

Numerično kuhanje za pripravo pasteriziranih mehko kuhanih jajc

Marjan Jenko

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo, Slovenija

Razvoj novega termičnega procesa in naprave za pripravo pasteriziranih mehko kuhanih jajc je zahteval tudi študijo občutljivosti dinamike temperaturnega polja v kurjem jajcu ob segrevanju na njegove snovno dimenzijske lastnosti. Za ta namen je razvit simulator časovno odvisnega konduktivnega prehajanja toplote v dveh dimenzijah za osno simetričen objekt. Poudarek je na hitrosti računanja in na nadgradljivosti funkcionalnosti simulatorja. Eden od ciljev je simulacija, ki je bistveno hitrejša od termičnega procesa v realnem času. To omogoča sodelovanje simulacije scenarijev v krmiljenju procesov.

Zadnjih 30 let za simulacijo prehajanja toplote uporabljamo metodo končnih elementov (MKE) in v manjšem obsegu tudi metodo končnih razlik (MKR). Pri obeh metodah najprej določimo simulacijsko mrežo. Z obema metodama izračunamo temperature v vseh mrežnih vozliščih naenkrat s pomočjo reševanja sistema enačb. Za računanje stacionarnega prehajanja toplote je to optimalen pristop. Tranzientna simulacija, oziroma računanje prehodnih pojavov, pa je časovno zahtevno, saj za vsak trenutek t računamo vse temperature mrežnih vozlišč z reševanjem sistema enačb. Tak pristop k simuliranju toplotnega prehodnega pojava je na današnjih in jutrišnjih računalnikih počasnejši od prehajanja toplote v realnem času.

Za doseganje hitrosti simuliranja tranzientnega prehoda toplote je potrebno reševanje sistema enačb za vsak čas t pohitriti ali pa nadomestiti s postopkom z manj računanja. K prvemu inkrementalno prispeva stalen razvoj strojne opreme, v tem prispevku pa je prikazan postopek z manj računanja. Z lokalnim računanjem Fourierove enačbe prehajanja toplote za vsak čas t prehodnega pojava tranzientno simulacijo v primerjavi z MKE pohitrimo za več kot velikostni red, na danem primeru za 2 velikostna reda. Simulacija verifikacijskega primera je tudi na skromnejši platformi lahko 10 krat hitrejša od termičnega procesa v realnem času. MKE in MKR pa ostajata v prednosti pri hitrosti računanja stacionarnega prehajanja toplote.

Tranzientne simulacije prehajanja toplote v kurjem jajcu pokažejo, da na hitrost segrevanja najbolj vplivata velikost jajca in velikost rumenjaka, manj pa debelina lupine, položaj rumenjaka, formiranje zračnega žepa s staranjem jajca, spremembe toplotne prevodnosti in kapacitivnosti beljaka ob delni koagulaciji. Določitev občutljivosti dinamike temperaturnega polja na snovno geometrijske lastnosti jajca je nujen korak v razvoju termičnega procesa za izdelavo pasteriziranih mehko kuhanih jajc. Zahteve so namreč kontradiktorne: rumenjak ne sme koagulirati, za več velikostnih razredov pa je potrebno zmanjšati eventualno okužbo s salmonelo in preostanek salmonel mora biti bistveno oslavljen. Organoleptične lastnosti procesiranih jajc in referenčne bakterijske meritve v pooblaščenem inštitutu Fresenius potrjujejo ustreznost novo razvitega termičnega procesa, udejanjenega v napravi Zlato jajce.

Na simulacijah referenčnih objektov bo potrebno ugotoviti velikost odstopanj med simulacijo z MKE in predstavljeno metodo, za katere pa že po simulacijah občutljivosti spreminjanja toplotnega polja v kurjem jajcu na snovno geometrijske parametre ugotavljamo, da so lahko dovolj majhna – kriterij zavisi od zahtev konkretne naloge.

Ključne besede: tranzientna simulacija prehajanja toplote, Fourierov zakon prevajanja toplote, termično procesiranje hrane, simulacija s fiksno mrežo, pasterizirana mehko kuhana jajca