

ВОВЕД

Прехранбените материјали претставуваат повеќефазни системи, вклучувајќи ја водата како една од најважните компоненти. Состојбата на водата во прехранбениот систем, под различни надворешни услови, температура и притисок, е од круцијална важност за заштитата и зачувувањето на нутритивните вредности и органолептичките карактеристики на прехранбените материјали. Констатацијата дека причината за развојот на микроорганизмите во материјалот е водената активност, а не содржината на вода, претставува значајна придобивка во прехранбената индустрија.

Водената активност е клучен параметар за предвидување на стабилноста и рокот на употреба на прехранбените материјали, од причини што најголемиот број микробиолошки и биохемиски реакции се условени од нејзината вредност. Познавањето на минималната вредност на водената активност што дозволува развој на одредени микроорганизми, како и состојбата на механичка и топлинска рамнотежа на материјалот со околната средина, се едни од најважните параметри кои ја карактеризираат стабилноста на материјалот.

Рамнотежната содржина на влага има фундаментална улога во прехранбената индустрија и технологијата од аспект на дизајнирање и оптимизација на процесите и опремата за сушење, дизајнирање на амбалажата за пакување на сушените производи, предвидување на квалитетот и стабилноста, како и пресметка на промената на содржината на влага во исушениот материјал за време на неговото складирање. Меѓутоа, заради комплексната структура на прехранбените материјали, вредноста на рамнотежната содржина на влага не може да се определи по теориски пат, па затоа истата се определува експериментално, со определување на изотермите на сорпција.

Од спроведените детални истражувања во осум релевантни списанија со влијателен фактор, констатирано е дека определувањето на сорпционите изотерми на прехранбените материјали е подрачје кое сè уште го привлекува вниманието на голем број истражувачи. Некои прехранбени материјали (овошја, зеленчуци, зрнести и прашкасти материјали) традиционално се повеќе атрактивни од останатите, што се потврдува со фактот дека најголем број од објавуваните научни трудови во кои се определувани сорпционите изотерми се однесуваат токму на овие материјали.

Постојат повеќе експериментални методи за определување на изотермите на сорпција, секој со свои предности и недостатоци, но се чини дека статичкиот гравиметриски метод е еден од најчесто користените. Сепак, главните недостатоци на овој метод се причина заради која истражувачите користат и други техники и методи со кои за пократок временски период се определува рамнотежната влажност на материјалот, особено за вредности на водената активност под 0.1.

Во последните неколку децении, инверзната постапка се користи како важна практична алатка за решавање на одредени инженерски проблеми во разни научни области. Примената на инверзната постапка во моделирање на процесите на пренос на топлина и маса кај различни прехранбени материјали, како и примената на нови модели за решавање на проблемите на нелинеарна оптимизација со намалување на времето на пресметка, надминување на проблемот на локални минимуми на функцијата на целта и изнаоѓање на глобалниот минимум во континуитет, претставува една од целите на голем број истражувачи.

Имајќи го предвид гореизнесеното, произлезе идејата на релативно брз и едноставен начин да се определи рамнотежната влажност кај прехранбените материјали со помош на инверзната постапка, врз основа на податоците за промена на средната температура на материјалот добиени од нумерички пресметки или реални експерименти на кинетиката на конвективно сушење.

Докторскиот труд содржи вкупно осум глави и 2 додатоци.

Во **првата глава** елабориран е предметот на докторскиот труд и целите кои произлегуваат од него, како и генералната научна хипотеза заедно со методите користени во истражувањето и резултатите кои притоа се очекуваат. Направен е пресек од аспект на досегашните сознанија во областа на истражувањето преку сопствени спроведени детални истражувања во осум релевантни списанија со влијателен фактор. Исто така, даден е преглед на неколку различни теориски пристапи за моделирање на процесите на пренос на топлина и маса во процесот на сушење со посебен акцент на досегашната примена на инверзната постапка од страна на повеќе истражувачи.

Во **втората глава** е истакнато значењето на водената активност како еден од најважните фактори кои влијаат врз стабилноста и квалитетот на прехранбените материјали, како и заемната поврзаност помеѓу двата најважни концепти за детерминирање на критериумите на стабилност на материјалот: концептот на водената активност и концептот на премин во стаклена состојба. Дефинирани се сорпционите процеси и извршена е детална анализа на различните поделби на изотермите на сорпција и методите за нивно определување, како единствена можност за експериментално добивање на рамнотежната влажност на прехранбените материјали. Исто така потенцирано е значењето на математичкото моделирање на изотермите на сорпција, а даден е и преглед на најчесто користени сорпциони модели во научната и стручна литература за апроксимација на експерименталните податоци на рамнотежната влажност во зависност од бројот на параметри и вклученоста на температурата како параметар.

Во рамките на **третата глава** се дадени теориските основи на процесите на сушење од аспект на развој на теоријата на сушење и различните теориски пристапи за изучување на истите. Извршена е класификација на постојните математички модели што се применуваат за моделирање на процесите на сушење во зависност од тоа дали е или не е земено предвид намалувањето на волуменот на материјалот во текот на процесот на сушење. Притоа е дадено нумеричкото решение на системот на нелинеарни парцијални диференцијални равенки за пренос на топлина и маса, со соодветните почетни и гранични услови и познати термофизички карактеристики, на моделот со непроменливи и моделот со променливи граници, за случај на конвективно сушење на тело во облик на бескрајна плоча.

Во **четвртата глава** анализирани се теориските основи и значењето на примената на инверзната постапка во процесите на конвективно сушење, како успешна алатка за определување на параметрите во математичките модели. Основата на оваа анализа произлегува од целта на докторскиот труд да се согледа можноста за примена на инверзната постапка за определување на рамнотежната влажност на прехранбените материјали преку определените вредности на параметрите во новогенерираните трипараметарски сорпциони математички модели, а врз основа на температурниот одговор од кинетиката на сушење на репрезентативно избрани овошја, круша и дунка.

Во **петтата глава** се прикажани резултатите од експерименталните истражувања кои беа изведени за потребите на докторскиот труд. Даден е детален опис на експерименталната лабораториска сушара на која се реализирани експериментите од кинетиката на конвективно сушење и опис на изведениот мерен ланец за одредување на изотермите на сорпција од репрезентативно избрани овошја, круша и дунка. Прикажани

се дел од реализираните експерименти на кинетиката на конвективно сушење (промената на средната влажност со времето и промената на средната температура во центарот на примероците со времето) на парчиња од круша и дунка, како и експериментално определените изотерми на сорпција за истите овошја на температура од 15, 30, 45 и 60°C во дијапазон на водената активност $a_w = 0.112 \div 0.920$.

Во **шестата глава** развиен е генератор со кој се генерираат нови математички модели за апроксимација на изотермите на сорпција на прехранбените материјали. Со користење на различни рационални, експоненцијални, логаритамски, тригонометриски или циклометрички функции генерирани се различни фамилии математички модели, а во рамките на докторскиот труд се дадени 10 примери. За понатамошна статистичка верификација, генерирани се нивните трипараметарски модели.

Врз основа на температурен одговор добиен од еден микротермопар поставен во средината на примероците што се сушат, со примена на инверзната постапка определени се непознатите параметри во новогенерираните модели. За да се согледа влијанието што секој од определените параметри го има врз точноста на пресметката на процесите на сушење, како и врз апроксимацијата на експерименталните вредности на рамнотежната влажност, пресметани се релативните температурни коефициенти на осетливост за секој од сорпционите модели.

Верификацијата и валидацијата на резултатите на одредени истражувања и пресметки е клучен чекор во секоја научно-истражувачка работа. Во **седмата глава** дефинирана е постапка за статистичка верификација на новогенерираните модели. Врз основа на квантитативно-квалитативна статистичка анализа на перформансите на секој од моделите и споредба со статистичките перформанси на референтниот модел на Anderson избран е модел/и со најдобри перформанси.

Во **осмата глава**, даден е преглед на заклучоците во кој е прсликан целокупниот напредок и придобивките што произлегуваат од реализацијата на истражувањата и анализите во рамките на докторскиот труд, како и препораки за понатамошни насоки и идни научно-истражувачки активности во предметната проблематика.

Составен дел од докторскиот труд се додатоците: **Додаток А**, во кој се прикажани реализираните експерименти на кинетиката на конвективно сушење на парчиња од круша и дунка и **Додаток Б** во кој се прикажани резултатите од квалитативната статистичка анализа.

Посебна придобивка од докторскиот труд се објавените трудови што произлегоа како резултат на целокупните истражувања во текот на неговата изработка. Вкупно се објавени **16 трудови** од кои **еден е презентирани на 19th International Drying Symposium 2014, EVALUATION OF SOME THIN-LAYER MODELS OF CARROT, 2014, 19th International Drying Symposium, IDS 2014, pp.1-7, August 24-27, Lyon, France; два се презентирани на Eurodrying Symposium (STATISTICAL EVALUATION OF SOME FOUR PARAMETERS SORPTION ISOTHERM MODELS, 2013, Eurodrying Symposium, pp.1-9, October 2-4, Paris, France; EXPERIMENTAL INVESTIGATION AND MATHEMATICAL MODELLING OF THIN LAYER DRYING OF QUINCE, 2015, Eurodrying Symposium, pp.269-276, October 21-23, Budapest, Hungary); еден на 6th Nordic Drying Coference 2013, (STATISTICAL CRITERIA FOR SELECTION OF THIN-LAYER DRYING MODELS, 2013, 6th Nordic Drying Coference, NDC 2013, pp.1-11, June 5-7, Copenhagen, Denmark) и еден на XIIIth Polish Drying Symposium 2013 (STATISTICAL EVALUATION OF SOME SORPTION ISOTHERM MODELS, 2013, XIIIth Polish Drying Symposium, pp.1-6, September 5-6, Kołobrzeg, Poland).**

Пет трудови се објавени во списанија со меѓународен уредувачки одбор: (COMPARISON BETWEEN TRANSCEDENTAL AND CYCLOMETRIC SORPTION ISOTHERM MODELS, 2012, Journal on Processing and Energy in Agriculture, 16 (1), pp.1-5; EVALUATION OF SOME THIN-LAYER DRYING MODELS, 2013, Journal of Agriculture Science and Technology, 17 (1),

pp.1-6; REVIEW OF JOURNALS WITH PARTICULAR EMPHASIS ON PAPERS IN WHICH SORPTION ISOTHERMS WERE DETERMINED, 2014, Journal of Agriculture Science and Technology, 18 (1), pp.25-29; MODELING OF THIN-LAYER DRYING OF QUINCE, 2015, Journal on Processing and Energy in Agriculture, 19 (1), pp.12-16, и STATISTICAL EVALUATION OF THIN-LAYER MODELS FOR BANANA, 2014, Journal of Hygienic Engineering&Design, 8 (1), pp. 145-152).

Три трудови се објавени во Зборникот на трудови на Технички факултет Битола. (ЕВАЛУАЦИЈА НА СОРПЦИОНИ МОДЕЛИ НА ПРЕХРАНБЕНИТЕ МАТЕРИЈАЛИ, 2012, Зборник на трудови на Технички факултет Битола, ПРЕГЛЕД НА МОДЕЛИ ЗА АПРОКСИМАЦИЈА НА СОРПЦИОНИ ИЗОТЕРМИ, 2013, Зборник на трудови на Технички факултет Битола, ЕКСПЕРИМЕНТАЛНО ИСТРАЖУВАЊЕ НА КИНЕТИКАТА НА СУШЕЊЕ НА КРУША ВО ТЕНСЛОЈ, 2014, Зборник на трудови на Технички факултет Битола).

Како резултат на истражувањата во докторскиот труд објавени се **три трудови** и **списанија со влијателен – импакт фактор**: (ADSORPTION ISOTHERMS OF PEAR AT SEVERAL TEMPERATURES, 2015, *Thermal Science Journal*, doi:10.2298/TSCI140519082M, Vol. 19 (1), pp. 1121-1131, **Impact Factor 1.222** - Thomson Reuters; THE POWER SERIES AS WATER SORPTION ISOTHERM MODELS, 2015a, *Journal of Food Process Engineering*, doi:10.1111/jfpe.12210, **Impact Factor 0.675** - Thomson Reuters; и MATHEMATICAL MODELLING OF THIN LAYER DRYING OF PEAR, 2015b, *Chemical Industry& Chemical Engineering Quarterly*, doi:10.2298/CICEQ150122032L, **Impact Factor 0.892** - Thomson Reuters).

Во подготовка се уште неколку трудови кои произлегуваат од проучувањето и примената на инверзната постапка за определување на непознатите параметри и новогенерираните сорпциони модели кои ќе бидат испратени до списанија со влијателен – импакт фактор со надеж дека истите ќе бидат оценети со позитивна рецензија објавени.