

FABULYA ZOLTÁN*–HAMPEL GYÖRGY** Hőkezelési folyamat számítógépes modellezése

Abstract

The heat treatment of cans, particularly canned meat, is a process with a big energy need, since the cans need sterilization, a heat treatment with a long time span around 120°C with the use of fuel gas in big quantity. The reduction of the use of the natural resources is the challenge in our days which appears in the new system approach of the environment management, the principle of sustainable development. That is to say, let us produce the same amount of products with less energy consumption, or more amounts with less specific energy consumption.

The heat treatment is used to avert microbiological danger. The operation regulation has to be defined in a way which produces a microbiologically reliable product, but does not harm its organoleptic peculiarities, substance, taste and flavour because of the oversized treatment. In the interest of safety we have to define the extent and the time span of the heat effect leading to the destruction of the microbiological pathogens with the use of engineering calculations, modelling and computer simulation. We also have to secure the observance of the regulations obtained this way for the sake of the higher quality and the less resource utilization. This observance ability is answered with the help of our developed model for the computer simulation of heat treatment processes.

1. Bevezetés

A kényelmi termékek, így a konzervek alkalmazásáról csak az tud megalapozottan dönteni, aki ismeri azok előnyeit, összetételét és alkalmazási módját. Ezek ismeretében fel tudja mérni, hogy mit nyerhet használatukkal. Egyértelmű előnyként fogalmazható meg a gyorsabb ételkészítés lehetősége, a korszerűen bővíthető ételkínálat (új ízek megjelenése), amely a változatosság egyik garanciája lehet. A biztonságos és higiénikus alkalmazás, a hosszú szavatossági idő, az állandó jó és ellenőrzött minőség, a széles körű felhasználhatóság, valamint a nem várt, ún. szükséghelyzetek megoldása a konzervek fő jellemzői. A feldolgozottság fokától függően emelkedik a felhasznált készítmények ára, de a kényelmi termékek imént felsorolt előnyei ezt többszörösen kompenzálják, és az így készült étel ára összességében alacsonyabb lehet.

A hőkezelés, mely a hosszú eltarthatóságot teszi lehetővé, mikrobiológiai veszély elhárítására szolgál. Ezért a nem megfelelő munkavégzés, a műveleti előírás megsértése súlyos következményekkel is járhat. Így ez a művelet élelmiszer-biztonsági szempontból kritikus pontnak tekinthető. A veszély elhárítása annál hatékonyabb, minél nagyobb mértékű a hőkezelés. Ennek bizonyos határon túli növelésekor azonban már jelentős minőségromlás következhet be, az élelmiszer érzékszervi sajátosságait, állományát, ízét, illatát érheti súlyos károsodás (felületi elszíneződés kenőmájasoknál, lé eresztés és zselé kiválás húsoknál stb.). A műveleti előírást ezért úgy kell meghatározni, a szabályozást pedig úgy kell kialakítani, hogy a művelet mindkét cél követelményeit nagy biztonsággal kielégítse.

* Adjunktus – Szegedi Tudományegyetem, Mérnöki Kar, Ökonómiai és Vidékfejlesztési Intézet.

** Adjunktus – Szegedi Tudományegyetem, Mérnöki Kar, Ökonómiai és Vidékfejlesztési Intézet.

A konzervek hőkezelése, különösen húskonzervek esetén nagy energiaigényű folyamat, mivel sterilizést, 120 °C körüli, hosszú időtartamú hőkezelést igényelnek. A természeti erőforrások felhasználásának csökkentése közös feladat a felhasználók számára. Ezt régen energiatakarékosságnak neveztük, de ez a tevékenység ma már kibővül a környezet mednezsmet új rendszerszemléletével, a fenntartható fejlődés elvével, azaz kevesebb energia felhasználással termelni ugyanannyi terméket, vagy több terméket előállítani fajlagosan kevesebb energia felhasználás mellett [Kerekes és Szlávik (1996)]. Bár ezeknek (pl. víz, elektromos és hőenergia) a felhasználásoknak a csökkentése nyilvánvaló költségcsökkentést, gazdaságosság javulást eredményez, nehéz keresztülvinni a megvalósítást az üzemekben, mert az elszámolás pótlékolva, átlagosan történik, nem tesznek különbséget a valós felhasználás alapján, így a pazarlások, túlzott mértékű felhasználások nem mutathatók ki egyértelműen, mint ahogy a minőségi javulás és a beltartalmi érték növekedése sem.

A szigetelések megtétele a berendezéseken még könnyű, de utána már a technológiai folyamatokat kell megváltoztatni, ami az élelmiszereknél rögtön élelmiszerbiztonsági problémákat vet fel. Ráadásul az üzemek nemigen akarnak változtatni a bevált hőkezelési programokon. További gondot jelent a drága mérőműszerek beszerzése az érzékelők folyamatos cseréje az elhasználódás miatt. Ennek következtében csak a legszükségesebb adatokat mérik. Ez a hőkezelésben a mag- és térhőmérsékletre korlátozódik. A hőkezeléses szakirodalomban, a 70-es években az általános hőveszteség kérdésével foglalkoztak [Rao et al. (1976, 1978), Singh (1978)]. A 80-as években a hőhasznosítás és hőfelvételi arányok témakörében jelentek meg közlemények [Sielaff et al. (1982), Bhowmik et al. (1985), Singh (1986)]. Mivel a szigetelések a berendezéseken léteznek, a technológiai folyamatokat kell változtatni. Mérnöki számításokkal élni. A fentiekben említettek és a sokféle paraméter és eljárás miatt a mérnöki számításokat, modellezést, számítógépes szimulációt érdemes bevonni ebbe a körbe. Meg kell határozni a mikrobiológiai kórokozók pusztulását eredményező hőhatás nagyságát és időtartamát a biztonság érdekében, valamint biztosítani kell az így kapott előírások betartását, betarthatóságát a magasabb minőség miatt.

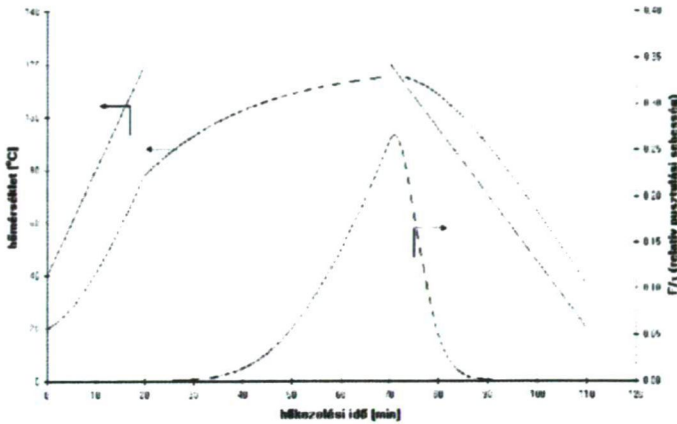
E munkánkban bemutatjuk egy hőkezelési folyamat gőzigényének időbeli alakulásának leírására elkészített matematikai modellünket és a modellt felhasználó szimulációs alkalmazásunkat párhuzamosan zajló folyamatok együttes erőforrás-felhasználásának meghatározására.

2. Anyag és módszer

1.1. Hőkezelési egyenértékek, a hőkezelés idő és hőmérséklet szükségletének számítása

A mikroorganizmusok hőkezelése során történő pusztulásával századunk 20-as éveitől kezdve behatóan foglalkoznak. A legfontosabb mikroorganizmusok nedves hőre bekövetkező pusztulása negatív exponenciális összefüggéssel írható le (ez elsőrendű reakciónak megfelelő kinetikai leírás, és elfogadhatóságának biológiai oka feltehetőleg az, hogy nedves hő hatására az életfontosságú (vitalis) fehérjék alvadnak meg monomolekuláris reakciónak megfelelően), mely szerint az egymást követő, azonos hőkezelési időtartamok után a mindenkor kezdeti élőcsíraszámnak mindig azonos hányada marad életben.

Egy adott mikroorganizmus és egy állandó hőmérséklet esetén a D érték jelöli a tizedre csökkenési időt. „ z ” a tizedre csökkenési időnek (D) egy nagyságrenddel történő csökkenéséhez tartozó hőmérséklet növekmény. Az F -fel jelölt hőkezelési egyenérték a legrégebben használt egyenérték. F_0 ugyanaz, mint F , de megállapodás szerint $z=10$ °C-nál. Az F_0 érték azt fejezi ki, hogy az adott hőkezelés során a tárgy hidegpontján mérhető változó hőmérsékletek a 10 °C-os z -értékű mikroorganizmusra olyan pusztító hatást fejtene ki, amely F_0 percnyi 121,1 °C-on tartással egyenértékű. Az F_0 érték alapján a különböző hőkezelések hatékonysága összehasonlítható.



2. ábra. Sterilizési görbe szerkesztése a hőbehatalási görbe alapján

Amennyiben a $z=10$ °C-t mutató mikroorganizmus hőpusztulási sebességét $121,1$ °C-on egységnyinek tekintjük, akkor pl. 100 °C-on a relatív pusztulási sebesség csak $0,0077625$, azaz 100 °C-on $1/0,0077625=128,8$ -szor hosszabb idő alatt következik be azonos mérvű pusztulás, mint $121,1$ °C-on. Ha a z -érték nagyobb, mint 10 °C, akkor az F/τ -érték a hőmérséklet növelésével kisebb mértékben nő és megfordítva.

A Clostridium botulinum spórák különböző közegekben meghatározott hőpusztulási görbének z -értéke $14,7$ – $16,3$ °F között, a nemzetközileg összehasonlítható alapul ugyancsak elfogadott Clostridium sporogenes P.A. 3679 jelű rothasztó anaerob baktériumtörzs spórái pedig $z=16,6$ és $20,5$ °F értékek között mozog. Ezért szokás átlagértékként $z=18$ °F= 10 °C-kal számolni. A Clostridium botulinum spóráknál észlelt legnagyobb D-érték $0,21$ perc volt $121,1$ °C-on. Világszerte elfogadott eljárás, hogy a $4,5$ -nél nagyobb pH-jú élelmiszerek (mint a húsok) hőkezeléses sterilizálásánál egészségügyi szempontból minimálisan olyan hőkezelést követelnek meg, amely Clostridium botulinum spórák 12 nagyságrendnyi pusztulását idézi elő. Ez az ún. $12D$ elv. Ehhez $12 \cdot D$ percnyi, azaz $121,1$ °C-on $12 \cdot 0,21=2,52$ perces hőkezelési idő szükséges (a Clostridium botulinum spórák F -értéke tehát $2,52$ perc). Más hőkezelési hőmérsékletek esetére szükséges hőkezelési időket az előbbieken alapján a $z=10$ °C érték figyelembe vételével lehet kiszámítani.

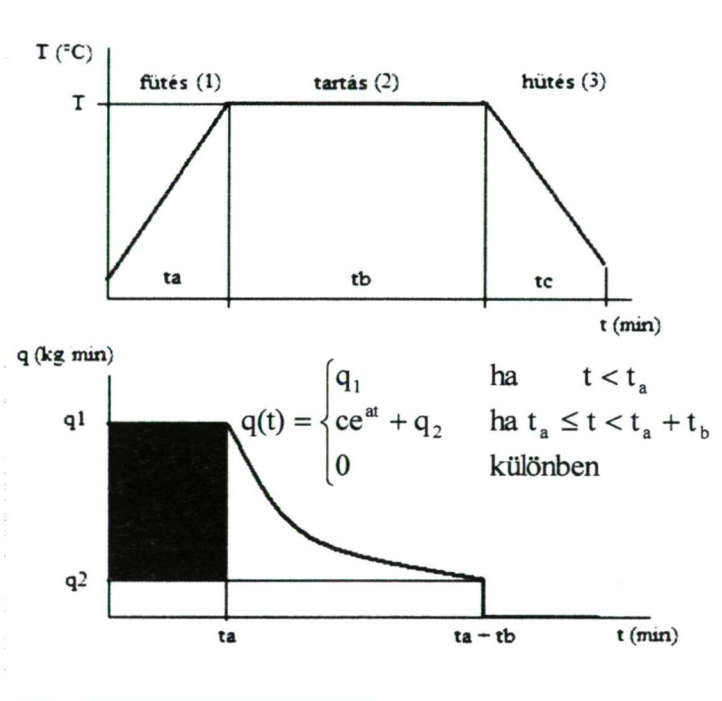
Az élelmiszerekben azonban a Clostridium botulinum spóráknál nagyobb hőtűrűsű baktériumspórák is előfordulhatnak – főleg a nagy optimális szaporodási hőmérsékletű, termofil baktériumoké, amelyek a konzerv nagyobb hőmérsékletű tárolása esetén jelentősen különösen súlyos romlási veszélyt. Ezért a termék összetételét, mikroflóráját és tárolási körülményeit is figyelembe véve kell megállapítani, hogy az adott konzerv gyártásánál az alkalmazandó hőkezelés hányszorosa legyen az egészségügyi minimumnak.

A pH $4,5$ -nél savasabb termékekben a Clostridium botulinum elszaporodásával nem kell számolni, és a $12 D$ -elvet sem kell alkalmazni. A savas közeg jelentősen csökkenti a spórák hőellenállását, és az ilyen termékek tartósítására gyakran a 100 °C alatti hőkezelés is elegendő, amelynek F_0 -egyenértéke csak néhány század-ezred perc.

2.2. Egy hőkezelési folyamat gőzfelhasználásának modellezése

A hőkezelést zárt, nyomástartó berendezésekben (autoklávokban) végzik, melyekből jellemzően 10 – 20 tudja biztosítani [Eszes et al., (2003)] a több gyártósorról eltérő ütemben érkező, különböző méretű, geometriájú, tartalmú konzervek hőkezelését. Egy berendezés-

ben akkor indul el a hőkezelési folyamat, amikor az azonos hőkezelési előírású termékek-
ből összegyűlt mennyiség tele töltetet eredményez. Így biztosítható az alacsonyabb fajla-
gos energiafelhasználás. Automatika szabályozza az előírások betartását a megfelelő gőz-
mennyiség adagolásával a felfűtési és hőntartási fázisban, míg a hűtés során hűtővíz beve-
zetésével. Az 3. ábra felső részén az idő függvényében látható az előírt hőmérséklet (a
sterilizési görbék alapján kalkulált ismert adatok), alatta az ehhez szükséges gőz tömeg-
áram időbeli alakulása (ismeretlen, meghatározandó).



3. ábra. Az előírt hőmérséklet és a gőz tömegáram időbeli alakulása

Sterilizési görbe alapján meghatározott termékfüggő adatok:

- T – elérendő hőmérséklet (°C)
- t_a – felfűtési idő (perc)
- t_b – hőntartási idő (perc)
- t_c – hűtési idő (perc)

Meghatározandó a $q(t)$ gőz tömegáram (kg/perc) paraméterei.

- Q – felfűtés gőzigénye (kg), terméktől független állandó
- q_2 – gőz tömegáram vesztesége (kg/perc), terméktől független állandó
- c, a – $q(t)$ függvény görbületi paraméterei, egyikük terméktől független, mely a másikat meghatározza.

3. Eredmények és értékelésük

3.1. A gőz tömegáram matematikai modelljének meghatározása

A valós jelenségek modellezése során minden körülményt figyelembe vennünk lehetetlen, vagy legalábbis nem érdemes. Az egyszerűbb modell, illetve sokszor csak a modellezhetőség érdekében a kevésbé jelentős vagy csak annak hitt részleteket ki kell hagynunk. Viszont a túlzott egyszerűsítés nem mehet a modell rovására. Fel kell derítenünk a jelenséget, folyamatot leíró paramétereket, és a köztük lévő kapcsolatokat.

Egy berendezésben egy termék hőkezelési folyamata során az idő függvényében kell meghatározni a gőz tömegáramot. A gőz tömegáram vesztesége (q_2) a berendezés falán át időegység alatt távozó hőmennyiség. Ez függ a berendezések szigetelésétől, valamint a belső és külső hőmérséklet különbségétől. Viszont a berendezések egyformának tekinthetők és minden termék pár foktól eltekintve azonos hőmérsékleten kezelendő, ezért q_2 terméktől független állandónak tekinthető a folyamat teljes időtartama alatt.

A felfűtés időtartamának teljes gőzigénye (Q) függ a termék tömegétől, valamint a kezdeti és végső hőmérsékletek különbségétől. De ezek szintén minden terméknél közel egyezők, így Q szintén terméktől független állandó.

Az eddigi adatok (q_2 , Q) és felfűtés időtartamának (t_a) ismeretében már a felfűtési fázis egységnyi idejére jutó gőzmennyiség, vagyis a gőz tömegáram (q_1) már számítható:

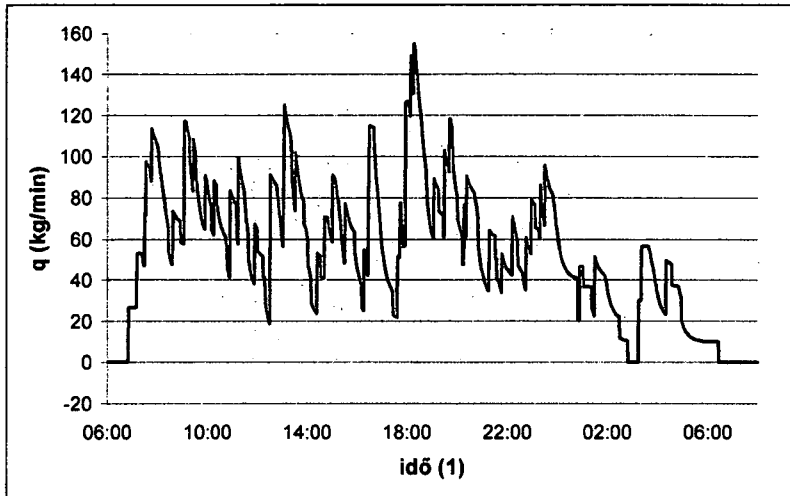
$$q_1 = q_2 + \frac{Q}{t_a}$$

A hőkezelési folyamat hőntartási fázisában a konzervek folyamatosan melegek a berendezésben uralkodó hőmérsékletre, így exponenciálisan csökken a szükséges gőz tömegáram a q_1 értékről. Az exponenciális ív görbületét az 'a' és 'c' paraméterek bármelyikének megadásával leírhatjuk, míg a másik értéke abból a feltételből adódik, hogy az ív a q_1 értékről induljon a hőntartás kezdetekor (a t_a időpillanatban). Például az 'a' paraméter tetszőleges (persze negatív) választása esetén:

$$q(t_a) = c \cdot e^{at_a} + q_2 = q_1 \Rightarrow c = \frac{q_1 - q_2}{e^{at_a}}$$

3.2. A matematikai modell paramétereinek beállítása

Az eddigi eredményeink alapján egyetlen berendezésben zajló hőkezelési folyamat gőzigényét tudjuk számítani három tetszőleges választható paraméter (q_2 , Q , a) alapján. Most arra keressük a választ, hogy e paraméterek mely érték kombinációja adja a legjobb modellt. Ehhez a valós folyamat mért adatait kell összehasonlítani a számítottal, s a legkisebb eltérést eredményező érték kombinációját keressük a modellt leíró paramétereknek. Viszont ezekkel a mérhető adatokkal nem rendelkezünk, s a vállalat nem is tervezi csak a modell egyszerűbb meghatározásához szükséges igen költséges műszer beszerzését. Ezért a modell paramétereinek pontosítása a gőzt előállító kazánnál mért gázfelhasználás alapján történhet a számított adatoktól eltérés alapján. Ehhez pedig olyan számítógépes szimulációs eszközt kellett kialakítani, mely egy 24 órás időintervallumban percről percre képi a párhuzamosan működő berendezésekben egymás után lejátszódó hőkezelési folyamatok modell alapján számított pillanatnyi gőzigényeinek összegét (4. ábra), melyből már számítható a berendezések gőzellátását biztosító kazán gázszükséglete.



4. ábra. Több párhuzamosan működő berendezés összegzett gőzfogyasztása

4. Következtetések és javaslatok

A ténylegesen már lejátszódott hőkezelési folyamatok alapján számítógépes szimulátorunkkal kapott és mért gázfelhasználási adatok alapján matematikai modellünk paraméterei meghatározhatók. De ekkor már a jövőben tervezett hőkezelések gázfelhasználásának időbeli lefutása is kalkulálható, így megelőzhetjük a kazán egyenetlen terheléséből adódó gázfelhasználás növekedését. Ezt elérhetjük a hőkezelések megkezdésének késleltetésével a hőkezelő üzemen, valamint gyártásprogramozással a gyártóvonalaknál. Ehhez megfelelő számítógépes programokra, alkalmazásokra van szükségünk, melyek kialakítása további kutatómunkánk feladata.

Irodalom

- Bhowmik, S. R., Vichnevesky, 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) pp. 15–23.
- Eszes, F., Rajkó, R., Szabó, G. (2003): Energia és vízfelhasználás csökkentés lehetőségeinek feltárása a húsiparban. 10 Symposium on Analytical and Environmental Problems, MTA Szegedi Akadémiai Bizottság Kémiai Szakbizottság Környezetvédelmi és Analitikai Munkabizottsága, Szegedi Tudományegyetem, Szeged, 2003. szeptember 29. Proceedings, pp. 169–174.
- Kerekes, S., Szlávik, J. (1996): A környezeti menedzsment közgazdasági eszközei. Környezetvédelmi kiskönyvtár 2. Közgazdasági és Jogi Könyvkiadó.
- 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.
- 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.
- Sielaff, H., Andrae, W., Oelker, P. (1982): Herstellung von Fleischkonserven und industrielle Speisenproduktion. VEB Fachbuchverlag Leipzig, 230–239.
- Singh, R. P. (1986): Energy in Agriculture Volume I. Energy in Food Processing. Elsevier Amsterdam-Oxford-New York-Tokio.
- Singh, R. P. (1978): Energy accounting in food process operations. *Food Technology* (32) (4) 40–43.