



DEBRECENI EGYETEM
AGRÁR- ÉS MŰSZAKI TUDOMÁNYOK CENTRUMA
MEZŐGAZDASÁGTUDOMÁNYI KAR
ÉLELMISZERTUDOMÁNYI, MINŐSÉGBIZTOSÍTÁSI ÉS MIKROBIOLÓGIAI INTÉZET

HANKÓCZY JENŐ NÖVÉNYTERMESZTÉSI, KERTÉSZETI ÉS
ÉLELMISZERTUDOMÁNYOK DOKTORI ISKOLA
ÉLELMISZERANALITIKA, ÉLELMISZERBIZTONSÁG DOKTORI PROGRAM

Doktori iskola vezető:

Dr. Győri Zoltán
MTA doktora

Témavezető:

Dr. Győri Zoltán
MTA doktora

HÚSTERMÉKEK HŐKEZELÉSÉNEK TERVEZÉSE

Készítette:

Eszes Ferenc
dr. univ

DEBRECEN
2010.

HÚSTERMÉKEK HŐKEZELÉSÉNEK TERVEZÉSE

Értekezés a doktori (PhD) fokozat megszerzése érdekében a ... tudományágban

Írta: dr. Eszes Ferenc doktorjelölt

A doktori szigorlati bizottság:

	Név	Tud. Fokozat
Elnök:		
Tagok:		
		

A doktori szigorlat időpontja: 200..... hó nap

Az értekezés bírálói:

Név	Tud. fokozat	Aláírás
		
		
		

A bíráló bizottság:

	Név	Tud. fokozat	Aláírás
Elnök:			
Titkár:			
Tagok:			
			
			
			
			
			
			

Az értekezés védésének időpontja: 200.....

TARTALOMJEGYZÉK

ESZES FERENC	1
JELMAGYARÁZAT.....	3
1. BEVEZETÉS, TÉMAFELVETÉS	6
2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS.....	8
2.1. ÉLELMISZERBIZTONSÁG ÉS HŐKEZELÉS.....	8
2.1.1. Hőkezelés egyenértékek alapján	8
2.1.2. Egyenértékre történő hőkezelés pasztörözés során	11
2.1.3. A hőkezelés szükséglet számítás Ball módszerei	12
2.1.4. További hőkezelés ellenőrzési eljárások	13
2.1.5. A maghőmérséklet, a túlmelegedés és a hűtés szerepe.....	15
2.2. MINŐSÉG ÉS HŐKEZELÉS	17
2.2.1. A minőségmegőrzés alapjai	19
2.2.2. Az alapelvek érvényesítése.....	20
2.3. A TERVEZÉS MŰVELETTANI ALAPJAI	25
2.3.1. Az FDE-VSM megoldás és alkalmazási feltételei.....	25
2.3.2. Véges differencia (VDM) és véges elemes (VEM) módszerek.....	27
2.3.3. A hőtani paraméterek meghatározási módszerei	28
2.3.4. A hőkezelés tervezésben alkalmazott új megközelítések.....	32
3. ANYAGOK ÉS MÓDSZEREK	36
3.1. VIZSGÁLATI ANYAGOK	36
3.1.1. Sonkafélkonzervek.....	36
3.1.2. Töltelékes áruk gyártása	37
3.1.3. Kiegészítő anyagok hőtani paraméterek mérésére.....	37
3.2. ALKALMAZOTT ESZKÖZÖK	39
3.2.1. Alkalmazott berendezések	39
3.2.2. Hőmérsékletmérő eszközök	41
3.3. PARAMÉTER MEGHATÁROZÁSI MÓDSZEREK	41
3.3.1. Hőátadási tényező meghatározása.....	41
3.3.2. A termék hőtani paramétereinek meghatározása.....	44
3.4. ALKALMAZOTT SZÁMÍTÁSI MÓDSZEREK.....	46
3.4.1. A kezdeti és peremfeltételek alakulása ipari környezetben	46
3.4.2. Véges differencia módszerek alkalmazási körülményei	47
3.4.3. A VRT kezelések első lépcsőinek meghatározása.....	48
3.4.4. Ingadozási számítások.....	49
3.4.5. A paraméterek és ingadozásaik hatása a hőkezelésre.....	51
3.4.6. Mikrobiológiai megfontolások a tervezésben.....	52
3.5. ENERGETIKAI SZÁMÍTÁSOK	54
4. EREDMÉNYEK.....	55
4.1. A KEZDETI ÉS PEREMFELTÉTELEK TELJESÜLÉSE	55
4.1.1. A hővezetés és hőáramlás viszonya.....	55
4.1.2. Szabályos geometriák és a dimenziók elhanyagolása	59
4.1.3. Nincs fázisváltozás	60
4.1.4. A termék homogén.....	60
4.1.5. A hőtani paraméterek állandósága	62

4.1.6.	<i>A térhőmérséklet alakulása</i>	62
4.1.7.	<i>Egyenletes termék kezdeti hőmérséklet</i>	66
4.1.8.	<i>Végtelen hőátadási tényező és Biot szám feltételezése</i>	67
4.1.9.	<i>A feltételezések vizsgálati eredményeinek összefoglalása</i>	68
4.2.	A HŐÁTADÁSI TÉNYEZŐ MEGHATÁROZÁSOK EREDMÉNYEI	68
4.3.	A TERMÉK HŐTANI PARAMÉTER MEGHATÁROZÁSOK EREDMÉNYEI	75
4.4.	ÚJ MIKROBIOLÓGIAI MEGFONTOLÁSOK SZÁMÍTÁSI EREDMÉNYEI	90
4.4.1.	<i>A vegyes baktérium populáció pusztulása</i>	90
4.4.2.	<i>A hűtés beszámítása a hőkezelésbe</i>	92
4.4.3.	<i>A baktériumszaporodás figyelembe vétele</i>	94
4.5.	A HŐKEZELÉS LEÁLLÍTÁSI ELVEK ÉRVÉNYESÜLÉSE	95
4.6.	A MONTE-CARLO MÓDSZERREL KAPOTT EREDMÉNYEK	97
4.7.	A PARAMÉTEREK HŐKEZELÉSRE GYAKOROLT BEFOLYÁSA.....	101
4.8.	A HŐKEZELÉSEK ENERGETIKAI ÉRTÉKELÉSE	102
4.9.	A LÉPCSŐZETES HŐKEZELÉS TÉRHŐMÉRSÉKLET KIALAKÍTÁSA.....	104
5.	ÖSSZEFOGLALÁS	107
6.	ÚJ TUDOMÁNYOS MEGÁLLAPÍTÁSOK	109
7.	IRODALOMJEGYZÉK	113
8.	KÖSZÖNETNYÍLVÁNÍTÁS	136
9.	FÜGGELÉK HIBA! A KÖNYVJELZŐ NEM LÉTEZIK.	

JELMAGYARÁZAT

a	Hőmérsékletvezetési tényező ($(\lambda/c_p/\rho)$) [m^2/s]
A	Szabad áramlási keresztmetszet [m^2]
A_2	Állandó
a_v	A víz hőmérsékletvezetési tényezője [m^2/s]
B	Baktériumpusztító hatású folyamatidő a Ball módszerben [min]
B_2	Biot számtól függő állandó
Bi	Biot szám ($(\alpha X/\lambda)$) [dimenzió nélküli]
c	Az anyag pillanatnyi koncentrációja [g/kg]
C	Főzöttségi egyenérték [min]
c_0	Az anyag kezdeti koncentrációja [g/kg]
C_1	Állandó
C_2	Állandó
c_a	Az anyag fajhője [J/kgK]
c_i	Az i-edik összetevő fajhője [J/kgK]
c_p	Az anyag fajhője [J/kgK]
D	Átmérő [m]
d	Jellemző méret [m]
d_1	Fémforma vastagság [m]
d_2	Fólia vastagság [m]
d_3	Légtér vastagság [m]
D_e	egyenértékű átmérő [m]
D_r	Tizedre csökkenési idő [min]
dT/dt	Időegység alatti hőmérsékletváltozás [$^{\circ}\text{C}/\text{min}$]
dT/dx	A felületre ható normál irányú hajtóerő [$^{\circ}\text{C}/\text{m}$]
E	Enzim inaktiválási egyenérték [min]
E_a	Aktiválási energia [J/kmolK]
F	Felület [m^2]
f''	A második doboz Ball-féle meredekségi tényezője [min]
f_c	Ball-féle görbe meredekségi tényező (hűtési szakasz) [min]
f_h	Ball-féle görbe meredekségi tényező (tartási szakasz) [min]
F_i	Egyenértékű hőkezelés az autokláv hőmérsékleten [min]
Fo	Fourier szám ($a\tau/X^2$) [dimenzió nélküli]
F_0	Hőkezelési egyenérték [min]
g_c	$T_k - T_m$ a tartási idő végén [$^{\circ}\text{C}$]
Gr	Grashoff-szám [dimenzió nélküli]
H	Dobozmagasság [m]
I_h	$T_k - T_0$ a folyamat kezdetén [$^{\circ}\text{C}$]
J_0	Elsőfajú, nulladrendű Bessel függvény
J_1	Elsőfajú, elsőrendű, Bessel függvény
j_{cc}	Hűtési késleltetési tényező [-]
j_{ch}	Felmelegítési késleltetési tényező [-]
k	Hőátbocsátási tényező [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$]
K	Nedvesített kerület [m]
K_a	Hőáramlásos doboztényező index [-]
K_v	Hővezetési doboztényező index [-]
$K_{v\alpha}$	Hővezetési-hőáramlási viszonyyszám [-]

l	Felmelegítési idő [min]
L	Felület:Térfogat arány [1/m]
M	Maghőmérséklet növekedésének sebessége [$^{\circ}\text{C}/\text{min}$]
m, n, p, r, s	állandók
N_1	Kezdeti csíraszám [db]
N_2	Végző csíraszám [db]
Nu	Nusselt szám ($\alpha X/\lambda_{\text{közeg}}$)
P	Pasztörözési egyenérték [min]
Q	bejuttatott hőmennyiség [W]
Pr	Prandtl szám ($(\mu/a)[-]$)
P_t	A tartási idő a Ball módszerben [min]
R	A henger sugara [m]
R	Egyetemes gázállandó (12. egyenlet)
Re	Reynolds szám $Re = d v/\mu [-]$
R_s	Az átlagos hőmérsékletre és az átlagos pusztulásra a jellemző hossz:
β_n	a $\beta \text{tg}(\beta) = Bi$ egyenlet n -edik gyöke
$\beta_{x1}, \beta_{y1}, \beta_{z1}$	az X, Y, Z oldalakhoz tartozó megfelelő $\beta \text{tg}(\beta) = Bi$ egyenlet 1. gyökei
T	Abszolút hőmérséklet [K]
t	Az eltelt idő [min], [s]
T	Hőmérséklet egy adott helyen és időben [$^{\circ}\text{C}$]
T_0	A termék kezdeti hőmérséklete [$^{\circ}\text{C}$]
t_1	A pusztulás kezdeti ideje [min]
t_2	A pusztulás végző ideje [min]
$T_{\bar{a}}$	Átlaghőmérséklet [$^{\circ}\text{C}$]
T_f	Felületi hőmérséklet [$^{\circ}\text{C}$]
T_{ic}	Termék hűtési kezdeti hőmérséklet [$^{\circ}\text{C}$]
T_{ih}	Termék kezdeti hőmérséklet [$^{\circ}\text{C}$]
T_k	Térhőmérséklet [$^{\circ}\text{C}$]
T_m	Maghőmérséklet [$^{\circ}\text{C}$]
T_{pic}	Hűtési ál kezdeti hőmérséklet [$^{\circ}\text{C}$]
T_{pih}	Felmelegítési álkezdeti hőmérséklet [$^{\circ}\text{C}$]
T_r	Referencia hőmérséklet [$^{\circ}\text{C}$]
T_w	Hűtővíz hőmérséklet [$^{\circ}\text{C}$]
U	Általánosított egyenérték [min^2]
v	Áramlási sebesség [m/s]
V	Az anyag térfogata [m^3]
x	Távolság a középponttól [m]
X, Y, Z	Oldal félhosszak [m]
X_i	A termék i -edik összetevőjének aránya [decimálisan]
X_v	A termék víztartalma [decimálisan]
Y	Dimenzió nélküli normált hőmérséklet [-]
$Y_{\text{átlag}}$	normált átlaghőmérséklet [-]
Y_{mag}	normált maghőmérséklet [-]
Y_x	normált hőmérséklet x irányban [-]
Y_y	normált hőmérséklet y irányban [-]
Y_z	normált hőmérséklet z irányban [-]
z	tizedre csökkenési hőmérséklet, z -érték [$^{\circ}\text{C}$]

GÖRÖG BETŰJELEK

α	Felületi hőátadási tényező [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$]
α_b	Érintkezési ellenállás (belső felületi hőátadási tényező [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$]
β	$\beta \cdot J_1(\beta) = \text{Bi} \cdot J_0(\beta)$ (henger) vagy a $\beta \cdot \text{tg}(\beta) = \text{Bi}$ (síklap) karakterisztikus egyenlet gyöke
Δt	Időköz [min]
Δx	térközfelosztás [m]
η	Dinamikai viszkozitás a fő közegáramban [kg/ms]
η_f	Dinamikai viszkozitás a határrétegben [kg/ms]
λ	Hővezetési tényező [W/mK]
λ_1	Doboz, fémforma hővezetési tényezője [W/mK]
λ_2	A fólia hővezetési tényezője [W/mK]
λ_3	Légtér hővezetési tényezője [W/mK]
ρ_a	Az anyag sűrűsége [kg/m^3]
ρ_i	Az i.-edik összetevő sűrűsége [kg/m^3]
σ_a	Hőáramlásos doboztényező
σ_v	hővezetési doboztényező

RÖVIDÍTÉSEK

ADI	Váltakozó irányú explicit és implicit,
delta-T	delta-T hőkezelés
EPI/EPT	Ekvivalens pasztörözési idő
EXP	Explicit
FDE	Fourier-féle differenciálegyenlet
FDE	Fourier-féle differenciálegyenlet
GHP	Guarded Hot Plate " hővezető képesség mérő módszer
H	Hagyományos hőkezelés
HTST	H igh T emperature – S hort T ime (magas hőmérsékletű - rövid idejű) hőkezelés
IMP	Implicit
L	Lépcsőzetes hőkezelés
lb	libra (0,4536 kg)
LHS	L ine H eat S ource" hővezető képesség mérő módszer
LKN	Legkisebb négyzetes eltérés módszere
LTLT	L ower T emperature – L onger T ime (alacsonyabb hőmérsékletű - hosszabb idejű) hőkezelés
NPS	nitrites pácsó
PFF	P rotein F at F ree = zsírmentes fehérjetartalom
PSE	P ale (halovány), S oft (puha). E xudative (vizenyős) hús
RPS	Relatív pusztulási sebesség [$10^{((T-T_r)/z)}$] [min]
USDA	U nited S tates D eartment of A griculture
VDM	Véges differencia módszer
VRT	Változó térhőmérsékletű hőkezelés
VSM	Végtelen soros megoldás
SSP	S helf S table P roduct 15-20°C-on eltartható hőkezelt termék

1. BEVEZETÉS, TÉMAFELVETÉS

A fogyasztókat védő az élelmiszerbiztonságot és egészséges táplálkozást segítő szigorodó előírások nagy kihívást jelentenek az élelmiszer előállítók és minőségellenőrök számára. Vonatkozik ez a hőkezelés alkalmazásával gyártott húsipari termékekre is, ahol a minőség megőrzési követelmények mellett egyre nagyobb súllyal jelentkeznek a környezet és klímavédelmi problémák. Mindezek összességében azt jelentik, hogy a hőkezelési műveleteket csak az élelmiszerbiztonsági, minőségi és környezetvédelmi igények együttes figyelembevételével kell megoldani, nem feledkezve meg a gazdaságossági szempontokról sem.

A doktori cselekmény tárgyául választott témakör vizsgálatát az indokolja, hogy a hőkezelés mindennapi tevékenység a húsipari vállalatoknál, a gyártási folyamatban sokszor ez a szűk keresztmetszet. Az egyre nagyobb kapacitású berendezésekben, egyre hosszabb eltarthatósági időre törekszünk, sőt a gyártott mennyiségeket egyre messzebb szállítjuk. Így a nem megfelelő hőkezelés komoly gazdasági károkat és élelmiszerbiztonsági kockázatokat jelenthetnek.

Ezzel kapcsolatban az MSZ-EN ISO 22000 minőségtanúsítási rendszer most már kötelezően előírja a technológiai határértékek felállítását és betartásának ellenőrzését, sőt a rendellenes folyamatok felülvizsgálatát és a helyesbítő intézkedések hatásának ellenőrzését is, emellett a fenntartható fejlődés elve, az ISO 14000 környezetvédelmi rendszer, és a környezeti hatásvizsgálatok már a tervezés szintjén igénylik a hőkezelés méretezését, a régi hőkezelési programok esetleges áttervezését. A hőkezelések megvalósítása csak az élelmiszerbiztonsági, minőségi és gazdaságossági szempontok együttes figyelembe vételével lehetséges.

A hústermékek pasztörizáló hőkezelési technológiájának kialakítását nehezíti, hogy

- a pasztörizált hústermékek hőkezelésének ellenőrzése és méretezése különböző alapelvek szerint történhet,
- nincs egyezés az elpusztítandó mikroorganizmusban, valamint annak D és z értékében,
- a hőkezeléseket sokszor eltérő hőátadási rendszerű berendezésekben, más méretű és fajtájú csomagolásokban, különböző készüléken belüli elrendezésben, más hőkezelési

programokkal, akár üzemben belül és telephelyek közt is végzik, amelyek eltérő hőátvitelt és hőkezeltséget eredményeznek,

- a hőkezelési programokat innen-onnan, több-kevesebb kritikával vettek át, és csak kevés saját méréssel támasztottak alá. A fellépő paraméteringadozásokat nem vizsgálták alaposan, inkább nagyobb túlkezelést alkalmaztak.

A fentebb említettek hatását eddig hőkezeltségi, minőségi, kapacitás kihasználási szempontból csak részlegesen és csak egyedi esetekre adták meg. Különösen a nagyméretű (1 kg feletti töltőtömegű) és szögletes dobozokra nem található megfelelő utalás az irodalomban.

Gondolkodva az elvégzendő kutatás-fejlesztés stratégiáján világos volt (figyelembe véve a nemzetközi tapasztalatokat is), hogy a megoldás nem lehet csak az üzemi kísérlet és eredmények elméleti feldolgozása, hanem nélkülözhetetlen a számítástechnika által nyújtott lehetőségek kiaknázása. Utóbbi megkönnyíti a már emlegetett tényezők együttes vizsgálatát, bizonyos szempontból részletesebb információk nyerhetők a gyakorlati kísérlet sorozathoz képest, a bemeneti paraméterek könnyen változtathatók, és ezek eltérhetnek a gyakorlatban alkalmazottól is. Ugyanakkor már itt szeretném hangsúlyozni, hogy a számítástechnika nyújtotta lehetőségeket, előnyöket akkor lehet hatékonyan kihasználni, ha a számítások kiindulási adatai kellően megbízhatók és gyakorlati mérésekkel alátámasztottak.

Előbbiek nyomán alakítottam ki a mintegy 10 éves kutatási-fejlesztési program alábbi felsorolt célkitűzéseit:

- Az iparvállalatnál nyerhető adatok felhasználása a tervezéshez szükséges paraméterek meghatározásához. Az eljárás pontossága és megbízhatósága
- A különböző hőkezelési módok és programok komplex értékelése a modern követelmények szerint
- A hőkezelés ellenőrzési elvek érvényre jutása és egymáshoz való viszonya
- A hőkezelés mértékét befolyásoló paraméterek súlyozása
- A hőtani paraméterek hibájának befolyása a hőkezeltség mértékére és a késztermék minőségére.

2. Irodalmi áttekintés

2.1. Élelmiszerbiztonság és hőkezelés

2.1.1. Hőkezelés egyenértékek alapján

A hőkezelés alapelveit Bigelow és munkatársai fektették le (BIGELOW és ESTY 1920, BIGELOW et al. 1920, BIGELOW 1921). Módszerük fő alaptételei a következők voltak:

Az elsősorban elpusztítandó, emberre legveszélyesebb, leghőtűrőbb mikroorganizmus a *Clostridium botulinum* (toxintermelés). Mivel a *Cl. botulinum* nem képes toxint termelni pH<4,5 esetén, a termékeket pH szerint osztályozhatjuk. Így a zöldségek gyümölcsök nagy részének elegendő a 100°C alatti, vagy azt csak kismértékben meghaladó hőmérsékletű hőkezelés (pasztörözés), viszont, ha a termék összetevők közt csak egynek is pH>4,5 értéke van, akkor a többi komponens pH értékétől függetlenül 100°C-ot meghaladó hőmérsékletű hőkezelést (sterilizést) kell alkalmazni.

Bebizonyították, hogy a baktériumok pusztulása exponenciális természetű és függ a hőmérséklettől. A csíraszám csökkenést a pusztulási görbén $[\lg(N)-\tau]$ követhetjük nyomon, a linearizálás végett alkalmazott logaritmikus transzformáció után. Az egy logaritmus egységnyi nagyságrendű pusztuláshoz szükséges időt tizedre csökkenési időnek (D) nevezzük. A pusztulás exponenciális jellegéből következően a csíraszám soha nem fogja elérni a 0-át, valamint a mikroorganizmusok pusztulását csak bizonyos valószínűséggel tudjuk elérni, így az alábbi sterilitási fogalmakat vezették be (1. táblázat)

1. táblázat: Sterilitási fogalmak

Sterilitási fogalom	Értelmezés
Biológiai sterilitás	Minden életképes mikroorganizmus és működőképes enzim inaktiválása
Bakteriológiai sterilitás	Minden életképes mikroorganizmus inaktiválása
Gyakorlati (kereskedelmi) sterilitás	Minden patogén és toxinképző csíra, valamint azon mikroorganizmusok és enzimek inaktiválása, amelyek a termék romlását idézik elő normál körülmények közt.

A $\lg(D_r)-T_{\text{tér}}$ görbéből meghatározható a tizedre csökkenési hőmérséklet (z érték). A z érték megadja, hogy hány °C-kal kell növelni a hőmérsékletet a D_r érték 1/10 részére történő csökkentéséhez. A pH érték (MAFART és LEGUERNE 1998) és az elnyúló hőkezelési folyamatok (PELEG 2000) hatására a D és z érték görbék nem feltétlenül lineárisan alakulnak. Ennek kezelésére KÖRMENDY és KÖRMENDY (1997) a

szakaszonkénti állandó hőmérséklet feltételezését ajánlotta a D és z értékek számításához. PELEG (1999, 2002) kettős logaritmikus függvények használatát javasolta a baktériumpusztulás nyomon követésére.

A hőkezelttség mértékét a doboz leglassabban melegedő pontjában, az ún. magban, általában a doboz geometriai középpontjában kell ellenőrizni, mivel ha ez a pont megfelelő hőterhelést kapott az összes többi pont ennél csak többet kaphatott. A mag ugyan eltolódhat a hőátadási viszonyok miatt (lásd 1.1.5 pont), de a merevítő gyűrűk miatt továbbra is ez a referencia pont a hővezetéssel melegedő termékekénél.

Bebizonyították, hogy a konzervdobozban a hőmérséklet a hely és az idő függvénye (THOMPSON 1919). Ebből következően a baktériumok pusztulása az egyes hőmérsékleten megtörtént részpusztulásokból tevődik össze (ZSARNÓCZAY és KÖRMENDY 1988a). Ezt nevezzük integrális hőpusztulásnak (1)

$$F = \int_{t_1}^{t_2} 10^{\frac{T - T_r}{z}} dt \quad (1)$$

$$F = \sum_{t_1}^{t_2} 10^{\frac{T-100}{z}} \Delta t \quad (2)$$

Az integrált numerikusan (addíciós, Newton-Raphson, Simpson illetve Gauss quadratura) értékeljük ki, mert a görbeillesztéssel sokkal nagyobb hibát vétünk (TOKAI 1984). A t_1 és t_2 összegzési határidők a baktérium pusztulásának felelnek meg (pasztöröző kezelésnél az 55°C a sterilizéskor 90 vagy 100°C feletti maghőmérséklet). Az addíciós módszerben (WIRTH et al. 1971) egyszerű összegzést végzünk (2). A Newton-Raphson módszer trapéz területtel, a Simpson módszer parabolikus görbével közelíti az integrál értékét és pontosabbak a némiképp bonyolultabb számítások alkalmazása miatt (NAGY 1985, KÖRMENDY 1982). A Gauss kvadraturán alapuló számítás 2-6 kiválasztott időpontban elért súlyozott egyenérték összegzést jelent (3) (HAYAKAWA 1968, NITSCH és VUKOVICS 2002, 2003). A kiértékelési pontok helye és a w_i súlyozó faktorok matematikai kézikönyvekben megtalálhatók (KORN és KORN 1975, BRONSTEIN és SZEMENGYAJEV 1987).

$$P = \Delta \tau \sum_{i=1}^n w_i P_i \quad (3)$$

Az összegzési időközre PATASHNIK (1953) szerint egyenlő időközönkénti (2-3 perc) mérés és számítás megfelelő az egyenérték meghatározáshoz. Az időköz további

csökkentése kb. 30 s-ig még tovább növeli a pontosságot a századértékekben (KÖRMENDY et al. 1982), de azon túl a gyakorlatban hasznosítható pontosság már nem, csak a mérési, számítási igény nő. KÖRMENDY et al. (1989) szerint legfeljebb 5 perces időközök kell választani, de ha kisméretű a termék és gyors a hőmérsékletváltozás ezt 3 percre kell csökkenteni. Ma már teljesen elfogadott a gyakorlat számára kielégítő pontosságot adó, percenkénti maghőmérséklet mérés és számítás. A 2. táblázat a termékcsoporthoz meghatározott hőkezelési, eltarthatósági értékeket mutatjuk be: A hőkezelési programot úgy kell meghatározni, hogy a technológia által biztosított hőpenetrációs görbe nagyobb (F) értéket adjon, a mikrobiológiailag szükségesnél (4):

$$F = D_r [\lg(N_1) - \lg(N_2)] \leq \sum_{t_1}^{t_2} 10^{\frac{T - T_r}{z}} \Delta t \quad (4)$$

2. táblázat: Termékcsoporthoz a hőkezelés mértéke és eltarthatósága alapján (MÜLLER 1989)

Megnevezés	Hőkezelés mértéke	Eltarthatóság	Elpusztított mikroorganizmusok
1. Friss termékek	P=30-60 perc, $65 < T_{\text{mag}} < 75^\circ\text{C}$	6 hét $T < 6^\circ\text{C}$	vegetatív csírák
2. Duplikátorban hőkezelt konzervek	1 óra 98°C felett vagy $F_0 > 0,4$	1 év $T < 10^\circ\text{C}$	1. + pszichotróf spórások
3. $\frac{3}{4}$ konzervek	$F_0 = 0,6-0,8$	1 év $T < 10^\circ\text{C}$	1. és 2. + mezofil spórás Bacillusok
4. Teljes konzervek	$F_0 = 4,0-5,5$	4 év $T < 25^\circ\text{C}$	1.; 2.; 3. + mezofil spórás Clostridiumok
5. Trópusi konzervek	$F_0 = 12,0-15,0$	1 év $T < 40^\circ\text{C}$	1.; 2.; 3.; 4 + spórás termofil Clostridiumok és Bacillusok
6. F-SSP termékek	$\text{pH} < 6,5$; $a_w < 0,96$ és $F_c > 0,4$	6 hét $T < 25^\circ\text{C}$	1. + túlélő spórások gátlása
7. a_w —SSP termékek	$a_w < 0,95$; $P = 40-80$ min; $75 < T_{\text{mag}} < 80^\circ\text{C}$	6 hét $T < 20^\circ\text{C}$	1. + túlélő spórások gátlása

A 2. táblázat alapján az 1. és a 7. csoportba a hosszabb eltarthatóságú (1 hónap) főtt hústermékek, és a félkonzervek tartoznak. A 2.; 3.; és 7. csoport termékei a $\frac{3}{4}$ konzervekhez sorolhatók. A 4. csoportra Bigelow 12D hőkezelési egyenértéket ajánlott a Cl. botulinum nagy valószínűséggel történő elpusztításához ($F_0 = 2,52$ perc), ami még nem eredményezi a minőség túlságos károsítását. Az ipari gyakorlatban ezt $F_0 = 3,00$ percre növelik a mutáns esetek, a védő zsírrétegek stb. miatt. REICHERT (1985) a romlást okozó szulfitredukáló Clostridiumok és Bacillusok miatt $F_0 = 4,00-5,00$ perc mértékű hőkezelést ajánl. Rossz higiénia viszonyok akár az $F_0 \approx 10,00$ perc értéket is indokoltá tehetik, ami már megközelíti a trópusi konzervek kategóriáját. A 12D pusztítás mellett más D elvek is léteznek, de ekkor speciális feltételeket kell még teljesítenünk (STUMBO 1973, ANON 1998).

2.1.2. Egyenértékre történő hőkezelés pasztörözés során

Míg a kereskedelmi steril enyhén savas élelmiszereknél egyértelmű a helyzet, a félkonzervek területén az elpusztítandó mikroorganizmus tekintetében mára már megegyezésre jutottak abban, hogy a pasztöröző hőkezelések hőmérséklet tartományában a vegetatív patogén baktériumok (*E. coli*, *Salmonella*, *Staphylococcus*ok stb.) aránylag könnyen elpusztíthatók 70°C körüli hőmérsékleten (DEÁK et al. 1980), de van néhány ezeknél sokkal hőtűrőbb, íz, textúra, szín, aromaváltozást és romlást előidéző baktérium (*Str. faecium*, *Str. faecalis*, *L. viridescens*). Ez utóbbiak D és z értékeiben már jelentős eltéréseket tapasztalunk a közleményekben a *Cl. botulinum*hoz képest. A tápközegekben végzett méréseket DEÁK et al. (1980), REICHERT et al. (1979) és REICHERT (1983) tekintették át. A hústermékekben a D értékek 1-40 perc, míg a z értékek 7-42°C között változnak a különböző szerzők és baktérium törzsek szerint. (REICHERT et al. 1979, WOJCIECHOWSKI 1980, HOUBEN 1982, MILBOURNE 1983, MAGNUS et al. 1986, MAGNUS et al. 1988, REICHERT et al. 1988, GHAZALA et al. 1995, PEDRAZZONI et al. 1995, INCZE et al. 1999). Incze et al. (1999) legelfogadhatóbb értéknek a $T_{ref}=70^{\circ}\text{C}$ -ot és a $z=10^{\circ}\text{C}$ -ot tartják.

Az erősen eltérő D értékek ellenére a z értékek többsége 10°C körül van a legrezisztensebb törzseknél is. A legfeltűnőbb eltérést a z értékek között MILBURN (1983) és WOJCIECHOWSKI (1980) adatai mutatják. REICHERT et al. (1988) szerint ez megfelel a *Bacillus* és *Clostridium* fajok hő rezisztenciájának, így az eddig elvégzett hőkezelések ezen adatok szerint nem lettek volna kielégítőek. REICHERT et al. (1988) a Wojciechowski féle törzsekre nitrites pác sót és foszfátot tartalmazó mintáknál sem kaptak 11°C-nál nagyobb z értéket, és $D \approx 2,95$ perc értékeket mértek ki, mint korábban (REICHERT et al. 1979). Így REICHERT (1979, 1988) eredményei alapján a WOJCIECHOWSKI (1980) D és z értékei kiugrónak tekinthetők. Legtöbbször REICHERT et al. (1979, 1988) $D=2,95$ perc és $z=10^{\circ}\text{C}$ értékeit használják (INCZE et al. 1999). A hústermékek elégséges hőkezelésének számítására ajánlott paramétereket és hőkezelési egyenérték határértékeket a 3. táblázatban foglaltuk össze

REICHERT et al. (1979) és HOUBEN (1982) igazán konkrét P értéket nem ajánl, mondván nem ismerik a nyersanyag baktérium koncentrációját, de a táblázat alapján a 12D elvet alkalmazzák. HOUBEN (1982) szerint a 69°C-os maghőmérséklet elérése kevés, a

75°C-os maximális maghőmérséklet pedig túl hátrányosan befolyásolja a termék minőségét, a 72-73°C maghőmérséklet elérését (kb. $P_{68,9;10}=70$ perc) akkor tartja elfogadható kompromisszumnak, ha a hőkezelést 8°C alatti végső hűtőtárolás követi. ZSARNÓCZAY et al. (1988) szerint a Lind féle magban meghatározott foszfatáz próba ellenőrzési előírás (LIND 1965, 1966, 1984) olyan hőkezelési előírásnak felel meg, amelyre $P_{70, 5,85}=70$ perc. Ezt ZSARNÓCZAY és KÖRMENDY (1992) a foszfatáz próba vizsgálatok pontosításával $z=6,98^{\circ}\text{C}$ mellett 80 perc értékre módosította. A számítás során itt a hőkezelési egyenértéket P-vel, vagy EPI/EPT-vel jelölik (INCZE et al. 1999).

3. táblázat: Egyenérték ajánlások hústermékek pasztöröző kezeléséhez

Szerző és a közlés éve	T_r [°C]	z [°C]	P [min]	Megjegyzés
REICHERT et al. (1979)	70,0	10	30-80	D-Streptococcusokra
HOUBEN (1982)	68,9	10	kb.70	Str. faeciumra
EISNER (1979)	71,0	10	40-45	Vegetatív mikrobákra, átlagérték
SIELAFF et al. (1982a)	71,1	10	-	Átlagérték
WOJCIECHOWSKI (1981)	72,0	42	130	Str. faecalisra
ZSARNÓCZAY et al. (1988)	70,0	5,85	70	Savanyú foszfatáz enzim inaktiválása
ZSARNÓCZAY és KÖRMENDY (1992)	70,0	6,98	80	Savanyú foszfatáz enzim inaktiválása
MICHALSKI (1997)	72	10	6,26	Streptococcusokra

2.1.3. A hőkezelés szükséglet számítás Ball módszerei

BALL (1924) egy speciális hőpenetrációs görbét szerkesztett (Függelék 1. ábra), amelyben az x tengelyen az időt, az y tengelyen a maghőmérséklet és a térhőmérséklet különbségének logaritmusát ábrázolta. A kapott görbéket két szakaszra osztotta fel, amelyeket két számmal az ún. j_{ch} és j_{cc} késleltetési, valamint az f_h és f_c görbe meredekségi tényezővel jellemzett a felmelegítés-tartás, illetve a hűtés szakaszára. Az f_h és f_c tényező a görbének az Y tengelyen egy logaritmikus egység megtételéhez szükséges időt jelenti. A j_{ch} (5) és j_{cc} (6) késleltetési tényezők kiszámításához meg kell szerkeszteni az álkezdeti hőmérsékleteket T_{pih} és T_{pic} . A paraméterekből kiszámítható a baktériumpusztító hatású folyamatidő (7) és a tartási idő (8).

$$j_{ch} = \frac{T_k - T_{pih}}{T_k - T_{ih}} \quad (5)$$

$$j_{cc} = \frac{T_w - T_{pic}}{T_w - T_{ic}} \quad (6)$$

$$B = f_h (\log(j_{ch} I_h) - \log(g_c)) \quad (7)$$

$$P_t = B - 0,4l \quad (8)$$

A levezetés során Ball feltételezte, hogy a hőtani paraméterek állandóak, $f_c=f_h$, és $j_{cc}=1,41$, a termék homogén és izotróp, nincs felmelegítési idő, a felmelegítés alatt csak minimális a baktériumok hőpusztulása, a térhőmérséklet állandó. Ezek a feltételezések nem mindig érvényesülnek a gyakorlatban, de a módszer annak köszönhető elterjedését és népszerűségét, hogy használata csak hőmérsékletmérést igényel, és az előfeltételezések nem teljesülése esetén a számítás mindig kicsit túlméretezett, ezért a számítás miatt nem került sor ún. alulkezelésre (HAYAKAWA 1978). BALL és OLSON (1957) továbbfejlesztették a Ball módszert hőkezelési egyenérték számításokhoz is. Ehhez bevezették az ún. általánosított egyenérték fogalmát (9).

$$U = F_o F_i \quad (9)$$

A számításhoz ún. $f_h/U:g$ táblázatokat hoztak létre (STUMBO 1973). A Ball-féle hőkezelés szükséglet számítási módszernek sok változata ismert (HAYAKAWA 1978, HAYAKAWA 1970, STUMBO 1973, JEN et al. 1971, TEIXEIRA et al. 1969, FLAMBERT és DELTOUR 1972, MANSON et al. 1970 és 1974 REICHERT 1985, SMITH és TUNG 1982, SPINAK és WILEY 1982). Legújabbán SIMPSON et al. (2003) és SIMPSON (2005) a Bigelow és a Ball módszert kombinálta a hőkezelés tervezésben.

2.1.4. További hőkezelés ellenőrzési eljárások

A legrégebbi hőkezelés ellenőrzési elvek az „ahány mm annyi perc” és az „ahány kg annyi óra” régi tapasztalatokon alapulnak, és azért tartja magát ma is, mert a hőkezelés elvégzése és ellenőrzése a kezelők számára egyszerű. Ezekre nomogramokat is felállítottak (LŐRINCZ és LENCSEPETI 1973). Ezeket a hőkezelés leállítási elveket és nomogramokat nem szabad kritika nélkül alkalmazni, mert nem pontosan veszik figyelembe a hőkezelés kezdeti és peremfeltételeit.

Másik hőkezelés ellenőrzési lehetőség az enzimaktiválás mérése. Ezt eredetileg főleg a zöldséget tartalmazó konzerveknél alkalmazták, mivel itt nemcsak a mikroorganizmusokat, hanem az enzimeket is inaktíválni kell, mert ha aktivitásuk fennmarad, a termék hátrányos érzékszervi elváltozáson (pl. avasodás, színváltozás stb.) eshet át, ami romláshoz is vezethet. Az enzimek inaktíválása megtörténhet az előfőzés és a hőkezelés alatt is. Az enzimek pusztulása függ a közeg pH értékétől, vízaktivitásától, az

inaktiváláshoz alkalmazott hőkezelés intenzitásától. A pusztulás a baktériumokkal analóg módon történik, így a számításokat is azonos módon végzik (10):

$$E = \sum_{t_1}^{t_2} 10^{\frac{T-100}{z}} \Delta t \quad (10)$$

Az USA export termékeknel (ANON 1984) és a belföldi sonka készítményeknél alkalmazzák. Ennek alapját LIND (1965, 1966, 1984) dán kutató fektette le 12 lb-ás (5443 g töltőtömegű 105x160x153 mm méretű doboz) sonka-félkonzervekkel végzett hőkezelési kísérleteivel, amelyhez alapul KÖRMENDY és GANTNER (1960) a savanyú foszfatáz enzim inaktiválódás területén végzett mérései és a főtttség ellenőrzésére végzett kutatásai szolgáltak.

LIND (1984) a hústermékek pasztöröző hőkezelését akkor tekintette elfogadhatónak, ha a termék 69°C maghőmérsékletet ért el. Ez a hőkezelés szükséges, de nem mindig feltétlenül elégséges hőkezelését eredményezi, mivel a baktériumok hőpusztulása nemcsak a hőmérséklet alakulásától, hanem az adott hőmérsékleteken eltöltött időtől is függ (KÖRMENDY et al. 1987). Ennek az ellenőrzési elvnek a fennmaradásához az is hozzájárul, hogy az USDA ma is maghőmérséklet elérési hőkezelés előírásokat ad meg a félkonzervekre. A különböző térhőmérsékletek, hőkezelési módok stb. esetén az idő-hőmérséklet párok értékei másképp alakulnak, így különböző hőkezelési egyenértékeket, ezért eltérő mikrobiológiai stabilitást, illetve eltarthatóságot eredményeznek. Ráadásul maga az USDA sem fogadja el a hőpenetrációs görbével bizonyított adott maghőmérséklet elérést pozitív foszfatáz próba esetén (ZSARNÓCZAY et al. 1988). A fentiek azért is tudnak fennmaradni, mert a hőkezelő berendezéseket csak hőmérséklet kijelzőkkel szerelik fel, és az üzemek az opcionális számítógépes hőkezelés kiértékelő egységet nem veszik meg. Ráadásul az egyes hőkezeléseket csak az új termék bevezetése előtt mérik, ritkán vizsgálják ezt bakteriologikailag, illetve ezt csak közvetve inkubációs tesztekkel veszik figyelembe, a sok kezelés kiértékelését nemigen végzik el, ellentétben pl. az USDA konzervrendeletével (ANON 1997). A főtt töltelékes áruknál nehezebb a módszer alkalmazása (ZSARNÓCZAY és KÖRMENDY 1995).

A hőkezelés ellenőrzés nemcsak a foszfatáz enzimekkel, hanem pl. laktát-dehidrogenáz (ZSARNÓCZAY és KÖRMENDY 1997) kataláz (ANG et al. 2000), sőt más enzimekkel is lehetséges (Van LOEY et al. 1996). Az enzimekkel történő ellenőrzésnél

gondot jelent, hogy a húsfélék enzim tartalma változó lehet, és a kimutatásnál nagyon pontosan kell dolgozni. A foszfatáz enzim kimutatás metodológiáját folyamatosan vizsgálják és módosítják (BLACKWELL et al. 1988, ZSARNÓCZAY és KÖRMENDY 1992). BLACKWELL et al. (1988), ill. BLACKWELL és RICKANSRUD (1989) a pasztöröző hőkezelés ellenőrzésére a száj és körömfájás vírus inaktiválásához 79,4°C maghőmérséklet elérését, illetve a mag 326kJ/m² hőmennyiség felvételét adják meg, nem pedig egyenértékeket.

2.1.5. A maghőmérséklet, a túlmelegedés és a hűtés szerepe

A mag helyének általában a csomagolás geometriai középpontját veszik alapul. Mégis lehetséges, hogy a mag innen eltolódik a hőátadási (UNO és HAYAKAWA 1979) hűtési (NAVEH et al. 1983a, b) viszonyok, légzárvány és fejtér (CAMPBELL és RAMASWAMY 1992) nem szimmetrikus hővezetés miatt. FLAMBERT és DELTOUR (1972) a mag eltolódására $\alpha=\infty$ és kis konzervdobozok esetén pár mm eltolódást tapasztaltak. KORA és CSÉPÁNY (1991) töltelékes áruknál a mag körüli 5 mm-es sugárban tartják az egyenértéket ugyanakkorának. PETERSON és ADAMS (1985) hőkezelhető tasakokra 4-6 mm hőmérsékletérzékelő behelyezési hibát tart még elfogadhatónak. LEDÓ és KOCSIS (2000) a mag jelentős, fenéklapka felé eltolódásról számoltak be konduktív és konvektív hőátvitelű konzervdoboz esetén. KÖRMENDY és KÖRMENDY (2007 és 2009) a dimenzió nélküli egyenértékek alapján ítélték meg a mag helyének eltolódását zöldségkonzervek hőkezelési körülményeire, és a legkisebb hőterhelés kapó pont a meleg letöltésnél a konzervdoboz széle lett, míg az egyre alacsonyabb kezdeti hőmérséklet és konduktív vezetés dominanciájának növekedésével a mag egyre inkább a csomagolás középpontja felé toldott el. A fentiek ellenére a gyakorlatban valószínűleg megmarad a geometriai középpont alkalmazása, mivel az egy jobban definiálható pont, és a hőmérsékletérzékelő elhelyezés sokszor könnyebb a palást és lapkamerevítések miatt.

A hűtés három szakaszra osztható. Az I. szakasz a maximális maghőmérséklet eléréséig, a II. szakasz a hőkezelés leállításkori maghőmérséklet újra eléréséig, a III. szakasz ez utóbbtól a 30-40°C maghőmérséklet eléréséig tart. A hűtés I-II szakaszát túlmelegedésnek nevezik (KOPELMAN et al. 1982), amelynek jellemzője a maximális maghőmérséklet és a hűtésre átkapcsolástól a II. szakasz végéig tartó idő. FLAMBERT és DELTOUR (1972) megállapították, hogy minél nagyobb a túlmelegedés annál nagyobb a

legkisebb hőterhelést kapó pont eltolódása a geometriai középponttól. NAVEH et al. (1983a, 1983b) szerint a túlmelegedés nagyméretű hengeres dobozoknál időben 5-10 perccel hosszabb a kisebbeknél, és a túlmelegedés hőmérséklete annál nagyobb minél kisebb az ezen idő alatti a felületi hőátadási tényező értéke. A túlmelegedés függ még a fenntartandó ellennyomás mértékétől, a doboz belsejében lévő légtér nagyságától és összetételétől. A nagyméretű dobozok ezen szakasz alatti hőterhelés mértéke hőkezelési egyenértékben kifejezve meghaladhatja a különböző Ball-féle módszerrel történt számításokkal várható értéket. A Ball-féle módszerben és sok változatában a túlmelegedést a j_{cc} késleltetési tényező jellemezte, amelyet BALL (1924) hiperbolikus hőmérséklet-eloszlással vezetett le és átlagosan 1,41-nek tételezett fel. LARKIN és BERRY (1991) a hűtés ívelt szakaszára a hiperbolikus egyenlet hatványkitevőjére $1,7j_{cc}$ és $1/j_{cc}$ értéket adott meg $j_{cc} > 1$ illetve $j_{cc} < 1$ esetére szögletes csomagolásokra is, bár annak méretét közelebbről nem adták meg. KOPELMAN et al. (1982) No.10-es dobozra 16°C hőmérsékletemelkedést is tapasztaltak 121°C-os sterilizációs hőmérsékletnél. A túlmelegedés alatti hőkezelési egyenérték akár a teljes hőkezelési egyenérték 30-40%-át is elérheti a 25,4 mm vastag félmerev tasaknál.

Hűtési előírásokat csak a minimálisan hőkezelt termékekre dolgoztak ki, amelyeket kb. 65°C maghőmérséklet elérése után 2 óra alatt kell lehűteni 10°C alá a vegetatív patogén baktériumok gátlása érdekében (KLEINER és MOTSCH 1999). A főtt, pasztörözött és sterilizált termékekre ilyen előírásokat nem dolgoztak ki, mert sok termék hűtése nagyon rövid, a hűtés kevésbé kontrollált (hűtőközeg térfogatáram és hőmérséklet), és akár telephelyenként is változó. Így a hűtés alatti hőterhelést az esetek többségében nem számítják bele a hőkezelés-szükséglet számításokba, holott, főleg a túlmelegedés alatti hőterhelés elérheti a tartási idő alattit (ESZES 2002).

A hűtést többféleképpen is végrehajthatjuk. Kisüzemekben még ma is előfordul a kádban hűtés, ami nagyon hosszadalmas. Egyre kevésbé alkalmazzák a tusolós hűtést (akár a főzőszekrényen belül, akár külső egységben). A víztakarékosság érdekében a sokkal kevesebb vizet felhasználó evaporatív hűtésre térnek át. Ez történhet a régi külső tusolóegységben, csak a tusoló rózsák helyett a fűvókákon nagyon kevés víz áramlik át, így lehetőség nyílik a hűtővíz elpárologtatására (GEORGIEVA és AKTERIAN 1998, CHUNTRANULUCK et al. 1998a, b, c), vagy külön hűtőegységben, ahol a termékből

távozó hő részlegesen felhasználódik hűtő körfolyamatban. Az utóbbi időben az impingement- és a vákuumhűtésre jelentek meg közlemények. Az impingement hűtésnél nagy torló erejű légáramot bocsátanak a felületre merőlegesen, ami a termikus határréteget minduntalan felszakítja. Csak kisméretű termékek hűtésére alkalmazható előnyösen. A vákuumhűtés során a kis nyomás hatására a felületen levő szabad víz elpárologtatásával és elvonásával gyorsítják meg a hűtést (SUN és ZHENG 2006). A hústermékeknél a kiszáradás elkerülésére 30-40%-os páclébevitelt kell alkalmazni a nagyméretű pácolt termékeknél. Egyébként a nem csomagolt húsoknál alkalmazzák, mert a mai műbelek, csomagoló fóliák, fémformák és dobozok nem biztosítják a vízgőz eltávolítását

A fentiekből látható, hogy a hűtés a gyorsítás irányában fejlődött. Ez hőkezelési szempontból azt jelenti, hogy a hűtés alatti baktériumpusztulásra kevésbé, de a túlélő mikroflóra gátlására egyre jobban lehet számítani. Gazdaságossági szempontból nem elhanyagolható a kisebb vízfelhasználás és a kapacitás kihasználás javulás. Ezzel szemben REICHERT (1980) lassú hűtéssel jobb szeletösszetartást kapott sonkafélkonzerveknél.

2.2. *Minőség és hőkezelés*

A hőkezeléssel nemcsak az eltarthatóságot biztosítjuk, hanem a termék érzékszervi tulajdonságait is befolyásoljuk. Egyrészt célunk a kívánt mértékű főzöttség elérése, másrészt egyes esetekben kifejezetten egy adott ízt, színt stb. befolyásoló reakciót akarunk előidézni (pl. sült kéreg). Ezek közül a fehérje denaturáció az egyik legfontosabb jelenség. A hő hatására a fehérjék szerkezete megváltozik, a terciér és quaterner szerkezet kibomlik, és a szekunder szerkezet is változásokon mehet át. Ennek során a vízkötő képesség csökken, a lékiválás nő. A denaturáció mértéke függ az alkalmazott hőmérséklettől és a hőkezelés időtartamától (HAMM 1973) (4. táblázat).

4. táblázat: Miofibrilláris fehérjék elváltozásai a hőmérséklet hatására

Hőmérséklet [°C]	Változás	Denaturáció hőmérséklete
35-50	Aktomiozin molekula kibomlása	szarkoplazma fehérjék 40-45°C
50-70	Folytatódik a fehérjék koagulációja, kovalens stabil kereszt-kötések átrendeződése	miozin 50-55°C
50-55	A fibrilláris fehérjék átrendeződése	kötőszöveti fehérjék 65-70°C
70 felett	A koaguláció teljes befejeződése	aktin 70-80°C
80 felett	A szerkezeti fehérjék koagulációja	
100 felett	Kötőszöveti kollagén zselatinná átalakulása	

A miofibrilláris fehérjékben a hőmérséklet hatására lejátszódó változásokat, a hőkárosodást jellemző C-értékek számítását a hőkezelési egyenértéknél leírtakkal analóg módon végezzük el (11). Ezek a z értékek nem reakció kinetikai alapokon (12), hanem pl. érzékszervi vizsgálatokon alapulnak (REICHERT et al. 1979, OHLSSON 1980), amelyek más eredményeket adnak, mint a pontos, D érték segítségével számított tulajdonság intenzitásból képzett átlagos egyenérték (KÖRMENDY 1982).

$$C = \sum_{t_1}^{t_2} 10^{\frac{T-100}{z}} \Delta t \quad (11)$$

$$\frac{c}{c_0} = A e^{\frac{E_a}{RT}} \quad (12)$$

A z értékek sterilizett konzerveknél 20-40°C, míg a pasztörözött hústermékeknél 7-16°C közé esnek (REICHERT et al. 1979, REICHERT és KUDNIG 1980, REICHERT 1985, REICHERT 1980, OHLSSON 1980, HERSOM 1968, BAUDER 1974, HERMANN 1969, BOGNAR 1971, FELICOTTI és EESSELEN 1957).

Ha az anyag koncentráció változását kívánjuk figyelembe venni (pl. vitaminok), akkor az Arrhenius egyenletet vesszük alapul (12), amelyben a másodrendű (pl. Maillard) reakciók is nyomon követhetők.

A C-értéket legkevésbé akkor tudjuk felhasználni, ha csak a magot vesszük figyelembe, mivel attól a doboz széle felé távolodva egyre nagyobb értékeket kapunk. Reálisabb képet ad, ha a felület és a középpont C-értékek különbségét használjuk (REICHERT 1976), amely már tükrözi a felületi hőkárosodást, és a hőkezelés okozta elváltozás egyenletességének mértékéül is szolgálhat. Ez akkor jó, ha értéke kicsi. Az ún. felület-, illetve térfogatátlag egyenértékek meghatározása, amelyeknél a felület, illetve a csomagolás térfogat elemek egyenértékeit súlyozottan összegezik, ami főleg numerikus számításoknál használatos. Az egyes tulajdonságokat vizsgálva viszont azt mondhatjuk, hogy a felületi szín, megjelenés esetében a felületátlag egyenérték (az egyes felületek által kapott C-értékek súlyozott átlaga), míg az íz és állomány esetében a térfogatátlag (az egyes résztérfogatok által kapott C-értékek súlyozott átlaga) adhat jó jellemzést. NORONHA et al. (1996) a több minőségi faktort súlyozott átlaggal vette figyelembe, ahol a súlyokat a hőérzékenység arányában osztották el.

2.2.1. A minőségmegőrzés alapjai

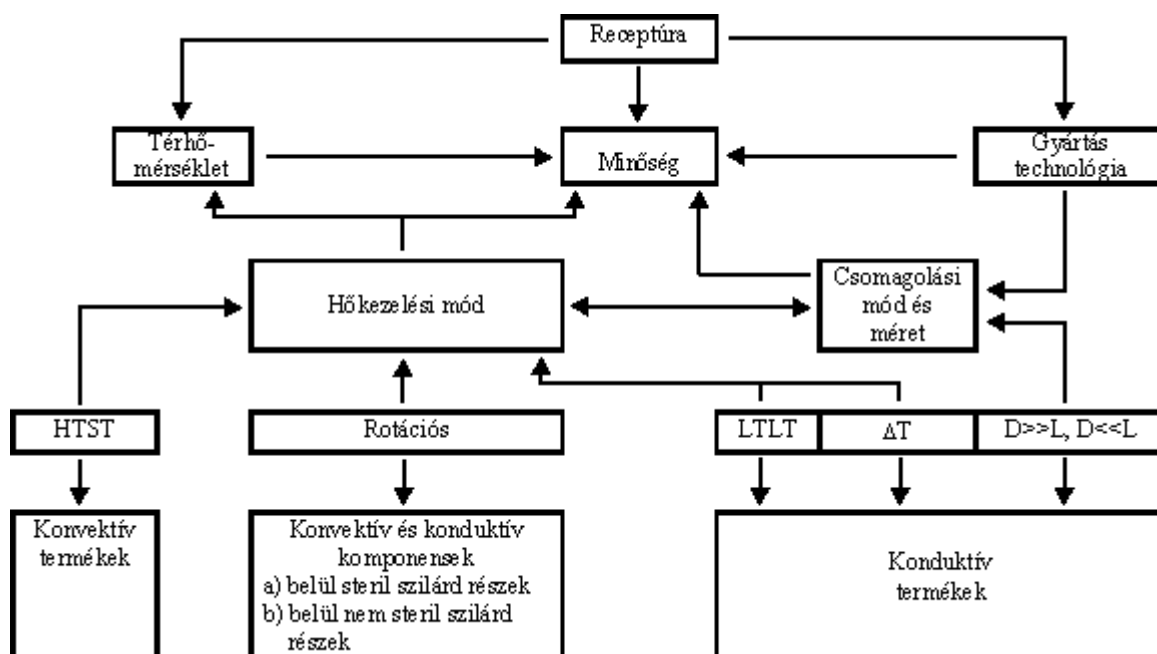
A minőséget mikrobiológiai, technológiai és művelettani szempontok figyelembevételével tudjuk megőrizni.

- **Mikrobiológiai alapelv:** a baktériumok sokkal inkább pusztulnak a magas hőmérsékleten rövid idő alatt (HTST), mint viszonylag alacsonyabb hőmérsékleten viszonylag hosszabb idő alatt (LTLT).
- **Technológiai alapelv:** hogy a mikroorganizmusok és az érzékszervi elváltozások z értékei közti különbség háromszoros
- **Művelettani alapelv:** a felületre bevitt hő a termék belseje felé terjedését fejezi ki.

A mikrobiológiai és technológiai alapelv alapján a gyors intenzív, míg a művelettani alapelv esetén sokszor a lassabb, kevésbé intenzív hőátvitelt alkalmazzuk, amelynek során a nem állandósult hővezetés harmadfajú határfeltételét próbáljuk megközelíteni a határfelületen (13).

$$\alpha F(T_k - T_a) = \lambda F \frac{dT}{dx_n} \quad (13)$$

A hőkezelés technológiai és műveleti aspektusait az 1. ábra foglalja össze. LUND (1978) abból indult ki, hogy a termékben a hő főleg konvekció és kondukció vagy mindkettő révén terjedhet. Mivel a folyadékokban a konvekció 3-5x gyorsabb, mint a szilárd anyagokban a kondukció, az áramlásra képes folyadékokat intenzíven, míg a szilárd anyagokat kevésbé intenzíven hőkezeljük. LUND (1978) szerint a belül steril (pl. hús izompólyában) termékeknek elég a felületi csíráatlanítás, míg a belsejükben nem steril termékek (kockázott hús) magjában is el kell érni a kellő sterilitást. REICHERT (1985) főleg a változó térhőmérséklet alkalmazását (Delta-T és L hőkezelések), valamint a hőkezelés és a gyártástechnológia-receptúra kapcsolatát foglalta össze.



1. ábra: A minőség és a hőkezelési körülmények kapcsolatai (LUND 1978, REICHERT 1985) (Rövidítéseket lásd a 2.2.2 pontban)

2.2.2. Az alapelvek érvényesítése

A hagyományos hőkezelés (H) 3 szakaszra osztható (1) a közeg felmelegítése a kívánt térhőmérsékletre, (2) a térhőmérséklet állandó értéken tartása, (3) a termék lehűtése. A H kezelés ún. HTST változata az 1 és 2. elven alapszik, vagyis a baktériumok gyorsan pusztulnak, és bár a pillanatnyi hőkárosodás viszonylag nagy a minőségi elváltozások kumulálódása csak kismértékű a rövid hőkezelési idő miatt. Ezt a hőkezelési módot áramlásra képes fluidumok hőkezelésénél tudjuk előnyösen alkalmazni, főleg átfolyó rendszerű hőcserélőkben végzett hőkezeléseknél, amelyekben az ún. jellemző hosszt 4-10 mm csökkentjük a dobozok 20 mm feletti értékével szemben. A rotációs hőkezelés a konvektív és konduktív komponenst is tartalmazó szószos-felöntőleves termékeknél alkalmazhatjuk. A folyamatidő akár 70%-kal is rövidülhet.

Az LTLT kezelés a H kezelés változata, amelyet a konduktív termékeknél a felületi hőkárosodás csökkentése érdekében, főleg nagyméretű, hőérzékeny (pl. májas) termékeknél alkalmazunk. Az LTLT kezeléssel kisebb a termékbe jutó hőáram, így a felületről el nem szállított hőmennyiség miatti felületi túlmelegedésből eredő hőkárosodás kisebb lesz. Viszont az adott hőkezelési egyenérték és/vagy maghőmérséklet eléréséhez hosszabb

hőntartási idő kell, de a hűtési idő csökkenhet a hűtés során kevesebb elvonandó hő miatt (EISNER 1979).

Amikor az LTLT hőkezelési mód még mindig nem eredményez kellő minőségű hőkezelt terméket változó térhőmérsékletű (VRT) kezelések jöhetnek szóba. A lépcsőzetes (L) kezelésnél a térhőmérsékletet időben vezérlik és két változtatási időpont között állandó értéken tartják. A kezdeti hőmérsékletet úgy állapítjuk meg, hogy a melegedés be tudjon indulni. Az egyes hőmérsékleti lépcsők ideje akkor jár le, amikor a maghőmérséklet gradiense lecsökken. A L hőkezelést EISNER (1979) akkor tekinti optimálisnak, amikor a maghőmérséklet emelkedése folyamatos, sőt azt is megfigyelte, hogy a felületi C-értékek csökkenése mellett a mag C-értéke nő a H, HTST vagy LTLT kezeléshez képest. Az L hőkezelési módnál tovább csökkentjük a termékbe bevitt hőáramot, és az LTLT folyamathoz képest még tovább nő a szükséges hőkezelési idő. A kevesebb termékbe bevitt hőmennyiség viszont rövidebb hűtési időt eredményez (EISNER 1979).

A lépcsőzetes hőkezelési módnak egy speciális két lépcsős megvalósítása az ún. túlzott mértékű hőkezelés, amelynél pl. az első szakaszban 30-60 percig 90-100°C térhőmérsékletet, majd a második szakaszban 75-85°C térhőmérsékletet állítanak be. Az első szakasz magas hőmérséklete által a pórusokat bezárjuk, ezáltal a zselé nem tud kiválni (REICHERT 1980). Az eljárás alkalmazhatóságát a termékek felületi rétegeinek túlzott hőkárosodása és a fóliás csomagolások hőtűrése (80°C) korlátozza.

Az idézett irodalmi adatok legtöbbjét sterilizációs tartományra és kisméretű konzervdobozra adták meg (D=54 mm, 73x58 és 99x199) (REICHERT 1976). EISNER (1979) is csak 1500 g-os sonkafélkonzerv hőkezelésre ad meg egy példát cikkében. TEIXEIRA et al. (1975) legjobb tiamin megtartásának a lépcsőzetes hőkezelési formát és egy lineáris térhőmérséklet emelkedésű kezelést (lásd a delta-T kezelésnél) ad meg 83x116-mm-es dobozra, és No.2 (USA jelölés) dobozcsaládra (8°C/10 perc sebességű térhőmérséklet emelés 107-129°C között, majd 8°C/10 perc sebességű térhőmérséklet csökkentés hűtésekor). VERSLUYS et al. (1996) órás illetve félórás lépcsőben emelte a térhőmérsékletet 50-60°C-tól 78-82°C végső korlátozási hőmérsékletig. ALMONACID-MERINO et al. (1993) 18-55 perc kezelési idő csökkenést értek el a VRT kezelésekkkel, ami 20-50% kapacitást növekedést jelentett. DURANCE et al. (1997) 87,3x49,2 mm méretű dobozban a VRT folyamattal 15%-os időrövidülést és 3%-al jobb tiamin megtartást kaptak.

NORONHA et al. (1993) a VRT kezelésekkel csökkenteni tudta a kezelési időt akár 45% mértékben, amellet, hogy a minőség ugyanaz maradt, mint a CRT kezelésnél, egzakt számításokat nem adtak meg, mert a paramétereket mindenkor egyedi esetre kell meghatározni. CHEN és RAMASWAMY (2004) 4 lépcsős folyamatot talált optimálisnak, amellyel a kezelési idő 43%-kal a felületi minőség 24%-kal javult. SIMPSON et al. (2008) számos többlépcsős folyamatot dolgoztak ki, amelyet a térhőmérséklet jobb szabályozhatósága érdekében spline függvénnnyé alakították át. A többi szerző nagyfokú kezelési idő csökkentését és vitamin-tartalom megmaradásában jelentkező javulását (csak 3%) nem érték el, ami a vizsgált tömzsi dobozra is visszavezethető. Amint EISNER (1979), ők is megállapítják, hogy a kezelési idő növekedése nem feltétlenül jár együtt a VRT folyamattal.

A ΔT =állandó hőkezelés egyrészt felfogható, mint a lépcsőzetes hőkezelés határeset, amikor a térhőmérséklet olyan kis időközönként és olyan kis értékkel emelkedik, hogy az ábrázoláskor már egy folytonosan emelkedő vonalat mutat. Mégis van két lényeges eltérés a lépcsőzetes hőkezeléshez képest, mert a térhőmérséklet és a maghőmérséklet között állandó hőfokkülönbség áll fenn, míg a termék és a csomagolás hőérzékenységtől függő végső korlátozási hőmérsékletet nem érjük el. A térhőmérsékletet itt már nem az időben vezéreljük, hanem azt a maghőmérséklet által szabályozzuk.

APPEL és LÖFQVIST (1978) a termék maghőmérsékletének $0,1^{\circ}\text{C}/\text{perc}$ sebességű emelését ajánlották, amely a vizsgált sonkánál ($D=14\text{ cm}$, $H=32,5\text{ cm}$) 20°C -os ΔT = állandó kezelésnek felelt meg. Első kísérletükben 36°C -os kezdeti térhőmérsékletről indulva 5°C -os térhőmérséklet emelésekkel, 90°C végső korlátozási hőmérséklet mellett, egészen 70°C maghőmérsékletig folytatták a hőpenetrációt. Kísérletük második csoportjánál 20 perces felmelegítési idő után 90°C hőmérsékletet tartottak. 30 perc hűtés után újrapréselés, majd 2°C -os hűtés következett. REICHERT (1980) bár közelebbről nem adja meg, de a rostos műbélbe betöltés után hőkezelt a sonkát, amely a húsipari gyakorlatnak megfelelően nem lehetett nagyobb átmérőjű 12-14 cm-nél, és 25°C ΔT értéket tart megfelelőnek. Ezt az értéket javasolja még REICHERT és POGODDA (1995). TEIXEIRA et al. (1975) 83x116-os dobozra egy állandó hőmérsékletemelkedésű görbét ad meg, amelynek induló hőmérséklete 107°C , és 30 perc alatt éri el a 129°C -ot ($0,73^{\circ}\text{C}/\text{perc}$), amelyet ezután 40 perc alatt visszahűt 107°C -ra ($0,55^{\circ}\text{C}/\text{perc}$).

THALHAMMER (2002) 70°C-os maximális végső térhőmérsékletet ajánl, ami a hőkezelést nagyon lelassítja a tartási szakasz végén és nagy hőterhelést jelent időben, sőt ezt még fokozza a 20°C-s levegőn hűtéssel. Ez utóbbi REICHERT (1985) szerint is jobb szelet-összetartást ad, bár a túlélő mikroflórának kedvez, de nem említene meg konkrét méreteket, így nehéz azokat adaptálni. DESMOND és KELLY (2005) nedves légáramban 85°C-on 72°C maghőmérsékletig H kezeléssel és 35°C delta-T kezeléssel 85°C végső korlátozási térhőmérséklettel 72°C maghőmérsékletig hőkezelték. A Delta-T kezelés 2-3%-kal jobb volt, ami várható is volt a kisebb hőbevitelű folyamattól. Az ilyen összehasonlítás az eltérő mikrobiológiai stabilitást adó hőkezelés miatt kérdéses. Ugyanezt tudjuk megállapítani BOLES és SWAN (2002) kísérleteiről, amelyben kétlépcsős hőkezelést (70°C térhőmérsékleten 63°C maghőmérsékletig majd 85°C térhőmérséklet 80°C maghőmérsékletig), és delta-T hőkezelést (50°C kezdeti térhőmérséklet 40°C maghőmérsékletig, majd 10°C delta-T főzés 63°C illetve 80°C maghőmérséklet elérésig) alkalmaztak. A delta-T=10°C-os hőmérsékletkülönbség eltér a szokványosan alkalmazott 20-25°C-os értéktől.

A változó térhőmérsékletű kezeléseknél újabban nemcsak delta-T és L kezeléssel foglalkoznak. A lineáris térhőmérséklet emelkedésű hőkezelések egy elnyújtott felmelegítési idejű H kezelésnek is felfoghatók. A hosszabb hőkezelési időt nem környezeti, hanem magasabb térhőmérsékletről történő indulással kerülhetjük el. A módszer előnye, hogy a legtöbb hőkezelő szekrény szabályzásánál mind a térhőmérséklet mind a nyomás gradiense beállítható. A másik érdekes újdonság az exponenciális térhőmérséklet-emelkedésű programok megjelenése (WANG et al. 1991). Ezek előnye, hogy az exponenciális függvény konstansainak beállításával a folyamat elején nincs idővesztés és a folyamat végén is megfelelő hőmérséklet gradiens biztosítja az elhúzódó hőkezelés elkerülését. Ez a megoldás sem léphet viszont túl egy határ térhőmérsékletet. NORONHA et al. (1996) a VRT térhőmérsékleti profilt szintén exponenciális függvénnyel állították elő, és 5-18% minőségjavulást és 15-30% kezelési idő rövidülést értek el.

Lehetséges a szinuszosan változó térhőmérséklet kialakítása is, ami lecsökkenti a gradienst a termék felületén, míg a bevitt hőáram tovább nem halad a termék belseje felé.

Kérdés azonban, hogy ezt a hatóságok mennyire engedélyezik, mivel jelenleg az USDA konzervrendeletben is (ANON 1999) a hőmérsékletingadozásra $\pm 1^{\circ}\text{C}$ határértéket adnak meg, illetve az autokláv hitelesítés során az egyes mérési pontok között nem lehet nagyobb eltérés, mint $\pm 0,5-1^{\circ}\text{C}$ (BOWN 2004). A változó térhőmérsékletű kezeléseknél a berendezésen belüli homogén térhőmérséklet és reprodukálhatóság problémája mindenesetre fennállhat. A hőkezelő berendezésekhez mellékelte jelenlegi hőkezelési programok az állandó lépcsős hőkezelést veszik alapul.

A csomagolás méreteinél két ellentétes tényezőről kell beszélnünk. Az egyik, hogy a legkevesebb anyagköltséggel a $H/D=1$ tömzsi hengeres dobozok gyárthatók a legkisebb lemezfelületből. A másik, hogy a jellemző méret csökkentésével jelentős kezelési idő megtakarítás érhető el. Ennek ára viszont az, hogy a felületet kell növelni az adott térfogat megtartásához, ami az előzővel ellentétes tendenciát jelent (REICHERT 1985c). A jó minőségű májas készítmények, halkonzervek viszont kifejezetten ilyen csomagolásokban készülnek. A gőz-, víz megtakarítási és dobozgyártási költségarányokat érdemes a változó árak világában időről időre felülvizsgálni.

A termékgyártási technológia egyrészt a termék kezdeti hőmérsékletét határozza meg (pl. készételek) és hideg húskonzervek (vagdalt hús és luncheon meat töltelékes áruk), aminek betartása technológiai fegyelem kérdése, másrészt vannak bizonyos lehetőségek főleg az adalékanyagok területén a hőpenetrációt befolyásoló változtatásokra. Itt ki kell emelni a módosított keményítőket, egyes szénhidrátokat, amelyek az elfolyósodással és vízmegkötéssel befolyásolják a hő terjedésének sebességét. Ez a folyamat az adalékanyagtól függően más és más hőmérsékleten következhet be. A gyártástechnológiában további választási lehetőség az alapanyagok aprítottsági foka. Ez főleg a szalonna méreteit tekintve fontos. Ezen belül a hőkezelés szempontjából kritikus a megfelelő homogén elkevertség.

A termék jellegek a termékre vonatkozó megrendelési és törvényi előírások nagyrészt meghatározzák a termékösszetételeket. Arra viszont lehetőség adódhat, hogy az összetételi és adalékanyag alkalmazási rendeletek alapján csökkentjük a vízaktivitás értékét (LEISTNER és KARAN-DJURDIC 1970). Ezzel az a_w -SSP termékekhez juthatunk el. A hőkezelés mértékének jelentős csökkentése elérhető ugyan, de a 15°C -os tárolási

hőmérséklet nem szokásos a kereskedelemben, tehát ugyanúgy hűtött tárolást kell biztosítani, mint a félkonzervek esetében (gyakorlati/kereskedelmi sterilitás).

2.3. A tervezés művelettani alapjai

2.3.1. Az FDE-VSM megoldás és alkalmazási feltételei

A számítógéppel végzett tervezés alkalmas előzetes szimulációra, modellezéshez, a folyamatoptimalizáláshoz, az energia felhasználás, a tápanyag veszteség, a folyamat letalitás számításához. Mindegyik módszer bizonyos előfeltételezéseken, matematikai és fizikai elveken alapul, amelyeket ha megsértünk, hibás eredményeket kaphatunk. Így a számításokat mindig hőpenetrációs mérésekkel kell ellenőrizni, és a paramétereket folyamatosan pontosítani kell az újabb mérések alapján (DATTA 1998). A termikus transzportfolyamatokat általánosan a (14) egyenlettel írjuk le:

$$\text{lokális változás} = \text{konvekció} + \text{vezetés} + \text{átadás} + \text{forrás} \quad (14)$$

A hőkezelt hústermékekben a hő terjedése túlnyomórészt nem állandósult állapotú hővezetéssel megy végbe, így a konvekciós tag (14)-ből elhanyagolható. A konvekció és a kondukció aránya a Ball-féle meredekségi tényezővel, a csomagolás kondukciós (K_v) és konvekciós (K_a) indexeivel megállapítható (BALL és OLSON 1957, REICHERT 1985).

A hústermékek hőkezelésekor a hőforrás szintén elhanyagolható (14)-ből (a mikrohullámú kezeléseket kivéve). Viszont a külső konvektív hőátadás és a csomagolóanyagok hőátadása szerepet játszik a melegedésben és hűlésben, amelyeket a Fourier egyenlet (15) megoldásainak kezdeti és peremfeltételeiben veszünk figyelembe: A (15) egyenlet VSM általános alakját a (16) egyenlet adja meg. Ennek az egyenletnek különböző esetekre szóló megoldásait legátfogóbban CARSLAW és JAEGER (1957) adták meg. Több dimenziós esetben a megfelelő irányokba eső Y értéket a szuperpozíció elve alapján összeszorozva kapjuk meg (17). A (16) egyenlet a Ball-féle hőpenetrációs görbék f_h és j_{ch} paramétereivel is leírható, ha $Fo > 0,2$ (18).

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} = \frac{1}{a} \frac{dT}{dt} \quad (15)$$

$$Y = \frac{T - T_k}{T_o - T_k} = \sum_{n=1}^{\infty} A_n e^{-B_n Fo} C_n \quad (16)$$

$$Y = Y_x Y_y Y_z \quad (17)$$

$$\frac{T - T_k}{T_o - T_k} = j_{ch} 10^{\frac{t}{f_h}} \quad (18)$$

A (16) egyenlet grafikus ábráját csak durva becslésként használhatjuk, aminek pontossága a diagram léptékétől és az alkalmazók gyakorlottságától függ. RAMASWAMY et al. (1982) szerint kezdő alkalmazóknál a hiba 10-20% is lehet. Ehhez még ma is visszatérnek (BAIRI és LAROQI 2003).

A számítások során sokszor egyszerűsítésekkel élnek. A dimenziók csökkentését általában akkor tartják valós feltételezésnek, ha az oldalak aránya pl. $a > 4b$, $a > 4c$ (INCROPRERA és De WITT 1996). LEONHARDT (1976a, 1976b) szerint háromszoros különbség is elegendő ehhez. ERDOGDU (2006), ERDOGDU és TURHAN (2004), TURHAN és ERDOGDU (2003) csak $Biot > 10$ esetén tartja ezt érvényesnek, $Bi < 10$ esetén exponenciális függvényt ajánlanak a dimenziók elhanyagolhatóságának ellenőrzésére. $Bi = 1$ esetén már 8x különbséget követelnek meg a dimenzió elhanyagolására. Sajnos a számításokat 12D Cl. botulinum pusztításra adták meg, holott jóval nagyobb hőkezelési egyenértéket kell elérni a romlást okozó más Clostridium és Bacillus törzsek miatt (REICHERT 1985).

Sokszor a végtelen soros összegzés helyett csak az első tagot veszik figyelembe, ha $Fo > 0,2$. RAMASWAMY et al. (1982) a (16) egyenlet A, B, C értékeinek kiszámításához korrelációs egyenleteket adtak meg, amelyek 3 tizedesig egyeztek az eredeti táblázati értékekkel. A felületi hőátadás tényező és ezzel a Biot számot végtelennek feltételezését HELDMAN (1975) szerint $Bi > 40$, TURHAN és ERDOGDU (2003) szerint $Bi > 100$ esetén tehetjük meg.

A modelltől függetlenül a pontosság attól függ, hogy a felállított képlet előfeltételezéseit mennyire tudtuk betartani a hőkezelési folyamat során. A VSM megoldást leginkább akkor alkalmazzák, amikor az élelmiszer hőfizikai paraméterei állandók és hőmérséklettől függetlenek, lehetőleg egyszerű hasáb, henger, gömb geometria alkalmazható, az anyag homogén és izotróp, az anyagban a hő csak vezetéssel terjed, a térhőmérséklet azonnal beáll, és utána állandó marad, nincs fázisváltozás.

2.3.2. Véges differencia (VDM) és véges elemes (VEM) módszerek

A VDM módszerek szabályos alakú (hasáb-, henger-, gömb-terméknél, megkönnyítik a változó térfélmérséklet követését, nem kell minden lépésben kiszámolni az előzőleg megtörtént hőmérsékletalakulást, mint az FDM VSM megoldás esetén, könnyű az áttérés a hőntartási szakasról a hűtésre, jól tanulmányozható a túlmelegedés és a hűtés kezdeti szakasza, amely döntő jelentőségű a hőkezelés-szükséglet számítások szempontjából. Mindezt azonban nagyobb számítási igény jellemzi, és ha bizonyos kritériumokat nem tartunk be, akkor nagyobb pontatlanságokat idézünk elő. A megfelelő pontosság és a számítási igény felmérése mindig kompromisszum eredménye. A módszer lényege, hogy adott tartomány térbeli pontjaira a differenciál-hányadosokat differencia-hányadosokkal közelítjük, amelyek lineáris algebrai módszerekkel megoldható egyenletrendszer alkotnak. A VDM módszerek pontossága a kezdeti és peremfeltételek megadásán, valamint a VDM módszer kritériumainak betartásán múlik (IMRE 1983, WELT et al. 1997), amelyek a következők:

- **Konzisztencia:** Ezt a jellemzőt az idő és a térfelosztás finomításával teszteljük, amelynek hatására a hiba mértéke csökken.
- **Konvergencia:** A konvergenciával azt ellenőrizzük, hogy a felosztás finomításával milyen pontossággal közelítjük meg a valós megoldást vagy a mért értéket.
- **Stabilitás:** A VDM módszert akkor tekintjük stabilnak, ha a felosztási finomságot növelve a numerikus hiba korlátos marad.
- **Regularitás:** A regularitás azt jelenti, hogy a VDM módszerrel becsült értékekben nem lép fel oszcilláció vagy más fizikai képtelenség. Az oszcilláció jelenségét nem zárja ki a konzisztencia, konvergencia és stabilitási kritérium minimális értékének teljesítése sem. Ennek kizárására IMRE (1983) elsősorban a stabilitási kritérium csökkentését (osztásközök finomítása. a hőmérsékletek helyi értékének alsó és felső korlátjának előírását, a hőmérséklet gradiens irányának előírását javasolja.
- **A differenciaegyenlet rendszer közelítési pontossága:** Különösen az ún. explicit módszereknél fontos a stabilitási feltétel betartása belső pontokra. Ez 1 dimenzió esetén (19):

$$\frac{a\Delta t}{(\Delta x)^2} < \frac{1}{2} \quad (19)$$

A felületi rácspontokra ez a kritérium kiegészül a Biot számmal, és kisebb betartandó határértéket eredményez. Ezzel a problémával nem kell számolni az implicit módszereknél, de azok pontossága nem éri el az explicitét, valamint további számítási igényt jelent a megoldás. Az ADI (váltakozó irányban explicit és implicit számítási séma alapján írják le a rácsponti értékek változását) módszerek csökkentik, illetve megszüntetik az explicit módszerrel kapcsolatos stabilitási problémákat, de ekkor is külön számítási igények lépnek fel. Az irodalomban hőkezelésre közölt VDM módszereknél sokszor állandó hőtani paraméterekkel és végtelen nagy hőátadási tényezővel számolnak (TEIXEIRA et al. 1969, MANSON et al. 1970 és 1974, OHLSSON 1980, MCGINNIS 1986b, TANDON és BHOWMIK 1986, BHOWMIK és TANDON 1987, KÖRMENDY 1987, SIMPSON et al. 1989, LEBOWITZ és BHOWMIK (1989 és 1990), TUCKER és HOLDSWORTH 1990, STOFOROS et al. 1997). Amikor a termékek szabálytalan alakúak, illetve a komponensek eloszlása heterogén a véges elemes módszerrel könnyebben leírhatók a hőterjedési jelenségek (NAVEH et al. 1983c, WANG és SUN 2003), de mindez nagyobb számításigénnyel, programozással jár, és gyorsabb, nagyobb memóriájú gépet igényel. A húsipari termékek többsége szabályos geometriákkal leírhatók és a heterogenitást effektív hőtani paraméterek alkalmazásával is lehet közelíteni (GAFFNEY et al 1980), a legtöbb esetben jól használható a VDM módszer is.

2.3.3. A hőtani paraméterek meghatározási módszerei

A hőtani paraméterek a hőátadási tényezőt, a hővezetési tényezőt, a fajhőt, sűrűséget, és a hőmérsékletvezetési tényezőt foglalják magukba, amelyek minél pontosabb meghatározása a számítógépes modellezés eredményeinek a gyakorlatba átvihetőségének előfeltétele. MCGINNIS (1986a) különösen $1000 \text{ W/m}^2\text{K}$ hőátadás tényező érték alatt tartja fontosnak a meghatározást, mert ekkor már jelentős eltérést kapott a hőkezelhető fémfóliás tasakokba csomagolt marhahús számított és mért egyenértékei között. A várható hőátadási tényező a hústermékek hőkezelő berendezéseiben ezen határ alatt van. A meghatározásra leggyakrabban a Nusselt függvényeket, az ún. összpontosított hőkapacitás, a hőpenetrációs görbék illesztési, és a kémiai összetételből meghatározás módszerét alkalmazzák. A Nusselt függvényeket a folyadékok áramlás közbeni hőátadási folyamatának dimenzió analíziséből kísérletek alapján vezetik le speciális elrendezésekre és értéktartományokra. Általános alakjuk szabad és kényszer konvekcióra (20) és (21) egyenletek szerint alakul. MCGINNIS

(1986b) azt tapasztalta, hogy a csőben turbulens áramlásra megadott képletek jók a szögletes csatornákra is, míg a PETERSON és ADAMS (1983) által ajánlott képlet inkább a lamináris tartománynak felel meg.

$$Nu = C_1 (GrPr)^m \quad (20)$$

$$Nu = C_2 Re^p Pr^r \left(\frac{\eta}{\eta_f} \right)^s \quad (21)$$

Az ún. összpontosított hőkapacitás módszerben ismert hőtani paraméterű, nagyon jó hővezető képességű egyszerű testet (végtelen hengert, hasábot vagy gömböt) helyeznek állandó hőmérsékletű térbe, és mérik a test hőmérséklet emelkedését. Ha $Biot < 0,1$, akkor a felületi hőátadási tényező az energiamérleg alapján (22) egyenlet logaritmizált alakjának iránytangenséből számítható. A (22) egyenlethez hasonló megoldást adtak meg RAMASWAMY et al. (1983), amiben az időt a Ball-féle hőpenetrációs görbe meredekségi tényezője helyettesítette.

$$Y = \frac{T - T_k}{T_o - T_k} = e^{-\frac{\alpha F}{\rho c_p V} t} \quad (22)$$

A (16) egyenletből a Biot számtól, hőátadási tényezőtől függő A és B állandókat mind az eredeti mind logaritmizált alakjából meghatározhatjuk az LKN módszerrel. Ez akkor alkalmazható könnyen, ha a hőmérsékletvezetési tényező ismert és a hővezetés egy dimenzióra korlátozható (ERDOGDU 2005).

BHOWMIK és HAYAKAWA (1979) véges henger mért felületi és maghőmérsékletéből UNO és HAYAKAWA (1980) 4 mérési pont hőmérsékletéből számított hőmérsékletet arányokból alapján számították a hőátadási tényezőt. Később AWUAH et al. (1995) jobbnak tartották a Ball módszeren alapuló meghatározást (24), mint az arány módszereket a főleg $Bi > 20$ esetén a nagyobb szórás és a várható hőátadási tényező felülbecslés miatt. PFLUG et al. (1965) a Ball módszer alapján a hőátadási tényezőt közvetetten határozták meg a β karakterisztikus gyökből egy-dimenziós test esetén (23). PETERSON és ADAMS (1983) a (24) képletet vezette le autoklávozható tasakokra 1 dimenzió esetén, BALL és OLSON (1957) és STUMBO (1973) alapján:

$$\beta = \sqrt{\frac{2,303 R^2}{a f_h}} \quad (23)$$

$$\alpha = \lambda \sqrt{\frac{2,303}{af_h}} \tan \sqrt{\frac{2,303L^2}{af_h}} \quad (24)$$

A hőátadási tényező értéke még tovább csökkenhet a csomagoló-anyagok, dobozban levő légtér és a termék és a csomagolás közti érintkezési ellenállás miatt. A fejtéren kívül a többi oldalnál belső oldali felületi hőátadási tényező (α_b : közvetlen a fal mellett elhanyagolható a vákuumtöltés miatt (KÖRMENDY 1987). VARGA és OLIVEIRA (2000) a test hőmérlegéből numerikusan kiszámolt átlaghőmérséklet és felületi hőmérséklet segítségével az eltelt időszakra számították ki a felületi hőátadási tényezőt.

A termék hőtani paraméterei mérőműszerekkel, hőpenetrációs görbékkel meghatározhatóak. A műszeres mérések komoly mérés technikai ismereteket, sok feltétel teljesítését igényelhetnek (DSC, LHS technika), amelyeket nem mindig tartanak be. Ráadásul drágák, és sokszor nem is áll rendelkezésre minden műszeres lehetőség, hogy a hőmérsékletvezetési tényezőt a hővezetési tényezőtől, a fajhőből és a sűrűségből műszerekkel határozzuk meg. További hátráltató tény, bár a mérések viszonylag kis hibái is jelentős eltérést idéz elő a hőmérsékletvezetési tényező értékében (MILES et al. 1983, ESZES és RAJKÓ 2004).

Az élelmiszerek hővezető képességének méréséhez legtöbbször két alapvető módszert használnak. Az egyik a Guarded Hot Plate (GHP) módszer (HILL et al. 1967, KULACKI és KENNEDY 1978, PHAM és WILLIX 1989), amely a Fourier I. törvényen alapszik. A másik módszer az ún. Line Heat Source (LHS) technika a termékbe helyezett hőforrás által keltett melegedést méri a hőforráshoz közeli pontban és a hővezetési tényező értékét az $\ln(t)$ -T grafikonból állapítják meg a görbe lineáris szakaszára figyelembe vételével. (LENTZ 1961, QASHOU et al. 1970, SWEAT és HAUGH 1974, HIGGS és SWIFT 1975, SWEAT 1975 és 1985, BAGHE-KHANDAN et al. 1981, BAGHE-KHANDAN és OKOS 1981, DROUZAS és SARAVACOS 1988). A módszert az utóbbi időben továbbfejlesztették a kiértékelés javításával (WANG és HAYAKAWA 1993) és a mérőegység kialakításának a hibaanalízisével, (MURAKAMI 1996, ELUSTONDO et al. 2001), és a magasabb hőmérsékletre kiterjesztéssel (ZHOU et al. 2007). További mérési módszereket TOULIKIAN et al. (1970) könyvében találhatunk.

A hőtani paraméterek az üzemekben is sokszor mért víz-, zsír és fehérjetartalmak alapján is meghatározhatók. A legtöbb egyenlet csak lineárisan veszi figyelembe a víztartalmat a termék hőtani paramétereinek számításánál (MILES et al. 1983). A hővezetési tényezőre találhatunk mind hőmérséklettől független (SWEAT 1975, McPROUD és LUND 1983, TSAI et al. 1998, WEBER 1998), mind attól függő lineáris (HERMANS 1979, MARTENS 1980) és négyzetes (CHOI és OKOS 1986, RIEDEL 1969) összefüggéseket. Ekkor a hővezetési tényezőt, a fajhőt, és a sűrűséget a komponensek részarányából és a komponens állandó értékéből súlyozott átlagként számítják ki, de ekkor a műszeres meghatározásoknál említett hibákhoz jutunk (MEFFERT 1983, ESZES és RAJKÓ 2004).

A sűrűséget számolhatjuk az anyag térfogatából és tömegéből (YI és CHEN 2003), vagy a kémiai analitikai értékekből (MILES et al. 1983), a fajhőt kalorimetriás mérésekből vagy kémiai analitikai értékekből (MILES et al. 1983) határozhatjuk meg.

A hőmérsékletvezetési tényező meghatározására másik lehetőség a hőpenetrációs mérések alkalmazása. A hőkezelési irodalomban legtöbbször a Ball-féle hőpenetrációs görbét használják fel erre a célra. A hőmérsékletvezetési tényezőt megkaphatjuk a felületi hőátadás tényező figyelembevételével, ha a (23) egyenlet átrendezzük, illetve azt három dimenzióra is átírhatjuk (25) (RAMASWAMY et al. 1983): Az f_h tényező meghatározásához az egyenes illesztés LKN módszerét alkalmazzák. DICKERSON (1965) DICKERSON és READ (1968) DICKERSON és READ (1975) változó térhőmérsékletre a (26) egyenletet adják meg:

$$a = \frac{2,303}{\left(\frac{\beta_{x1}^2}{X^2} + \frac{\beta_{y1}^2}{Y^2} + \frac{\beta_{z1}^2}{Z^2} \right) f_h} \quad (25)$$

$$a = \frac{4M}{(T_k - T_m)R^2} \quad (26)$$

RIZVI et al. (1980) PFLUG et al. (1965) és DICKERSON (1965) módszerét hússal analóg modelljének méréséhez alkalmazta. 70-80°C között $r=0,97$ korrelációt kapott a RIEDEL (1969) és a PFLUG et al. (1965) módszer között. RIEDEL (1969) módszerét 93,3°C-ig jónak tartották, míg ezen hőmérséklet felett PFLUG et al. (1965) módszerének alkalmazását ajánlották.

Felmerül a heterogenitás hatása is a hőtani paramétereknél. GAFFNEY et al. (1980) szerint, ha a termék komponenseinek eloszlása véletlenszerű, akkor számolhatunk az un. effektív hőtani paraméterekkel, amennyiben ez nem áll fenn megfelelő résztartományokra kell felosztani a terméket és VDM/VEM módszerekkel külön kell számolni az egyes komponenstartományokat (NEMÉNYI M 2001, 2002).

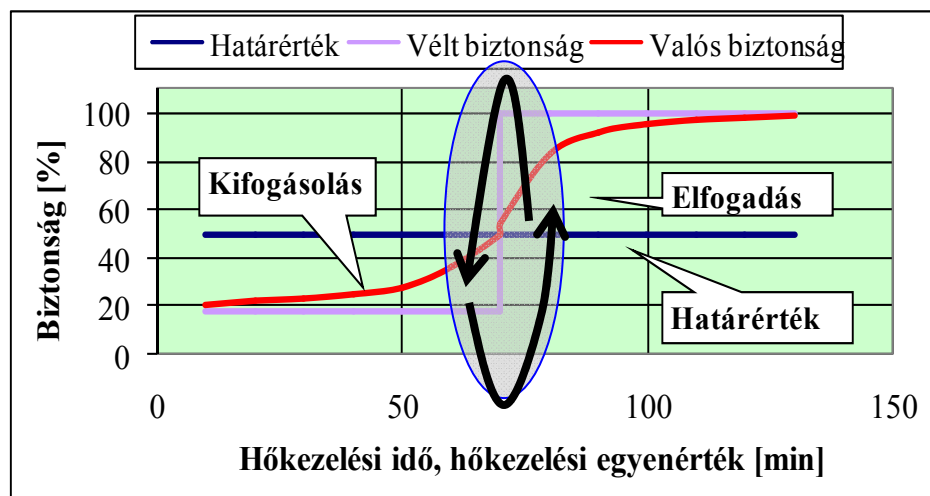
A művelettani megközelítésben a (16) egyenlet inverz megoldását végzik el, vagyis a mért (általában) maghőmérsékleti görbéhez keresik meg a szükséges hőtani paramétereket az illesztés legkisebb négyzetes eltérés módszerével. A gondot a (16) egyenlet kitevőjében levő $B=f(B_i)$ változó és a hőmérsékletvezetési tényező szorzata adja, amely a minimumkereső algoritmus programokat sokszor a megadott szélsőértékre viszi el, és akár fizikailag értelmezhetetlen értékeket adnak.

2.3.4. A hőkezelés tervezésben alkalmazott új megközelítések

Az USDA konzervrendelete értelmében (ANON 1997), az engedélyezett hőkezelési programtól és a rögzített kritikus tényezőktől történő bármilyen eltérés rendellenes folyamatnak tekintendő. A rendellenes folyamatok főleg a technológiai fegyelem megsértéséből, a gyártástechnológiai paraméteringadozásokból, tápellátási zavarokból erednek. Az esetek többségében elkerülhetetlen az újra hőkezelés. Ha a térhőmérséklet vagy a kezelési idő túlzott mértékű volt, akkor csak a minőségi károsodással kell számolnunk, élelmezés egészségügyi kockázat nem áll fenn. Ellenkező esetben az újra hőkezelést csak akkor tudjuk elvégezni, ha már kidolgozott kezelési programunk van és az a kezelői térben kifüggesztve, a kezelő rendelkezésére áll az azonnali korrekcióra, az élelmiszerbiztonság megköveteli az ilyen esetekben döntésre jogosult személy megnevezését. A gyakorlati alkalmazást az is nehezíti, hogy a berendezéseknek csak egy része méri a hőkezelési egyenértéket, ami sokkal többet mond a termék által kapott baktériumpusztító hőterhelésről, mint a kezelési idő vagy kezelési hőmérséklet. A rendellenes folyamatok esetén legtöbbször a gőzmaradással foglalkoztak (DATTA et al. 1986, TEIXEIRA et al. 1999).

A paraméteringadozásokból adódó folyamateltérések abban térnek el a deviáns folyamatoktól, hogy a kívánt értékektől való eltérések egy elfogadható tartományban maradnak. Ezek viszont a véletlenszerű kapcsolódásukkal okozhatnak gondot, főleg a minimális mértékűre csökkentett hőkezeléseknél (2. ábra). A hőkezelés mindig kisebb-

nagyobb hőkárosodást okoz, ezért a minőség, a gazdaságosság a kapacitás kihasználás javítása érdekében minimálisra csökkentjük le. A hőkezelés mértékének csökkentésével a valós biztonság kezdetben lassan, majd később rohamosan csökken. Ha bekerülünk az 2. ábra közepén lévő kiemelt tartományba, akkor tételről tételre tudunk elfogadott és kifogásolt terméket gyártani. Sőt az eddig elfogadható paraméteringadozás sokszor alulkezelést eredményez. Végül az üzem visszatér a felesleges túlbiztosításra. Sajnos a hőpenetrációs adatokat a vállalatok nem elemzik a számítógépes adatrögzítés hiánya és az akár napi 50-150 görbe miatt. Így nem tudják, melyik paraméter okozza a gondokat a hőkezelés során. Az adatkiértékelésekkel ennek a veszélyes sávnak a szélessége csökkenthető. Minél jobban csökkennek a paraméteringadozások, annál kisebb túlbiztosítás szükséges a hőkezelések során.



2. ábra: A biztonság alakulása a hőkezelés mértékének függvényében

A hőkezelés tervezés módszereihez sorolhatjuk a Ball módszer már említett változatait (LENZ és LUND 1977, THIJSSSEN et al. 1978, THIJSSSEN és KOCHEN 1980) és a különböző optimalizációs módszereket (OHLSSON 1980, STOFOROS 1995).

Mivel a tervezésben mindenképpen alkalmazni kell számításokat, a hibákat és azok tovaterjedésének hatását mindig elemezni kell. Itt most nem a számolási hibákról van szó, hanem a számoláshoz szükséges mért és származtatott adatokban óhatatlanul meglévő hibákra, és a számítási módszerek feltételeinek teljesítésére gondolunk. Ezek nagyon félrevezetőek lehetnek, mivel az egymásután következő részsámításokban jelentősen

csökkenhetnek, vagy akár növekedhetnek is, így nem valós eredményeket kaphatunk, illetve ezeket nem tudjuk értelmezni, sőt félremagyarázhatjuk azokat. A mérésekben levő hibát a mért adatok szórásából és a számítási képletváltozók szerinti differenciálásával és összegzésével kapjuk meg. A hibaszámítás lineáris közelítése akkor jogos, ha a magasabb rendű deriváltak sokkal kisebbek, mint az elsőrendűek (27-28):

$$\left(\frac{\partial^2 F}{\partial x_i^2}\right) \ll \left(\frac{\partial F}{\partial x_i}\right) \quad (27)$$

$$\delta_F = \left(\frac{\partial F}{\partial x_1}\right)\delta_1 + \left(\frac{\partial F}{\partial x_2}\right)\delta_2 + \left(\frac{\partial F}{\partial x_3}\right)\delta_3 + \dots + \left(\frac{\partial F}{\partial x_n}\right)\delta_n \quad (28)$$

A kísérletekben sokszor csak a $\pm$ hibahatárokat tudjuk becsülni. Ha a (28) egyenletben a felső határokat alkalmazzuk, akkor a deriváltak abszolút értékét vesszük figyelembe, és ez túlbecsléshez vezet. Ezért a negatív értékek figyelembe vételéhez a pitagoraszai összefüggést használjuk. A véletlen hibák esetén a kovarianciát az (29) egyenlettel számítjuk. AKTERIAN (1997) és AKTERIAN et al. (1998) a fentiekhez nagyon hasonló érzékenységi függvényekkel számoltak.

$$\delta_F = \sqrt{\left[\left(\frac{\partial F}{\partial x_1}\right)^2 \delta_1^2 + \left(\frac{\partial F}{\partial x_2}\right)^2 \delta_2^2 + \left(\frac{\partial F}{\partial x_3}\right)^2 \delta_3^2 + \dots + \left(\frac{\partial F}{\partial x_n}\right)^2 \delta_n^2\right]} \quad (29)$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k \left(\frac{\partial F}{\partial x_i}\right) \left(\frac{\partial F}{\partial x_j}\right) \text{Cov}[\delta_i \delta_j] \quad (30)$$

A hőkezelés tervezésben a mikrobiológiai és a hőpenetrációs ingadozásokat ritkán veszik figyelembe. Az első statisztikai megközelítést POWERS et. al. (1962) adták közre. Ők az ún. extrém érték módszert alkalmazták és arra a végkövetkeztetésre jutottak, hogy mintegy 100 hőpenetrációs görbét kell kielemezni, hogy szinte az összes rendkívüli érték előforduljon. LUND (1978) a Ball féle f_h tényezővel történő „Formula Method” számítás ellenőrzéséhez az f_h tényező átlagával számolás mellett annak $\pm$ szórásának és konfidencia intervallumainak alkalmazását ajánlotta a számítások ellenőrzésére. ROBERTSON és MILLER (1984) legalább kilenc mérést (3 mérés 3 párhuzamossal) ajánl. PATINO és HEIL (1985) az (27) és (28) egyenleteket használták fel a hőkezelés számítások ellenőrzésére. HAYAKAWA et al. (1988) és WANG et al. (1991) a folyamat külső körülményeinek hőkezelés egyenérték statisztikai változékonyságára gyakorolt hatását

vizsgálták meg kisméretű konzervdobozokra, és az előidézett egyenérték változásokra nem normál, hanem χ^2 eloszlást kaptak.

A kísérlettervezés hagyományos módszerével, mindig csak egy tényezőt változtatva a többi állandó értéken hagyva, nagyon lassan haladnánk előre a megfelelő paraméter együttes kiválasztásában, ez mind idő, mind költségfordításban is jelentkezik. A mai kísérlettervezésben a paraméterek együttes változtatásával teljes- vagy részfaktoros kísérleteket/számításokat lehet végezni, melynek statisztikai alapon történő beállításai lehetővé teszik az egyes paraméterek hatásának eredményre gyakorolt hatásának, a kölcsönhatásoknak a gyors elemzését. Ekkor az egyes paramétereknek alsó és felső szintjeit, egyes esetekben a középső vagy „csillagpontos” szintjeit is, határozzuk meg és helyettesítjük a kódtáblázat, majd a számítás megfelelő helyére (KEMÉNY és DEÁK 2002).

A kísérlettervezés mellett új módszerként a mesterséges neurális (ideg) hálókat alkalmazzák, de ez nagyon függ a speciális körülményektől, de nem szükséges a befolyás meghatározásához a konkrét összefüggések ismerete (AFAGHI et al. 2001).

A fenntartható fejlődés elve, vagyis kevesebb energia felhasználással termelni ugyanannyi terméket, vagy több terméket kisebb mértékű energia felhasználás mellett, a környezetvédelem megköveteli, hogy a hőkezeléseket energetikai szempontból is megtervezzük, illetve felülvizsgáljuk. Ez ma már többet jelent, mint egyszerű energiagazdálkodási kérdés. Meg kell vizsgálni az esetleges kihatásokat is pl. lásd a dobozméret alakítást, hűtővízfogyasztást stb. (KEREKES és SZLÁVIK 2003). Az energetikával a Római Klub első jelentése után kezdtek el foglalkozni. Az első közlemények általános és hőveszteségi kérdésekkel foglalkoztak (RAO et al. 1976, RAO et al. 1978, SINGH 1978, RAO és KATZ 1976, UNGER 1973). SIELAFF et al. (1982b) fekvő hengeres autokláv, BHOWMIK et al. (1985) álló autokláv energetikai viszonyait vizsgálták, de ezek is inkább a hőveszteségekre vonatkoztak, a hőkezelési technológiát nem érintették. Újabban a termék által felvett hő, vagyis a folyamatban hasznos hő szerint értékelik a folyamatokat (SINGH 1986). A hűtővíz felhasználással kapcsolatban szinte csak az autoklávgyártók adatai állnak rendelkezésre. Ennek oka abban keresendő, hogy a hűtést egyrészt biztonsági tartalékként kezelik a folyamatban, másrészt az egyes vidékeken nagyon eltérő mind a rendelkezésre álló víz mennyisége, mind hőmérséklete.

3. Anyagok és módszerek

3.1. Vizsgálati anyagok

3.1.1. Sonkafélkonzervek

A sonka félkonzerveket fiatal 110-130 kg élősúlyban levágott, közfogyasztásra feltétel nélkül alkalmas sertések bőrös szalonnás normál pH értékű ($5,8 < \text{pH} < 6,2$) (PSE jelleg kizárása) combjaiból és lapockáiból gyártottam le. A vágóvonalról érkező sertéseket intenzív gyors hűtéssel hűtöttem le (-10°C 1 órán át), majd további hűtéssel (0°C) a húsok maghőmérsékletét $+6^{\circ}\text{C}$ -ra csökkentettem.

A csontozás és kivágás előtt a comb és a lapocka felületét vízfürdőben csírátlanitottam (81°C , 3s). A csontozás és kivágás során eltávolítottam a csülköt, a bőrös szalonnás részt, csontokat, a puha zsiradékot és az inakat. A csontozó szalag végén három (világos, közepes és sötét) színosztályra válogattam a húsdarabokat az egyenletes metszéslap szín elérése érdekében. A páclé behatolásának elősegítésére hártátlanitót (SK 11-320 Stork-Townsend, Oss, Hollandia) és felületi beirdalót (Inject Star Industrie-Injector BI-183, Bécs, Ausztria) alkalmaztam. A pácolást hűtött kivákuumozott Hoffmann-féle tumblerben (Inject Star, Bécs, Ausztria.) végeztem az USDA által engedélyezett pácléösszetétellel (víz, dextróz, só, Na-aszkorbát, Na-foszfát, Na-nitrit) és páclé mennyiséggel (a hozzáadott páclémennyiség $< 8\%$), 8 órán át automata idővezérlésű megszakításos forgatással 50-55 perc forgatás 5-10 perc pihentetés paraméterekkel, vagy folyamatos pácoló berendezésben végeztem (Townsend Engineering B.V., Oss, Hollandia). A tumblerezett húst a vákuum tumbler tartályban további kb. 16 órán érleltem. A csomagolásnál ónozott acéllemez dobozt és műanyag fóliát (NAPIAG, Napiag Kunststoffverarbeitung Gmbh, Zeltweg, Ausztria, LOVAFLEX Unipac Deutschland, Ratingen, Németország) használtam. A dobozos csomagolásnál vákuumos tömörítést alkalmaztam a dobozzárás előtt. A fóliás csomagolásnál a pácolt húst mélyhúzott fólia fészekbe helyeztem, amelyet vákuumban fedőfóliával zártam le (TIROMAT Krämer Grebe, Wallau, Németország). Az előre legyártott fólia tasakok esetén (Langen-féle gyártóvonal (Townsend Engineering B.V., Oss, Hollandia) a betöltött tasakot a fémformába zárás közben vákuumozással zártam le. A töltőtömeget gramm pontossággal ellenőriztem a csomagoláson feltüntetett értéknek megfelelően. A fóliába csomagolt termékeket fémformába helyeztem, és leszorítással megfelelő formát adtam a termékeknek. A

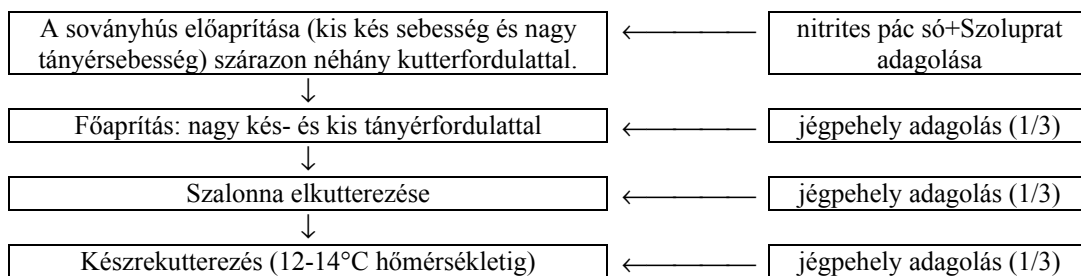
fémformába helyezett fóliás termékeket „un. sonkatornyokban” hőkezelttem. Az egész feldolgozási folyamat alatt a munkaterek hőmérséklete $+10^{\circ}\text{C}$ alatt volt.

3.1.2. Töltelékes áruk gyártása

A vörösárukat és a felvágottak pépjét szakaszos pépkészítési eljárással készítettük. A két pép között a különbséget a felvágott pép mintegy 10%-kal kisebb víztartalma jelentette. Az alapanyag összetétel változó volt, az alapanyagok hozzáférhetősége miatti variációs anyagnorma alkalmazásából eredően (3. ábra).

5. táblázat: A töltelékes áruk anyagnormái

Anyag	Nosztalgia Párizsi	Párizsi rövid és normál párizsi	Sajtos párizsi	Virsli
Marhahús I	-	-	11	20
Marhahús II.	27	-	-	-
Sertés II	-	60	16	36
Sertés III.	23	-	-	-
Ipari szalonna	12	-	7	11
Börke	3,5	-	-	-
Víz	32,2	36	29,3	30
Sajt	-	-	34	-
Sókeverék	2,1	1,7	2,3	1,8
Szoluprát	0,2	0,3	0,4	0,2
Adalékfehérje	-	3	-	1
Aszkorbinsav	-	0,03	-	-



3. ábra: A pépkészítés folyamata

3.1.3. Kiegészítő anyagok hőtani paraméterek mérésére

A hőátadási tényező meghatározásához bentonit szuszpenziót is felhasználtam a drága alapanyag kiváltása érdekében, ennek alapjául NIEKAMP et al. (1984) munkája szolgált. B-82-es jelű bentonitot alkalmaztam (MINERAL HOLDING kft. Budapest, Magyarország). A bentonit port grammnyi pontossággal mértem be a Philips háztartási robotgép táljába 2 liter desztillált vizet öntöttem, és a tálat így visszahelyeztük a

robotgépbe. A vízbe a 800 g bentonit port fokozatosan (20 perc alatt) és erős keverés mellett (III fokozat fordulatszám + tálforгатás) adagoltam, hogy homogén és csomómentes szuszpenziót kapjak. Az elkészült szuszpenziót legalább 1 napig még tovább állni hagytam a hidratáció teljes végbemenetele érdekében. Az elkészült szuszpenziót fémhengerbe (DICKERSON 1965) töltöttem és lezártam. A szuszpenzió víztartalma 71,4 s% volt, ami megegyezett a sonka termékek várható víztartalmának.

A műanyag rudat (Metamid, Poliamid 66) a hűtés mérésére alkalmaztuk, a főző-szekrény érzékelőjét a főzés végén ki kellett húzni a termékből, egy, a párizsi átmérőjével egyező metamid rúddal ($d=80$ mm $H=200$ mm) mértem mind a főzés mind a hűtés alatt a hőmérsékleteket. A metamid rúd hőtani paramétereire a FÁBRY (1987) által megadott értékeket vettem figyelembe ($\lambda=0,23$ W/mK, $c_p=1700$ J/kgK, $\rho=1140$ kg/m³). A metamid rudat egy rugalmas hálóbba tettük, amelynek segítségével a térhőmérséklet mérő szondát közvetlen a felület közelébe tudtuk helyezni és rögzíteni.

A felületi hőátadási tényező méréséhez 99% tisztaságú alumínium tömböt (200x100x20 mm) is felhasználtam. A csomagolások jellemzőit a 6-9. táblázatban foglaltam össze, elrendezésük a Függelék 2. és 3. ábráján láthatók. Az oblong és pullmann dobozok szabványosak voltak (SZENES 1989), a fóliás termékek méreteit a fémforma és a termék tolómérő (pontosság 10^{-5} m) lemérésével állapítottam meg. Az adatokat 6-9. táblázatokban foglaltam össze.

6. Táblázat: A csomagolások és a fémformák hőtani paramétere

Anyag	Vastagság [m]	Hővezető-képesség [W/mK]	Fajhő [J/kgK]	Sűrűség [kg/m ³]	Forrás
Fedő és alsó fólia	10^{-4}	0,3	2000	1000	FÁBRY (1987)
Oldal fólia	$6 \cdot 10^{-5}$	0,3	2000	1000	FÁBRY (1987)
Fémforma	0,002	15	500	7800	KOVÁCS (1986)
Fedő és fenéklapka	0,30-0,31	50	500	7800	KOVÁCS (1986)
Oldalfal	0,28-0,30	50	500	7800	KOVÁCS (1986)
Alumínium fém tömb	0,02	204	890	2700	FÁBRY (1987)

7. táblázat: A csomagolások méretei és elrendezése

Csomagolás	Oldalhosszak [mm]			sorok	egység	Fejtér
	X	Y	Z	száma	/sor	[mm]
12 lb oblong	105	169	323	2	28	20
16 lb pullmann	115	115	545	2	30	20
11 lb pullmann	115	115	385	2	30	20
8 lb pullmann	100	100	400	2	42	20
6 lb pullmann	100	100	303	3	42	20
4 lb pullmann	100	100	207	4	42	20
12 lb oblong LANGEN és fóliás	103	164	305	7	35	-
12 lb oblong fóliás	103	164	305	4	32	-
Piknik sonkagép	175	95	120	4	8	-

8. táblázat: A sonkafélkonzerv csomagolások méretei és a köztük levő réstávolságok

Csomagolás	Oldalhosszak (mm) és dobozközi távolságok					
	X	rés elölnézetben	Y	rés oldalnézetben	Z	rés magasságban
12 lb oblong	105	11	169	3	323	osztólapon áll
16 lb pullmann	115	27,5	115	17	545	osztólapon áll
11 lb pullmann	115	27,5	115	17	385	osztólapon áll
8 lb pullmann	100	17	100	12,5	400	osztólapon áll
6 lb pullmann	100	17	100	12,5	303	osztólapon áll
4 lb pullmann	100	17	100	12,5	207	osztólapon áll
12 lb oblong LANGEN	103	20	164	18	305	20 mm
Fóliás sonka	105	15	160	18	301	20 mm+20 mm
Piknik sonka	120	73	175	85	95	80 mm

9. táblázat: A töltelékes áruk méretei és a rudak közti réstávolságok

Termék	Átmérő [m]	Magasság [m]	Rés a rudak között [mm]	rés magasságban
Virsli	25,4	100	0,9	fűzészerűen pározva
Májas	40	200	10,0	fűzészerűen klipszelve
Felvágott1	65	400	11,9	klipszelve boton
Felvágott2	80	450	10,9	klipszelve boton
Zala	100	300	11,1	klipszelve boton

3.2. Alkalmazott eszközök

3.2.1. Alkalmazott berendezések

A hőpenetrációs méréseket STOCK AN4 ipari 4 kocsis autoklávokban (Függelék 4. ábra) VEMAG és ATMOS főzőszekrényekben (Függelék 5. ábra) és laboratóriumi termosztátban végeztük. A STOCK autoklávokban teljes vízelárasztásos enyhe túlnyomásos (1,5 bar) hőkezelést alkalmaztam. Az autokláv két tartályból állt. A felső

tartályban az előző hőkezelés meleg vizét melegítettem fel kb. 10°C-kal magasabb értékre, mint a kívánt térhőmérsékleti érték, hogy a hőkezelő tartályban a leeresztés után ne legyen nagy hőmérséklet csökkenés, és az előírt térhőmérsékletet minél hamarabb lehessen elérni. A víz 15 darab 1"-os vezetéken lép be a hőkezelő térbe és alul ugyanennyi 1"-os vezetéken lép ki abból. A meleg víz keringtető szivattyú 70 m³/óra a hidegvíz keringtető szivattyú 15 m³/óra térfogatáramot biztosított. A hőkezelő program lépései:

Felmelegítési idő: A forró víz leeresztése után kb. 10 perc az adott térhőmérséklet elérésig.

Tartási idő: A térhőmérséklet állandó értéken tartása az előírt 68-72°C maghőmérsékletig.

Hűtés I. szakasz: Az alsó tartályba hidegvizet bevezetése és a meleg víz a felső tartályba vezetése, amíg a felső tartály úszó szintkapcsolója át nem kapcsol a Hűtés II szakaszra.

Hűtés II. szakasz: A hidegvíz keringtetése 40°C maghőmérséklet eléréséig.

A VEMAG főzőszekrényekben a telített páratartalmú levegő oldalsó sorbefúvó nyílásokon lép be a tartás alatt, és az a szekrény közepén levő elszívó ventilátorokon keresztül lép ki. A térfogatáram 10500 m³/óra volt, amely két oldalt 22-22 sorfúvó nyíláson (D=65 mm) lépett be. A készülék saját hűtőrendszerrel rendelkezik. A hűtés két szakaszban történik porlasztó fűvőkán keresztül vízzel, illetve hideg levegővel. Az általános kezelés lefolyás a következő volt T₀=10°C kezdeti hőmérséklet és 70°C elérendő maghőmérséklet mellett:

A VEMAG szekrényekben anemométerrel (PROVA AVM-03) mértem a légsebességet a kocsik sarkainál és a kocsik geometriai középpontjában. Az ATMOS szekrényekben szintén anemométerrel (PROVA AVM-03) mértem a befúvó fűvőkáknál (2 m) 1,5; 1; 0,5 m magasságban a szekrény szélén és a kocsik geometriai középpontjában a kocsik aljának közepén és a kocsi tetejének közepén az elszívó ventilátor tengelye alatt.

10. táblázat: A főzőszekrények általános hőkezelési programja sonkafélkonzerveknél

Szakasz	Hőmérséklet [°C]	Idő [min]
felmelegítés idő	25-75	Kb. 20
Tartási idő	75	300
Szellőztetés	5	10
Zuhanyzós hűtés	10-20	40°C maghőmérsékletig
Levegős hűtés	5-10	30°C maghőmérsékletig

A pasztákat vízgőz átnemeresztő műbélbe töltöttem, és VEMAG és ATMOS főzőszekrényben hőkezelttem. A virslit 80°C-on 30 percig, a párizsi és felvágott féléket 76°C-on átmérőtől függően (40, 65, 80 és 100 mm) 45, 80 120 és 150 percig hőkezelttem.

3.2.2. Hőmérsékletmérő eszközök

A sonkafélkonzervek méréséhez ELLAB CTF 9008 és ELLAB CTF 9004 típusú számítógéphez csatlakoztatott (ELLAB PCLINK 92 szoftver) 8 illetve 4 csatornás hőmérsékletmérőt használtam SSA-TS, DT-19, DC-19 és SD4 érzékelőkkel (Ellab A/S. Roedovre, Dánia). Az első három típusú érzékelőnél a magot, míg az SD4 típusnál a dobozon belül 4 mérési pontot tudtam mérni (3mm, 43 mm, 63 mm és 83 mm a széltől). A rendszer pontossága $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$, felbontása $0,1^{\circ}\text{C}$ volt. A hőmérsékleteket a CTF 9004 készüléknél 15 másodpercenként ("lumped capacity" módszer) a CTF 9008 készüléknél 30 másodpercenként rögzítettem, felbontása minden esetben $0,1^{\circ}\text{C}$ volt. Az érzékelőket a magban és térben helyeztem el, egyes mérésekben a négyponos érzékelőkkel a testen belüli 3 illetve 4 ponton is mértem a hőmérsékleteket. Ekkor a mérési pontok a felülettől 95, 75, 55, és 15 mm-re helyezkedtek el.

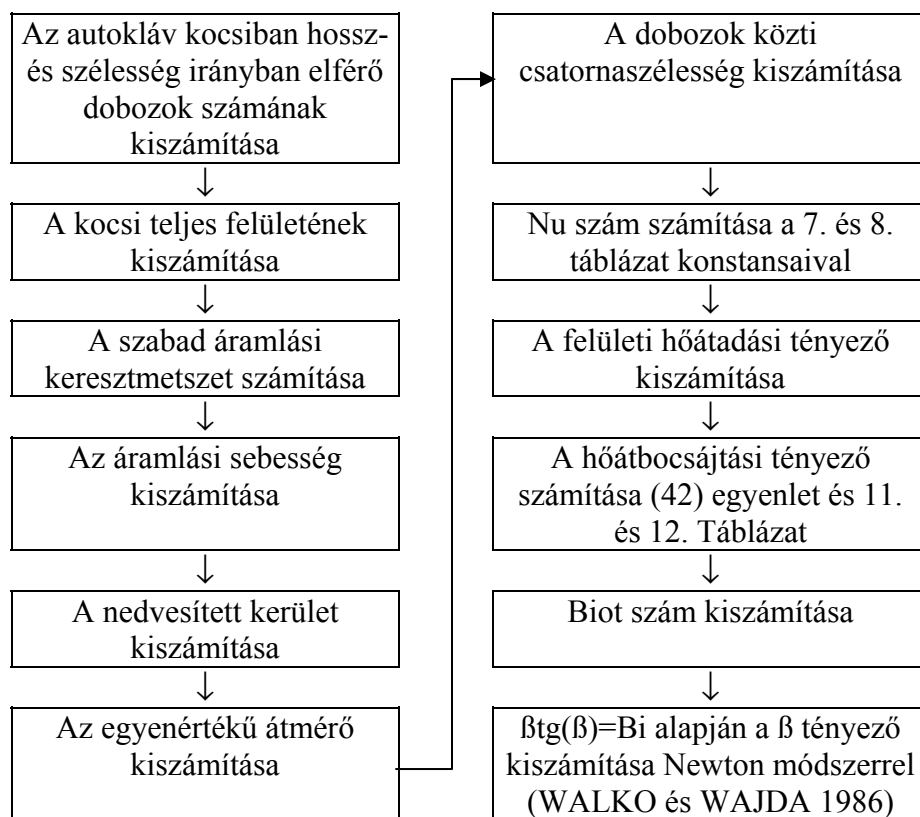
A töltelékes áruk főzőszekrényében történő hőkezelés méréséhez ún. EBRO EBI-2T-313 típusú, számítógéppel előre programozható (EBRO EBI Winlog 2.1, Ebro Electronic GmbH und Co. KG Ingolstadt, Németország), hőmérséklet mérésadatgyűjtőt használtam Ebro 2800-0204 érzékelőkkel.

3.3. Paraméter meghatározási módszerek

3.3.1. Hőátadási tényező meghatározása

A hőátadási tényező meghatározásához Nu függvényeket a 15. és 16. táblázatban feltüntetett konstansokkal számítottam, és ellenőriztem a rendszerekbeli érvényességüket. A számításokhoz az egyenértékű átmérőt PETERSON és ADAMS (1983) és WONG (1983a és 1983b). esetén a dobozok közti réstávolság, McCGINNIS (1986a). esetén a (22) egyenlet szerint számítottam, és az adott dobozelrendezésre az áramlási sebességet a 4. ábra algoritmus szerint számítottam. A számolt felületi hőátadási tényezőt a fejtér, a doboz vagy fémforma és a fólia hővezetéssel szembeni ellenállásával korrigáltam (KÖRMENDY 1987). A hőátadási tényezőt csökkentő légtér mérete átlagosan 2 cm volt a dobozos

termékeknel. A légtér ellenállását $0,02 \text{ W/m}^2\text{K}$ -nek vettük. Nem tételeztem fel érintkezési ellenállást az oldalfalaknál a vákuumtömörítéses töltés és a sonkatorony leszorító szerkezete miatt. Az autokláv kocsiban hossz- és szélesség irányban elférő dobozok számának kiszámítása:



4. ábra: A β konstansok számításának algoritmus

Ezen felül a dobozok három dimenziójából eredő nehézségeket megkerülve egy hővezetési szempontból egy dimenziós, két végén fóliával bevont, parafa koronggal leszigetelt hengerbe, ismert hőmérsékletvezetési tényezőjű bentonit szuszpenziót (2.1.2 pont) töltöttem, és azt helyeztem be az autokláv kosárba egy kivett 12 lb-ás doboz helyére. A hengerbe két hőmérsékletérzékelőt tettem ($r/R=0$ és $r/R=0,7$). A BHOWMIK és HAYAKAWA (1979) módszere szerint kapott "a" állandó és a helykoordináta értékéből a β tényezőt táblázatából (KORN és KORN 1975) határoztam meg, és ennek ismeretében Newton módszerrel (VALKÓ és VAJDA 1986) az ehhez tartozó Biot számot, majd abból a felületi hőátadási tényezőt, $\lambda=0,45 \text{ W/mK}$ -es átlagos hővezetési tényezőt feltételezve. A mérésből 3 ismétlést végeztem. Az irodalomban négyszög keresztmetszetű csatornákra

megadott Nusselt függvényeket a 15. és 16. táblázatban foglaltam össze: Ezen felül a dobozok három dimenziójából eredő nehézségeket megkerülve egy hővezetési szempontból egy dimenziós, két végén fóliával bevont, parafa koronggal leszigetelt hengerbe, ismert hőmérsékletvezetési tényezőjű bentonit szuszpenziót (2.1.2 pont) töltöttem, és azt helyeztem be az autokláv kosárba egy kivett 12 lb-ás doboz helyére. A hengerbe két hőmérsékletérzékelőt tettem, és együtt mértem a hőpenetrációt a kezelés alatt.

11. táblázat: Szabad konvekcióra megadott Nusselt függvények állandói

Szerző és közlés éve	Jellemző méret	C_1	m	Érvényességi tartomány Megjegyzés
BRENNAN et al. (1981)	Magasság	0,56	0,25	$10^3 < \text{PrGr} < 10^8$ függőleges síkfal
		0,12	0,33	$\text{PrGr} > 10^3$ függőleges síkfal
		1	0	$\text{PrGr} < 10^3$
	Résszélesség	0,15	0,25	$10^4 < \text{PrGr} < 10^6$
WONG (1983b)	Magasság	0,8	0,25	lamináris áramlás

12. táblázat: A négyszög keresztmetszetű rendszerek Nusselt függvényeinek állandói

Szerző és közlés éve	C_3	p	R	s	Megjegyzés
PETERSON és ADAMS (1983)	2,31	0,15	-	-	
McGINNIS (1986b)	0,023	0,8	0,33	0,14	$\text{Re} < 6000$ és $\text{Re} > 4000$
MCGINNIS (1986b)	1,86	0,33	0,33	0,14	$\text{Re} < 2100$
WONG (1983a)*	1,86	0,33	0,33	0,33	$\text{Re} < 2100$ és $\text{Re Pr } 2d/l > 70$
	7,54	0	0	1	$\text{Re} < 2100$ és $\text{Re Pr } 2d/l < 70$
* esetében nem a viszkozitás index szerepel az s oszlopában, hanem a $2d/l$ szimplex, ahol d =csatorna szélesség, l =csatornahossz					

A laboratóriumi termosztátban végeztem az összevont hőkapacitás módszer szerinti méréseket az alumínium fémtömbbel a (23) egyenlettel, $\pm 0,1^\circ\text{C}$ hőmérsékletszabályozású termosztáttal. A méréseket álló vízben (szabad konvekció), minimális és maximális szivattyú térfogatáramnál, valamint 100; 300; 500 1/min keverő fordulatszám mellett végeztem. A keverésnél ún. lapátkeverőt alkalmaztam, amelynek mérete 80x40 mm volt. A lapát a termosztát magasságának alsó harmadáig ért le. 5-5 párhuzamos mérésből átlagot, szórást illetve relatív szórást számítottam. A VEMAG főzőszekrényben a négyponos érzékelőt kihasználva UNO és HAYAKAWA (1980). módszerét adaptáltam szögletes geometriára 3 mérésben. A hőkezelés paramétereiből LÖRINCZ és LENCSEPETI (1973a). szerint szintén számítottam hőátadási tényezőt. A felületi hőátadási tényezőt a hőpenetrációs görbék illesztéséből is meghatároztam az EXCEL SOLVER függvény segítségével. A meghatározáshoz az FDE-VSM állandó hőmérsékletre vonatkozó alakját alkalmaztam.

3.3.2. A termék hőtani paramétereinek meghatározása

A hővezetési tényezőt ARMFIELD HT1 Thermal Conductivity Meterrel (Armfield Technical Education Co. Ltd. Ringwood, Hampshire, Anglia) hővezetőképesség mérő készülékkel mértem (Függelék 6. ábra). A készüléket az Országos Mérésügyi Hivatal által hitelesített üveg és teflon etalonokkal az ASTM E-1225 (ANON 1991) szabvány szerint hitelesítettem. A HT1 készüléket TR 9266 EMG 2883-1 típusú feszültség stabilizátorról üzemeltettem az állandó hőáram biztosítása érdekében. A hűtött oldal hőmérsékletét LPT 225 típusú 30 literes termosztát (MTA KUTESZ, Budapest), 1031 típusú szabályzó (MTA KUTESZ, Budapest) és kontakthőmérő valamint LV típusú keringtető szivattyú (MTA KUTESZ, Budapest) biztosította. A minták vastagsága 3 mm volt. A minták behelyezését az azonos hővezetőképesség tartományba eső műanyag korong biztosította. A teljes érintkezésről az összeszorító kapocs gondoskodott. A hőmérséklet különbségeket a hűtő és melegítő oldal közt 10°C-on tartottam. A számoláshoz a hőmérsékleteket a minta felületére lineárisan korrigáltam, mivel ott a gyártó nem helyezett el hőmérsékletérzékelőket. Az állandósult állapot elérése kb. 1,5 órát vett igénybe. A számítás a Fourier I. törvény szerint történt. A hővezetési tényezőt SWEAT (1975) szerint is meghatároztam.

A hőmérsékletvezetési tényezőt a hőátadási tényezők figyelembe vételével határoztam meg az egyenes illesztés LKN módszerével (30), amelynek során az f_h tényező meghatározásánál elhagytam a Ball féle hőpenetrációs görbe kezdeti és végső szakaszát (ez utóbbit a nagyon kis hőmérsékletemelkedés miatt, mert az már kisebb volt, mint a mérőműszer felbontása. A görbéket a robosztus regressziós módszerekkel (1. szubjektív kizárás, klasszikus legkisebb négyzetek (CLS), 2. Iteratívan súlyozott legkisebb (ILS), 3. iteratívan súlyozott legkisebb négyzetek módszere $k=6$ (IRLS6), 4. iteratívan súlyozott legkisebb négyzetek módszere $k=9$ (IRLS9), 5. Egyszerű medián (SM), 6. Leggyakoribb érték (MFV), 7. A mediánok legkisebb négyzete (LMS), 8. ismételt medián (RM)) (Rajkó 1994, Eszes és Rajkó 2001) és a nem linearizált FDE VSM legkisebb négyzetes eltérés módszereivel is értékeltem. Az utóbbiból a kapott β tényezőből a karakterisztikus egyenlet felhasználásával $\beta_{tg}(\beta)=B_i$ a felületi hőátadási tényezőt is meghatároztuk. Ekkor a hővezetési tényezőt az átlaghőmérsékleten vettük figyelembe.

$$Y_r = \frac{T - T_k}{T_o - T_k} = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2}{\beta_n} e^{-\beta_n^2 Fo} \frac{J_1(\beta_n)}{J_0^2(\beta_n) + J_1^2(\beta_n)} J_0\left(\beta_n \frac{r}{R}\right) \quad (31)$$

$$\beta J_1(\beta) = Bi J_0(\beta) \quad (32)$$

$$Y = \frac{T - T_k}{T_o - T_k} = 4 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2 \sin(\beta_n)}{\beta_n + \sin(\beta_n) \cos(\beta_n)} e^{-\beta_n^2 Fo} \cos\left(\beta_n \frac{x}{l}\right) \quad (33)$$

$$\beta \tan(\beta) = Bi \quad (34)$$

Mivel a virsli (25,4x100), a májas (40x200), a felvágott 1 (65x450), a felvágott 2 (80x400) termékek esetén a gyakorlatban alkalmazott méreteknél 4-5x különbség állt fenn egy dimenzióval számoltam. A Zala felvágottnál a henger és palást irányú Y értékeket a sonkafélkonzerveknél a 3 dimenzió Y értékeit összeszorozva kaptam meg a valós dimenzió nélküli hőmérsékletet (35 és 36):

$$Y = Y_r Y_h \quad (35)$$

$$Y = Y_x Y_y Y_z \quad (36)$$

A mért értékek és számolt értékek különbségét a legkisebb négyzetes eltérés elve alapján csökkentettük a paraméterek változtatásával (39). Az illesztések során korrigáltuk a hőmérsékletérzékelő behelyezési hibát a helykoordináták illesztésével.

$$(T_{mért} - T_{számolt})^2 \rightarrow \min \quad (37)$$

A kémiai analitikai értékekből meghatározás során 982 minta (a 110 saját mérést kiegészítettem több mint félévi termelésnek megfelelő minta adataival) a nedvességtartalmát az MSZ ISO 1442-2000. a zsírtartalmát az MSZ ISO 1443-2002. a fehérjetartalmát az MSZ ISO 937-2002 szabványok szerint határoztuk meg. Az eredményeiket statisztikailag értékeltem (átlag, a szórás és az átlag konfidencia intervalluma). A szórásokat Bartlett próbával vizsgáltuk. Az egyes címkeengedélyű termékeket t-próbával hasonlítottam össze, miután F-próbával elemeztem a szórások páronkénti egyezőségét. Az átlagértékek és a konfidencia intervallum tartományhatárai alapján a (19-22) egyenletekkel határoztam meg a hővezetési tényező, fajhő és sűrűség, illetve a hőmérsékletvezetési tényező értékét. Ezen kívül, a sűrűséget az ismert tömeg és térfogat alapján is ellenőriztem a 13. táblázatban feltüntetett méretek a fejtér és a névleges

töltőtömeg alapján. A sűrűség számításoknál a dobozméreteket SZENES (1991) táblázatából vettem. A hőmérséklet függés vizsgálatánál RIEDEL (1969). CHOI és OKOS (1983) HERMANS (1969). képleteit is felhasználtam. A hőtani paraméter meghatározási módszereket értékeltem a hibaterjedés alapján (Kemény és Deák 2002). A deriváláshoz a Derive v6.0 demó verziót használtam fel. A végső hibát a pitagoraszsi összefüggéssel határoztam meg. Az egyes tényezők hibáját a kapott eredményeink illetve az irodalom alapján adtam meg.

3.4. Alkalmazott számítási módszerek

3.4.1. A kezdeti és peremfeltételek alakulása ipari környezetben

A termékben a hő vezetéssel terjedését a (39-43) egyenletek alapján ellenőriztem. (REICHERT 1985, BALL (1957). K_{va} érték egyhez közel esik, akkor a hő túlnyomórészt vezetéssel terjed a termékben. Az f_h tényező 23 db 11 lb-ás és 87 db 12 lb-ás dobozos sonka Ball-féle hőpenetrációs görbéinek legkisebb négyzetes illesztésének átlagaiból számoltam ki.

$$\text{Konvektív doboztényező: } \sigma_a = \frac{XYZ}{2[(XY) + (XZ) + (YZ)]} \quad (38)$$

$$\text{Konduktív doboztényező: } \sigma_v = \frac{0,932X^2Y^2Z^2}{4[(X^2Y^2) + (X^2Z^2) + (Y^2Z^2)]} \quad (39)$$

$$\text{Konvektív koefficiens: } K_a = \frac{\sigma_a [1.\text{doboz}]}{\sigma_b [2.\text{doboz}]} \quad (40)$$

$$\text{Konduktív koefficiens: } K_v = \frac{\sigma_v [1.\text{doboz}]}{\sigma_v [2.\text{doboz}]} \quad (41)$$

$$\text{Hővezetési-hőáramlási viszonyszám: } K_{va} = \frac{K_v f_h - f_h'}{f_h K_v - f_h K_a} \quad (42)$$

A zsírok konvekciós viselkedését megvizsgáltam a szabad konvekcióra megadott Nusselt függvények segítségével is. A konvekció beindulására a $Ra=1000$ határt tekintettem mérvadónak (MIHEJEV 1990). A zsírok fizikai jellemzőit KISS (1988) táblázataiból vettem. A mozaikos felvágottak esetén a zsírszemcséket 4-8 mm-nek tételeztük fel. A zsírszemcsék mennyiségét a metszéslapon az átlagos 20%-nak vettük. A zsírszemcsék eloszlását úgy számítottam, hogy a teljes metszéslap felületéből ezt a 20%-ot foglalják el a zsírszemcsék.

A termékek homogenitásának és a fázisváltozás lehetséges befolyását a víz- zsír- és fehérje tartalom vizsgálatával végeztem el (lásd a 2.3.4 pontot). A kapott víz-, zsír- és fehérjetartalmak alapján a termékek szórásának egyezőségét F-próbával, az átlagértékek egyezőségét t- próbával ellenőriztük.

- A lehetőleg egyszerű hasáb, henger, gömb geometriát és az ebből eredő egyszerűsíthetőségeket a geometriai méretek lemérésével ellenőriztem.
- A kezdeti hőmérséklet ingadozás értékeit az ipari hőpenetrációs mérések alapján vizsgáltam meg, a terméken belüli hőmérséklet eloszlást az alkalmazott technológiai előírások és a négy mérési pontos SD-4 típusú (lásd hőpenetrációs mérés) érzékelőkkel végzett mérésekkel ellenőriztem.
- A közeghőmérséklet azonnali beállítását és utána alakulását az ipari hőpenerációs görbék és a berendezések szabályozása és a hőpenetrációs mérések alapján ellenőriztem.
- Az élelmiszer hőfizikai paramétereit a fentebb említett kémiai analitikai értékekből és a (34) egyenlettel 110 hőpenetrációs mérésből határoztam meg és irodalmi adatokkal vettem össze.
- A hőátadási tényező és Biot szám végtelennek illetve végesnek feltételezését a dobozok elrendezéséből adódó csatornaméretek és a hőátadási tényezők meghatározásával ellenőriztem a fentebb leírt módon.

3.4.2. Véges differencia módszerek alkalmazási körülményei

A VDM módszerek közül az explicit véges differencia módszert alkalmaztam. A felosztásnál a stabilitási kritériumot jóval meghaladó közel 1 cm-es rácsávolságokat vettem fel, ami 5-7-10 részre osztást jelentett a 12 lb-ás doboz 0,0525; 0,064 és 0,151 mm-nek megfelelő oldalánál. A hőmérsékletvezetési tényezőt állandónak vettük. Az időt 60 s-ra választottam. Ezzel a módszerrel a $\Delta T=25^{\circ}\text{C}$ -os kezeléseket vizsgáltuk $68,9^{\circ}\text{C}$ maghőmérséklet eléréséig, valamint adott egyenértékre kezelésre leállítás átlagos hűtési viszonyok feltételezése mellett. A hőmérsékletvezetési tényező értékét RIEDEL (1969) szerint számítottuk. A felületi hőátadási tényező tényezőre a PETERSON és ADAMS (1983) által kapott értékeket használtam. A hőkezelési egyenértékeket addíciós módszerrel 1 perces időközönként számoltam $T_{\text{ref}}=70^{\circ}\text{C}$, $z=10^{\circ}\text{C}$ értékekkel (REICHERT et al. 1979,

1988). Az eredmények megítélésénél a 12 D pusztításnak megfelelő $P=36$ min értéket ($D_r=2,95$ min) vettem alapul. A C értékeket $T_{ref}=70^\circ\text{C}$ mellett $z=7^\circ\text{C}$ (főttség REICHERT et al. 1979) szerint számítottuk.

3.4.3. A VRT kezelések első lépcsőinek meghatározása

Az első lépcső meghatározásához a maghőmérséklet gradienst alakulását vizsgáltuk meg (EISNER 1979). Azt kerestük, hogy a maghőmérséklet emelkedés mikortól esik vissza.

- Hőterjedés: Kizárólag vezetéssel
- Geometria: Hasáb, jellemző hosszak: $X=0,0525$; $Y=0,08$; $Z=0,151$, Henger, jellemző hosszak: $R=0,0525$; $Z=0,151$. A töltelkes áruk esetén egy dimenzióval számoltunk mivel a virslik $25,4 \times 100$ mm, a májasok 40×200 mm, a felvágottak 65×450 mm vagy 80×400 mm, vagy 100×300 mm voltak
- Fázisváltozás: nincs
- Termék

$$\text{homogenitás} \quad VT|_{x,y,z} = 70\% \quad ZST|_{x,y,z} = 20\% \quad FT|_{x,y,z} = 10\% \quad NaCl|_{x,y,z} = 2,5\%$$

- Hőtani paraméterek:

$$\lambda|_{x,y,z} = 0,5 \frac{W}{mK} \quad c_p|_{x,y,z} = 3500 \frac{J}{kgK} \quad \rho|_{x,y,z} = 1070 \frac{kg}{m^3} \quad a|_{x,y,z} = 1,3 \cdot 10^{-7} \frac{m^2}{s}$$

- Kezdeti hőmérséklet: $\tau < 0$ akkor $T|_{x,y,z} = 10^\circ\text{C}$

– 7. Térhőmérséklet Ha $\tau > 1$ akkor

$$\left. \frac{dT}{dX} \right|_{x=X,y=Y} = 72, \quad \left. \frac{dT}{dY} \right|_{y=Y,z=Z} = 76, \quad \left. \frac{dT}{dZ} \right|_{z=Z,x=X} = 80$$

- Felmelegítési idő: l , ha $\tau < 1$ akkor $TKOZ = e^{\frac{-\tau}{l}}$

- Felületi hőátadási tényező $\left. \frac{dT}{dX} \right|_{x=X,y=Y} = 200, \left. \frac{dT}{dY} \right|_{y=Y,z=Z} = 200, \left. \frac{dT}{dZ} \right|_{z=Z,x=X} = 60$

- Szimmetria $\left. \frac{dT}{dX} \right|_{x=0} = 0, \left. \frac{dT}{dY} \right|_{y=0} = 0, \left. \frac{dT}{dZ} \right|_{z=0} = 0$

– A hőmérsékletfüggést CLELAND (1990) szerint vettük figyelembe CHOI és OKOS (1986) és RIEDEL (1969) szerint

$$\frac{T_j^{i+1} - T_j^i}{\Delta\tau} = \frac{k_{j+\frac{1}{2}}}{\Delta x^2 c_{p,j+\frac{1}{2}} \rho} (T_{j+1}^i - T_j^i) - \frac{k_{j-\frac{1}{2}}}{c_{p,j-\frac{1}{2}} \rho} (T_j^i - T_{j-1}^i) \quad (43)$$

3.4.4. Ingadozási számítások

Az 1. ábra biztonsági sávjának meghatározásához felmérési adataink alapján 3 ingadozástartományt választottam. A normál ingadozási tartomány a mért értékek 1s szórását jelentették, vagy az előírás szerinti szórás adatot vettem figyelembe. A tágabb tartományt a 2s szórás vagy az általam tapasztalt legszélső érték jelentette. A 3s szórást, amelyekbe a teljes adathalmaz belefér, nem mindig tételeztem fel, mert az már teljesen kívül esett volna az adott alkalmazási paramétertartományon. A sonkafélkonzervek esetében 117, a töltelékes áruk esetében 200 adatsor alapján állítottam fel a szórás illetve ingadozás tartományokat.

1D eseteket alkalmaztam, mivel a töltelékes hentesáruk méretében az átmérő: palásthossz aránya 1:3-1:5 között van (Virslis 25x100 mm, májasok: 40x200, kisátmérőjű felvágottak 65x450, nagy átmérőjű felvágottak 80x400, Zala felvágott 100x300), és a művelettani szakirodalomban 4-5 a dimenzióelhanyagolás ajánlott arányszáma. LEONHARDT (1976a és 1976b) kimutatta, hogy csak 0,1°C eltérés tapasztalható a sugár és palásthossz arányának 1:3 volta esetén. Így itt is 1D-vel számoltam.

Az ingadozásokat 3 tartományra osztottam fel, amelyek rendre az átlag $\pm 1s$, $\pm 2s$, $\pm 3s$ szórás vagy a tapasztalat alapján három tartományt: kis, közepes és nagy ingadozás (maximális és minimális tapasztalt értékek) állítottam be.

Adott maghőmérséklet elérése: Tapasztalat alapján ezt az értéket virslire 73°C, májasokra 72°C kisátmérőjű felvágottakra 71°C, nagy átmérőjű felvágottakra 70°C-ra, Zala felvágottra 69°C-ra állítottam be. A lekapcsolási 1s ingadozást automatika esetén $\pm 0,3^\circ\text{C}$ -nak vettem (hőmérsékletmérési pontosság a főzőszekrényeknél és autoklávoknál). A 2s ingadozás tartományt az esetleges kezelői késedelem miatt $\pm 0,6^\circ\text{C}$ -ra állítottam be. A 3s folyamatra a legrosszabb tapasztalt esetet tételeztem fel, amit a diagram papír leolvasás jelentett. Ez legjobb esetben a 2°C skálabeosztás miatt $\pm 1^\circ\text{C}$ -ot jelentett.

A térhőmérsékletre három alaphőmérsékletet tételeztem fel: 72; 74 és 76°C-ot. Az 1s szórású folyamatra a hőkezelő tér bármely két pontja között megadott 1°C hőmérsékletkülönbség alapján (BOWN 2004) $\pm 0,5^\circ\text{C}$ -ot tételeztem fel. Ennek kétszerese

jelentette a 2s folyamatot, míg $\pm 1,5^{\circ}\text{C}$ ingadozás jellemezte a legrosszabb esetet mérési tapasztalataink alapján.

A kezdeti hőmérsékletingadozásra 1s tartományként $10\pm 1^{\circ}\text{C}$ -ot tételeztem fel tapasztalataim alapján. Ennek kétszeresét vettük fel a 2s folyamatra ($10\pm 2^{\circ}\text{C}$). A 3s folyamatra az előre gyártás 6°C raktározási előírását vettem alsó határnak, míg a pépgyártás 14°C -os ajánlott végső pép átlaghőmérsékletét tételeztem fel maximális hőmérsékletnek ($10\pm 4^{\circ}\text{C}$).

A felületi hőátadási tényező értékére három alapértéket vettem figyelembe, ami a szabad konvekciós pasztörkádra 60 , az áramló vízre $200\text{ W/m}^2\text{K}$, a nedves telített légáramú főzőszekrényekre $300\text{ W/m}^2\text{K}$. Ez egyrészt tapasztalaton másrészt irodalmi értékek alapján történt (ESZES és RAJKÓ 2004). A szórásra a névleges érték $\pm 10\%$ -át (az 1s folyamat), $\pm 15\%$ -át (a 2s folyamat), a 20% -át (3s folyamat) ingadozást tételeztem fel irodalmi adatok alapján. Ez átfogta a Nusselt függvények hibahatárát illetve a legkisebb négyzetes eltérési görbeillesztések tartományát, és tükrözte a $Bi=f(\beta)$ a karakterisztikus egyenletek táblázati értékhatarából (CARSLAW és JAEGER 1959) eredő különbségeket is.

A jellemző hosszra a műbelek feszesre túltöltését figyelembe véve virslinél $\pm 0,5$ mm, a májasoknál $\pm 0,075$ mm, kisátmérőjű felvágottaknál ± 1 mm, a nagy átmérőjű felvágottaknál $\pm 1,5$ mm, míg a Zala felvágottnál ± 2 mm méretingadozást tételeztem fel.

A hőtani paramétereknél a kémiai összetételből meghatározásból indultam ki (MILES et al. 1983). Az alapértékeket a víz (VT) zsír (ZST) és fehérjetartalom (FT) esetén az élelmiszerkönyv adatait vettem alapul (ANON 2004, ANON 2009).

13. táblázat: A termékek kémiai összetétele

Termék	Víztartalom [%] maximum	Zsírtartalom [%]	Fehérjetartalom [%] minimum	Sótartalom [%]
Virsli	70	17,5	10	2,5
Májas	66	22,3	9	2,7
Felvágott I	71	16,5	10	2,5
Felvágott II	62	24,5	11	2,5
Zala felvágott	69	16,5	12	2,5

$$ZST=100-VT-FT-ST \quad (44)$$

Hogy a 100%-on felüli értékeket elkerüljük, a zsírtartalmat a (43) képlettel számítottam ki. A névleges értékeket úgy állítottam be, hogy a $\pm$ szórás értékek esetén ne

lépje túl a maximálisan engedélyezett víztartalmat illetve a mindig felette legyünk a minimális fehérje tartalomnak. A víztartalomnál így a maximális a szórással értéket mindig csökkentettem, míg a fehérjetartalomnál a minimális értéket a szórással mindig megnöveltem. És ezek lettek a névleges középértékek. A sótartalmat, mivel gramm pontossággal mérhető, nem vettem be az ingadozásba. Az ingadozásoknál 1s szórású folyamatnak az analitikai meghatározás hiba mértékét tekintettem. A víztartalomnál ez 0,3% (ANON 2000), a zsírtartalomnál $\pm 0,5\%$ (ANON 2000a, a fehérje tartalomnál 0,5% volt (ANON 2000b). Ennek kétszeresét tételeztem fel a 2s folyamatoknál, míg a 3s folyamatot a méréseinkben tapasztalt értékeket vettem alapul, ami víztartalomnál 1,5%, fehérjetartalomnál 1,7%, zsírtartalomnál 2% volt. A számításoknál az alábbi eseteket vettem figyelembe: Adott maghőmérséklet elérése, 12D pusztítás elérése, 12D pusztítás elérése a hűtéssel együtt.

3.4.5. A paraméterek és ingadozásaik hatása a hőkezelésre

Ezt a területet azért vizsgáltam, hogy megállapítsam a különböző leállítási feltételek esetén mely paraméterekre kell leginkább ügyelnem, hogy az előírásokat, az alap hőkezelési programot ne sértsem meg. Ennek megállapítására a kísérlettervezés módszerét használtam fel (KEMÉNY és DEÁK 2002). Előzetesen a paraméterek értéktartományain belül 3 illetve 5 ponton határoztam meg az adott elérendő maghőmérsékletet illetve hőkezelési egyenértéket, és megvizsgáltam, hogy a vizsgált értéktartományban elegendő-e az alsó-felső határ, illetve be kell-e vonni a középértékeket vagy a csillagpontokat is. A kapott eredményekből átlagokat és szórást számítottam. A kölcsönhatásokat összeszorzással értékeltem ki. Az eredményeknél kis hatásúnak minősítettem az 1-2 együtthatójú paramétereket, míg az ennél nagyobbakat nagyhatásúaknak vettem. A vizsgált paraméter tartomány a 3.4.4 pontok átlagértékeit jelentették. Mivel az irodalomban nem volt egyértelmű állásfoglalás az eredmények eloszlásának fajtájában, és ez döntően befolyásolja az átlag és szórásszámítást (élelmiszerbiztonság, ésszerű és fel is vállalandó túlkezelés méretezése) megvizsgáltam az eloszlások alakulását is. A fentiekben vázolt paraméter tartományokon belül Monte-Carlo módszerrel megvizsgáltuk a számítási alapparaméterek és a kezelési idők illetve a hőkezelési egyenértékek eloszlását.

A befolyásolási és érzékenységi paraméterek meghatározása

A befolyásolási KEMÉNY és DEÁK (2002) hibaszámítási eljárást alkalmaztam a fentebb már említett paraméter tartományokra. A befolyásolási tényező értékét a folyamatos paraméterváltoztatásos kísérlettervezési módszerrel kapott értékek átlagával és szórásával jellemeztem. Külön megvizsgáltam, hogy a paramétertartományon belüli paraméterváltoztatások lineáris vagy parabolikus trendet követnek-e. Az érzékenységet a paraméterre kapott értékek szórásával és az egységnyi változás mértékével jellemeztem. A vizsgált paraméter a több hőkezelés leállítási elv volt, azaz a maghőmérséklet elérés ideje ($d=100$ mm-nél 69°C , $D=80$ mm-nél 70°C , $D=65$ mm-nél 71°C , $D=40$ mm-nél 72°C , az adott egyenérték elérése esetén $12D$ (gyors fogyasztású termékek) pusztítás elérése. Ezt a *D-Streptococcus*okra a REICHERT (1988) szerint megadott $D=2,95$ perc alapján számítottam.

3.4.6. Mikrobiológiai megfontolások a tervezésben

A mikrobiológiai megfontolások közül először az irodalomban közölt sokféle *Streptococcus*, *Lactobacillus viridescens* inaktiválódást vizsgáltam meg. A figyelembe vett D_r és z értékeket a 14. táblázat tartalmazza. Határértéknek a $12D$ pusztítást vettem alapul. A második vizsgált aspektus a tartási idő alatti szaporodás volt. A szaporodást csak a tartási időre számítottuk ki, mivel a termékűtést csak $30-40^{\circ}\text{C}$ maghőmérsékletig végzik a gyakorlatban. Az elérendő maghőmérsékletet tapasztalat alapján $d=100$ mm-nél 69°C , $D=80$ mm-nél 70°C , $D=65$ mm-nél 71°C , $D=40$ mm-nél 72°C , $D=25,4$ mm-nél 74°C értékekre vettem fel.

A hűtéskor elérendő hőmérsékletet a töltelékes áruknál 30°C -ban, a sonka félkonzerveknél 40°C -ban adtam meg. A hűtési hőmérsékletalakulásnál a töltelékes áruknál a külső tushűtéskor 5 perc szellőzés után 20°C térhőmérsékletet tételeztem fel. A felületi hőátadási tényezőt a mérések alapján vettem be a számításba. Ezek a gyakorlati mérésekből származó ingadozás mértékének megítélésére szolgáltak. Emellett változtatva a Biot számot (felületi hőátadási tényezőt) és a hőmérsékletet, megvizsgáltam mennyire érdemes növelni a turbulenciát (60 álló víz, 150 régebbi berendezések gyenge vízkeringtetés, 200-400 $\text{W/m}^2\text{K}$ tusolós hűtés és új berendezések).

A szaporodási jellemzőket DANTIGNY (1997) képletével 10°C minimális szaporodási hőmérséklettel, 37°C optimális hőmérséklettel és 40°C maximális hőmérséklettel számítottuk.

14. táblázat: A számításokban felhasznált Streptococcus és Lactobacillus viridescens $D_r(70^\circ\text{C})$ és z értékek

Szerző és a közlés éve	Közeg/termék/körülmény	D_r [min]	z [$^\circ\text{C}$]
REICHERT ET AL. (1979)	Húsleves/pácolt hús D-Streptococcus	2,95	10,38
WOJCIECHOWSKI (1981)	Str. faecalis 509	31,22	41
	Str. faecium 1861	37,75	42,2
HOUBEN (1982)	Sonka 24 h inkubáció, E-20	20,9	8,3
	Sonka 24 h inkubáció E-20	20,9	9,3
	Sonka 48 h inkubáció, E-20	30	11
	Sonka 48 h inkubáció, E-20	30	12,8
REICHERT et al. (1988)	Foszfát puffer	3,1	9,64
	Foszfát puffer	3,1	10,67
	Húspép+NaCl	3,1	9,7
	Húspép+NaCl	3,1	10,22
MAGNUS et al. (1986)	Húspép+NPS	2,9	9,95
MAGNUS et al. (1988)	Húspép+NPS	2,9	10,15
MAGNUS et al. (1988)	Húspép+NPS+foszfát	2,7	9,89
	Str. faecium E-20, P1-A, 19434	2,79	12
	Str. faecium E-20, P1-A, 19434	3,42	7
	Str. faecium E-20, P1-A, 19434	3,42	12
	sonka, Str. faecium E-20	4,7	7,46
	sonka, P1-A	7,89	7,46
	Lactobacillus viridescens	9,45	38,5
GHAZALA et al. (1995)	Streptococcus faecium	1,11	12,4
PEDRAZZONI et al. (1995)	Streptococcus faecium RR1	13,60	11,80
	Streptococcus faecium P1A	7,92	7,46
INCZE et al. (1999)	Streptococcus faecium E-20	4,6	7,46
	Lactobacillus viridescens	16,6	38,5
MACKEY et al. (2006)	E. faecium $T_{ref}(65^\circ\text{C})$	18	6
ZANONI et al. (1997)	Enterococcus faecium	29,35	1,6

A hűtés beszámításánál a maximum és minimum görbét vettem figyelembe. A töltelékes áruknál a hűtővíz hőmérsékletét $20\text{--}30^\circ\text{C}$ közöttinek tételeztem fel az evaporatív jellegű hűtések alatt. A hűtési görbét az egyenes illesztés LKN módszerével illesztettük a mért értékekre. Az autoklávós mérésnél a mért 117 hűtési görbénél kiszámítottam az egyszeres szórásokat, a legkisebb és legnagyobb értékeket az adott időponthoz. A kapott pontokra polinomot illesztettünk:

$$\text{Átlag+szórás: } y = -0,0001x^3 + 0,07x^2 - 3,568x + 78,54 \quad R^2 = 0,999$$

$$\text{Átlag+szórás: } y = -0,001x^3 + 0,112x^2 - 4,381x + 74,32 \quad R^2 = 0,999$$

$$\text{Átlag-szórás: } y = -0,001x^3 + 0,155x^2 - 5,194x + 70,11 \quad R^2 = 0,995$$

$$\text{Maximum } y = 3\text{E-}07x^6 - 5\text{E-}05x^5 + 0,003x^4 - 0,098x^3 + 1,678x^2 - 14,54x + 69,71 \quad R^2 = 0,995$$

$$\text{Minimum } y = -5\text{E-}05x^4 + 0,0055x^3 - 0,1865x^2 + 0,1777x + 78,846 \quad R^2 = 0,9949$$

3.5. *Energetikai számítások*

Az energetikai számításoknál hagyományos módon eljárva a falon keresztüli hőveszteséget az alábbiak szerint számítottam. A berendezés oldallapjai szendvicspanelek voltak. A burkolata KO36 ($\delta=2$ mm, $\lambda=16$ W/mK) rozsdamentes acéllemez, amelyek szigetelő poliuretán hab anyagot fognak közre ($X=100$ mm, $\lambda=0,026$ W/mK, $\rho=30$ kg/m³) A térhőmérsékletek a megadott hőmérsékleti program szerint alakultak. A felületi hőátadási tényezőt a belső oldalon a magasság szerint 2 m/s (alul) - 20 m/s (felül) befújási sebesség között vettem figyelembe turbulens Nusselt függvény alkalmazásával. Mivel a főzőszekrényben és az autoklávban is nedves levegő/víz áramlik, ezért a víz hőtani jellemzőit vettem alapul a vonatkoztatási hőmérsékleten $[(T_{\text{tér}}+T_{\text{fal}})/2]$. A külső oldalon sugárzási és konvektív hőátvitellel számoltam. A sugárzási számításoknál ($\epsilon=0,96$ vettem alapul. A szigetelőanyagban érvényesülő hőterjedésre a borító lemezt, mint ellenállást vettem figyelembe.

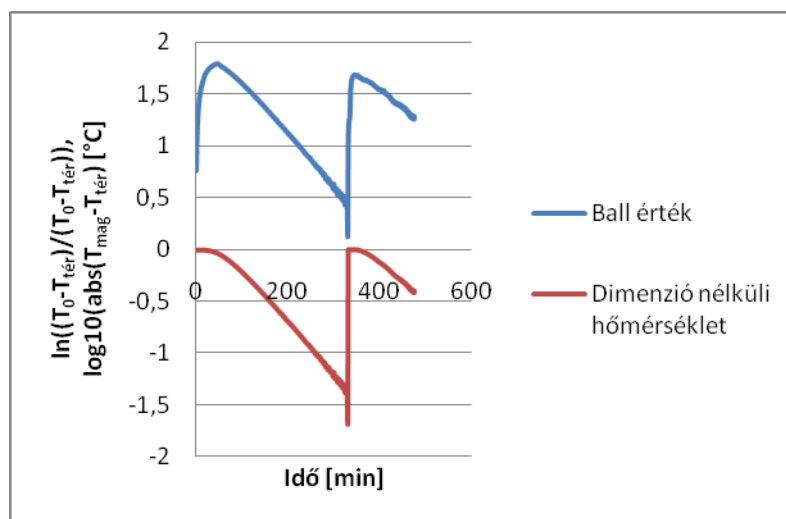
4. Eredmények

4.1. A kezdeti és peremfeltételek teljesülése

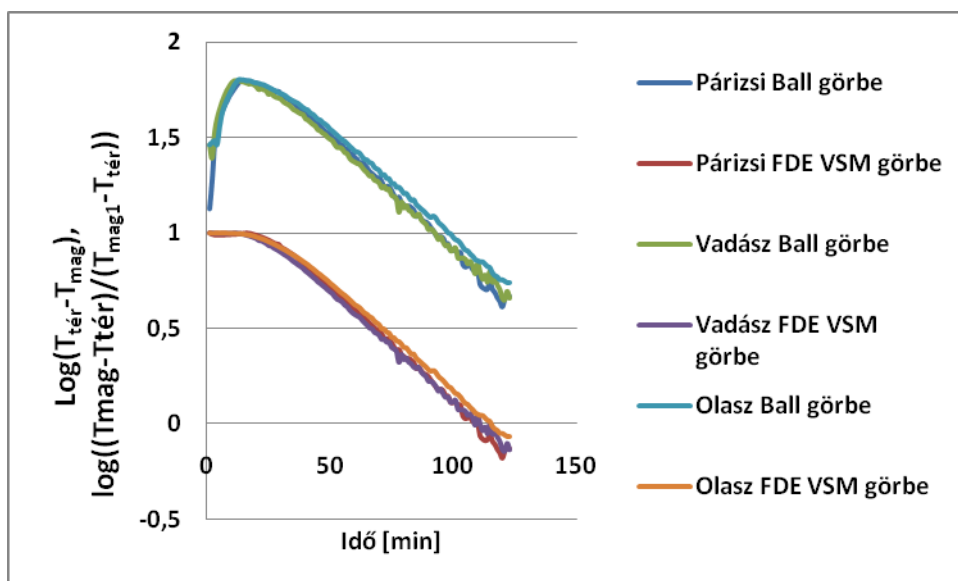
A kezdeti és peremfeltételek vizsgálata fontos volt a paraméter meghatározási és a hőkezelés számítási módszerek alkalmazhatóságának igazolásában, azok hibavizsgálatában, és adatokat szolgáltatott az ingadozások hőkezelés szükségletre gyakorolt hatásának kiszámításához is. Tekintve, hogy a kísérletek tárgyai sonka- és töltelkes áruk voltak a következő peremfeltételekkel számoltam: A termékben a hő csak vezetéssel terjed, egyszerű geometria (hasáb, henger, gömb vagy ezekkel leírható test), nincs fázisváltozás, a termék homogén, a hőtani paraméterek állandóak, a termék kezdeti hőmérséklet állandó, térhőmérséklet állandó, nincs felmenési idő, végtelen nagy felületi hőátadás tényező, dimenziók elhanyagolása. Ezeket kellett ellenőrizni.

4.1.1. A hővezetés és hőáramlás viszonya

A hő csak vezetéssel terjedését több módszerrel is ellenőriztem. A REICHERT (1985) és BALL és OLSON (1957) által ajánlott K_{va} vezetési-áramlási viszonzyszámra 0,95-öt kaptunk 12 lb és 11 lb tömegű sonkafélkonzervek esetében. A teljes vezetéstől ($K_{va}=1$) ez a kis eltérés az f_h tényezők illesztéséből adódik. Továbbá bármilyen konvektív hatás a Ball illetve a Fourier görbében töréspontot idéz elő, mivel az áramlás révén egyrészt megsérti a kizárólagos hővezetési feltételt, másrészt pedig az áramlásra képes folyadék 3-5x gyorsabb hőterjedést tesz lehetővé a vezetéshez képest (5. ábra 6. ábra)



5. ábra: A sonkafélkonzervek Ball és FDE VSM görbéi



6. ábra: A Párizsi, vadász és olasz felvágottak Ball és FDE VSM görbéi

Ennek mindenképpen csökkentenie kell az illesztés determinációs együtthatóját és növelnie az eltérés négyzetösszegét. Az FDE VSM kiértékelés még érzékenyebben reagál a feltételek megsértésére (LARKIN és STEFFE 1987). Még a vadász és az olasz felvágott zsírszemcséi sem okoztak változást a Ball vagy a linearizált Fourier görbe meredekségében, holott mindkettő nagyságrendű zsírtartalmúak, mint a teljesen homogénre elaprított Párizsikkal egyenlő a meredekségük. A görbék pontjainak kismértékű fluktuációját a térhőmérséklet-ingadozások okozzák. Az illeszkedés jóságát mutatja a 15. táblázat.

15. táblázat: Párizsi, Vadász felvágott és Sonkafélkonzerv Ball görbe illesztési jellemzői

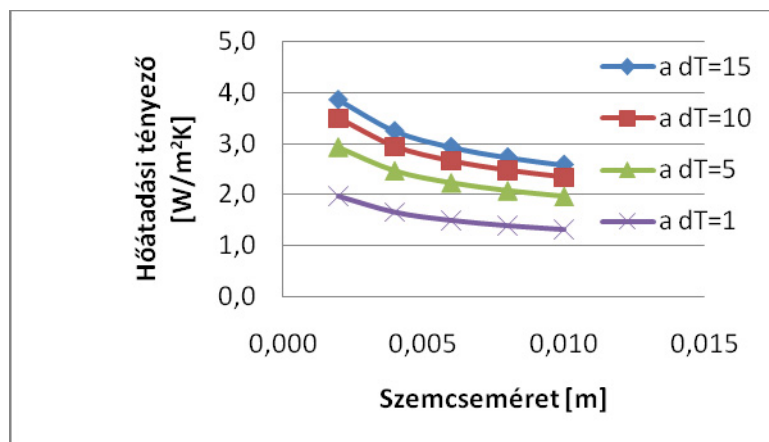
	Mere- dekség	Merekség hibája	Determinációs együttható	F érték	Mérési hiba négyzetösszeg
Párizsi	-0,01182	5,65E-05	0,998	43716,49	3,34
Vadász felvágott	-0,01252	6,88E-05	0,998	33138,45	2,96
Sonkafélkonzerv	-0,00468	1,59E-05	0,998	86090,52	8,19
	Tengely- metszet	Tengelymet szet hibája	Determinációs együttható hibája	Szabadsági fok	Illesztés hibanégyzet
Párizsi	2,077	0,003	0,008	64	0,004
Vadász felvágott	2,062	0,004	0,009	59	0,005
Sonkafélkonzerv	2,065	0,002	0,009	163	0,01

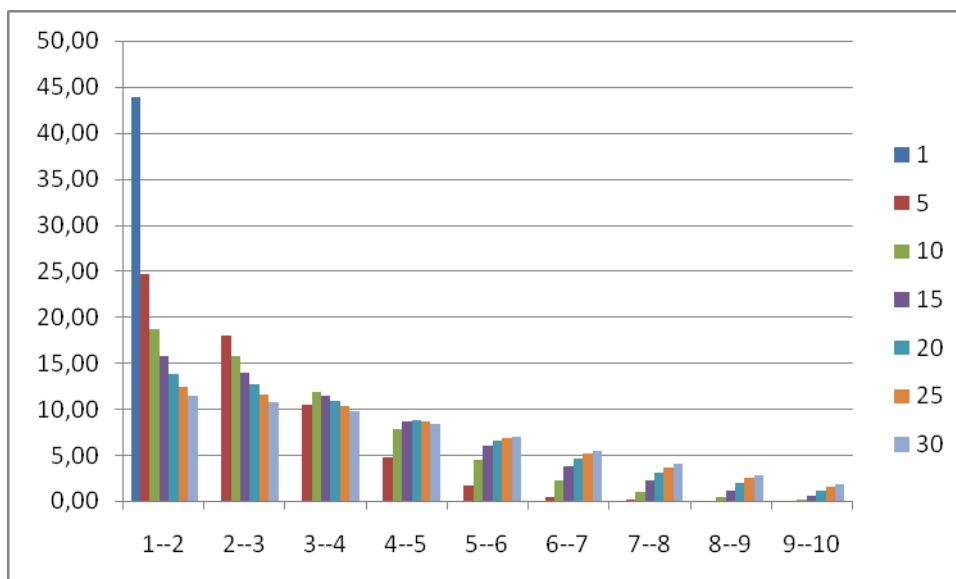
16. táblázat: A vizsgált hústermékek kémiai összetétele (%) (Magyar Élelmiszerkönyv)

Paraméter	Sonkafélék	Felvágottak	Párizsik	Virslík	Zala felvágott
Fehérjetartalom	15,0	12,0	10,0	10,0	12,0
Vízirtalom	77,0	75,0	71,0	70,0	69,0
Zsírtartalom	4,5	10,5	16,5	17,5	16,5
Só tartalom	3,5	2,5	2,5	2,5	2,5

A vizsgált hústermékek közül a felvágottak tartalmaznak nagyobb zsírmennyiséget, melyeknél a helyi konvekció kérdése felmerülhet, mivel a sertés zsiradékok 25-40°C felett megolvadnak (16. táblázat). A zsírok konvekciója a Párizsiknál az 1 mm alatti kapillárosokba zárttság miatt hiúsul meg. A felvágottaknál a konvekciót gátolja, hogy a zsírszövet sejtfalát csak részlegesen vágjuk fel, a zsír a sejtfalakon bezáródva marad, ami szintén mikron méreteket jelent.

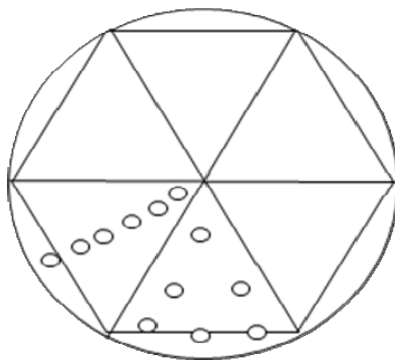
Művelettanilag a mozaikos húskészítményekben levő megolvadt szalonna (zsír) konvekcióját szűk zárt térben egyenértékű hővezetésként értékelhetjük. Ha mozaikképző formában van jelen a zsír, akkor ezek mérete 5-10 mm. Mivel a teljes zsírtartalom 15-20% körüli, a domináns a víztartalom ($\approx 60-70\%$). A szabad konvekcióra számított $PrGr$ szorzat értéke a folyamat kezdetén 3,8-5,7; a folyamat előrehaladtával 1,3-2,0-re csökken. ami az álló levegőnél is rosszabb érték. Szabad konvekciós hőátadás hőátadási tényező értéke álló levegőre 5-10 W/m^2K és álló vízre 40-60 W/m^2K körül van. Emellett a konvekció beindulásához MIHEJEV (1990) $Pr-Gr > 1000$ határértéket ad meg a szabad konvekció beindulására, ez a mi esetünkben 2 nagyságrenddel kisebb. Így az egyenértékű hővezetéssel számolás jogos.

**7. ábra: A rétegek közti hőátadási tényező a szemcseméret függvényében**



8. ábra: A rétegek közti hőmérséklet különbség alakulása az idő függvényében ($\Delta r=4$ mm, $\alpha=200$ W/m²K, $R=0,04$ m)

Az áramlás rendkívül korlátozott lehetőségét azzal is magyarázható, hogy a vizsgált hústermékekben a hús víztartalma mikron méretű kapillárisokban helyezkedik el, ahol áramlásra nincs lehetősége (HAMM 1973). A vörösaruknál mind a víz mind a zsír egy mátrix szerkezetbe kerül, ahol 1 mm méretű rostok közé cseppenként kötődnek be, így a szűk határolt térben nem képes áramlásra. A felvágottaknál mozaikképző szalonna kötőszöveti szerkezetét csak részlegesen vágják fel a darálóval, így a zsír még a víznél is kisebb hálóméretű szerkezetben marad bezárva. A konvekció alárendelt szerepét támasztja alá az is, hogy a felvágottaknál a 15-20% zsírtartalomnak egyenletesen kell eloszlania a metszéslapokon is homogenitás miatt (aprítás és keverés a kutterben és keverés a keverőgépben). A behatolással szemben a cikkelyenként elfoglalt terület csak mintegy 15-20% (17. táblázat). A véletlenszerű elrendeződés sokkal valószínűbb, mint, hogy minden szalonnaszemcse egy sorban helyezkedne el, így a sugár mentén csak 2-3 szalonnaszemcse rendelkezik esetleges konvekciós hatással és gyengébb hővezetéssel (hús/húspép $\approx 0,45$ W/mK a zsír $\approx 0,2$ W/mK-nel szemben). Ez a sugárból csak 10-15 mm-t jelent a példabeli 41,5 mm-rel szemben.



9. ábra: A szalonna darabok lehetséges elrendeződése

17. táblázat: A zsírszemcse eloszlás a metszéslapon

Jellemző	Mértékegység	8 mm szalonnaszemcse	6 mm szalonnaszemcse
rúdátmérő	mm	83	83
metszéslap terület	mm ²	5411	5411
zsírtartalom	kg zsír/kg termék	0,18	0,18
Zsírterület	mm ²	974	974
zsírszemcse átmérő	mm	8	6
zsírszemcse darabszám	db	19,38	34,4
cikkek száma	db	6	6
zsírszemcse/szektor	db	3	5
zsírszemcse méret	mm	24	30
eredő hővezető képesség	W/mK	0,293855	0,371928
körívhossz	mm	43,5	43,5
ív elfoglalás szegmensenként	%	18,4	13,8

4.1.2. Szabályos geometriák és a dimenziók elhanyagolása

A hústermékek csomagolásai nagyrészt szabályosak. A töltelkes áruk végtelen hengernek tekinthetők, mivel az átmérő:magasság arányokra $\approx 3\text{-}5$ érték adódik. Így a végek domborodása és kúposodása nem játszik szerepet a hőpenetrációban. A töltelkes áruk műbelei a feszesre töltés során 2-3 mm-rel lehetnek nagyobbak a névleges átmérőnél, amit viszont figyelembe lehet venni a hőkezelés tervezésnél. A sonkafélkonzervek jellegzetes csomagolása doboz illetve fóliás csomagolás, amelyek egyértelműen szögletesek. Az oldalarányoknál általában csak 1 oldal hanyagolható el. A dobozméretetek nagyon kis mértékben max. 0,1 mm-t változhatnak, ami nem játszik lényeges szerepet a hőpenetrációban. A fóliás termékeknél $\pm 2,5$ mm eltérést tapasztaltam a magasságban (0,105 mm-es oldal), ami a sonkatorony összeszorító csavarjainak kismértékben eltérő meghúzásának tudható be, amit szintén figyelembe tudok venni a hőkezelések tervezésénél (18. táblázat).

18. táblázat: A csomagolásméretetek és az oldalak elhanyagolhatósága Az elhanyagolható oldalakat (** illetve ***)-gal az elhanyagoláshoz közeliakat (*)-gal jelöltem.

Csomagolás	Méretetek			Csomagolás	Méretetek		
12 lb oblong	105	169	323(*)	16 lb pullmann	115	115	545(**)
12 lb oblong LANGEN	103	164	305	11 lb pullmann	115	115	385(*)
Sonkagép	98	105	318	8 lb pullmann	100	100	400(**)
Rakotthús gép	105	105	287	6 lb pullmann	100	100	303
Patron	82	82	**	4 lb pullmann	100	100	207
Virslí	25,4	100(***)	25,4	Felvágott (kis átmérő)	65	450(***)	
Kenőmájás	40	200(***)		Felvágott (nagy)	80	400 (***)	
Zala,	100	300(*)		Nosztalgia termékek	100	300(*)	

4.1.3. Nincs fázisváltozás

A főzés hőmérséklettartományában a víz halmazállapota nem változik (fagyás, forrás), és a sonkafélékben a zsírtartalom olyan alacsony és olyan finoman eloszlott, hogy az a megolvadásával nem változtatja meg a hőátvitel jellegét. A zsírok megolvadása a mozaikos felvágottak esetén sem befolyásolják konvekcióval a hőátvitelt, mint egyenértékű hővezetési tényezővel (lásd 4.1.1 pont), illetve effektív hőtani paraméterekkel lehet számolni.

4.1.4. A termék homogén

A termékek homogenitását a kémiai analitikai értékek kis szórása bizonyítja (22. táblázat). A fehérjetartalom szórása a legkisebb mivel ez az egyik deklarált érték a késztermékben. A zsírtartalom szórásai töltelékes áruknál az apróhúsok szubjektív zsírtartalom megítélése miatt a legnagyobb. A sonkafélkonzervek fehérjetartalmának nagyobb szórása annak tudható be, hogy a PFF=16 és 18% mintákat együtt szerepeltettem, és számuk nagy volt (984). Erre az adott alapot, hogy a szórások azt mutatták, hogy a különböző tételek nem térnek el lényegesen egymástól, még különböző márkanevű és címkeengedélyű sonkafélkonzervek esetén sem (24. és 22. táblázatok)

19. Táblázat: A víztartalom átlagértékek összehasonlítása (E=egyezik, SZ= szignifikánsan különbözik, számérték =adott konfidencia szinten hasonló)

[illegible]

20. Táblázat: A zsírtartalom átlagértékek összehasonlítása (E=egyezik, SZ=szignifikánsan különbözik, számérték =adott konfidencia szinten hasonló)

[illegible]

21. Táblázat: A zsírtartalom átlagértékek összehasonlítása (E=egyezik, SZ=szignifikánsan különbözik, számérték =adott konfidencia szinten hasonló

[illegible]

22. táblázat: A vizsgált hústermékek jellegzetes összetétele (átlag±szórás)

Termék	Víztartalom [%]	Zsírtartalom [%]	Fehérjetartalom [%]
Vörösáruk-Párizsik n=200	64,06±1,66	19,81±1,70	10,50±0,44
Vadász felvágott n=29	64,66±1,24	16,05±1,16	11,57±0,72
Zala felvágott n=23	65,29±1,04	16,33±2,42	12,11±0,51
Sonkafélkonzervek n=984	72,98±1,75	3,43±2,09	18,57±1,47
Vörösáru előkeverékek n=24	51,55±1,89	33,83±2,79	14,09±1,36

4.1.5. A hőtani paraméterek állandósága

A hőtani paraméterek, ha az összetétel kisfokú ingadozásából indulok ki, akkor az állandó érték feltételezése jogos. A hőmérséklet befolyására majd a hőtani paraméterek meghatározása fejezetben térek ki.

4.1.6. A térhőmérséklet alakulása

A térhőmérséklet alakulása mind az élelmiszerbiztonság megítélésben mind a paraméter meghatározásokban fontosak. A térhőmérséklet alakulást külön vizsgáltam a felmelegítés, a tartás, a hűtés szakaszokban. A felmelegítési időt tulajdonképpen el szokták hanyagolni mivel annak jó részében már letális a hőmérsékletalakulás (BALL és OLSON 1957). A paraméter meghatározásoknál az elhanyagolás alapja, hogy a teljes tartási időhöz képest rövid szakasról van szó. A felmelegítési idő tapasztalatom szerint átlagosan 10 perc jó műszaki állapot esetén, ami a 60-300 perces tartási időt figyelembe véve elhanyagolható. Az autoklávokban végzett méréseknél a kezelések mintegy 5 %-ában a felmelegítési idő elnyúlt. Ennek két oka volt. Az egyikben hamar megközelítik ugyan az előírt térhőmérsékletet, de az utolsó pár fokot nagyon lassan növeli meg a rendszer, amely kisfokú gőzhiányra utal. A másikon az emelkedő térhőmérséklet hirtelen, általában maximum 5 percre visszaesik 5-10°C-kal, amely egyértelmű gőzhiányra utal. A 23. táblázatban a töltelékes árukra kapott értékeket mutatjuk be.

23. Táblázat: A felmelegítési idő alakulása főzőszekrényben főzéskor (n=8x20)

	Nosztalgia Párizsi	Párizsi	Szalonnás Párizsi	Sajtos Párizsi	Párizsi rövid	Sajtos párizsi rövid	Sláger Párizsi	Sláger Párizsi Rövid
Átlag [min]	10,4	14,4	10,5	7,95	12,3	11,4	10,3	13,1
Szórás [min]	2,66	3,53	3,27	1,54	4,29	4,63	3,91	4,35
Megbízhatóság P=0,05 szinten [min]	1,17	1,55	1,43	0,67	1,88	2,03	1,71	1,90
Minimum [min]	6	10	7	6	6	4	6	7
Maximum [min]	18	24	16	11	22	24	21	25

A hőkezelő berendezéseknél a térhőmérséklet állandó értéken tartása csak üzemeltetési probléma lehet, mivel a hőkezelő berendezéseket hőmérséklet eloszlási tesztek elvégzése nélkül nem lehet forgalomba hozni, és a térhőmérséklet ingadozás nem lehet nagyobb $\pm 1-1,5^{\circ}\text{C}$ -nál (ADAMS és HARDTENGLISH 1990, TUNG et al. 1990, KIMBALL és HEYLIGER 1990, BOWN 2004). A 24. táblázatban, ha a szórások 3x-at veszem, akkor ezt teljesítjük is, csak egy két esetben tapasztalható műszaki elhanyagolás miatt nagyobb mértékű szórás.

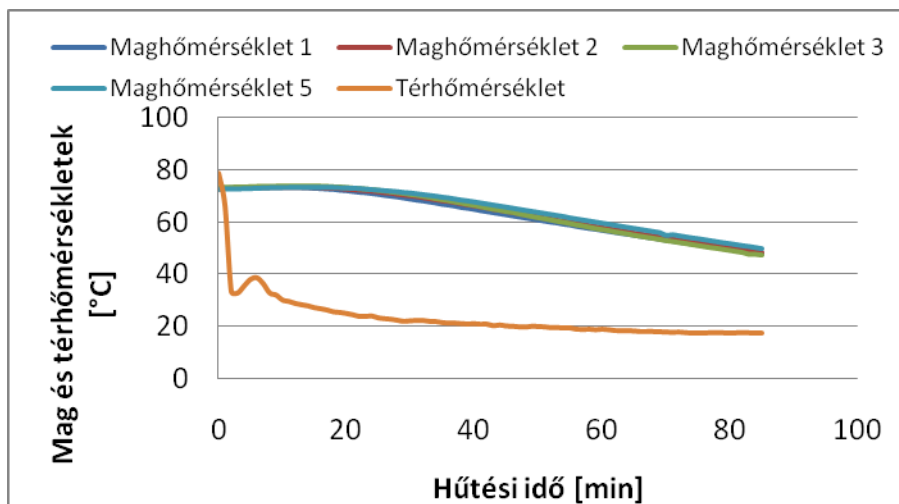
24. Táblázat: Sonkák (n=120) és töltelékes áruk tartási szakaszának térhőmérséklet ingadozása (n=8x20)

	Párizsi	Nosztalgia párizsi	Sláger Párizsi rövid	Sláger Párizsi	Szalonnás Párizsi	Sajtos párizsi rövid	Sajtos Párizsi	Párizsi rövid	Sonkák
Átlag [$^{\circ}\text{C}$]	75,24	80,20	75,25	75,28	74,97	75,30	75,30	75,26	76,30
Szórás [$^{\circ}\text{C}$]	0,22	1,19	0,23	0,06	2,17	1,61	0,36	0,19	1,05
Minimum [$^{\circ}\text{C}$]	66,80	50,78	66,31	72,95	41,60	59,38	60,06	67,29	74,6
Maximum [$^{\circ}\text{C}$]	76,17	80,96	76,17	76,66	76,37	76,17	77,34	76,08	77,3
Megbízhatóság P=0,05 szinten [$^{\circ}\text{C}$]	0,10	0,52	0,10	0,03	0,95	7,28	0,16	0,08	0,46

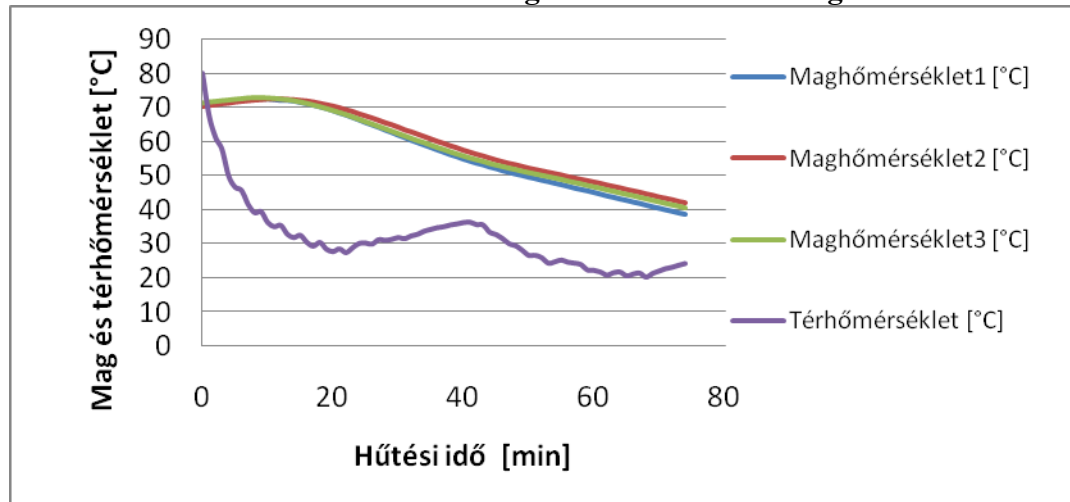
A hűtésnél már sokkal nagyobb ingadozásokat észleltem a különböző berendezéseknél. Az eltérések és ingadozások okai a következők: A hűtésre átkapcsolással akkor merül fel probléma, ha azt a kezelőknek kellett elvégezni. A kezelő több egységet kiszolgálva, késve érkezik, és a termék tovább melegszik, ami megnöveli a túlmelegedés mértékét (Hűtés I és II. szakasz). Ez minőségi és élelmiszerbiztonsági szempontból is káros. Egyrészt mert zselé- és zsírkiválást idézhet elő, mert a termék ezen időszak alatt kapja meg a legnagyobb hőterhelést, a legnagyobb mikrobapusztító hatást. Viszont ez a túlkezelés a hőkezelés mértékének csökkentésének irányába hat, és amikor nem lép fel ez a jelenség a kisebb mértékű hőkezelés un. alulkezelést eredményezhet, ami kockázatos lehet az üzem számára. Bár ma már kisebb jelentősége van a diagrampapír alapján történő hűtésre átkapcsolás nagy ingadozásokat rejt magában, mivel hőmérsékleti felbontása csak 2°C .

A fenti hűtési szakasz kezdeti és peremfeltételi változékonyságot még tovább tetézi a hőkezelő üzemek nem kielégítő hőmérsékletű és térfogatáramú víz ellátása. Jellemző, hogy a hűtés vízellátását vagy közvetlenül a közüzemi vízellátó rendszerről vagy a többi üzemmel egy körre kapcsolva biztosítják. Az ennek következtében a hűtés alatt fellépő

rendellenességeket mutatják 10.-14. ábrák. A 10-11. ábrán egyértelműen rendellenes folyamatok figyelhetők meg. A nem kielégítő hűtővíznyomás miatt az ellennyomás szelep az autoklávban nem nyit ki és leáll a vízcseré, ennek következtében a termékből távozó hő melegíti a hűtővizet. A 10. ábrán ez komoly zselékiváláshoz vezet. A 11. ábrán mutatott eset inkább csak a kapacitáscsökkenést eredményez az elhúzódó hűtés miatt. A 12. ábra az átlagos, a maximum és a minimum, a 13. ábra az térhőmérsékleti átlag±szórás görbéket mutatja.

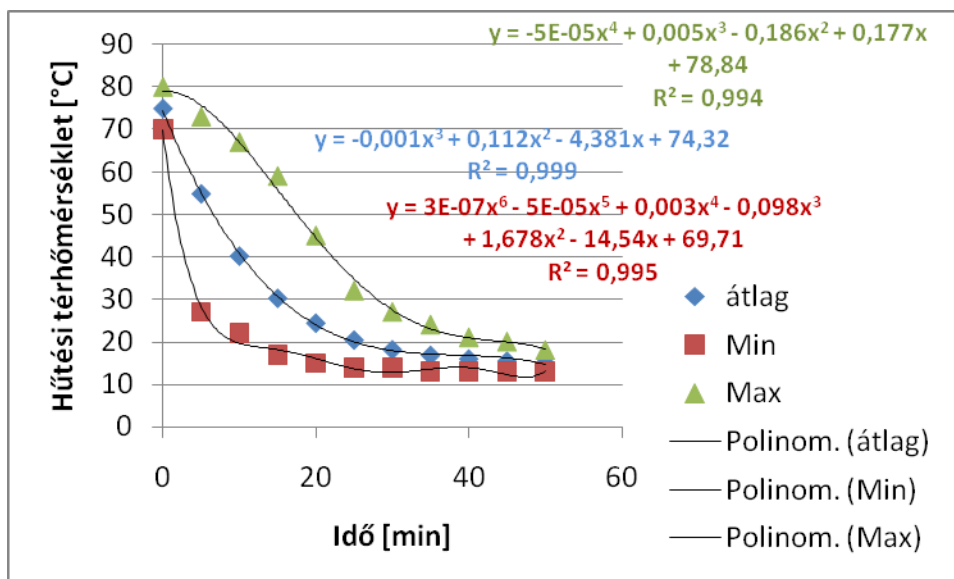


10. Ábra: a térhőmérséklet visszamelegedése a hűtés túlmelegedési szakaszában

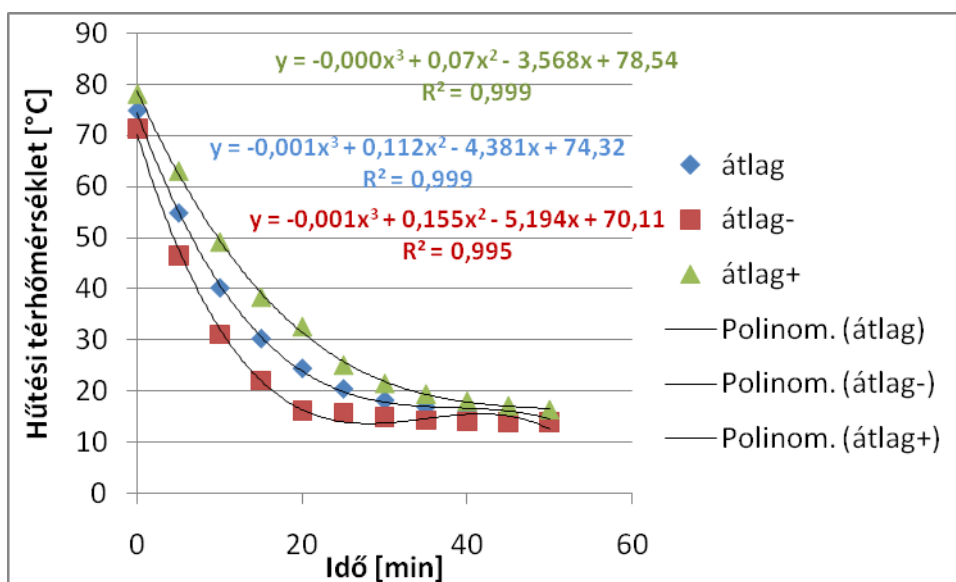


11. Ábra Visszamelegedés a hűtés maradék szakaszában

A 10.-11. ábrák rendellenes viszonyaitól eltekintve megszerkesztettem az 1s szórású és maximum minimum görbéket és ezzel becsültem az ingadozásokat.



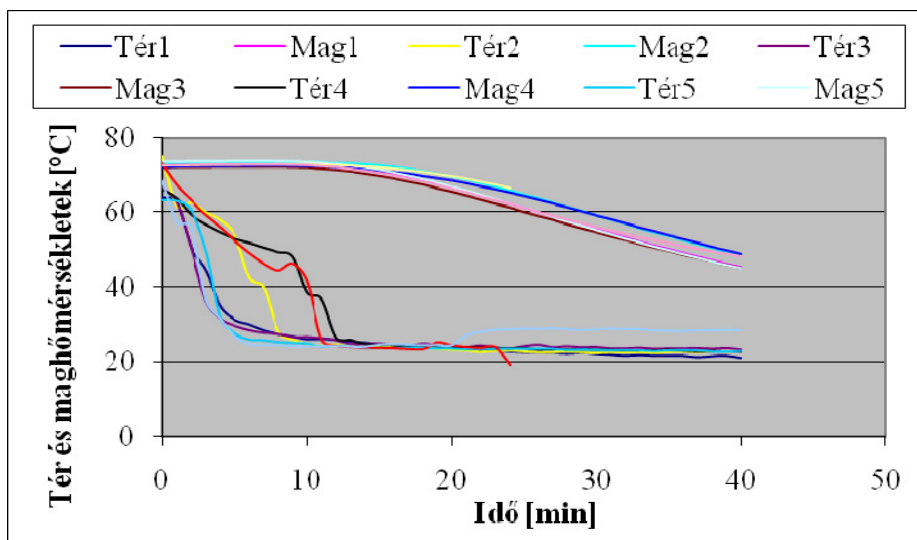
12. ábra: Az átlagos, a leggyorsabb és leglassabb térhőmérséklet csökkenés a hűtés alatt (n=120)



13. ábra: Térhőmérséklet csökkenés a hűtés alatt (átlag±szórás) (n=120)

A 12. és 13. ábrák jelenségei azért is jelentenek kockázatot a termékbiztonságban, mert ha a lassú térhőmérsékletre csökkenésre számítanak, akkor rövidebb tartási időt alkalmazhatnak, de ha ezután a gyors térhőmérséklet csökkenés történik, akkor alulkezelést válthatnak ki. Ellenkező esetben a gyors hűtésre számolva a tartási idő hosszabb, amire, ha lassú térhőmérséklet csökkenés következik be, akkor jelentős minőségrontó túlkezelésre lehet számítani. A hűtési hőmérsékletalakulásban a jelentős térhőmérsékleteket eltéréseket

a hűtés első 50 percében tapasztaltam a vizsgálatok 30%-ban. A töltelékes áruk hűtésénél a nyári és téli időszak közti kb. 10°C-os hőmérsékletingadozást tapasztaltam. Valamint jelentős eltérés volt a szekrényben + tus alatti és a teljes tus alatti hűtés tér és maghőmérséklet alakulása között. A szekrényben hűtésnél a szellőztetés utáni térhőmérséklet csökkenés lassabb, mint a szellőztetés utáni azonnali ajtónyitásra bekövetkező térhőmérséklet csökkenés. Ez jelentős hőkezelésbeli különbségeket eredményezhet a nagyméretű termékeknél.



14. ábra: A kezdeti szekrényben hűtés majd tus alatt és a teljes tus alatti hűtés tér- és maghőmérséklet alakulása

4.1.7. Egyenletes termék kezdeti hőmérséklet

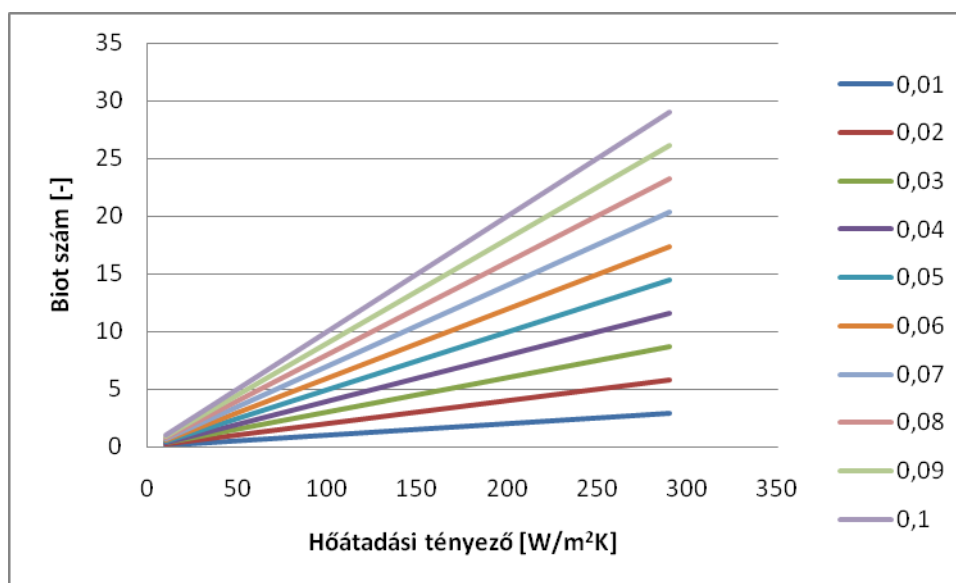
A terméken belüli egyenletes kezdeti hőmérséklet eloszlás feltétel a technológiai előírás betartásával teljesíthető. A kezdeti hőmérséklet sonkáknál jellegzetesen 6-14°C között változott (25. táblázat) Alsó tartomány (6-8°C) a hétvégi hosszabb tárolás, reggeli munkakezdéshez történő előregyártás, a felső tartomány (12-14°C) a hosszabb autokláv térben várakozás miatt fordult elő. A töltelékes áruknál az átlagos 14°C kezdeti hőmérséklet megfelel a pépkészítés végére ajánlott maximum 12-14°C hőmérsékletnek. A maximumok (16-20°C) a főzőüstök és a főzőszekrények előtti hosszabb várakozásból a minimum értékek (12°C) a hidegebb alapanyagból kiindulásnak tudhatók be. A sonkafélkonzerveknél a kisebb átlag az alacsonyabb tumblerezési hőmérsékletnek és a tumblerezés alatti folyamatos hűtésnek tudható be, és itt nem kell az zsíremulgeálás miatt magasabb hőmérsékletet elérni, mint a pépkészítésnél.

25. Táblázat: A kezdeti hőmérséklet vörösárukban (n=8x20) és sonkákban (n=120)

	Nosz- talgia	Párizsi	Párizsi rövid	Sajtos	Sajtos rövid	Slá- ger	Szalón- nás	Sláger rövid	Sonkák
Átlag	14,80	13,84	14,93	14,19	14,71	15,20	15,55	14,84	9,99
Szórás	1,73	1,52	1,21	1,30	1,94	2,05	1,75	1,72	1,98
Maximum	18,85	16,02	17,38	17,68	19,92	18,55	18,36	20,90	14,00
Minimum	11,04	10,35	11,91	12,01	11,91	9,77	12,60	12,40	8,00
Megbízhatóság (P=95%)	0,76	0,67	0,53	0,57	0,85	0,90	0,77	0,75	0,35

4.1.8. Végtelen hőátadási tényező és Biot szám feltételezése

A hőátadási tényezőre kapott eredmények alapján látható, hogy kb. 60-400 W/m²K felületi hőátadási tényező várható az autoklávokban és főzőszekrényekben. Az általánosan használt csomagolásméretekre és 0,45 W/mK átlagos hővezetési tényezővel számolt Biot számokat a 15. ábra tüntettem fel. A mért és irodalmi értékek tartományaira számolt értékekből látható, hogy az extrém oldalhosszúságoktól eltekintve a Biot szám 20-50 közé esik. Végtelen érték feltételezéséhez az enyhébb megítéléskor 100-as értéket, a szigorúbb esetben 200-as értéket kell elérni. Így a felületi hőátadási tényező illetve Biot szám értékét az általunk vizsgált rendszerekben nem tételezhetem fel végtelen nagynak, az egy meghatározott véges érték.



15. ábra: Az elérhető Biot számok az átmérő (m) függvényében ($\lambda=0,45$ W/mK)

4.1.9. A feltételezések vizsgálati eredményeinek összefoglalása

A fentiekből látható, hogy az ipari hőkezelési folyamatok több esetben teljesítik és megközelítik a rendelkezésre álló hővezetési egyenletek megoldási feltételeit. Az egyes feltételezések elérésének mértékét a 26. táblázatban foglaltam össze, amely alapján érdemes arra gondolni, hogy számításokat lehet végezni az ipari folyamatokra.

26. táblázat: A nem állandósult hővezetés FDE egyszerűsítő feltételeinek teljesítése hűstermékeknel (+++ teljesített, ++=kis elhanyagolás, 0=nem teljesített)

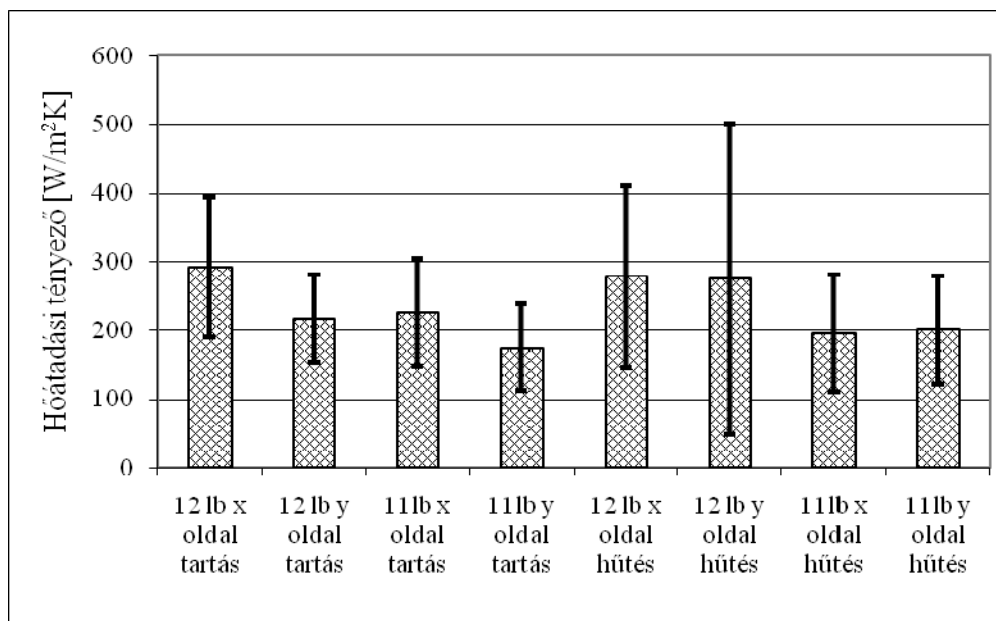
Feltételezés	Teljesítés
1. A termékben a hő csak vezetéssel terjed.	+++
2. Egyszerű geometria (hasáb, henger, gömb vagy ezekkel leírható test)	+++
3. Nincs fázisváltozás	++
4. A termék homogén	++
5. A hőtani paraméterek állandók (hővezetési tényező, hőmérsékletvezetési tényező)	++
6. A termék kezdeti hőmérséklet állandó	++
7. Térhőmérséklet állandó és nincs felmelegítési idő	++
8. Végtelen nagy felületi hőátadás tényező	0
9. Dimenziók elhanyagolása	+

4.2. A hőátadási tényező meghatározások eredményei

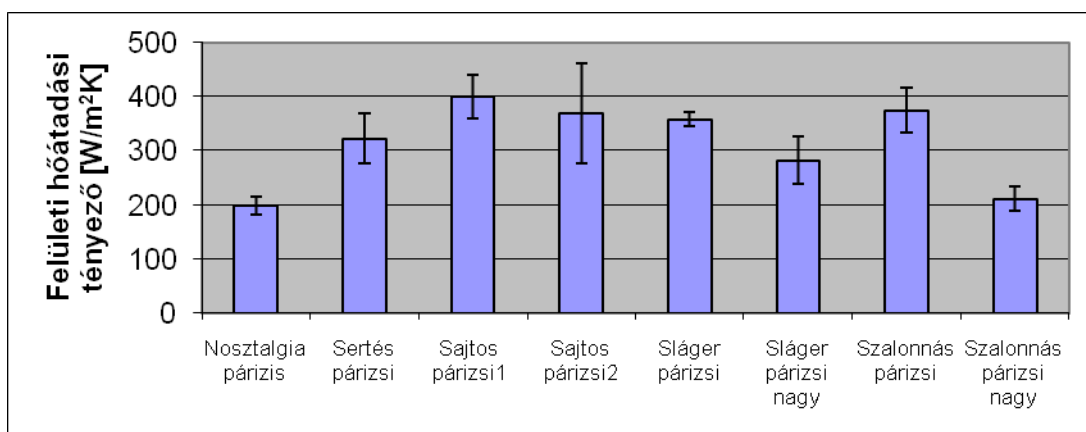
Az oblong és pullmann dobozokkal végzett meghatározások FDE-VSM értékelését a 16. ábra mutatja. A viszonylag nagy szórás annak tudható be, hogy a karakterisztikus függvényeknek a platóhoz közeli tartományába érek, ahol már kis karakterisztikus gyökváltozáshoz is nagy Biot szám, és ennek következtében nagy felületi hőátadási tényező változás várható (18. ábra). A főzőszekrényeknél további ingadozásnövelő tényező a levegőkeringtetés (17. ábra, 27. táblázat).

27. táblázat: Légsebesség mérés alapján számított hőátadási tényező értékek (VEMAG)

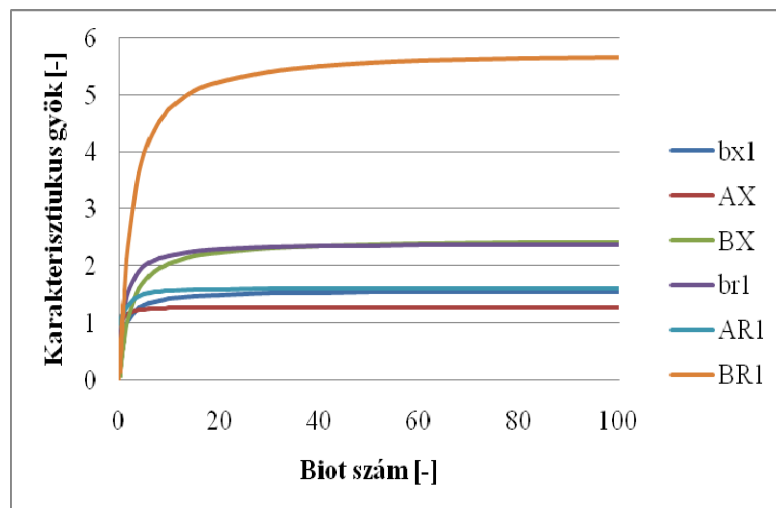
	Főző-szekrény főzés				Hűtő alagút				Hűtőszekrény		
Légsebesség [m/s]											
Kocsi fent bal/közép/jobbb	14,8	0,9	15,0		23,1	1,2	22,0		20,1	0,9	19,0
Kocsi közepe		2,0				3,1				2,2	
Kocsi alja/ bal/közép/jobbb		4,7	1,1	5,8		5,2	1,8	5,6		6,3	2,0



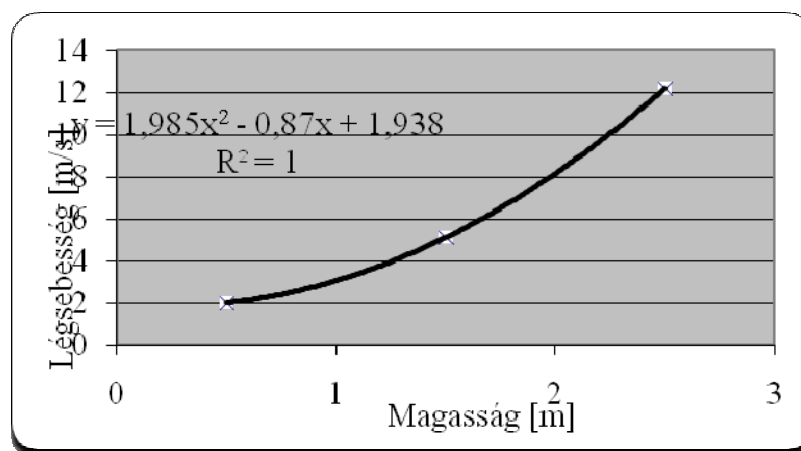
16. ábra: A felületi hőátadási tényező értékei $[\text{W/m}^2\text{K}]$ 12lb oblong ($n=50$) és 11lb ($n=20$) pullmann dobozoknál fekvőhengeres autoklávban.



17. ábra: A párizsik főzésére kapott felületi hőátadási tényezők átlagai és szórásai



18. ábra: A karakterisztikus gyök (b) és az A és B konstansok alakulása a Biot szám függvényében (R = sugárirány, X síklap illetve palástirány)



19. ábra: Az ATMOS berendezésben mért légsebesség adatok a szekrény szélén

28. táblázat: AZ ATMOS szekrények befűjési légsebességei [m/s]

Fúvókák	fúvókák bal 1	fúvókák jobb 1	fúvókák bal 2	fúvókák jobb 2	fúvókák bal 3	fúvókák jobb 3	fúvókák bal 4	fúvókák jobb 4	fúvókák bal 5	fúvókák jobb 5
átlag	17,56	16,58	17,11	17,39	21,04	18,71	19,23	18,54	15,90	12,43
szórás	2,35	1,68	1,94	1,60	1,61	1,89	1,10	1,58	3,92	1,36
max.	21,50	20,20	20,10	20,90	23,90	23,50	22,20	21,40	21,80	15,20
min	13,30	13,50	12,50	14,70	18,80	16,30	17,80	15,60	10,40	10,50
Fúvókák	fúvókák bal 6	fúvókák jobb 6	fúvókák bal 7	fúvókák jobb 7	fúvókák bal 8	fúvókák jobb 8	fúvókák bal 9	fúvókák jobb 9	fúvókák bal 10	fúvókák jobb 10
átlag	28,65	26,45	25,55	26,11	23,76	24,28	19,79	19,76	26,88	25,22
szórás	1,55	1,59	2,51	1,41	1,55	2,15	1,96	1,30	1,93	1,17
max.	30,60	28,60	28,20	29,40	26,70	27,20	22,30	21,50	29,20	26,70
min	25,60	22,30	17,90	23,10	20,70	19,80	14,20	17,10	23,60	23,20

Kiegészítő mérésekkel és értékelési módszerekkel kapott felületi hőátadási tényező értékeket foglaltam össze a 29. táblázatban. A Ball módszeren alapuló módszerek kb. 200-250 W/m²K tartományba estek. A kivételt a Langen forma alacsony értéke jelentette. Ennek magyarázata, hogy a fémformákat összekötő távtartó teljesen meggátolta a dobozok közti áramlást a jelzett oldalnál. Ezt az értéket a Langen főzőszekrényben mértem, és a hőátadó közeg telített pára, azaz víz. KÖRMENDY (1991) 60 W/m²K adott meg az álló vízre. Az összevont hőkapacitás elven alapuló termosztátos méréseinkben 61,24±6,78 értéket kaptam (32. táblázat). Ebből a táblázatból az is látható, hogy a termosztátokban nagyságrendileg az autoklávokban és főzőszekrényekben tapasztalható hőátadási viszonyokat lehet elérni, ami megkönnyíti a laboratóriumi eredmények ipari gyakorlatba történő átvitelét.

29. táblázat: A hőpenetrációs mérésekkel kapott felületi hőátadási tényező értékek

Mérési környezet	Értékelés módszere	mérések száma	Hőátadási tényező [W/m ² K]
Fekvőhengeres autokláv bentonit szuszpenzióval	UNO-HAYAKAWA (1979)	3	231-268
Fekvőhengeres autokláv bentonit szuszpenzióval	PFLUG (1965)	3	185-206
Főzőszekrény alsó sor, sonkával töltött Langen forma, 0,151 jellemző hosszára	BHOWMIK és HAYAKAWA (1980)	3	44,7
Főzőszekrény (Elméleti számítás)	KÖRMENDY (1973)	-	250

30. táblázat: Az összevont hőkapacitás módszerrel kapott hőátadási tényezők

Konvekció fajtája	Felületi hőátadási tényező [W/m ² k]		Variációs koefficiens [%]	minta-szám [db]
	átlag	szórás		
Álló víz	61,24	6,78	11,1	5
Szivattyú minimális fordulatszámon	122,59	6,19	5,1	5
Szivattyú maximális fordulatszámon	147,42	9,03	6,1	5
Keverő				
• 100 fordulat/min	157,41	6,39	4,1	5
• 300 fordulat/min	191,82	20,75	10,8	5
• 500 fordulat/min	207,59	28,27	13,6	5

A vízkeringtetéses STOCK autoklávban a felületi hőátadási tényező Nu függvényekkel kapott értékeit a 31. táblázatban foglaltam össze. A PETERSON és ADAMS (1983) képlettel számolt értékek 100-300 W/m²K tartományba estek mind melegítéskor, mind hűtéskor. A MCGINNIS (1986) képletével számolt értékek nagy eltéréseket mutattak a melegítés és a hűtés alatt, de a tartás alatt is kiugró értékeket kaptam a 12 lb oblong dobozok közti keskenyebb rés mentén. A cső belsejében áramló vízre

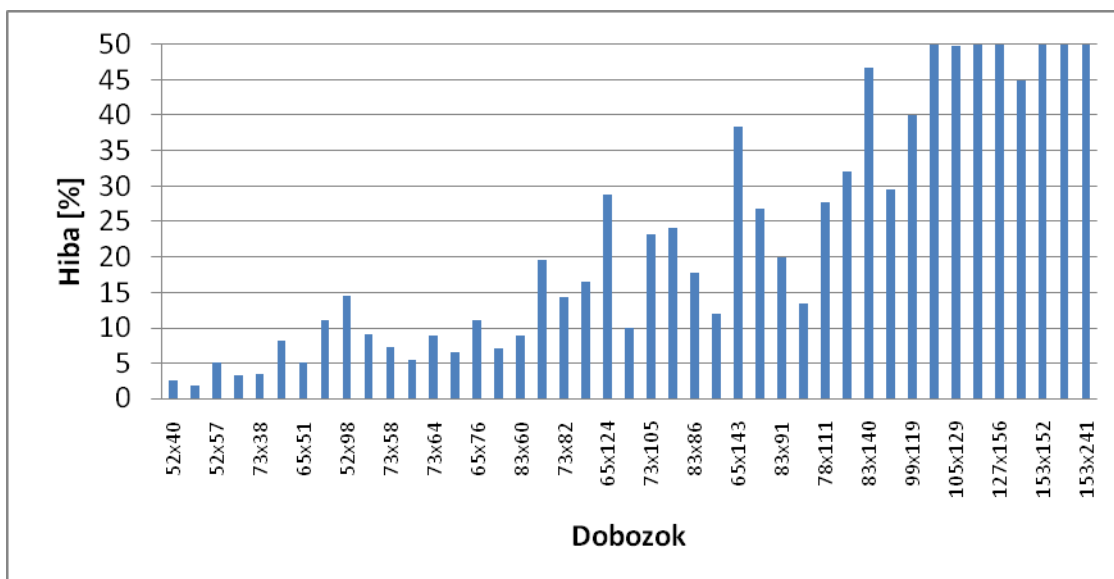
érvényes képlet nagyon magas értékeket adott már 20-30°C-on is a 12 lb oblong doboz esetén. Ennek oka, hogy a dobozok közt itt a legkisebb rés (3 mm), ami nagyon kis szabad áramlási keresztmetszetet és így nagy sebességet eredményezett, amelyet még jobban kiemelt a Nu függvény Re számának magas kitevője illetve a hőmérséklet emelkedésével a kinematikai viszkozitás csökkenése. Emellett az ajánlott $Re < 6000$ Reynolds számot is átléptem a magasabb hőmérsékleten.

31. táblázat: A Nusselt függvényekkel kapott hőátadási tényezők

Csomagolás fajtája	Rés [mm]	Tartás [80°C]		Hűtés [10°C]	
		PETERSON és ADAMS (1983)	McGINNIS (1986)	PETERSON és ADAMS (1983)	McGINNIS (1986)
12 lb oblong	11	292,40		256,09	
	3	124,85	745,00	109,15	109,30
11;16 lb pullmann	27,5	114,69		150,90	
	17	172,62	253,16	100,26	37,12
4;6;8 lb pullmann	13	229,80		182,37	
	17	172,62	310,42	140,43	45,51
12 lb fóliás	15	189,93		150,74	
	18	162,66	207,80	129,10	30,47

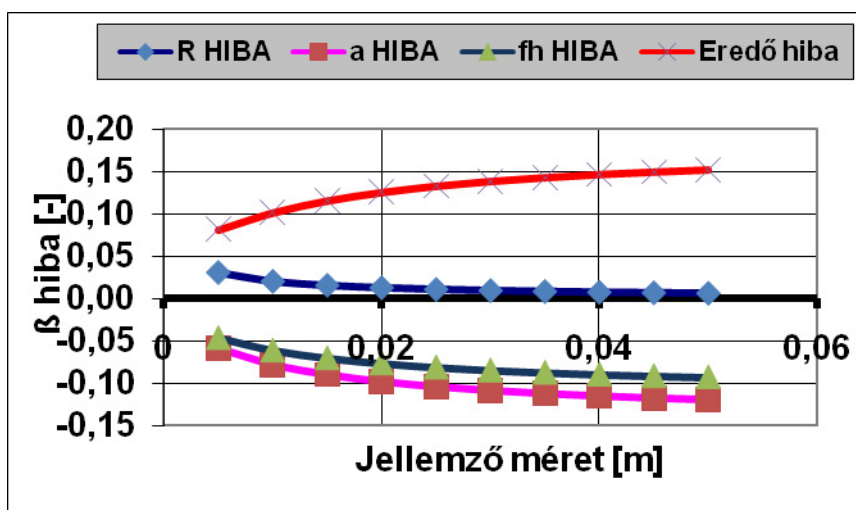
A McGinnis féle értékek jóval felette voltak a tartás idő alatt a Peterson és Adams képlettel számolthoz képest, de a hűtés alatt ez megfordult. Alig múlta felül illetve alatta is marad a szabad konvekcióra várható értékeket (32. táblázat) (KÖRMENDY 1991). Ennek oka a magasabb víz viszkozitás az alacsony hőmérsékleten. Ez az érték az álló víznek felelne meg. Így használatát nem tartom indokoltnak.

A szórások nagy értéke miatt hibavizsgálatot végeztem. Az ábrából látható, hogy a kis méretek felé haladva a hiba egyre kisebb lesz. A nagyobb méreteknél az összevont hőkapacitás elmélet $Bi < 0,1$ feltétele egyre inkább megsérül, és a testben kialakuló hőmérséklet gradiensnek köszönhetően a hiba nőni fog. Az összevont hőkapacitás alkalmazásának másik akadály, hogy a méréshez megfelelő hővezetési tényezőjű fémtestek a felmelegítés és a hűtés kezdeti szakaszában már teljesen felmelegednek, és a tartás és a hűtés alatti állandósult szakasz felületi hőátadási tényező értékét nem tudom vele mérni. A RAMASWAMY et al. (1983) által alkalmazott szigetelt tartó dobozt nem lehet a szűk hely miatt alkalmazni az ipari autoklávokban és főzőszekrényekben.



20. ábra: Az összevont hőkapacitás hibája különböző méreteknél

A felületi hőátadási tényező hőpenetrációs mérésekből történő meghatározásnál végzett elemzés megmutatta, hogy a kis hibával járó meghatározásához a kis méret a jó, és a hőmérsékletvezetési tényező és a Ball féle meredekségi tényező közel azonos mértékben eredményez hibát. A méret növekedésével elérhetjük akár a 15%-os hibát is (21. ábra), tehát, ha a hőkezelés során a térhőmérséklet és az összetétel ingadozásokat alacsony értéken tartjuk, akkor a felületi hőátadási tényező meghatározás hibája kb. 5-10%-ra csökkenthető, ami mérnöki számításoknál elfogadható.



21. ábra: A felületi hőátadási tényezőtől függő β tényező hibája a méret, a hőmérsékletvezetési tényező a Ball féle görbemeredekségi tényező függvényében

Az eredmények azt mutatják, hogy a felületi hőátadási tényező értéke a vizsgált hőkezelő berendezésekben 200-400 W/m²K között változik. Az irodalomban hőkezelő berendezésekre közölt adatok, egy-két kivételtől eltekintve, az általam mért tartományba esnek. A szórások illetve tartományok sokszor az általam mért értéket is meghaladják (32. táblázat).

32. táblázat: A hőkezelő és keringtetési rendszerekben mért hőátadási tényezők (α)

Szerző és közlés éve	α [W/m ² K]	Megjegyzés
Hayes (1987)	280-1200	Kényszer konvekció vízre
Burfoot és Self (1988)	830-1550	Keringtetési vízfürdő
Peterson és Adams (1983)	187-278	Vízkeringtetés négyszög csatornában
Chang és Toledo (1989)	222-317	Egyedi test körüláramoltatása
Pátkai et al. (1990)	650	Horizontális autoklávokra
	55-370	Horizontális autoklávokra
	143-287	Laboratóriumi ultratermosztát
Lebowitz és Bhowmik (1990)	186±54	Vízkeringtetési autokláv
Bhowmik és Tandon (1987)	295,94	Vízkeringtetési autokláv
Bhowmik és Shin (1991)	202-278	Hőátadási tényező terjedeleme
	174±35	Felmelegítés alatt
	243±117	Tartás alatt
	186±54	Felmelegítés+tartás
	222±128	Hűtés
	178±27	Teljes hőkezelés műanyag tesztidomra
Varga et al. (2000)	150-260	Barriquand Steriflow pilot autokláv tartási szakasz
	90-140	Barriquand Steriflow pilot autokláv hűtési szakasz
Saját adatok 1	120-207	Keringtetési és keverős termosztát
Saját adatok 2	115-268	Teljes vízelárasztásos autokláv (Stock)
Saját adatok 3	185-268	Teljes vízelárasztásos autokláv (Stock) (Bentonittal mért)
Saját adatok	180-300	Teljes vízelárasztásos autokláv (Stock) (Sonkafélék)
Saját adatok 4	200-400	Főzőszekrény

Az általam mért és számított felületi hőátadási tényezők jó egyezést mutatnak az irodalomban közöltekkel. A PETERSON és ADAMS (1983) által ajánlott képlet jól megkülönbözteti a különböző réstávolságban elhelyezkedő dobozok megfelelő felületi hőátadási tényezőjét. Egyrészt a bentonitos mérések is ezeket az értékeket támasztják alá, másrészt a közleményünkben megadott csatorna méretek és térfogatáramok tartománya is hasonló volt. A 12. táblázatban felsorolt további egyenletek Re szám kritériumait nem teljesítették.

A Nusselt számokkal és a hőpenetrációs külön mérésekkel kapott felületi hőátadási tényező értékek egy tartományba esnek. A kapott nagymértékű szórás annak tudható be, hogy az oldalakra a Biot szám nagy és a $\beta \text{tg}(\beta) = \text{Biot}$ függvény az aszimptotikus szakaszába

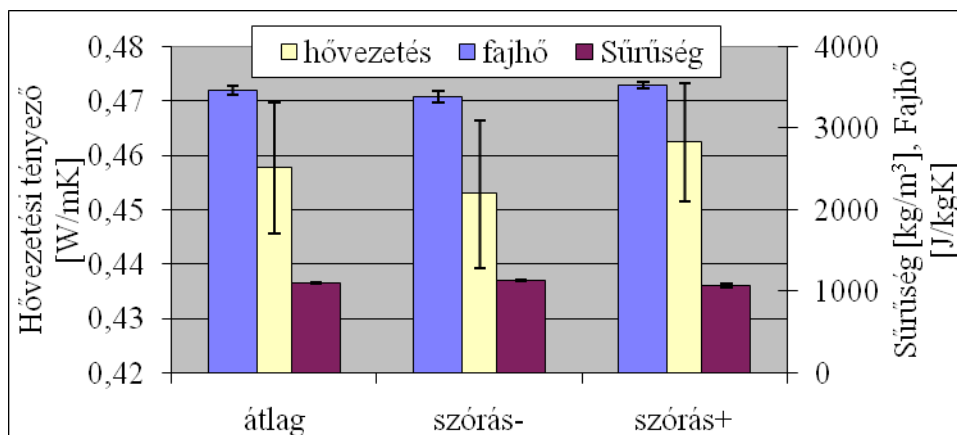
lépett, és itt kis β tényező változás is nagy Biot szám változást így nagy felületi hőátadási tényező eltérést eredményez (18. ábra) (ESZES és RAJKÓ 2004). UNO és HAYAKAWA (1979) ésszerű feltételezések mellett sokkal kisebb méretekre is 25% szórást kapott. A 23. táblázatban összefoglalt irodalmi értékek hasonlóan nagy tartományokat és ingadozásokat mutatnak. Ebből látható, hogy kb. 50-300 (400) $\text{W/m}^2\text{K}$ felületi hőátadási tényező várható a keringtetéssel rendszerekben. Eredményeim alapján rendszereinkre a 200-300 $\text{W/m}^2\text{K}$ értéket tartom reálisnak. Az is látható a mérési értékek és az irodalomban megadott adatok szórásából, hogy kb. 10-20 %-os relatív szórás várható a felületi hőátadási tényező értékében.

A PFLUG (1965) képletével kapott érték közel esik a PETERSON és ADAMS (1983) által megadott Nusselt függvénnyel számolt értékhez. A 100 mm-es oldalhosszúságú, kivett pullmann doboz helyére betett 65 mm átmérőjű henger megint kb. hasonló réstávolságot és hasonló értéket eredményezett. A többi mérés is 200 $\text{W/m}^2\text{K}$ körül alakul. A többi értéktől jelentősen eltér a Langen formában és főzőszekrényben mért érték. Ennek az oka, hogy a mérést a főzőszekrény aljában, és középen végeztük, ahol a befújás nagy légsebessége (10 m/s) már nem, a felül középen történő elszívás mértéke még nem érvényesült. Az autoklávnál ilyen mértékű eltérésre nem kell számítani, mert a hőkezelő henger átmérője, így a víz által megteendő út, csak 1080 mm. A LANGEN forma esetén nem lineáris illesztéssel is ellenőriztem a másik két oldalnál lehetséges értékeket. A Langen forma másik két oldalára visszszámított hőátadási tényező értékek 171,42 illetve 109,75 $\text{W/m}^2\text{K}$ voltak a 0,0525 m, illetve a 0,082 m jellemző hosszú oldalakra. A várható $\pm 10-20$ %-os Biot szám eltéréseken belül, az illeszkedés jósága $\pm 0,3^\circ\text{C}$ volt a mért értékhez képest. A hiba növekedésének oka még, hogy a karakterisztikus függvény alakja aszimptotikus, és ekkor már az ívelt szakaszban illetve aszimptotikus szakaszba érünk a jellemző hosszából eredő Biot szám növekedés miatt.

4.3. A termék hőtani paraméter meghatározások eredményei

A kémiai analitikai értékekből számolt hővezetési tényező, fajhő és sűrűség értékeket (SWEAT 1975, MILES et al. 1983) a 21. ábra mutatja. A hővezetési tényezőre a HT1 műszeres méréssel $0,4331 \pm 0,02 \text{ W/mK}$ ($n=10$) értéket kaptam. A SWEAT (1975)

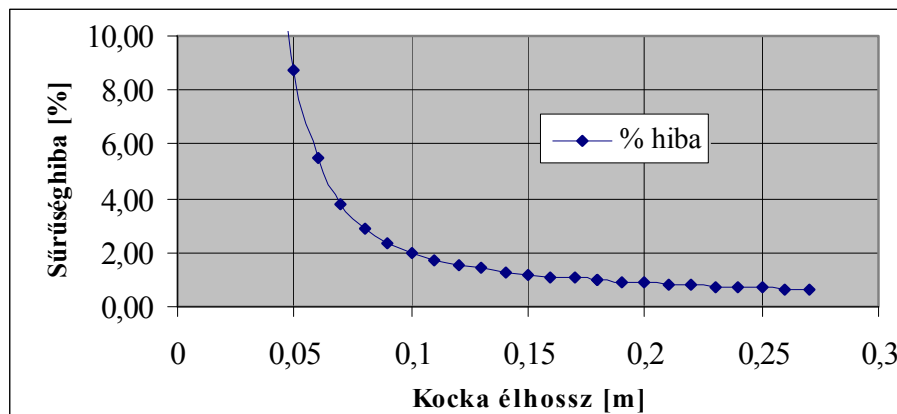
képlettel $0,4568 \pm 0,017$ W/mK, az addíciós módszerrel (Miles et al. 1983) képlettel $0,4794 \pm 0,018$ W/mK értéket kaptam. Ez az értékkülönbség kisebb, mint a rostiránnyal párhuzamos illetve arra merőleges hővezetésre megadott átlagérték (0,46 illetve 0,5 W/mK). Bár szignifikánsan különböznek a műszeresen és a kémia összetételből számított értékek a különbség közöttük kicsi.



22. Ábra: A kémiai összetételből számított fajhő, sűrűség és hővezetőképesség

A fajhő értékeket a kémiai összetételből számítottam. A fajhő átlagértéke 3460 ± 134 J/kgK a relatív szórás 3,87% volt, ami jónak mondható. A sűrűség kémiai összetételből számítása $1108,1 \pm 43,8$ kg/m³ értéket adott a sonkafélkonzervek esetén. A sűrűség a tömeg és térfogatmérések alapján $1076,26$ kg/m³ volt. A sonkafélkonzervek jellegzetes csomagolása szögletes dobozba illetve fóliás csomagolásba, amelyet később formában préselnek max. $\pm 1,25$ mm eltérést eredményeznek, ami a kismértékben eltérő összeszorításnak/tömörítésnek tudható be. Így a szórás az átlag körül a $+2,08 \pm 5,6$ %-os tartományon belül alakul. A dobozok esetén csak 0,01 mm alatti eltérések adódnak a méretben, amely elhanyagolható (LARKIN és STEFFE 1982).

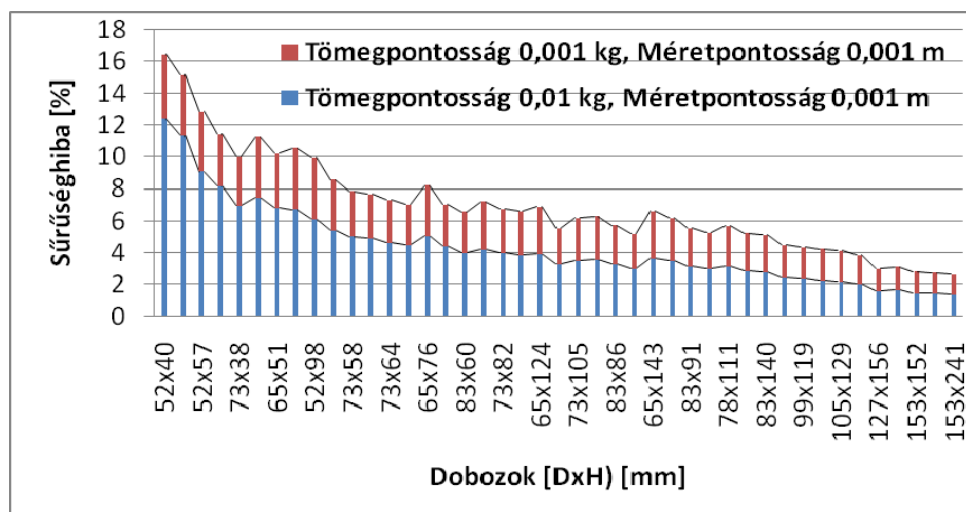
A tömeg- és térfogatmérésen alapuló hibavizsgálat felfedte, hogy minél nagyobb a mérendő csomagolás mérete annál kisebb hibát vétünk a sűrűségben (23. ábra). A kérdés továbbá az volt, hogy mit lehet tenni, ha kisebb méretű termékek sűrűségét kell minél pontosabban meghatározni, illetve milyenek az üzemben elérhető tömeg- és térfogatmérési pontosságok.



23. ábra: A sűrűségmérés hibája a méret függvényében

Az aszimptotikus görbe alapján azt mondható, hogy méretben legalább 10-20 cm élhosszt kell elérni. Ilyen szempontból nagyon jó alapot nyújt az általánosan alkalmazott műanyag húsos láda (40 kg, 600x400x230 mm) vagy az un. lift-boy kocsi (m=kb. 200 kg) az átlagérték meghatározásra. A bemérésnél használt mérlegek dkg pontosságúak, és ezen adatok mellett 23. ábra szerinti 1%-os hibát adja. Felmerül ezek után a kérdés, hogy az ingadozás mennyire befolyásolhatja a sűrűség értékét, illetve mit lehet tenni, amikor a méret eleve kisebb.

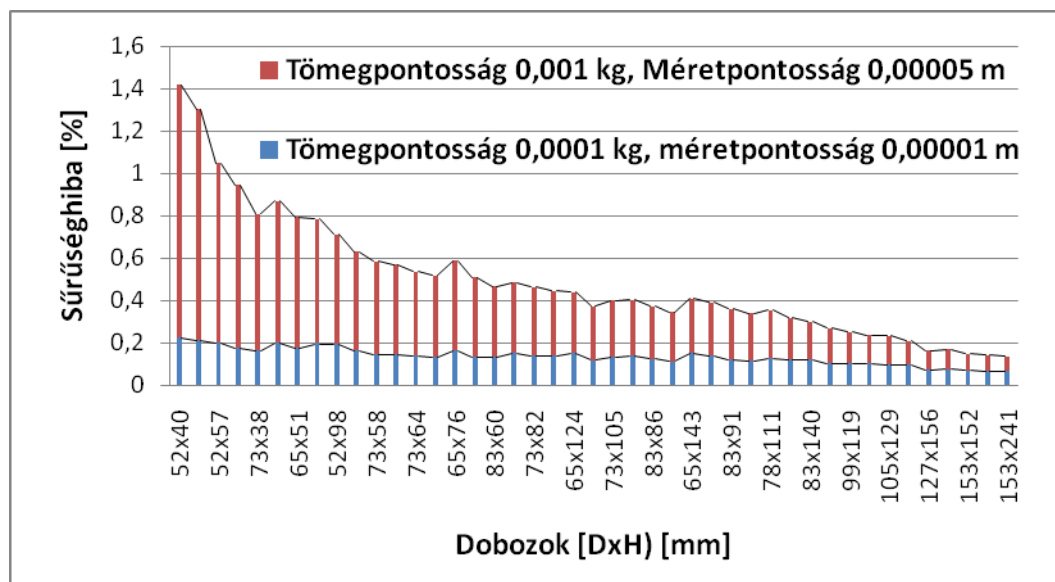
A hústermékek egyik csomagolási egységként a pl. konzervdobozok jöhetnek szóba. Ha a tömegmérés: 0,01 kg pontosságú, és a méretmérés mm pontosságú, akkor a kis dobozok 5-10% hibával alkalmazhatók, a nagy dobozok felé haladva viszont a hiba mértéke 1,5%-ra esik vissza (24. ábra).



24. ábra: A sűrűség hiba alakulása a méret függvényében.

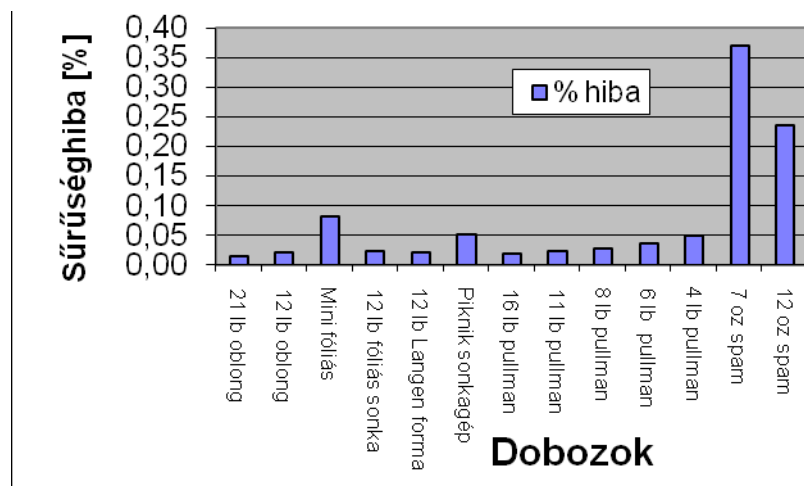
(Tömegmérés: 0,01 kg pontosság, térfogatmérés: mm pontosság)

A kisebb méretek felé haladva a mind a térfogat, mind a tömegmérés pontosságát növelni kell, hogy a sűrűséghiba mértékét minimalizáljuk. Ha tömegmérés: 0,001 kg (táramérleg, töltőgép) és a méretek mérése mm pontosságú (vonalzó), akkor a hiba mértéke kisméretű dobozoknál 2-4 %-ra, nagyméretű dobozoknál 1,5-2,0 %-ra csökkenhet (24. ábra).



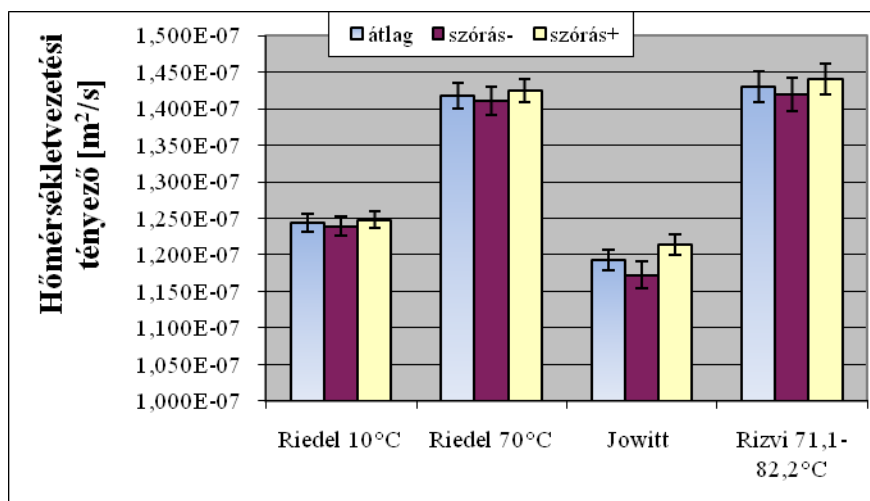
25. ábra: A sűrűségmérés hiba alakulása a méret függvényében 0,001 és 0,0001 kg tömeg- és 0,00005 m méretmérési pontosságnál

Ha a tömegmérés 0,0001 g (analitikai mérleg) és a méretek mérése 10^{-2} mm pontosságú (tolómérő), ilyen pontosságú eszközök az üzemekben rendelkezésre állnak, akkor a hiba mértéke néhány tized %-ra csökken. (25. ábra), ami azt jelenti, hogy a sűrűség ilyen kis hibamérték esetén állandónak vehető, és nem kell változóként kezelni. Ez az általam kapott kémiai összetétel ingadozásból számított hibamértékhez képest ($\pm 45 \text{ kg/m}^3$) messze kedvezőbb. Ha a tömegmérést 0,0001 g (analitikai mérleg) és a térfogatmérést $5 \cdot 10^{-5}$ m pontossággal (tolómérő/műszaki specifikáció) végezzük, kis dobozoknál is elérhetjük a 1% alatti hibát (26. ábra). A töltelékes áruk méreteiknél fogva nagyon hasonló tartományokba esnek, és ugyanezek a méréspontossági tartományok vezethetők le azoknál is. A 24. ábra 25. ábra megadja, hogy a hosszú rudakból mennyit érdemes levágni a kis hibával járó sűrűségmérésekhez. A sonkafélkonzerveknél még kedvezőbb a helyzet az eleve nagy méret miatt (26. ábra).



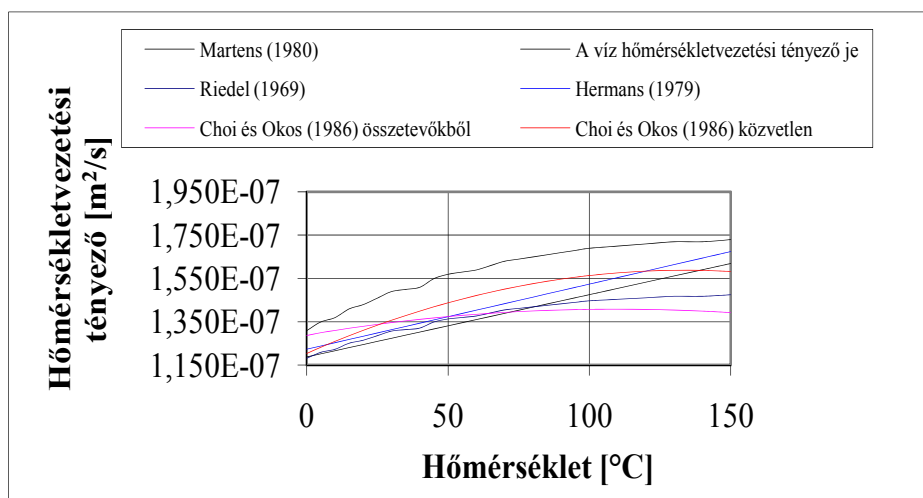
26. ábra: A sonkafélkonzerv csomagolások Sűrűségmérési hibája (tömegmérési pontosság 0,001 kg méretmérési pontosság 0,01 mm)

A kémiai összetételből a kapott hővezetési tényező fajhő és sűrűség értékekből, valamint a víztartalom alapuló képletekből számolt hőmérsékletvezetési tényező értékeket a 27. ábraában mutatom be. Mivel a RIEDEL (1969) képletben a víz hőmérsékletvezetési tényező értéket kell alkalmazni, és az hőmérsékletfüggő, ezért a grafikonon a 10°C és 70°C-os értékeket tüntettem fel. Az ábrából jól kivehető, hogy a RIEDEL (1969) és a MILES et al. (1983) képletei 10-20°C esetén közel állnak egymáshoz ($5 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ eltérés), Míg RIZVI et al. (1980) által megadott képletek a 70°C-os Riedel értékkel esnek egybe. Ez a hőpenetráció alatti melegedést jobban figyelembe veszi.



27. ábra: A kémiai analitikai értékekből számított hőmérsékletvezetési tényező értékek MILES et al. 1983 és RIEDEL (1969) alapján

A hőmérsékletfüggést figyelembe vevő kémiai analitikai alapadatokat felhasználó képletek eredményeit a 28. ábra mutatja. A különböző szerzők képleteivel kapott értékek 50°C alatt elég közel esnek egymáshoz, míg ezen hőmérséklet felett nagyon nagy különbség tapasztalható. Feltűnő még továbbá, hogy CHOI és OKOS (1986) közvetett és közvetlen meghatározási képlete mekkora eltérést adnak (27. ábra). RIEDEL (1969) 70°C-ra vonatkozó értékei és RIZVI et al. (1980) adatai mutatnak inkább egyezést a hőmérsékletfüggést is figyelembe vevő eredményekkel, amelyek az $1,35 \cdot 10^{-7}$ – $1,4 \cdot 10^{-7}$ m²/s értéket valószínűsítik.



28. ábra: A víz és a hústermékek hőmérsékletfüggési képletekkel számított hőmérsékletvezetési tényezők értékei

A hőmérsékletvezetési tényezőt a mérési hibákra kevésbé érzékeny Ball módszer alapján RAMASWAMY (1982) és LARKIN és STEFFE (1982) szerint határoztam meg a legtöbbet gyártott és legnagyobb méretű csomagolásokra. A hűtést itt nem tüntettem fel, mert sebessége nagyon ingadozó volt.

33. Táblázat: A sonkafélék f_h tényezői és hőmérsékletvezetési tényezői

Dobozméret	mérés szám	f_h átlag [min]	f_h szórás [min]	Hőmérsékletvezetési tényező [m ² /s]·10 ⁻⁷		
				Átlag	maximális túlbecslés	maximális alulbecslés
12 lb oblong régi Stock autokláv	49	238,00	8,31	1,23	1,27	1,19
11 lb pullmann régi Stock autokláv	21	204,74	9,67	1,38	1,45	1,32
12 lb oblong új Stock autokláv	6	230,24	5,78	1,31	1,34	1,28
12 lb Langen főzőszekrényben	6	220,22	10,46	1,34	1,46	1,29

Az f_h tényező relatív szórása 5% körüli, ami az f_h érték ingadozására megadott alsó határral egyezik (LUND 1978, SINGH 1982). A Langen formára kapott valamivel kisebb f_h érték a szerencsésebb elrendezési helyzetnek köszönhető, azaz a legrövidebb oldalnál van a legnagyobb hőátadási tényező. A Párizsi félék jobb relatív szórású f_h értékeket (36. táblázat), míg az ugyanebben a rendszerben mért mozaikos felvágottak (35. táblázat) a sonkafélékre kapott relatív szórásokat mutatták. Ezt a kémiai összetételbeli eltérések nem (22. táblázat), inkább a változó kezdeti és peremfeltételek (4.1 pont) magyarázzák.

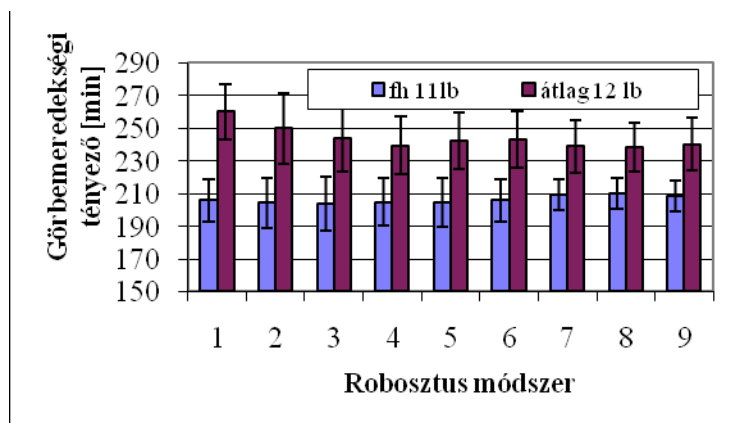
34. táblázat: Párizsi félék f_h meredekségi tényezői ($n=8 \times 20$)

	Párizsi	Nosztalgia Párizsi	Sláger Párizsi Rövid	Sláger Párizsi nagy	Szalonnás Párizsi	Sajtos Párizsi Rövid	Sajtos Párizsi	Párizsi Rövid
Átlag	89,03	95,16	56,99	126,91	62,22	87,95	55,66	61,05
Szórás	2,36	2,50	1,56	3,69	2,34	2,09	1,39	2,88
Min	78,98	80,09	49,22	110,09	49,87	78,49	49,66	48,14
Max	83,70	85,10	52,34	117,46	54,56	82,67	52,44	53,90
Relatív szórás	2,65	2,63	2,74	2,91	3,77	2,38	2,50	4,72

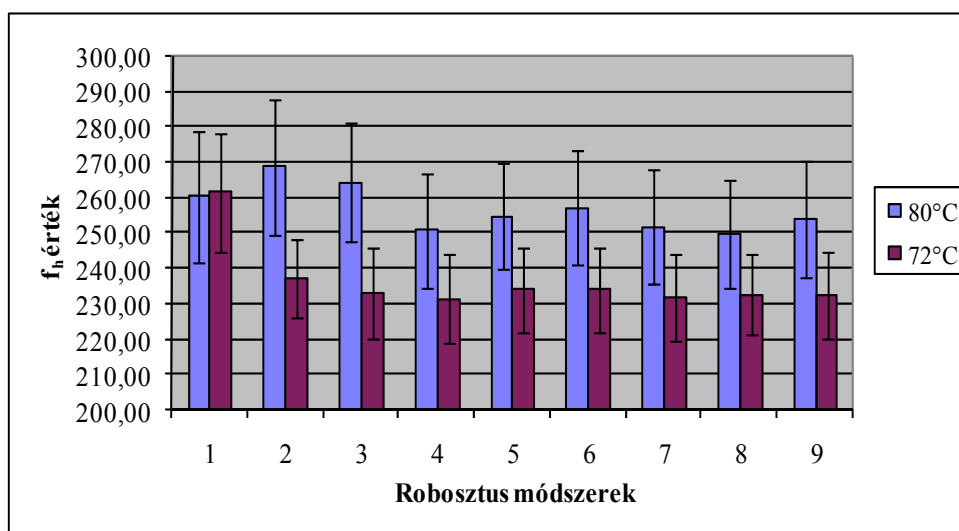
35. táblázat: Mozaikos felvágottak f_h és j_{ch} értékei

Felvágott féle	db	f_h görbemeredekség [min]			j_{ch} késleltetési tényező [-]		
		Átlag	Szórás	Relatív szórás	Átlag	Szórás	Relatív szórás
Olasz	29	84,508	7,782	9,209	1,801	0,175	9,704
Veronai	12	85,417	6,578	7,701	1,818	0,132	7,281
Vadász	18	84,238	6,050	7,182	1,786	0,352	19,713
Zala	32	126,474	20,181	15,956	1,657	0,233	14,057

Az f_h tényezőt meghatároztam a robosztus regressziós módszerekkel is. Ekkor szétválasztottam a különböző térhőmérsékleten és csomagolásokban nyert f_h tényezőket. A 29. ábra látszik, hogy a 4893 g és 5443 g töltőtömegű dobozok jelentősen eltérő f_h értéket adnak, holott csak $\approx 0,5$ kg a tömegkülönbség közöttük. A 30. ábra szintén jelentős különbségeket mutat a görbemeredekségi tényezőben. Mivel a görbemeredekségi tényező a (25) egyenletben osztóként szerepel jelentős különbségek adódhatnak, míg kis hőkezelési körülmény eltéréseknél is. A töltelékes áruknál (36. és 37. táblázat) ez főleg a méretek különbségéből adódik, mivel a térhőmérséklet csak 73-75°C volt és az összetétel csak minimálisan tért el egymástól.



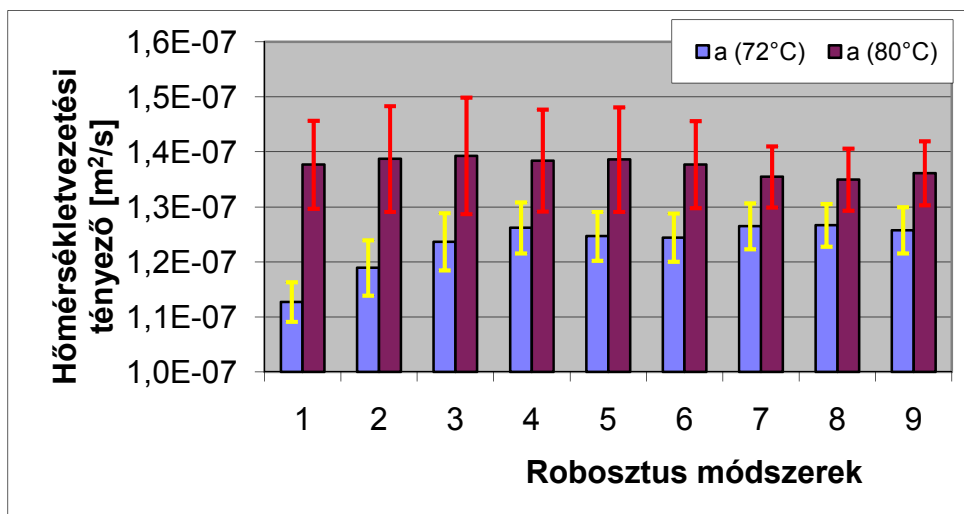
29. ábra: Az f_h értékek alakulása a 11 lb pullmann és 12 lb oblong dobozoknál



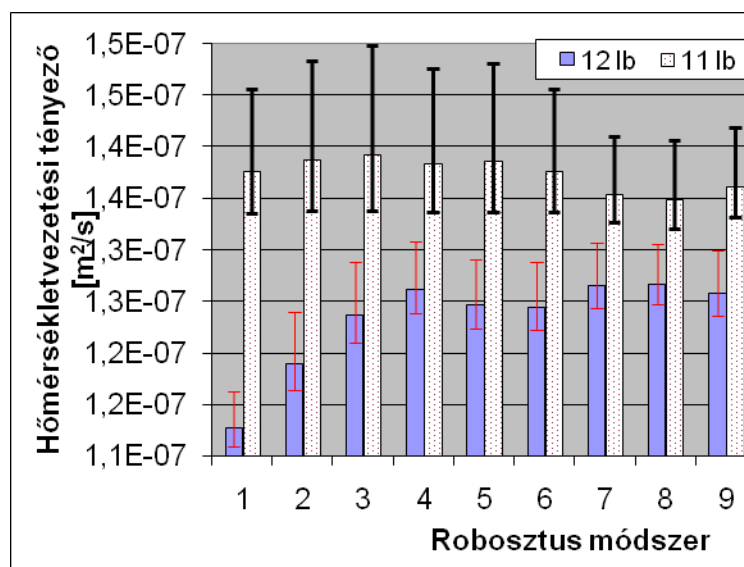
30. ábra: A robusztus regresszióval kapott görbemeredekségi tényezők a tartás szakaszára 12 lb-ás dobozokra 80°C és 72°C

A robusztus módszerek szinte azonos átlagértékeket adtak a hagyományos kiértékelésekkel szemben, de egyben a szórásokat is csökkentették. A szórásokat tekintve a 7-9 számú módszerek adták a legkisebb értékeket. Az f_h értékből számolt hőmérsékletvezetési tényező értékekben még jobban érzékelhető volt ez a jelenség (31. ábra). Amint az f_h értékek alapján várható volt a 12 és 11 lb töltőtömegű dobozok esetén jelentős és szignifikáns különbség adódott a hőmérsékletvezetési tényező értékében. A 12 lb-ás dobozoknál $1,3 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$, a 11 lb-ás dobozokban $1,4 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ értékeket kaptam. Amikor a 72°C és 80°C térhőmérsékletű görbék a 12 lb-ás dobozoknál szétválasztottam, akkor a 80°C térhőmérsékletű hőkezelések eredményei ($1,37 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$) megközelítették a

11 lb dobozokét, míg a 72°C térhőmérsékletű hőkezeléseknél átlagosan $\approx 1,25 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ értéket kaptam.



31. ábra: A hőmérsékletvezetési tényező függése a térhőmérséklettől 12 lb oblong dobozoknál



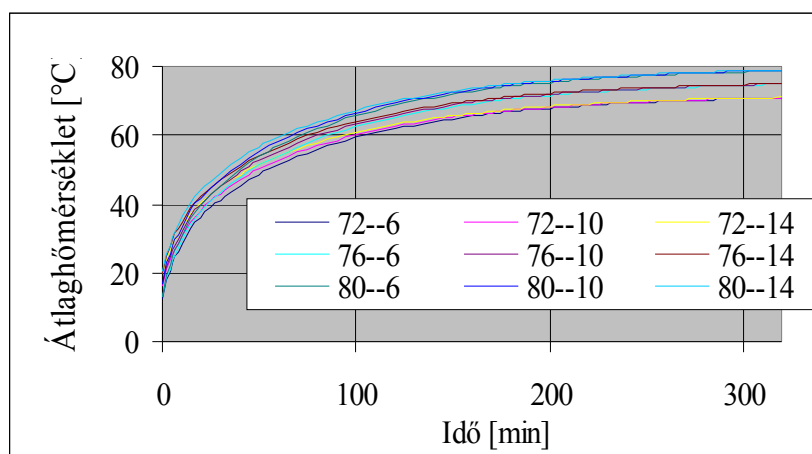
32. ábra: A hőmérsékletvezetési tényező függése a két dobozmérettől

A hőpenetrációs görbéket kielemeztem az FDE-VSM módszerrel is. Ez jóval érzékenyebb az előfeltételezések be nem tartására és a kezdeti és peremfeltételek változására. A 36. táblázatból látható, hogy a hőkezelés szakaszai és a csomagolások között szignifikáns különbség van. A különbségekre az átlaghőmérsékleti ábrák adnak magyarázatot (33-36. ábra).

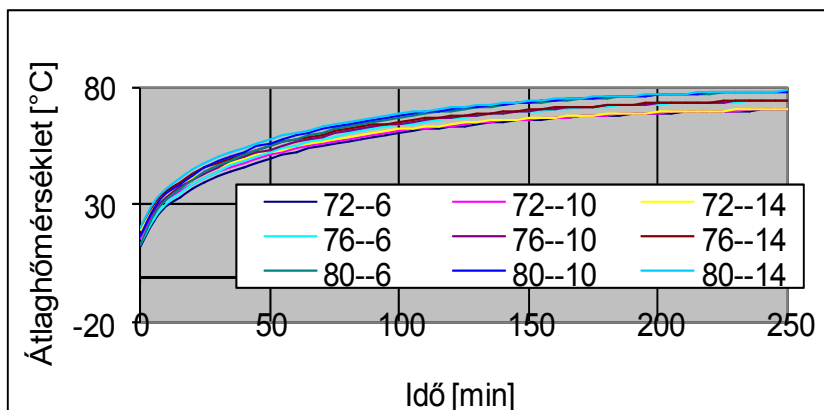
36. táblázat: Töltelékes áruk és sonkafélkonzervek hőmérsékletvezetési tényezői (FDE VSM módszer)

Csomagolás	Tartás		Hűtés	
	Átlag [m^2/s](10^{-7})	Szórás [m^2/s](10^{-9})	Átlag [m^2/s](10^{-7})	Szórás [m^2/s](10^{-9})
11lb pullmann	1,404	5,48	1,161	6,8
12lb oblong	1,305	7,40	1,130	6,50
Veronai	1,300	1,72		
Vadász	1,334	4,08		
Zala	1,371	4,68		
Olasz	1,338	2,31		

A 33.-34. ábrákból látható, hogy az átlaghőmérséklet már mintegy 1 óra után 55-60°C. A 11lb-ás dobozok átlaghőmérséklete mintegy 10°C-kal meghaladja a 12 lb-ás dobozokét. A különböző dobozokban az egész kezelés alatt az átlaghőmérsékletek átlaga 60-70°C között alakul a vizsgált paraméter tartományban. Ez is a magasabb, a hőmérsékletfüggés szerinti $1,3\text{-}1,4 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ hőmérsékletvezetési tényező értéket támasztja alá (28. ábra).

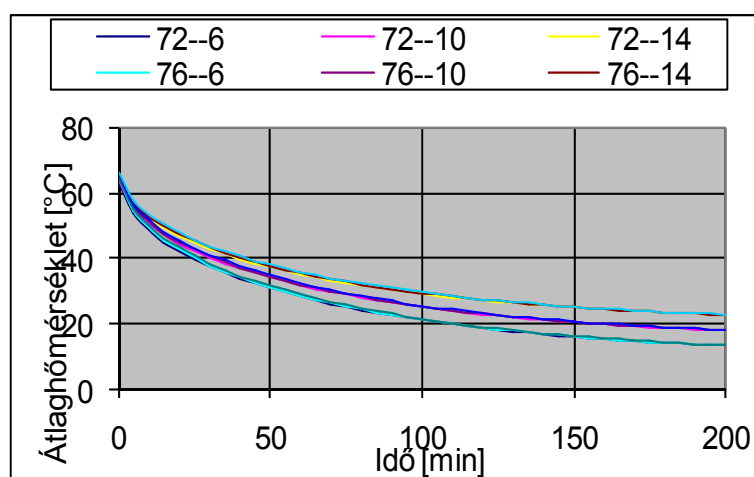


33. ábra: A 12 lb-ás oblong dobozok átlaghőmérséklet alakulása különböző kezdeti (6-14°C) és térhőmérsékleteknél (72-76-80°C)

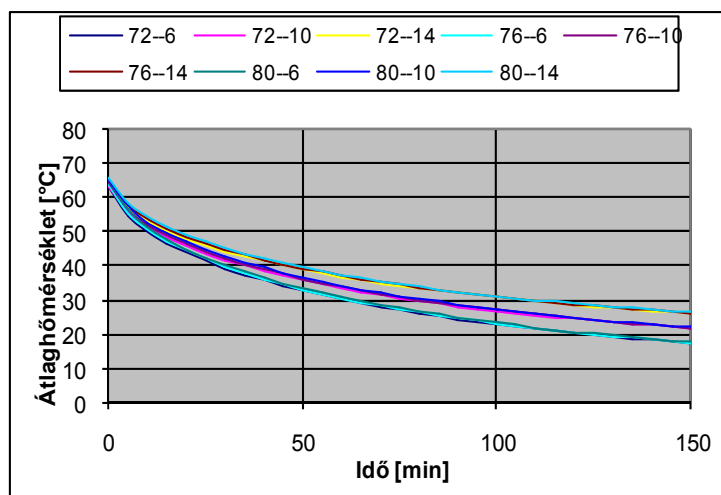


34. ábra: A 11 lb-ás pullmann dobozok átlaghőmérséklet alakulása különböző kezdeti és térhőmérsékleteknél

Feltűnő a tartás és a hűtés szakaszok között kapott hőmérsékletvezetési tényező különbség (36. táblázat). A hűtés alatt a 12 lb-ás dobozok átlaghőmérséklete 25-35°C között alakul a kezdeti hőmérséklet és a hűtővíz hőmérséklet függvényében. A 11lb-ás dobozok tekintetében még alacsonyabb az átlaghőmérséklet. Mivel a hűtést 40°C maghőmérsékleten abbahagyjuk a különbségek nem olyan nagyok, mint a tartási szakasz esetében (35. ábra. ábrák), aminek egyik lehetséges oka, hogy csak 40°C maghőmérsékletig hűtjük vissza a termékeket. A tartási szakasz 60°C feletti és a hűtési szakasz 15-30°C átlaghőmérsékletei jelzik hőmérsékletvezetési tényező hőmérsékletfüggését ($1,3-1,4 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ és $1,1-1,2 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$).



35. ábra: A 12 lb-ás dobozok átlaghőmérséklet alakulása a hűtés alatt



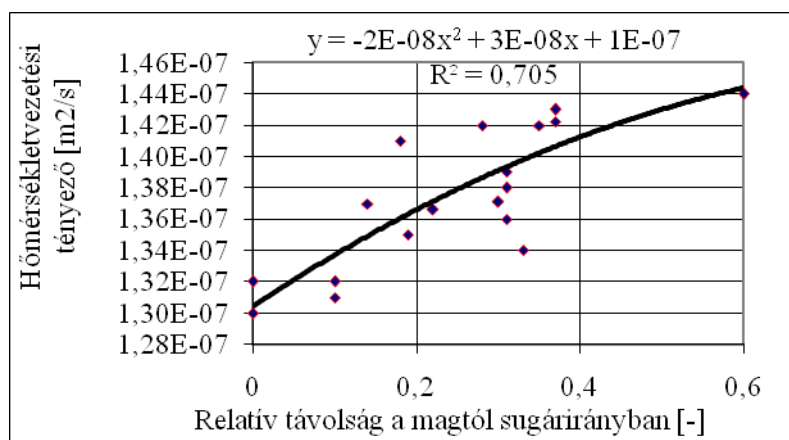
36. ábra: A 11 lb-ás dobozok átlaghőmérséklet alakulása a hűtés alatt

36. ábra, hogy más kezdeti és térhőmérséklet, valamint az eltérő méretek más átlaghőmérsékletet eredményeznek a folyamat során, és többek között ez adhatja a magyarázatot az irodalomban található hőpenetrációs mérések közti különbségekre is (37. táblázat).

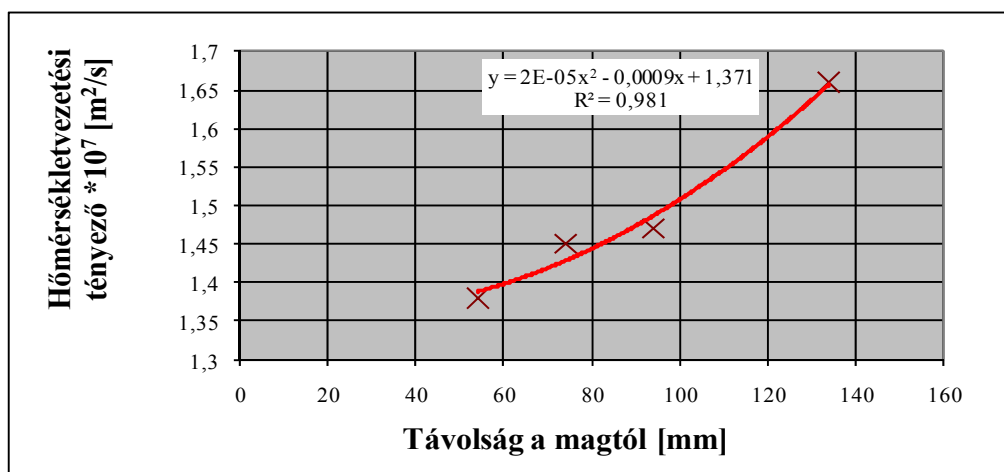
37. táblázat: A hőmérsékletvezetési tényező irodalmi értékei

Szerző és a közlés éve	$a \cdot 10^7 \text{ [m}^2/\text{s]}$	Megjegyzés
TSCHUBIK és MASLOW (1973)	1,2	Sertés sonka
DICKERSON és READ (1975)	1,2-1,3	Marha sonka
RIEDEL (1969)	1,2-1,43	Víztartalomból számított érték
LŐRINCZ és LENCSEPETI (1973)	1,2	Pácolt hús
SANZ et al. (1987)	1,1-1,3	Sovány hús
MITTAL és BLAISDELL (1984)	1,165-1,325	Húspép
HUANG és MITTAL (1995)	1,6-1,9	Húsgombóc főzés és sütés
McDONALD et al. (2002)	1,15-1,207	Főtt marhahús hűtése
MITRA et al. (1995)	1,28-1,52	Mortadella füstölő-főzőszekrény
ROETZEL et al. (2003)	1,32	Lyoner
AKTERIAN (1997)	1,15	Nedves légáram főzőszekrény
MARKOWSKI et al. (2004)	1,35-1,52; 1,41-1,75	Tartás
KÖRMENDY (1991)	1,27	Sonkás felvágott
KÖRMENDY (1991)	1,42	Veronai felvágott
KÖRMENDY (1991)	1,74	Darált húskonzerv
KÖRMENDY (1991)	1,93	Sajtos felvágott
SANDBERG et al. (1994)	0,4-2,5	“Flaked” ham
CARCIOFI et al. (2002)	2,4	Mortadella, füstölő-főzőszekrény
DINCER és YILDIZ (1996)	3,8-4,6	Sütnivaló kolbász
SHERIDAN és SHILTON (2002):	1,2-1,8	Infravörös főző
PAN et al. (2000)	0,83-1,36	Virsli (20°C)- pepperoni (80°C)

A fenti különbségeket elfedheti a hőmérsékletérzékelő hibás behelyezése is. Az FDE-VSM módszerrel kapott hőmérsékletvezetési tényező értékeit a félreszúrás függvényében mutatja a 37. és 38. ábra. Minél nagyobb volt a hőmérsékletérzékelő behelyezési hiba annál nagyobb hőmérsékletvezetési tényező értéket kaptam, mivel a termék felületéhez egyre közelebb eső pont egyre magasabb hőmérsékletet ér el, és a termék felülete és a mérési pont közötti átlaghőmérséklet egyre nagyobb.



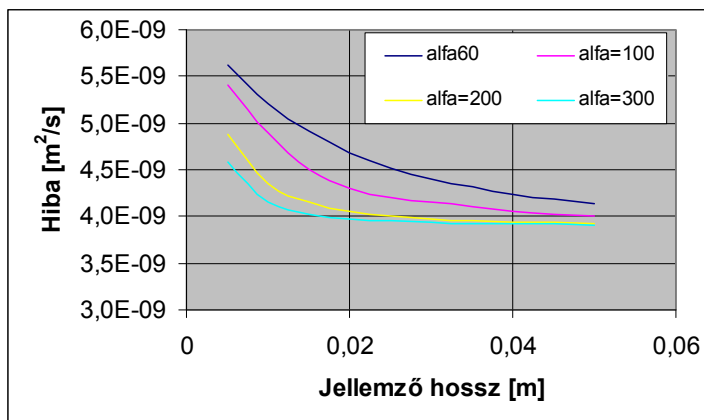
37. ábra: A maghőmérséklet mérő behelyezési hiba hatása a hőmérsékletvezetési tényező értékére töltelkes áruk nál



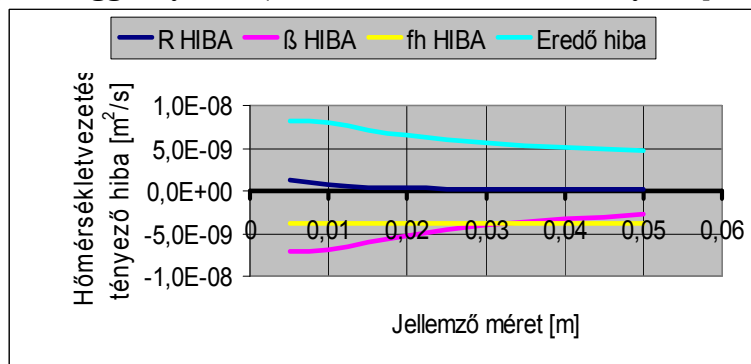
38. ábra: A mérési pont befolyása a hőmérsékletvezetési tényező meghatározásra 12 lb Langen forma esetén (4 pontos ELLAB SSD érzékelővel mérve)

Az eltérések másik oka lehet a mérési hiba. A kis méreteknél (májkrém doboz, virsli és májas termékeknél) a mérési hiba mértéke nagy, és az a méret és az felületi hőátadási tényező csökkentésével $4 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ értékig csökkenthető (39. ábra 40. ábra). A PFLUG (1965) képlettel történő hőmérsékletvezetési tényező meghatározásához a nagy méret a jó.

Azt is láthatjuk, hogy a 90-100 mm átmérőnél nagyobb méreteket nem érdemes alkalmazni, mert a meghatározás hibája nem csökken számottevően tovább, ez éppen egybeesik, az ipari gyakorlattal, ahol általában nincs ennél nagyobb átmérőjű termék. LARKIN és STEFFE (1982) ajánlása: „azaz alkalmazzunk akkora csomagolás méretet, amekkorát csak tudunk”, finomítható oly módon, hogy a termék méretet (átmérőt) 100 mm-ben maximáljuk, amivel jelentős mérési idő megtakarítást is elérhetünk, anélkül, hogy számottevően növekedne a hiba. Ebből következik, hogy a virslik és a májasok mérése eredeti méreteik esetén nagyobb hibával járnak, így ajánlatos azokat a nagyméretű műbelekbe, formákba töltve mérni. Így ipari méreteken az javasolható, hogy nagyméretű Zala felvágottba töltsük be a virsli és májas pasztákat, és ha lehet a lehető legnagyobb hőátadási helyen mérjük a hőmérsékletvezetési tényező értékét. A hibavizsgálat figyelembe vételével a hőmérsékletvezetési tényező mérési hiba a felére csökkenthető ($\pm 1 \cdot 10^{-8} \rightarrow \pm 5 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$) (39.-40. ábra).

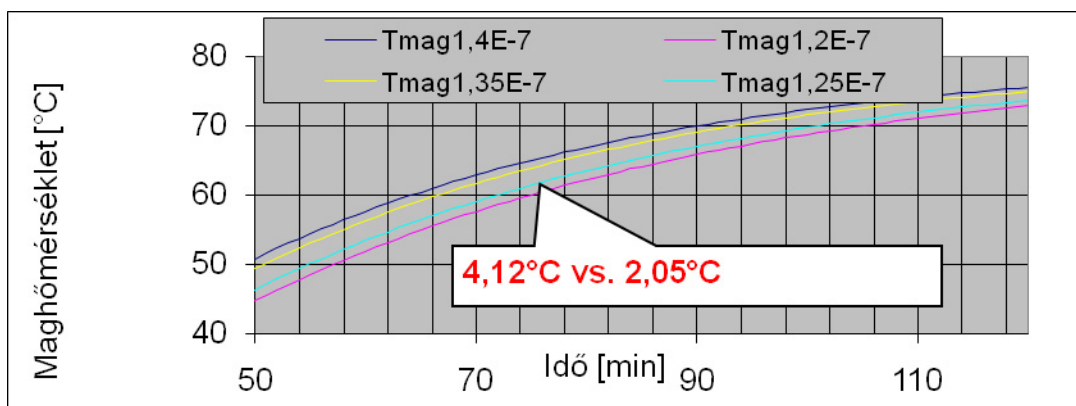


39. ábra: A hőmérsékletvezetési tényező hiba alakulása a méret és a felületi hőátadási tényező függvényében (alfa = felületi hőátadási tényező [W/m²K])

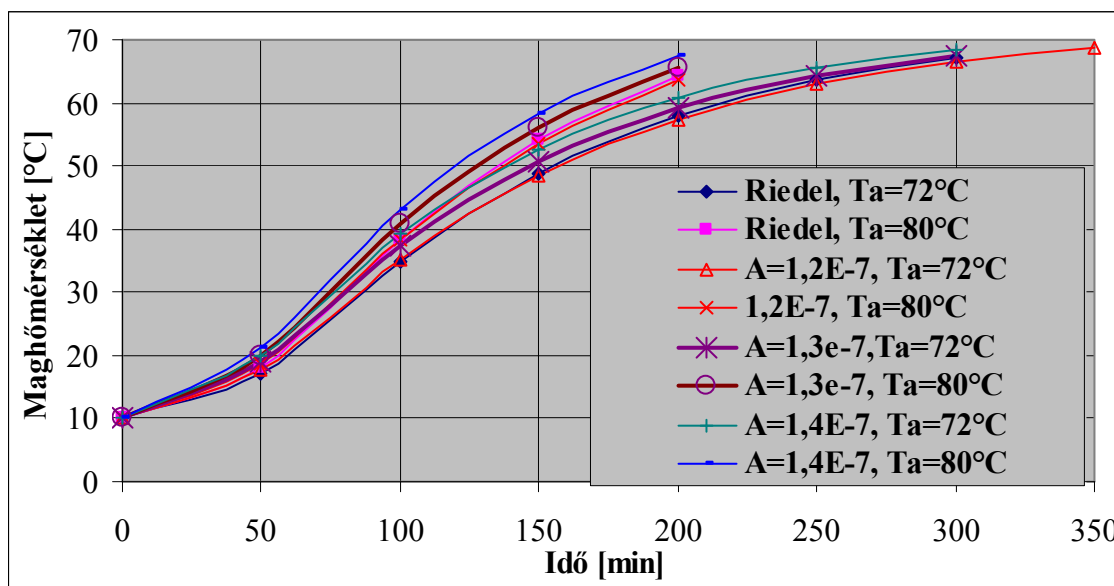


40. ábra: A hőmérsékletvezetési tényező meghatározás hibaalakulása a Pflug képlet alapján a méret, a felületi hőátadás intenzitása és a Ball féle meredekségi tényező függvényében (β karakterisztikus gyök, R sugár)

A hibaszámítással kapott megfontolások alapján módosított értékekkel végzett hőmérsékletbecslés a becslési sávot a felére csökkentette (41. ábra). A RIEDEL (1969) féle hőmérsékletvezetési tényező számítási képlettel végzett hőmérsékletbecslés $\pm 1^\circ\text{C}$ -on belülre csökkentette a hőmérsékletbecslés sávját. A hőmérsékletfüggést figyelembevevő hőmérsékletalakulás számítás során a RIEDEL (1969) képlet volt a legmegfelelőbb (42. ábra). Az állandó és változó hőmérsékletvezetési tényező értékekkel kapott hőmérsékleti görbék a tartás alatt az $1,3\text{--}1,4 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ állandó értékkel számolást támasztják alá.



41. ábra: A hőmérsékletvezetési tényező hibaszámítással csökkentett ingadozásával számolt hőmérsékletbecslés



42. ábra: A hőmérsékletalakulás 12lb-ás oblong dobozban Állandó (A) és változó (RIEDEL 1969) hőmérsékletvezetési tényező mellett

A kapott értékeink alapján a tartás alatt $1,3 \cdot 10^{-7}$ - $1,4 \cdot 10^{-7}$ m²/s, hűtéskor $1,1 \cdot 10^{-7}$ - $1,2 \cdot 10^{-7}$ m²/s hőmérsékletvezetési tényező értékek valószínűsíthetők. A 39. táblázatban az $1,5$ - $1,6 \cdot 10^{-7}$ m²/s feletti értékek szerintünk nem valósak, mert a víznél is jobb hőmérsékletvezetési tényező értékeket mutatnak. Ez ellentmond annak, hogy a zsír és fehérje alacsonyabb hőmérsékletvezetési tényező értékekkel rendelkezik, mint a víz így az addíciós számítás alapján nem kaphatunk jobb értéket a víznél. A hőmérsékletfüggésre kiszámolt értékek is azt valószínűsítik, hogy $1,3 \cdot 10^{-7}$ - $1,5 \cdot 10^{-7}$ m²/s hőmérsékletvezetési tényező érték várható még 100°C felett is (28. ábra). A hőmérsékletfüggést nem figyelembevevő kémiai összetételből számító képletek az alsó hidegebb tartományban lehetnek érvényesek ($1,2 \cdot 10^{-7}$ m²/s). Ezek közül a RIEDEL (1969) féle képlet volt a legközelebb a kapott értékeinkhez annak ellenére, hogy csak a víztartalmat veszi figyelembe. A CHOI és OKOS (1986) képletei túlbecsléshez vezettek.

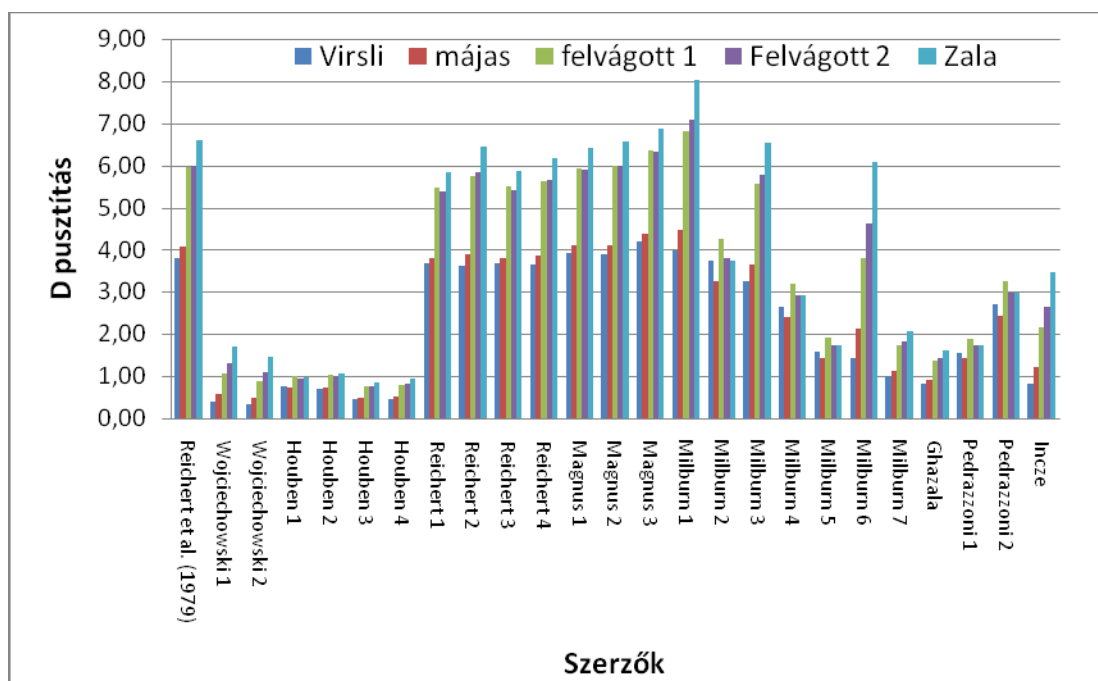
4.4. Új mikrobiológiai megfontolások számítási eredményei

4.4.1. A vegyes baktérium populáció pusztulása

A Streptococcus törzsek pusztulását először az iparban szokványos 69 (Zala felvágott)-74°C (virslis) maghőmérsékletig történő kezeléseknél vizsgáltam. Az egyes szerzők által megadott maximum és minimum D és z értékeket kombináltam és a szerzőknél és sorszámozva jelölöm az egyszerűség kedvéért.

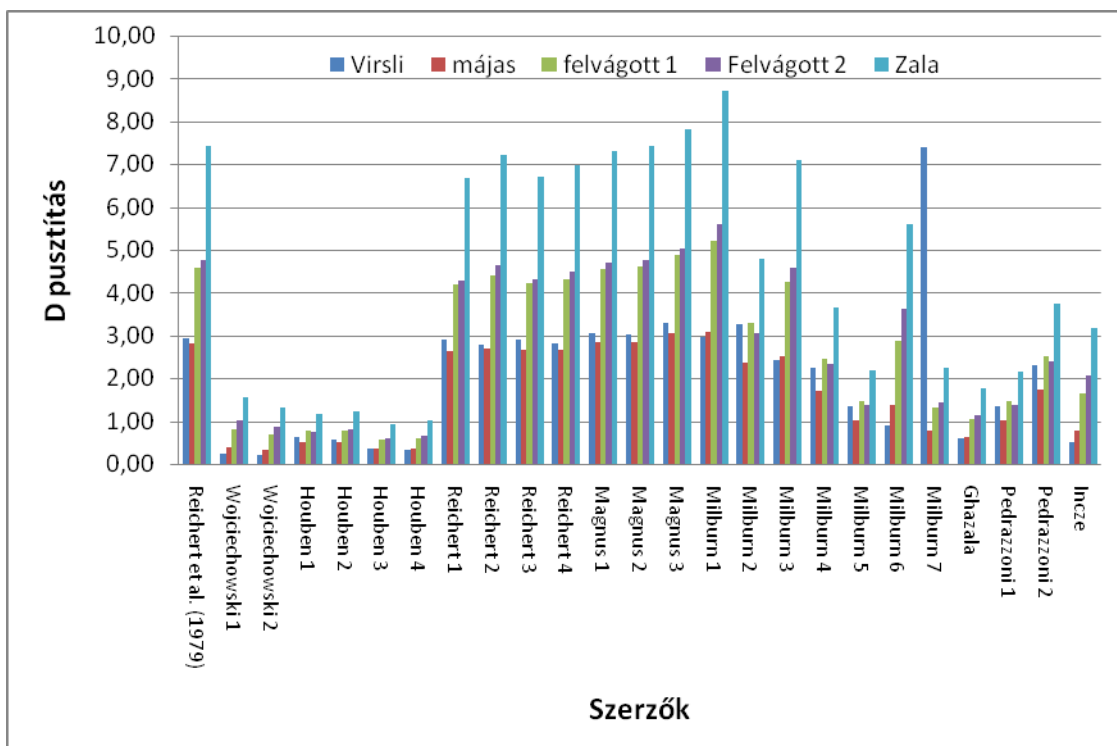
A 43. ábra az egyes törzsek jelentősen eltérő pusztulási mértéket mutatnak. A 12D elvnek leginkább a REICHERT et al. (1979, 1988), MAGNUS (1986, 1988) és MILBURN Streptococcus adatai felelnek meg. Itt azt tételeztem fel, hogy a hűtés alatt kb. ugyanannyi hőterhelést kapnak a termékek, mint a tartás alatt. A HOUBEN (1982) WOJCIECHOWSKI (1981) GHAZALA et al. (1995) és INCZE et al. (1999) D és z értékeivel ugyanazon görbék esetén csak néhány D pusztulást érhető el. Ez azt jelenti, hogy ezen Streptococcus törzs változatok nem vagy csak nagyon kis számban fordulnak elő a gyakorlatban, mert ellenkező esetben nagyszámú romlási esetről kellene hallanunk. Az egyes szerzők által megadott D és z értéktartományok kombinációi csak néhány tized D pusztításban tértek el egymástól. Ennél a túlbiztosítás mértéke általában jóval nagyobb, tehát azt mondhatjuk, hogy elég az átlagértékkel számolni. Azt is megállapíthatjuk a 43. ábraából, hogy az ipari gyakorlat alapján történő maghőmérsékletre leállítás csak a legnagyobb méretű Zala

felvágott esetén kecsgetet a 12D eléréssel. Ahogy a termékátmérő csökken, úgy válik egyre kérdésessé a 12D elérése az egyenértékű hűtés alatti megduplázódásával.



43. ábra: A Streptococcus és Lactobacillus törzsek pusztulása pasztörkádban 80°C-on

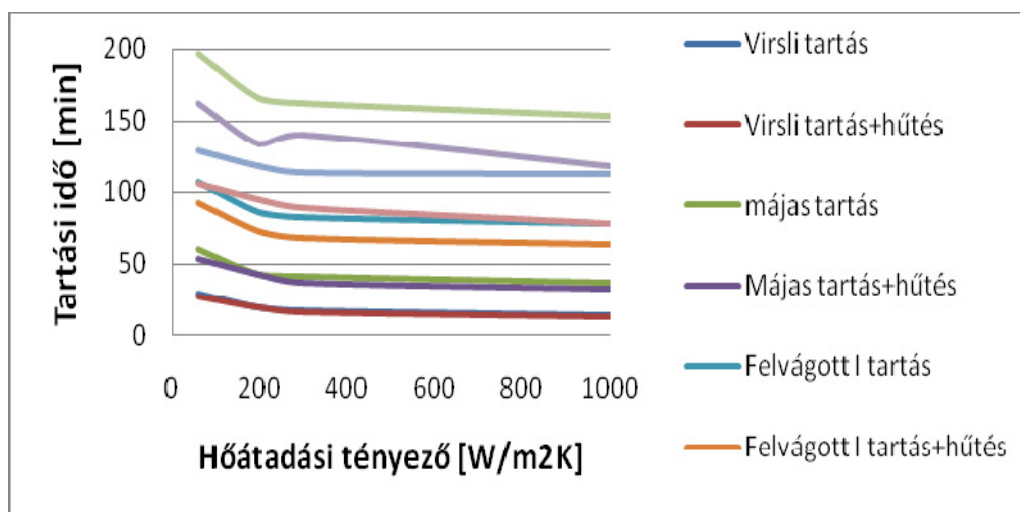
A főzőszekrény intenzívebb hőátadása miatt a változatok többségében csökkent az ugyanakkora maghőmérséklet elérésre leállított hőkezelések pusztító hatása (44. ábra). Csak a Zala felvágott őrizte meg a stabil hőkezelési tartományát. A felvágottak csak 4-5 D a májasok és virslik 2-3D Streptococcus pusztulást mutattak. Így csak a Zala felvágottnál várható a 12D pusztítás elérése. Tehát a hőátadás intenzitás növekedésével a hőkezelési különbségek nőttek, ha ugyanazt az elért maghőmérsékletre történő leállítást alkalmaztam. Azt kell mondani, hogy az ipari gyakorlatból vett elérendő maghőmérséklet nem biztosítja a 12D pusztítást. A szerzők szerint megadott különböző D és z értékkel számolt pusztulások egymáshoz képest ugyanolyan képet mutattak, mint a pasztörkád esetén. Az egyes szerzők által megadott D és z értéktartományok kombinációi csak néhány tized D pusztításban tértek el egymástól. Ennél a túlbiztosítás mértéke általában nagyobb, tehát az mondható, hogy a főzőszekrények esetén is elég a D és z értékek átlagával számolni.



44. ábra: A Streptococcusok és Lactobacillusok pusztulása főzőszekrényben 80°C-on.

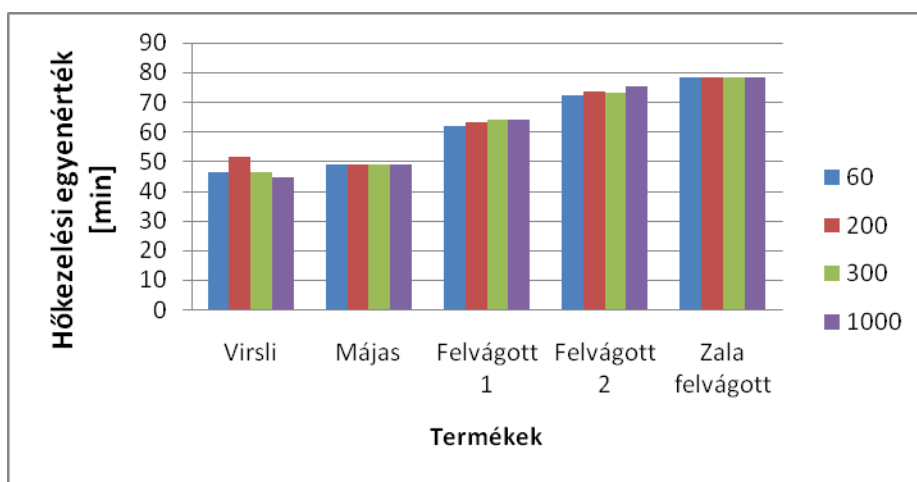
4.4.2. A hűtés beszámítása a hőkezelésbe

A 4.4.1 pont alatt feltételeztük, hogy a hűtés alatt megduplázódik a kapott hőkezelési egyenérték. A hűtés beszámítását 15°C hűtési hőmérsékletnél és a tartás alatt uralkodó hőátadás intenzitásánál vizsgáltuk meg. A leállítás mindig 12D pusztítás elérésre történt.

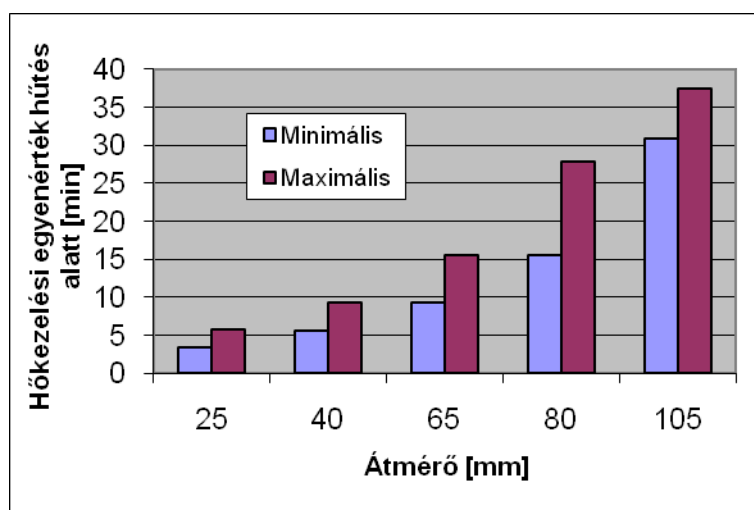


45. ábra: A tartási idő alakulása a méret és a felületi hőátadási tényező függvényében a hűtés beszámításával, illetve anélkül.

A 46. ábrából látható, hogy az átmérők növekedésével (virslis→Zala) a hűtés beszámíthatósága egyre inkább jelentősebbé válik. Ha csak a tartást vesszük figyelembe a hőkezelés méretezésnél, akkor virslinél ≈ 3 D, májasnál ≈ 4 D, felvágott 1-nél ≈ 8 D, felvágott 2-nél ≈ 12 D, a Zala felvágottnál ≈ 14 D túlhőkezeléssel lehet számolni (46. ábra). A hőátadás intenzitás csak kismértékben befolyásolta a túlkezelés mértékét. Az ingadozások a kilépési feltétel kicsit ingadozó elérési ideje miatt tapasztaltam. A hűtés alatt várható maximális és minimális baktériumpusztítást a 47. ábrán mutatom be.

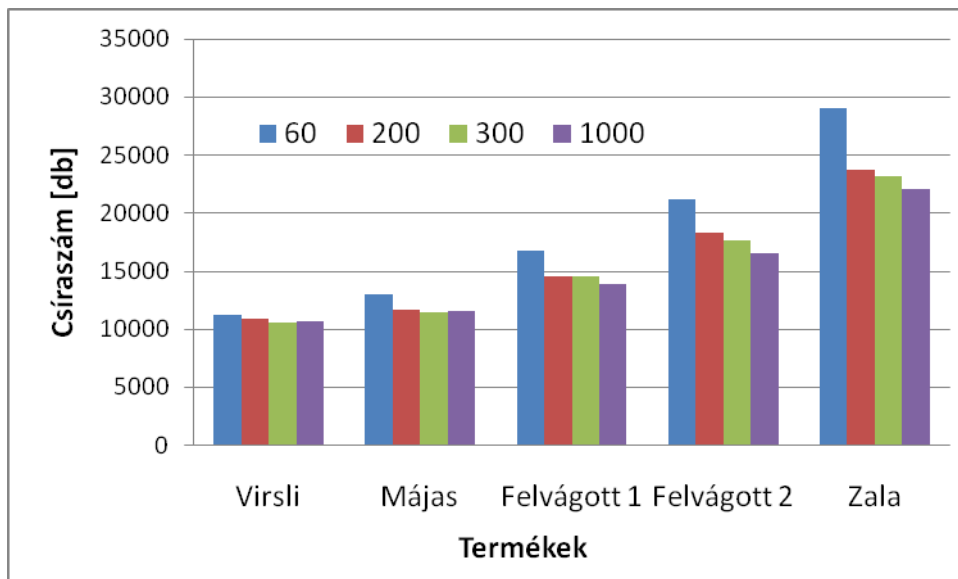


46. ábra: A 12D pusztításra leállított hőkezelések teljes hőkezelési egyenértéke a hűtéssel együtt különböző hőátadási tényezők (W/m^2K) esetén



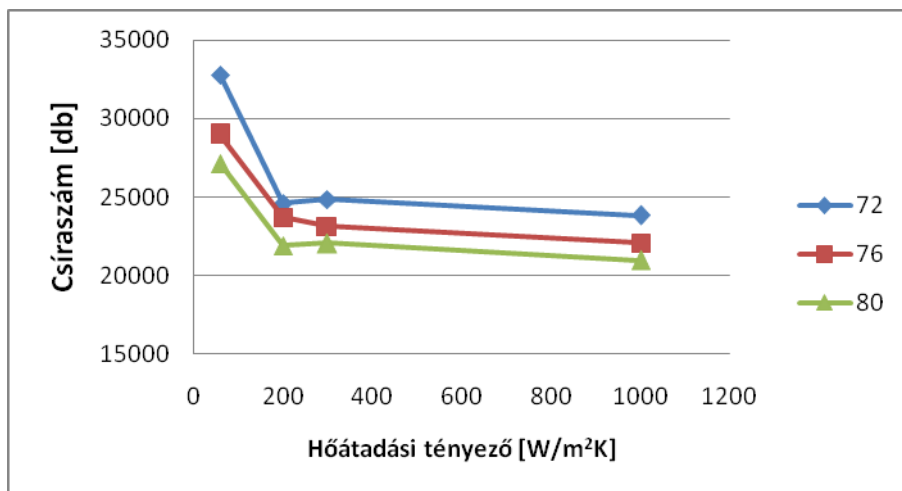
47. ábra: A várható baktérium pusztulás a hűtés alatt egyenértékben kifejezve

4.4.3. A baktériumszaporodás figyelembe vétele



48. ábra: A csíraszámok alakulása a tartás alatt (76°C) különböző hőátadási tényezők [W/m²K] esetén

A csíraszám szaporodást figyelembe vevő számításoknál az derült ki, hogy a kisméretű termékeknél minimális 10-20 % csíraszám növekedés (virslí-májas) tapasztalható. A méret további növekedésével elérhető az 50 % csíraszám növekedés (felvágott 1 és felvágott 2) sőt a 100%-ot is meghaladhatja (Zala felvágott) (48.ábra). A másik érdekes jelenség az volt, hogy amikor a hőátadás intenzitás és a méret csökkent, akkor a folyamat felgyorsulása révén a csíraszám növekedés jóval kisebb volt. A térhőmérséklet nem befolyásolta lényegesen ezt a tendenciát (49. ábra).

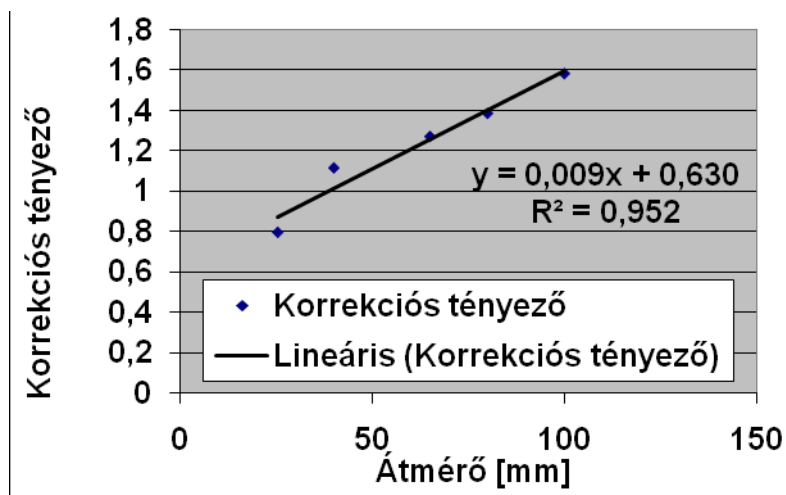


49. ábra: A csíraszám alakulása Zala felvágottnál a térhőmérséklet és a felületi hőátadási tényező függvényében

Összességében azt mondhatom, hogy a csíraszám növekedéssel nem érdemes számolni a kisméretű termékeknel, míg nagyméretűeknél érdemes figyelembe venni. Különösen akkor, ha lehet számítani kiugró csíraszámú alapanyagokra. A 49. ábra másik érdekessége, hogy egyértelműen látható belőle: hogyha a folyamat lassul (nagyobb termékméret, kisebb hőátadás intenzitás és térhőmérséklet), akkor egyre inkább lehet számolni a megnövekedett csíraszámmal.

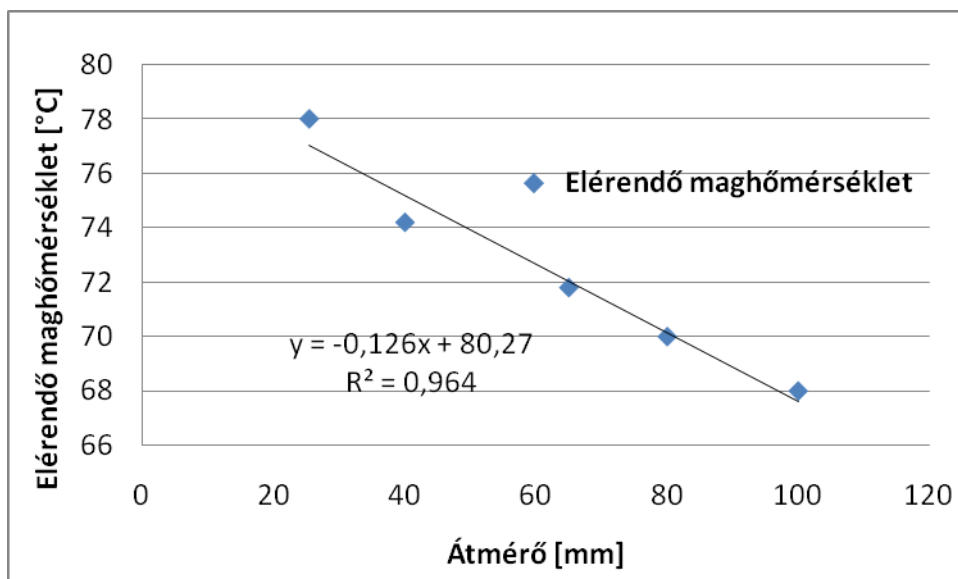
4.5. A hőkezelés leállítási elvek érvényesülése

A számításaim során a maghőmérsékletre leállítás nem mindig hozott kielégítő mértékű baktériumpusztulást. A hengeres termékre szóló „ahány mm annyi perc” hőkezelés leállítási elv érvényesülését mutatja az 50. ábra. Ebből látható, hogy csak a májas készítményekre ($d=40$ mm) igaz ez a hőkezelés leállítási elv. A virslire ($D=25,4$ mm) 0,8-as szorzó, míg a 60-65 átmérő tartományban 1,2 mm/perc, míg a párizsikra ($d=80$ mm) 1,4-es, a Zala felvágottra ($d=100$ mm) 1,6-es szorzó érvényesül a köztes átmérők közel lineáris összefüggéssel számíthatók.

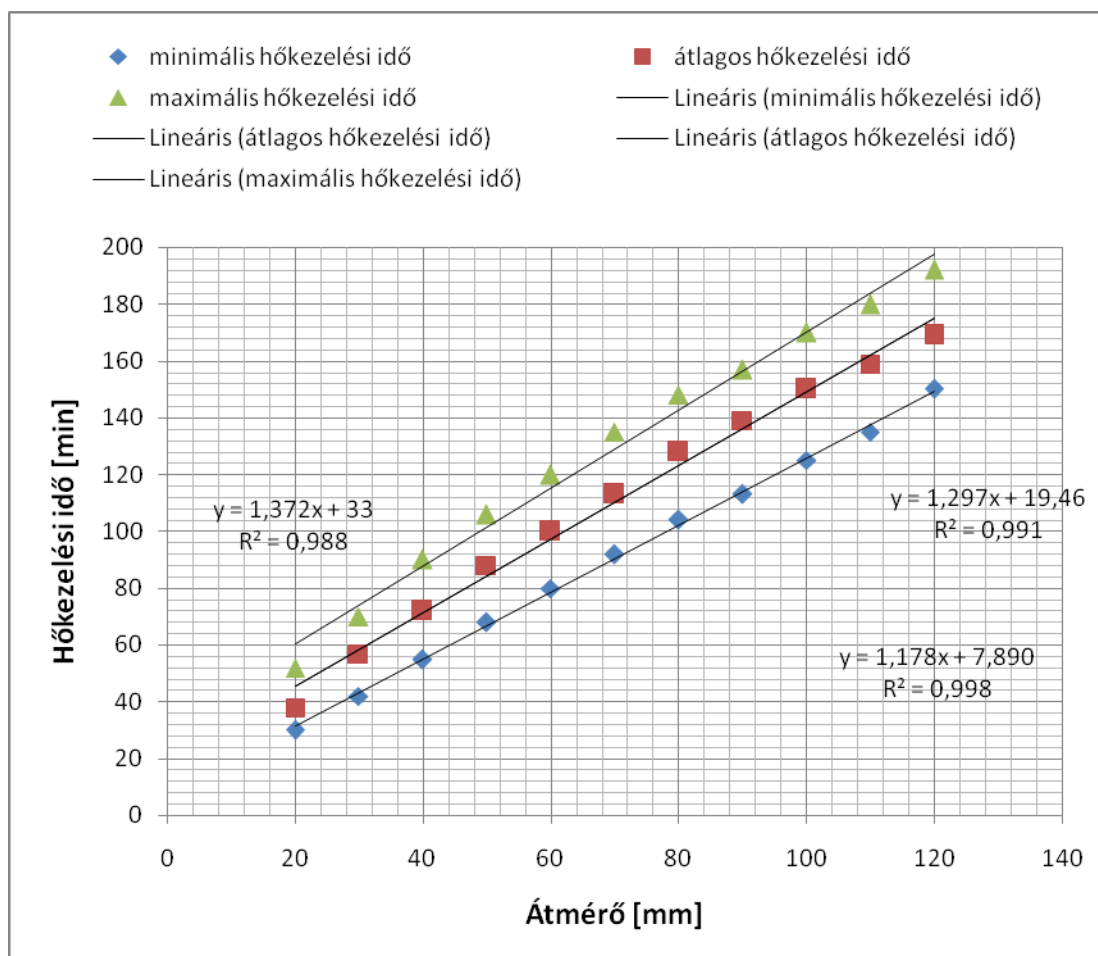


50. ábra: Az „ahány mm annyi perc” hőkezelési elv érvényesülése (térhőmérséklet 76°C)

Az adott maghőmérséklet elérésének elvének érvényesülését az 51. ábra mutatja. Az elérendő maghőmérséklet és az átmérő között lineáris kapcsolat áll fenn, így más átmérőkre is felhasználható. 1 cm átmérő növekedés kb. 1°C maghőmérséklet csökkenéssel jár. Az átmérő és a hőkezelési kapcsolatot az 52. ábra mutatja.

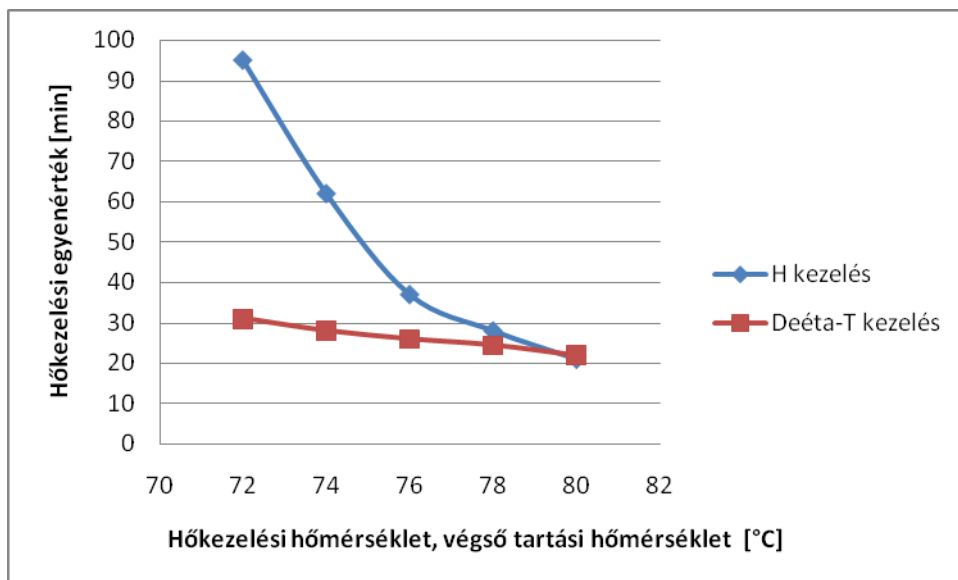


51. ábra: A P=36 perc eléréséhez szükséges maghőmérséklet 76°C térhőmérsékleten



52. ábra: A 12D Streptococcus pusztítás eléréséhez szükséges hőkezeltési idő az átmérő függvényében

A sonkafélkonzervek hőkezelési egyenérték teljesítését tekintve a hagyományos hőkezelés 76°C után nem teljesíti a Reichert féle egyenértéket, míg a delta-T kezelésnél a 68,9°C-on történő hűtésre átkapcsolás esetén ez egyáltalán nem sikerül. A minimálisan szükséges $P=36$ min egyenérték elérése 72°C térhőmérsékleten 68,9°C maghőmérséklet elérése után is kb. 10 percet, míg 80°C térhőmérsékletnél ez már legalább 20 percet venne igénybe. Delta-T kezelésnél. 72°C-on 6 perc, míg 80°C-on 14 percre becsülhető a tartási idő többlet a $P=36$ min hőkezelési egyenérték eléréséhez (53. ábra)..



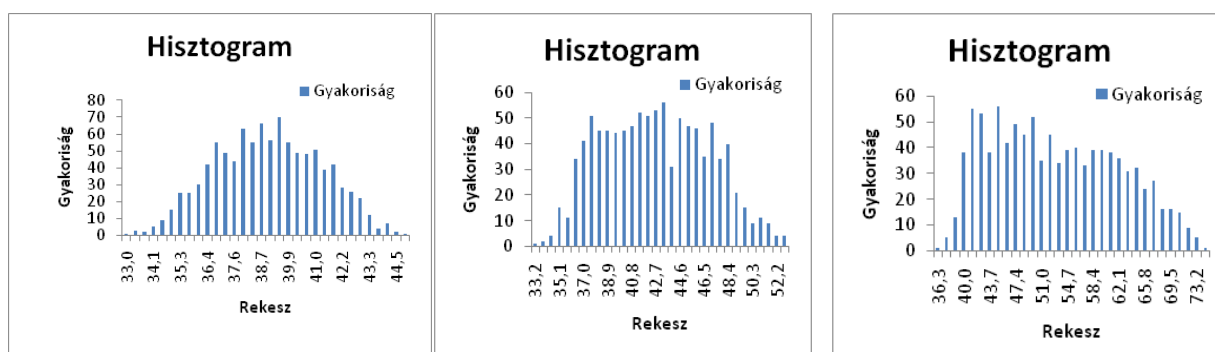
53. Ábra: A hagyományos és delta-T hőkezelések Reichert szerinti egyenérték alakulása fóliás sonkánál a közeghőmérséklet függvényében

4.6. A Monte-Carlo módszerrel kapott eredmények

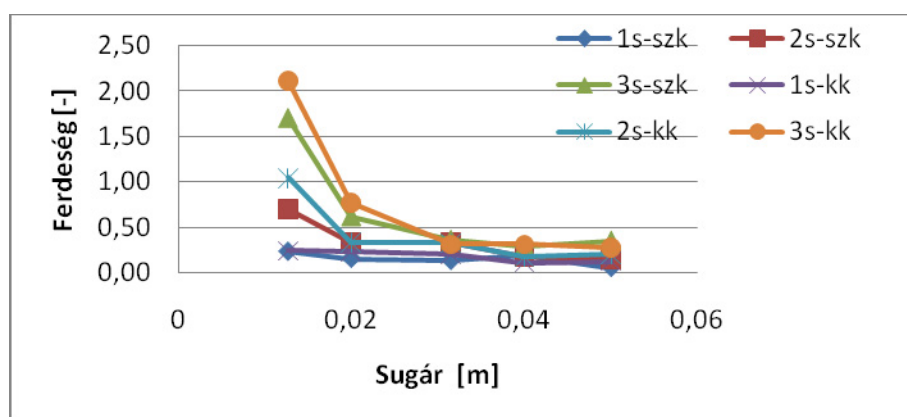
A hőkezelés élelmiszerbiztonsága nemcsak a megállapított határérték teljesítésén alapszik, hanem azon is, hogy mennyi az a túlbiztosítás, amelyért fizetni kell mind a minőségben, mind költségekben. Ezt viszont a paraméteringadozások befolyásolják (2. ábra). Számításaimban egy kis, egy közepes és egy nagy ingadozású paramétertartományt választottam ki. Az 1000 futtatás eredményeiből látható, hogy az eloszlások elnyúlóak az ingadozás növekedésével, és egyre nagyobb tartományt fognak át (54. ábra). A csúcsosság és a ferdeség annál nagyobb minél gyorsabb a folyamat. A ferdeség (55. ábra) és csúcsosság (56. ábra) a hőátadás intenzitással nőtt, a méret növekedésével pedig csökkent. A csúcsosság a kis mérettartománynál pozitív, míg nagy mérettartománynál negatív irányba

tolódik el függetlenül a szórás mértékétől és a hőátadás intenzitásától, és a mérettől, ami a tartományok növekedését bizonyítja. A ferdeség végig pozitív, tehát jobbra tolódik el a görbe, és mértéke csökken, ahogy a méret nő. $D=0,06$ m átmérő felett kismértékben különböznek a ferdeségek.

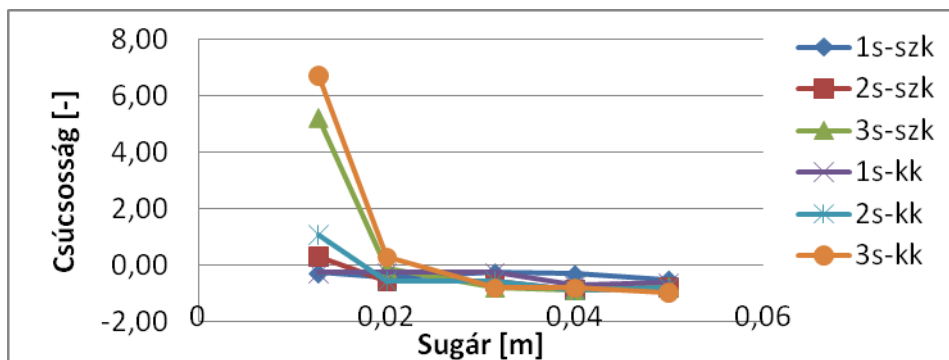
Az eloszlások emiatt nem felelnek meg a normál eloszlásnak, de a Statistica for Windows program próbáival sem kaptam szignifikánsan igazolható eloszlástípust. A ferdeség és a csúcosság értéke épp akkora, hogy a normál eloszlástól eltérjen, míg a χ^2 , Weibull stb. eloszlások sem érhetők még el az eltolódás és a ferdeség kis mértéke miatt. Ez ad magyarázatot arra is, hogy a kisméretű konzervdobozokra a közleményekben miért kaptak egyes esetekben normál, míg más esetekben nem normál eloszlásokat.



54. ábra: Az egyenérték eloszlások alakulása Zala felvágottonál a kis, közepes és nagyszórású paramétertartományok esetén

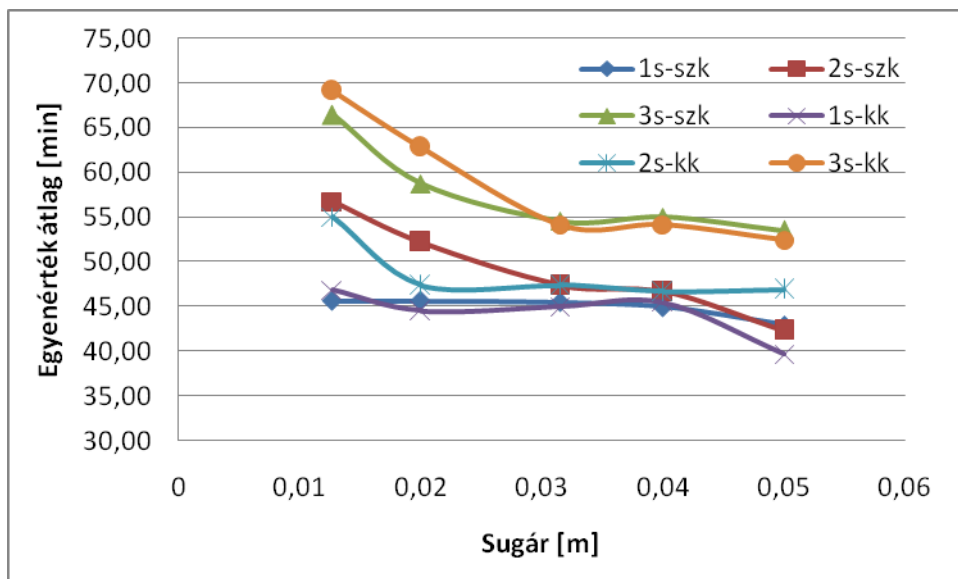


55. ábra: A ferdeség alakulása szabad (szk) és kényszer (kk) konvekció esetén a méret függvényében (1s= kis paraméterszórású folyamat, 2s közepes paraméterszórású folyamat, 3s nagy paraméterszórású folyamat)



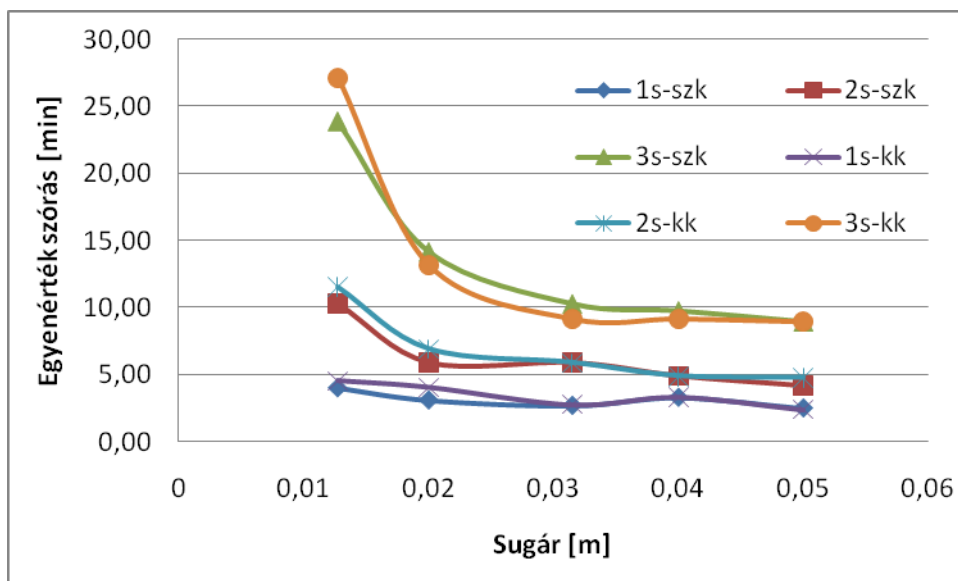
56. ábra: A csúcosság alakulása szabad (szk) és kényszer (kk) konvekció esetén a méret függvényében (1s= kis paraméteringadozású folyamat, 2s közepes paraméteringadozású folyamat, 3s nagy paraméteringadozású folyamat)

A minimálisan 12D pusztításra beállított futtatások során azt tapasztaltuk, hogy szabad és kényszerkonvekciós hőátadás során elért egyenérték átlagértékek kismértékben különböztek egymástól. A medián és a módusz értékek hasonlóan alakultak, az utóbbi azonban nagyobb fluktuációt mutatott. Hőkezelési szempontból azt mondható, hogy a nagy ingadozású folyamatoknál mindenképpen csökkenteni kell a paraméteringadozásokat, mert mintegy 1,5-2-szeres hőkezelés mértéket is eredményezhetnek a paramétertálalkozások a 36 perchez képest, főleg kis méreteknél és a nagy ingadozású folyamatoknál (57. ábra).



57. ábra: Az egyenérték átlagok alakulása szabad (szk) és kényszer (kk) konvekció esetén a méret függvényében (1s= kis ingadozású folyamat, 2s közepes ingadozású folyamat, 3s nagy ingadozású folyamat)

Ennek oka, hogy a kisméretű termékeknel a maghőmérséklet az egyenérték-számítás referencia hőmérsékleténél jóval nagyobb lesz, és az egyenérték számítás exponenciális jellege miatt egyre nagyobb hőkezelési egyenértékeket érhető el. Ez a minőség egyik kezelésről a másikra történő jelentős változását jelenti, ami arra csábítja a hőkezelés technológiával foglalkozókat, hogy csökkentsék a hőkezelés mértékét, holott ennek nincs meg a biztonsági háttere. A nagyobb méretek felé haladva a hőkezelési egyenértékek 45 perc egyenérték körül stabilizálódnak, ami csak mintegy 30%-os túlteljesítést jelent. Ennek oka, hogy az adott paraméter együttesnél okozott hőkezelési idő hosszabbodás nem vagy csak nagyon kismértékben eredményezi a hőkezelési egyenérték egy egység fölé kerülését. A kis és közepes paraméteringadozású folyamatok átlagértékei csak kismértékben különböznek egymástól.

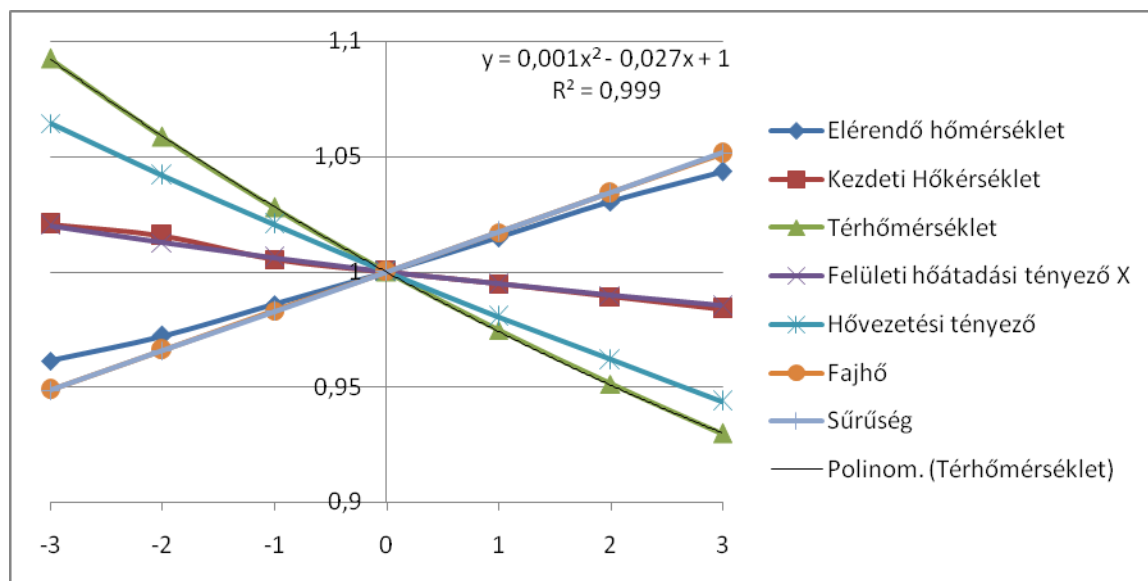


58. ábra: Az egyenérték szórások alakulása szabad (szk) és kényszer (kk) konvekció esetén a méret függvényében (1s= kis paraméteringadozású folyamat, 2s közepes paraméteringadozású folyamat, 3s nagy paraméteringadozású folyamat)

A futtatások szórásai az átlagértékekhez hasonló képet mutattak (58. ábra). A szabad és kényszerkonvekciós hőátvitel között nem volt nagy különbség. Jól megkülönböztethetők viszont a kis, közepes és nagy paraméteringadozású folyamatok. A nagy és közepes paraméteringadozású folyamatoknál a kis méretek itt is kiugró értékeket mutattak. Az egyenértékek szórása nagy paraméteringadozású folyamatoknál $R=30$ mm,

míg a közepes és kis paraméteringadozású folyamatoknál $R=20$ mm után stabilizálódtak. Ez azt sugallja, hogy a szórást konzervatív módon $P=3-5$ min értékre becsülhetjük.

4.7. A paraméterek hőkezelésre gyakorolt befolyása

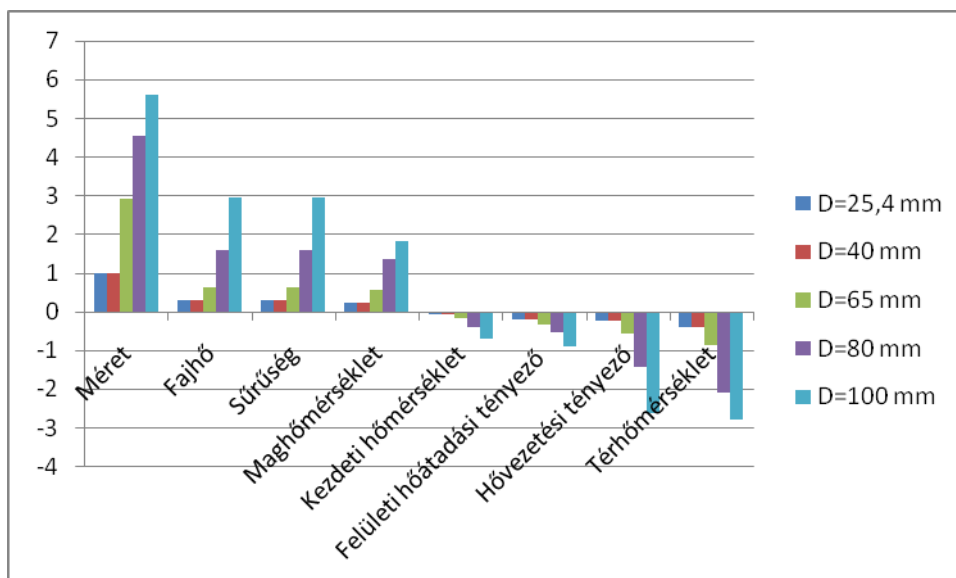


59. ábra: Az ingadozások befolyása az elérendő maghőmérséklete idejére ($D=80$ mm)

Az ingadozások mértéke szinte mindig lineáris volt (59. ábra). A lineáristól eltérő viselkedést a kisebb átmérőknél (40 mm alatt) tapasztaltunk a térhőmérséklet esetén, amikor a ± 3 mértékű ingadozás tartományba léptünk át, valamint akkor, amikor a folyamat lassulni kezdett, vagyis a térhőmérséklet az alsó határon (72°C) volt és a felületi hőátadást a szabad konvekció jellemezte. Így, ha az üzemelés során csak kismértékű ingadozásokkal kell számolni, akkor elegendő lesz a kétszintű kísérlettervezés alkalmazása.

A befolyások vizsgálata feltárta, hogy a kismértéknél (40 mm alatt) a paraméterek befolyása közel egyforma, és 65 mm-nél már eltérőbb és a növekszik a 100 mm átmérőig. A paraméterek fontossági sorrendje azonos volt minden esetben. A legfontosabb a méret volt, és így a töltelékes áruk túltöltés mértékét kell pontosan szabályozni. A térhőmérséklet szerepelt a második helyen, ami karbantartással megfelelő szinten tartható. Meglepő volt az összetételtől függő hővezetési tényező fajhő és sűrűség szerepének jelentősége, amely megelőzte az elérendő maghőmérséklet és felületi hőátadási tényező értékét, a legkisebb befolyással mindig a kezdeti hőmérséklet bírt. A befolyások mértéke a

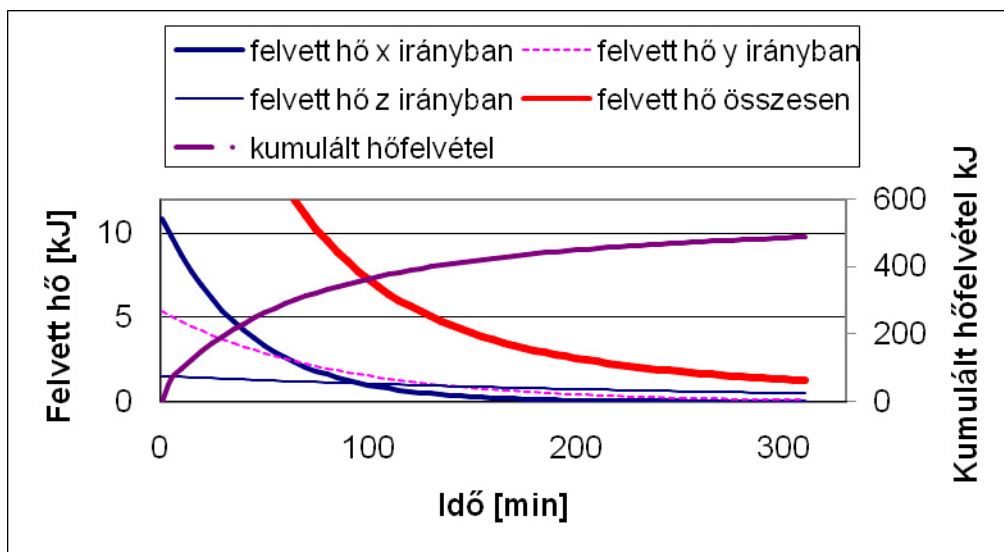
paraméteringadozásokkal nőtt, de a befolyási sorrend minden átmérőnél megmaradt. Ez útmutatót ad a paraméteringadozások mértékének csökkentési sorrendjére is (60. ábra)..



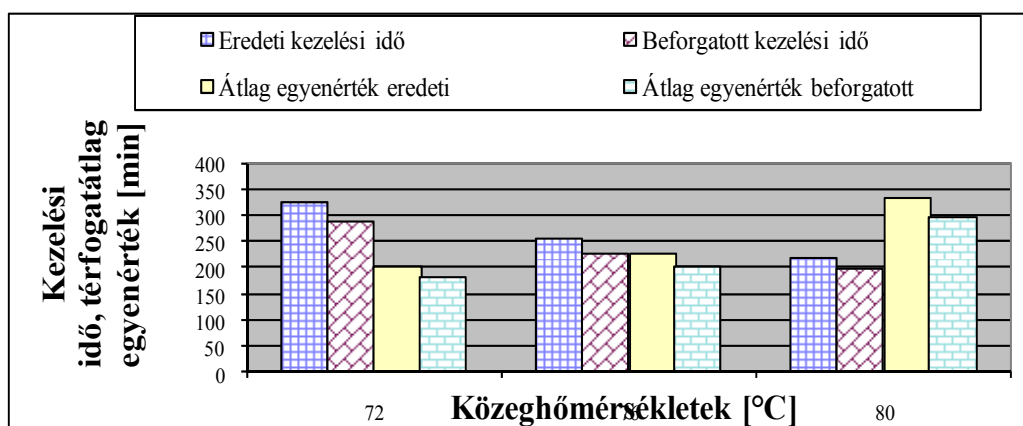
60. ábra: A paraméterek befolyásának mértéke különböző töltelékárak átmérőknél

4.8. A hőkezelések energetikai értékelése

A hőfelvételi megfontolásainkat a 12 lb-ás fóliás sonkán mutatom be (61. ábra). A hő többsége x irányban (0,0525 m) oldal felől érkezett a termékbe. Jóval kisebb hőmennyiség származott az y (0,08 m) oldal felől. A leghosszabb oldal felől érkezett a legkevesebb hő a magba. Ezért megvizsgáltam milyen hatással jár, ha a jobb hőátadási viszonyok érdekében a sonkaformát a legrövidebb oldal kedvezőbb hőátvitel felé forgatom el (ez 90°C-os elfordítást jelent). A kezelési idők között mintegy 30 perc különbség tapasztalható, az átlagegyenérték 20-40 egységgel csökken (72°C és 80°C), a hőfelvétel pedig nem tért el nagyságrendileg. Ez azt jelenti, hogy a hőbevitel 30 perccel rövidebb ideig történik, kevesebb ideig kell a gőzellátásról, gondoskodni ennyivel kevesebbet üzemel a keringtető szivattyú (61. ábra: A hőfelvétel alakulása 12 lb-ás fóliás sonka esetén (62. ábra).



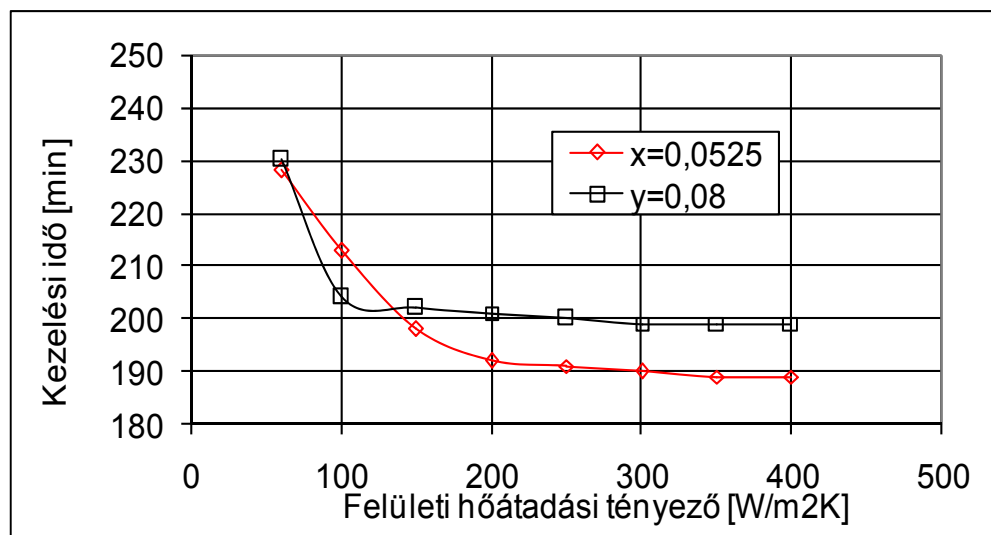
61. ábra: A hőfelvétel alakulása 12 lb-ás fóliás sonka esetén



62. ábra: A kezelési idő és a térfogatátlag egyenérték alakulása az eredeti és az előnyösebb helyzetbe forgatott fóliás sonka esetén

A másik intenzifikálási lehetőség a felületi hőátadási tényező növelése (63. ábra). Ez adhat utalást a berendezések közti választásra is, mivel a pasztörkád, a vízkeringtetéses autokláv és a nedves levegőt keringtető főzőszekrény jellegzetesen három felületi hőátadási tényezővel (60-200-300 W/m²K) jellemezhető. A felületi hőátadási tényező 200 W/m²K fölé emelése a mi méreteinknél már nem hoz eredményt. Egyrészt tehát érdemes lemondani a pasztörkádról, másrészt esetünkben az autokláv mellett dönteni. Az intenzívebb felületi hőátadású főzőszekrények hője veszteségre és a felületi hőkárosodásra fordítódik, nem pedig a maghőmérséklet növekedésére, a magban történő baktériumpusztításra. Külön

kérdést vet fel a termékek geometriai méreteinek megoszlása, mivel lehet, hogy nemcsak ilyen nagyméretű terméket hőkezelnek az üzemben. Ekkor a keringtető szivattyúk, ventillátorok frekvencia szabályozása és hőcserélők átméretezése vagy több, de kisebb kapacitású berendezés vétele ajánlható.



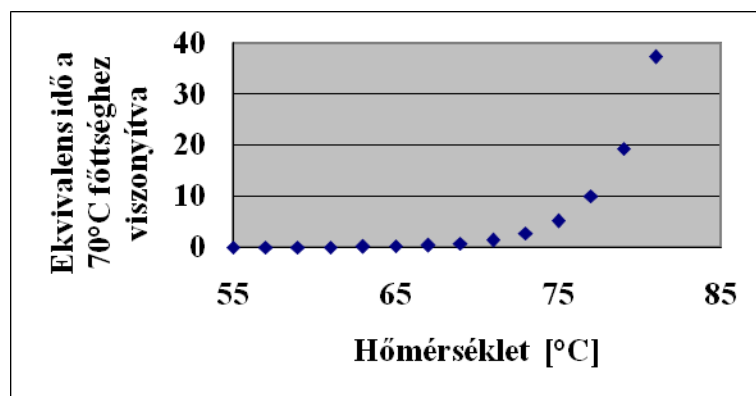
63. ábra: A felületi hőátadási tényező hatása a kezelési időre

4.9. A lépcsőzetes hőkezelés térhőmérséklet kialakítása

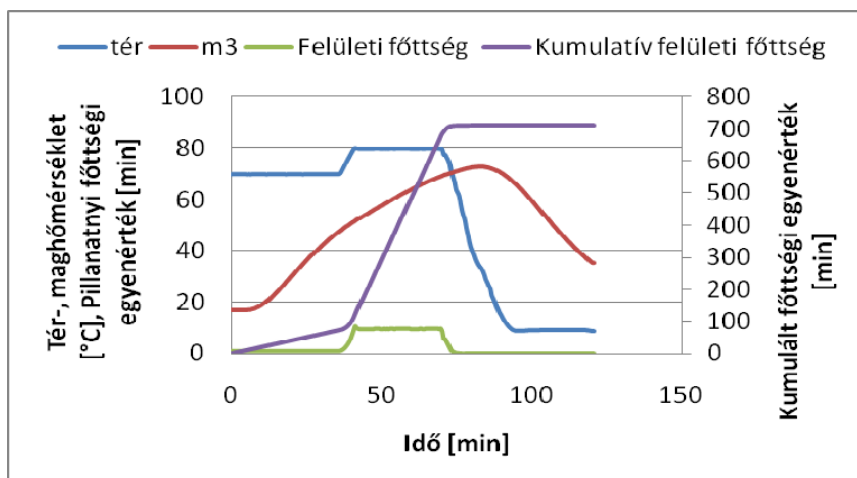
A beforgatás mellett a lépcsőzetes kezelés egy másik lehetőség az ún. lépcsőzetes kezelés kialakítása. A 38. táblázatból látható, hogy a kisméretű termékeknél, egészen 65 mm-ig az első lépcsőváltás EISNER (1979) szerinti ideje olyan rövid, hogy az a felmelegítési idő tartományába esik, így ott inkább a lineáris vagy exponenciális hőmérsékletemelkedés javasolható. A lépcső hőmérsékletét viszont nem ajánlatos túl alacsonyra helyezni, mivel a hőkezelés így nagyon meghosszabbodhat. Az 64. ábrából látható, hogy az első lépcsőnek nem kellene alacsonyabbnak lenni, mint 55-60°C. Ekkor minimális a főttségi károsodás és mintegy 30 perc 60°C-on eltöltött idő felel meg 1 perc 70°C-on tartózkodás károsodás mértékének.

38. táblázat: Az első lépcsőváltás ideje Eisner (1979) elve alapján

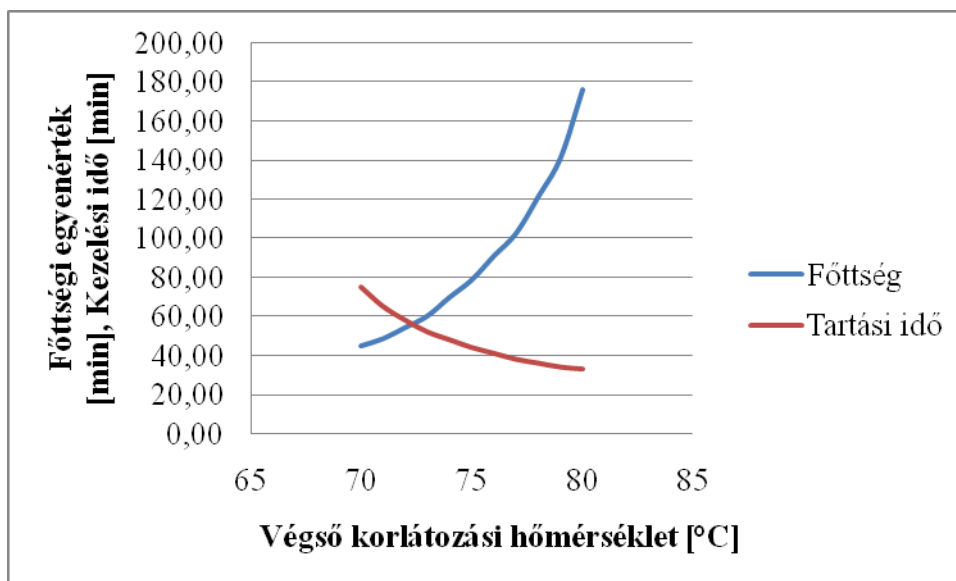
Biot szám	D=100 mm	D=80 mm	D=65 mm	D=40 mm	D=25,4 mm
200	32	21	15	5	2
50	35	23	16	6	2
10	40	27	17	7	3
1	60	42	27	11	4

**64. ábra: A főttség alakulása 70°C-tól eltérő hőmérsékleten**

A folyamat végén viszont korlátozni kell a végső tartási hőmérsékletet, mert a magas hőmérséklettel túlfőnek a felületi rétegek. Látható, hogy az alacsony hőmérsékletű első szakasz és kismértékű főttégi károsodás után mennyire megnövekszik a felület főttége (65. ábra). A kompromisszum a főttég és a kezelési idő között 72°C körüli térhőmérsékleten található, mivel a folyamat mintegy 20 perccel rövidebb a 70°C-os térhőmérsékletűnél és minimális csak a főttég növekedése (66. ábra). Ez alacsonyabb, mint a szakirodalomban állandó hőmérsékletű kezelésre ajánlott 75-76 °C (THALHAMMER 2002) (66. ábra).



65. ábra: A felület túlfővése magas végső korlátozási hőmérséklet esetén (D=100 mm)



66. ábra: A főttség és a tartási idő kapcsolata

5. Összefoglalás

A kezdeti és peremfeltételek alakulásának vizsgálata felfedte, hogy a leggyakrabban alkalmazott egyszerűsítési feltételeket teljesítjük vagy megközelítjük az iparban alkalmazott paramétertartományok esetén is. Nagy előny, hogy pl. a felületi hőátadási tényező mind autoklávokban mind pasztorkádában mind főzőszekrényben egy tartományba esik a termosztátokban mérhető értékekkel, amely megkönnyíti a laboratóriumi mérések gyakorlatba átvitelét.

A kezdeti és peremfeltételek alakulása viszont már kérdésessé teheti mind az üzemi ellenőrzéseket, mind a paraméter meghatározásokat. Eljuthatunk a normál és elfogadható ingadozástól a nagy ingadozásokig, sőt a rendellenes (deviant process [USDA]) folyamatokig is. Az utóbbi két esetben egyre nehezebbé válnak a paramétermérések és a hőkezelés ellenőrzések. Tapasztalataim szerint az üzemek inkább a közepes (2s) és nagy szórás (3s) tartományban üzemelnek, amelyekbe be-beecsúszik néhány rendellenesnek tekinthető folyamat is. Az ingadozások oka a technológiai fegyelem hiányából, nem valós elhanyagolásokból (pl. kezdeti hőmérséklet úgy sem befolyásol) tápellátási ingadozásokból (pl. hűtés) és műszaki állapotból (pl. elnyúló felmelegítési idő) ered. Viszont, ha a kötelezően rögzítendő hőkezelési tér- és maghőmérsékleteket kiértékelnék, akkor ezek a hibák felfedhetők és kiszűrhetők lennének, illetve számításokkal kimutathatóan, alátámaszthatóan alternatív hőkezelési programokkal lehetne korrigálni a folyamatokat (pl. a zsírosabb alapanyagot más kezdeti hőmérsékleteket stb.).

Mindenesetre az látszott a Monte-Carlo számításokból, hogy a nagy paraméteringadozás tartománnyal üzemelést meg kell szüntetni, mert sem a hőkezelés ellenőrzés sem a paraméter meghatározás nem végezhető el megbízhatóan. A Monte-Carlo módszerrel végzett számítások nem hoztak statisztikailag bizonyítható normál vagy más a normáltól eltérő eloszlást az 1000-es mintaszám ellenére sem.

A mikrobiológiai megfontolások közül a Streptococcusok legrezisztensebb törzsei a jelenlegi hőkezelési programokkal nem pusztíthatók el. A nagyobb hőkezelés mérték pedig a termék túlfőzését eredményezné. Mivel romlások nem fordulnak elő, feltételezhetően kisebb számban szerepelnek a populációban. A melegítés alatti szaporodás csak a

hosszabba folyamatoknál számottevő, azaz $D > 60$ mm felett, alacsony térhőmérséklet és felületi hőátadási tényező esetén. Az „ahány mm annyi perc” elvet mindenképpen korrigálni kell, mert csak a 40 mm átmérőnél hozta a várt eredményt.

Energetikai eredményeim azt mutatták, hogy a paraméterek ésszerű megválasztásával (pl. felületi hőátadási tényező), a dobozelrendezéssel jelentős energia megtakarítás érhető el, főleg nagyméretű csomagolásnál.

Az érzékenység és befolyásvizsgálatok során azt tapasztaltuk, hogy a legnagyobb jelentősége a pontos méretnek és a térhőmérsékletnek van a hőkezelési folyamatban az összetételtől függő hőtani paraméterek megelőzték a felületi hőátadási tényezőt a kezdeti hőmérsékletet. A lineáristól eltérő viselkedést a lassú folyamatoknál (kis felületi hőátadási tényező és térhőmérséklet és a szélső méreteknél) a térhőmérséklet esetén tapasztaltunk.

A lépcsőzetes hőkezelés számítások azt mutatták, hogy $55-60^{\circ}\text{C}$ alatt és $72-74^{\circ}\text{C}$ felett érdemes tartani a térhőmérsékletet a jó minőség és a nem túl nagy kapacitás lekötés érdekében.

6. ÚJ TUDOMÁNYOS MEGÁLLAPÍTÁSOK

1. Hőtani paraméter meghatározások

- 1.1. Az ipari körülmények közt is a szakirodalomban/laboratóriumban megadott pontossággal lehet meghatározni a hőmérsékletvezetési tényező értékét, amennyiben a paraméteringadozásokat elfogadható értéken tartják.
- 1.2. A hőmérsékletvezetési tényező meghatározása nagyon függ a mérés kezdeti és peremfeltételeitől, valamint a hőmérsékletérzékelő behelyezési hibáitól. Az FDE VSM módszeren alapuló meghatározások ezért jelentős eltéréseket adnak, még akkor is, ha a hibavizsgálat alapján a mérési hiba kicsi. Ennek oka a hőkezelési/hűtési folyamat eltérő átlaghőmérséklet alakulása.
- 1.3. A hőmérséklettől független kémiai összetételből történő hőtani paraméterszámítások nem váltak be. Azok csak a hűtési idő becslésére alkalmasak. A hőkezelési egyenérték becslésére az $1,3-1,5 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ tartomány alkalmas.
- 1.4. A hibavizsgálattal meghatároztam, hogy $D=80-100 \text{ mm}$ alatt a hőmérsékletvezetési tényező meghatározás egyre nagyobb hibával jár, de e felett a hiba csökkenése és a ráfordítások nem állnak arányban a pontosság javulásával. Ezzel finomítottuk LARKIN és STEFFE (1982) ajánlását.
- 1.5. A sűrűség meghatározás kisebb hibával végrehajtható a tömeg és térfogatméréssel, mint a kémiai összetételből számítással, amennyiben a dobozmérethez igazítjuk a tömeg és térfogatmérés pontosságát. Az 1 ezrelékes hibával meghatározható, és kivehető a változók közül.
- 1.6. A hibavizsgálat bevezetésével a becslési pontosságot $\pm 1^\circ\text{C}$ alá csökkentettem még extrém értéke esetén is.

2. Élelmiszerbiztonsági megfontolások

- 2.1. A D és z értékek alapján legellenállóbb *Streptococcus* törzsek a jelenleg alkalmazott hőkezelés leállítási elvek alapján alig pusztulnak. Mivel nagyszámú romlási esetről nem tudunk a jelenlegi gyakorlatban, előfordulási számuk és gyakoriságuk nagyon kicsi lehet, vagy a populációban nem fordulnak elő.
- 2.2. A felmelegítési és tartási idő alatti baktériumszaporodás a $d < 50 \text{ mm}$ termékeknél

minimális és a kimutathatósági határ alatt van. Ellenben $d > 50$ mm átmérő felett és a folyamat lassulásával már akár 1,5-2-szeresére is növekedhet a csíraszám. Így a konzervatívnak tartott 10^6 /g csíraszám feltételezés jogos lehet, még viszonylag jó higiéniai viszonyok és a megengedhető és megűrhető csíraszámok rendelete alapján elfogadható higiéniajú alapanyagok esetén is,

- 2.3. A töltelékes áruknál az elérendő maghőmérséklet és a térhőmérséklet között lineáris kapcsolatot találtam, ha a mikrobiológiai 12D pusztítást és a hűtést is figyelembe vesszük. A különböző átmérőkre korrekciós egyenleteket adtam meg az elérendő maghőmérséklet és az átmérő közötti összefüggésekre vonatkozóan.
- 2.4. A nagyméretű sonkafélkonzerveknél a 69°C maghőmérséklet csak kb. 76°C térhőmérsékletig nyújt megfelelő baktériumpusztítást, amelyet számításokkal igazoltam.

3. Számítási és művelettani megfontolások

- 3.1. Mind a bakteriális, mind a Monte-Carlo számítások statisztikai jellemzői azt mutatták, hogy a kb. $d=50$ mm egy választóvonal a hőkezeléseknél. Ez alatt a termékek teljesen másképp viselkednek, mint e felett.
- 3.2. Az eloszlások még $n=1000$ paraméter együttes futtatásnál sem adtak egyértelműen normál vagy nevezetes nem normál eloszlásokat.
- 3.3. A hőkezelés optimumának közelítésére a termékegységek beforgatását javaslom, hogy a legrövidebb oldal kerüljön a legnagyobb hőátadásintenzitással szemben. Ezzel jelentős kezelési idő rövidülést és a térfogatátlag egyenérték csökkenés érhető el.
- 3.4. Energetikailag kimutattam, hogy a felületi hőátadási tényező értékét csak bizonyos határig érdemes növelni, ami kb. $200 \text{ W/m}^2\text{K}$ a hústermékek esetében.
- 3.5. A befolyások és érzékenység vizsgálatok a vizsgált tartományban lineáris viselkedést mutattak a kis és közepes paraméteringadozás esetén. Parabolikus befolyást csak a térhőmérsékletnél tapasztaltunk, akkor is csak a nagy paraméteringadozású folyamatoknál.
- 3.6. A lépcsőzetes hőkezelésnél $55\text{-}60^\circ\text{C}$ kezdeti térhőmérsékleti lépcsőt és $72\text{-}74^\circ\text{C}$ között célszerű tartani a térhőmérsékletet

SUMMARY

The investigation of the development of the initial and boundary conditions revealed that the most frequently used initial and boundary conditions are fulfilled or approximated well even in case of the parameter regions applied in industrial circumstances. It is a big advantage that the surface heat transfer coefficient fall in the same region both in autoclaves and cooking chambers coinciding with the measured values of laboratory thermostats making the transfer of the laboratory measurements into the practice easier.

On the contrary both the factory control and parameter determinations could be questionable by the development of the initial and boundary conditions. From the normal and acceptable fluctuations large oscillations or even the deviant (USDA) processes could be reached as well. In the last two cases the parameter estimations and heat treatment control measurements are more and more difficult. According to my experience the factories are operating in the region of the middle (2s) and large (3s) deviations regions, involving several processes which can be considered as deviant. The reason of the fluctuations can be due to the lack of technology discipline, not real neglects (e.g. initial temperature has no effect) supply fluctuations (e.g. cooling), technical state (e.g. elongating come up time). Then again if the ambient and core temperature, to be registered compulsory, would be evaluated then these mistakes could be revealed and filtered, or rather the processes could be corrected by alternative heat treatment schedules based on calculations (e.g. fatter raw materials, another initial temperature etc.).

Nevertheless it has been shown by the Monte-Carlo calculations that the large parameter fluctuations in the operation have to be terminated because either the process supervising or the parameter estimations could not be carried out reliably. The Monte-Carlo calculations did not deliver statistically proved distribution, either normal or differing from normal, despite the large sample number ($n=1000$).

Regarding the microbial consideration I could conclude that the moist resistant strains of the Streptococci cannot be destroyed by the heat treatment schedules applied today. The overcooking of the product would be resulted by the higher degree of heat treatment. Because microbial deterioration is rare they occur only in small number in the

population. The multiplication during the come up and holding phase is in longer processes significant, e.g. in case of larger diameter ($D > 60$ mm), low ambient temperature and surface heat transfer coefficient. The “mm/min” heat treatment principle has to be corrected because it gave the expected results only in case of 40 mm diameter.

Our energetic results showed that remarkably energy saving can be reached by changing the can orientation and by reasonable choosing the parameters (e.g. surface heat transfer coefficient) at large containers mainly.

In the course of the sensitivity and parameter effect investigations I experienced that the accurate size and ambient temperature had the greatest importance in the heat treatment processes then the thermal parameters, depending on the chemical composition, came before the surface heat transfer coefficient and initial temperature. In the parameter effect investigations I have experienced only linear behaviour excepting the parameter of ambient temperature in slow processes (low surface heat transfer coefficient and ambient temperature and outermost sizes).

The calculations in stepwise heat treatment showed that the ambient temperature would be held between 55-60°C (at the beginning) and 72-74°C (final limiting ambient temperature) for holding good quality and minimising capacity loss.

7. IRODALOMJEGYZÉK

1. ADAMS, H., W., HARDTENGISH, P., K. (1990): Determining Temperature Distribution in Cascading Water Retorts. Food Technology. 44. 12. 110-112.
2. AFAGHI, M. RAMASWAMY, H. S. PRASHER, S. O. (2001): Thermal Process Calculations Using Artificial Neural Networks Models. Food Research International. 34 1. 55-65.
3. AKTERIAN, S. G. (1997): Control Strategy Using Functions of Sensitivity for Thermal Processing of Sausages. Journal of Food Engineering. 34 449-455.
4. AKTERIAN, S. G. SMOUT, Ch. HENDRICKX, M. E. TOBBACK, P. P. (1998): Applications of Sensitivity Functions for Analysing the Impact of Temperature Non-Uniformity in Batch Sterilisers. Journal of Food Engineering. 37. 1. 1-10.
5. ALMONACID-MERINO, S. F; SIMPSON, R.; TORRES, J. A. (1993): Time-Variable Retort Temperature Profiles for Cylindrical Cans: Batch Process Time, Energy Consumption, and Quality Retention Model. Journal of Food Process Engineering. 16. 4. 271-287.
6. ANG, C. Y. W., LIU, F., HUANG, Y. W. (2000): Katalázaktivitás mint a panírozott, hőkezelt csirkehúspogácsák hőkezelési véghőmérsékletének indikátora. A Hús. 9. 4. 215-219.
7. ANON (1991): Annual Book of ASTM STANDARDS. Section 14: General Methods and Instrumentation. Volume 14.02: General Test Methods, Nonmetal; Laboratory Apparatus; Statistical Methods; Appearance of Materials; Durability of Nonmetallic Materials E 1225-87.
8. ANON (1997): Thermally Processed Low-Acid Foods Packaged in Hermetically Sealed Containers. 21 CFR Parts 113. USDA-FSIS.
9. ANON (1998): Lethality and Stabilization Performance Standards for Certain Meat and Poultry Products: Technical Paper. USDA FSIS December 31, 1998.
10. ANON (2000): Hús és hústermékek. A nedvességtartalom meghatározása (Referencia-módszer). Magyar Szabvány MSZ ISO 1442-2000.

11. ANON (2002a): Hús és húskészítmények. Az összes zsírtartalom meghatározása. Magyar Szabvány MSZ ISO 1443-2002.
12. ANON (2002b). Hús és hústermékek. A nitrogéntartalom meghatározása (referencia módszer). Magyar Szabvány MSZ ISO 937-2002.
13. ANON (1984): United States Department of Agriculture Food Safety and Inspection Service, Chemistry Laboratory Guide Book, 1.002 B III. E 3.011.
14. ANON (1991): Annual Book of ASTM STANDARDS. Section 14: General Methods and Instrumentation. Volume 14.02: General Test Methods, Nonmetal; Laboratory Apparatus; Statistical Methods; Appearance of Materials; Durability of Nonmetallic Materials E 1225-87.
15. APPEL, D., LÖFQVIST, B. (1978): Meat Cooking Techniques-Part I. A Preliminary Study of the Rate of Heating in Water. Meat Science. 2. 4. 251-262.
16. AWUAH, G., B., RAMASWAMY H.S., SIMPSON, B., K. (1995): Comparison of 2 Methods for Evaluating Fluid-To-Surface Heat-Transfer Coefficients. Food Research International. 28. 3. 261-271.
17. BAGHE-KHANDAN, M. S., OKOS, M. R. (1981): Effect of Cooking on the Thermal Conductivity of Whole and Ground Lean Beef. Journal of Food Science. 46. 5.6. 1302-1305.
18. BAGHE-KHANDAN, M. S. CHOI, Y. OKOS, M. R. (1981): Improved Line Heat Source Thermal Conductivity Probe. Journal of Food Science. 46. 56. 1430-1432.
19. BAIRI, A, LARAQI N (2003): Diagrams for Fast Transient Conduction in Sphere and Long Cylinder Subject to Sudden and Violent Thermal Effects on its Surface. Applied Thermal Engineering. 23. 11. 1373-1390.
20. BALL, C. O. (1924): Thermal Process Time for Canned Food. National Research Council Bulletin 7. Part 1. No. 37. 9-76. In. Goldblith, S. A. Joslyn, M. A. Nickerson, J. T. R. 1961. Introduction to the Thermal Processing of Foods. AVI Publishing Westport, Connecticut. 937-1004.
21. BALL, C. O. OLSON, F. C. W.(1957): Sterilization in Food Technology. McGraw-Hill, New York.
22. BAUDER, U. (1974): cited in Reichert (1985): Wärmebehandlung von Fleischwaren. Hans Holzmann Verlag GmbH & CO KG, Bad Wörishöfen. p. 168.

23. BEKE, Gy. (szerk.) (2002): Hűtőipari kézikönyv. Vol II. Technológiák. Mezőgazda Kiadó. Budapest. pp. 25-44.
24. BHOWMIK, S. R. HAYAKAWA, K. I. (1979): A New Method for Determining the Apparent Thermal Diffusivity of Thermally Conductive Food. *Journal of Food Science*. 44. 2. 469-474.
25. BHOWMIK, S. R. SHIN, S. (1991): Thermal Sterilization of Conduction-Heated Foods in Plastic Cylindrical Can Using Convective Boundary Condition. *Journal of Food Science*. 56. 3. 827-830, 842.
26. BHOWMIK, S. R. TANDON, S. A. (1987): Method for Thermal Process Evaluation of Conduction Heated Foods in Retortable Pouches. *Journal of Food Science*. 52. 1. 202-209.
27. BHOWMIK, S. R. VICHNEVETSKY, R. HAYAKAWA, K.-I. (1985): Mathematical Model to Estimate Steam Consumption in Vertical Still Retort for Thermal Processing of Canned Foods. *Lebensmittelwissenschaft und Technologie*. 18. 1. 15-23.
28. BIGELOW, W. D. (1921): The Logarithmic Nature of Thermal Death Time Curves. *J. Infectious Dis.* 29 5. 528-536. In GOLDBLITH, S. A. JOSLYN, M. A. NICKERSON, J. T. R. (1961). *Intorduction to the Thermal Processing of Foods*. AVI Publishing Westport, Connecticut. pp. 281-292.
29. BIGELOW, W. D. BOHART, G. S. RICHARDSON, A. C. BALL, C. O. (1920): Heat Penetration in Processsing Canned Foods. Bulletin 16L National Canners Association, Washington D.C. In GOLDBLITH, S. A. JOSLYN, M. A. NICKERSON, J. T. R. (1961): *Introduction to the Thermal Processing of Foods*. AVI Publishing Westport, Connecticut. pp. 651-783.
30. BIGELOW, W. D. ESTY, J. R. (1920): The Thermal Death Point in Relation to Time Typical Thermophilic Organisms. *Journal of Infectious Diseases*. 27. 6. 602-617. In GOLDBLITH, S. A. JOSLYN, M. A.-NICKERSON, J. T. R. (1961): *Intorduction to The Thermal Processing of Foods*. AVI Publishing Westport, Connecticut. pp. 263-280.

31. BLACKWELL, J. H. NOLAN, E. J. RICKANSRUD, D. A. (1988). Total Caloric Input of a Thermal Process as an Index of Lethality for Foot and Mouth Disease Virus. *Journal of Food Science*. 53. 1. 185-190.
32. BLACKWELL, J. H. RICKANSRUD, D. A. (1989): Ingredient Effects on the Thermal Inactivation of Foot and Mouth Disease Virus in Formulated Comminuted Meat Products. *Journal of Food Science* 54. 6. 1479-1484.
33. BOGNAR, K. (1971): cited in REICHERT (1985). *Wärmebehandlung von Fleischwaren*. Hans Holzmann Verlag GmbH & CO KG, Bad Wörishöfen p. 168. p.
34. BOLES, J., A; SWAN, J., E. (2002): Heating Method and Final Temperature Affect Processing Characteristics of Beef Semimembranosus Muscle. *Meat Science*. 62. 1. 107-112.
35. BOWN, G. (2004): Modelling and Optimising Retort Temperature Control. In Richardson, Ph. (2004): *Improving Thermal Processing of Foods*. Woodhead Publishing Company. Cambridge. Anglia. pp. 105-123.
36. BOURGEOIS, C., M., ROBERTS, T., A. (1999): Predictive microbiology applied to chilled foods. *Proceedings of conference No. 1997/2 of Commission C2. Quimper 1997. Június 16-18. International Institute of Refrigeration. Párizs. Franciaország. p. 100.*
37. BRENNAN, J. G. BUTTERS, J. R. COWELL, N.D. LILLY, A. E. V. (1981): *Food Engineering Operations*. Second Edition. Applied Science Publishers, London. Anglia. pp. 505-506.
38. BURFOOT, D. SELF, K. P. (1988): Prediction of heating times for cubes of beef during water cooking. *International Journal of Food Science and Technology*. 23. 3. 247-257.
39. CAMPBELL, S. RAMASWAMY, H. S. (1992): Heating Rate, Lethality and Cold Spot Location in Air Entrapped Retort Pouches During Overpressure Processing. *Journal of Food Science*. 57. 2. 485-489.
40. CARSLAW, H. S. JAEGER, J. C. (1957). *Conduction of Heat in Solids*. Clarendon Press. Oxford. Anglia.

41. CHANG, S. Y. TOLEDO, R. T. (1989): Heat Transfer and Simulated Sterilization of Particulate Solids in a Continuously Flowing System. *Journal of Food Science*. 54. 4. 1017-1023, 1030.
42. CHEN, C. R, RAMASWAMY, H. S. (2004): Multiple Ramp-Variable Retort Temperature Control for Optimal Thermal Processing. *Food and Bioprocess Processing*. 82 C1 1. 78-88.
43. CHOI, Y., OKOS, M., R. (1986): Effects of temperature and composition on the thermal properties of foods. In. Le Maguer, M., Jelen, P. (1986): *Food Engineering and process application Volume 1. Transport Phenomena*. Elsevier Applied Science Publishers. London and New York. Anglia – USA. pp. 93-101.
44. CHUNTRANULUCK, S., WELLS, C. M., CLELAND, A. C. (1998a): Prediction of Chilling Times of Foods in Situations where Evaporative Cooling is Significant - Part 1. Method development *Journal of Food Engineering*. 37. 2. 111-125.
45. CHUNTRANULUCK, S., WELLS, C. M., CLELAND, A. C. (1998b): Prediction of Chilling Times of Foods in Situations where Evaporative Cooling is Significant—Part 2. Experimental testing. *Journal of Food Engineering*. 37. 2. 127-141.
46. CHUNTRANULUCK, S., WELLS, C. M., CLELAND, A. C. (1998c): Prediction of Chilling Times of Foods in Situations where Evaporative Cooling is Significant—Part 3. Applications. *Journal of Food Engineering*. 37. 2. 143-157.
47. CLELAND A. C. (1990): *Food refrigeration processes: analysis, design and simulation*. Elsevier Applied Science Publishers. London és New York. p. 50.
48. CZEGKA, M. (1968): Mérések és számítások, kísérletek a sterilizálás mikrobiológiai méretezésére. *Konzerv és Paprikaipar*. 2. 56-60.
49. CZEGKA, M. (1982). Gyakorlati következtetések optimális hősterilizálás kidolgozásával kapcsolatban. *Konzerv és Paprikaipar*. 30. 3. 88-92.
50. DATTA A. K. (1998): Computer-Aided Engineering in Food Process and Product Design. *Food Technology*. 52. 10. 44-52.
51. DATTA, A. K. TEIXEIRA, A. A., MANSON, J. E. 1986. Computer Based Retort Control Logic for On-line Correction of Process Deviations. *Journal of Food Science*. 51. 2. 480-483, 507.

52. DEÁK, T. FARKAS, J. INCZE, K. (1980): Konzerv- hús- és hűtőipari mikrobiológia. Mezőgazdasági Könyvkiadó. p. 132.
53. DESMOND, E., M.; KENNY, T., A. (2005): Effect of Pelvic Suspension and Cooking Method on the Processing and Sensory Properties of Hams Prepared from Two Pork Muscles. *Meat Science*. 69. 3. 425-431.
54. DICKERSON, R. W. (1965): An Apparatus for the Measurement of Thermal Diffusivity of Foods. *Food Technology*. 19. 5. 198-204.
55. DICKERSON, R. W. READ, R. B. jr. (1968). Calculation and measurement of heat transfer in foods. *Food Technology*. 22. 12. 1533-1548.
56. DICKERSON, R.W. READ, R.B.jr. (1975). Thermal Diffusivity of Meats. *Transaction of ASHRAE*. 81. 1. 356-364.
57. DROUZAS, A. E. SARAVACOS, G. D. (1988): Effective Thermal Conductivity of Granular Starch Material. *Journal of Food Science*. 53. 6. 1795-1799.
58. DURANCE, T. D. (1997): Improving Canned Food Quality with Variable Retort Temperatures. *Trends in Food Science and Technology*. 8. 4. 113-118.
59. DURANCE, T. D., DOU, J. L., MAZZA, J. (1997): Selection of Variable Retort Temperature Processes for Canned Salmon. *Journal of Food Process Engineering*. 20. 1. 65-76.
60. EISNER, M. (1979): Die Pasteurization von Schinken-Halbkonserven mit Hilfe der selektiven Stufenverfahrens. *Fleischwirtschaft*. 59. 10. 1443-1451.
61. ELUSTONDO D, ELUSTONDO M. P, URBICAIN M. J (2001): New Thermal Conductivity Probe Design Based on the Analysis of Error Sources. *Journal of Food Engineering*. 48. 4. 325-333.
62. ERDOGDU F (2005): Mathematical Approaches for Use of Analytical Solutions in Experimental Determination of Heat and Mass Transfer Parameters. *Journal of Food Engineering*. 68. 2. 233-238.
63. ERDOGDU F (2008): A Review on Simultaneous Determination of Thermal Diffusivity and Heat Transfer Coefficient. *Journal of Food Engineering*. 86. 3. 453-459.

64. ERDOGDU F, TURHAN M (2006): Analysis of Dimensional Ratios of Regular Geometries for Infinite Geometry Assumptions in Conduction Heat Transfer Problems. *Journal of Food Engineering*. 77. 4. 818-824.
65. ESZES, F. (2002): Cooling of Meat Products and Food Safety. *Proceedings VOL II. of 48. ICOMST International Congress of Meat Science and Technology*. 2002. Augusztus 20-25. Róma. pp. 920-921.
66. ESZES, F., RAJKÓ, R. (2004): Modelling heat penetration curves in thermal processes. In Richardson Ph. (2004): *Improving the thermal processing of foods*. CRC Press Boca Raton Boston New York Washington DC - Woodhead Publishing Limited Cambridge England. pp. 307-333.
67. ESZES, F. RAJKÓ, R. (2001): Improving the Accuracy of Slope Index Determination in Heat Treatment Processes. Poster on EUROCAFT Symposium Berlin 2001. December 5-7. Book of Abstracts 2.04.
68. FÁBRY, Gy. (szerk.) (1987): *Vegyipari gépészek kézikönyve*. Műszaki Könyvkiadó Budapest. pp. 64-67.
69. FELICIOTTI, E. ESSELEN, W. B. (1957): cited in REICHERT, J. E. (1985): *Wärmebehandlung von Fleischwaren*. Hans Holzmann Verlag GmbH & Co. KG, Bad Wörishöfen. p. 168.
70. FLAMBERT, F., DELTOUR, J. (1972): Localization of the Critical Area in Thermally Processed Conduction Heated Canned Food. *Lebensmittelwissenschaft und Technologie*. 5. 1. 7-13.
71. GAFFNEY, J., J., BAIRD, C., D., ESHLEMAN, W., D. (1980): Review and Analysis of the Transient Method for Determining Thermal Diffusivity of Fruits and Vegetables. *Transactions of ASHRAE*. 86. 2. 261-280.
72. GEORGIEVA, V. G.; AKTERIAN, S.G. (1998): Experimental Study of Hydro-aerosol Cooling of Sausages: Effect of the Process Factors on the Cooling Intensity. *Journal of Food Engineering*. 36. 2. 201-210.
73. GHAZALA S., COXWORTHY D., ALKANANI, T. (1995): Thermal kinetics of *Streptococcus-faecium* in nutrient broth sous vide products under pasteurization conditions. *Journal of Food Processing and Preservation*. 19. 4. 243-257.
74. HAMM, R. (1973): *Kolloidchemie des Fleisches*. Verlag Paul Parey. Berlin.

75. HAYAKAWA, K.-I. de MASSAGUER, P. TROUT, R. J. (1988): Statistical Variability of Thermal Process Lethality in Conduction Heating Food - Computerized Simulation. *Journal of Food Science*. 53. 6. 1887-1893.
76. HAYAKAWA, K.-I. (1968): A Procedure for Calculating the Sterilizing Value of a Thermal Process. *Food Technology*. 22. 7. 905-907.
77. HAYAKAWA, K.-I. (1970): Experimental Formulas for Accurate Estimation of Transient Temperature of Food and Their Application to Thermal Process Evaluation. *Food Technology*. 24 1407.
78. HAYAKAWA, K.-I. (1978): A Critical Review of Mathematical Procedures for Determining Proper Heat Sterilization Processes. *Food Technology*. 28. 3. 59-65.
79. HAYES, G. D. (1987): *Food Engineering Data Handbook*. Longman Scientific & Technical Co-published in the United States with John Wiley & Sons. p. 53
80. HELDMAN, D. R. (1975): *Food Process Engineering*. AVI Publishing Co. Inc. Westport, CT.
81. HERRMAN, J. (1969): cited in REICHERT (1985): *Wärmebehandlung von Fleischwaren*. Hans Holzmann Verlag GmbH & CO KG., Bad Wörishöfen. p. 168.
82. HERSOM, A.. (1968): cited in REICHERT (1985): *Wärmebehandlung von Fleischwaren*. Hans Holzmann Verlag GmbH & CO KG., Bad Wörishöfen. p. 162.
83. HIGGS, S. J. SWIFT, S. P. (1975): Investigation into the Thermal Conductivity of Beef Using the Line Source Technique. *Process Biochemistry*. 10. 10. 43-45.
84. HILL, J. E., LEITMAN, J. D., SUNDERLAND, J. E. (1967): Thermal Conductivity of Various Meats. *Food Technology*. 21. 8. 1143-1148.
85. HOUBEN, S. H. (1982): Hitzeresistenz von *Streptococcus faecium* in pasteurisiertem Schinken. *Fleischwirtschaft*. 62. 4. 511-514.
86. HOUSKA, M. (1997): Thermophysical and Rheological Properties of Foods. Meat, Meat Products and Semi-Products. Food Research Institute of prague- Institute of Agricultural and Food Information. Prága. pp.172-187, 241-246
87. IMRE, L. (1983): *Hőátvitel összetett szerkezetekben*. Műszaki Könyvkiadó. Budapest. pp. 413-520.
88. INCROPERA, F. B., DeWITT, D. B. (1996). *Fundamentals of heat and mass transfer* (4th Ed.). New York, NY: John Wiley & Sons, pp. 226–229.

89. INCZE, K. KÖRMENDY, L. KÖRMENDY, I. ZSARNÓCZAY, G. (1999): Considerations of Critical Microorganisms and Indicator Enzymes in Connection with the Pasteurisation of Meat Products. *Meat Science*. 51. 2. 115-121.
90. JEN, Y. MANSON, J. E. STUMBO, C. R. ZAHRADNIK, J. W. (1971): A Procedure for Estimating Sterilization and of Quality Factor Degradation in Thermally Processed Foods. *Journal of Food Science*. 36. 4. 692-698.
91. JOWITT, R. ESCHER, F. HALLSTRÖM, B. MEFFERT, H. F. Th. SPIESS, W. E. L. VOS, G. (1983): *Physical Properties of Foods*. Applied Science Publishers. London and New York. pp. 269-312.
92. KEMÉNY, S., DEÁK, A. (2002): Kísérletek tervezése és értékelése. Műszaki Könyvkiadó. Budapest. pp. 153-159, 341-385.
93. KERÉKES, S. SZLÁVIK, J. (2003): A környezeti menedzsment közgazdasági eszközei. Környezetvédelmi kiskönyvtár 2. Közgazdasági és Jogi Könyvkiadó. Budapest. pp. 214-220.
94. KIMBALL, R., N., HEYLIGER, T., L. (1990): Verifying the Operation of Steam Retorts. *Food Technology*. 44. 12. 100-104.
95. KISS, B. Növényolaj-ipari és háztartás-vegyipari táblázatok. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest. pp. 133-137.
96. KLEINER, U.; MOTSCH, T. (1999): Auswirkung der Kühlung auf die mikrobiologische Sicherheit von Cook-Chill Produkten. *Fleischwirtschaft*. 79. 2. 82-84.
97. KOPELMAN, I. J., NAVEH, D., PFLUG, I., J. (1982): Overshooting of Thermal Processes Due to the Temperature Distribution at Steam Off. *Journal of Food Technology*. 17. 4. 441-449.
98. KOPELMAN, I. J. PFLUG, I. J. (1968): Relationship of the Surface Mass Average and Geometric Center Temperatures in Transient Conduction Heat Flow. *Food Technology*. 22. 6. 799-804.
99. KORA, M., CSÉPÁNY, Á.-né: (1991): Bélbetöltött termékek pasztörözése a hőkezelési egyenérték alapján I. *A Hús* 1. 2. 21-24.
100. KORN, G. A. KORN, T. M. (1975): *Matematikai kézikönyv műszakiaknak*. Műszaki Könyvkiadó. Budapest. F Függelék, F-11 táblázat pp. 914-919.

101. KOVÁCS, L. (1986): Gépipari anyagtáblázatok. 3. átdolgozott kiadás. Műszaki Könyvkiadó. Budapest. p. 94.
102. KÖRMENDY, I. (1982): Az anyagok hőkezelés alatti változásaival kapcsolatos újabb szemléleti és számítási ismeretek. Élelmezési Ipar. 35. 10. 361-370.
103. KÖRMENDY, I. (1991): Műveletek hőközléssel. In SZENES E-né OLÁH, M. (szerk.) (1991): Konzervipari kézikönyv. Integra Projekt Kft. Budapest. pp175-177.
104. KÖRMENDY, I. MONSPARTNÉ-SÉNYI, J. GION, B. 1989. Különféle egyenértékszámítási módszerek összehasonlítása. Élelmezési ipar. 43. 12. 448-454.
105. KÖRMENDY, I., KÖRMENDY L. (1997): Considerations for Calculating Heat Inactivation Processes When Semilogarithmic Thermal Inactivation Models Are Non-Linear. Journal of Food Engineering. 34. 1. 33-40.
106. KÖRMENDY, I., KÖRMENDY, P. (2007): A kritikus pont helye hővezetéssel melegedő konzervben. Véglapjain hőszigetelt hengeres konzerv. Élelmezésipar. 61. 1. 21-26.
107. KÖRMENDY, I., KÖRMENDY, P. (2009): Location of The Critical Point In Conduction Heated Canned Food. Acta Alimentaria. 38. 2. 249–264.
108. KÖRMENDY, I: (1987): Outline of a System for the Selection of the Optimum Sterilization Process for Canned Foods. Acta Alimentaria 16. 1. 3-27.
109. KÖRMENDY, L. (2009): A hőkezelés tervezése a húsiparban. A Hús. 18. 3-4. 69-74.
110. KÖRMENDY, L. GANTNER, Gy. (1960): Über die saure Phosphatase des Fleisches. Zeitschrift für Lebensmitteluntersuchung und Forschung. 113. 1. 13-22.
111. KÖRMENDY, L. RÉKASI, É. FETTER, I. (1987): Determination of the Extent of Heat Treatment in Canned Hams by Use of the Phosphatase Test. Meat Science 19. 1. 77-79.
112. KULACKI, F. A. KENNEDY, S. C. (1978): Measurement of the Thermophysical Properties of Common Cookie Dough. Journal of Food Science 43. 2. 380-384.
113. LARKIN, B. J. STEFFE, J. F. (1982): Error Analysis of Heat Penetration Data for Determination of Thermal Diffusivity. Journal of Food Processing and Preservation. 6. 3. 135-158.

114. LARKIN, J. W., STEFFE, J., F. (1987): Experimental Errors associated with the estimation of thermal diffusivity from thermal process data. *Journal of Food Science*. 52. 2. 419-424, 428.
115. LARKIN, J. W. BERRY, M. C. (1991): Estimating Cooling Process Lethality for Different Cooling j Values. *Journal of Food Science*. 56. 4. 1063-1067.
116. LÁSZTITY, R., TÖRLEY D. (szerk.) (1989): Élelmiszeranalitika. VOL. II. Mezőgazdasági Könyvkiadó. Budapest. pp. 161-219.
117. LEBOWICZ, S. F. BHOWMIK, S. R. (1990): Effect on Retortable Pouch Heat Transfer Coefficients of Different Thermal Processing Stages and Pouch Material. *Journal of Food Science*. 55. 5. 1421-1424, 1434.
118. LEBOWITZ, S. F. BHOWMIK, S. R. (1989): Determination of Retortable Pouch Heat Transfer Coefficients by Optimization Method. *Journal of Food Science*. 54. 6. 1407-1412.
119. LEDÓ, J., KOCSIS, J. (2000): A hőkezelési folyamatok vizsgálatának korszerű mérőeszközei. *Konzervújság*. 48. 2. 36-38.
120. LEISTNER, L. KARAN-DJURDIC, K. (1970): Beeinflussung der Stabilität von Fleischkonserven durch Steuerung der Wasseraktivität. *Fleischwirtschaft* 50. 11. 1547-1549.
121. LENTZ, C. P. E. (1961): Thermal Conductivity of Meats, Fats, Gelatin Gels and Ice. *Food Technology* 15. 5. 243-247.
122. LENZ, M. K. LUND, D. B. (1977a): The Lethality-Fourier Number Method: Experimental Verification of a Model for Calculating Temperature Profiles and Lethality in Conduction-Heating Canned Foods. *Journal of Food Science*. 42. 4. 989-996, 1001.
123. LENZ, M. K. LUND, D.B. (1977b): The Lethality-Fourier Number Method: Experimental Verification of a Model for Calculating Average Quality Factor Retention in Conduction-Heating Canned Foods. *Journal of Food Science*. 42. 4. 997-1001.
124. LENZ, M. K. LUND, D. B. (1977c): The Lethality-Fourier Number Method: Confidence Intervals for Calculated Lethality and Mass-Average Retention of Conduction-Heating, Canned Foods. *Journal of Food Science*. 42. 4. 1002-1007.

125. LEONHARDT, G. F. (1976a): Estimation of the Central Temperature of Thermally Conductive Food in Cylindrical and Rectangular Cans During Heat Processing. *Journal of Food Science*. 41. 3. 685-690.
126. LEONHARDT, G. F. (1976b): Estimation of the Average Temperature of Thermally Conductive Food in Cylindrical and Rectangular Cans during Heat Processing. *Journal of Food Science*. 41. 3. 691-695.
127. LIND, J. (1965): The Determination of Acid Phosphatase Activity in Canned Hams. Danish Meat Products Laboratory. Rapport No. 25. p 65.
128. LIND, J. (1966): Supplement to the Report of the Determination of Acid Phosphatase Activity in Canned Hams. Danish Meat Products Laboratory. Rapport 25.65 A.
129. LIND, J. (1984): USDA-FSIS, Chemistry Laboratory Guidebook 10028, III. E, 3011. 3-27.
130. LŐRINCZ, F. LENCSEPETI, J. (1973): Húsipari Kézikönyv. Mezőgazdasági Könyvkiadó Budapest. pp. 456-457, 551, 596-597.
131. LUND, D. B. (1978): Statistical Analysis of Thermal Process Calculation. *Food Technology*. 32. 3. 76-78, 83.
132. MACKEY, B., M., KELLY, A., F., COLVIN, J., A., ROBBINS, P., T., FRYER, P., J. (2006): Predicting the thermal inactivation of bacteria in a solid matrix: Simulation studies on the relative effects of microbial thermal resistance parameters and process conditions. *International Journal of Food Microbiology*. 107. 3. 295 – 303
133. MAFART, P. LEGUERINEL, I. (1998): Modeling Combined Effects of Temperature and pH on Heat Resistance of Spores by a Linear-Bigelow Equation. *Journal of Food Science*. 63. 1. 6-8.
134. MAGNUS, C. A. INGLEDEW, W. M., McCURDY, A. R. (1988): Further Studies on the Thermal Resistance of *Streptococcus faecium* and *Streptococcus Faecalis* in Pasteurised Ham. *Canadian Institute Food Science and Technology Journal*. 21. 2. 209-212.

135. MAGNUS, C., A., INGLEDEW, W., M., McCURDY, A., R. (1986): Thermal Resistance of Streptococci Isolated from Pasteurised Ham. Canadian Institute Food Science and Technology Journal. 19. 2. 62-67.
136. MANSON, J. E. STUMBO, C. R. ZAHRADNIK, J. W. (1974): Evaluation of Thermal Processes for Conduction-Heating Foods in Pear Shaped Containers. Journal of Food Science. 39. 2. 276-280.
137. MANSON, J. E. ZAHRADNIK, J. W. STUMBO, C. R. (1970): Evaluation of Lethality and Nutrient Retentions of Conduction Heating Foods in Rectangular Containers. Food Technology. 24. 11. 1297-1301.
138. MARTENS, T. (1980): Thesis Katholieke University Leuven. Cited in SINGH, R., P. (1982): Thermal-Diffusivity in Food Processing. Food Technology. 36. 2. 87-89.
139. MARTINEZ S. LOPEZ, M. BERNARDO, A. (2003): Thermal inactivation of *Enterococcus faecium*: Effect of Growth Temperature and Physiological State of Microbial Cells. Letters in Applied Microbiology. 37. 6. 475 – 481.
140. MCGINNIS, D. S. (1986a). Surface Heat Transfer Distribution in a Weir Type Pressurized Water Retort for Processing Foods in Flexible Retort Pouches. Canadian Institutes of Food Science and Technology Journal. 19. 2. 45-52.
141. MCGINNIS, D. S. (1986b): Prediction of Transient Conduction Heat Transfer in Foods Packaged in Flexible Retort Pouches. Canadian Institutes of Food Science and Technology Journal. 19. 4. 148-157.
142. MEFFERT, H., F. Th. (1983): History, Aims, Results and Future of Thermophysical Properties Work within COST 90. In In Jowitt, R. Escher, F. Hallström, B. Meffert, H. F. Th. Spiess, W. E. L. Vos, G. 1983. Physical Properties of Foods. Applied Science Publishers. London and New York. pp. 229-267.
143. MIHEJEV, M., A. (1990): A hőátadás gyakorlati számításának alapjai. Tankönyvkiadó. Budapest. 7. átdolgozott kiadás. pp. 78-81.
144. MILBURN, K. 1983. Thermal Tolerance of *Lactobacillus Viridescens* in Ham. Meat Science. 9. 2. 113-119.
145. MILES, C. A.-Van BEEK, G. VEERKAMP, C. H. (1983): Calculation of Thermophysical Properties of Foods. In Jowitt, R. Escher, F. Hallström, B. Meffert,

- H. F. Th. Spiess, W. E. L. Vos, G. 1983. Physical Properties of Foods. Applied Science Publishers. London and New York. pp. 269-312.
146. MITTAL, G. S. BLAISDELL, J. L. (1984): Heat and Mass Transfer Properties of Meat Emulsions. *Lebensmittelwissenschaft und Technology*. 17. 2. 94-98.
 147. MOHAMED I. O. (2007): Determination of an Effective Heat Transfer Coefficients For Can Headspace During Thermal Sterilization Process. *Journal of Food Engineering*. 79. 4. 1166-1171.
 148. MURAKAMI, E. G., SWEAT, V. E., SASTRY, S., K., KOLBE, K., HAYAKAWA, K., DATTA, A., K. (1996): Recommended Design Parameters for Thermal Conductivity Probes for Nonfrozen Food Materials *Journal of Food Engineering*. 27. 2. 109-123.
 149. MÜLLER, W. D. (1989): Erhitzen und Räuchern von Kochwurst und Kochpökelwaren. *Fleischwirtschaft*. 69. 3: 308-319.
 150. NAGY, I. (1985): Sterilizációs egyenértékek meghatározása számítógépes programmal. *Konzerv és Paprikaipar*. 33. 2. 52-54.
 151. NAVEH, D. KOPELMAN, I. J. PFLUG, I. J. (1983c). The Finite Element Method in Thermal Processing of Foods. *Journal of Food Science*. 48. 4. 1086-1093.
 152. NAVEH, D. PFLUG, I. J. KOPELMAN, I. J. (1983b): Transient Cooling of Conduction Heating Products During Sterilization: Sterilization Values. *Journal of Food Processing and Preservation*. 7. 4. 275-286.
 153. NAVEH, D., KOPELMAN, I. J., ZECHMAN, L., and PFLUG, I. J. (1983a): Transient Cooling of Conduction Heating Products During Sterilization: Temperature Histories. *Journal of Food Processing and Preservation*. 7. 4. 259-274.
 154. NEMÉNYI M. (2001): Hő- és anyagtranszport modellezése inhomogén biológiai anyagokban. In Filka J. (szerk.)(2001): *Proceedings of Műszaki Kémiai Napok '01: Veszprém, 2001. április 24-26. Veszprém: KE Műszaki Kémiai Kutató Intézet, 2001. pp. 276-280.*
 155. NEMÉNYI M (2002): Biológiai anyagokban lejátszódó egyidejű hő- és anyagtranszportok modellezése: Az MTA Kémiai Tudományok Osztálya és Műszaki Tudományok Osztálya, Műszaki Kémiai Komplex Bizottsága Vegyipari Gépészeti Munkabizottságának ülése. Budapest.

156. Nicolai', B. M., Verboven, P., Scheerlinck, N., De Baerdemaeker J. (1998) Numerical Analysis of the Propagation of Random Parameter Fluctuations in Time and Space During Thermal Food Processes. *Journal of Food Engineering* 38 (1998) 259-278.
157. NIEKAMP, A., UNKLESBAY, K., UNKLESBAY, N., ELLERSIECK, M. (1984): Thermal Properties of Bentonite-Water Dispersions Used for Modelling Foods. *Journal of Food Science*. 49. 1. 28-31.
158. NITSCH P., VUKOVIC I.(2002): Schnellbestimmung des F-Wertes mittels Gauß'scher Integration. *Fleischwirtschaft*. 82. 11. 122-123.
159. NORONHA, J., Van LOEY A., HENDRICKX M, TOBBACK, P. (1996): Simultaneous Optimisation of Surface Quality during the Sterilisation of Packed Foods Using Constant and Variable Retort Temperature Profiles. *Journal of Food Engineering*. 30. 3-4. 283-297.
160. NORONHA,-J., HENDRICKX, M., SUYS,J., TOBBACK, P. (1993): Optimization of Surface Quality Retention During the Thermal Processing of Conduction Heated Foods Using Variable Temperature Retort Profiles. *Journal of Food Processing and Preservation*. 17. 2. 75-91.
161. OHLSSON, Th. (1980): Optimal Sterilization Temperatures for Flat Containers. *Journal of Food Science*. 45. 3. 848-852, 859.
162. PAN, Z., SINGH, R., P. RUMSEY, T., R. (2000): Predictive Modeling of Contact-Heating Process for Cooking a Hamburger Patty. *Journal of Food Engineering*. 46. 1. 9-19.
163. PATASHNIK, M. (1953): A Simplified Procedure for Thermal Process Evaluation. *Food Technology* 7. 1. 1-6.
164. PATINO, H. HEIL, J. R. (1985): A Statistical Approach to Error Analysis in Thermal Process Calculations. *Journal of Food Science*. 50. 4. 1110-1114.
165. PÁTKAI, Gy. KÖRMENDY, M. ERDÉLYI, M. (1990): Outline of a System for the Selection of the Optimum Sterilization Process for Canned Food II. *Acta Alimentaria*. 19. 4. 305-320.
166. PEDRAZZONI, I, QUINTAVALLA, S, SCARAMUZZA, N, et al. (1995): Heat stabilization of cooked ham. I. Heat resistance, in culture medium and in pork, of

- Enterococcus faecium RR1 isolated from cooked ham. *Industria Conserve*. 70. 1. 13-20.
167. PELEG M. (1999): On Calculating Sterility in Thermal and Non-Thermal Preservation Methods. *Food Research International*. 32. 4. 271-278.
 168. PELEG, M. (2000): Microbial Survival Curves – The Reality of Flat Shoulders and Absolute Thermal Death Times. *Food Research International*. 33. 7. 531-538.
 169. PELEG M. (2002): A Model of Survival Curves Having Activation Shoulder. *Journal of Food Science*. 67. 7. 2438-2443.
 170. PETERSON, W. R. ADAMS, J. P. (1983): Water Velocity Effect on Heat Penetration Parameters during Institutional Retort Pouch Processing. *Journal of Food Science*. 48. 3. 457-459, 464.
 171. PFLUG, I. J. BLAISDELL, J. L. KOPELMAN, J. (1965): Developing Temperature-Time Curves for Objects That Can Be Approximated by a Sphere, Infinite Plate or Infinite Cylinder. *Transactions of ASHRAE*. 71. 1. 238-247.
 172. PHAM, G. T. WILLIX, J. (1989): Thermal Conductivity of Fresh Lamb Meat, Offals and Fat in the Range - 40 To +30°C: Measurements and Correlation. *Journal of Food Science*. 54 3. 508-515.
 173. POLLEY, S. L. SNYDER, O. P. KOTNOUR, P. (1980): Compilation of the Thermal Properties of Foods. *Food Technology*. 34 12. 76-80, 82-84, 86-88, 90-92, 94.
 174. POWERS, J. J. PRATT, D. E. CARMON, J. L. SOMAATMADJA, D. FORTSON, J. C. (1962): Application of Extreme Value Methods and Other Statistical Procedures to Heat Penetration Data. *Food Technology* 16. 3. 80-89.
 175. QASHOU, M., NIX, G.H., VACHON, R., L., LOWERY, G., W. (1970): Thermal Conductivity Values for Ground Beef and Chuck. *Food Technology*. 24. 4. 493-496.
 176. RAJKÓ, R. (1994): Treatment of Model Error in Calibration by Robust and Fuzzy Procedures. *Analytical Letters*. 27. 1. 215–228.
 177. RAMASWAMY, H. S. TUNG, M. A. STARK, R. (1983): A Method to Measure Surface Heat Transfer Coefficient from Steam Air Mixtures in Batch Retorts. *Journal of Food Science*. 48. 4. 900-904.

178. RAMASWAMY, H. S., LO, K.V., TUNG, M. A. (1982): Simplified Equations for Transient Temperatures in Conductive Foods with Convective Heat Transfer at the Surface. *Journal of Food Science*. 47. 6. 2042-2047, 2065.
179. RAZNJEVICS, K. (1966): *Hőtechnikai táblázatok*. Műszaki Könyvkiadó. Budapest. p.111.
180. RAO, M. A., KATZ, J., GOEL, V. K. (1978): Economic Evaluation of Measures to Conserve Energy in Food Processing Plants. *Food Technology*. 32. 4. 34, 36, 38.
181. RAO, M. A. KENNY, J. F. KATZ, J. DOWNING, D. L. (1976): Computer Estimation of Heat Losses in Food Processing Plants. *Food Technology*. 30. 3. 36-39, 42.
182. REICHART, O. (1983): Experimental method for the determination of thermal death parameters of microorganisms in a continuous system. *Acta Alimentaria*. 12. 1. 35-53.
183. REICHART, O. DEÁK, T. TAKÁCS, J. (1979): Enterokokkuszok hőpusztulásának vizsgálata. *Konzerv és Paprikaipar*. 27. 4. 134-139.
184. REICHERT, J. E. (1976): Die Stufenkochung als Mittel zur Qualitätsverbesserung von Fleischprodukten. *Fleischwirtschaft*. 55. 5. 611-614.
185. REICHERT, J. E. (1980): Die Delta-T Kochung ein neuen Begriff? *Fleischerei*. 31. 5. 478, 480, 482, 484, 486.
186. REICHERT, J. E. (1985): *Wärmebehandlung von Fleischwaren*. Hans Holzman Verlag GmbH & Co. Bad Wörishöfen. p. 41, 105-106, 146, 168.
187. REICHERT, J. E. BREMKE, H. BAUMGART, J. (1979). Zur ermittlung der Erhitzungseffektes für Kochschinken (F-Wert). *Fleischerei*. 30. 8. 624-633.
188. REICHERT, J. E. TUMEL, H. LICHTFELD, G. (1988): Zur Pasteurisation von Fleischerzeugnissen. *Fleischerei*. 39. 3. 199-200, 202-203.
189. REICHERT, J. E., POGODDA, H-J. (1993): Moderne Wärmebehandlung von Fleischerzeugnissen: F-Wert statt Kerntemperatur. *Fleischerei*. 44. 1. 37-40.
190. RIEDEL, L. (1969): Temperaturleitfähigkeitsmessungen an wasserreichen Lebensmitteln. *Kältetechnik und Klimatisierung*. 21. 11. 315-316.
191. RIZVI, S. S. H. BLAISDELL, J. L. HARPER, W. J. (1980): Thermal Diffusivity of Model Meat Analog Systems. *Journal of Food Science*. 45. 6. 1727-1731.

192. ROBERTSON, G. L. MILLER, S. L. (1984): Uncertainties Associated with the Estimation of F_0 Values in Cans which Heat By Conduction. *Journal of Food Technology*. 19. 5. 623-630.
193. SANDBERG, G., M., M., DURANCE, T., D., RICHARD, P., LEUNG, P., H. 1994. Thermal Processing Canned Meat with Sub-freezing Initial Temperatures: Thermal and Microbial validation. *Journal of Food Science*. 59. 4. 693-696, 719.
194. SANZ, P., D., ALONSO, M., D., MASCHERONI, R., H. (1987): Thermophysical Properties of Meat Products: General Bibliography and Experimental Values. *Transactions of the ASAE*. 30. 1. 283-289, 296.
195. SIELAFF, H., ANDREAE, W., OELKER, T. (1982a): Herstellung von Fleischkonserven und industrielle Speisenproduktion. VEB Fachbuchverlag Leipzig. pp. 145-153.
196. SIELAFF, H., ANDRAE, W., OELKER, P. (1982b): Herstellung von Fleischkonserven und industrielle Speisenproduktion. VEB Fachbuchverlag Leipzig. pp. 230-239.
197. SIMPSON, R. (2005): Generation of Isolethal Processes and Implementation of Simultaneous Sterilisation Utilising the Revisited General Method. *Journal of Food Engineering* 67. 1. 71–79.
198. SIMPSON, R. ABAKAROV, A. TEIXEIRA, A. (2008): Variable Retort Temperature Optimization Using Adaptive Random Search Techniques. *Food Control*. 19. 11. 1023-1032.
199. SIMPSON, R., ALMONACID, S., TEIXEIRA, A.. (2003): Bigelow's General Method Revisited: Development of a New Calculation Technique. *Journal Of Food Science*. 68. 4. 1324-1333.
200. SIMPSON, R., ARIS, I., TORRES, J., A. (1989): Sterilization of Conduction-Heated Foods in Oval-Shaped Containers. *Journal of Food Science*. 54. 5. 1327-1331, 1363.
201. SINGH, R. P. (1978): Energy Accounting in Food Process Operations. *Food Technology*. 32. 4. 40-44, 46.
202. SINGH, R., P. (ed.) (1986): *Energy in Agriculture Volume I. Energy in Food Processing*. Elsevier Amsterdam-Oxford-New York-Tokio.

203. SMITH, T., TUNG, M., A. (1982): Comparison of Formula Methods for Calculating thermal process lethality. *Journal of Food Science*. 47. 3. 626-630.
204. SPINAK, S. H. WILEY, R.c. (1982): Comparisons of the General and Ball Formula Methods for Retort Pouch Process Calculation. *Journal of Food Science*. 47. 4. 880-884, 888.
205. STOFOROS, N. G. (1995): Thermal Process Design. *Food Control*. 6. 2. 81-94.
206. STOFOROS, N., G., NORONHA, J., HENDRICKX, M., TOBBACK, P.(1997): A critical analysis of mathematical procedures for the evaluation and design of in-container thermal processes for foods. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 37. 5. 411-441.
207. STUMBO, C. R. (1973): *Thermobacteriology in Food Processing*. 2nd Edition. Academic Press, New York.
208. SUN D., W., ZHENG L. (2006): Vacuum cooling technology for the agri-food industry: Past, present and future. *Review.Journal of Food Engineering*. 77. 2. 203–214.
209. SWEAT, V. E. (1975): Modeling Thermal Conductivity of Meats. *Transactions of ASAE*. 18. 3. 564-568.
210. SWEAT, V. E. (1985): Thermal properties of foods in Rao, M. A., Rizvi, S. S. H. (1985): *Physical Properties of foods*. Marcel Dekker, Inc. New York-Basel. pp 49-88.
211. SWEAT, V. E. HAUGH, C. G. (1974): A Thermal Conductivity Probe for Small Food Samples. *Transactions of the ASAE* 17. 1. 56-58.
212. SZENES, E-né, (szerk.): (1989): *Fém csomagolószerek*. Műszaki Könyvkiadó, Budapest. pp. 378-390, 413,416.
213. TANDON, S., BHOWMIK, S., R. (1986): Evaluation of Thermal Processing of Retortable Pouches Filled with Conduction Heated Foods Considering Their Actual Shapes. *Journal of Food Science*. 51. 3. 709-714.
214. TEIXEIRA, A., A., BALABAN, M., O., GERMER, S., P., M., SADAHIRA, M., S., TEIXEIRA-NETO, R.O., VITALI, A., A. (1999): Heat Transfer Model Performance in Simulation of Process Deviations. *Journal of Food Science*. 64. 3. 488-493.

215. TEIXEIRA, A., A., DIXON, J. R., ZAHRADNIK, J., W., ZINSMEISTER, G., E. (1969): Computer Optimization of Nutrient Retention in the Thermal Processing of Conduction Heated Foods. *Food Technology*. 23. 6. 845-850.
216. TEIXEIRA, A. A., ZINSMEISTER, G. E., ZAHRADNIK, J. W. (1975): Computer Simulation of Variable Retort Control and Container Geometry as a Possible Means of Improving Thiamine Retention in Thermally Processed Foods. *Journal of Food Science*. 40. 3. 656-659.
217. THALHAMMER, F. (2002): Gekonnt produzieren. Allgemeines und Wissenwertes aus der Praxis. 2. Auflage. Franz Thalhammer (Raps GmbH) & Landesverlag, Linz. p. 406.
218. THIJSEN, H., A., C., KERKHOF, P., J., A., M., LIEFKENS, A., A., A. (1978): Short-Cut Method for the Calculation of Sterilization Conditions Yielding Optimum Quality Retention for Conduction-Type Heating and Packed Foods. *Journal of Food Science*. 43. 4. 1096-1100.
219. THIJSEN, H. A. C., KOCHEN, L. H. P. J. M. (1980): Calculation of Optimum Sterilization Conditions for Packed Conduction-Type Foods. *Journal of Food Science*. 45. 5. 1267-1272, 1292.
220. THOMPSON, G. E. (1919): Temperature-Time Relationship in Canned Foods during Sterilisation. *J. Ind. and Eng. Chem*. 11. 7. 657-664. In GOLDBLITH, S. A. JOSLYN, M. A. NICKERSON, J. T. R. (1961): Introduction to the Thermal Processing of Foods. AVI Publishing Westport, Connecticut. pp. 629-652.
221. TOKAI, G. (1984): Sterilizési egyenérték meghatározása számoló és számítógéppel. *Konzerv és Paprikaipar*. 32. 3. 116-121.
222. TOULOKIAN, Y. S. POWELL, R. W. HO, C. Y. (1970): Thermal Conductivity non metallic solids. TPRC Data Series Vol. 2: Thermophysical Properties of Matter. IFI Plenum Press, New York-Washington. pp. 1a-39a.
223. TSAI, S., J., UNKLESBAY, N., UNKLESBAY, K., CLARKE, A. (1998): Thermal Properties of Restructured Beef Products at Different Isothermal Temperatures. *Journal of Food Science*. 63. 3. 481-484.
224. TSCHUBIK, I. A., MASLOW, A., M. (1973): Wärmephysikalische Konstanten von Lebensmitteln. VEB Fachbuchverlag, Leipzig. p. 92.

225. TUCKER, G. HOLDSWORTH, D. (1990): Optimisation of Quality Factors for Foods Thermally Processed in Rectangular Containers. In FIELD, R., W. HOWELL, J., A. (ed.) (1990): Process Engineering in the Food Industry 2. Convenience Food and Quality Assurance. Elsevier Applied Science Publishers, London-New York. pp. 59-74.
226. TUNG, M., A., BRITT, I., J., RAMASWAMY, H. S. (1990): Food Sterilization in Steam Air Retorts. Food Technology. 44. 12. 105-109.
227. TURHAN, M., ERDOGDU F. (2003): Error associated with assuming a finite regular geometry as an infinite one for modeling of transient heat and mass transfer processes Journal of Food Engineering. 59. 2-3. 291-296.
228. TURHAN, M., ERDOGDU F. (2004): Errors based on location and volume average changes in infinite geometry assumptions in heat and mass transfer processes. Journal of Food Engineering. 64. 2. 199-206.
229. UNGER, S. G. (1975). Energy utilization in the leading energy consuming food processing industries. Food Technology. 29. 12. 33-36.
230. UNO, J. I. HAYAKAWA, K. I. (1979): Nonsymmetric Heat Conduction in an Infinite Slab. Journal of Food Science. 44. 2. 396-403.
231. UNO, J. I. HAYAKAWA, K. I. (1980): A Method for Estimating Thermal Diffusivity of Heat Conduction Food in a Cylindrical Can. Journal of Food Science. 45. 3. 692-695.
232. VALKÓ, P. VAJDA, S. (1986): Műszaki-tudományos feladatok megoldása személyi számítógéppel. Műszaki Könyvkiadó, Budapest. pp 95-97.
233. Van LOEY, A., HENDRICKX, M., SMOUT, C. HAENTJENS, T., TOBBACK, P. (1996): Recent Advances in Process Assessment and Optimisation. Meat Science. 43. Supplement. S81-S98.
234. VARGA, Sz. OLIVEIRA J. C. (2000): Determination of the heat transfer coefficient between bulk medium and packed containers in a batch retort. Journal of Food Engineering. 44. 4. 191-198.
235. VARGA, Sz. OLIVEIRA, J. C., OLIVEIRA F. A. R. (2000): Influence of the Variability of Processing Factors on the F-Value Distribution in Batch Retorts. Journal of Food Engineering. 44. 3. 155-161.

236. VARGA, Sz., OLIVEIRA, J., C., SMOUT, Ch., HENDRICKX, M., E. (2000b): Modelling Temperature Variability in Batch Retorts and its Impact on Lethality Distribution. *Journal of Food Engineering*. 44. 3. 163-174.
237. VERSLUYS, J.; McMINDES, M; KESEL, G. 1996. Development of Quality Cooked Ham with out the Use of Phosphate. *Fleischwirtschaft*. 76. 5. 526-527.
238. WANG, J. J, WOLFE, R., R., HAYAKAWA, K. (1991): Thermal-Process Lethality Variability in Conduction-Heated Foods. *Journal of Food Science*. 56. 5. 1424-1428.
239. WANG L. J, SUN D. W (2003): Recent developments in numerical modelling of heating and cooling processes in the food industry - a review. *Trends in Food Science & Technology*. 14. 10. 408-423.
240. WANG, J, J., WOLFE, R. R., HAYAKAWA, K. I. (1991): Thermal Process Lethality in Conduction Heated Foods. *Journal of Food Science*. 56. 5. 1424-1428.
241. WANG J. J., HAYAKAWA K. I. (1993): Maximum Slope Method for Evaluating Thermal Conductivity Probe Data. *Journal of Food Science*. 58. 6. 1340-1345.
242. WEBER, H. (1998): Einfluss von Phosphat auf die Wärmeleitfähigkeit von Kochpökelwaren. *Fleischwirtschaft*. 78. 4. 307-310.
243. WELT, B. A., TEIXEIRA, A. A., CHAU, K. V., BALABAN, M. O., HINTENLANG, D. E. (1997): Explicit Finite Difference Methods for Heat Transfer Simulation and Thermal Process Design. *Journal of Food Science*. 62. 2. 230-236.
244. WILLIX, J., LOVATT, S., J., AMOS, N., D. (1998): Additional Thermal Conductivity Values of Foods Measured by a Guarded Hot Plate. *Journal of Food Engineering*. 37. 2. 159-174.
245. WIRTH, F. TAKÁCS, J. LEISTNER, M. (1971): Hitzebehandlung und F-Werte für langfristig lagerfähige Fleischkonserven. *Fleischwirtschaft*. 51. 5. 923-932.
246. WOJCIECHOWSKI, J. (1980): Charakteristik und Bewertung der technologischen Verwendbarkeit thermobakteriologischer Pasteurisierungstests von Fleischkonserven 1. Mitt. Dezimale Reduktionszeiten und Koeffizienten der Pasteurisierungseffekte. *Fleischwirtschaft*. 60. 9. 1726-1731.
247. WOJCIECHOWSKI, J. (1981): Charakteristik und Bewertung der technologischen Verwendbarkeit thermobakteriologischer Pasteurisierungstests von Fleischkonser-

- ven 2. Mitt. Dezimale Reduk-tionszeiten und Koeffizienten der Pasteurisierungseffekte Fleischwirtschaft. 61. 3. 437-442.
248. WONG, H. Y.(1983): Hőátadási zsebkönyv. Műszaki Könyvkiadó. pp. 51, 69, 86-87.
 249. ZANONI, B., PERI, C., GARZAROLI, C., PIERUCCI, S. (1997): A Dynamic Mathematical Model of the Thermal Inactivation of *Enterococcus faecium* during Bologna Sausage Cooking. Lebensmittelwissenschaft und Technology. 30. 7. 727–734.
 250. ZHU, S., RAMASWAMY, H. S., MARCOTTE, M., CHEN, C., SHAO, Y., Le BAIL, A. (2007): Evaluation of Thermal Properties of Food Materials at High Pressures Using a Dual-Needle Line-Heat-Source Method. Journal of Food Science. 72. 2. E49-E56.
 251. ZSARNÓCZAY, G. KÖRMENDY, L. (1992): Új módszer húskészítmények hőkezelésének ellenőrzésére a foszfatáz próba alapján. A Hús 2. 2. 135-140.
 252. ZSARNÓCZAY, G. KÖRMENDY, L. (1997): Laktát dehidrogenáz, mint indikátor enzim a húskészítmények főttségének ellenőrzésére. A Hús 8. 2. 63-69.
 253. ZSARNÓCZAY, G. KÖRMENDY, L. DUDÁS, E-né, MIHÁLYI, Gy-né (1988a): Export-készítmények hőkezelés szükségletének vizsgálata. Húsipar 37. 2. 74-77.
 254. ZSARNÓCZAY, G. KÖRMENDY, L. DUDÁS, E-né, MIHÁLYI, Gy-né (1988b): A mari-nád hatásának vizsgálata a húskészítmények savanyú foszfatáz aktivitására. Húsipar 37. 4. 167-170.
 255. ZSARNÓCZAY G.—KÖRMENDY L. (1995). Vörösáruk maradék foszfatázaktivitását befolyásoló tényezők vizsgálata. A Hús. 5.4. 199-202.
 256. Yi Y., H., Chen T., C. (2003): Prediction of Lean to Fat Tissue Ratio of Pork Belly by Specific Gravity. Journal of Food Engineering. 58. 3.295-297.

8. KÖSZÖNETNYÍLVÁNÍTÁS

Ezúton szeretnék köszönetet mondani

Dr. Győri Zoltán intézetvezető egyetemi tanárnak a disszertáció témavezetéséért.

Prof. Dr. Fenyvessy József nyugalmazott egyetemi tanárnak a munkában nyújtott segítségéért.

Prof. Dr. Véha Antal dékánnak a munkában nyújtott segítségéért.

Prof. Dr. Rajkó Róbert egyetemi tanárnak a hasznos tanácsaiért.

Dr. Körmendy Imrének és Dr. Huszka Tibornak a nyújtott tanácsaikért és segítségükért.

Dr. Csanádi József egyetemi docensnek a rajzok készítésében nyújtott segítségéért.

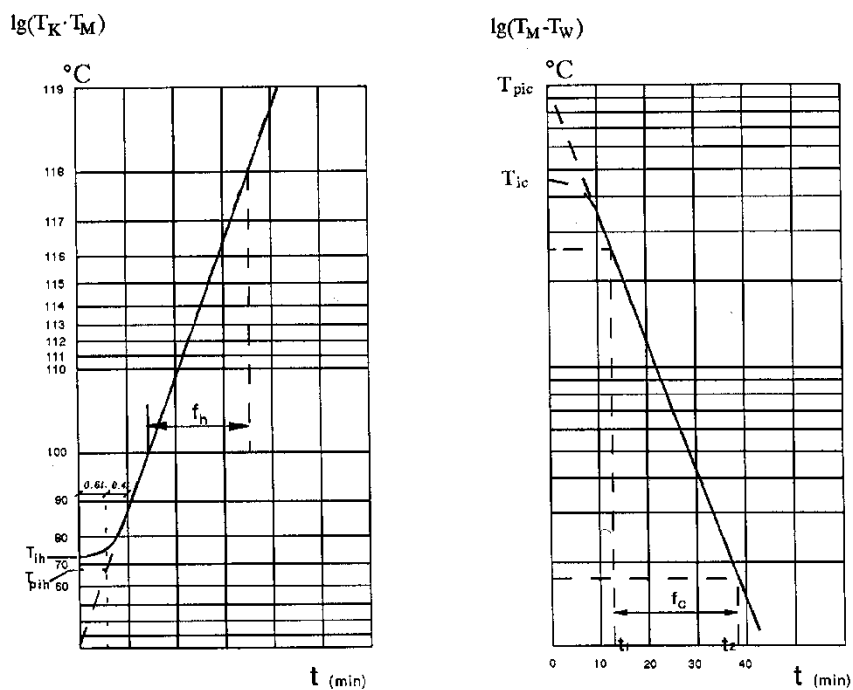
A Szekszárdi Húskombinátnak a Ceglédi Húsipari Vállalatnak és a Pápai Húskombinátnak a Zalahús RT.-nek, A Pick ZRt.-nek mérések engedélyezéséért és a nyújtott segítségért.

A Kaposvári Húskombinátnak a bentonit szuszpenziós mérésekhez biztosított dobozokért és azok lezárásáért.

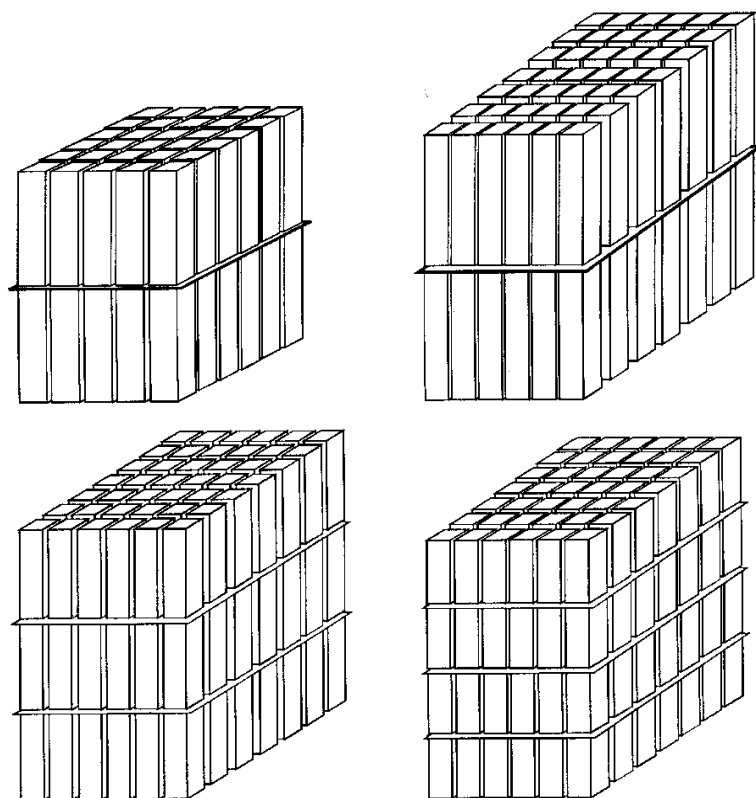
Albert Miklósnak a metamid rúd és a kísérleti felszerelések elkészítésében nyújtott segítségéért.

Végül a Szegedi Tudományegyetem Mérnöki Kar Élelmiszer-mérnöki Intézet dolgozóinak a dolgozat írása alatti segítségükért.

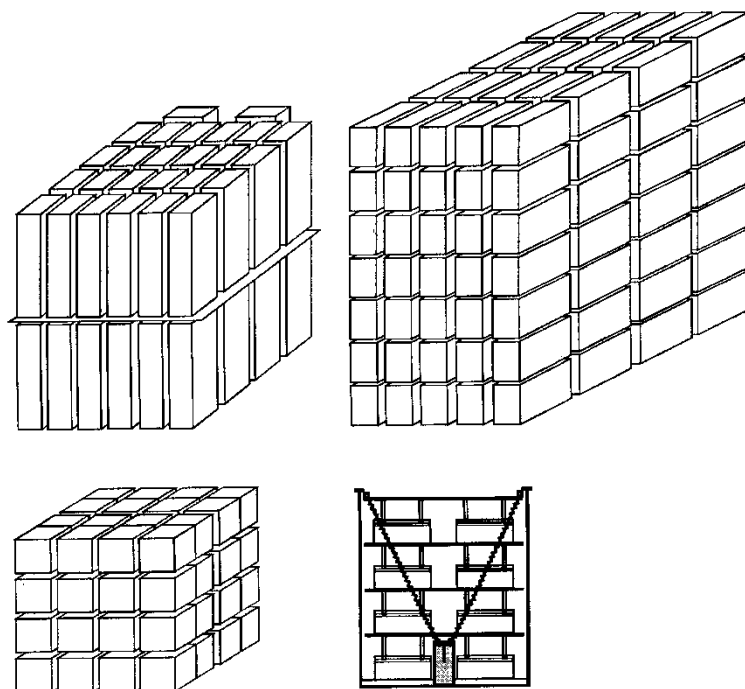
9. FÜGGELÉK



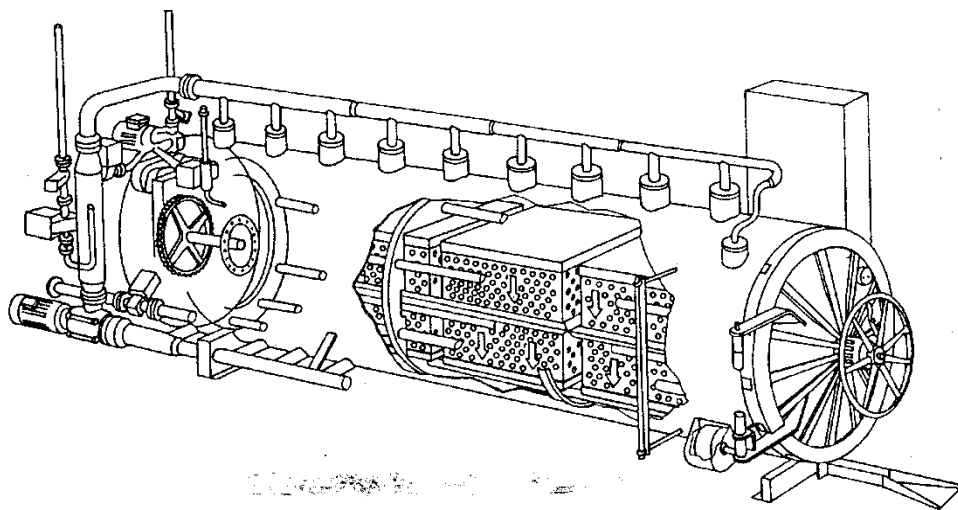
67. ábra: A Ball féle hőpenetrációs görbe a felmelegítés +tartás (Bal) és a hűtés (jobb) szakaszára



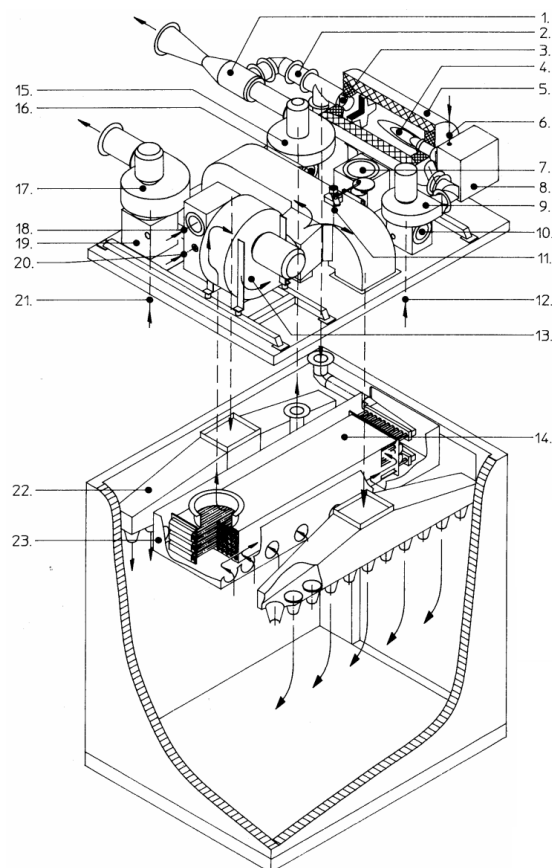
68. ábra: 11lb oblong dobozok elrendezése az autoklávban



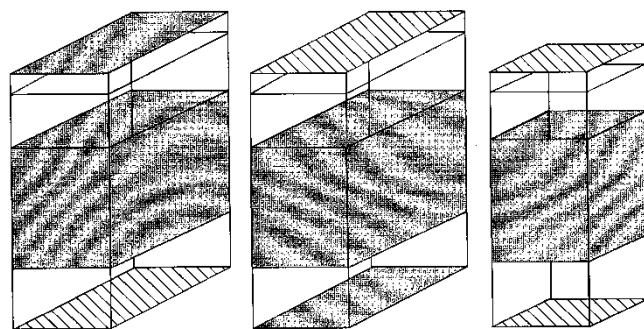
69. ábra: A 12 lb oblong dobozok elrendezése az autoklávban (bal felső és alsó), főzőszekrényben (jobb felső), pasztórkádban (jobb alsó)



70. ábra: A STOCK autokláv



71. ábra: A VEMAG és ATMOS főzőszekrény működési elve



Felső sor

Alsó sor

Középső sor

72. Ábra: A hőátadási viszonyok a különböző helyeken lévő dobozoknál

(sötét árnyékolás = körüláramlásos hőátadás, sraffozás = osztólappal érintkezés, fejtér = a felső üres téglatest)



73. ábra: ARMFIELD HT-1 THERMAL CONDUCTIVITY METER