

## Energia és vízfelhasználás csökkentése a húsiparban

Eszes Ferenc – Fenyvessy József

Szegedi Tudományegyetem,  
Szegedi Élelmiszeripari Főiskolai Kar,  
Élelmiszertechnológia és Környezetgazdálkodási Tanszék, Szeged  
feri@bibl.szef.u-szeged.hu

### ÖSSZEFOGLALÁS

A technológiai felülvizsgálatok időről időre szükségessé válnak, azért, hogy az új kutatási eredményeket, tapasztalatokat, új technológiákat és berendezéseket, valamint szervezési elveket a termelésbe bevonjuk, hogy azt olcsóbbá tegyük, és növeljük a nyereséget és versenyképességet. Vizsgálataink során célunk az volt, hogy megvizsgáljuk a hagyományos technológiákat és javítási lehetőségeiket. Ebben a közleményünkben a hőkezeléssel és a pácolással foglalkozunk részletesebben. A folyamatokat befolyásoló paraméterek meghatározásához a kísérlettervezés elveit alkalmaztuk. Ezután szimulációk és modellezések segítségével kerestük a környezetvédelmileg jobb technológiai programokat. Módszert dolgoztunk ki a kis átmérőjű termékek maghőmérsékletének mérésére a hasonlósági elv alapján. A hőkezelések vizsgálata során megállapítottuk, hogy a hőkezelési idő szignifikánsan csökkenthető a termék méretével és az annak megfelelő felületi hőtáadás intenzitással, környezeti hőmérséklet megválasztás, valamint a hűtési fázis alatti baktérium pusztítás figyelembevételével. A teljes energia megtakarítás mintegy 10-20%. A hőmérsékletérzékelő behelyezési hibát műanyag rúd alkalmazásával szüntettük meg. A termék és műanyag rúd hőmérsékleteiből egy görbe segítségével pontosabban nyomonkövethető a hőkezelési folyamat. Meghatároztuk a méretváltozatokat az egyes termékekre. A pácolásnál hasonló jelenségeket figyelhettünk meg. A diffúziós tényező meghatározásához a Ball módszert adaptáltuk, amelyet ezen a területen még nem használtak. Mintegy 5%-kal tudtuk csökkenteni a túlsózást és a NaCl veszteséget.

**Kulcsszavak:** hústermékek, energiafelhasználás, vízfelhasználás

### SUMMARY

The technology supervisions are needed from time to time in order to involve the new research results, experience, new technologies and equipments organising principles into the production and to make it cheaper and with less expenditure to increase the profitability and competitiveness. In the course of our investigation we aimed the analysis of the traditional technologies and improving of it. In this article we detail the heat treatment curing process. We applied the principles of experimental design for the determination of the main influencing parameters in the processes. Then we made simulations and modelling in seeking for the environmentally better technology programs. We developed a method for measuring the temperature development of products with small diameter using the similarity theory in unit operation. In the course of the analysis of the heat treatment processes we could state that the heat treatment time can be reduced significantly by decreasing the size of the product and choosing the right ratios among the surface heat transfer intensity, ambient temperature and involving the lethality obtained during the

cooling phase. The total sparing were about 10-20%. We solved the problem associated with the sensor placement error using a plastic material (metamid). We establish a curve between the real product temperature and plastic rod temperature by which the monitoring of the process became more accurate. We determine the size modification for different product sizes. In case of curing we observed very similar phenomena. For the determination of the diffusion coefficient we adopted the Ball-method not using in this field till today. We could reduce the excess saltiness and loss of NaCl with about 5%.

**Keywords:** meat products, energy use, water use

### BEVEZETÉS

A technológiai felülvizsgálatok időről időre szükségessé válnak, hogy az újabb kutatási eredményeket, tapasztalatokat, technológiákat és berendezéseket, szervezési elveket a termelésbe bevonhassuk, hogy olcsóbban, kevesebb ráfordításokkal állíthassuk elő termékeinket, így növelve a nyereségességet és a versenyképességet (Kárpáti és Szigeti, 1987; Szigeti et al., 1989). Ez azért is fontos, mert feltételezhetően a versenytársak is hasonlóan cselekednek. A fejlesztési folyamatban ezek bevezetése folyó termelés mellett a legnehezebb. További gondot okoz, hogy bár már léteznek az új eljárások, de nem minden aspektus tisztázott ezzel kapcsolatban, illetve kapacitás gondok merülnek fel (Eszes et al., 2003; Eszes et al., 2004). Erre egyik legjobb példa a hőkezelés, amelynél a nagy nyomás, a mikrohullám alkalmazása stb. esetén még nem tudtak egyértelmű megállapodásra jutni a reakció kinetikai paramétereiben, így a hőkezelés méretezése csak nagy túlbiztosítással végezhető el.

Feladatul tűztük ki a húsfeldolgozó üzemi folyamatok újratervezését, jobbítását. A számítógéppel segített tervezéssel megoldható, hogy a folyó termelésből vett adatok segítségével az üzemben nem kivitelezhető paraméter beállításokat megvizsgálhassuk annak érdekében, hogy milyen javítások tehetők a hagyományos technológiákban és azok milyen mértékben javíthatók. Munkánk során kísérlettervezést végeztünk a paraméterek hatásának jellemzésére, hőpenetrációra és pácolási műveletekre.

### ANYAGOK ÉS MÓDSZEREK

A hőkezeléses méréseket a PICK Rt. üzemeiben végeztük. A termékek töltelékes áruk voltak, gyártás technológiáikat és összetételüket részletesebben lásd Lőrincz és Lencsepeti (1973) művében.

A hőkezelések vizsgálata során az üzem hőkezelő rendszere (ATMOS) által rögzített mag és térhőmérsékleti adatokat használtuk fel egy perces rögzítési idővel. A hőpenetrációs görbékből a hőmérsékletvezetési tényezőt és a Biot számtól függő konstansokat a nem állandósult hővezetés Fourier-féle differenciál egyenletének végtelen soros megoldásával határoztuk meg (Wong, 1983).

A termék szimulációjához metamid (poliamid 6) rudat használtunk fel. Ennek hőtani paramétereit Fábry (1988) alapján tételeztük fel. A méréseknél alkalmazott méretek 40x200 mm és 80x200 mm voltak. A hőkezelést befolyásoló paramétereket kísérlettervezési módszerrel határoztuk meg (Kemény és Deák, 2000). Az alkalmazott paraméter tartományokat az 1. táblázatban tüntettük fel.

1. táblázat

A kísérlettervezésnél alkalmazott paraméter tartományok

| Paraméter(1)  | Alsó szint(2)        | Középső szint(3)      | Felső szint(4)       |
|---|----------------------|-----------------------|----------------------|
| Kezdeti hőmérséklet (°C)(5)                         | 10                   | 15                    | 20                   |
| Füstölési hőmérséklet (°C)(6)                       | 80                   | 90                    | 100                  |
| Főzési térhőmérséklet (°C)(7)                       | 72                   | 76                    | 80                   |
| Felületi hőátadási tényező (W/m <sup>2</sup> K)(8)  | 100                  | 250                   | 400                  |
| Hővezetési tényező (W/mK)(9)                        | 0,4                  | 0,425                 | 0,45                 |
| Hőmérsékletvezetési tényező (m <sup>2</sup> /s)(10) | 1,1·10 <sup>-7</sup> | 1,25·10 <sup>-7</sup> | 1,4·10 <sup>-7</sup> |
| Rúdátmérő (m)(11)                                   | 25                   | 65                    | 105                  |

Table 1 Parameter regions applied in experimental design

Parameter(1), Lower level(2), Middle level(3), Upper level(4), Product initial temperature(5), Smokig temperature(6), Cooking temperature(7), Heat transfer coefficient(8), Thermal diffusivity(9), Thermal conductivity(10), Rod diameter(11)

A hőkezelések modellezésénél vizsgáltuk a közeghőmérséklet és a Biot (felületi hőátadási tényező) szám változtatásának, a téli nyári hűtési hőmérséklet különbség és a hűtővíz hőmérséklet és a hűtés alatt kapott letalitás mértékét. Ez utóbbinál a referencia hőmérséklet 70°C, a z érték 10°C a cél mikroorganizmus a D-Streptococcusok, a figyelembe vett határérték a 12D-t jelentő EPT=36 voltak.

A diffúziós tényezőt tumblerben pácolt 3x3 cm-es húskockákban határoztuk meg. A sótartalmat RADIOMETER sótartalmammérővel határoztuk meg. A diffúziós tényező számításához Ball módszerét használtuk fel (Ramaswamy et al., 1982). A sótartalom alakulásokat véges differencia módszerrel modelleztük. A pácolás leállítási feltétel a végső sótartalomhoz szükséges összes pácsó mennyiség felvétele volt.

## EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK

A paraméterek kezelési időre gyakorolt hatását az 1. ábrán mutatjuk be. A maghőmérsékletre történő hőkezelés leállítás esetén a befolyási sorrend a termékek mérete függvényében nem változott, viszont látható volt, hogy az elérendő maghőmérséklet és a közeghőmérséklet egyre nagyobb befolyással bír a méret növekedésével, míg a hőmérséklet-vezetési tényező és a kezdeti hőmérséklet szinte nem befolyásolja az elérendő maghőmérsékletet. A felületi hőátadási tényező virsli és májas készítményekre közepes mértékű befolyással bír. Mind a főzés, mind a hűtés alatt látható volt, hogy 40 mm átmérőig mindegyik paraméter egyformán fontos, míg afelett a paraméterek hatása, mint az olló szétnyílik a fent vázolt arányokban. A kép jócskán megváltozott, ha a folyamatot az egyenérték kezelés elvei alapján állítottuk le.

1. ábra: A befolyásoló tényezők alakulása tartási idő alatt a sugár függvényében 69-71°C maghőmérséklet elérésekor

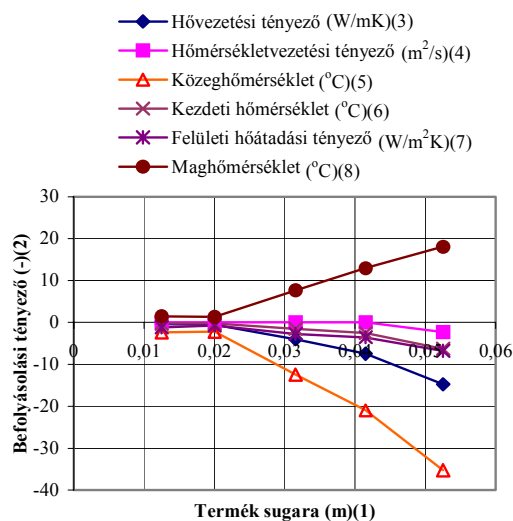


Figure 1: Development of the influencing factors vs. product radius for stopping conditions of reaching 69-71°C core temperature

Product radius(1), Influencing factor(2), Thermal conductivity(3), Thermal diffusivity(4), Ambient temperature(5), Initial temperature(6), Heat transfer coefficient(7), Core temperature(8)

Az egyenérték kezelés elvei szerinti leállításkor (Reichert, 1985) 40 mm-ig a kezdeti hőmérséklet és a felületi hőátadási tényező alakulás volt a legkisebb befolyással a főzési folyamat leállítására, míg a hőmérséklet-vezetési tényező egyre nagyobb befolyással bír. Érdekes, hogy a közeghőmérséklet 65 mm-nél eléri maximális befolyását, majd ennek mértéke ezután kicsit csökken, míg az elérendő egyenérték a 80 mm-es átmérőnél éri el a maximumát, és utána kismértékben csökken a

befolyásoló szerepe. A hőmérséklet-vezetési tényező hasonló lefutást mutat. Ez számunkra azt jelenti, hogy a méret alapján eltérően kell a paramétereket kezelni, ha változtatjuk a hőkezelés leállítás elvét, azaz a kis befolyású paramétereket vehetjük átlagértéken, míg a nagy befolyásúakat változóként kezeljük.

A főzés során az átméretezés csak úgy oldható meg a hőmérséklet alakulás hasonlóság alapján, ha ehhez a hozzátartozó egyenértéket is kiszámítjuk, és az ehhez rendelhető maghőmérsékletre végezzük az átszámítást. Egyébként főleg, ha a 70°C referencia hőmérsékletet átlépjük, jelentős hibát véhetünk mind a túlkezelés, mind az alulkezelés irányában. Az elérendő maghőmérséklet hőkezelés leállítási feltétel esetén a hűtési, illetve a melegítési idő nem csökkenthető felületi hőátadási tényező egy határon túli növelésével. Az jelentősen függ a méretektől. Ebben az esetben a közeghőmérséklet használható finombeállításra, míg a szokásos átmérő tartomány három részre osztható a hőátvitel intenzitása alapján:  $d < 40$ ;  $50 < d < 65$ ;  $d > 65$  (2. ábra). Ez ahhoz hasonló tendencia, mint amit a befolyásoló tényezők hatásának vizsgálatokor kaptunk.

2. ábra: A kezelési idő alakulása a felületi hőátadási intenzitás és az átmérő függvényében (közeghőmérséklet = 75°C, kezdeti hőmérséklet = 10°C, elért maghőmérséklet = 71°C)

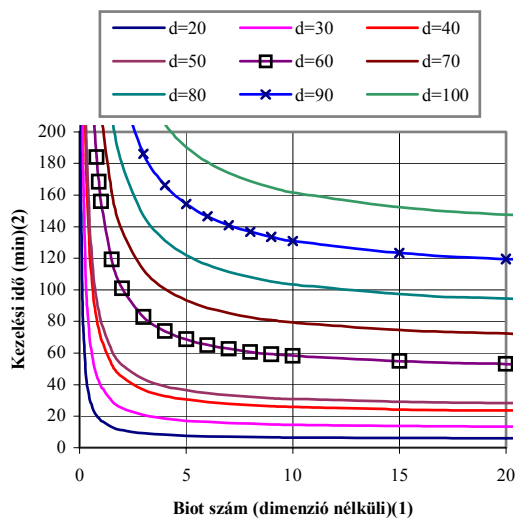


Figure 2: Development of treatment time vs. surface heat transfer intensity and diameter (ambient temperature = 75°C, initial temperature = 10°C, accomplished core temperature = 71°C, d = diameter in mm)  
Biot number (dimensionless)(1), Treatment time(2)

A 150 (nagy méretű termékek)-250 W/m<sup>2</sup>K (kisméretű termékek) felületi hőátadási tényező értékek, megközelíthetők a főző-szekrényekben a különböző (2 illetve 3) állásos ventilátor fokozatokkal, míg más esetekben érdemes frekvenciaváltós szivattyú- vagy ventilátorvezérlést alkalmazni az éppen szükséges levegő/víz térfogatáram beállítására. A termékek hőfelvétele szintén tükrözi ezt, sőt a felületi hőátadási tényező és a közeghőmérséklet együttes hatását a 3. ábra mutatja. Általánosan is azt mondhatjuk, hogy a

felületi hőátadási tényező és a közeghőmérséklet beállításával 20% energia megtakarítási lehetőség áll fenn. A HTST elv csak egy határig igaz.

3. ábra: A hőfelvétel alakulása a Biot szám és a térhőmérséklet függvényében

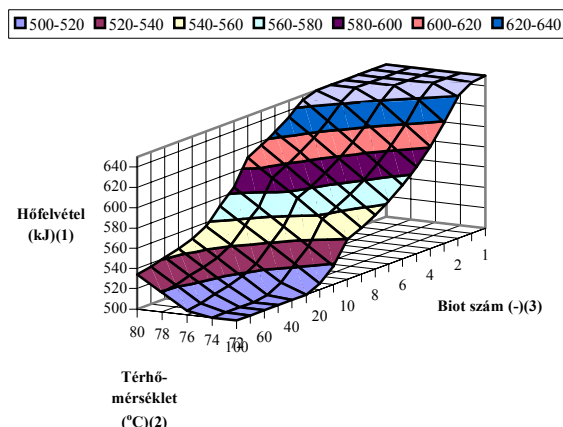


Figure 3: Development of heat absorption vs. Biot number and ambient temperature  
(Zala felvágott, D=105 mm, H=300 mm) (Zala sausage, Diameter=105 mm, Height=300 mm)  
Heat absorption(1), Ambient temperature(2), Biot number(3)

A hőkezelés túlméretezésének, az energia és vízfogyasztás csökkentésének érdekében megvizsgáltuk, hogy a hűtés alatt milyen mértékű a hőátadás, és mennyi a kapott hőkezelési egyenérték, hogy a főzési szakaszt minél hamarabb leállíthassuk, de ne okozunk alulkezelést (4. ábra). Vizsgálataink azt mutatták, hogy a kis átmérőjű termékeknél (virslis) érdemes a hűtést biztonsági tartalékként kezelni, de már a májasoknál és főleg a felvágottaknál jelentős hűtés alatti baktériumpusztulás történik (5. ábra).

4. ábra: A hűtési idő alakulása a termék átmérő és a Biot szám függvényében

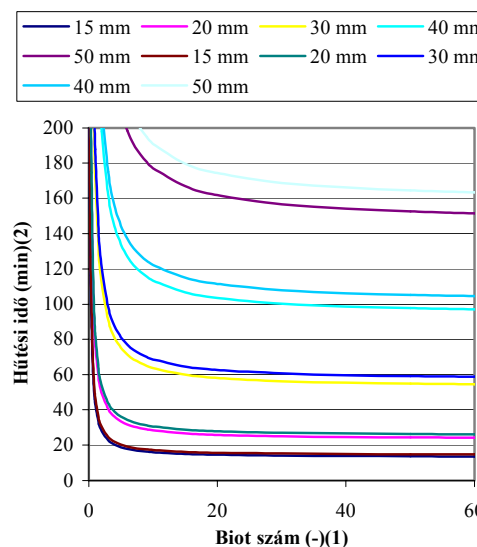


Figure 4: Development of the cooling time vs. product diameter and Biot number  
Biot number(1), Cooling time(2)

5. ábra: A hőkezelési egyenérték alakulása a hűtés alatt az átmérő függvényében

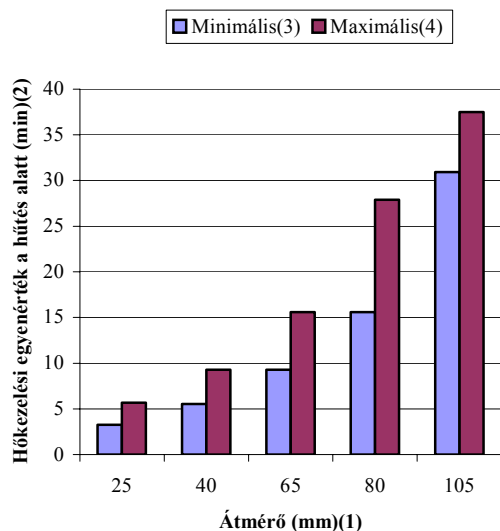


Figure 5: Development of the equivalent pasteurising time during cooling vs. product diameter

Diameter(1), Equivalent pasteurising time during cooling(2), Minimum(3), Maximum(4)

Ezt figyelembe véve a tartási idő 10-20 perccel is csökkenthető. A hűtés esetén a hűtési módok (szekrényben hűtés, tus alatti hűtés, hűtőalagútban hűtés) eltérő hűtés intenzitást eredményeztek.

A legkevesbé intenzív hűtés a szekrényben történő hűtés során megy végbe, főleg a főzőszekrény hőmérsékletének lassú csökkenése miatt. A tusolós hűtés során a felületi hőátadási tényező mintegy végtelennek tekinthető a tapasztalt evaporatív jelleg miatt. Ha túl sok vizet használunk fel, akkor az evaporatív hatás megszűnt, és a felületi hőátadási tényező  $200 \text{ W/m}^2\text{K}$  értékre csökkent.

A hűtőalagútban hűtés nagyon intenzív volt, de ezt a tusolós hűtés utánra ajánlhatjuk. A görbe illesztésekkel kapott hőtani paraméterek alapján az evaporatív hűtés a hűtés első szakaszában ajánlható, mert ekkor távozik a hő nagy része (több mint a fele), később már kevés hő szállítódik ki a termék felületére, amely nedves légárammal elvonható.

A fentiekben említett felületi hőátadási tényező határ növelése már nem hoz szignifikáns hűtési idő rövidülést. A hűtővíz hőmérsékletét csak mintegy  $10^\circ\text{C}$ -ra érdemes csökkenteni (6. ábra). Ezután egyre kisebb lesz a várható kapacitásnövekedés, és a hőkezelési időt kell ismét megnövelni a hiányzó letalítás eléréséhez, ami a hőkezelés energiaszükségletét megint csak növeli.

A maghőmérséklet mérő behelyezési hibáját jórészt objektív okok idézik elő (pl. puha paszta, az érzékelő önsúlya és a hő okozta elmozdulás). Ez főleg a kisátmérőjű termékeknél jár nagy eltéréssel, így azokban nem is mérik a maghőmérsékletet, hanem tapasztalati úton időre főznek. A nagyobb termékeknél is megnehezíti az adatok kinyerését és felhasználását a további számításokban. Egy könnyen megmunkálható anyag a metamid, amely kb. ugyanolyan hőtani jellemzőkkel bír, mint a

hústermékek. A hasonlóságelmélet alapján görbét szerkesztettünk a metamid rúd és a termék maghőmérséklete között (7. ábra). A meredekség egyhez nagyon közeli értéke jelzi a jó választást. A görbe segítségével a metamid rúdban mért érték átszámítható a termék hőmérsékletre.

6. ábra: A hűtővíz hőmérséklet hatása a maghőmérséklet alakulásra (Zala felvágott 105X300)

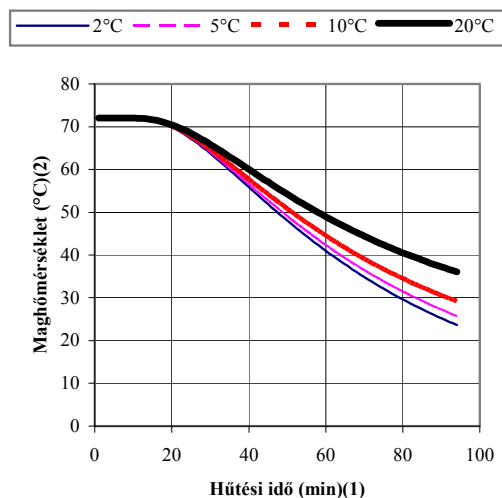


Figure 6: Effect of cooling water temperature on the core temperature development (Zala sausage 105X300)

Cooling time(1), Core temperature(2)

7. ábra: A metamid rúd és a virsli maghőmérsékletének kapcsolata

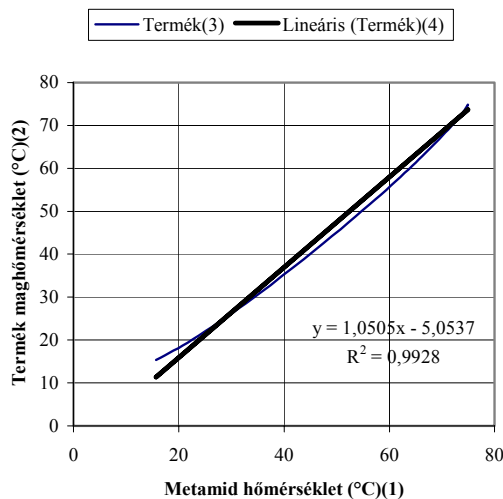


Figure 7: Development of the core temperatures of metamid rods and wiener sausage

Metamid temperature(1), Product core temperature(2), Product(3), Linearised product(4)

A pácolási számításokhoz elengedhetlenül szükséges diffúziós tényező meghatározása a Ball módszerrel jól sikerült, amit a jó korrelációs együttható is mutat (8. ábra). Az általunk átlagosan kapott  $D=9 \cdot 10^{-11}$  érték adta a legjobb illeszkedést a görbéinkhez. Ez közel volt az irodalomban megadottakhoz ( $22 \cdot 10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}$ ) (Saravacos, 1986). Megállapítottuk, hogy a méretcsökkentés révén az

általánosan alkalmazott 16-20%-os páclé koncentráció lecsökkenthető 12-14%-ra (9. ábra). Ekkor a gépsonka pácolása már versenyképesebb lesz a mai tumbleres technológiával szemben is. Ez tonnánként mintegy 80 kg só megtakarítással járna, ami a vizet terelné, mivel ma a páclé regenerálással nem foglalkoznak élelmiszerbiztonsági megfontolások miatt.

8. ábra: A sópenetrációs görbe Ball szerint

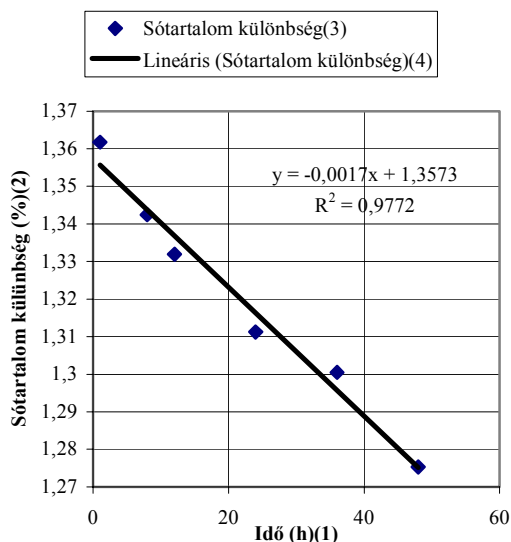


Figure 8: Salt penetration curve according to Ball  
Time (hour)(1), Salt content difference(2), Salt content difference(3), Linearised (salt content difference)(4)

9. ábra: A só tartalom alakulása különböző páclé koncentrációk esetén (kicsontozott comb)

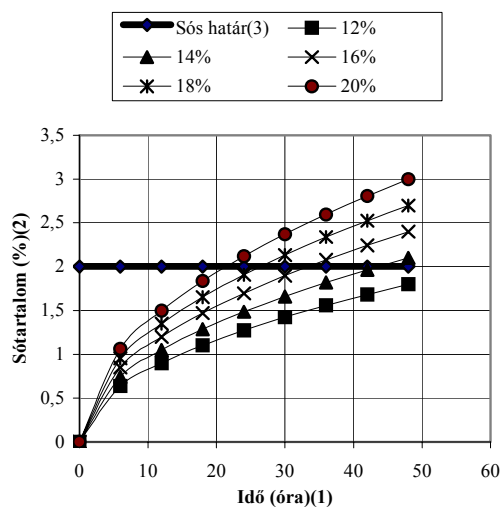


Figure 9: Development of the salt content of the product in case of different lake salt content (deboned leg)  
Time (hour)(1), Salt content(2), Saltiness limit(3)

## VÉGGÖVETKEZTETÉSEK

Felsorolt példáink azt bizonyítják, hogy érdemes a technológiai folyamatok vizsgálatát elvégezni, mert igenis nagy tartalékok rejlenek az olyan energia felhasználásban, amelyet a termék maga sem igényel, így felesleges energiaráfordításokat, környezetterheléseket kerülhetünk el. A mérések és számítások váltakozó elvégzésével az eredményeket folyamatosan pontosíthatjuk, a számítógépek segítségével a hibás gyártások kiküszöbölhetők, és a különböző paraméter-beállítások eredményei a valós folyamatoknál gyorsabban kaphatók meg.

## IRODALOM

- Eszes F.-Rajkó R.-Szabó G. (2003): Energia és vízfelhasználás csökkentés lehetőségeinek feltárása a húsiparban. 10<sup>th</sup> Symposium on Analytical and Environmental Problems, Az MTA Szegedi Akadémiai Bizottság Kémiai Szakbizottság Környezetvédelmi és Analitikai Munkabizottsága, Szegedi Tudományegyetem, Szeged, 2003. szeptember 29. Proceedings, 169-174.
- Eszes F.-Rajkó R.-Szabó G. (2004): Energia felhasználás csökkentése változó közeghőmérsékletű hőkezeléssel. The 11<sup>th</sup> Symposium on Analytical And Environmental Problems, A SZAB Kémiai Szakbizottság Környezetvédelmi és Analitikai Munkabizottsága, Szegedi Tudományegyetem, Szeged, 2004. szeptember 27. Proceedings, 69-74. ISBN 963 217 1470
- Fábry Gy. (1988): Vegyipari Gépészmérnökök kézikönyve. Műszaki Könyvkiadó, Budapest
- Kárpáti Gy.-Szigeti J. (1987): Új starterkészítmények alkalmazása húsipari készítmények gyártásához. Nemzetközi Mezőgazdasági Szemle, 31. 3. 49-52.
- Kemény S.-Deák A. (2000): Kísérletek tervezése és értékelése. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 341-372.
- Lőrincz F.-Lencsepeti J. (1973): Húsipari kézikönyv. Mezőgazdasági Könyvkiadó, Budapest
- 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. General of Food Science, 47. 6. 2042-2047, 2065.
- Reichert, J. E. (1985): Wärmebehandlung von Fleischwaren. Hans Holzman Verlag GmbH & Co., Bad Wörishöfen, 5-30.
- Saravacos, G. D. (1986): Mass Transfer Properties of Foods. In: Rao, M. A.-Rizvi, S. S. H.: Engineering Properties of Foods. Marcel Decker New York-Basel
- Szigeti J.-Reichert O.-Kárpáti Gy.-Farkas L. (1989): Egyszerűsített starterkultúra-koncentrátum előállítás és a termék ipari alkalmazhatóságának vizsgálata. Acta Ovariensis, 31. 2. 5-19.
- Wong, H. Y. (1983): Hőátadási zsebkönyv. Műszaki Könyvkiadó, Budapest