperature on nitrite and water diffusion in pork meat. *J. Food Eng.* 149, 188–194. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2014.10.008>
61. Gou, P., Comaposada, J., Arnau, J., 2003. NaCl content and temperature effects on moisture diffusivity in the *Gluteus medius* muscle of pork ham. *Meat Sci.* 63, 29–34. [https://doi.org/10.1016/S0309-1740\(02\)00048-7](https://doi.org/10.1016/S0309-1740(02)00048-7)
62. Gou, P., Comaposada, J., Arnau, J., 2002. Meat pH and meat fibre direction effects on moisture diffusivity in salted ham muscles dried at 5 °C. *Meat Sci.* 61, 25–31. [https://doi.org/10.1016/s0309-1740\(01\)00158-9](https://doi.org/10.1016/s0309-1740(01)00158-9)
63. Goutefongea, R., Rampon, V., Nicolas, J., Dumont, J.P., 1995. Meat color changes under high pressure treatment. *Proceeding 41st Int. Congr. Meat Sci. Technol. Proceeding 41st Int. Congr. Meat Sci. Technol. San Antonio Tex. 20–25 August 1995* 384–385.
64. Graiver, N., Pinotti, A., Califano, A., Zaritzky, N., 2009. Mathematical modeling of the uptake of curing salts in pork meat. *J. Food Eng.* 95, 533–540. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2009.06.027>
65. Graiver, N., Pinotti, A., Califano, A., Zaritzky, N., 2006. Diffusion of sodium chloride in pork tissue. *J. Food Eng.* 77, 910–918. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.08.018>
66. Grèbol, N., 2002. Commercial use of high hydrostatic pressure in sliced cooked ham in Spain, in: Hayashi, R. (Ed.), *Progress in Biotechnology, Trends in High Pressure Bioscience and Biotechnology*. Elsevier, pp. 385–388. [https://doi.org/10.1016/S0921-0423\(02\)80128-9](https://doi.org/10.1016/S0921-0423(02)80128-9)
67. Gross, M., Jaenicke, R., 1994. Proteins under pressure. The influence of high hydrostatic pressure on structure, function and assembly of proteins and protein complexes. *Eur. J. Biochem.* 221, 617–630. <https://doi.org/10.1111/j.1432-1033.1994.tb18774.x>
68. Hansen, C.L., van der Berg, F., Ringgaard, S., Stødkilde-Jørgensen, H., Karlsson, A.H., 2008. Diffusion of NaCl in meat studied by (1)H and (23)Na magnetic resonance imaging. *Meat Sci.* 80, 851–856. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2008.04.003>
69. Hendrickx, M., Ludikhuyze, L., Van den Broeck, I., Weemaes, C., 1998. Effects of high pressure on enzymes related to food quality. *Trends Food Sci. Technol.* 9, 197–203. [https://doi.org/10.1016/S0924-2244\(98\)00039-9](https://doi.org/10.1016/S0924-2244(98)00039-9)
70. Heremans, K., Smeller, L., 1998. Protein structure and dynamics at high pressure | Dedicated to the memory of Gregorio Weber (1916–1997), a pioneer in high

- pressure biophysics.1. *Biochim. Biophys. Acta BBA - Protein Struct. Mol. Enzymol.* 1386, 353–370. [https://doi.org/10.1016/S0167-4838\(98\)00102-2](https://doi.org/10.1016/S0167-4838(98)00102-2)
71. Hite, B.H., 1899. The effect of pressure in the preservation of milk : a preliminary report. West Virginia University Agricultural Experiment Station. <https://doi.org/10.33915/agnic.58>
 72. Hite, B.H., Giddings, N.J., Weakley, C.E., 1914. The Effect of Pressure on Certain Micro-Organisms Encountered in the Preservation of Fruits and Vegetables. West Virginia University Agricultural Experiment Station. <https://doi.org/10.33915/agnic.146>
 73. Homma, N., Ikeuchi, Y., Suzuki, A., 1996. Effect of high pressure treatment on proteolytic system in meat, in: Hayashi, R., Balny, C. (Eds.), *Progress in Biotechnology, High Pressure Bioscience and Biotechnology*. Elsevier, pp. 327–330. [https://doi.org/10.1016/S0921-0423\(06\)80054-7](https://doi.org/10.1016/S0921-0423(06)80054-7)
 74. Homma, N., Ikeuchi, Y., Suzuki, A., 1994. Effects of high pressure treatment on the proteolytic enzymes in meat. *Meat Sci.* 38, 219–228. [https://doi.org/10.1016/0309-1740\(94\)90111-2](https://doi.org/10.1016/0309-1740(94)90111-2)
 75. Honikel, K.O., 2010. Curing, in: Toldrá, F. (Ed.), *Handbook of Meat Processing*. pp. 125–141.
 76. Horgan, D.J., King, N.L., Kurth, L.B., Kuypers, R., 1990. Collagen crosslinks and their relationship to the thermal properties of calf tendons. *Arch. Biochem. Biophys.* 281, 21–26. [https://doi.org/10.1016/0003-9861\(90\)90407-p](https://doi.org/10.1016/0003-9861(90)90407-p)
 77. Hsu, K.-C., Hwang, J.-S., Yu, C.-C., Jao, C.-L., 2007. Changes in conformation and in sulfhydryl groups of actomyosin of tilapia (*Oreochromis niloticus*) on hydrostatic pressure treatment. *Food Chem.* 103, 560–564. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.09.001>
 78. <https://sensing.konicaminolta.asia>, n.d. A CIELab színingertér és a színezeti szög. URL <https://sensing.konicaminolta.asia/what-is-cie-1976-lab-color-space/> (hozzáférés dátuma: 2021.05.20.)
 79. <https://sensing.konicaminolta.us>, n.d. Konica Minlta CR400. URL <https://sensing.konicaminolta.us/us/products/cr-400-chroma-meter-colorimeter/> (hozzáférés dátuma: 2021.05.20.)
 80. <https://www.hiperbaric.com>, n.d. Hiperbaric 135 nagy hidrosztatikus nyomáskezelő berendezés. URL <https://www.hiperbaric.com/en/hpp-technology/equipment/hpp-in-pack/hiperbaric-135> (hozzáférés dátuma: 2021.05.20.)
 81. <https://www.lipolytech.com>, n.d. Az emésztési modellkísérlet fázisai. URL <https://www.lipolytech.com/our-expertise/about-us> (hozzáférés dátuma: 2021.05.20.)
 82. <https://www.meatpoultry.com>, n.d. Injektáló berendezés. URL <https://www.meatpoultry.com/articles/18538-injecting-added-value> (hozzáférés dátuma: 2021.05.20.)
 83. <https://www.ogyei.gov.hu>, . Termoanalitika. URL https://www.ogyei.gov.hu/dynamic/4_2008/2.2.34.pdf (hozzáférés dátuma: 2021.05.20.)
 84. <https://www.pubs.ext.vt.edu>, n.d. Száraz sózás. URL <https://www.pubs.ext.vt.edu/458/458-223/458-223.html> (lekérdezés dátuma: 2021.05.20.) (hozzáférés dátuma: 2021.05.20.)

85. <http://www.bio-rad.com>, n.d. Bio-Rad Mini-PROTEAN 4 Cell és Gel Doc XR Scanner. URL <http://www.bio-rad.com/> (hozzáférés dátuma: 2021.05.20.)
86. Hummel, B.C., 1959. A modified spectrophotometric determination of chymotrypsin, trypsin, and thrombin. *Can. J. Biochem. Physiol.* 37, 1393–1399.
87. Hunt, M., King, A., 2012. Meat Color Measurement Guidelines. American Meat Science Association, 201 West Springfield Avenue, Suite 1202 Champaign, Illinois USA 61820.
88. Ikeuchi, H., Suzuki, A., Oota, T., Hagiwara, K., Balny, C., 2002. Behaviour of actin under pressure, in: *Trends in High Pressure Bioscience and Biotechnology*. Elsevier Science; Amsterdam, The Netherlands, pp. 101–106.
89. Iwasaki, T., Noshiroya, K., Saitoh, N., Okano, K., Yamamoto, K., 2006. Studies of the effect of hydrostatic pressure pretreatment on thermal gelation of chicken myofibrils and pork meat patty. *Food Chem.* 10.
90. Iwasaki, T., Yamamoto, K., 2002. Effect of high hydrostatic pressure on chicken myosin subfragment-1. *Int. J. Biol. Macromol.* 30, 227–232. [https://doi.org/10.1016/s0141-8130\(02\)00037-5](https://doi.org/10.1016/s0141-8130(02)00037-5)
91. Jaeger, H., Reineke, K., Schössler, K., Knorr, D., 2012. Effects of Emerging Processing Technologies on Food Material Properties, in: *Food Materials Science and Engineering*. pp. 222–262. <https://doi.org/10.1002/9781118373903.ch9>
92. Jin, G., He, L., Wang, Q., Liu, C., Jin, Y., Huang, F., Ma, M., 2014. Pulsed pressure assisted brining of porcine meat. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.* 22, 76–80. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2013.12.014>
93. Jung, S., de Lamballerie-Anton, M., Ghoul, M., 2000a. Modifications of Ultrastructure and Myofibrillar Proteins of Post-rigor Beef Treated by High Pressure. *LWT - Food Sci. Technol.* 33, 313–319. <https://doi.org/10.1006/fstl.2000.0654>
94. Jung, S., Ghoul, M., de Lamballerie-Anton, M., 2003. Influence of high pressure on the color and microbial quality of beef meat. *LWT - Food Sci. Technol.* 36, 625–631. [https://doi.org/10.1016/S0023-6438\(03\)00082-3](https://doi.org/10.1016/S0023-6438(03)00082-3)
95. Jung, S., Ghoul, M., de Lamballerie-Anton, M., 2000b. Changes in lysosomal enzyme activities and shear values of high pressure treated meat during ageing. *Meat Sci.* 56, 239–246. [https://doi.org/10.1016/s0309-1740\(00\)00048-6](https://doi.org/10.1016/s0309-1740(00)00048-6)
96. Kajitani, S., Fukuoka, M., Sakai, N., 2011. Kinetics of Thermal Denaturation of Protein in Cured Pork Meat. *Jpn. J. Food Eng.* 12, 19–26. <https://doi.org/10.11301/jsfe.12.19>
97. Karłowski, K., Windyga, B., Fonberg-Broczek, M., Ścieżyńska, H., Grochowska, A., Górecka, K., Mroczek, J., Grochalska, D., Barabasz, A., Arabas, J., Szczepek, J., Porowski, S., 2002. Effects of High Pressure Treatment on the Microbiological Quality, Texture and Colour of Vacuum Packed Pork Meat Products. *High Press. Res.* 22, 725–732. <https://doi.org/10.1080/08957950212424>
98. Katekawa, M.E., Silva, M.A., 2006. A Review of Drying Models Including Shrinkage Effects. *Dry. Technol.* 24, 5–20. <https://doi.org/10.1080/07373930500538519>

99. Kaur, L., Astruc, T., Vénien, A., Loison, O., Cui, J., Irastorza, M., Boland, M., 2016. High pressure processing of meat: effects on ultrastructure and protein digestibility. *Food Funct.* 7, 2389–2397. <https://doi.org/10.1039/C5FO01496D>
100. Kenesei, Gy., 2018. Kíméletes hőkezelés és nagy hidrosztatikus nyomáskezelés kombinálásának hatása sertéshús egyes minőségjellemzőire, in: PhD Dolgozat. Szent István Egyetem.
101. Kim, Y., Lee, E.-J., Lee, N.-H., Kim, Y.-H., Yamamoto, K., 2007. Effects of hydrostatic pressure treatment on the physicochemical, morphological, and textural properties of bovine Semitendinosus muscle. *Food Sci. Biotechnol.* 16, 49–54.
102. Knorr, D. (Berlin U. of T., 1993. Effects of high-hydrostatic-pressure processes on food safety and quality. *Food Technol. USA.*
103. Knorr, D., Heinz, V., Buckow, R., 2006. High pressure application for food biopolymers. *Biochim. Biophys. Acta BBA - Proteins Proteomics, Proteins Under High Pressure* 1764, 619–631. <https://doi.org/10.1016/j.bbapap.2006.01.017>
104. Koohmaraie, M., 1994. Muscle proteinases and meat aging. *Meat Sci.*, Paper presented at the 38th International Congress of Meat Science and Technology 36, 93–104. [https://doi.org/10.1016/0309-1740\(94\)90036-1](https://doi.org/10.1016/0309-1740(94)90036-1)
105. Körmendi, L., 1991. A pácolásnál lejátszódó fizikai folyamatok. II. Húsipari Továbbképző Napok, Pácolt termékek gyártásának elmélete és gyakorlata, I. kötet. p. 78-84.,.
106. Korzeniowski, W., Jankowska, B., Kwiatkowska, A., 1999. The effect of high pressure on some technological properties of pork. *Electron. J. Pol. Agric. Univ. Ser. Food Sci. Technol.*
107. Kubo, T., Gerelt, B., Han, G.D., Sugiyama, T., Nishiumi, T., Suzuki, A., 2002. Changes in immunoelectron microscopic localization of cathepsin D in muscle induced by conditioning or high-pressure treatment. *Meat Sci.* 61, 415–418. [https://doi.org/10.1016/S0309-1740\(01\)00214-5](https://doi.org/10.1016/S0309-1740(01)00214-5)
108. Kuroda, Y., 2018. Biophysical studies of protein solubility and amorphous aggregation by systematic mutational analysis and a helical polymerization model. *Biophys. Rev.* 10, 473–480. <https://doi.org/10.1007/s12551-017-0342-y>
109. Laemmli, U.K., 1970. Cleavage of structural proteins during the assembly of the head of bacteriophage T4. *Nature* 227, 680–685. <https://doi.org/10.1038/227680a0>
110. Li, L., Liu, Y., Zou, X., He, J., Xu, X., Zhou, G., Li, C., 2017. In vitro protein digestibility of pork products is affected by the method of processing. *Food Res. Int.* 92, 88–94. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.12.024>
111. Linsberger-Martin, G., Weiglhofer, K., Thi Phuong, T.P., Berghofer, E., 2013. High hydrostatic pressure influences antinutritional factors and in vitro protein digestibility of split peas and whole white beans. *LWT - Food Sci. Technol.* 51, 331–336. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2012.11.008>
112. Listrat, A., Lebret, B., Louveau, I., Astruc, T., Bonnet, M., Lefaucheur, L., Picard, B., Bugeon, J., 2016. How Muscle Structure and Composition Influence Meat and Flesh Quality. *Sci. World J.* 2016, e3182746. <https://doi.org/10.1155/2016/3182746>

113. Liu, H., Guo, X., Li, Y., Li, H., Fan, H., Wang, M., 2016. In vitro digestibility and changes in physicochemical and textural properties of tartary buckwheat starch under high hydrostatic pressure. *J. Food Eng.* 189, 64–71.
<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2016.05.015>
114. Lőrinczy, D., Belagyi, J., 1995. Effects of nucleotide on skeletal muscle myosin unfolding in myofibrils by DSC. *Biochem. Biophys. Res. Commun.* 217, 592–598.
<https://doi.org/10.1006/bbrc.1995.2816>
115. Ma, H.-J., Ledward, D.A., 2004. High pressure/thermal treatment effects on the texture of beef muscle. *Meat Sci.* 68, 347–355. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2004.04.001>
116. Macfarlane, J., 2006. Pre-rigor Pressurization of Muscle: Effects on pH, Shear Value and Taste Panel Assessment. *J. Food Sci.* 38, 294–298. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1973.tb01409.x>
117. Macfarlane, J.J., 1985. High pressure technology and meat quality., in: *Developments in Meat Science*. Lawrie, R. A., Ed. Elsevier Applied Science Publishers;, New York, pp. 155–184.
118. Macfarlane, J.J., McKenzie, I.J., Turner, R.H., 1982. Pressure-induced pH and length changes in muscle. *Meat Sci.* 7, 169–181. [https://doi.org/10.1016/0309-1740\(82\)90083-3](https://doi.org/10.1016/0309-1740(82)90083-3)
119. Macfarlane, J.J., Morton, D.J., 1978. Effects of pressure treatment on the ultrastructure of striated muscle. *Meat Sci.* 2, 281–288. [https://doi.org/10.1016/0309-1740\(78\)90029-3](https://doi.org/10.1016/0309-1740(78)90029-3)
120. Marcos, B., 2014. High pressure induced changes in beef muscle proteome: Correlation with quality parameters. *Meat Sci.* 10.
121. Marcos, B., Kerry, J.P., Mullen, A.M., 2010. High pressure induced changes on sarcoplasmic protein fraction and quality indicators. *Meat Sci.* 85, 115–120.
<https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2009.12.014>
122. Martuscelli, M., Lupieri, L., Sacchetti, G., Mastrocola, D., Pittia, P., 2017. Prediction of the salt content from water activity analysis in dry-cured ham. *J. Food Eng.* 200, 29–39.
<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2016.12.017>
123. McDonnell, Ciara K., Allen, P., Chardonnerau, F.S., Arimi, J.M., Lyng, J.G., 2014. The use of pulsed electric fields for accelerating the salting of pork. *LWT - Food Sci. Technol.* 59, 1054–1060. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.05.053>
124. McDonnell, C.K., Allen, P., Morin, C., Lyng, J.G., 2014. The effect of ultrasonic salting on protein and water–protein interactions in meat. *Food Chem.* 147, 245–251.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.09.125>
125. Medyński, A., Pospiech, E., Kniat, R., 2000. Effect of various concentrations of lactic acid and sodium chloride on selected physico-chemical meat traits. *Meat Sci.* 55, 285–290.
[https://doi.org/10.1016/S0309-1740\(99\)00153-9](https://doi.org/10.1016/S0309-1740(99)00153-9)
126. Messens, W., Van Camp, J., Huyghebaert, A., 1997. The use of high pressure to modify the functionality of food proteins. *Trends Food Sci. Technol.* 8, 107–112.
[https://doi.org/10.1016/S0924-2244\(97\)01015-7](https://doi.org/10.1016/S0924-2244(97)01015-7)
127. Minekus, M., Alming, M., Alvito, P., Ballance, S., Bohn, T., Bourlieu, C., Carrière, F., Boutrou, R., Corredig, M., Dupont, D., Dufour, C., Egger, L., Golding, M., Karakaya, S.,

- Kirkhus, B., Le Feunteun, S., Lesmes, U., Macierzanka, A., Mackie, A., Marze, S., McClements, D.J., Ménard, O., Recio, I., Santos, C.N., Singh, R.P., Vegarud, G.E., Wickham, M.S.J., Weitschies, W., Brodkorb, A., 2014. A standardised static in vitro digestion method suitable for food - an international consensus. *Food Funct.* 5, 1113–1124. <https://doi.org/10.1039/c3fo60702j>
128. Morita, H., Niu, J., Sakata, R., Nagata, Y., 1996. Red pigment of Parma ham and bacterial influence on its formation. *J. Food Sci.* 61, 1021–1023.
 129. Mor-Mur, M., Yuste, J., 2003. High pressure processing applied to cooked sausage manufacture: physical properties and sensory analysis. *Meat Sci.* 65, 1187–1191. [https://doi.org/10.1016/S0309-1740\(03\)00013-5](https://doi.org/10.1016/S0309-1740(03)00013-5)
 130. Offer, G., Trinick, J., 1983. On the mechanism of water holding in meat: the swelling and shrinking of myofibrils. *Meat Sci.* 245–281.
 131. Okamoto, A., Suzuki, A., Ikeuchi, Y., Saito, M., 1995. Effects of High Pressure Treatment on Ca²⁺ Release and Ca²⁺ Uptake of Sarcoplasmic Reticulum. *Biosci. Biotechnol. Biochem.* 59, 266–270. <https://doi.org/10.1271/bbb.59.266>
 132. Ozuna, C., Puig, A., García-Pérez, J.V., Mulet, A., Cárcel, J.A., 2013. Influence of high intensity ultrasound application on mass transport, microstructure and textural properties of pork meat (*Longissimus dorsi*) brined at different NaCl concentrations. *J. Food Eng.* 119, 84–93. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.05.016>
 133. Pakowski, Z., Gou, P., Comaposada, J., Arnau, J., 2004. Simultaneous water and salt diffusion in meat during drying and curing of ham. . . , , 2004.
 134. Pakowski, Z., Gou, P., Comaposada, J., Arnau, J., n.d. SIMULTANEOUS WATER AND SALT DIFFUSION IN MEAT DURING DRYING AND CURING OF HAM 9.
 135. Papathanasiou, M.M., Reineke, K., Gogou, E., Taoukis, P.S., Knorr, D., 2015. Impact of high pressure treatment on the available glucose content of various starch types: A case study on wheat, tapioca, potato, corn, waxy corn and resistant starch (RS3). *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.* 30, 24–30. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2015.05.003>
 136. Peleg, M., 1988. An Empirical Model for the Description of Moisture Sorption Curves. *J. Food Sci.* 53, 1216–1217. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1988.tb13565.x>
 137. Pietrzak, D., Fonberg-Broczek, M., Mucka, A., Windyga, B., 2007. Effects of high pressure treatment on the quality of cooked pork ham prepared with different levels of curing ingredients. *High Press. Res. - HIGH Press. RES* 27, 27–31. <https://doi.org/10.1080/08957950601091087>
 138. Pighin, D.G., Gonzalez, C.B., 2008. Enrichment of Myofibrillar Proteins from Beef Muscle by a Simple Sequential Method. *J. Muscle Foods* 19, 362–373. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4573.2008.00122.x>
 139. Pinotti, A., Graiver, N., Califano, A., Zaritzky, N., 2002. Diffusion of Nitrite and Nitrate Salts in Pork Tissue in the Presence of Sodium Chloride. *J. Food Sci.* 67, 2165–2171. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2002.tb09521.x>

140. Pottier, L., Villamonte, G., de Lamballerie, M., 2017. Applications of high pressure for healthier foods. *Curr. Opin. Food Sci.* 16, 21–27.
<https://doi.org/10.1016/j.cofs.2017.06.009>
141. Purslow, P.P., 2017. The Structure and Growth of Muscle, in: *Lawrie's Meat Science*. Elsevier, pp. 49–97. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100694-8.00003-0>
142. Quintero-Chávez, R., Quintero-Ramos, A., Jiménez-Castro, J., Barnard, J., Márquez-Meléndez, R., de J. Zazueta-Morales, J., Balandrán-Quintana, R.R., 2012. Modeling of Total Soluble Solid and NaCl Uptake during Osmotic Treatment of Bell Peppers under Different Infusion Pressures. *Food Bioprocess Technol.* 5, 184–192.
<https://doi.org/10.1007/s11947-010-0358-9>
143. Rastogi, N.K., 2013. Recent Developments in High Pressure Processing of Foods, *SpringerBriefs in Food, Health, and Nutrition*. Springer US. <https://doi.org/10.1007/978-1-4614-7055-7>
144. Rastogi, N.K., Niranjana, K., 1998. Enhanced Mass Transfer During Osmotic Dehydration of High Pressure Treated Pineapple. *J. Food Sci.* 63, 508–511.
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1998.tb15774.x>
145. Rastogi, N.K., Raghavarao, K.S.M.S., Balasubramaniam, V.M., Niranjana, K., Knorr, D., 2007. Opportunities and challenges in high pressure processing of foods. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 47, 69–112. <https://doi.org/10.1080/10408390600626420>
146. Rubio, B., Martínez, B., García-Cachán, M.D., Rovira, J., Jaime, I., 2007. Effect of high pressure preservation on the quality of dry cured beef “Cecina de Leon.” *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.* 8, 102–110. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2006.08.004>
147. Scheibenzuber, M., Ruß, W., Görg, A., Meyer-Pittroff, R., 2002. Scanning electron microscopic study of high pressure induced microstructural changes of proteins in turkey and pork meat, in: Hayashi, R. (Ed.), *Progress in Biotechnology, Trends in High Pressure Bioscience and Biotechnology*. Elsevier, pp. 545–550. [https://doi.org/10.1016/S0921-0423\(02\)80151-4](https://doi.org/10.1016/S0921-0423(02)80151-4)
148. Schubring, R., 2005. Characterizing protein changes caused by application of high hydrostatic pressure on muscle food by means of DSC. *J. Therm. Anal. Calorim.* 82, 229–237. <https://doi.org/10.1007/s10973-005-0872-6>
149. Serra, X., Grèbol, N., Guàrdia, M.D., Guerrero, L., Gou, P., Masoliver, P., Gassiot, M., Sárraga, C., Monfort, J.M., Arnau, J., 2007. High pressure applied to frozen ham at different process stages. 2. Effect on the sensory attributes and on the colour characteristics of dry-cured ham. *Meat Sci.* 75, 21–28. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2006.06.010>
150. Shi, J., Le Maguer, M., 2002. OSMOTIC DEHYDRATION OF FOODS: MASS TRANSFER AND MODELING ASPECTS. *Food Rev. Int.* 18, 305–335.
<https://doi.org/10.1081/FRI-120016208>
151. Sikes, A.L., Tobin, A.B., Tume, R.K., 2009. Use of high pressure to reduce cook loss and improve texture of low-salt beef sausage batters 8.
152. Simonin, H., Durantón, F., de Lamballerie, M., 2012. New Insights into the HighPressure Processing of Meat and Meat Products 22.

153. Siró, I., Vén, Cs., Balla, Cs., Jónás, G., Zeke, I., Friedrich, L., 2009. Application of an ultrasonic assisted curing technique for improving the diffusion of sodium chloride in porcine meat. *J. Food Eng.* 91, 353–362. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2008.09.015>
154. Smit, N.R., Summerfield, J.W., Cannon, J.E., 2010. Use of High Pressure Processing to Improve Muscle Quality by Inhibiting Post Mortem Glycolysis. US20100048116A1.
155. Somkuti, J., 2013. Fehérjék nyomás által indukált szerkezetváltozásainak jellemzése infravörös és fluoreszcencia spektroszkópiai módszerekkel. *Semmelweis Egyetem*. <https://doi.org/10.14753/SE.2014.1919>
156. Sopianangkul, A., Ledward, D., Niranjana, K., 2002. Mass Transfer During Sucrose Infusion into Potatoes under High Pressure. *J. Food Sci.* 67, 2217–2220. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2002.tb09530.x>
157. Speroni, F., Szerman, N., Vaudagna, S.R., 2014. High hydrostatic pressure processing of beef patties: Effects of pressure level and sodium tripolyphosphate and sodium chloride concentrations on thermal and aggregative properties of proteins. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.* 23, 10–17. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2014.03.011>
158. Stabursvik, E., Martens, H., 1980. Thermal denaturation of proteins in Post rigor muscle tissue as studied by differential scanning calorimetry. *J. Sci. Food Agric.* 31, 1034–1042. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2740311010>
159. Suman, S.P., Joseph, P., 2013. Myoglobin Chemistry and Meat Color. *Annu Rev Food Sci Technol* 79–99.
160. Sun, W., Zhou, F., Zhao, M., Yang, B., Cui, C., 2011. Physicochemical changes of myofibrillar proteins during processing of Cantonese sausage in relation to their aggregation behaviour and in vitro digestibility. *Food Chem.* 129, 472–478. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.04.101>
161. Suzuki, A., Suzuki, N., Ikeuchi, Y., Saito, M., 1991. Effects of High Pressure Treatment on the Ultrastructure and Solubilization of Isolated Myofibrils. *Agric. Biol. Chem.* 55, 2467–2473. <https://doi.org/10.1080/00021369.1991.10871015>
162. Suzuki, A., Watanabe, M., Iwamura, K., Ikeuchi, Y., Saito, M., 1990. Effect of High Pressure Treatment on the Ultrastructure and Myofibrillar Protein of Beef Skeletal Muscle. *Agric. Biol. Chem.* 54, 3085–3091. <https://doi.org/10.1080/00021369.1990.10870479>
163. Tauscher, B., 1995. Pasteurization of food by hydrostatic high pressure: chemical aspects. *Z. Für Lebensm.-Unters. Forsch.* 200, 3–13. <https://doi.org/10.1007/BF01192901>
164. Telis, V.R.N., Murari, R.C.B.D.L., Yamashita, F., 2004. Diffusion coefficients during osmotic dehydration of tomatoes in ternary solutions. *J. Food Eng.* 61, 253–259. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(03\)00097-9](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(03)00097-9)
165. Telis, V.R.N., Romanelli, P.F., Gabas, A.L., Telis-Romero, J., 2003. Salting kinetics and salt diffusivities in farmed Pantanal caiman muscle. *Pesqui. Agropecuária Bras.* 38, 529–535. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2003000400012>
166. Thorarinsdottir, K.A., Arason, S., Bogason, S.G., Kristbergsson, K., 2004. The effects of various salt concentrations during brine curing of cod (*Gadus morhua*), *International*

- Journal of Food Science and Technology, 39 (1), pp. 79-89, 2004. <http://dx.doi.org/10.1046/j.0950-5423.2003.00757.x>. *Int. J. Food Sci. Technol.* 79–89.
167. Tintchev, F., Bindrich, U., Toep, S., 2013. High hydrostatic pressure/temperature modeling of frankfurter batters. *Meat Sci.* 12.
 168. Tintchev, F., Wackerbarth, H., Kuhlmann, U., Toepfl, S., Knorr, D., Hildebrandt, P., Heinz, V., 2010. Molecular effects of high-pressure processing on food studied by resonance Raman. *Ann. N. Y. Acad. Sci.* 1189, 34–42. <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.2009.05204.x>
 169. Toldrá, F., 2010. *Handbook of Meat Processing* | Wiley [WWW Document]. Wiley.com. URL <https://www.wiley.com/en-us/Handbook+of+Meat+Processing-p-9780813821825> (accessed 2.14.21).
 170. Toldrá, F., 2006. Dry-cured ham. In: Hui YH (ed) *Handbook of food science, technology, and engineering*, 4th edn. CRC Press, Boca Raton.
 171. Toldrá, F., 2002. *Dry-cured meat products*, Publications in food science and nutrition. Food & Nutrition Press, Trumbull, Conn.
 172. Toldrá, F., Hui, Y.H., Astiasaran, I., Sebranek, J., Talon, R., 2014. *Handbook of fermented meat and poultry*, 2nd edn. Wiley, Blackwell.
 173. Vadáné, K.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.
 174. Vigh B., Kondics L., 1997. *Összehasonlító szövettan*. Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest.
 175. Viguier, M.G., 2001. Influencia de las variables de proceso en la evolución físico-química y bioquímica del lomo embuchado (<https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=243067>). Universitat Politècnica de València.
 176. Villacís, M.F., Rastogi, N.K., Balasubramaniam, V.M., 2008. Effect of high pressure on moisture and NaCl diffusion into turkey breast. *LWT - Food Sci. Technol.* 41, 836–844. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2007.05.018>
 177. Vodyanova, I.V., 2012. Mathematical modelling of mixing of salt in minced meat by bowl-cutter. *J. Food Eng.* 8.
 178. 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. *J. Food Eng.* 7.
 179. Wackerbarth, H., Kuhlmann, U., Tintchev, F., Heinz, V., Hildebrandt, P., 2009. Structural changes of myoglobin in pressure-treated pork meat probed by resonance Raman spectroscopy. *Food Chem.* 115, 1194–1198. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.01.027>
 180. Wakamatsu, J., Nishimura, T., Hattori, A., 2005. WAKAMATSU J., NISHIMURA T., HATTORI A. (2005): Localization of zinc protoporphyrin ix (ZPP) in parma ham. 811-814. p. *Proceedings. 51st International Congress of Meat Science and Technology*. Baltimore, USA, 7-12 August 2005. *Proc. 51st Int. Congr. Meat Sci. Technol. Baltim. USA 7-12 August 2005* 811–814.

181. Wang, Z., Xu, W., Kang, N., Shen, Q., Zhang, D., 2016. Microstructural, protein denaturation and water holding properties of lamb under pulse vacuum brining. *Meat Sci.* 113, 132–138. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2015.11.015>
182. Xargayó, M., Lagares, J., 1992. Computerized massaging of meat, 4, 28– 35. *Fleishwirtschaft* 4, 28–35.
183. Xiong, Y.L., Lou, X., Harmon, R.J., Wang, C., Moody, W.G., 2000. Salt- and pyrophosphate-induced structural changes in myofibrils from chicken red and white muscles. *J. Sci. Food Agric.* 80, 1176–1182. [https://doi.org/10.1002/1097-0010\(200006\)80:8<1176::AID-JSFA615>3.0.CO;2-M](https://doi.org/10.1002/1097-0010(200006)80:8<1176::AID-JSFA615>3.0.CO;2-M)
184. Yamamoto, K., Hayashi, S., Yasui, T., 1993. Hydrostatic Pressure-induced Aggregation of Myosin Molecules in 0.5 M KCl at pH 6.0. *Biosci. Biotechnol. Biochem.* 57, 383–389. <https://doi.org/10.1271/bbb.57.383>
185. Yamamoto, K., Miura, T., Yasui, T., 1990. Gelatin of Myosin Filament Under High Hydrostatic Pressure. *Food Struct.* 9.
186. Yamamoto, K., Yoshida, Y., Morita, J., Yasui, T., 1994. Morphological and Physicochemical Changes in the Myosin Molecules Induced by Hydrostatic Pressure1. *J. Biochem. (Tokyo)* 116, 215–220. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.jbchem.a124496>
187. Yordanov, D.G., Angelova, G.V., 2010. High Pressure Processing for Foods Preserving. *Biotechnol. Biotechnol. Equip.* 24, 1940–1945. <https://doi.org/10.2478/V10133-010-0057-8>
188. Zamri, A.I., Ledward, D.A., Frazier, R.A., 2006. Effect of combined heat and high-pressure treatments on the texture of chicken breast muscle (pectoralis fundus). *J. Agric. Food Chem.* 54, 2992–2996. <https://doi.org/10.1021/jf051791x>
189. Zhang, Q., Xiong, S., Liu, R., Xu, J., Zhao, S., 2011. Diffusion kinetics of sodium chloride in Grass carp muscle and its diffusion anisotropy. *J. Food Eng.* 107, 311–318. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2011.07.011>
190. Zhang, Y., Dai, B., Deng, Y., Zhao, Y., 2016. In vitro anti-inflammatory and antioxidant activities and protein quality of high hydrostatic pressure treated squids (*Todarodes pacificus*). *Food Chem.* 203, 258–266. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.02.072>
191. Zugarramurdi, A., Lupín, H.M., 1980. A Model to Explain Observed Behavior on Fish Salting. *J. Food Sci.* 45, 1305–1311. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1980.tb06543.x>

M2. EGYÉB MELLÉKLETEK

1. melléklet: Húshengerek sótartalma (m/m%) az 5 m/m% és 10 m/m% páclében nyomáskezelések során (0 MPa a nyomáskezelés nélküli mintát jelenti)

t, perc	nyers hús	0 MPa 5%	100 MPa 5%	200 MPa 5%	300 MPa 5%	0 MPa 10%	100 MPa 10%	200 MPa 10%	300 MPa 10%
0	0,2								
0	0,2								
0	0,2								
7		1,1	1,0	0,8	0,8	2,5	2,1	1,9	1,9
7		1,1	0,9	0,8	0,9	2,5	2,1	1,9	2,1
7		1,1	0,9	0,8	0,8	2,5	2,1	1,9	1,9
10		1,2	1,0	0,9	0,9	2,7	2,5	2,1	1,9
10		1,2	1,0	0,9	0,9	2,7	2,5	2,1	2,1
10		1,2	1,0	0,9	0,8	2,7	2,5	2,1	1,9
13		1,2	1,0	0,9	0,9	2,7	2,5	2,1	2,1
13		1,2	1,1	0,9	0,9	2,9	2,5	2,3	2,1
13		1,3	1,1	0,9	0,9	2,9	2,5	2,3	2,1
16		1,3	1,1	1,0	1,1	3,0	2,6	2,5	2,3
16		1,3	1,2	1,1	1,0	2,8	2,6	2,5	2,3
16		1,3	1,2	1,0	1,1	2,8	2,8	2,5	2,3
23		1,5	1,4	1,3	1,3	3,1	3,1	3,0	2,9
23		1,5	1,4	1,3	1,2	3,3	3,1	3,0	2,7
23		1,5	1,4	1,3	1,3	3,3	3,1	3,0	2,9

2. melléklet: Húshengerek sótartalma (m/m%) a nyomáskezelést követően végzett 5 m/m% és 10 m/m% páclében pácolások során (0 MPa a nyomáskezelés nélküli mintát jelenti)

t, perc	nyers hús	0 MPa 5%	100 MPa 5%	200 MPa 5%	300 MPa 5%	0 MPa 10%	100 MPa 10%	200 MPa 10%	300 MPa 10%
0	0,2								
0	0,2								
0	0,2								
7		1,0	1,2	0,9	0,8	2,1	2,5	1,9	1,9
7		1,2	1,2	0,9	0,8	2,3	2,5	1,9	1,9
7		1,1	1,2	0,9	0,8	2,3	2,5	1,9	1,9
10		1,1	1,3	1,0	1,0	2,7	2,8	2,1	2,1
10		1,2	1,3	1,0	1,0	2,5	2,6	2,3	2,1
10		1,2	1,2	1,0	1,0	2,3	2,8	2,3	2,1
13		1,2	1,4	1,2	1,0	2,7	2,9	2,5	2,3
13		1,2	1,3	1,1	1,0	2,7	2,9	2,3	2,3
13		1,2	1,4	1,2	1,0	2,9	3,1	2,3	2,3
16		1,3	1,5	1,2	1,1	3,0	3,1	2,5	2,3
16		1,3	1,5	1,2	1,1	2,8	3,1	2,5	2,3
16		1,3	1,5	1,2	1,1	2,8	3,1	2,5	2,3
23		1,4	1,6	1,3	1,3	3,1	3,4	2,7	2,5
23		1,4	1,6	1,3	1,3	3,3	3,6	2,7	2,5
23		1,4	1,6	1,3	1,3	3,3	3,6	2,7	2,7

3. melléklet: Húshengerek nedvességtartalma (%) az 5 m/m% és 10 m/m% páclében nyomáskezelések során (0 MPa a nyomáskezelés nélküli mintát jelenti)

t, perc	nyers hús	0 MPa 5%	100 MPa 5%	200 MPa 5%	300 MPa 5%	0 MPa 10%	100 MPa 10%	200 MPa 10%	300 MPa 10%
0	72,4								
0	71,5								
0	72,0								
7		78,8	78,0	75,9	76,9	77,8	76,3	76,2	76,9
7		79,6	78,8	75,0	75,7	78,7	75,4	75,4	76,2
7		77,9	77,3	76,8	78,0	77,0	77,1	76,9	77,6
10		79,2	78,5	77,0	77,3	79,7	78,1	76,9	77,1
10		78,0	77,6	76,2	76,0	81,1	78,6	76,0	78,2
10		80,3	79,3	77,8	78,6	78,4	77,6	77,8	76,0
13		80,3	78,9	77,2	77,4	81,5	79,5	77,3	78,0
13		81,0	79,6	76,3	78,0	80,4	78,6	76,5	78,6
13		79,7	78,3	78,0	76,8	82,5	80,4	78,2	77,3
16		80,6	79,7	77,5	78,2	82,4	80,8	78,6	79,2
16		79,7	80,5	78,5	77,1	81,5	81,5	77,4	78,6
16		81,6	79,0	76,5	79,2	83,2	80,1	79,8	79,9
23		82,6	81,6	79,8	78,9	84,1	83,6	80,2	81,1
23		83,4	80,8	81,0	79,6	85,4	83,2	81,4	81,5
23		81,9	82,5	78,6	78,2	82,9	84,0	78,9	80,6

4. melléklet: Húshengerek nedvességtartalma (%) a nyomáskezelést követően végzett 5 m/m% és 10 m/m% páclében pácolások során (0 MPa a nyomáskezelés nélküli mintát jelenti)

t, perc	nyers hús	0 MPa 5%	100 MPa 5%	200 MPa 5%	300 MPa 5%	0 MPa 10%	100 MPa 10%	200 MPa 10%	300 MPa 10%
0	72,4								
0	71,5								
0	72,0								
7		78,8	78,8	75,7	74,8	77,8	81,0	76,0	75,9
7		79,6	79,4	75,0	73,7	78,6	81,9	75,0	75,4
7		77,9	78,2	76,3	75,8	77,1	80,2	76,9	76,5
10		77,9	80,0	76,1	76,2	79,7	81,5	77,0	77,6
10		78,6	80,6	75,6	77,3	79,1	81,0	77,7	78,2
10		77,3	79,5	76,6	75,2	80,2	82,1	76,4	77,1
13		77,7	80,3	76,9	75,8	81,5	83,2	78,9	77,1
13		78,1	79,4	77,8	76,6	81,0	82,6	79,5	77,8
13		77,4	81,1	76,0	75,0	82,1	83,7	78,4	76,4
16		77,9	80,6	76,7	75,5	81,7	83,4	79,1	77,9
16		77,1	81,2	76,2	75,0	81,0	83,0	79,8	77,4
16		78,7	80,1	77,2	76,1	82,3	83,9	78,5	78,5
23		80,0	82,6	78,1	76,5	83,2	87,0	81,2	80,2
23		81,0	81,7	78,8	75,8	83,9	87,7	81,5	80,9
23		79,0	83,4	77,5	77,1	82,4	86,2	80,8	79,4

5. melléklet: Húshengerek vízkötő képessége (%) az 5 m/m% és 10 m/m%-os páclében nyomáskezelések során (átlag±szórás) (n=3)

páclé konc. 5 m/m%	időtartam (perc)					
	0	7	10	13	16	23
Nyomáskezelés nélkül	0±0	6,8±1,2	6,9±1,1	7,3±1,4	7,4±0,9	7,6±0,8
100 MPa	0±0	6±1,3	6,3±1,1	6,5±1,2	6,6±0,9	6,6±0,6
200 MPa	0±0	4,6±1,4	5,1±0,8	5,1±0,8	5,4±0,8	5,6±1
300 MPa	0±0	4,9±0,8	5,7±0,8	5,6±0,9	5,9±1	5,8±1,1

páclé konc. 10 m/m%	időtartam (perc)					
	0	7	10	13	16	23
Nyomáskezelés nélkül	0±0	7,9±0,6	8±0,3	8±0,9	8,3±0,9	8,4±0,7
100 MPa	0±0	5,7±0,4	6,5±0,5	7,5±1,4	7,7±0,2	7,7±0,9
200 MPa	0±0	5,7±0,7	5,9±0,5	6,1±0,7	6,3±0,6	6,3±0,6
300 MPa	0±0	4,6±0,7	5,2±0,6	5,2±0,8	5,3±0,9	5,2±0,6

6. melléklet: Húshengerek vízkötő képessége (%) a nyomáskezelést követően végzett 5 m/m% és 10 m/m%-os páclében pácolások során (átlag±szórás) (n=3)

páclé konc. 5 m/m%	időtartam (perc)					
	0	7	10	13	16	23
Nyomáskezelés nélkül	0±0	6,8±7	6,9±10	7,3±13	7,4±16	7,6±23
100 MPa	0±0	9,1±7,9	9,2±8	9,3±8	9,4±8,3	9,5±8,4
200 MPa	0±0	6,2±9,7	6,5±10	6,6±10,1	6,8±10,2	7,1±10,3
300 MPa	0±0	5,6±7	6,1±7,2	6,3±7,1	5,8±7,7	5,9±7,2

páclé konc. 10 m/m%	időtartam (perc)					
	0	7	10	13	16	23
Nyomáskezelés nélkül	0±0	1,2±0,6	1,1±0,3	1,4±0,9	0,9±0,9	2,3±0,7
100 MPa	0±0	0,8±0,9	0,8±1,3	0,7±0,5	0,7±1,4	0,8±0,9
200 MPa	0±0	0,8±0,9	1,1±1,2	0,6±0,8	1±0,8	0,6±0,8
300 MPa	0±0	1,4±1	1,1±0,8	1,2±0,9	1,1±0,8	0,7±0,7

7. melléklet: Húshengerek keménysége (N) az 5 m/m% és 10 m/m% páclében nyomáskezelések során (0 MPa a nyomáskezelés nélküli mintát jelenti) (átlag±szórás) (n=3)

páclé konc. 5 m/m%	időtartam (perc)					
	0	7	10	13	16	23
Nyomáskezelés nélkül	137,6±5,5	121,2±2,9	116,8±2	94,5±7,1	78,1±10	64,8±2,5
100 MPa	137,6±5,5	135,7±19,5	102,9±8,6	92,5±0,5	88,8±2,6	80,8±3,1
200 MPa	137,6±5,5	119,2±3,9	114,3±0,5	109,8±0,6	103,8±3,9	97±1,8
300 MPa	137,6±5,5	130,3±18,3	117,5±21,5	111,2±10,6	91,4±5,9	82,3±2,8

páclé konc. 10 m/m%	időtartam (perc)					
	0	7	10	13	16	23
Nyomáskezelés nélkül	137,6±5,5	164,7±12	149,2±1,5	141,3±4,4	127,7±4	95,9±17,1
100 MPa	137,6±5,5	121,2±5,9	114,8±2,4	109,8±1,5	106,4±2,3	96,1±1,9
200 MPa	137,6±5,5	132,7±0,7	122,4±8,5	112,6±0,9	108±2,6	101,5±1,3
300 MPa	137,6±5,5	149,2±21,4	130,8±5	125,4±0,3	116,6±3,7	105,6±5,4

8. melléklet: Húshengerek kohezivitás értékei az 5 m/m% és 10 m/m% páclében nyomáskezelések során (0 MPa a nyomáskezelés nélküli mintát jelenti) (átlag±szórás) (n=3)

páclé konc. 5 m/m%	időtartam (perc)					
	0	7	10	13	16	23
Nyomáskezelés nélkül	0,45±0,07	0,48±0,04	0,43±0,02	0,4±0,01	0,36±0,03	0,32±0,01
100 MPa	0,45±0,07	0,55±0,06	0,49±0,01	0,47±0,01	0,44±0,01	0,35±0,05
200 MPa	0,45±0,07	0,55±0,04	0,48±0,02	0,46±0,01	0,44±0,01	0,41±0,01
300 MPa	0,45±0,07	0,55±0,02	0,52±0	0,5±0,01	0,47±0,02	0,38±0,04

páclé konc. 10 m/m%	időtartam (perc)					
	0	7	10	13	16	23
Nyomáskezelés nélkül	0,45±0,07	0,46±0,01	0,44±0	0,42±0,01	0,4±0,01	0,36±0,05
100 MPa	0,45±0,07	0,55±0,01	0,53±0,01	0,51±0,01	0,48±0,01	0,47±0,01
200 MPa	0,45±0,07	0,58±0,01	0,55±0,01	0,53±0,01	0,5±0,01	0,46±0,02
300 MPa	0,45±0,07	0,59±0,01	0,58±0	0,55±0,01	0,51±0,02	0,43±0,04

9. melléklet: Húshengerek keménysége (N) a nyomáskezelést követően végzett 5 m/m% és 10 m/m% páclében pácolások során (0 MPa a nyomáskezelés nélküli mintát jelenti) (átlag±szórás) (n=3)

páclé konc. 5 m/m%	időtartam (perc)					
	0	7	10	13	16	23
Nyomáskezelés nélkül	137,6±5,5	137,6±5,5	117,8±2,6	91,3±2,8	78±9,8	64,3±3,2
100 MPa	137,6±5,5	88,8±8,4	73±3,4	46±3,4	38,2±4,5	30±5,2
200 MPa	137,6±5,5	121,8±3,9	96,5±12,1	66,3±9,4	48,6±6	29,4±5,5
300 MPa	137,6±5,5	98,9±5,4	69,7±1	66,2±2,7	60,3±2,5	47,8±2,6

páclé konc. 10 m/m%	időtartam (perc)					
	0	7	10	13	16	23
Nyomáskezelés nélkül	137,6±5,5	164,7±12	143,8±7,2	97,7±4	66,1±16,8	46,5±2,9
100 MPa	137,6±5,5	121,3±8,9	81,4±15,5	61,7±1,3	44,1±5,6	29,5±11,1
200 MPa	137,6±5,5	116,4±3	88±0,6	82,4±4,9	71,5±4,1	57,6±6,6
300 MPa	137,6±5,5	142,7±9	100±10,7	78,4±9	37,6±4,8	16,7±9,5

10. melléklet: Húshengerek kohezivitás értékei a nyomáskezelést követően végzett 5 m/m% és 10 m/m% páclében pácolások során (0 MPa a nyomáskezelés nélküli mintát jelenti) (átlag±szórás) (n=3)

páclé konc. 5 m/m%	időtartam (perc)					
	0	7	10	13	16	23
Nyomáskezelés nélkül	0,45±0,07	0,48±0,04	0,43±0,02	0,4±0,01	0,36±0,03	0,32±0,01
100 MPa	0,45±0,07	0,45±0,02	0,4±0,01	0,38±0,02	0,35±0,01	0,32±0,01
200 MPa	0,45±0,07	0,49±0,02	0,46±0,01	0,43±0,02	0,41±0	0,38±0,03
300 MPa	0,45±0,07	0,48±0,03	0,42±0,01	0,39±0,01	0,37±0	0,34±0,03

páclé konc. 10 m/m%	időtartam (perc)					
	0	7	10	13	16	23
Nyomáskezelés nélkül	0,45±0,07	0,46±0,01	0,44±0	0,42±0,01	0,4±0,01	0,36±0,05
100 MPa	0,45±0,07	0,51±0,02	0,45±0,02	0,41±0,01	0,36±0,03	0,29±0,05
200 MPa	0,45±0,07	0,47±0,03	0,42±0,01	0,4±0	0,38±0,01	0,3±0,06
300 MPa	0,45±0,07	0,42±0	0,41±0	0,39±0,02	0,35±0,01	0,27±0,05

11. melléklet: Az 5 m/m%-os páclében nyomáskezelt húshengerek CIELab színtényező és színezeti szöge (h°) értékei (átlag \pm szórás) ($n=3$)

L*	időtartam (perc)					
	0	7	10	13	16	23
páclé konc. 5 m/m%						
Nyomáskezelés nélkül	53,32 \pm 1,79	43,89 \pm 1,79	44,06 \pm 1,22	41,69 \pm 1,78	41,37 \pm 1,24	45,18 \pm 3,39
100 MPa	53,32 \pm 1,79	44,84 \pm 0,37	46,23 \pm 2,72	43,82 \pm 0,45	47,12 \pm 1,62	48,37 \pm 2,62
200 MPa	53,32 \pm 1,79	51,36 \pm 1,66	52,72 \pm 1,3	56,37 \pm 1,24	58,35 \pm 2,71	58,49 \pm 1,66
300 MPa	53,32 \pm 1,79	60,6 \pm 3,04	65,76 \pm 2,38	68,99 \pm 1,19	69,33 \pm 2,62	67,63 \pm 1,33

a*	időtartam (perc)					
	0	7	10	13	16	23
páclé konc. 5 m/m%						
Nyomáskezelés nélkül	6,03 \pm 0,27	8,23 \pm 0,3	7,94 \pm 0,58	8,11 \pm 0,69	8,19 \pm 0,68	6,65 \pm 0,96
100 MPa	6,03 \pm 0,27	8,21 \pm 1,1	7,15 \pm 0,68	8,47 \pm 1,18	7,91 \pm 1,24	6,58 \pm 0,28
200 MPa	6,03 \pm 0,27	6,34 \pm 0,48	6,16 \pm 0,44	6,4 \pm 0,86	7,02 \pm 0,46	8,44 \pm 0,83
300 MPa	6,03 \pm 0,27	7,62 \pm 0,63	6,64 \pm 0,98	6,5 \pm 0,63	6,55 \pm 1,34	7,02 \pm 0,42

b*	időtartam (perc)					
	0	7	10	13	16	23
páclé konc. 5 m/m%						
Nyomáskezelés nélkül	5,53 \pm 0,86	2,74 \pm 0,8	3,22 \pm 1,17	2,65 \pm 1,11	2,2 \pm 0,19	3,79 \pm 0,76
100 MPa	5,53 \pm 0,86	4,9 \pm 0,5	4,76 \pm 0,93	4,51 \pm 0,79	4,76 \pm 1,59	4,52 \pm 1,14
200 MPa	5,53 \pm 0,86	4,32 \pm 1,43	3,7 \pm 1,14	4,6 \pm 0,71	5,46 \pm 1,3	6,15 \pm 0,88
300 MPa	5,53 \pm 0,86	6,72 \pm 0,67	7,34 \pm 0,47	7,75 \pm 0,28	7,18 \pm 0,47	6,56 \pm 0,46

h°	időtartam (perc)					
	0	7	10	13	16	23
páclé konc. 5 m/m%						
Nyomáskezelés nélkül	42,3 \pm 4,98	18,38 \pm 5,48	21,73 \pm 7,25	17,98 \pm 6,97	15,1 \pm 1,97	29,92 \pm 7,96
100 MPa	42,3 \pm 4,98	28,04 \pm 1,32	30,21 \pm 5,21	25,34 \pm 1,89	27,29 \pm 5,65	30,52 \pm 6,39
200 MPa	42,3 \pm 4,98	33,32 \pm 8,66	30,51 \pm 7,7	35,76 \pm 4,98	37,48 \pm 6,88	36 \pm 3,13
300 MPa	42,3 \pm 4,98	41,4 \pm 3,19	48,05 \pm 4,63	50,08 \pm 2,35	47,96 \pm 7,66	43,05 \pm 2,79

12. melléklet: A 10 m/m%-os páclében nyomáskezelt húshengerek CIELab színtényező és színezeti szög (h°) értékei (átlag \pm szórás) ($n=3$)

L*		időtartam (perc)					
páclé konc. 10 m/m%	0	7	10	13	16	23	
Nyomáskezelés nélkül	53,32 \pm 1,79	38,94 \pm 2,5	39,02 \pm 1,88	39,13 \pm 1,51	39,44 \pm 1,68	41,46 \pm 1,15	
100 MPa	53,32 \pm 1,79	41,37 \pm 1,92	41,13 \pm 0,6	39,98 \pm 0,91	41,11 \pm 1,81	43,02 \pm 2,75	
200 MPa	53,32 \pm 1,79	48,34 \pm 0,61	48,47 \pm 1,78	52,56 \pm 2,22	55,68 \pm 2,71	58,06 \pm 1,44	
300 MPa	53,32 \pm 1,79	59,21 \pm 2,53	64,44 \pm 0,6	65,5 \pm 1,39	63,35 \pm 0,99	65,2 \pm 3,45	

a*		időtartam (perc)					
páclé konc. 10 m/m%	0	7	10	13	16	23	
Nyomáskezelés nélkül	6,03 \pm 0,27	8,16 \pm 0,54	8,47 \pm 0,79	7,8 \pm 0,51	7,86 \pm 0,76	6,05 \pm 0,32	
100 MPa	6,03 \pm 0,27	7,81 \pm 0,65	7,4 \pm 0,86	7,76 \pm 1	7,95 \pm 0,85	6,54 \pm 1,01	
200 MPa	6,03 \pm 0,27	6,98 \pm 0,72	6,98 \pm 1,32	7,23 \pm 0,89	6,01 \pm 0,83	7,19 \pm 0,95	
300 MPa	6,03 \pm 0,27	7,72 \pm 0,54	7,16 \pm 0,3	6,69 \pm 0,65	7,84 \pm 0,74	6,9 \pm 0,73	

b*		időtartam (perc)					
páclé konc. 10 m/m%	0	7	10	13	16	23	
Nyomáskezelés nélkül	5,53 \pm 0,86	2,16 \pm 1,1	2,97 \pm 0,58	2,05 \pm 1,04	2,89 \pm 0,81	2,05 \pm 0,67	
100 MPa	5,53 \pm 0,86	4,17 \pm 0,91	3,94 \pm 0,76	3,56 \pm 0,53	3,76 \pm 1,38	4,15 \pm 0,59	
200 MPa	5,53 \pm 0,86	5,29 \pm 0,69	4,32 \pm 0,72	5,05 \pm 0,89	4,31 \pm 2,13	6,2 \pm 0,86	
300 MPa	5,53 \pm 0,86	6,98 \pm 1,13	8,27 \pm 0,63	8,25 \pm 0,58	6,87 \pm 0,66	8,08 \pm 0,61	

h°		időtartam (perc)					
páclé konc. 10 m/m%	0	7	10	13	16	23	
Nyomáskezelés nélkül	42,3 \pm 4,98	14,91 \pm 7,98	19,31 \pm 3,43	14,37 \pm 6,52	19,91 \pm 4,14	18,66 \pm 6,13	
100 MPa	42,3 \pm 4,98	24,14 \pm 3,92	23,96 \pm 2,07	21,19 \pm 1,16	21,42 \pm 6,19	27,91 \pm 5,49	
200 MPa	42,3 \pm 4,98	37,15 \pm 2,93	32,07 \pm 5,27	34,94 \pm 5,73	33,87 \pm 10,21	40,8 \pm 2,45	
300 MPa	42,3 \pm 4,98	41,94 \pm 6,23	49,08 \pm 1,99	50,98 \pm 3,32	41,22 \pm 3,63	49,53 \pm 4,59	

13. melléklet: A nyomáskezelést követően 5 m/m%-os páclében pácolt húshengerek CIELab színtényező és színezeti szög (h°) értékei (átlag \pm szórás) ($n=3$)

L*	időtartam (perc)					
	0	7	10	13	16	23
páclé konc. 5 m/m%						
Nyomáskezelés nélkül	53,32 \pm 2,03	43,89 \pm 1,79	44,06 \pm 1,22	41,69 \pm 1,78	41,37 \pm 1,24	45,18 \pm 3,39
100 MPa	53,32 \pm 2,03	43,31 \pm 3,29	43,4 \pm 2,81	44,87 \pm 2,09	43,37 \pm 2,82	43,43 \pm 1,88
200 MPa	53,32 \pm 2,03	65,11 \pm 2,81	64,85 \pm 2,59	60,81 \pm 3,72	62,27 \pm 2,22	61,54 \pm 3,89
300 MPa	53,32 \pm 2,03	72,95 \pm 2,78	69,5 \pm 0,99	68,27 \pm 2,67	66,39 \pm 1,32	69,44 \pm 2,19

a*	időtartam (perc)					
	0	7	10	13	16	23
páclé konc. 5 m/m%						
Nyomáskezelés nélkül	8,02 \pm 1,13	8,23 \pm 0,3	7,94 \pm 0,58	8,11 \pm 0,69	8,19 \pm 0,68	6,65 \pm 0,96
100 MPa	8,02 \pm 1,13	6,9 \pm 0,48	7,56 \pm 1,45	7,29 \pm 1,01	7,25 \pm 0,99	7,18 \pm 0,52
200 MPa	8,02 \pm 1,13	5,67 \pm 0,82	5,85 \pm 0,32	6,52 \pm 0,51	6,63 \pm 0,39	6,13 \pm 0,35
300 MPa	8,02 \pm 1,13	5,05 \pm 1,26	6,55 \pm 0,79	6,63 \pm 0,67	7,07 \pm 0,74	6,49 \pm 0,86

b*	időtartam (perc)					
	0	7	10	13	16	23
páclé konc. 5 m/m%						
Nyomáskezelés nélkül	5,53 \pm 0,19	2,74 \pm 0,8	3,22 \pm 1,17	2,65 \pm 1,11	2,2 \pm 0,19	3,79 \pm 0,76
100 MPa	5,53 \pm 0,19	3,14 \pm 1,32	2,84 \pm 1,08	4,03 \pm 0,6	3,27 \pm 1,21	3,64 \pm 0,41
200 MPa	5,53 \pm 0,19	6,28 \pm 0,69	5,4 \pm 0,32	5,27 \pm 0,58	6,01 \pm 0,51	5,24 \pm 1,13
300 MPa	5,53 \pm 0,19	5,97 \pm 0,66	5,61 \pm 0,65	5,9 \pm 0,87	5,37 \pm 0,61	5,9 \pm 0,28

h°	időtartam (perc)					
	0	7	10	13	16	23
páclé konc. 5 m/m%						
Nyomáskezelés nélkül	42,3 \pm 3	18,38 \pm 5,48	21,73 \pm 7,25	17,98 \pm 6,97	15,1 \pm 1,97	29,92 \pm 7,96
100 MPa	42,3 \pm 3	23,98 \pm 9,66	21,07 \pm 7,61	30,59 \pm 4,41	24,4 \pm 8,19	27,87 \pm 3,13
200 MPa	42,3 \pm 3	47,99 \pm 2,06	42,74 \pm 2,15	38,94 \pm 3,94	42,17 \pm 3,81	40,17 \pm 7,8
300 MPa	42,3 \pm 3	50,18 \pm 8,57	40,6 \pm 2,68	41,58 \pm 4,94	37,25 \pm 3,28	42,45 \pm 4,77

14. melléklet: A nyomáskezelést követően 10 m/m%-os páclében pácolt húshengerek CIELab színtényező és színezeti szög (h°) értékei (átlag \pm szórás) ($n=3$)

L*	időtartam (perc)					
	0	7	10	13	16	23
páclé konc. 10 m/m%						
Nyomáskezelés nélkül	47,82 \pm 2,03	38,94 \pm 2,5	39,02 \pm 1,88	39,13 \pm 1,51	39,44 \pm 1,68	41,46 \pm 1,15
100 MPa	47,82 \pm 2,03	36,41 \pm 2,16	38,05 \pm 2,33	40,89 \pm 2,44	40,47 \pm 0,82	37,04 \pm 1,39
200 MPa	47,82 \pm 2,03	60,13 \pm 2,8	58,94 \pm 5,84	54,15 \pm 3,33	57,98 \pm 4,45	58,05 \pm 3,37
300 MPa	47,82 \pm 2,03	69,29 \pm 2,03	66,32 \pm 2,73	66,57 \pm 1,78	67,04 \pm 1,1	68,44 \pm 1,15

a*	időtartam (perc)					
	0	7	10	13	16	23
páclé konc. 10 m/m%						
Nyomáskezelés nélkül	8,02 \pm 1,13	8,16 \pm 0,54	8,47 \pm 0,79	7,8 \pm 0,51	7,86 \pm 0,76	6,05 \pm 0,32
100 MPa	8,02 \pm 1,13	8,53 \pm 0,97	8,06 \pm 1,03	7,32 \pm 0,56	7,59 \pm 0,89	8,08 \pm 0,32
200 MPa	8,02 \pm 1,13	6,2 \pm 0,38	7,14 \pm 1,51	6,59 \pm 0,59	6,36 \pm 0,91	6,72 \pm 0,47
300 MPa	8,02 \pm 1,13	6,3 \pm 0,86	6,66 \pm 0,85	7,13 \pm 0,75	6,95 \pm 0,69	6,56 \pm 0,74

b*	időtartam (perc)					
	0	7	10	13	16	23
páclé konc. 10 m/m%						
Nyomáskezelés nélkül	5,53 \pm 0,19	2,16 \pm 1,1	2,97 \pm 0,58	2,05 \pm 1,04	2,89 \pm 0,81	2,05 \pm 0,67
100 MPa	5,53 \pm 0,19	2,26 \pm 0,2	3,14 \pm 1,14	3,4 \pm 0,62	3,52 \pm 0,2	3,05 \pm 0,76
200 MPa	5,53 \pm 0,19	5,3 \pm 0,52	5,33 \pm 0,98	3,38 \pm 0,93	4,54 \pm 0,71	4,56 \pm 0,58
300 MPa	5,53 \pm 0,19	5,9 \pm 0,62	4,78 \pm 0,57	5,58 \pm 0,79	5,74 \pm 0,64	5,56 \pm 0,55

h°	időtartam (perc)					
	0	7	10	13	16	23
páclé konc. 10 m/m%						
Nyomáskezelés nélkül	42,3 \pm 3	14,91 \pm 7,98	19,31 \pm 3,43	14,37 \pm 6,52	19,91 \pm 4,14	18,66 \pm 6,13
100 MPa	42,3 \pm 3	14,64 \pm 1,22	20,72 \pm 8,02	23,92 \pm 4,91	24,39 \pm 1,33	20,27 \pm 5,21
200 MPa	42,3 \pm 3	40,51 \pm 4,34	37,15 \pm 7,58	27,22 \pm 8,15	35,56 \pm 4,42	34,19 \pm 4,9
300 MPa	42,3 \pm 3	43,16 \pm 4,63	35,86 \pm 5,87	38,09 \pm 5,14	39,56 \pm 3,69	40,35 \pm 3,19

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Ezúton szeretnék köszönetet mondani témavezetőmnek Dr. Friedrich Lászlónak az értekezés elkészítéséhez nyújtott szakmai segítségért, valamint Dr. Balla Csaba tanár úrnak, aki hasznos észrevételeivel, javaslataival segítette értekezésem elkészítését.

Köszönöm Dr. Csehi Barbara, Némethné Dr. Szerdahelyi Emőke (NAIK-ÉKI), Dr. Takács Krisztina (NAIK-ÉKI) és Czermann Krisztina segítségét az emészthetőségi és gélelektroforézis vizsgálatok elvégzéséért.

Köszönet illeti Somos András ügyvezetőt (SKC Consulting Kft.) és Balaicza Zoltán üzemvezetőt, hogy lehetővé tették számomra a nagy hidrosztatikus nyomású kezelések elvégzését.

Köszönöm szüleimnek és nagyszüleimnek, hogy áldozatkészségükkel lehetővé tették számomra, hogy a doktori értekezés megírásáig eljussak.

Köszönöm menyasszonyomnak, Annának a mérések elvégzésében nyújtott segítségét, valamint a türelmét és kitartását, amit felém tanúsított a doktori értekezésem megírása során.

Nagyapám, Lehoczki János (1939-2021) emlékére

