



UNIVERZITET U NOVOM SADU  
TEHNOLOŠKI FAKULTET  
PREHRAMBENO-BIOTEHNOLOŠKE NAUKE

# **UTICAJ PROCESA OSMOTSKE DEHIDRATACIJE NA PRENOS MASE I KVALITET MESA SVINJA**

DOKTORSKA DISERTACIJA

Mentor:  
Prof. dr Ljubinko Lević

Kandidat:  
dipl. inž. Vladimir Filipović

Novi Sad, 2013. godine

**UNIVERZITET U NOVOM SADU  
TEHNOLOŠKI FAKULTET**

**KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA**

Redni broj: RBR	
Identifikacioni broj: IBR	
Tip dokumentacije: TD	Monografska dokumentacija
Tip zapisa: TZ	Tekstualni štampani materijal
Vrsta rada (dipl., mag., dokt.): VR	Doktorska disertacija
Ime i prezime autora: AU	<b>Dipl. inž. Vladimir Filipović</b>
Mentor (titula, ime, prezime, zvanje): MN	<b>Prof. dr Ljubinko Lević</b> , redovni profesor
Naslov rada: NR	<b>Uticaj procesa osmotske dehidracije na prenos mase i kvalitet mesa svinja</b>
Jezik publikacije: JP	Srpski jezik, latinica
Jezik izvoda: JI	srp. / eng.
Zemlja publikovanja: ZP	Republika Srbija
Uže geografsko područje: UGP	AP Vojvodina
Godina: GO	2013
Izdavač: IZ	autorski reprint
Mesto i adresa: MA	Bulevar cara Lazara 1, Novi Sad

Fizički opis rada: FO	6 poglavlja, 172 strane, 47 slika, 45 tabela, 170 literaturnih navoda
Naučna oblast: NO	Prehrambeno-biotehnoške nauke
Naučna disciplina: ND	Prehrambeno inženjerstvo
Predmetna odrednica, ključne reči: PO	Osmotska dehidracija, meso svinja, melasa šećerne repe, prenos mase, energetska efikasnost
UDK	66.047.3:664.151.2:637.5'64
Čuva se: ČU	Biblioteka Tehnološkog fakluteta u Novom Sadu
Važna napomena: VN	Istraživanja obuhvaćena ovom doktorskom disertacijom finansirana su od strane Ministarstva za prosvetu i nauku Republike Srbije – TR31055 (2011-2014)
Izvod: IZ	<p>Ispitivan je proces osmotske dehidracije mesa svinja u tri osmotska rastvora (vodeni rastvor natrijum hlorida i saharoze, kombinacija vodenog rastvora natrijum hlorida i saharoze i melase i melasa šećerne repe) različitih koncentracija, na tri temperature (20°C, 35°C i 50°C) i pri tri vremena trajanja procesa (1, 3 i 5h). Mereni i računati odzivi procesa osmotske dehidracije bili su: sadržaj suve materije, gubitak vode, prirast suve materije, indeks efiksanosti procesa, vrednost aktivnosti vode.</p> <p>Rezultati ispitivanja pokazuju da povećanje tehnoloških parametara temperature i vremena procesa, kao i koncentracije osmotskih rastvora dovode do intenziviranja prenosa mase u procesu i povećanja vrednosti odzivnih parametara procesa, u oba slučaja, istostrujne i protivstrujne osmotske dehidracije.</p> <p>Na osnovu dobijenih rezultata razvijeni su modeli zavisnosti odziva procesa od primenjenih tehnoloških parametara za istostrujne i protivstrujne procese osmotske dehidracije. "Score" analizom određene su vrednosti tehnoloških parametara koje su za rezultat dale optimalnu efiksanost procesa.</p> <p>U radu je ispitan enegetski bilans procesa osmotske dehidracije i upoređen sa konvektivnim sušenjem, gde su se kao energentski najefikasniji pokazali procesi na temperaturi od 20°C.</p> <p>Karakteristike osmotski dehidriranog svinjskog mesa su pokazale da dolazi do poboljšanja mikrobiološkog, hemijskog i nutritivnog profila</p>

	<p>mesa nakon procesa, kao i promene boje i teksture, gde je melasa šećerne repe kao osmotski rastvor, iskazala najbolje uticaje na promene karakteristika dehidiranog mesa.</p> <p>Na osnovu svih ispitanih uticaja variranih parametara kao optimalni parametri procesa mogu da se definišu: protivstrujni proces, u trajanju od 5 časova na temperaturi od 20°C, u melasi kao osmotskom rastvoru. Ovakav proces dovodi do sveukupnog poboljšanja karakteristika svinjskog mesa uvodeći nutritivna poboljšanja iz hemijskog sastava melase u ljudsku ishranu.</p>
<p>Datum prihvatanja teme od strane NN veća: DP</p>	<p>7.12.2012.</p>
<p>Datum odbrane: DO</p>	
<p>Članovi komisije: (ime i prezime / titula / zvanje / naziv organizacije / status) KO</p>	<p>predsednik: <b>Dr Natalija Džinić</b>, vanredni profesor, Tehnološki fakultet, Novi Sad</p> <p>član: <b>Dr Elvira Karlović</b>, redovni profesor, Prirodno-matematički fakultet, Novi Sad</p> <p>član: <b>Dr Ljubinko Lević</b>, redovni profesor – mentor, Tehnološki fakultet, Novi Sad</p> <p>Član: <b>Dr Lato Pezo</b>, naučni saradnik, Institut za opštu i fizičku hemiju, Beograd</p>

**UNIVERSITY OF NOVI SAD  
FACULTY OF TECHNOLOGY**

**KEY WORD DOCUMENTATION**

Accession number: ANO	
Identification number: INO	
Document type: DT	Monograph documentation
Type of record: TR	Textual printed material
Contents code: CC	Ph.D. Thesis
Author: AU	<b>Vladimir Filipović, M.Sc.</b>
Mentor: MN	<b>Ljubinko Lević, Ph.D., Full Professor</b>
Title: TI	<b>The Effect of the Osmotic Dehydration Process on Mass Transfer and Pork Meat Quality</b>
Language of text: LT	Serbian language, Latin
Language of abstract: LA	eng. / srp.
Country of publication: CP	Republic of Serbia
Locality of publication: LP	AP Vojvodina
Publication year: PY	2013
Publisher: PU	Author's reprint
Publication place: PP	Bulevar cara Lazara 1, Novi Sad

Physical description: PD	6 chapters, 172 pages, 47 figures, 45 tables, 170 references
Scientific field SF	Food-biotechnical Sciences
Scientific discipline SD	Food Engineering
Subject, Key words SKW	Osmotic dehydration, pork meat, sugar beet molasses, mass transfer, energy efficiency
UC	66.047.3:664.151.2:637.5'64
Holding data: HD	Library of the Faculty of Technology, University of Novi Sad
Note: N	Research in this thesis was funded by Ministry of Education and Science of the Republic Serbia – TR31055 (2011-2014)
Abstract: AB	<p>Process of osmotic dehydration of pork meat in three different osmotic solutions (sodium chloride and sucrose dissolved in water, mixture of sodium chloride, sucrose dissolved in water and molasses and sugar beet molasses) of different concentrations, at three temperatures (20°C, 35°C &amp; 50°C) and three different times of duration of the process (1, 3 &amp; 5h) was investigated.</p> <p>Measured and calculated responses of the osmotic dehydration process were: dry matter content, water loss, solid gain, dehydration efficiency index and value of water activity.</p> <p>The results showed that the increase of technological parameters: time and temperature of the process, as well as the concentration of the osmotic solutions led to the intensified mass transfer in the process and increased values of process responses, in either co-counter or current processes of osmotic solutions.</p> <p>Based on obtained results mathematical models of dependence of process responses from applied technological parameters for co- and counter-current processes of osmotic dehydrations were developed. By the means of “<i>Score</i>” analyses the values of technological parameters which produced optimal efficiency of the process were calculated.</p> <p>In this research process energy balance was investigated by comparison to the convective drying, where the highest energy efficiency was determined in the processes at the temperature of 20°C.</p> <p>Characteristics of osmo-dehydrated pork meat were also investigated, pointing at the</p>

	<p>improvement of microbiological, chemical and nutritive profile of the meat after the process, as well as the change of color and texture, where sugar beet molasses, as an osmotic solution, had shown the best effects on changes of dehydrated meat characteristics.</p> <p>Based on all investigated effects of varied parameters, the optimal process parameters can be defined as: counter-current process, of 5 hours duration, at 20°C, in molasses as an osmotic solution. Process like that leads to the total improvement of pork meat characteristics introducing nutritive benefit from molasses chemical composition into human nutrition.</p>
Accepted on Scientific Board on: AS	7.12.2012.
Defended: DE	
Thesis Defend Board: DB	<p>President: <b>Natalija Džinić</b>, Ph.D., Associate Professor, Faculty of Technology, Novi Sad</p> <p>Member: <b>Elvira Karlović</b>, Ph.D., Full Professor, Faculty of Sciences, Novi Sad</p> <p>Member: <b>Ljubinko Lević</b>, Ph.D. Full Professor – mentor, Faculty of Technology, Novi Sad</p> <p>Member: <b>Lato Pezo</b>, Ph.D., Research Associate, Institute of General and Physical Chemistry, Belgrade</p>

# Sadržaj:

Broj strane:

<b>1. UVOD</b> .....	1
<b>2. PREGLED LITERATURE</b> .....	3
<b>2.1 Teorija osmotske dehidracija</b> .....	3
2.1.1 Principi osmotske dehidracije .....	5
2.1.2 Osmotski pritisak .....	7
2.1.3 Mehanika prenosa mase u procesu osmotske dehidracije .....	9
<b>2.2 Uticaj procesnih parametara na osmotsku dehidraciju</b> .....	11
2.2.1 Dužina trajanja procesa .....	11
2.2.2 Temperatura osmotskog rastvora .....	11
2.2.3 Koncentracija osmotskog rastvora .....	12
2.2.4 Karakteristike rastvorka .....	12
2.2.5 Mešanje osmotskog rastvora .....	12
2.2.6 Odnos osmotskog rastvora i materijala .....	13
2.2.7 Geometrija materijala .....	13
2.2.8 Fizičko-hemijske karakteristike sirovine .....	14
2.2.9 Radni pritisak .....	14
<b>2.3 Protivstrujna osmotska dehidracija</b> .....	14
2.3.1 Diskontinualna protivstrujna osmotska dehidracija .....	16
2.3.2 Kontinualna protivstrujna osmotska dehidracija .....	18
<b>2.4 Energetska efikasnost</b> .....	19
<b>2.5 Meso svinja kao sirovina za proces osmotske dehidracije</b> .....	20
2.5.1 Struktura mesa svinja .....	21
2.5.2 Voda u mesu svinja .....	23
<b>2.6 Uticaj procesa osmotske dehidracije na kvalitet osmotski dehidriranih poluproizvoda</b> .....	27
2.6.1 Uticaj procesa osmotske dehidracije na mikrobiološki profil osmotski dehidriranih poluproizvoda .....	27
2.6.2 Uticaj prirasta suve materije na promenu svojstava osmotski dehidriranih poluproizvoda .....	28
<b>2.7 Melasa šećerne repe kao osmotski rastvor</b> .....	29
<b>2.8 Mogućnosti unapređenja procesa osmotske dehidracije</b> .....	31
2.8.1 Poboljšanje procesa osmotske dehidracije .....	31
2.8.2 Ponovno korišćenje osmotskog rastvora .....	32
<b>2.9 Metod odzivne površine</b> .....	34



<b>3. EKSPERIMENTALNI DEO</b> .....	36
<b>3.1 Materijal</b> .....	36
<b>3.2 Postupak osmotske dehidracije</b> .....	37
3.2.1 Postupak protivstrujne osmotske dehidracije .....	41
<b>3.3 Postupak ispitivanja dinamike isparavanja vode</b> .....	42
<b>3.4 Proračuni</b> .....	43
3.4.1 Proračuni paramerata osmotske dehidracije .....	43
3.4.2 Proračuni metoda odzivne površine .....	44
3.4.3 “Score” analiza optimizovanja odziva osmotske dehidracije .....	46
<b>3.5 Metodi</b> .....	47
3.5.1 Metodi mikrobioloških analiza .....	47
3.5.2 Metodi određivanja $a_w$ vrednosti .....	47
3.5.3 Metodi analiza hemijskog sastava .....	48
3.5.4 Metodi deskriptivne senzorske analize .....	49
3.5.5 Instrumentalno određivanje teksture uzoraka mesa .....	51
3.5.6 Instrumentalno određivanje boje uzoraka mesa .....	53
<b>4. REZULTATI I DISKUSIJA</b> .....	54
<b>4.1 Analiza uticaja tehnoloških parametara procesa osmotske dehidracije svinjskog mesa</b> .....	54
4.1.1 Uticaj tehnoloških parametara na parametre procesa osmotske dehidracije .....	60
4.1.1.1 Sadržaj suve materije osmotski dehidriranog mesa .....	60
4.1.1.2 Gubitak vode iz osmotski dehidriranog mesa .....	64
4.1.1.3 Prirast suve materije osmotski dehidriranog mesa .....	68
4.1.1.4 Indeks efikasnosti dehidracije (DEI) .....	72
4.1.1.5 Vrednost aktivnosti vode $a_w$ .....	75
4.1.2 Utvrđivanje modela procesa osmotske dehidracije metodom odzivne površine .....	79
4.1.2.1 Model procesa osmotske dehidracije u rastvoru R1 .....	80
4.1.2.2 Model procesa osmotske dehidracije u rastvoru R2 .....	82
4.1.2.3 Model procesa osmotske dehidracije u rastvoru R3 .....	85
4.1.3 “SCORE” analiza .....	87

4.1.3.1	„Score“ analiza procesa osmotske dehidracije u rastvoru R1 . . . . .	87
4.1.3.2	„Score“ analiza procesa osmotske dehidracije u rastvoru R2 . . . . .	88
4.1.3.3	„Score“ analiza procesa osmotske dehidracije u rastvoru R3 . . . . .	89
<b>4.2</b>	<b>Mogućnosti povećanja efikasnosti procesa osmotske dehidracije .</b>	<b>91</b>
4.2.1	Ponovna upotreba osmotskog rastvora . . . . .	91
4.2.2	Ispitivanje efikasnosti protivstrujnog procesa osmotske dehidracije . . . . .	93
4.2.2.1	Materijalni bilans istostrujnog procesa osmotske dehidracije pri odnosu masa materijala i rastvora od 1:5 . . . . .	94
4.2.2.2	Istostrujni proces osmotske dehidracije pri odnosu masa materijala i rastvora od 1:2 . . . . .	96
4.2.2.2.1	Utjecaji tehnoloških parametara na istostujni proces osmotske dehidracije u R1 pri odnosu masa materijala i rastvora od 1:2 . . . . .	99
4.2.2.2.2	Utjecaji tehnoloških parametara na istostujni proces osmotske dehidracije u R2 pri odnosu masa materijala i rastvora od 1:2 . . . . .	101
4.2.2.2.3	Utjecaji tehnoloških parametara na istostujni proces osmotske dehidracije u R3 pri odnosu masa materijala i rastvora od 1:2 . . . . .	103
4.2.2.3	Protivstrujni proces osmotske dehidracije pri odnosu masa materijala i rastvora od 1:2 . . . . .	107
4.2.2.3.1	Odzivi protivstrujne osmotske dehidracije svinjskog mesa . . . . .	110
4.2.2.3.2	Utjecaji tehnoloških parametara na protivstrujni proces osmotske dehidracije . . . . .	114
4.2.2.4	Utvrdjivanje modela procesa protivstrujne osmotske dehidracije metodom odzivne površine . . . . .	121
4.2.2.4.1	Model procesa protivstrujne osmotske dehidracije u rastvoru R1 . . . . .	121
4.2.2.4.2	Model procesa protivstrujne osmotske dehidracije u rastvoru R2 . . . . .	124
4.2.2.4.3	Model procesa protivstrujne osmotske dehidracije u rastvoru R3 . . . . .	126
<b>4.3</b>	<b>Energetski bilans procesa osmotske dehidracije . . . . .</b>	<b>128</b>
4.3.1	Analiza uštede količine toplote u procesu osmotske dehidracije u poređenju sa konvektivnim sušenjem . . . . .	133
4.3.2	Analiza uticaja prirode rastvora na energetski bilans procesa osmotske dehidracije . . . . .	134
4.3.3	Analiza uticaja temperature procesa osmotske dehidracije na energetski bilans procesa . . . . .	135
4.3.4	Analiza uticaja tipa procesa osmotske dehidracije na energetski bilans procesa . . . . .	136
<b>4.4</b>	<b>Karakterizacija osmotski dehidriranog svinjskog mesa . . . . .</b>	<b>138</b>
4.4.1	Mikrobiološke analiza osmotski dehidriranog svinjskog mesa . . . . .	138
4.4.1.1	Određivanje <i>Salmonella</i> spp. . . . .	138
4.4.1.2	Određivanje ukupnog broja bakterija . . . . .	139
4.4.1.3	Određivanje <i>Enterobacteriaceae</i> . . . . .	140

---

4.4.1.4	<i>Određivanje Escherichia coli</i> .....	140
4.4.2	<b>Hemijska analiza osmotski dehidriranog svinjskog mesa</b> .....	141
4.4.2.1	<i>Hemijska analiza osmotski dehidriranog mesa u rastvoru R1</i> .....	141
4.4.2.2	<i>Hemijska analiza osmotski dehidriranog mesa u rastvoru R2</i> .....	143
4.4.2.3	<i>Hemijska analiza osmotski dehidriranog mesa u rastvoru R3</i> .....	145
4.4.2.4	<i>Energetska vrednost osmotski dehidriranih poluproizvoda svinjskog mesa</i> .	146
4.4.3	<b>Senzorne analize osmotski dehidriranog svinjskog mesa</b> .....	147
4.4.3.1	<i>Senzorna analiza boje osmotski dehidriranog mesa</i> .....	147
4.4.3.2	<i>Senzorna analiza arome osmotski dehidriranog mesa</i> .....	148
4.4.3.3	<i>Senzorna analiza ukusa i zaostalog ukusa osmotski dehidriranog mesa</i> ...	149
4.4.3.4	<i>Senzorna analiza teksture osmotski dehidriranog mesa</i> .....	150
4.4.4	<b>Instrumentalna analiza boje osmotski dehidriranog svinjskog mesa</b> .....	151
4.4.5	<b>Instrumentalna analiza teksture osmotski dehidriranog svinjskog mesa</b> ...	153
<b>5.</b>	<b>ZAKLJUČCI</b> .....	156
<b>6.</b>	<b>LITERATURA</b> .....	160

# 1. UVOD

---

Osmotska dehidracija je postupak delimičnog uklanjanja vode iz biljnog i animalnog tkiva potapanjem u hipertonične rastvore. Pogonska sila za uklanjanje vode je razlika osmotskih pritisaka između okolnog hipertoničnog rastvora i tkiva prehrambene sirovine koja se dehidrira. Voda koja migrira iz sirovine u osmotski rastvor tokom procesa ne menja agregatno stanje što, za razliku od drugih načina sušenja, ne zahteva dodatnu energiju potrebnu za faznu promenu vode, čineći proces osmotske dehidracije energetski manje zahtevnim.

Hipertonični osmotski rastvori se najčešće dobijaju rastvaranjem saharoze i/ili natrijum hlorida u vodi u količinama koje su na granici rastvorljivosti tih supstanci radi postizanja najboljih efekata procesa osmotske dehidracije prehrambene sirovine.

Specifičnost procesa osmotske dehidracije u poređenju sa drugim metodama sušenja je u postojanju sekundarnog prenosa mase rastvorka iz osmotskog rastvora u tkivo prehrambene sirovine koji se ogleda u prirastu suve materije tkiva nakon dehidracije. Obzirom na ovu specifičnost priroda osmotskog rastvora ima još značajniju ulogu. Osmotski dehidrirani poluproizvod ima izmenjena i poboljšana nutritivna, senzorna i teksturalna svojstva u poređenju sa polaznom sirovinom, upravo zbog postojanja prirasta suve materije.

Veliki broj tehnološko-tehničkih parametara utiče na efikasnost procesa osmotske dehidracije, kao i na kvalitet dehidriranog poluproizvoda. U cilju optimizacije procesa sa aspekta tehnološke, energetske i ekološke efikasnosti procesa, kao i kvaliteta dehidriranog poluproizvoda, istraživanja osmotske dehidracije obuhvataju variranje osnovnih radnih parametara, temperature i vremena procesa, koncentracije i prirode osmotskog rastvora.

Proces osmotske dehidracije je predtretman i deo kompletnog tehnološkog postupka proizvodnje gotovih proizvoda, koji usled svoje energetske efikasnosti i specifičnih karakteristika ima veliki potencijal za industrijsku proizvodnju. Šira industrijska primena osmotske dehidracije još uvek nije zaživela, prvenstveno usled nerešenog problema dalje upotrebe iskorišćenog osmotskog rastvora, nedovoljnog poznavanja problematike procesa, nepreciznog modela predviđanja gubitka vode kao i nepostojanja konstrukcionih rešenja uređaja za proces osmotske dehidracije.

Osmotska dehidracija se u većoj meri primenjuje za dehidriranje sirovina biljnog porekla, dok za dehidriranje sirovina animalnog porekla, a pogotovo svinjskog mesa, nema dovoljno dostupnih literaturnih podataka.

Primenom postupka osmotske dehidracije na svinjsko meso snižava se sadržaj vode u svežoj sirovini, snižavajući na taj način aktivnost vode u dobijenom dehidriranom

poluproizvodu. Na taj način primenom nisko energetskog i ekonomičnog postupka, kakva je osmotska dehidracija, dobija se poluproizvod produženog roka trajanja koji je podoban za dalji tehnološki tretman obrade u cilju proizvodnje krajnjeg proizvoda od mesa. Uvođenjem postupka osmotske dehidracije kao predtretmana u tehnološkom postupku proizvodnje, u svinjsko meso uvode se rastvorene materije koje su sastavni delovi osmotskih rastvora, dajući mogućnost povećanja nutritivne vrednosti krajnjeg proizvoda, a takođe stvara se mogućnost korekcije boje i ukusa dehidranog poluproizvoda od svinjskog mesa.

U poslednje vreme na Tehnološkom fakultetu, Univerziteta u Novom Sadu sprovode se istraživanja o mogućnostima primene melase šećerne repe kao hipertoničnog osmotskog rastvora.

Melasa šećerne repe, kao nus proizvod industrije šećera, jeftina je sirovina, koja sa svojim visokim sadržajem suve materije i izuzetno kompleksnim i bogatim nutritivnim sadržajem ima sve preduslove za uspešnu primenu u procesu osmotske dehidracije, kao osmotski rastvor. Korišćenjem melase šećerne repe kao hipertoničnog rastvora, na ovaj način, daje se mogućnost uvođenja povoljnog hemijskog sastava melase u ljudsku ishranu kroz nove vrste proizvoda od mesa.

**Ciljevi istraživanja** u okviru ove doktorske teze su:

- Ispitivanje uticaja tehnoloških parametara: temperature i vremena trajanja procesa, koncentracije i prirode osmotskog rastvora na parametre procesa osmotske dehidracije, u cilju analize mehanizama prenosa mase u procesu i optimizacije nivoa prenosa mase;
- Istraživanje mogućnosti povećanja efikasnosti procesa osmotske dehidracije; upoređivanje efikasnosti istostrujnog i protivstrujnog procesa osmotske dehidracije;
- Definisane matematičkog modela istostrujnog i protivstrujnog procesa osmotske dehidracije;
- Procena energetskog bilansa procesa osmotske dehidracije svinjskog mesa i
- Ispitivanje uticaja procesa osmotske dehidracije na kvalitet svinjskog mesa.

## 2. PREGLED LITERATURE

---

### 2.1 Teorija osmotske dehidracija

Sušenje (dehidracija) je važna operacija tehnološkog postupka obrade sirovine u prehrambenoj industriji. Osnovni cilj pri postupku sušenja hrane je uklanjanje vode iz sirovog materijala radi produženja roka trajanja namirnica ili smanjivanja obima narednih tehnoloških operacija u postupku prerade i proizvodnje finalnog proizvoda. Operacije sušenja moraju biti precizno kontrolisane i optimizovane da bi se postigao proizvod dobrog kvaliteta koji ima najviše očuvanih nutritivnih sastojaka uz očuvanje mikrobiološke bezbednosti (Chen i Mujumdar, 2008).

Sprovedena su istaživanja novih načina za preradu namirnica kojima bi se poboljšao kvalitet dugotrajnih prehrambenih proizvoda. Jedan od ovih istaživanih metoda sušenja je i osmotska dehidracija. Osmotska dehidracija je pokazala potencijal za dobijanje prehrambenih proizvoda unapređenih karakteristika gde se u samom procesu voda iz prehrambene sirovine uklanja pri niskim temperaturama (Bolin i sar., 1983) i pri čemu dolazi do poboljšanja kvaliteta finalnog proizvoda usled prirasta suve materije dehidriranog proizvoda kao specifičnosti procesa osmotske dehidracije (Flink, 1975; Fito i sar., 1998).

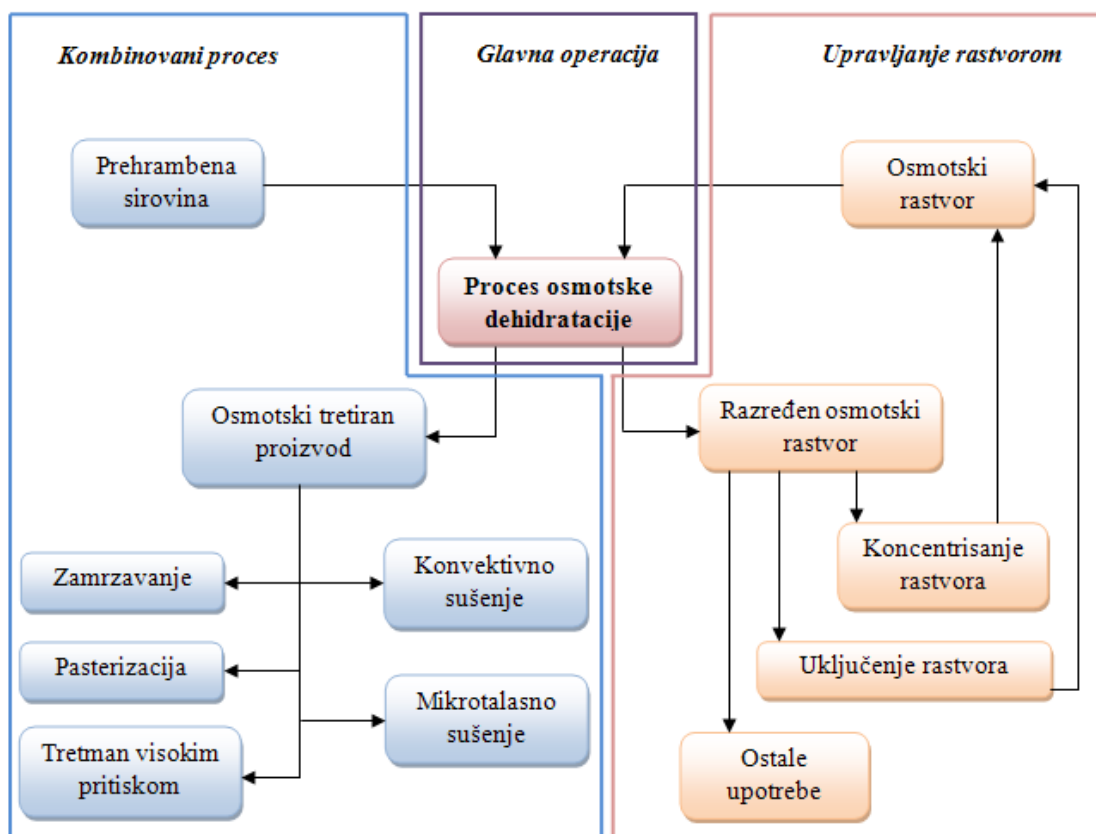
Postupak osmotske dehidracije se sastoji od potapanja biološkog materijala, sa određenim sadržajem vode, u koncentrovane vodene rastvore koji sadrže osmotske agense (osmotski rastvor), pri čemu dolazi do prenosa dela mase vode iz ćelijskog materijala u osmotski rastvor. Osmotski rastvori imaju visok osmotski pritisak i nisku vrednost aktivnosti vode. Najčešće korišćeni osmotski agensi su saharoza i natrijum hlorid (NaCl). Koriste se i drugi osmotski agensi, kao što su laktoza, maltodekstrin, etanol, glukoza, glicerol i kukuruzni sirup (Hawkes i Flink, 1978; Giangiaco i sar., 1987; Torreggiani i sar., 1995; Sereno i sar., 2001).

Aspekti senzorskih karakteristika sirovine i proizvoda uslovlili su da se rastvori šećera koriste za osmotsku dehidraciju voća, dok se rastvori soli koriste za dehidraciju povrća i proizvoda životinjskog porekla. Argaiz i sar., (1994) u svojim istaživanjima koristili su vodene rastvore kombinacije saharoze sa laktozom, maltodekstrinom i NaCl, za osmotsku dehidraciju jabuka i papaje; Lenart i Flink (1984) su koristili vodene rastvore saharoze i NaCl za osmotsku dehidraciju sečenog krompira, a Le Maguer i Biswal, (1984) su u svojim istaživanjima koristile rastvore NaCl i etanola za dehidraciju sečene mrkve.

Prethodnih godina na Tehnološkom fakultetu, Univerziteta u Novom Sadu istaživane su mogućnosti korišćenja melase šećerne repe kao osmotskog rastvora, koja su dala pozitivne

rezultate u pogledu tehnoloških i nutritivnih parametara procesa i finalnih proizvoda (Lević i sar., 2007; Koprivica i sar., 2009).

Jednostavnost procesa osmotske dehidracije, uz male energentske zahteve i korišćenje jednostavne i jeftine procesne opreme i uređaja preporučuju ga za primenu u velikim industrijskim pogonima za preradu biljnog i životinjskog materijala. Potencijalna inudstrijska primena procesa osmotske dehidracije šematski je prikazana je na slici 2.1, na kojoj se vidi da je proces osmotske dehidracije jedan od koraka u obradi prehrambene sirovine, kojim se biljno ili animalno tkivo tretira pre završnih faza obrade čime se dobija gotov proizvod. Jedan od glavnih problema industrijske primene procesa osmotske dehidracije je tretman osmotskog rastvora, radi njegove ponovne upotrebe čime se postiže veća ekonomičnost procesa, slika 2.1 (Shi i Xue, 2009).



**Slika 2.1** Osmotski tretman u procesu prerade hrane (Shi i Xue, 2009)

Osnovne prednosti procesa osmotske dehidracije u poređenju sa uobičajenim, konvektivnim procesima sušenja su:

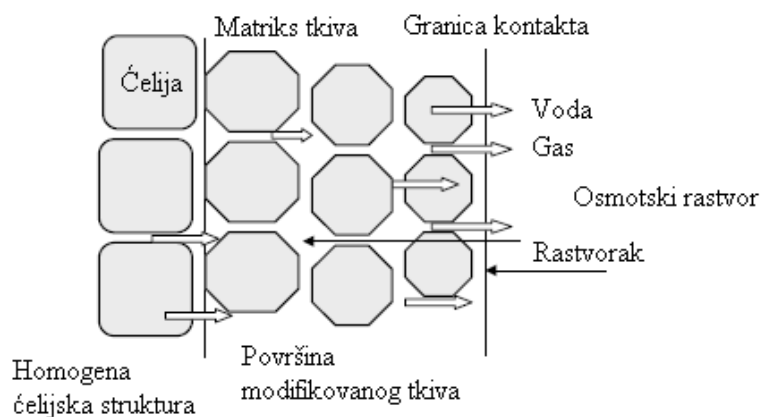
- Očuvanje i/ili poboljšanje nutritivnih (sadržaj minerala, vitamina i sl.) i senzorskih karakteristika (boja, ukus i tekstura) tretiranog materijala;
- Energetski je opravdan postupak – uklanjanje vode se odvija bez fazne promene i proces se odvija na nižim temperaturama, u poređenju sa konvektivnim sušenjem, što umanjuje troškove energenata;
- Ekološki je prihvatljiv postupak – ukoliko se pravilno upravlja zaostalim rastvorom nema sporednih, niti otpadnih produkata nakon procesa (Moreno i sar., 2000; Dalla Rosa i Giroux, 2001; Moreira i Sereno, 2003).

### 2.1.1 Principi osmotske dehidracije

Dugo vremena je poznat mehanizam osmoze kao prirodnog fenomena uklanjanja vode iz biološkog materijala (Ponting i sar., 1966). Poslednjih godina povećano je interesovanje za ovaj proces. Osmotska dehidracija je u stvari kombinacija dehidracionog i impregnacionog procesa, koji može da minimalizuje negativne promene sastavnih komponenti svežih namirnica. Ovaj proces može da obezbedi mogućnost modifikacije funkcionalnih karakteristika hrane, poboljša ukupan kvalitet finalnih proizvoda, stvarajući atraktivne nove proizvode uz potencijalnu uštedu energije (Shi i Xue, 2009).

Nakon potapanja sveže prehrambene sirovine koja ima visok sadržaj vode u hipertonični, osmotski rastvor, pogonska sila za uklanjanje vode je gradijent koncentracije između rastvora i unutarćelijskog fluida. Ukoliko bi membrana bila savršeno polupropustljiva, rastvorak iz osmotskog rastvora ne bi mogao da prođe kroz membranu unutar ćelije biološkog materijala. U praksi, međutim, membrane ćelija biološkog materijala nisu savršeno polupropustljive, usled njihove kompleksne strukture i mogućih oštećenja tokom procesa. Stoga, proces osmotske dehidracije je multikomponentni prenos materijala u dva suprotna smera između ćelije i osmotskog rastvora i obrnuto. Neka čvrsta jedinjenja rastvorena u osmotskom rastvoru ulaze u ćelije dehidrirane sirovine. Gas koji ispunjava međućelijski prostor, takođe izlazi iz sirovine u osmotski rastvor, slika 2.2 (Shi i Xue, 2009).





**Slika 2.2** Šematski prikaz tokova materijala u procesu osmotske dehidracije

Tokom procesa osmotske dehidracije ćelijske membrane deluju kao polupropustljive membrane koje omogućavaju prolaz malih molekula, kao što je molekul vode, a onemogućavaju prolaz velikih molekula, kao što je šećer. Voda nastavlja prolaz kroz ćelijsku membranu sve do uspostavljanja dinamičke ravnoteže koncentracija molekula vode sa obe strane membrane. Razlika u hemijskom potencijalu vode i rastvoraka u sistemu sirovina - osmotski rastvor rezultuje u protoku više komponenti iz sirovine i osmotskog rastvora. Gradijent osmotskog pritiska nastaje usled razlike koncentracije osmotskog rastvora, sa jedne strane ćelijske membrane i koncentracije unutarćelijskog fluida. Upravljanjem glavnim promenljivim parametrima procesa, prenos mase može da se usmeri u različitim smerovima:

- osmotska dehidracija (uklanjanje vode) ili
- natapanje uz impregnaciju (bubrenje) (Raoult-Wack i sar., 1994; Rati, 2009).

Korišćenjem visoko koncentrovanog osmotskog rastvora (sadržaja suve materije od 50 do 80% na masu rastvora), voda intezivno izlazi iz sirovine u osmotski rastvor. Izlazak vode iz sirovine uvek prati i transport prisutnih rastvorljivih materija u sirovini ka osmotskom rastvoru. Sa druge strane rastvorak, prisutan u osmotskom rastvoru ulazi u tkivo dehidrirajuće sirovine. U ovom slučaju uklanjanje vode je mnogo intenzivnije od unošenja rastvoraka u sirovinu. Tokom procesa osmotske dehidracije uklanjanje vode kao i rastvorenih materija u njoj iz sirovine i unos rastvoraka iz osmotskog rastvora u sirovinu, su simultani i protivstrujni procesi koji su izotermalni i ne dolazi do fazne transformacije vode, ali ih prate strukturne promene skupljanja ili širenja tkiva dehidrirajuće sirovine (Shi i Xue, 2009).

Ukoliko se namirnica koja se tretira potopi u osmotski rastvor niske koncentracije, transfer materije je veći u pravcu unošenja rastvoraka u sirovinu, nego što je uklanjanje vode iz nje. U tom slučaju proces je "natapanje uz impregnaciju" (ili rehidriranje), pri čemu je gradijent koncentracije vode veći u rastvoru i dovodi do ulaska osmotskog rastvora u proizvod, a gradijent koncentracije rastvorenih materija izvlači ih iz sirovine ka osmotskom rastvoru. Stoga, neki

pigmenti, aromatične materije i nutritijenti izlaze iz proizvoda tokom procesa potapanja i rehidratacije (Shi i Xue, 2009).

Postoji mnoštvo različitih transportnih mehanizama u ukupnom transportu mase koji variraju u zavisnosti od karakteristika sirovine i osmotskog rastvora tokom procesa osmotskog sušenja (Bruin i Luyben, 1992). Istraživanja procesa osmotske dehidratacije su prešla dalek put od kada su Ponting i saradnici započeli svoja prva istraživanja na ovoj temi (Ponting i sar., 1966; Ponting, 1973). Brojne studije su sprovedene na raznim prehrambenim sirovinama. Primena ovog procesa, kao metode za očuvanje hrane, uspešno je izvedena na voću, povrću, ribi i mesu. U poslednjih par decenija značajna unapređenja procesa osmotskog tretmana primenjena su i u procesnoj industriji. Istraženi su mnogi različiti aspekti ove tematike u cilju boljeg razumevanja primene ovog predtretmana u obradi prehrambenog materijala (Rati, 2009).

### 2.1.2 Osmotski pritisak

Voda je jedan od glavnih konstituenata namirnica prirodnog porekla i ona utiče na njihovu mikrobiološku i hemijsku stabilnost, utiče i na senzorske karakteristike kao što su sočnost, elastičnost, tvrdoća i tekstura. Postoji generalni stav da na prethodno navedene karakteristike ne utiče količina vode, već termodinamičko stanje u kojem se ona nalazi (Potter i Hotchkiss, 1998).

Termodinamičko stanje vode je izraženo pomoću aktivnosti vode ( $a_w$ ) koja je jednaka 0 za apsolutno suve materije, a 1 za čistu vodu. Sa smanjenjem  $a_w$  vrednosti povećava se stabilnost hrane (mikrobiološka i hemijska), a tekstura se menja iz sočne i elastične, u lomljivu i krhku. Termodinamičko stanje vode u rastvoru je okarakterisano interakcijom molekula vode sa rastvorkom. S obzirom da svaki molekul ima sopstvenu unutrašnju energiju, i da je za svaku vrstu interakcije neophodna energija, svaka supstanca u rastvoru se nalazi u određenom energetsom stanju. To energetsko stanje izraženo na 1 mol supstance se naziva hemijski potencijal (Lewicki i Lenart, 2006).

Hemijski potencijal je funkcija koncentracije, temperature i pritiska. Pod izoternskim uslovima isključivo zavisi od pritiska i koncentracije (Cazier i Gekas, 2001). Povećanje koncentracije rastvorka smanjuje hemijski potencijal vode, koji se može izraziti preko aktivnosti vode prema sledećoj jednačini:

$$\mu_w = \mu_{ow} + RT \ln a_w \quad [2.1.]$$

gde je:  $\mu_w$  – hemijski potencijal vode;  $\mu_{ow}$  – standardni hemijski potencijal vode (pod standardnim uslovima  $T=298K$ ,  $p=101,3kPa$  iznosi  $-237,18$  kG);  $R$  – univerzalna gasna konstanta ( $R = 8,314$  J · K<sup>-1</sup> · mol<sup>-1</sup>);  $T$  – apsolutna temperatura;  $a_w$  – aktivnost vode.

Interakcija dva sistema sa različitim sadržajem energije podrazumeva razmenu energije koja se odvija do uspostavljanja ravnoteže tj. dok se hemijski potencijali dva sistema ne izjednače. Ravnotežno stanje, pod izotremskim uslovima, može biti postignuto ili promenom koncentracije ili promenom pritiska. Dodatni pritisak neophodan za postizanje ravnotežnog stanja između čistog rastvarača i rastvora naziva se osmotski pritisak i izražen je kao (Lewicki i Lenart, 2006):

$$\Pi = -\frac{RT}{V} \ln a_w \quad [2.2]$$

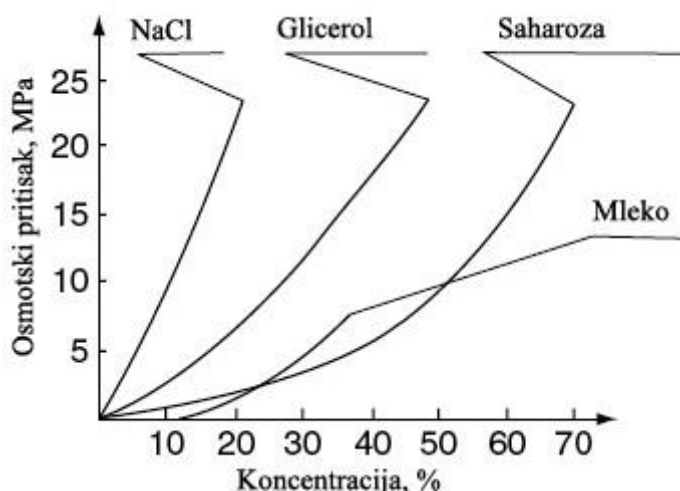
gde je  $V$  molarna zapremina rastvora, a  $R$ ,  $T$  i  $a_w$  imaju isto značenje kao i u jednačini [2.1.]. Drugim rečima, osmotski pritisci se javljaju uvek na mestima gde postoji izvesna koncentraciona razlika, i to je u tesnoj vezi sa pojavom difuzije. Osmotski pritisak je merilo težnje nekog sistema da difuzijom uspostavi koncentracionu ravnotežu na svim mestima na kojima je poremećena. Osmotske sile su dakle, pogonske sile difuzije (Đaković, 1990).

S obzirom da je voda rastvarač u svim namirnicama prethodni izraz može biti pojednostavljen:

$$\Pi = -4.6063 \cdot 10^{-5} T \ln a_w \quad [2.3]$$

Osmotski pritisak jedna je od koligativnih osobina rastvora, tako da rastvori elektrolita imaju veći osmotski pritisak od rastvora neelektrolita (Perišić – Janjić, 1997; Potter i Hotchkiss, 1998).

Zavisnost osmotskog pritiska od koncentracije je prikazana na slici 2.3. Osmotski pritisak deluje inhibitorno na rast mikroorganizama. Većina bakterija ne može da raste pri pritiscima  $\Pi > 12,7$  MPa, kvasaca pri  $\Pi > 17,3$  MPa i plesni pri  $\Pi > 30,1$  MPa.



**Slika 2.3** Zavisnost osmotskog pritiska od koncentracije i vrste rastvora (Lewicki i Lenart, 2006)

Razlika osmotskih pritisaka između dva sistema koja su razdvojena polupropustljivom membranom je pogonska sila za prenos mase. Ovaj fenomen se koristi u osmotskom uklanjanju vode iz voća i povrća (Lewicki i Lenart, 2006).

### 2.1.3 Mehanika prenosa mase u procesu osmotske dehidracije

Istraživanja mehanizma prenosa mase u osmotskom tretmanu prehrambenog materijala sprovode se radi ispitivanja kinetike prenosa mase. Na transport mase u sistemu hrana – osmotski rastvor utiču brojni komplikovani i često međusobno povezani fizički i hemijski procesi. Kao glavne promenljive veličine koje utiču na svojstva prenosa mase prepoznati su:

- procesni, tehnološki parametri (temperatura, vreme, pritisak procesa, koncentracija i sastav rastvora) i
- karakteristike multikomponentnog prenosa mase (različiti fluksevi - protoci materije kao i njihovi međusobni uticaji).

U poslednjih 15 godina različiti modeli su razvijeni za opisivanje procesa osmotske dehidracije i za procenu transporta međusobno zavisnih rastvoraka u poroznom materijalu (Marcotte i Le Maguer, 1991; Marcotte i sar., 1991; Fito, 1994; Fito i sar., 1996, 1998; Fito i Chiralt, 2000; Shi i Le Maguer, 2002a, b, 2003). Većina ovih modela se bazira na pretpostavci da je brzina prenosa mase limitirana i da se može predvideti odgovarajućim matematičkim rešavanjima pojednostavljenog drugog Fikovog zakona za nestacionarni difuzioni proces. Razlike u hemijskom potencijalu vode i raznih rastvoraka u sistemu rezultuju u protoku komponentata između materijala i rastvora. Mehanizmi prenosa, brzine difuzije i ravnotežni sadržaj vode za svaku od ovih komponentata su različiti, što utiče na kinetiku i krajnje ravnotežno stanje sistema.

Kinetika prenosa mase se obično opisuje preko vrednosti gubitka vode, prirasta suve materije i smanjenja mase tretiranog materijala. Gubitak vode i prirast suve materije mogu da se mere preko brzine protoka vode i suve materije u vremenu ili preko količine gubitka vode i prirasta suve materije nakon određenog vremenskog perioda u zavisnosti od količine polaznog materijala. Prirast suve materije se takođe može pratiti penetracionim tehnikama za određivanje količine prirasta suve materije u materijalu tokom vremena (Shi i Xue, 2009, Koprivica i sar., 2010; Mišljenović i sar., 2012a).

Druga istaživanja (Conway i sar., 1983) su razvijala modele osmotske dehidracije na bazi Crank-ove jednačine (Crank, 1975). Ovakav pristup je, međutim, ograničen na proces u kome se prenos mase javlja samo difuzijom, tako da je tok materijala samo u jednom pravcu sa

zanemarljivim interakcijama između komponenti u materijalu i rastvoraka u rastvoru tokom difuzije (Marcotte i Le Maguer, 1991; Marcotte i sar., 1991; Fito, 1994; Fito i sar., 1996, 1998; Le Maguer, 1997; Fito i Chiralt, 2000; Filipović i sar., 2012).

Kada komad tkiva dođe u kontakt sa osmotskim rastvorom, rastvorak počinje da difunduje u međucelijski prostor tkiva, a voda počinje da difunduje u suprotnom smeru. Sve dok je koeficijent prenosa mase na strani osmotskog rastvora dovoljno velik, koncentracija ispod površine tkiva postaje skoro istovremeno jednaka koncentraciji rastvora. Nakon početnog perioda brze promene, dostiže se period sporih promena, kvazi-stacionarnog stanja. Karakteristike prenosa vode u prehrambenom materijalu koji je potopljen u osmotskom rastvoru mogu da se opišu različitim transportnim mehanizmima u zavisnosti od prirode materijala, vrste veza kojima je voda vezana, sadržaja vode, temperature, pritiska u kapilarnim porama i sl. (Fish, 1958).

Voda se u tečnim rastvorima transportuje putem molekularne difuzije, koja je relativno jednostavan fenomen. U kapilarno-poroznim biološkim materijalima, transfer mase se dešava u gasom ispunjenim šupljinama, kapilarima, ćelijskim membranama i vanćelijskim i unutarćelijskim prostorima. Biološki materijal sadrži mnoštvo rastvorljivih komponenti. Kada biološki, ćelijski materijal se potopi u visoko koncentrovani osmotski rastvor, ćelije u prvom sloju tkiva počinju da gube vodu usled koncentracionog gradijenta između ćelija i hipertoničnog rastvora, a zatim počinju da se skupljaju. Nakon što ćelije iz prvog sloja izgube vodu, uspostavlja se razlika u hemijskom potencijalu vode između prvog i drugog sloja ćelija. Kao posledica ove razlike, drugi sloj ćelija počinje da „pumpa“ vodu u prvi sloj ćelija i zatim se i on skuplja. Fenomen prenosa mase i skupljanja tkiva se širi od površine ka centru materijala u funkciji vremena. Na kraju ćelije iz centra materijala gube vodu i prenos mase se uravnotežuje nakon dovoljno dugog vremena kontakta tkiva i osmotskog rastvora (Yao i Le Maguer, 1996; Fito i Chiralt, 2000; Shi i Le Maguer, 2002a, b, 2003;).

## 2.2 Uticaj procesnih parametara na osmotsku dehidraciju

Brojni faktori utiču na prenos mase tokom procesa osmotske dehidracije, a najvažniji procesni parametri koji direktno utiču na prenos mase su: temperatura procesa, dužina trajanja procesa i koncentracija osmotskog rastvora (Tortoe, 2010; Mišljenović, 2012).

### 2.2.1 Dužina trajanja procesa

Određivanje uslova koji definišu ravnotežno stanje između materijala i osmotskog rastvora je pokazalo da stanje ravnoteže karakteriše jednakost aktivnosti vode i koncentracije rastvoraka u materijalu i rastvoru. Lenart i Flink (1984a) su zapazili da se ravnotežno stanje u procesu osmotske dehidracije postiže nakon 20 časova procesa, a da se prenos mase značajno ne menja nakon četvrtog sata procesa

U najvećem broju istraživanja procesa u kome se nije postizalo ravnotežno stanje, dužina trajanja procesa osmotske dehidracije je bila od 3 do 5 časova. Zapaženo je da je početni period procesa najvažniji, pošto su fenomeni transporta mase tada najbrži i imaju najveći uticaj na dalje odvijanje osmotskog procesa (Hawkes i Flink, 1978; Conway i sar., 1983; Biswal i sar., 1991, Mišljenović i sar., 2008; Koprivica i sar., 2010; Mišljenović i sar., 2011a).

### 2.2.2 Temperatura osmotskog rastvora

Temperatura je najvažniji procesni parametar koji utiče na kinetiku prenosa mase tokom procesa osmotske dehidracije. Povećanje temperature osmotskog rastvora rezultuje povećanjem gubitka vode, dok povećanje temperature pokazuje manji uticaj na povećanje prirasta suve materije (Beristain i sar., 1990; Mišljenović i sar., 2012a). Zapaženo je, takođe, da pri visokim temperaturama rastvorak ne difunduje tako lako kao voda kroz tkivo, pa se stoga osmotska ravnoteža postiže isticanjem vode iz tkiva u većoj meri od ulaska rastvoraka u tkivo, što rezultuje manjim prirastom suve materije u dehidriranom proizvodu (Rahman i Lamb, 1990, Mišljenović i sar., 2011c).

Više procesne temperature verovatno uslovljavaju brži gubitak vode usled bubrenja ćelija, veće brzine difuzije vode u tkivu i boljih karakteristika prenosa mase (vode) na površini tkiva usled manje viskoznosti osmotskog medijuma. Istovremeno difuzija rastvoraka u proizvod je takođe ubrzana usled povišenih temperatura, ali to povećanje brzine difuzije je manje u odnosu na vodu, verovatno usled veličine molekula rastvoraka i koncentracije osmotskog rastvora (Tortoe, 2010).

Potrebno je, ipak, odrediti optimalnu temperaturu osmotskih rastvora i procesa osmotske dehidracije, jer tkivo sirovine koja se dehidrira pri dužim izlaganjima osmotskom rastvoru više

temperature gubi svoju selektivnost (Saputra, 2001, Mišljenović i sar., 2012b). S druge strane, primena nižih temperatura utiče na očuvanje boje i zadržavanje senzorskih i nutritivnih karakteristika polaznog proizvoda. Granica primene visokih temperatura zavisi od toplotne tolerancije tkiva koje se dehidrira (Lazarides, 2001).

### 2.2.3 Koncentracija osmotskog rastvora

Povećanje koncentracije osmotskog rastvora rezultuje odgovarajućim povećanjem gubitka vode do ravnotežnog nivoa kao i brzine dehidracije (Conway i sar., 1983; Lenart, 1992; Koprivica i sar., 2009b; Mišljenović i sar. 2011a). Povećanje koncentracije rastvora, usled toga, dovodi do povećanog smanjenja mase. Razlog za ove posledice pripisuju se smanjenju aktivnosti vode rastvora sa povećanjem koncentracije rastvorka u osmotskom rastvor (Farkas i Lazar, 1969; Magee i sar., 1983; Lenart i Flink, 1984a; Lerici et al., 1985; Biswal i Le Maguer, 1989; Rahman i Lamb, 1990; Biswal i sar., 1991; Marcotte i Maguer, 1991).

Pri povećanju koncentracije formira se gusti barijerni sloj rastvorka na površini materijala koji se dehidrira koji povećava efekat dehidracije i smanjuje se gubitak nutrijenata tokom procesa. Sličan barijerni sloj rastvorka se formira i u slučaju osmotskih rastvora sa rastvorcima velikih molekularnih masa, čak i pri nižim koncentracijama (Saurel i sar. 1994a, b).

### 2.2.4 Karakteristike rastvorka

Neke od karakteristika rastvorka koje imaju značajan uticaj na proces osmotske dehidracije su molekulska masa rastvorka, naelektrisanje i rastvorljivost u vodi. Ukoliko se uporede dva rastvora jednakih koncentracija, ali različite molekulske mase rastvorka uočava se da je brzina gubitka vode veća pri dehidraciji u rastvoru manje molekulske mase rastvorka (Hawkes i Flink, 1978; Bolin i sar., 1983; Lerici i sar., 1985; Lenart i Lewicki, 1987 i 1989; Lenart, 1992, Mišljenović, 2012). Brzina priraštaja suve materije opada sa porastom molekulske mase rastvorka (Yao i Le Maguer, 1997).

Na proces osmotske dehidracije utiče i pH vrednost osmotskog rastvora. Povećanje kiselosti rastvora povećava i brzinu uklanjanja vode usled promena do kojih dolazi u teksuri tkiva koje se dehidrira (Moy i sar., 1978).

### 2.2.5 Mešanje osmotskog rastvora

Mešanje ili cirkulacija osmotskog rastvora oko uzorka poboljšava osmotsku dehidraciju. Mešanje obezbeđuje kontinualan kontakt površine tkiva koje se dehidrira sa

koncentrovanim osmotskim rastvorom, čime se obezbeđuje veliki gradijent koncentracija na dodirnoj površini tkiva i rastvora. Stoga, mešanje ima veliki uticaj na gubitak mase u slučajevima kada gubitak vode karakteriše veliki spoljni otpor prenosu mase (u slučaju visoko viskoznih ili sporo pokretnih medijuma koji akumuliraju razređeni rastvor u kontaktnoj zoni) (Hawkes i Flink, 1978; Contreras i Smyrl, 1981; Lenart i Flink, 1984a; Ertekin i Cakaloz, 1996).

Mešanje povećava gubitak vode, posebno pri nižim temperaturama procesa ( $<30^{\circ}\text{C}$ ), kada je viskozitet rastvora visok i na početku procesa osmoze. Sa druge strane, prirast suve materije se smanjuje sa mešanjem. Za kratko vreme trajanja procesa mešanje nema uticaja na prirast suve materije. Za duže vreme trajanja procesa prirast suve materije drastično je opadao sa mešanjem. Zaključeno je da mešanje nema direktnog uticaja na prirast suve materije, a da smanjenje prirasta u dugotrajnim procesima je verovatno posledica povećanog gubitka vode koji je razblažio koncentraciju rastvorka u osmotskom rastvoru i poremetio gradijent koncentracije rastvorka između rastvora i materijala koji se dehidrira (Raoult-Wack i sar., 1989; Mavroudis i sar. 1997; Moreira i sar., 2007).

### **2.2.6 Odnos osmotskog rastvora i materijala**

Povećanje odnosa osmotskog rastvora i materijala koji se dehidrira rezultuje povećanjem gubitka vode i prirasta suve materije (Ponting i sar. 1966; Flink, 1979). Da bi se izbeglo značajno razređenje osmotskog medijuma i usled toga smanjenje koncentracionog gradijenta kao pogonske sile procesa osmotske dehidracije, u procesu se koriste velik odnos rastvora i materijala (i do 30:1), dok pri istraživanju prenosa mase praćenjem promene u koncentracijama osmotskog rastvora koriste se manji odnosi od 4:1 ili 3:1 (Conway i sar., 1983, Koprivica i sar., 2010; Mišljenović i sar., 2012b).

### **2.2.7 Geometrija materijala**

Geometrija komada materijala utiče na lokalnu promenu koncentracionog gradijenta usled varijacije površine materijala po jedinici zapremine (ili mase) i dužine difuzije vode i rastvorka koji su uključeni u prenosu mase. Za ispitivanje efikasnosti osmotske dehidracije u zavisnosti od geometrije materijala, korišten je odnos ukupne površine ( $A$ ) i polovine debljine uzorka ( $L$ ). Veći odnos  $A/L$  davao je i veće gubitke vode i priraste suve materije, odnosno veći transfer mase, u poređenju sa uzorcima manjih vrednosti  $A/L$  odnosa. (Lerici i sar., 1985).

Uobičajeni oblici materijala koji se koriste u procesu osmotske dehidracije su: cilindri, kocke, sfere, diskovi, prstenovi i dr. (Tortoe, 2010).



### 2.2.8 Fizičko-hemijske karakteristike sirovine

Hemijski sastav (sadržaj proteina, ugljenih hidrata, masti i soli), fizičke karakteristike (poroznost, pakovanje ćelija, položaj vlakana i pokožica) i tip predtretmana utiču na kinetiku osmotske dehidracije hrane. Predtretmani sirovine, kao što su blanširanje, smrzavanje, sulfatacija i zakišeljavanje dovode do porasta priraštaja suve materije i samim tim utiču na smanjenje efikasnosti osmotskog procesa. Blanširanje u trajanju od 4 minuta uzrokuje manji gubitak vode i veći priraštaj suve materije (Islam i Flink, 1982).

Smrzavanje svežeg materijala dovodi do oštećenja integriteta ćelija tkiva usled pojave kristala leda, umanjujući efikasnost osmotske dehidracije (Ponting, 1973).

Kompaktnost tkiva materijala koji se dehidrira je jedna od najvažnijih karakteristika koja utiče na njene termofizičke i transportne osobine prilikom osmotske dehidracije. Zbog toga promene u strukturi tkiva bitno utiču na prenos mase između tretiranog materijala i osmotskog rastvora. Struktura sirovog materijala ima značajan uticaj na fenomen skupljanja tkiva i brzinu prenosa mase (Lazarides, 2001).

### 2.2.9 Radni pritisak

Istraživanja pokazuju da vakuum primenjen u osmotskoj dehidraciji dovodi do promena ponašanja prenosa mase u sistemu materijal / rastvor (Perera, 1990; Fito, 1994; Fito i Pastor, 1994; Shi i Manupoey, 1994). Ukupan prenos vode zavisi od kombinacije difuzionog i kapilarnog toka, a tretman vakuumom intenzivira kapilarni tok i povećava prenos vode, dok nema uticaja na transport rastvorka (Fito, 1994; Maneepan i Yuenyongputtakal, 2011; Martínez-Valencia i sar., 2011).

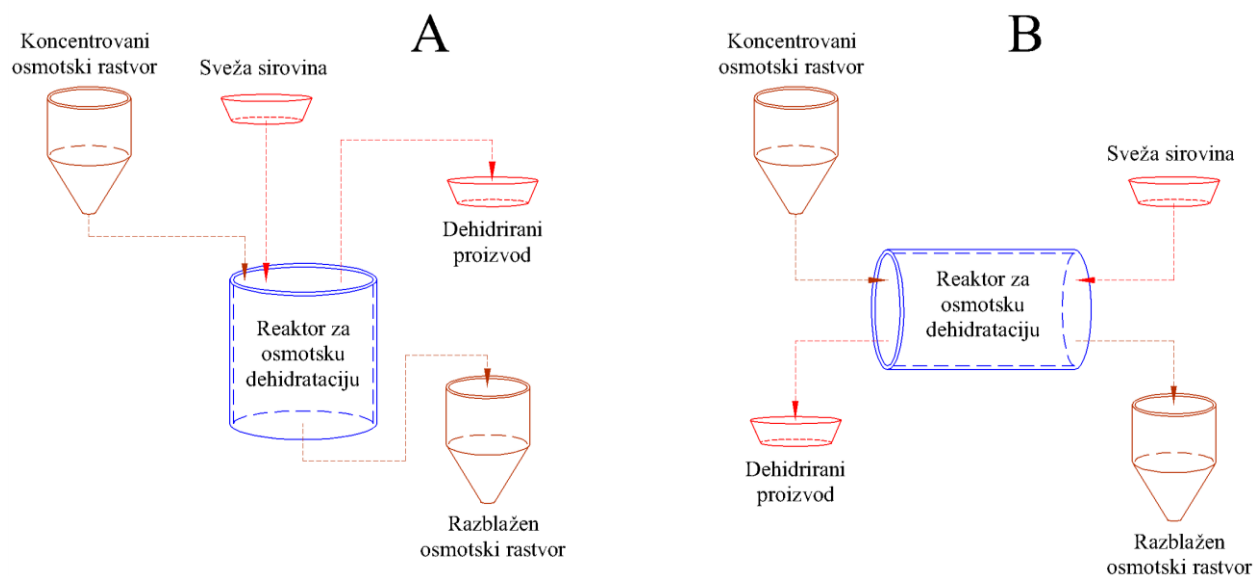
Pored vakuuma, primena visokog hidrostatičkog pritiska, centrifugalne sile, visokog električnog polja i ultrazvuka poboljšava prenos mase tokom osmotske dehidracije (Rastogi i sar., 2000; Rahman, 2007).

## 2.3 Protivstrujna osmotska dehidracija

Teoretska osnova protivstrujnog procesa osmotske dehidracije pretpostavlja veću efikasnost protivstrujnog procesa osmotske dehidracije u poređenju sa istostrujnim procesom, što je i potvrđeno u istraživanjima Lazarides i sar. (2007), gde je zaključeno da protivstrujni proces povećava efikasnost dehidracije krompira kroz povećanje brzine uklanjanja vode i minimalizovanje prirasta suve materije. U istraživanjima Mišljenović i sar. (2011b),

protivstrujnim postupkom osmotske dehidracije šargarepe i jabuke postignuti sadržaji suve materije nakon 1 časa procesa odgovarali su sadržajima suve materije proizvoda nakon 2,5-3 časa procesa istostrujne osmotske dehidracije, što ukazuje na povećanje efikasnosti procesa i mogućnost njegovog skraćivanja uz energetske uštede.

Na slici 2.4 šematski su prikazani procesi istostrujne i protivstrujne osmotske dehidracije iz kojih su uočljive razlike između ova dva procesa.



**Slika 2.4** Šematski prikaz:

- A) Istostrujnog procesa osmotske dehidracije
- B) Protivstrujnog procesa osmotske dehidracije

Istostrujni proces osmotske dehidracije podrazumeva dovodenje u kontakt sveže sirovine koja treba da se osmotski dehidrira sa koncentrovanim osmotskim rastvorom. Kao što je već napomenuto, razlika u sadržaju suve materije, odnosno gradijent koncentracije u sistemu osmotskog rastvora/sirovine koja se dehidrira je pogonska sila za prenos mase (kako vode iz sirovine u osmotski rastvor, tako i rastvoraka iz osmotskog rastvora u dehidrirajuću sirovinu). Gradijent koncentracije u slučaju istostrujnog procesa je najveći u početku, uslovljavajući i najveću brzinu osmotske dehidracije na početku procesa. Sa proticanjem vremena trajanja procesa, dolazi do transfera mase i razblaživanja osmotskih rastvora, odnosno smanjenja sadržaja suve materije u osmotskom rastvoru. Na taj način dolazi i do smanjenja gradijenta koncentracije u sistemu osmotski rastvor/sirovina i usporavanja procesa transfera mase, odnosno osmotske dehidracije. Na kraju procesa istostrujne osmotske dehidracije, u kontaktu su osmotski rastvor najmanjeg sadržaja suve materije sa dehidriranom sirovinom najvećeg sadržaja suve materije.

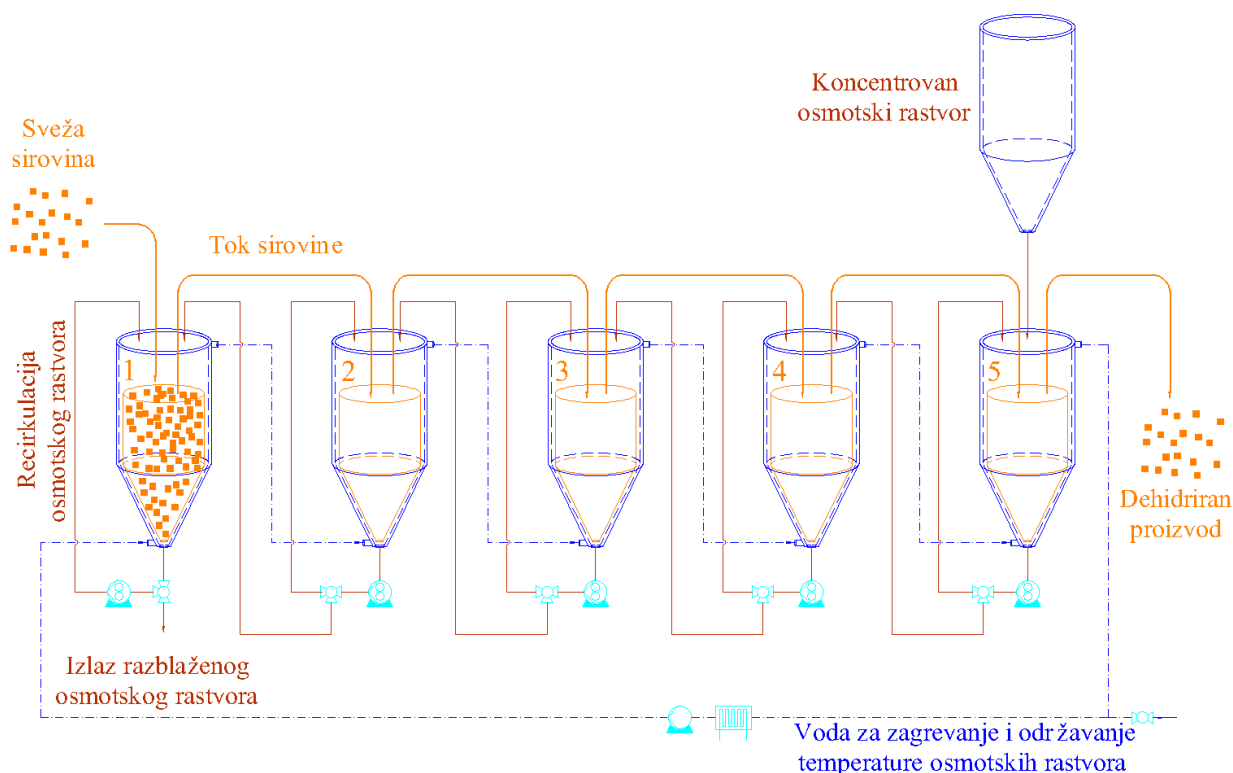
Ideja protivstrujne osmotske dehidracije potekla je od Silinove teorije o ekstrakciji šećera iz šećerne repe (Silin, 1950), uz razliku da u slučaju osmotske dehidracije voda difunduje iz sirovine u osmotski rastvor, dok u slučaju ekstrakcije šećera, rastvoren šećer difunduje iz šećerne repe u vodu.

Protivstrujni postupak osmotske dehidracije podrazumeva dovodenje u kontakt sveže sirovine sa osmotskim rastvorom najmanjeg sadržaja suve materije, na početku procesa, a zatim kako proces dehidracije protiče povećava se i koncentracija osmotskog rastvora, tako da u krajnjem trenutku procesa sirovina sa velikim sadržajem suve materije dolazi u kontakt sa najkoncentrovanijim osmotskim rastvorom. Na taj način gradijent koncentracije uvek ostaje konstantan, iako je on na početku manji od inicijalnog gradijenta koncentracije u istostrujnom procesu. Kako protiče vreme trajanja procesa osmotske dehidracije, u istostrujnom procesu dolazi do smanjenja gradijenta koncentracije i smanjenja brzine dehidracije, dok u protivstrujnom procesu, usled konstantnog gradijenta koncentracije ne dolazi do smanjenja brzine osmotske dehidracije koja je ista do kraja procesa. Protivstrujni proces osmotske dehidracije omogućava uspostavljanje kontinualnog režima rada.

Postoji mnogo konstrukcionih izvedbi uređaja za protivstrujnu osmotsku dehidraciju, a na slikama 2.5 i 2.6 prikazane su tehnološke šeme postrojenja za diskontinualnu i kontinualnu protivstrujnu osmotsku dehidraciju.

### **2.3.1 Diskontinualna protivstrujna osmotska dehidracija**

Diskontinualna protivstrujna osmotska dehidracija je jednostavnije izvedbe i podrazumeva niz uzastopnih osmotskih dehidracija sirovine u rastućim koncentracijama osmotskih rastvora. Sa slike 2.5, vidi se da sveža sirovina se potapa u prvi tank za osmotsku dehidraciju u kome se nalazi osmotski rastvor najmanje koncentracije. Kroz duplikatorske zidove svih tankova protiče voda za zagrevanje i održavanje temperature osmotskih rastvora koja se greje električnim grejačem i cirkuliše uz pomoć pumpe. Na dnu tankova nalazi se ventil kojim se reguliše prebacivanje razblaženog osmotskog rastvora nakon procesa u naredni korak procesa ili recirkulacija rastvora tokom trajanja procesa osmotske dehidracije u tom tanku. Rastvor se recirkuliše uz pomoć zupčaste pumpe.



**Slika 2.5** Tehnološka šema postrojenja za diskontinualnu protivstrujnu osmotsku dehidraciju

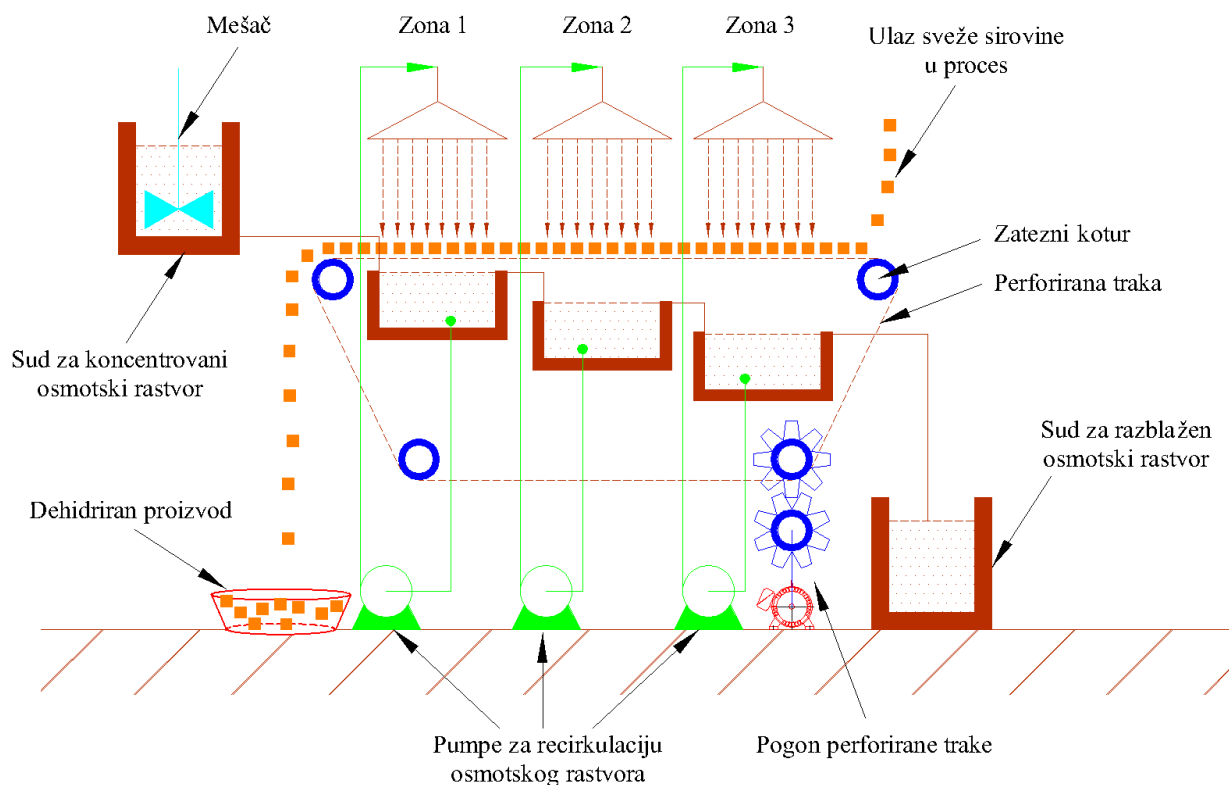
Nakon protoka definisanog vremena osmotske dehidracije u prvom tanku sa najmanjom koncentracijom osmotskog rastvora, delimično dehidrirana sirovina se prebacuje u naredni tank sa većom koncentracijom osmotskog rastvora, gde se ponavlja isti proces kao i u prvom tanku. Na taj način obezbeđuje se protivstrujnost procesa, odnosno sa porastom uklanjanja vode iz sirovine raste i koncentracija osmotskog rastvora u tankovima u kojima se izvodi proces. Na taj način gradijent koncentracije u sistemu sirovina/osmotski rastvor stalno se održava približno konstantnim.

Poslednji tank sadrži osmotski rastvor najveće koncentracije i u njega ulazi sirovina sa visokim sadržajem suve materije. Nakon dehidracije u poslednjem tanku, dobija se dehidrirani proizvod.

Ideja za ovakvu postavku diskontinualne protivstrujne osmotske dehidracije proizišla je iz diskontinualne ekstrakcije šećera iz šećerne repe u difuzionim baterijama (Šušić i Guralj, 1965).

### 2.3.2 Kontinualna protivstruna osmotska dehidracija

Na slici 2.6 prikazan je dijagram pilot postrojenja kontinualnog protivstrujnog osmotskog dehidratora koji su Qi i sar., (1998) koristili za ispitivanje optimalnih procesnih uslova osmotske dehidracije prehrambenih sirovina.



**Slika 2.6** Dijagram pilot postrojenja kontinualnog protivstrujnog osmotskog dehidratora (Qi i sar., 1998)

Uređaj se sastoji od perforirane trake koju zatežu četiri kotura, od kojih je jedan spojen sa motorom i reduktorom koji obezbeđuju varijabilni pogon i pokretanje trake. Koncentrovan osmotski rastvor nalazi se u sudu sa mešačem, odakle se cevovodom dovodi do prve od tri posude za sakupljanje osmotskog rastvora, koje se nalaze ispod perforirane trake. Svaki od sudova za osmotske rastvore ima duplikatorske zidove kroz koje se, strujanjem tople vode, reguliše temperatura osmotskih rastvora. Tri posude za sakupljanje osmotskih rastvora povezane su prelivnim cevima, a poslednja posuda sa sudom za razblažen osmotski rastvor.

Iznad perforirane trake nalaze se tri prskalice koje su povezane sa odgovarajućim posudama za sakupljanje osmotskog rastvora, a cirkulacija rastvora se izvodi uz pomoć tri pumpe. Na taj način formiraju se tri zone za osmotsku dehidraciju sa različitim koncentracijama osmotskih rastvora, gde sveža sirovina prvo dolazi u kontakt sa najrazređenijim osmotskim rastvorom, a na kraju procesa sa najkoncentrovanijim, obezbeđujući protivstrujan tok procesa. Na kraju procesa dehidrirani proizvod pada sa perforirane trake u posebnu posudu.

Ovakva postavka procesa omogućava kontinualan rad, uz postizanje velikih kapaciteta proizvodnje dehidriranog proizvoda.

## 2.4 Energetska efikasnost

Proces sušenja ili dehidracije biološkog materijala je energetski zahtevna tehnološka operacija koja zahteva napredno poznavanje mehanizama sušenja ukoliko se želi postići povećana efikasnost sušenja uz očuvanje kvaliteta gotovog proizvoda. Glavni cilj svakog procesa sušenja je proizvodnja dehidriranog proizvoda željenih kvalitetnih karakteristika uz minimale troškove pri maksimalnom kapacitetu proizvodnje, što zahteva dosledno optimizovanje ovih parametara. Na proces termičkog sušenja koristi se 15% ukupne industrijske potrošnje energije u procesu proizvodnje, pri relativno niskoj termičkoj efiskasnosti, koja se kreće u opsegu od 25-50%. Smanjenje potrošnje energije po jedinici uklonjenje vlage iz proizvoda stoga je neophodno radi povećanja ukupne efikasnosti, smanjenja troškova proizvodnje (Chua i sar., 2001), kao i smanjenja uticaja velike potrošnje energije na životnu sredinu.

U poređenju sa drugim oblicima sušenja, osmotska dehidracija je energetski nisko zahtevan proces, (Panagiotou i sar., 1999; Waliszewski i sar., 1999) jer se zasniva na uklanjanju vode iz dehidrirajućeg materijala bez fazne transformacije, te stoga i bez utroška energije za zagrevanje sirovine i latentne toplote isparavanja vode (Torreggiani, 1993; Della Rosa i sar., 2001).

Potrošnja energije tokom osmotske dehidracije na 40°C, sa uparavanjem osmotskog rastvora, najmanje je dva puta niža u odnosu na konvektivno sušenje na 70 °C (Lenart i Lewicki, 1988).

U procesu osmotske dehidracije energija se troši za:

1. Zagrevanje materijala i hipertoničnog rastvora do potrebne temperature procesa, kao i za održavanje postignute temperature i
2. Uparavanje razređenih osmotskih rastvora za količinu vode koja je uklonjena iz materijala u prethodnom ciklusu osmotske dehidracije.

Energija koja se troši za pumpanje i cirkulaciju osmotskog rastvora (oko 10 kJ/kg uklonjenje vode) i za rastvaranje rastvorka u vodi (oko 1 kJ/kg uklonjenje vode) može se zanemariti jer je mnogo manja u poređenju sa energijom potrebnom za zagrevanje osmotskog rastvora i isparavanje vode koja je migrirala iz materijala (Lewicki i Lenart, 1992).

Kod uparavanja razređenih osmotskih rastvora, energija se troši za cirkulaciju osmotskog rastvora koji se uparava, za šta se troši električna energija čija potrošnja je procenjena na 10

kJ/kg uklonjene vode i troši se toplotna energija neophodna za isparavanje vode koja iznosi 1,8 MJ/kg uklonjene vode (Lewicki i Lenart, 2006).

Povećanje temperature dehidracije povećava efikasnost prenosa mase i skraćuje vreme trajanja procesa. Energija koja se troši na mešanje ili cirkulaciju rastvora iznosi oko 17,2 kJ/kg uklonjene vode na temperaturama 20°C; 10 kJ/kg uklonjene vode na 30°C i 4,3 kJ/kg uklonjene vode na 40°C, odnosno povećanjem temperature procesa, smanjuje se potrebna energija za mešanje i cirkulaciju, prvenstveno usled smanjenja viskoznosti osmotskih rastvora. Veća količina energije potrebna je za održavanje definisane temperature tokom procesa osmotske dehidracije koja u zavisnosti od količine vode koja se uklanja, iznosi 180-240 kJ/kg na 30 °C i 380-500 kJ/kg uklonjene vode na 40 °C (Lenart, 1996).

Potrošnja energije u celokupnom procesu osmotske dehidracije se kreće od praktično 0 do 4000 kJ/kg uklonjene vode, što zavisi od dva faktora, temperature procesa i tretmana rastvora, a što je i dalje daleko manje od potrošnje energije u konvektivnom sušenju, tabela 2.1.

**Tabela 2.1** Uporedna potrošnja energije u procesima osmotske dehidracije i konvektivnog sušenja biljnog materijala (Lenart i Lewicki, 1988)

Temperatura procesa	Potrebna energija (kJ/kg uklonjene vode)			
	20°C	30°C	40°C	70°C
Osmotska dehidracija	2	700	1300	-
Osmotska dehidracija sa uparavanjem rastvora	2110	3400	4000	-
Konvektivno sušenje	-	-	-	8000-9500

## 2.5 Meso svinja kao sirovina za proces osmotske dehidracije

Meso je veoma značajna namirnica u ishrani ljudi, jer je izvor lako svarljivih, biološki i energetski vrednih sastojaka. Meso svinja je bogato proteinima koje sadrže sve esencijalne aminokiseline u optimalnom odnosu, tako da ljudski organizam ih može u potpunosti iskoristiti. Zavisno od sadržaja masti meso može imati i veliku energetsku vrednost. Meso je, takođe i zadovoljavajući izvor vitamina A, B grupe, a u mesu se nalazi i dosta mineralnih materija, posebno gvožđa. Meso sadrži veliku količinu vode i zbog svog hemijskog sastava veoma je podložan supstrat za razmnožavanje mikroorganizama. Zbog toga je meso lako kvarljiva sirovina (Rede i Petrović, 1997).

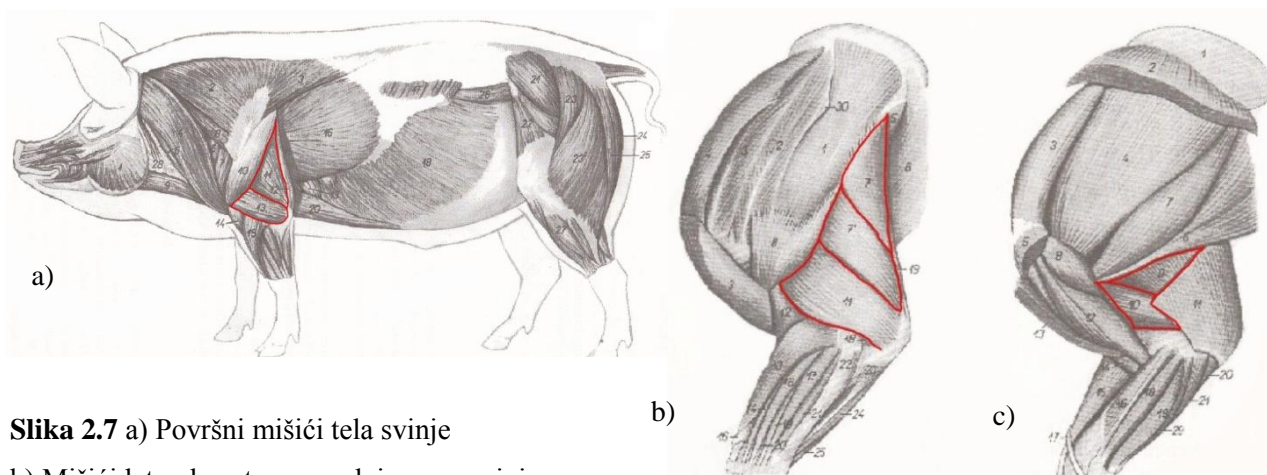
Proizvodi od mesa sa sniženim sadržajem vode od 15 do 50%, imaju vrednosti aktivnosti vode od 0,60 do 0,92. Ovakvi proizvodi od mesa su održivi i bez zahteva za niskim temperaturama skladištenja, a mogu se konzumirati bez rehidracije ili kuvanja. Dehidrirani proizvodi od mesa otporni su na mikrobiološko kvarenje usled niske aktivnosti vode i relativno visokih sadržaja soli pri čemu su veoma ukusni i smatraju se za delikatesne proizvode (Huang i Nip, 2001).

### 2.5.1 Struktura mesa svinja

Meso čini skeletna muskulatura dobijena klanjem stoke, sa uraslim kostima, rskavicama, vezivnim i masnim tkivom, limfnim i krvnim sudovima, limfnim čvorovima i živcima. Pod mesom u užem smislu reči podrazumeva se skeletna muskulatura, bez kostiju i rskavica (Rede i Petrović, 1997).

Skeletni mišići su najveći sistem tkiva kod životinjskih vrsta. Ceo mišić je obično vezan za kost preko snažnog, praktično neelastičnog vezivnog tkiva, koje se sastoji uglavnom od kolagena (Kauffman, 2001).

*M. triceps brachii*, označen na na slici 2.7, je troglavi mišić koji se nalazi u uglu koji čine lopatica i ramena kost. Duga glava (*caput longum*) počinje na kaudalnom rubu lopatice, a završava se na lakatnoj kvrgi. Lateralna glava (*caput laterale*) počinje na grebenu lopatice, a završava se kao i prethodna. Medijalna glava (*caput mediale*) počinje u sredini medijalne površine lopatice, a završava se isto na lakatnoj kvrgi (Rede i Petrović, 1997).



**Slika 2.7** a) Površni mišići tela svinje

b) Mišići lateralne strane prednje noge svinje

c) Mišići medijalne strane prednje noge svinje (Popesko, 1988)

Poprečno-prugasto ili skeletno mišićno tkvino kome pripada i *M. triceps brachii*, sastoji se iz izduženih cilindričnih vlakana koje su organizovane u snopove obavijene vezivnim tkivom. Cilindrična vlakna su mnogojedarne ćelije, dužine najčešće od 1 do 5 cm, a mogu biti i

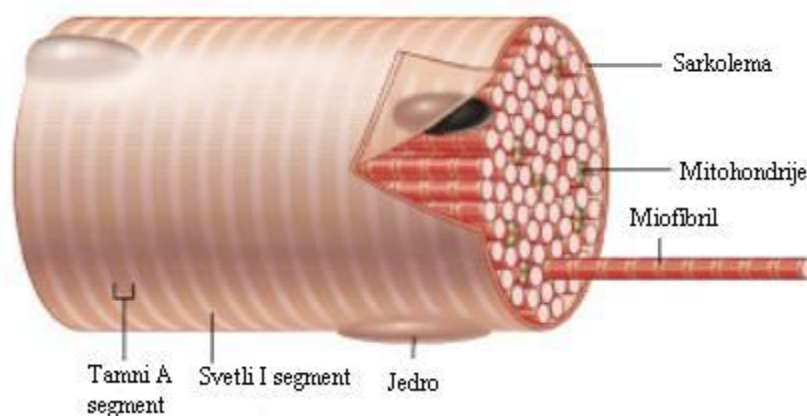


do 30 cm, promera 10 do 100  $\mu\text{m}$ . Mišićno cilindrično vlakno se sastoji od mrežaste opne (sarkoleme), citoplazme (sarkoplazme), jedara, organela i inkluzija (Stanley, 1983; Rede i Petrović, 1997; Feiner G., 2006; Kauffman, 2001; Huang i Nip, 2001).

Na slici 2.8 dat je šematski prikaz građe mišićnog vlakna.

**Sarkolema** je ovojnica koja obavija čitavo vlakno, debljine 10 nm. Sastavljena je od bimolekularnog sloja fosfolipida, čiji je polarni deo okrenut na spolja i pokriven slojem proteina i ugljenih hidrata. Napolarni deo fosfolipida koji se sastoji od lanaca masnih kiselina, okrenut je ka unutra (Rede i Petrović, 1997; Huang i Nip, 2001).

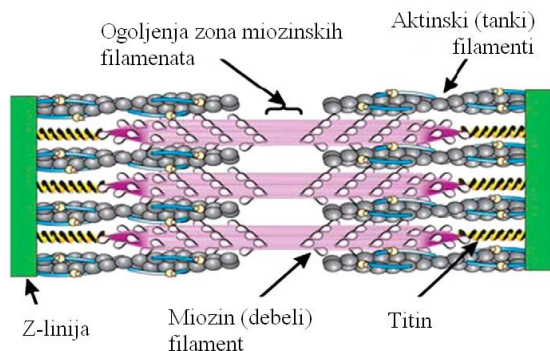
**Sarkoplazma** je citoplazma mišićnog tkiva, u kojoj su smešteni svi ostali sastojci vlakana, kao što su mitohondrije, jedra, kapljice masti, granule glikogena i dr. (Rede i Petrović, 1997).



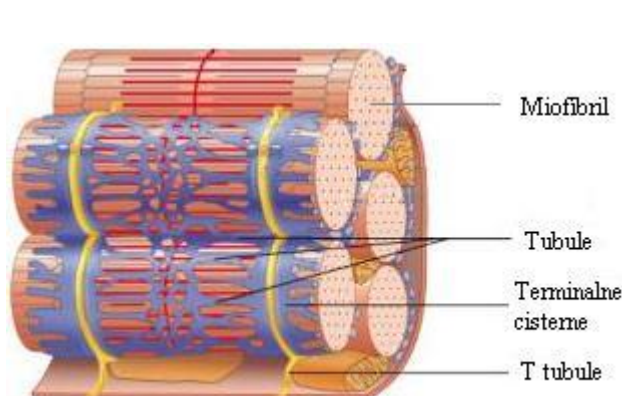
**Slika 2.8** Šematski prikaz građe mišićnog vlakna (<http://faculty.etsu.edu>)

**Jedra** se u mišićnim vlaknima nalaze periferno, uz sarkolemu i u dužim vlaknima može ih biti i po nekoliko stotina. Duguljastog su oblika i položena u smeru duže osovine vlakna, dužine 8-10 $\mu\text{m}$ . Glavne komponente jedra su hematin, koji sadrži mnogo DNK i jedarce sa RNK (Rede i Petrović, 1997; Kauffman, 2001).

**Miofibrili** su funkcionalne organele mišićnih vlakana, koje su položene pojedinačno ili u snopovima, paralelno sa osom vlakna. Promer im je 1-2 $\mu\text{m}$ , a u jednom vlaknu ih može biti i do 2000. Miofibrili su izgrađeni od mikrofilamenata, raspoređenih u dva susedna segmenta. Debeli miozinski filamenti se nalaze u tamnom, anizotropnom ili A-segmentu, a tanki, aktinski filamenti se pružaju duž svetlog, izotropnog ili I-segmenta i ulaze u tamni A-segment, slika 2.9. Tamni i svetli segmenti se naizmenično smenjuju pa se vlakno pod mikroskopom vidi kao poprečno-prugasto (Huxley, 1957; Stanley, 1983; Kauffman, 2001).



**Slika 2.9** Sarkomera – šematski prikaz (Plotnikov i sar., 2006)



Oko svakog miofibrila nalazi se splet spljoštenih mehurića i cevčica, nazvan sarkoplazmatski retikulum, prikazan na slici 2.10. Sistem se sastoji od uzdužnih i poprečnih elemenata koji imaju periodičnost podudarnu sa poprečnim prugama miofibrila (Borg i Caulfield, 1980; Feiner G., 2006).

**Slika 2.10** Sarkoplazmatski retikulum - šematski prikaz (<http://faculty.etsu.edu>)

Uzdužni deo (tubule) se završava terminalnim cisternama, koje se graniče sa poprečnim tubulima. T tubule obavijaju miofibrile i prolaze od jednog do drugog miofibrila kroz celo mišićno vlakno (Rede i Petrović, 1997).

**Mitochondrije** su u mišićnom vlaknu smeštene u blizini jedara i oko miofibrila. Njihova funkcija je da kroz Krebsov ciklus i respiratorni lanac stvore energiju i da putem fosforilacije stvore fosfate bogate energijom (ATP) (Rede i Petrović, 1997).

### 2.5.2 Voda u mesu svinja

Distribucija i mobilnost vode u mišiću imaju veliki uticaj na osnovne atribute kvaliteta mesa poput sočnosti, nežnosti, čvrstine i izgleda (Trout, 1988).

U tabeli 2.2 prikazan je približan hemijski sastav mišića sisara, u koje spada i meso svinjske plečke, odnosno *M. triceps brachii*.

**Tabela 2.2** Prosečan hemijski sastav skeletnih mišića sisara (Kauffman, 2001)

<i>Sastojak</i>	<i>% u odnosu na masu svežeg mišića</i>	<i>Sastojak</i>	<i>% u odnosu na masu svežeg mišića</i>
Voda	(od 65 do 80%) 75,0	Neproteinska azotna jedinjenja	1,5
Proteini	(od 16 do 22%) 18,5	Kreatin i kreatinfosfat	0,5
Miofibrilarni	9,5	Nukleotidi (ATP, ADP i dr.)	0,3
Miozin	5,0	Slobodne aminokiseline	0,3
Aktin	2,0	Peptidi (anserin, karnozin i dr.)	0,3
Troponin	0,8	Drugi neproteinski sastojci	0,1
Tropomiozin	0,8	(kreatin, urea, IMP, NAD, NADP)	
M-protein	0,4	Ugljeni hidrati i neazotna jedinjenja	1,0
C-protein	0,2		
$\alpha$ -aktinin	0,2	Glikogen	(od 0,5 do 1,3%) 0,8
$\beta$ -aktinin	0,1	Glukoza	0,1
Sarkoplazmatski	6,0	Proizvodi razgradnje	0,1
Rastvorljivi i enzimi	5,5	(heksozo i triofo fosfat, mlečna kiselina i dr.)	
mitohondrija		Neorganske materije	1,0
Mioglobin	0,3	Kalijum	0,3
Hemoglobin	0,1	Ukupni fosfor (fosfati i neorganski fosfor)	0,2
Citohromi i flavo proteini	0,1	Sumpor	0,2
Veživotkivni	3,0	Hlor	0,1
Kolagen i retikulin	1,5	Natrijum	0,1
Elastin	0,1	Ostalo (Mg, Ca, Fe, Co, Zn, Ni)	0,1
Drugi nerastvorljivi proteini	1,4		
Lipidi	3,0		
Neutralni lipidi	(od 0,5 do 1,5%) 1,0		
Fosfolipidi	1,0		
Cerebrozidi	0,5		
Holesterol	0,5		

Sadržaj vode u mesu svinjske plećke se kreće u rasponu od 65 do 80%, odnosno prosečno 75%, tabela 2.2. Dve karakteristike molekula vode određuju njegovu povezanosti sa prisutnim

proteinima u tkivu mišića: električni dipol i vodonične veze. U zavisnosti od udaljenosti molekula vode od proteina i svojstava proteina voda u mesu može biti:

- vezana, (čvrsto ili labavo),
- slobodna, (zadržana imobilizacijom ili potpuno slobodna) (Huang i Nip, 2001).

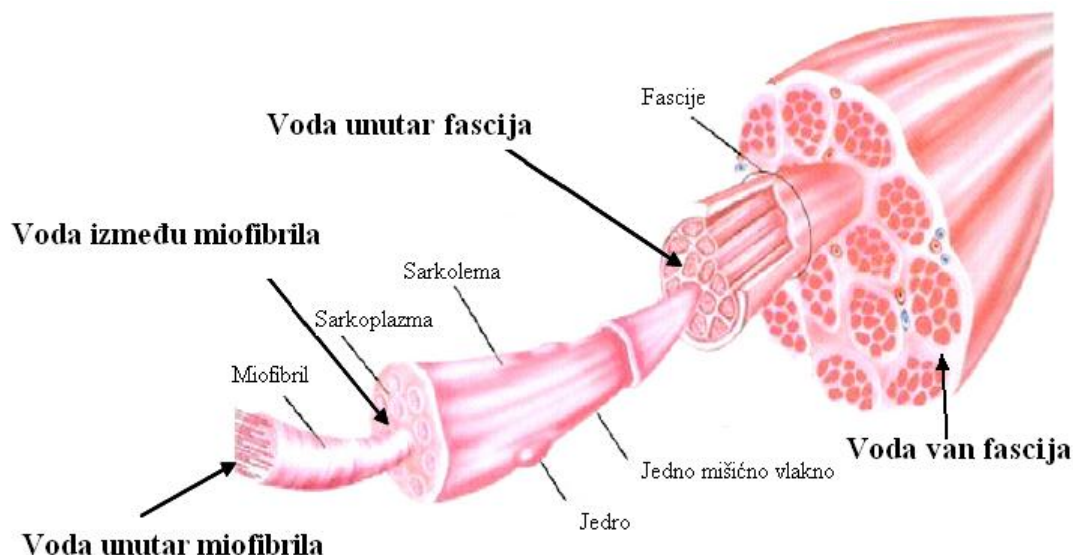
Čvrsto vezane vode u mišiću ima oko 8-10% u odnosu na ukupnu količinu vode, a 4% ukupne količine vode je veoma čvrsto vezano, jer se izdvaja pri veoma niskim naponima pare. Čvrsto vezana voda koja se vezuje za proteine u mono- i multi-molekularnom sloju, označava se i kao hidrataciona voda. Ova voda je toliko čvrsto vezana da čak i pri temperaturama od  $-45^{\circ}\text{C}$  ona ostaje u tečnom stanju. Molekuli vode se vezuju za hidrofilne – polarne grupe proteina preko vodoničnih mostova. Ovako čvrsto vezana hidrataciona voda ima manju sposobnost rastvaranja, nižu tačku mržnjenja i teže se optušta pri sušenju (Honikel 1987; Rede i Petrović, 1997; Huff-Lonergan i Lonergan, 2005; Feiner, 2006).

Labavo vezane vode u mišiću ima oko 10% i ta voda je zadržana uz proteine mišića u vidu „rešetkaste strukture“ čije nastajanje indukuju nepolarne grupe proteina, a razvučena rešetkasta struktura molekula vode dopire u dubinu tečnosti od više stotina molekula (Pearson i Young, 1989).

Imobilizirana i potpuno slobodna voda čini ostatak od oko 80% prisutne vode. Ta voda se nalazi slobodno u spletu filamenata i membrana strukturnih proteina, a delimično je verovatno imobilizirana i elektrostatskim silama i poprečnim vezama između lanaca proteina. Imobilizirana voda ima slična svojstva kao i obična voda, uz malo manju sposobnost rastvaranja i ograničene pokretljivosti molekula. Vezivanje oko 55-60% imobilizirane vode koja se nalazi između miofibrila, zavisi od pH vrednosti sredine (Fennema, 1977; Huff-Lonergan i Lonergan, 2005; Feiner, 2006).

Između labavo vezane vode i imobilizirane vode nema striktnih razlike, tako da je pod određenim uslovima moguć prelaz iz jednog stanja vode u drugo. Od ukupne prisutne vode u mišiću svinjske plečke, 70% vode se nalazi unutar miofibrila, 20% u sarkoplazmi, a preostalih 10% zadržavaju vezivnotkivne ovojnice (Huang i Nip, 2001), slika 2.11.

Voda unutar miofibrilarnog prostora se nalazi između debelih i tankih filamenata, dok se voda van miofibrilarnog prostora nalazi u sarkoplazmi, između miofibrila, zatim unutar fascija, kao i van fascija (Pearce i sar., 2011). Sistem miofibrilarnih proteina je razvijen tako da obavlja veoma brzo i specifično ponavljanje pokreta. Voda u mišićnom vlaknu služi kao mazivo, kao i medijum za transport metabolita u vlakno (Lampinen i Nojonen, 2005).



**Slika 2.11** Položaj vode u delovima mišićnog tkiva (Baechle i Earle, 2008)

U tabeli 2.3 prikazani su podaci o rasporedu vode u sarkomeri. Iz prikazanih podataka vidi se da je najviše molekula vode smešteno u kapilarnim prostorima između debelih miofilamenata u sredini sarkomere, a zatim nešto manje između tankih miofilamenata, a još manje u prostorima između debelih i tankih miofilamenata. Najmanje vode zadržavaju sarkoplazmatski proteini (Rede i Petrović, 1997).

**Tabela 2.3** Raspored vode u sarkomeri (Penny, 1974)

Prostori u sarkomeri	Prečnik kapilarnih prostora (nm)	Broj molekula vode
Preklapanja aktina i miozina	21,5	42
H-zona, miozin-miozin	38,4	120
I-zona, aktin-aktin	45,3	67
Sarkoplazmatski proteini	15,3	30

Utvrđeno je da na mehanizam vezivanja vode utiču sile površinskog napona, elektrostatičke, osmotske i kapilarne sile koje potiču od kompleksne trodimenzionalne strukture sastavnih elemenata mišićnih ćelija i koje deluju na prisutne molekule vode. Ovako kompleksan mehanizam vezivanja vode u mišićnom tkivu još uvek nije u potpunosti razjašnjen (Puolanne i Halonen, 2010).

Dodatak NaCl mesu povećava rastvorljivost proteina mesa, smanjući međusobne veze i interakcije proteina. NaCl rastvara filamente miozina verovatno usled apsorpcije hloridnih jona ( $\text{Cl}^-$ ) na hidrofobne lance aminokiselina miozinskih filamenata.  $\text{Cl}^-$  utiču na povećanje hidrofilitnosti međufazne površine proteina i vode, što povećava rastvorljivost filamenata miozina.

Rastvaranje filamenata miozina oslobađa hidrofobne amino kiseline njihovih jezgara dovodeći ih u kontakt sa vodom i na taj način povećavajuću količinu slobodne vode. Istovremeno sa razlaganjem filamenata na njegove sastavne delove, povećava se i njegova slobodna površina. Na taj način dolazi do akumulacije natrijumovih jona oko F-aktina, čineći međupovršinu između F-aktina i vode više hidrofobnom, odnosno dodatno povećavajući količinu slobodne vode (Puolanne i Halonen, 2010).

## **2.6 Uticaj procesa osmotske dehidracije na kvalitet osmotski dehidriranih poluproizvoda**

### **2.6.1 Uticaj procesa osmotske dehidracije na mikrobiološki profil osmotski dehidriranih poluproizvoda**

Meso je bogato svim hranljivim sastojcima potrebnim za razvoj mikroorganizama, međutim meso ipak ne predstavlja idealnu sredinu za njihov razvoj, usled razvijenog sistema opni od vezivnog tkiva koji štiti meso od prodiranja mikroorganizama u dubinu. Dodatno, u mesu su prisutne male količine niskomolekularnih jedinjenja koja mikroorganizmi direktno koriste za energetske svrhe i izgradnju ćelijskih elementata (Gill, 1980; Rede i Petrović, 1997).

Rizik mikrobiološke kontaminacije, nastaje pri manipulaciji i maloprodaji mesa (Gill, 1998).

Mikrobiološki kvalitet obrađenog mesa u mnogome zavisi od veštine i stručnosti radnika na obradi mesa, čak i više od uslova pogona u kome se ove operacije izvode (Maxcy, 1981; Mackey i Roberts, 1993).

Meso je sterilno u dubini ili sadrži veoma mali broj bakterija (do  $10^2$ /g). U dubini mesa mogu se naći anaerobne, fakultativno anaerobne i mikroaerofilne bakterija iz rodova *Clostridium*, *Bacillus*, *Streptococcus*, *Lactobacillus* i eventualno iz porodice *Enterobacteriaceae*. Na površini mesa, međutim, uvek ima mikroorganizama, a njihov broj zavisi od higijene manipulacije. Na površini polutki se normalno nalazi od  $10^2$  do  $10^5$  mikroorganizama po  $1\text{ cm}^2$ . Kao posledica razmnožavanja bakterija može nastati kvar mesa ili trovanje ljudi hranom. Meso se može kvariti u dubini i na površini, pogotovo ako se drži pod nepovoljnim uslovima. Da bi se meso sačuvalo od kvarenja nije neminovno da se odstrane sve bakterije koje se na njemu nalaze, ali da bi se meso moglo čuvati duže vreme mora se sprečiti njihovo razmnožavanje. Za kraće čuvanje dovoljno je da se broj bakterija ne povećava (Rede i Petrović, 1997; Marshall i Farid a Bal'a, 2001; Feiner, 2006).

Dostupni su podaci za skraćeni postupak salamurenja mesa od svinjskog buta, koji u svom mehanizmu obrade mesa sadrži i proces osmotske dehidracije. U najvećem broju uzoraka mesa proizvedenih po ovom postuku, ukupan broj bakterija bio je veoma mali, a senzorskim pregledom ni jedan uzorak nije ispoljavao nikakve promene koje bi mogle da budu posledica mikrobiološkog rasta (Rede i Petrović, 1997).

Proizvodi od svinjskog, junećeg i pilećeg mesa kojima je sadržaj vode snižavan različitim metodama tehnološkog tretmana, iskazali su dobru mikrobiološku stabilnost u poređenju sa svežim ili kuvanim mesom, omogućavajući im dug rok skladištenja (Huang i Nip, 2001).

Uticaj procesa osmotske dehidracije na razvoj mikroorganizama u mesu nije pronađen u dostupnoj literaturi, dok je uticaj procesa osmotske dehidracije na razvoj mikroorganizama dokumentaovan za voće i povrće.

Dokazano je da visoke koncentracije osmotskih rastvora utiču na parametre mikrobiološkog rasta u osmotski dehidriranom kiviju. Preporučuje se upotreba visokokoncentrovanih osmotskih rastvora u procesu u cilju minimalizovanja adhezije mikroorganizama i usporavanja rasta u gotovom proizvodu tokom skladištenja (Gianotti i sar., 2001).

Proizvodi voća i povrća dobijeni nakon tretmana osmotske dehidracije stabilniji su od netretiranih tokom skladištenja usled postignutih niskih aktivnosti vode usled gubitka vode i prirasta suve materije tretiranih proizvoda voća i povrća. Pri niskim vrednostima aktivnosti vode, smanjuju se brzine hemijskih reakcija i rast mikroorganizama koji produkuju toksine (Tortoe, 2010).

### **2.6.2 Uticaj prirasta suve materije na promenu svojstava osmotski dehidriranih poluproizvoda**

Proces osmotske dehidracije se pokazao kao dobar metod za dobijanje minimalno obrađenog voća, usled velike senzorske sličnosti između dehidriranih i svežih proizvoda (Lerici i sar., 1985; Sousa i sar., 2003), iako se specifičnost procesa u odnosu na ostale procese sušenja, ogleda se u prirastu suve materije kao sekundarnom prenosu mase koji prati primarni prenos vode iz tkiva u osmotski rastvor. Upravo prirast suve materije dovodi i do promene senzorskog i hemijskog profila osmotski dehidriranog proizvoda u poređenju sa svežom sirovinom. Hemijski sastav osmotskog rastvora, stoga, usloviće i promenu senzorskih karakteristika proizvoda. Istraživanja su pokazala da proces osmotske dehidracije poboljšava kvalitet dehidriranog proizvoda sa aspekta boje, ukusa i teksture (Ponting i sar., 1966; Rahman, 1992).

U istraživanjima Konopacka i sar, (2009) zaključeno je da su karakteristike osmotskih rastvora značajno uticale na ukus i/ili teksturu i senzorsku prihvatljivost dehidriranog materijala. Pored poboljšanja senzorskih svojstava, prirast suve materije ima uticaj i na povećanje nutritivne vrednosti osmotski dehidriranih proizvoda (Torreggiani i Bertolo, 2001).

U postupcima osmotske dehidratacije za pripremu hipertoničnih rastvora koriste se nekoliko različitih supstanci, pojedinačno ili u kombinaciji (Maguer, 1988). Fizičko-hemijske karakteristike rastvorka koji se koristi za pripremu hipertoničnog rastvora utiču i na proces osmotske dehidratacije (Hawkes i Flink, 1978; Bolin i sar., 1983; Lerici i sar., 1985; Lenart i Lewicki, 1987, 1989; Lenart, 1992). Zapaženo je da molekularna masa, jonsko stanje i rastvorljivost rastvorka u vodi uzrokuju razlike u mehanizmima prenosa mase u procesu osmotske dehidratacije. Veličina molekula rastvora ima značajan uticaj na odnos gubitka vode i prirasta suve materije. Što je manji molekul rastvorka, on se dublje probija u unutrašnjost tkiva koje se dehidrira (Tortoe, 2009).

Rastvori šećera i soli su se pokazali kao najbolji izbor na osnovu efektivnosti, upotrebljivosti i ukusa. Lenart i Flink (1984a) su upoređivani različite osmotske rastvore pri istim sadržajima suve materije i zaključili da osmotski rastvor sa mešavinom saharoze i soli je uslovio veće sniženje aktivnosti vode u dehidriranom proizvodu u poređenju sa rastvorima čiste saharoze. Ovaj fenomen je pripisan povećanom unosu soli u dehidrirani proizvod. Njihove analize su pokazale da se saharoza akumulirala u tankom sloju ispod površine uzrokujući povećanje kompaktnosti površinskog tkiva (povećavajući barijeru masenom transportu), dok je so ulazila mnogo dublje u tkivo. Prisustvo soli u osmotskom rastvoru može da spreči formiranje kompaktnog površinskog sloja, omogućavajući veće brzine gubitka vode i prirasta suve materije. Na kraju, povećanje koncentracije soli dovodi do niže aktivnosti vode u rastvoru i povećanja pogonske osmotske sile. Pored osmotske dehidratacije voća i povrća, rastvori saharoze i soli se takođe uspešno koriste i za dehidriranje sirovina animalnog porekla (Lenart i Flink, 1984b).

## 2.7 Melasa šećerne repe kao osmotski rastvor

Specifični uticaj osmotskog rastvora na dehidrirani proizvod je od velikog značaja pri odabiru rastvora koji će se koristiti u procesu. Faktori koji utiču na odabir rastvora su: cena rastvora, senzorska kompatibilnost sa krajnim proizvodom i dodatan uticaj na očuvanje namirnice kroz prirast suve materije. (Torreggiani, 1995).

Pored konvencionalnih hipertoničnih rastvora na bazi saharoze i natrijum hlorida, u poslednje vreme na Tehnološkom fakultetu, Univerziteta u Novom Sadu uspešno su sprovedena



mnoga istraživanja i o mogućnosti korišćenja melase šećerne repe kao osmotskog rastvora za dehidrataciju raznih sirovina biljnog i animalnog porekla (Koprivica i sar., 2009a i b, Mišljenović i sar., 2011b, Mišljenović i sar., 2012a, Filipović i sar., 2012, Mišljenović i sar., 2012b, Pezo i sar., 2012, Cvetković i sar., 2012).

Melasa je nusprodukt industrije šećera. To je tamnomrki sirup, velikog viskoziteta, dobijen na poslednjem stepenu kristalizacije iz kojeg više nije moguće, pod povoljnim tehnološkim uslovima, dobiti šećer zadovoljavajućeg kvaliteta (Šušić i sar., 1995).

Hemijski sastav melase je veoma kompleksan. U njoj se nalazi preko 200 raznih organskih i neorganskih jedinjenja, tabela 2.4. i tabela 2.5.

Melasa, kao polikomponentni sistem, poseduje hemijski sastav koji je dosta promenljiv i u širokim granicama, što uglavnom zavisi od sastava šećerne repe kao polazne sirovine, od primenjenih tehnoloških procesa u fazi čišćenja difuzionih sokova i fazi kristalizacije saharoze iz pogonskih šećernih sirupa. Najveće razlike u hemijskom sastavu su u vezi količine rafinoze, invertnog šećera i mineralnih materija (Olbrich, 1963).

**Tabela 2.4.** Srednji hemijski sastav melase šećerne repe (Olbrich, 1963; Šušić i sar.1995)

Organske supstance (%)		Mineralne supstance (%)	
Šećeri		K <sub>2</sub> O	4,3
Saharoza	51,0	Na <sub>2</sub> O	0,9
Glukoza	-	CaO	0,26
Fruktoza	-	MgO	0,14
Invertni šećer	0,5	SiO <sub>2</sub>	0,1
Rafinoza	1,0	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,07
Proteini	5,0	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,02
Glutaminska kiselina	4,0	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	3,5
Betain	6,0	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0,55
Ostala N-jedinjenja	1,5	Cl <sup>-</sup>	1,6
Organske kiseline	1,5	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	0,06
Ostale organske supstance	1,5		
<b>Ukupno:</b>	<b>72,0</b>	<b>Ukupno:</b>	<b>11,5</b>
<b>Ukupno suve supstance :</b>	<b>72,0+11,5 =</b>		<b>83,5</b>

**Tabela 2.5.** Sadržaj elemenata u tragovima i vitamina u sastavu melase šećerne repe (Curtin, 1983)

Elementi u tragovima (mg/kg)		Vitamins (mg/kg)	
Bakar	36	Biotin	0,36
Gvožđe	249	Holin (vitamin B8)	745
Magnezijum	35	Pantotenska kiselina (vitamin B5)	21
Cink	13	Riboflavin (vitamin B8)	1,8
		Tiamin (vitamin B8)	0,9

Melasa ima visok sadržaj suve materije (preko 80%) i sadrži u proseku 51% saharoze, 1% rafinoze, 0,25% glukoze i fruktoze, 5% belančevina, 6% betaina, 1,5% nukleozida, purinskih i pirimidinskih baza, organske kiseline i pektine. Glavni sastojak azotnih materija repe je betain. U repi ga ima oko 0,3%, a u melasi ga može biti i preko 6%. Od aminokiselina najviše ima glutaminske – oko polovina ukupne količine aminokiselina. Purina i pirimidina sadrži samo u tragovima. U melasi se nalazi i oksalna kiselina (0,01%), oksiglutarna, mlečna (0,5%), saharinska, huminska, arabinska i glicinska kiselina. U maloj meri su zastupljene i isparljive kiseline: mravlja, sirćetna, propionska i buterna, kao i jedinjenja ovih kiselina. Pored navedenih sastojaka, melasa šećerne repe predstavlja značajan izvor brojnih mikronutrijenata (vitamina i minerala), naročito kalijuma, kalcijuma, gvožđa, magnezijuma i vitamina B kompleksa. Posebno značajna činjenica je da su sve mineralne komponente melase u rastvorenom stanju i da se kalijum nalazi u znatno većoj količini od svih ostalih katjona sa udelom od oko 75%. Tamna boja melase potiče pretežno od melanoidina i produkata karamelizacije (Šušić i sar., 1995).

Za trajnu upotrebu u prehrambene svrhe, neophodno je izvršiti sterilizaciju i korekciju specifičnog mirisa i ukusa melase šećerne repe. Upotreba melase u ljudskoj ishrani je ograničena zbog relativno visokog sadržaja K<sup>+</sup> jona. Preporučena dnevna količina je od 20 do 40g (Mišljenović, 2012).

Od fizičkih osobina melase za proces osmotske dehidratacije bitan je veoma velik viskozitet melase na nižim temperaturama, koji uslovljava probleme kako u tehnologiji šećera tako i pri osmotskoj dehidrataciji (Šušić i sar.1995).

## 2.8 Mogućnosti unapređenja procesa osmotske dehidratacije

### 2.8.1 Poboljšanje procesa osmotske dehidratacije

Proces osmotske dehidratacije ima veliku upotrebnost vrednost jer obezbeđuje potrošačima bezbedne proizvode odličnog kvaliteta. Industrijska primena procesa i novi osmotski dehidrirani proizvodi zahtevaju odgovarajuću procesnu opremu industrijskog nivoa (Fito i Chiralt, 2000).

Analiziranjem i poređenjem rezultata prenosa vode u procesu sa normalnim pritiskom i u procesu sa vakuumom, prenos vode je mnogo brži u procesu sa vakuumom. Mehanizam prenosa mase u uslovima vakuuma se opisuje kao „hidrodinamički penetracioni mehanizam“. Analize ovakvog mehanizma obezbedile su bolje poznavanje fenomena prenosa mase u poroznim tkivima koja su uronjena u rastvore šećera (Lerici i sar., 1985; Fito i sar., 1996, 1998; Maneepan i Yuenyongputtakal, 2011; Martínez-Valencia i sar., 2011).

Istraživane su mogućnosti unapređenja prenosa mase korišćenjem ultrazvuka u procesu osmotske dehidracije (Rastogi i Niranjana, 1998), a takođe istraživane su i mogućnosti korišćenja predtretmana visokim pritiskom radi razbijanja ćelijskih membrana i ubrzavanja gubitka vode (Rastogi i sar., 1999). Primenjivano je i pulsno električno polje visokog intenziteta u cilju povećavanja brzina prenosa mase (Spiess, 1999). Poznavanje zavisnosti između karakteristika materijala i prenosa mase potrebno je dodatno produbiti (Shi i Xue, 2009).

Integracije poboljšanja u kombinovanim procesima, pojedinačnim operacijama i upravljanjem rastvorima potrebno je izvoditi kroz kompletnu sistemsku analizu. Na taj način tehničke i ekonomske procene će biti primenljive i u industrijskim uslovima (Bolin i sar., 1983; Valle i sar., 1998; Valle i sar., 1998; Dalla Rossa i Giroux, 2001).

Neophodno je konstruisati prototipove uređaja ili pilot postrojenje za razvoj proizvoda za industriju, koji bi se mogli skalirati na industrijski nivo (Qi i sar., 1999).

Osmotski rastvor se razblažuje usled gubitka rastvorljivih supstanci i prihvatanja vode iz sveže sirovine koja se dehidrira. Kod praktične primene procesa osmotske dehidracije u velikim razmerama, nastaje velika količina razređenog osmotskog rastvora na kraju procesa koji predstavlja problem. Osmotski rastvor je potrebno ponovo koncentrisati i koristiti da bi proces osmotske dehidracije bio ekonomski prihvatljiv (Shi i Xue, 2009).

Proces osmotske dehidracije u industrijskoj primeni zahteva precizno predviđanje uklanjanja vode iz prehrambenih sirovina. Simultani tokovi rastvoraka i vode kao i njihove interakcije zahtevaju teoretski pristup rešavanju fenomena do kojih dolazi u procesu. Bez obzira na velika unapređenja u poznavanju teorije procesa osmotske dehidracije potrebna su dodatna saznanja da bi se ovaj proces uspešno primenjivao u industrijskim razmerama u prehrambenoj industriji (Shi i Xue, 2009).

### **2.8.2 Ponovno korišćenje osmotskog rastvora**

Jedan od osnovnih nerešenih problema procesa osmotske dehidracije je velika količina iskorišćenog, zaostalog osmotskog rastvora nakon procesa. Taj problem ima ekološki i ekonomski aspekt koji je potrebno rešavati (Garcia – Martinez i sar., 2002; Rahman, 2007).

Višestruko korišćenje istih osmotskih rastvora rešilo bi problem velike količine otpadnog, iskorišćenog osmotskog rastvora, višestruko smanjujući njegovu količinu. Da bi se stvorili preduslovi za ponovnu upotrebu osmotskih rastvora potrebno je primeniti tehnološke postupke kojima se obezbeđuje održavanje konstantne koncentracije rastvorka u rastvoru:

1. Uparavanje;
2. Kriokoncentrisanje;
3. Dodavanje rastvorka;
4. Membranska separacija; (Dalla Rosa i Giroux, 2001).

Uparavanje osmotskog rastvora je najčešće primenjivan postupak za održavanje konstantne koncentracije osmotskog rastvora i izvodi se ili na atmosferskom pritisku pri visokim temperaturama ili pod vakuumom na srednjim temperaturama. Korišćenje uparivača povećava potrošnju energije i troškove celokupnog procesa, ali i dalje je potrošnja energije u takvom procesu 2-3 puta manja od potrošnje energije tokom konvektivnog sušenja (Lenart i Lewicki; 1988).

Mikrobiološka validacija procesa je u bliskoj vezi sa upravljanjem i tretmanom osmotskih rastvora, usled mikrobioloških promena do kojih dolazi tokom procesa osmotske dehidracije i tretmana recikliranja osmotskog rastvora (Raoult-Wack, 1994).

Kod dehidracije mesa, ribe i povrća male kiselosti postoji mogućnost rasta i razvoja patogenih i apatogenih bakterija. Da bi se sprečila mikrobiološka kontaminacija u slučajevima višestruke upotrebe rastvora, mora se razmotriti uvođenje grube filtracije, pasterizacije i dekolorizacije u cilju sanitacije rastvora. Pasterizacija u razmenjivaču toplote u trajanju od 30s i na temperaturi 72°C, se pokazala kao dovoljan tretman za sanitaciju osmotskog rastvora nakon osmotske dehidracije voća. Filtriran, pasterizovan i dekolorizovan rastvor se može ponovo koristiti i to nekoliko puta (Dalla Rosa i Giroux, 2001).

Koncentrovani vodeni rastvori saharoze koji se koriste za osmotsku dehidraciju voća se nakon upotrebe u osmotskom procesu mogu koristiti kao sirovine u drugim prehrambenim tehnologijama (proizvodnja džemova, voćnih sokova, konzervisanog voća i povrća, u proizvodnji aroma i sl.). Iskorišćeni osmotski rastvori soli još uvek nemaju upotrebu u drugim granama prehrambene industrije. Ukoliko se melasa šećerne repe koristi kao osmotski rastvor, nakon višestruke upotrebe može se uspešno koristiti kao podloga za proizvodnju bioetanol ili kao dodatak u proizvodnji hrane za životinje (Lević i sar., 2008; 2009, Mišljenović, 2012).

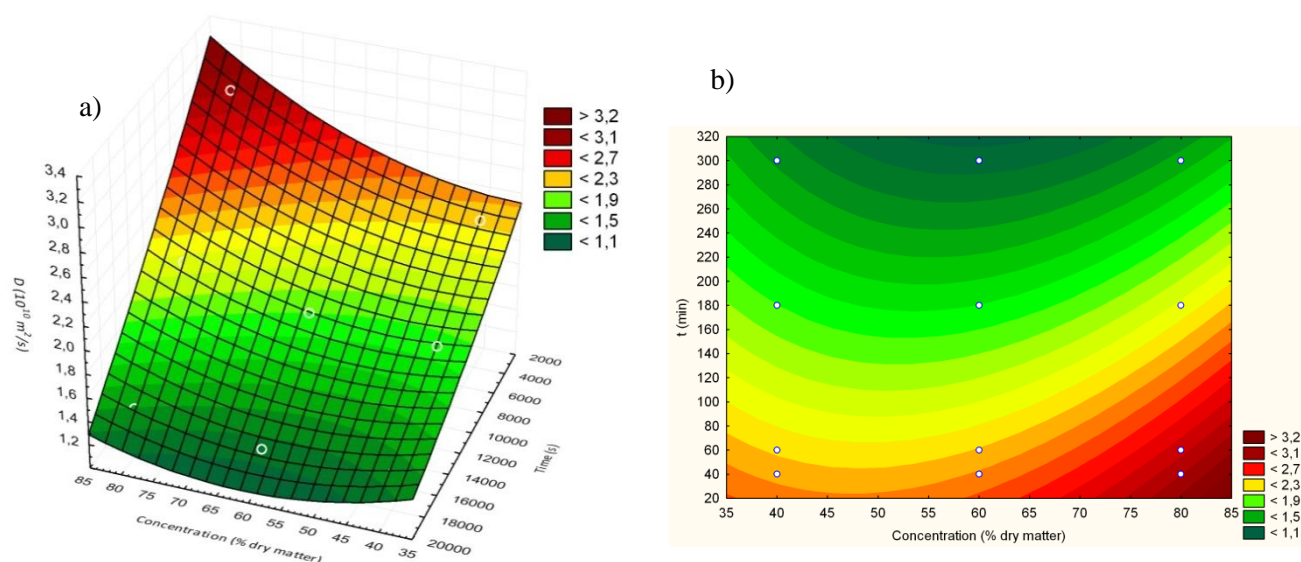
Proces osmotske dehidracije nikada neće biti u potpunosti bez uticaja na životnu sredinu, sve dok se ne razviju i unaprede metode konačnog tretmana iskorišćenih, otpadnih rastvora iz procesa osmotske dehidracije (Raoult-Wack, 1994).

## 2.9 Metod odzivne površine

Klasičan pristup istraživanju uticaja pojedinačnih faktora na neku pojavu ili proces uključuje dosta napora i vremena, a posebno je problematičan u slučajevima ispitivanja značaja međusobnih interakcija pojedinačnih faktora (Ozdemir i sar., 2008; Romagnoli i Gualtieri, 2009). Najefikasniji put povećanju vrednosti istraživanja i skraćivanju vremena njegovog trajanja je planiranje eksperimenata (Lazić, 2004).

Metod odzivne površine (Response Surface Methodology - RSM) je efikasan alat za optimizaciju tehnoloških procesa, uključujući i osmotsku dehidraciju. Osnovna prednost RSM je u tome što je potreban manji broj eksperimentalnih podataka da bi se obezbedio dovoljan broj informacija za određivanje statistički validnih rezultata. RSM spada u najčešće korištene postupke statistički planiranih eksperimenata. Ovaj postupak se može definisati kao empirijska statistička tehnika primenjena za regresionu analizu podataka dobijenih iz adekvatno planiranih eksperimenata simultanim rešavanjem sistema jednačina (Allen, 2006; Myers i Montgomery, 2002).

Svaka od jednačina naziva se funkcija odziva, a njen geometrijski prikaz se naziva odzivna površina, koje se mogu prikazati u tri dimenzije, slika 2.12 a, ili kao konturne površine, u dve dimenzije, slika 2.12 b (Brereton, 2003; Montgomery i Runger, 2003; Cox i Reid, 2000).



**Slika 2.12** Odzivna površina koeficijenta difuzije u zavisnosti od vremena trajanja procesa i koncentracije osmotskog rastvora prikazana kao:

- Površina u tri dimenzije
- Konturna površina u dve dimenzije (Filipović i sar., 2012)

Odzivne funkcije su polinomskog oblika pri čemu se kvalitet fitovanja eksperimentalnih podataka može poboljšati povećanjem stepena polinoma. Ovakvi modeli su posebno pogodni za rešavanje optimizacionih problema s obzirom da je njima moguće opisati interakcije velikog broja faktora, a i procena kvaliteta fitovanja polinomskih modela se može lako odrediti (Lazić, 2004). Definisanje značajnosti pojedinih faktora moguće je uraditi pomoću ANOVA testa, odnosno t-vrednosti povezanih sa svakim od koeficijenata polinoma, koje ukazuju koji faktori su značajni odnosno koje od interakcija su bitne za posmatrani odziv (Jokić, 2010).

Najjednostavniji polinom koji se može primeniti je polinom prvog reda koji u obzir uzima samo linearne uticaje pojedinačnih faktora:

$$\eta = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 \quad [2.4]$$

Ako se kao krajnji cilj postupka uzme pronalaženje optimalnog rešenja onda je neophodno koristiti polinome drugog reda za opisivanje odabranih odziva:

$$\eta = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_{11} x_1^2 + \beta_{22} x_2^2 + \beta_{12} x_1 x_2 \quad [2.5]$$

tada svaki od posmatranih faktora mora da ima tri ili pet nivoa vrednosti u zavisnosti od primenjenog eksperimentalnog plana.

Najčešće se u istraživanjima koriste sledeći planovi: Box-Behnken dizajn, centralni kompozitni plan, potpuni eksperimentalni plan i dr.

Osnovni nedostatak primene polinomskih modela je nemogućnost predviđanja vrednosti odziva izvan ispitivanog opsega procesnih parametara (Mišljenović, 2012a).

Najčešće primenjivan metod RSM, za modelovanje i mogućnost optimizacije različitih procesa razvili Box i Draper (1987) i ovaj metod je korišten za modelovanje i evaluaciju efektivnih koeficijenata difuzije tokom osmotske dehidracije banane (Mercali i sar., 2011), zatim za modelovanje i optimizaciju procesa osmotske dehidracije zelene paprike (Ozdemir i sar. 2008) i za optimizaciju osmotske dehidracije krompira (Eren i KaymakErtekin, 2007). Prenos mase tokom osmotske dehidracije mrkve u rastvorima saharoze i melasi šećerne repe uspešno je evaluiran primenom postupka odzivne površine (Uddin i sar. 2004; Mišljenović i sar. 2012).

### 3. EKSPERIMENTALNI DEO

---

Mesto istraživanja doktorske disertacije su bile laboratorije Tehnološkog fakulteta, gde su pripremani svi uzorci, sprovedeni postupci osmotskih dehidratacija i rađen jedan deo analiza na osmotski dehidriranim uzorcima, a u akreditovanim laboratorijama Naučnog instituta za prehrambene tehnologije urađene su preostale mikrobiološke, hemijske, senzorne i analize boje i teksture. Eksperimentalno istraživanje je bilo podeljeno u četiri celine:

1. Analiza uticaja tehnoloških parametara na proces osmotske dehidratacije svinjskog mesa
2. Mogućnosti povećanja efikasnosti procesa osmotske dehidratacije
3. Energetski bilans procesa osmotske dehidratacije
4. Karakterizacija osmotski dehidriranog svinjskog mesa.

#### 3.1 Materijal

Sirovina na kojoj su sprovedena sva istraživanja je svinjsko meso iz mišića plećke (*M. triceps brachii*), koje je za potrebe ispitivanja, kupovano sveže iz iste lokalne mesare, pola sata pre svakog istraživanja. Prosečni sadržaj suve materije mesa svinjske plećke je iznosio  $25,46 \pm 1,29\%$

Za potrebe pripreme osmotskih rastvora korišćene su sledeće sirovine:

- Natrijum hlorid (NaCl), komercijalni proizvod, 99-99,50% čistoće kristala, koji je kupovan u lokalnoj prodavnici;
- Saharoza, komercijalni proizvod, 99,70% čistoće kristala, kupovana u lokalnoj prodavnici;
- Melasa šećerne repe, sadržaja suve materije 85,04, iz šećerane u Crvenki. Pre upotrebe u procesu osmotske dehidratacije, melasa je čuvana na sobnoj temperaturi u zatvorenim plastičnim posudama. Osnovni hemijski sastav korišćene melase prikazan je u tabeli 3.1;
- Destilovana voda.

**Tabela 3.1** Osnovni hemijski sastav melase šećerne repe korišćene u istraživanju

Sadržaj	
Suva materija, (%)	85,04
Voda, (%)	21,26
Proteini, (%)	10,15
Ukupni fosfati, (%)	0,28
Ukupni pepeo, (%)	8,46
Masti, (%)	0,10
Natrijum hlorid, (%)	0,06
Saharoza, (%)	49,11
Kalijum, mg/100g	3311,96
Natrijum, mg/100g	368,15
Magnezijum, mg/100g	39,69
Gvožđe, mg/100g	5,32
Kalcijum, mg/100g	296,22

### 3.2 Postupak osmotske dehidracije

Sve radne površine i alati koji su korišćeni u pripremi svežeg mesa i osmotskih rastvora, temeljno su očišćeni, oprani i dezinfikovani farmaceutskim etanolom koncentracije 70% v/v. Komadno svinjsko meso usitnjeno je ručno na komade oblika kocke, približnih dimenzija 1x1x1cm.

U cilju ispitivanja uticaja vrste osmotskih rastvora na proces osmotske dehidracije, tri osmotska rastvora su pripremana za istraživanje:

- R1, vodeni rastvor natrijum hlorida i saharoze,
- R2, mešavina osmotskog rastvora R1 i melase u masenim odnosima 1:1 i
- R3, čista melasa šećerne repe.

Osmotski rastvor R1, pripremljen je na sledeći način:

350 g komercijalnog, kristalnog NaCl je rastvoreno je u potpunosti uz upotrebu električne mešalice, u 1 kg destilovane vode, a zatim je dodato 1200g komercijalne, kristalne, saharoze, koja je rastvorena u drugoj fazi mešanja, takođe uz upotrebu električne mešalice (Collignan i sar., 2001, Qi i sar., 1998). Na taj način dobijen je osmotski rastvor u kome su NaCl i saharoza na granici rastvorljivosti ovih supstanci ([www.chem.wisc.edu](http://www.chem.wisc.edu), [www.sugartech.co.za](http://www.sugartech.co.za)).

Ovako pripremljen osmotski rastvor R1, maksimalne koncentracije suve materije od 60%, razblaživan je destilovanom vodom do koncentracije suve materije od 52,5%, odnosno



dodavanjem vode u rastvor R1 u masenom odnosu 1:7 i do koncentracije suve materije od 45%, odnosno dodavanjem vode u rastvor R1 u masenom odnosu 1:3. Ovaj isti odnos mase vode i osmotskih rastvora (1:7 i 1:3) za potrebe variranja koncentracija osmotskih rastvora, korišten je i pri pripremi razblaženja ostala dva osmotska rastvora. Na taj način ostvarena su ekvivalentna razblaženja između različitih osmotskih rastvora, odnosno svi osmotski rastvori su razblaženi jednakom količinom destilovane vode.

Osmotski rastvor R2, pripremljen je mešanjem i homogenizovanjem osmotskog rastvora R1 i melase razblažene do sadržaja suve materije od 80%, u masenim odnosima 1:1. Tako dobijen osmotski rastvor R2 imao je sadržaj suve materije od 70%. Zatim je za potrebe ispitivanja uticaja koncentracije osmotskog rastvora na proces osmotske dehidracije razblažen destilovanom vodom do koncentracije suve materije od 61,25%, odnosno dodavanjem vode u rastvor R2 u masenom odnosu 1:7 i do koncentracije suve materije od 52,5%, odnosno dodavanjem vode u rastvor R2 u masenom odnosu 1:3; slično kao i osmotski rastvor R1.

Poslednji osmotski rastvor R3 je bio melasa koja je razblažena od početne koncentracije melase na 80% sadržaja suve materije, a zatim za potrebe ispitivanja uticaja koncentracije rastvora na proces, melasa je razblaživana do koncentracije suve materije od 70% i 60%, odnosno dodavanjem destilovane vode u melasu u odnosima 1:7 i 1:3; kao što je bio slučaj i sa R1 i R2.

Korišćen odnos mase mesa i osmotskog rastvora od 5:1, odabran je iz razloga sprečavanja prekomernog razblaženja osmotskog rastvora usled migracije vode iz mesa koje se dehidrira i omogućavanja konstantnih uslova koncentracije osmotskih rastvora tokom celog trajanja procesa osmotske dehidracije.

Za potrebe poređenja istostrujnog procesa osmotske dehidracije sa protivstrujnim procesom, korišćen je odnos mase mesa i osmotskog rastvora od 1:2, iz razloga koji su opisani u poglavlju 4.2.

Proces osmotske dehidracije, u zavisnosti od mase početnog uzorka i cilja ispitivanja, izvođen je:

- u staklenim laboratorijskim čašama od 1000 ml,
- a u slučaju ispitivanja karakteristika poluproizvoda od dehidriranog mesa, gde je masa uzoraka mesa bila veća, na eksperimentalnom postrojenju za diskontinualnu osmotsku dehidraciju.

Početna masa uzoraka svežeg mesa se razlikovala u zavisnosti od postupka procesa osmotske dehidracije i daljih analiza kojima su osmotski dehidrirano meso i osmotski rastvori analizirani.

Uzorci svežeg mesa postavljani su u odabrane osmotske rastvore, određenih koncentracija, na definisanim temperaturama procesa (20°C, 35°C i 50°C) koje su održavane konstantnim u termostatu, tokom celog trajanja procesa od 5 časova. Svi eksperimenti su sprovedeni na atmosferskom pritisku.

Uslovi homogenizacije osmotskog rastvora (intenzitet, vreme trajanja i učestalost mešanja) nisu se menjali za sve rastvore, pri svim temperaturama procesa i koncentracijama osmotskih rastvora, u cilju mogućnosti upoređenja dobijenih rezultata.

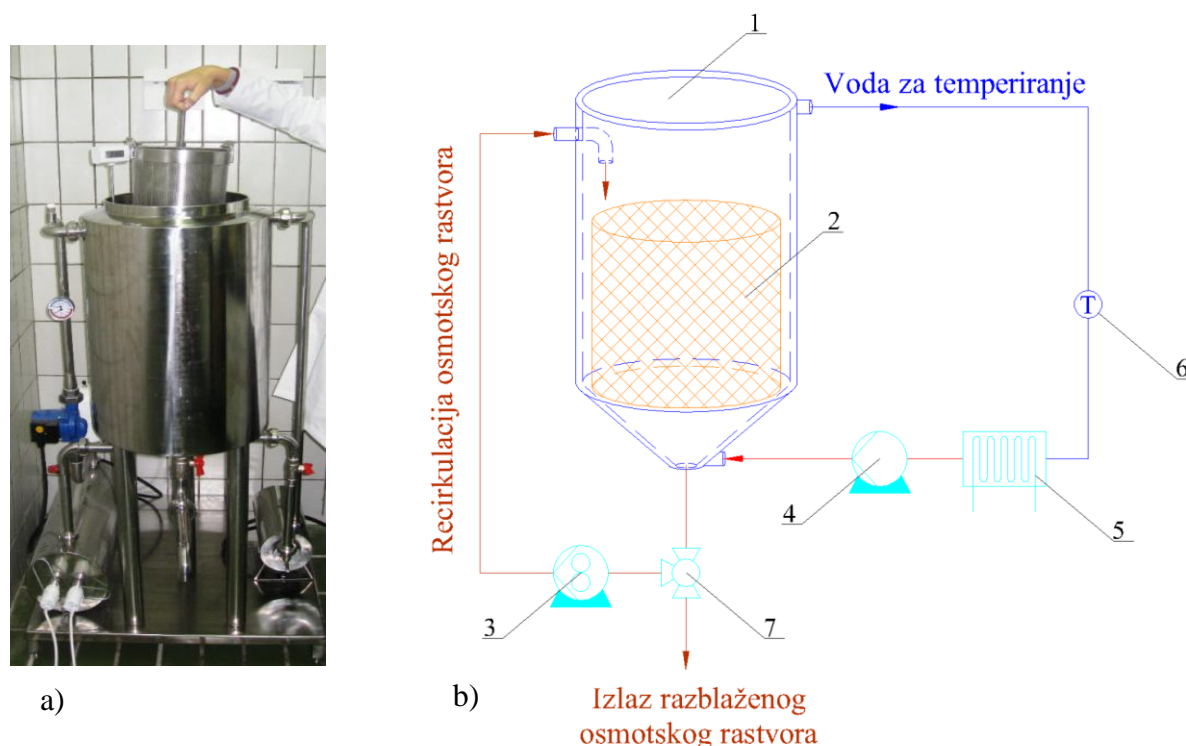
Nakon 1, 3 i 5 časova osmotske dehidracije, uzorci dehidriranog mesa vađeni su iz osmotskog rastvora, zatim ispirani sa vodom, a višak vode od ispiranja pažljivo uklanjao filter hartijom sa svakog pojedinačnog komada dehidriranog mesa.

U procesima osmotskih dehidracija koji su izvođeni na količinama početnog uzorka od 600g za potrebe karakterisanja dobijenih poluproizvoda od dehidriranog svinjskog mesa, korišćeno je eksperimentalno pilot postrojenje za diskontinualnu osmotsku dehidraciju, koje je projektovano i konstruisano u okviru naučnog projekta Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije TR20112 (2008.-2011. godina) (Lević i sar., 2009) na Tehnološkom fakultetu, Univerziteta u Novom Sadu, slika 3.1.

Uređaji postrojenja za diskontinualnu osmotsku dehidraciju izrađeni su od nerđajućeg čelika u skladu sa standardima propisanim za prehrambenu industriju. Postrojenje se sastoji od cilindričnog reaktora sa duplikatorskim zidovima (pozicija 1), perforiranog kontejnera za materijal koji se dehidrira (pozicija 2), pumpe za recirkulaciju osmotskog rastvora (pozicija 3), pumpe za cirkulisanje vode za temperiranje (pozicija 4), grejač sa termostatom za vodu (pozicija 5), kontrolnog termometra (pozicija 6) i ventil za usmeravanje osmotskog rastvora (pozicija 7). Cilindrični reaktor sa duplikatorskim zidovima, konusnim dnom i ispustom za tečnost je zapremine 36 dm<sup>3</sup>.

U ovaj reaktor sipa se osmotski rastvor (R1-R3) i u njega uranja perforiran kontejner sa materijalom koji se dehidrira. Perforiran kontejner za osmotsku dehidraciju je izrađen od nerđajućeg čelika, cilindričnog je oblika i ima perforacije prečnika 2,5 mm.

Kroz dvostruki zid reaktora cirkuliše zagrejana voda i održava se radna temperatura tokom eksperimenta. Voda se zagreva u grejaču sa termostatom (pozicija 5), cirkulacija se postiže pomoću pumpe za vodu (pozicija 5), a temperatura kontroliše termometrom (pozicija 6).



**Slika 3.1** Izgled (a) i šema (b) eksperimentalnog postrojenja za diskontinualnu osmotsku dehidraciju (Lević i sar., 2009)

Postrojenje za osmotsku dehidraciju je opremljeno pumpom (pozicija 3) koja omogućava recirkulaciju osmotskog rastvora. Ventil (pozicija 7) mora biti postavljen u položaj za recirkulaciju osmotskog rastvora. Pumpa (pozicija 3) usisava tečnost sa dna rezervoara i potiskuje je ka vrhu suda.

Po isteku vremena dehidracije, vadi se perforirani kontejner (pozicija 2), a uzorci za dalje analize su tretirani identično kao i u slučaju osmostke dehidracije uzoraka mesa za potrebe određivanja optimalnih tehnoloških parametara procesa, uz razliku da za potrebe određivanja mikrobiološkog profila, korišćena je sterilisana voda za ispiranje uzoraka dehidriranog mesa.

Masa uzoraka dehidriranog mesa, nakon procesa osmotske dehidracije, bez obzira kako je izvođen, odmeravana je na vagi KERN 440-35N, tačnosti  $\pm 0,01g$ . Masa dela uzoraka dehidriranog mesa odmeravana je za određivanje sadržaja suve materije, a zatim sušena do postizanja konstantne mase na temperaturi sušnice (Instrumentaria Sutjeska, Hrvatska) od  $105^{\circ}C$ . Nakon postizanja konstantne mase uzoraka mesa, iz masa pre i nakon konvektivnog sušenja određivani su sadržaji suve materije nakon procesa osmotske dehidracije.

### 3.2.1. Postupak protivstrujne osmotske dehidracije

Postupak izvođenja protivstrujne osmotske dehidracije u većini koraka se podudara sa postupkom izvođenja istostrujne osmotske dehidracije, tako da će biti naglašene samo razlike u postupcima ova dva procesa.

Protivstrujna osmotska dehidracija je izvođena, kao i istostrujna na tri temperature (20°C, 35°C i 50°C) koje su održavane konstantnim u termostatu, tokom celog trajanja procesa od ukupno 5 časova. Meso je pripremljeno na identičan način kao i kod istostrujnog procesa. Korištena su, takođe, ista tri osmotska rastvora R1-R3, pripremljena na opisan način kao kod istostrujnog procesa. Za svaki sat procesa protivstrujne osmotske dehidracije pripremana su odgovarajuća razređenja osmotskih rastvora:

Sat:	1h	2h	3h	4h	5h
R1:	45% s.m.*	48,75% s.m.	52,5% s.m.	56,25% s.m.	60% s.m.
R2:	52,5% s.m.	56,88% s.m.	61,25% s.m.	65,63% s.m.	70% s.m.
R3:	60% s.m.	65% s.m.	70% s.m.	75% s.m.	80% s.m.

\*s.m. - suva materija

Protivstrujna osmotska dehidracija je izvođena u laboratorijskim uslovima po šemi koja je prikazana na slici 2.5 u poglavlju 2.3.1, pri čemu su dehidracione tankove zamenile staklene laboratorijske čaše od 1000 ml.

Postupak protivstrujne osmotske dehidracije se izvodio na sledeći način:

Sveže svinjsko meso, 5x50g, potapano je u pet paralelnih osmotskih rastvora količine 5x100g, najmanjih koncentracija sadržaja suve materije, u kojima se proces odvijao tokom prvog sata. Mešanje i temperiranje je izvođeno identično kao i kod istostrujnog procesa, tokom celokupnog trajanja procesa od pet časova.

Nakon isteka prvog sata, svih pet uzoraka mesa je izvađeno iz osmotskih rastvora, isprano i osušeno, identično kao i kod istostrujnog procesa, pri čemu je četiri uzoraka mesa dalje vođeno u procesu protivstrujne osmotske dehidracije, a jedan uzorak mesa korišćen za merenje mase i sadržaja suve materije, po opisanom postupku.

Četiri uzorka mesa, dalje, su potapana u sledeći osmotski rastvor veće koncentracije (u navedenim koncentracijama osmotskih rastvora za drugi čas procesa). Nakon isteka drugog sata, jedan uzorak mesa je izvađen iz procesa i meren, a tri preostala uzorka mesa su potapana u osmotske rastvore sledeće veće koncentracije (R1: 52,5% s.m.; R2: 61,25% s.m. i R3: 70% s.m.).

Isti postupak je ponovljen i nakon trećeg časa protivstrujne osmotske dehidracije, sa tim što su preostala dva uzorka potopljena u rastvore viših koncentracija.

Na kraju četvrtog časa, jedan uzorak mesa je izveden iz procesa na merenje, a drugi, poslednji uzorak mesa je potopljen u osmotske rastvore najvećih koncentracija sadržaja suve materije.

Nakon isteka poslednjeg, petog časa protivstrujne osmotske dehidracije, poslednji uzorak dehidriranog mesa je meren i određivan mu je sadržaj suve materije, kao i svim ostalim uzorcima nakon svakog časa procesa.

### **3.3 Postupak ispitivanja dinamike isparavanja vode**

Dinamika isparavanja vode, je eksperimentalno praćena u paralelnim probama konvektivnog sušenja mesa i destilovane vode pri identičnim uslovima.

U sušnicu zagrejanu na 100°C stavljene su dve identične staklene posude: u jednu je stavljen uzorak mesa, usitnjen na komade dimenzija 1x1x1 cm, mase 100g, a u drugu uzorak vode, mase 100g. Uzorci mesa i vode su bili na istoj početnoj, sobnoj temperaturi.

U jednakim vremenskim intervalima (15 min, 30 min, 45 min, 60 min, 90 min, 120 min i 150 min) merena je masa uzoraka vode i mesa i formirana zavisnost gubitka vode isparavanjem iz uzoraka vode i mesa od vremena trajanja konvektivnog sušenja.

### 3.4 Proračuni

#### 3.4.1 Proračuni paramerata osmotske dehidracije

Na osnovu sledećih izraza izračunati su odzivi procesa osmotske dehidracije:

Sadržaj suve materije (DMC):

$$DMC = \frac{m_d}{m_i} \cdot 100\% \quad [3.1]$$

Gubitak vlage (WL):

$$WL = \frac{m_i z_i - m_f z_f}{m_i} \left[ \frac{g}{g_{i.s.}} \right] \quad [3.2]$$

Prirast suve materije (SG):

$$SG = \frac{m_f s_f - m_i s_i}{m_i} \left[ \frac{g}{g_{i.s.}} \right] \quad [3.3]$$

(Le Marguer, 1988);

Indeks efikasnosti osmotske dehidracije (DEI):

$$DEI = \frac{WL}{SG} \quad [3.4]$$

(Lazarides i sar., 1997);

gde su:

$m_d$  - masa suve materije [g];

$m_i$  - masa svežeg uzorka [g];

$m_f$  - masa uzorka nakon procesa osmotske dehidracije [g];

$z_i$  - maseni udeo vode u svežem uzorku  $\left[ \frac{g}{g_{i.s.}} \right]$ ;

$z_f$  - maseni udeo vode u uzorku nakon procesa osmotske dehidracije  $\left[ \frac{g}{g_{i.s.}} \right]$ ;

$s_i$  - maseni udeo suve materije u svežem uzorku  $\left[ \frac{g}{g_{i.s.}} \right]$ ;

$s_f$  - maseni udeo suve materije u uzorku nakon procesa osmotske dehidracije  $\left[ \frac{g}{g_{i.s.}} \right]$ .

### 3.4.2 Proračuni metoda odzivne površine

Metoda odzivne površine (Response Surface Methodology - RSM) je odabrana za procenu generalnog uticaja tehnoloških parametara (temperatura procesa ( $t$ ), vreme trajanja procesa ( $\tau$ ) i koncentracije osmotskog rastvora ( $C$ )) na promenu posmatranih odziva sistema (DMC, WL, SG i  $a_w$ ) tokom procesa osmotske dehidracije kockica svinjskog mesa.

Izbor adekvatnog eksperimentalnog plana je ključni korak u primeni ovog postupka. Za potrebe ovog istraživanja usvojen je potpuni faktorijalni eksperimentalni plan po Box & Behnken-u, sa tri faktora na tri nivoa, gde su nezavisno promenljive veličine: temperatura procesa ( $X_1$ ), vreme trajanja procesa ( $X_2$ ), i koncentracija osmotskog rastvora ( $X_3$ ), a vrednosti su kodirane i prikazane u tabeli 3.2. za sva tri osmotska rastvora.

Odabrane vrednosti tehnoloških parametara, odnosno nezavisno promenljivih veličina,  $X_1$ ,  $X_2$  i  $X_3$ , odabrane su na osnovu prethodnih istraživanja Koprivica i sar. (2009a); Koprivica i sar. (2009b); Mišljenović i sar. (2011a) i Petrović i sar. (2012). Zavisno promenljive veličine, odnosno odzivi sistema su DMC ( $Y_1$ ), WL ( $Y_2$ ), SG ( $Y_3$ ), DEI ( $Y_4$ ) i  $a_w$  ( $Y_5$ ).

U tabeli 3.3 prikazan je potpuni faktorijalni eksperimentalni plan sa 27 prolaza.

**Tabela 3.2** Kodirane vrednosti tehnoloških parametara

	<i>Tehnološki parametri</i>		<i>Kodirane vrednosti</i>		
			-1	0	+1
$X_1$	Temperatura (°C)		20	35	50
$X_2$	Vreme (h)		1	3	5
$X_3$	Koncentracija (%)	R1	45	52,5	60
		R2	52,5	61,25	70
		R3	60	70	80

**Tabela 3.3** Potpuni faktorijalni eksperimentalni plan RSM metode u procesu osmotske dehidracije svinjskog mesa u tri različita rastvora

Red. br.	Kodirane vrednosti		
	t ( $X_1$ )	$\tau$ ( $X_2$ )	C ( $X_3$ )
1.	-1	-1	-1
2.	-1	0	-1
3.	-1	+1	-1
4.	-1	-1	0
5.	-1	0	0
6.	-1	+1	0
7.	-1	-1	+1
8.	-1	0	+1
9.	-1	+1	+1
10.	0	-1	-1
11.	0	0	-1
12.	0	+1	-1
13.	0	-1	0
14.	0	0	0
15.	0	+1	0
16.	0	-1	+1
17.	0	0	+1
18.	0	+1	+1
19.	+1	-1	-1
20.	+1	0	-1
21.	+1	+1	-1
22.	+1	-1	0
23.	+1	0	0
24.	+1	+1	0
25.	+1	-1	+1
26.	+1	0	+1
27.	+1	+1	+1



Na osnovu eksperimentalnih rezultata za proces istostrujne osmotske dehidracije, formiran je model zavisnosti odziva sistema od ispitivanih nezavisno promenljivih veličina:

$$Y_k = f_k(\text{temperatura, vreme, koncentracija}); \quad [3.5]$$

dok za proces protivstrujne osmotske dehidracije formiran je sledeći model:

$$Y_k = f_k(\text{temperatura, vreme}). \quad [3.6]$$

Polinom drugog stepena je korišćen za fitovanje eksperimentalnih podataka. Dobijeno je 4 odzivne funkcije (za DMC, WL, SG i  $a_w$ ) u zavisnosti od 3 ispitana faktora ( $X$ ) u slučaju istostrujne osmotske dehidracije:

$$Y_k = \beta_{k0} + \sum_{i=1}^3 \beta_{ki} X_i + \sum_{i=1}^3 \beta_{kii} X_i^2 + \sum_{i=1}^2 \sum_{j=i+1}^3 \beta_{kij} X_i X_j, \quad k=1-4; \quad [3.7]$$

dok u slučaju protivstrujne osmotske dehidracije polinom ima sledeći oblik:

$$Y_k = \beta_{k0} + \sum_{i=1}^2 \beta_{ki} X_i + \sum_{i=1}^2 \beta_{kii} X_i^2 + \beta_{k12} X_1 X_2 \quad k=1-4 \quad [3.8]$$

gde su u oba slučaja:  $\beta_{kij}$  regresioni koeficijenti;  $Y$  predstavlja DMC ( $Y_1$ ), WL ( $Y_2$ ), SG ( $Y_3$ ),  $a_w$  ( $Y_4$ ), a  $X$  predstavlja temperaturu ( $X_1$ ), vreme ( $X_2$ ) i koncentraciju osmotskog rastvora ( $X_3$ ).

Značajnost uticaja pojedinačnih faktora kao i njihovih interakcija, za svaki od odziva, utvrđena je analizom varijanse (ANOVA) i primenom post-hoc Tukey-evog HSD testa. Za analizu ANOVA i RSM korišćenjen je softverski paket StatSoft Statistica ver.10.0.

### 3.4.3 “Score” analiza optimizovanja odziva osmotske dehidracije

U „*Score*“ analizi koristi se min-max normalizacija odzivnih vrednosti koja prevodi odzive iz njihovog dimenzionog sistema u novi bezdimenzioni sistem koji omogućava dalju matematičku obradu različitih vrsta odziva (Jayalakshmi i Santhakumaran, 2011). Normalizovani odzivi daju “*Score*” ili “Ocenu” ( $S$ ) procesa, gde najveća vrednost  $S$  predstavlja optimalne odzive procesa osmotske dehidracije (DMC, WL, SG i  $a_w$ ), odnosno optimalnu kombinaciju tehnoloških parametara ( $t$ ,  $\tau$ ,  $C$ ).

$$S_{1i} = \frac{(DMC_i - DMC_{min})}{(DMC_{max} - DMC_{min})} \quad [3.9]$$

$$S_{2i} = \frac{(WL_i - WL_{min})}{(WL_{max} - WL_{min})} \quad [3.10]$$

$$S_{3i} = 1 - \frac{(SG_i - SG_{min})}{(SG_{max} - SG_{min})} \quad [3.11]$$

$$S_{4i} = 1 - \frac{(a_{wi} - a_{wmin})}{(a_{wmax} - a_{wmin})} \quad [3.12]$$

$$S_i = \frac{(S_{1i} + S_{2i} + S_{3i} + S_{4i})}{4} \quad [3.13]$$

$$\max[S_i] \rightarrow \text{optimum} \quad [3.14]$$

## 3.5 Metodi

### 3.5.1 Metodi mikrobioloških analiza

- Određivanje prisutnog broja *Salmonella* spp. rađeno je na osnovu standarda SRPS EN ISO 6579:2008, Mikrobiologija hrane i hrane za životinje - Horizontalni metodi za otkrivanje *Salmonella* spp.;
- Određivanje ukupnog broja bakterija rađeno je na osnovu standarda SRPS EN ISO 4833:2008, Mikrobiologija hrane i hrane za životinje - Horizontalni metodi za određivanje broja mikroorganizama - Tehnika brojanja kolonija na 30°C;
- Određivanje prisutnog broja *Enterobacteriaceae* rađeno je na osnovu standarda SRPS ISO 21528-2:2009, Mikrobiologija hrane i hrane za životinje - Horizontalni metodi za otkrivanje i određivanje broja *Enterobacteriaceae* - Deo 2: Metodi brojanja kolonija;
- Određivanje prisutnog broja *Escherichia coli*, rađeno je na osnovu standarda SRPS ISO 16649-2:2008, Mikrobiologija hrane i hrane za životinje - Horizontalni metodi za određivanje broja β-glukuronidaza pozitivne *Escherichia coli* - Deo 2: Tehnika brojanja kolonija na 44°C pomoću 5-bromo-4-hloro-3-indolil β-D-glukuronida.

### 3.5.2 Metodi određivanja $a_w$ vrednosti

Vrednosti aktivnosti vode svežih i osmotski dehidriranih uzoraka mesa određivane su na uređaju za određivanje aktivnosti vode TESTO 650 (Nemačka) sa tačnošću od ±0,001 na temperaturi od 25°C.

### 3.5.3 Metodi analiza hemijskog sastava

Sva analitička merenja izvođena su u skladu sa AOAC metodama (2000).

Osnovni hemijski sastav svinjskog mesa i osmotskih rastvora pre i nakon procesa osmotske dehidracije određen je sledećim ispitivanjima:

- Sadržaj vode (suve materije) određivan je na osnovu standarda SRPS ISO 1442:1998, Meso i proizvodi od mesa - Određivanje sadržaja vlage (Referentni metodi);
- Sadržaj proteina određivan je na osnovu standarda SRPS ISO 1871:1992, Poljoprivredno-prehrambeni proizvodi - Opšta uputstva za određivanje azota metodom po Kjeldalu;
- Sadržaj ukupnih fosfata određivan je na osnovu standarda SRPS ISO 13730:1999, Meso i proizvodi od mesa - Određivanje sadržaja ukupnog fosfora - Spektrometrijski metodi;
- Sadržaj ukupnog pepela određivan je na osnovu standarda SRPS ISO 936:1999, Meso i proizvodi od mesa - Određivanje ukupnog pepela;
- Sadržaj slobodne masti određivan je na osnovu standarda SRPS ISO 1443:1992, Meso i proizvodi od mesa. Određivanje sadržaja ukupne masti;
- Sadržaj natrijum hlorida određivan je na osnovu standarda SRPS ISO 1841-1:1999, Meso i proizvodi od mesa - Određivanje sadržaja hlorida - Deo 1: Metodi po Volhardu;
- Sadržaj saharoze određivan je na osnovu standarda ISO 11292:1995, Determination of free and total carbohydrate contents - Method using high-performance anion-exchange chromatography;
- Sadržaj kalijuma, natrijuma, magnezijuma i kalcijuma određivan je na osnovu standarda SRPS EN 1134:2005, Sokovi od voća i povrća - Određivanje sadržaja natrijuma, kalijuma, kalcijuma i magnezijuma atomskom oapsorpcionom spektrometrijom (AAS);
- Sadržaj gvožđa određen je na osnovu standarda BS EN 15763:2009, Foodstuffs. Determination of trace elements. Determination of arsenic, cadmium, mercury and lead in foodstuffs by inductively coupled plasma mass spectrometry (ICPMS) after pressure digestion.

### 3.5.4 Metodi deskriptivne senzorske analize

Metodi deskriptivne senzorske analize izvođeni su prema Standardu SRPS ISO 11035:2002, Senzorske analize - Identifikacija i odabir deskriptora za utvrđivanje senzorskog profila multidimenzionalnim postupkom.

Sveže i osmotski dehidrirano meso ocenjivao je panel od šest članova. Panelisti su prošli obuku i bili su upoznati sa specifičnim senzorskim osobinama dehidriranog mesa, a za smernice izbora, obuke i praćenja ocenjivača primenjen je SRPS ISO 8586-1:2002, Senzorske analize - Opšte uputstvo za odabir, obuku i praćenje ocenjivača - Deo 1: Odabrani ocenjivači.

Ocena je sprovedena u laboratoriji sa kabinama opremljenoj prema SRPS EN ISO 8589:2012, Senzorske analize - Opšte uputstvo za projektovanje prostorija za ispitivanje, dobro provetреноj i pri kontrolisanoj temperaturi od 22°C.

Panelisti su identifikovali deskriptore, prikazane u tabeli 3.4 i formirali opisne profile, tokom treninga procene senzornih svojstava dehidriranog svinjskog mesa u melasi. Zatim, odabrane deskriptore boju, miris i aromatičnost, ukus i teksturu ocenili su korišćenjem 5-tačaka inteziteta na skali, gde je: 0-nije opažen i 5- jak u odnosu na odabrano svojstvo.

Svaki panelista dobio je 10g komadića dehidriranog mesa u dve sesije, šifrovanih nasumice odabranim trocifrenim brojevima. Panelisti su koristili vodu i jabuke za uklanjanje zaostalih ukusa između svakog ocenjivanja.

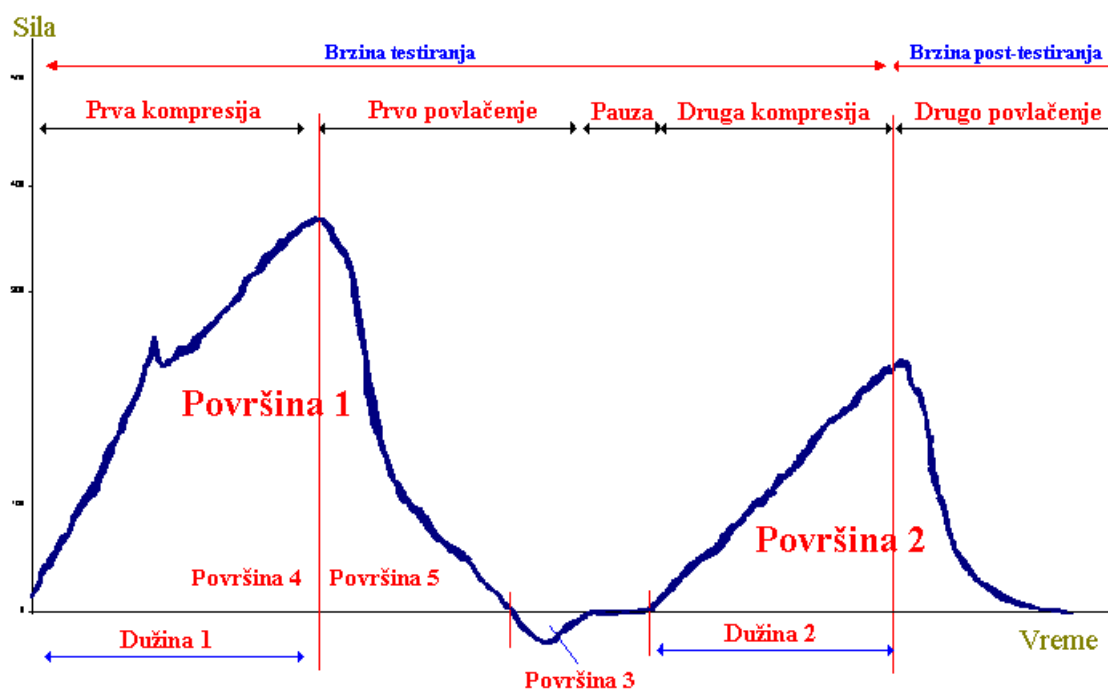
Tabela 3.4 Definicije deskriptora deskriptivne senzorske analize

Deskriptor		Definicija
<i>D1 Boja</i>	D11 Ružičasta	Karakteristična boja svežeg svinjskog mesa
	D12 Ružičasto crvena	Intezivno ružičasta sa zatvorenim tonom crvene boje
	D13 Crveno smeđa	Intezivno crvena sa zatvorenim tonom smeđe boje
	D14 Smeđe crvena	Intezivno smeđa sa zatvorenim tonom crvene boje
	D15 Bela	Bela boja masnog tkiva
	D16 Žućkasto bela	Žućkasto bela boja masnog tkiva
<i>D2 Aroma</i>	D21 Melasa	Aroma koja se vezuje za melasu: oštra, delimično na sumpor i/ili karamelizovana aroma
	D22 Karamela	Slatka aroma, karakteristična za karamelizovan šećer ili neke druge ugljenohidrate
	D23 Dim	Opažanje bilo koje vrste dima
	D24 Sveže svinjsko meso	Karakteristična aroma svežeg svinjskog mesa
<i>D3 Ukus</i>	D31 Sveže svinjsko meso	Karakterističan ukus svežeg svinjskog mesa
	D32 Slatko	Nivo ukusa na slatko
	D33 Slano	Nivo ukusa na slano
<i>D4 Zao- stali ukus</i>	D41 Gorak	Ukus na jeziku koji se dovodi u vezu sa kofeinom
	D42 Opor	Opor ukus na jeziku
<i>D5 Tekstura</i>	D1 Tvrdoća	Sila potrebna da dođe do deformacije ili prodiranja u proizvod
	D2 Nežnost	Sila potrebna da se sažvaće meso za gutanje (žvakanje pet puta)
	D3 Sočnost	Stepen oslobađanja soka tokom žvakanja mesa
	D4 Suvoća	Količina sokova prisutnih u ustima tokom prvih zagrizi

### 3.5.5 Instrumentalno određivanje teksture uzoraka mesa

Analize teksture uzoraka svežeg i osmotski dehidriranog mesa izvedene su na tekturometru TA-TX2, Stable Micro Systems, Godalming, U.K. Veličina testiranih uzoraka mesa je iznosila 2,5x2,5x2,5 cm. Opterećenje od 30 kg je korišćeno za merenje krivih zavisnosti sile i vremena. Analize teksturnog profila izvedene su na temperaturi od 20°C. Uzorci su aksijalno kompresovani u dva uzastopna ciklusa pri nivou kompresije od 70% korišćenjem kompresionih cilindara SMS P/75mm. Brzina pred-testiranja je iznosila 1 mm/s, brzina testiranja 5 mm/s, a brzina post-testiranja 5 mm/s. Vreme između dve kompresije je iznosilo 5 s. Sledeći parametri teksturnog profila su praćeni: sila, tvrdoća, lomljivost, adhezivnost, elastičnost, kohezivnost, rastegljivost, žvakljivost i otpornost (Bourne, 1978). Sva merenja su rađena na deset paralelnih uzoraka, odnosno u deset ponavljanja.

Na slici 3.2 prikazan je uopšten grafik zavisnosti primenjene sile na analizirani uzorak u vremenu, odnosno grafik analize teksturnog profila.



**Slika 3.2** Elementi grafika analize teksturnog profila (Bourne, 2002)

- Vrednost parametra tvrdoće se očitava kao pik sile tokom prve kompresije uzorka, koji se za većinu testiranih uzoraka javlja u tački najdublje kompresije.
- Tačka lomljivosti se javlja u prvom značajnom pik sile (nakon koga sila prvi put opada) u toku prve kompresije uzorka. Ne dolazi do tačke lomljivosti u svim uzorcima.

- Kohezivnost je parametar koji pokazuje kako uzorak podnosi drugu deformaciju u poređenju sa ponašanjem tokom prve deformacije. Očitava se kao površina rada tokom druge kompresije podeljeno sa površinom rada tokom prve kompresije:

$$\text{Kohezivnost} = \text{Površina 2} / \text{Površina 1} \quad [3.15]$$

- Parametar elastičnosti ukazuje na brzinu kojom se uzorak vraća iz stanja deformisanosti u normalno stanje nakon prve kompresije. Elastičnost se meri pri maksimalnoj vrednosti sile druge kompresije, na taj način što se dužina pri postizanju maksimuma druge kompresije podeli sa dužinom maksimalne prve kompresije:

$$\text{Elastičnost} = \text{dužina 2} / \text{dužina 1} \quad [3.16]$$

- Rastegljivost se primenjuje samo za polu-čvrste proizvode i definiše se kao:

$$\text{Rastegljivost} = \text{Tvrdoća} \times \text{Kohezivnost} \quad [3.17]$$

- Sila žvakanja se primenjuje samo za čvrste proizvode i računa se kao:

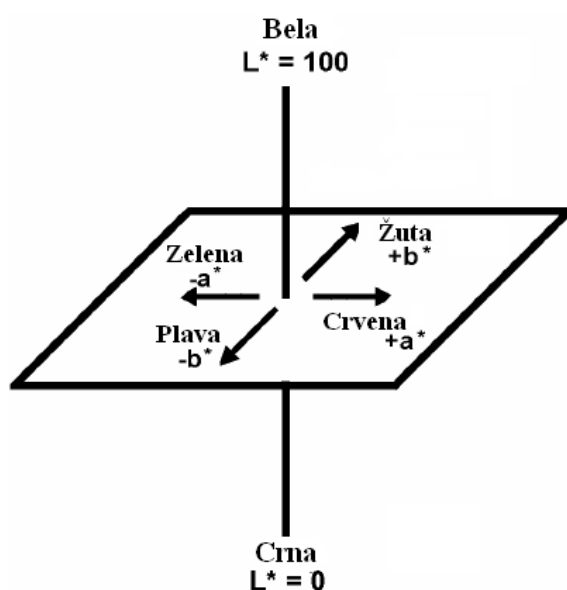
$$\text{Sila žvakanja} = \text{Rastegljivost} \times \text{Elastičnost} \quad [3.18]$$

Sila žvakanja se i rastegljivost se međusobno isključuju, obzirom da proizvod ne može biti istovremeno u čvrstom i polu-čvrstom stanju.

- Otpornost predstavlja sposobnost proizvoda da se suprotstavi deformaciji. Meri se tokom prvog povlačenja, pre početka perioda pauze. Računa se kao površina prvog povlačenja, podeljena sa površinom prve kompresije:

$$\text{Otpornost} = \text{Površina 5} / \text{Površina 4} \quad [3.19]$$

### 3.5.6 Instrumentalno određivanje boje uzoraka mesa



Analize određivanja boje uzoraka svežeg i osmotski dehidriranog mesa izvedene su na tristimulsnom fotoelektričnom kolorimetru Minolta Chromameter, Model CR-400, Minolta Co., Osaka, Japan sa granularnim priključkom CR-A50.

Merenja boje uzoraka mesa su izvedena na sobnoj temperaturi, na presecima deset paralelnih uzoraka, odnosno u deset ponavljanja.

**Slika 3.3** Dijagram CIELAB kolornog prostora

Sledeći parametri boje uzoraka su praćeni: svetloća ( $L^*$ ), udeo crvene zelene ( $a^*$ ), i udeo žute - plave ( $b^*$ ) boje, u skladu sa CIE  $L^*a^*b^*$  sistemom, gde se vrednosti za  $L^*$  kreću od 0 do 100, odnosno od crne do bele boje; pozitivna vrednost  $a^*$  je crvena boja, negativna vrednost  $a^*$  je zelena boja; pozitivna vrednost  $b^*$  je žuta boja, negativna vrednost  $b^*$  je plava boja. Na slici 3.3. prikazan je dijagram CIELAB kolornog prostora.



## 4. REZULTATI I DISKUSIJA

### 4.1 Analiza uticaja tehnoloških parametara na proces osmotske dehidracije svinjskog mesa

U tabelama 4.1, 4.2 i 4.3 prikazane su srednje vrednosti šest ponavljanja praćenih odziva DMC, WL, SG, DEI i  $a_w$  sa standardnim devijacijama, za svinjsko meso dehidrirano u tri različita osmotska rastvora R1, R2 i R3, tokom 1, 3 i 5 časova trajanja procesa ( $\tau$ ) osmotske dehidracije, kao i na tri različite temperature procesa (t) i tri različite koncentracije osmotskih rastvora (C) (vrednosti parametara t,  $\tau$  i C su kodirane kao što je opisano u poglavlju 3.1 i tabeli 3.2).

**Tabela 4.1** Vrednosti odziva osmotske dehidracije svinjskog mesa u osmotskom rastvoru R1

R. br.	t	$\tau$	C	R1				
				DMC (%)	WL (g/g i.s.)	SG (g/g i.s.)	DEI	$a_w$
1.	-1	-1	-1	36,30 ±2,38 <sup>a</sup>	0,1758 ±0,0344 <sup>a</sup>	0,0842 ±0,0127 <sup>a</sup>	2,08 ±0,10 <sup>a</sup>	0,891 ±0,009 <sup>i</sup>
2.	-1	0	-1	43,64 ±1,11 <sup>bcd</sup>	0,2783 ±0,0067 <sup>bcd</sup>	0,1239 ±0,0067 <sup>abcde</sup>	2,25 ±0,07 <sup>abc</sup>	0,875 ±0,008 <sup>fghi</sup>
3.	-1	+1	-1	44,68 ±2,55 <sup>bcdef</sup>	0,2859 ±0,0287 <sup>bcde</sup>	0,1332 ±0,0173 <sup>abcde</sup>	2,15 ±0,06 <sup>ab</sup>	0,872 ±0,012 <sup>efghi</sup>
4.	-1	-1	0	40,09 ±1,47 <sup>ab</sup>	0,2293 ±0,0219 <sup>ab</sup>	0,0962 ±0,0203 <sup>abc</sup>	2,42 ±0,29 <sup>abcde</sup>	0,883 ±0,012 <sup>hi</sup>
5.	-1	0	0	48,08 ±2,66 <sup>cdefghi</sup>	0,3386 ±0,0126 <sup>defg</sup>	0,1289 ±0,0250 <sup>abcde</sup>	2,68 ±0,43 <sup>abcdefg</sup>	0,865 ±0,009 <sup>defghi</sup>
6.	-1	+1	0	51,47 ±2,06 <sup>fghijk</sup>	0,3836 ±0,0184 <sup>gh</sup>	0,1366 ±0,0215 <sup>bcde</sup>	2,84 ±0,32 <sup>bcdefg</sup>	0,844 ±0,007 <sup>cdefg</sup>
7.	-1	-1	+1	43,07 ±3,75 <sup>abc</sup>	0,2646 ±0,0320 <sup>bc</sup>	0,0998 ±0,0196 <sup>abc</sup>	2,68 ±0,21 <sup>abcdefg</sup>	0,879 ±0,012 <sup>ghi</sup>
8.	-1	0	+1	52,30 ±1,32 <sup>ghijk</sup>	0,3889 ±0,0290 <sup>ghi</sup>	0,1376 ±0,0085 <sup>bcde</sup>	2,82 ±0,04 <sup>abcdefg</sup>	0,850 ±0,016 <sup>cdefgh</sup>
9.	-1	+1	+1	55,73 ±4,17 <sup>klm</sup>	0,4231 ±0,0136 <sup>hij</sup>	0,1388 ±0,015 <sup>bcde</sup>	3,07 ±0,23 <sup>defg</sup>	0,836 ±0,010 <sup>bcd</sup>
10.	0	-1	-1	43,20 ±6,67 <sup>bc</sup>	0,2507 ±0,0569 <sup>bc</sup>	0,1016 ±0,0306 <sup>abc</sup>	2,51 ±0,20 <sup>abcde</sup>	0,895 ±0,006 <sup>i</sup>
11.	0	0	-1	46,22 ±1,30 <sup>bcdefg</sup>	0,3054 ±0,0216 <sup>cde</sup>	0,1287 ±0,0116 <sup>abcde</sup>	2,38 ±0,05 <sup>abcd</sup>	0,889 ±0,013 <sup>i</sup>

R. br.	t	$\tau$	C	R1				
				DMC (%)	WL (g/g i.s.)	SG (g/g i.s.)	DEI	$a_w$
12.	0	+1	-1	50,44 $\pm 1,08^{defghij}$	0,3495 $\pm 0,0136^{efg}$	0,1387 $\pm 0,0220^{bcde}$	2,55 $\pm 0,31^{abcdef}$	0,885 $\pm 0,004^{hi}$
13.	0	-1	0	42,75 $\pm 0,60^{abc}$	0,2569 $\pm 0,0221^{bc}$	0,0912 $\pm 0,0068^{ab}$	2,82 $\pm 0,03^{abcdef}$	0,887 $\pm 0,017^i$
14.	0	0	0	52,63 $\pm 0,84^{ghijk}$	0,3742 $\pm 0,0133^{fgh}$	0,1352 $\pm 0,0151^{abcde}$	2,78 $\pm 0,21^{abcdefg}$	0,870 $\pm 0,006^{defghi}$
15.	0	+1	0	54,04 $\pm 1,31^{ijkl}$	0,3881 $\pm 0,0149^{ghi}$	0,1419 $\pm 0,0093^{bcde}$	2,74 $\pm 0,07^{abcdefg}$	0,865 $\pm 0,004^{defghi}$
16.	0	-1	+1	46,79 $\pm 0,84^{bcdefgh}$	0,2908 $\pm 0,0198^{bcde}$	0,1030 $\pm 0,0107^{abc}$	2,83 $\pm 0,10^{abcdefg}$	0,841 $\pm 0,011^{cdef}$
17.	0	0	+1	55,49 $\pm 0,69^{klm}$	0,4262 $\pm 0,0166^{hij}$	0,1302 $\pm 0,0081^{abcde}$	3,28 $\pm 0,08^{fg}$	0,815 $\pm 0,004^{abc}$
18.	0	+1	+1	60,70 $\pm 0,96^{lm}$	0,4657 $\pm 0,0243^{jk}$	0,1559 $\pm 0,0107^{de}$	2,99 $\pm 0,05^{cdefg}$	0,793 $\pm 0,009^a$
19.	+1	-1	-1	44,39 $\pm 1,36^{bcde}$	0,2872 $\pm 0,0114^{bcde}$	0,1115 $\pm 0,0227^{abcde}$	2,64 $\pm 0,44^{abcdefg}$	0,897 $\pm 0,015^i$
20.	+1	0	-1	51,19 $\pm 0,72^{efghijk}$	0,3817 $\pm 0,0128^{gh}$	0,1269 $\pm 0,0262^{abcde}$	3,08 $\pm 0,55^{defg}$	0,897 $\pm 0,021^i$
21.	+1	+1	-1	53,21 $\pm 1,48^{hijk}$	0,3980 $\pm 0,0137^{ghij}$	0,1404 $\pm 0,0180^{bcde}$	2,86 $\pm 0,27^{bcdefg}$	0,876 $\pm 0,011^{fghi}$
22.	+1	-1	0	45,45 $\pm 1,45^{bcdef}$	0,3092 $\pm 0,0138^{cdef}$	0,1095 $\pm 0,0039^{abcd}$	2,82 $\pm 0,02^{abcdefg}$	0,886 $\pm 0,006^i$
23.	+1	0	0	54,46 $\pm 1,33^{ijkl}$	0,4212 $\pm 0,0189^{hij}$	0,1264 $\pm 0,0028^{abcde}$	3,33 $\pm 0,08^g$	0,879 $\pm 0,017^{ghi}$
24.	+1	+1	0	57,95 $\pm 1,05^{klm}$	0,4535 $\pm 0,0112^{ijk}$	0,1545 $\pm 0,0029^{de}$	2,94 $\pm 0,02^{cdefg}$	0,879 $\pm 0,005^{ghi}$
25.	+1	-1	+1	47,14 $\pm 0,50^{cdefgh}$	0,3352 $\pm 0,0039^{defg}$	0,1150 $\pm 0,0155^{abcde}$	2,95 $\pm 0,37^{cdefg}$	0,844 $\pm 0,004^{cdefg}$
26.	+1	0	+1	57,04 $\pm 0,42^{klm}$	0,4570 $\pm 0,0028^{jk}$	0,1460 $\pm 0,0108^{cde}$	3,14 $\pm 0,21^{efg}$	0,839 $\pm 0,007^{bcde}$
27.	+1	+1	+1	62,16 $\pm 0,44^m$	0,4950 $\pm 0,0029^k$	0,1616 $\pm 0,0152^e$	3,08 $\pm 0,27^{defg}$	0,805 $\pm 0,016^{ab}$

<sup>abcdeghijklm</sup> Različita slova u eksponentu u istoj koloni tabele ukazuju na statistički značajnu razliku između vrednosti, pri nivou značajnosti od  $p < 0,05$  (na osnovu post-hoc Tukey-evog HSD testa)

**Tabela 4.2** Vrednosti odziva osmotske dehidracije svinjskog mesa u osmotskom rastvoru R2

R. br.	t	$\tau$	C	R2				
				DMC (%)	WL (g/g i.s.)	SG (g/g i.s.)	DEI	$a_w$
1.	-1	-1	-1	38,26 $\pm 1,10^a$	0,2128 $\pm 0,0121^a$	0,0626 $\pm 0,0110^a$	3,45 $\pm 0,42^b$	0,896 $\pm 0,001^{kl}$
2.	-1	0	-1	47,38 $\pm 1,13^{de}$	0,3391 $\pm 0,0078^{de}$	0,1179 $\pm 0,0059^{bcdef}$	2,88 $\pm 0,08^{ab}$	0,881 $\pm 0,011^{ghijkl}$
3.	-1	+1	-1	50,29 $\pm 0,77^{efg}$	0,3726 $\pm 0,0071^{ef}$	0,1190 $\pm 0,0035^{bcdefg}$	3,13 $\pm 0,03^{ab}$	0,876 $\pm 0,001^{fghijkl}$
4.	-1	-1	0	39,61 $\pm 2,51^{ab}$	0,2339 $\pm 0,0088^a$	0,0869 $\pm 0,0223^{ab}$	2,80 $\pm 0,64^{ab}$	0,898 $\pm 0,004^l$
5.	-1	0	0	48,64 $\pm 2,75^{def}$	0,3657 $\pm 0,0119^{ef}$	0,1124 $\pm 0,0203^{bcdef}$	3,31 $\pm 0,50^{ab}$	0,872 $\pm 0,006^{efghijk}$
6.	-1	+1	0	53,49 $\pm 1,95^{ghij}$	0,4156 $\pm 0,0125^{fghi}$	0,1321 $\pm 0,0201^{cdefgh}$	3,19 $\pm 0,39^{ab}$	0,861 $\pm 0,005^{efg}$
7.	-1	-1	+1	39,32 $\pm 1,30^{ab}$	0,2213 $\pm 0,0110^a$	0,0909 $\pm 0,0162^{abc}$	2,47 $\pm 0,32^a$	0,880 $\pm 0,015^{fghijkl}$
8.	-1	0	+1	52,76 $\pm 0,81^{fghi}$	0,3861 $\pm 0,0059^{efgh}$	0,1293 $\pm 0,0071^{bcdefgh}$	2,99 $\pm 0,13^{ab}$	0,850 $\pm 0,006^{de}$
9.	-1	+1	+1	55,78 $\pm 0,51^{ijk}$	0,4280 $\pm 0,0035^{ghi}$	0,1417 $\pm 0,013^{defghi}$	3,04 $\pm 0,25^{ab}$	0,848 $\pm 0,009^{cde}$
10.	0	-1	-1	42,56 $\pm 1,73^{bc}$	0,2645 $\pm 0,0135^{abc}$	0,0906 $\pm 0,0045^{abc}$	2,92 $\pm 0,01^{ab}$	0,894 $\pm 0,005^{jkl}$
11.	0	0	-1	51,10 $\pm 1,02^{efgh}$	0,3662 $\pm 0,0099^{ef}$	0,1300 $\pm 0,0058^{bcdefgh}$	2,82 $\pm 0,05^{ab}$	0,879 $\pm 0,004^{fghijkl}$
12.	0	+1	-1	55,11 $\pm 0,96^{hijk}$	0,3984 $\pm 0,0119^{fgh}$	0,1338 $\pm 0,0059^{cdefgh}$	2,98 $\pm 0,04^{ab}$	0,872 $\pm 0,014^{efghijk}$
13.	0	-1	0	43,04 $\pm 1,75^{bc}$	0,2531 $\pm 0,0221^{ab}$	0,1015 $\pm 0,0083^{abcd}$	2,49 $\pm 0,01^a$	0,887 $\pm 0,00^{hijkl}$
14.	0	0	0	54,41 $\pm 0,87^{ghijk}$	0,3856 $\pm 0,0054^{efgh}$	0,1482 $\pm 0,0201^{efghi}$	2,63 $\pm 0,32^{ab}$	0,868 $\pm 0,005^{efghi}$
15.	0	+1	0	60,52 $\pm 0,95^{lmn}$	0,4304 $\pm 0,0482^{ghi}$	0,1510 $\pm 0,0077^{efghi}$	2,84 $\pm 0,17^{ab}$	0,865 $\pm 0,003^{efghi}$
16.	0	-1	+1	45,75 $\pm 0,58^{cd}$	0,3064 $\pm 0,0045^{cd}$	0,1083 $\pm 0,0124^{bcde}$	2,85 $\pm 0,29^{ab}$	0,855 $\pm 0,015^{def}$
17.	0	0	+1	57,64 $\pm 0,85^{jkl}$	0,4365 $\pm 0,0059^{hi}$	0,1494 $\pm 0,0094^{efghi}$	2,93 $\pm 0,15^{ab}$	0,831 $\pm 0,006^{cd}$
18.	0	+1	+1	63,00 $\pm 0,92^n$	0,4980 $\pm 0,0058^{jk}$	0,1645 $\pm 0,0163^{hi}$	3,05 $\pm 0,28^{ab}$	0,794 $\pm 0,001^a$

R. br.	t	$\tau$	C	R2				
				DMC (%)	WL (g/g i.s.)	SG (g/g i.s.)	DEI	$a_w$
19.	+1	-1	-1	45,46 $\pm 1,44^{cd}$	0,3008 $\pm 0,0097^{bcd}$	0,1160 $\pm 0,0151^{bcdef}$	2,62 $\pm 0,26^{ab}$	0,894 $\pm 0,004^{jkl}$
20.	+1	0	-1	54,73 $\pm 0,73^{hijk}$	0,4084 $\pm 0,0072^{fgh}$	0,1390 $\pm 0,0037^{defghi}$	2,94 $\pm 0,03^{ab}$	0,886 $\pm 0,016^{ghijkl}$
21.	+1	+1	-1	57,09 $\pm 1,12^{jkl}$	0,4311 $\pm 0,0119^{ghi}$	0,1535 $\pm 0,0004^{fghi}$	2,81 $\pm 0,07^{ab}$	0,869 $\pm 0,008^{efghij}$
22.	+1	-1	0	47,61 $\pm 1,50^{de}$	0,3400 $\pm 0,0375^{de}$	0,1161 $\pm 0,0160^{bcdef}$	2,94 $\pm 0,08^{ab}$	0,890 $\pm 0,007^{ijkl}$
23.	+1	0	0	58,37 $\pm 0,94^{klm}$	0,4642 $\pm 0,0240^{ij}$	0,1532 $\pm 0,0301^{efghi}$	3,09 $\pm 0,46^{ab}$	0,863 $\pm 0,006^{efgh}$
24.	+1	+1	0	62,12 $\pm 1,25^{mn}$	0,4982 $\pm 0,0260^{jk}$	0,1638 $\pm 0,0208^{ghi}$	3,06 $\pm 0,23^{ab}$	0,862 $\pm 0,006^{efgh}$
25.	+1	-1	+1	52,10 $\pm 2,05^{fghi}$	0,3808 $\pm 0,0151^{efg}$	0,1234 $\pm 0,0161^{bcdefgh}$	3,11 $\pm 0,29^{ab}$	0,862 $\pm 0,013^{efgh}$
26.	+1	0	+1	64,02 $\pm 0,58^n$	0,5046 $\pm 0,0037^{jk}$	0,1525 $\pm 0,0134^{efghi}$	3,32 $\pm 0,27^{ab}$	0,823 $\pm 0,006^{bc}$
27.	+1	+1	+1	69,54 $\pm 0,07^o$	0,5487 $\pm 0,0004^k$	0,1797 $\pm 0,0084^i$	3,06 $\pm 0,14^{ab}$	0,802 $\pm 0,005^{ab}$

abcefghijklmno Različita slova u eksponentu u istoj koloni tabele ukazuju na statistički značajnu razliku između vrednosti, pri nivou značajnosti od  $p < 0,05$  (na osnovu post-hoc Tukey-evog HSD testa)

**Tabela 4.3** Vrednosti odziva osmotske dehidracije svinjskog mesa u osmotskom rastvoru R3

R. br.	t	$\tau$	C	R3				
				DMC (%)	WL (g/g i.s.)	SG (g/g i.s.)	DEI	$a_w$
1.	-1	-1	-1	39,19 $\pm 1,79^{ab}$	0,2413 $\pm 0,0124^{ab}$	0,0716 $\pm 0,0160^a$	3,46 $\pm 0,62^{ab}$	0,908 $\pm 0,001^{ijklm}$
2.	-1	0	-1	48,45 $\pm 1,63^d$	0,3651 $\pm 0,0123^{de}$	0,1151 $\pm 0,0172^{abcde}$	3,21 $\pm 0,38^{ab}$	0,895 $\pm 0,002^{ijklm}$
3.	-1	+1	-1	53,87 $\pm 2,18^{ef}$	0,4188 $\pm 0,0223^{fgh}$	0,1248 $\pm 0,0082^{bcdeg}$	3,36 $\pm 0,04^{ab}$	0,886 $\pm 0,003^{ghijkl}$
4.	-1	-1	0	38,83 $\pm 2,56^{ab}$	0,2400 $\pm 0,0117^{efg}$	0,0802 $\pm 0,0108^{ab}$	3,02 $\pm 0,26^{ab}$	0,910 $\pm 0,005^{lm}$
5.	-1	0	0	50,93 $\pm 2,26^{de}$	0,3959 $\pm 0,0062^{efg}$	0,1210 $\pm 0,0295^{bcde}$	3,40 $\pm 0,80^{ab}$	0,885 $\pm 0,004^{ghijk}$
6.	-1	+1	0	56,29 $\pm 2,07^{fg}$	0,4567 $\pm 0,0098^{hijk}$	0,1402 $\pm 0,0059^{def}$	3,26 $\pm 0,07^{ab}$	0,872 $\pm 0,006^{efghi}$
7.	-1	-1	+1	37,18 $\pm 0,37^a$	0,2247 $\pm 0,0142^a$	0,0802 $\pm 0,0145^{ab}$	2,84 $\pm 0,34^{ab}$	0,914 $\pm 0,009^m$
8.	-1	0	+1	50,28 $\pm 1,66^{de}$	0,4183 $\pm 0,0199^{fgh}$	0,1212 $\pm 0,0109^{bcde}$	3,46 $\pm 0,15^{ab}$	0,894 $\pm 0,009^{ijklm}$
9.	-1	+1	+1	56,53 $\pm 0,37^{fgh}$	0,4703 $\pm 0,0025^{ijkl}$	0,1467 $\pm 0,0059^{def}$	3,21 $\pm 0,11^{ab}$	0,884 $\pm 0,008^{ghij}$
10.	0	-1	-1	43,36 $\pm 1,47^{bc}$	0,2889 $\pm 0,0148^{bc}$	0,0806 $\pm 0,0112^{ab}$	3,61 $\pm 0,32^b$	0,909 $\pm 0,004^{klm}$
11.	0	0	-1	54,33 $\pm 1,03^{ef}$	0,4227 $\pm 0,0075^{fghi}$	0,1320 $\pm 0,0218^{cdef}$	3,26 $\pm 0,49^{ab}$	0,874 $\pm 0,012^{efghi}$
12.	0	+1	-1	58,25 $\pm 0,86^{fghi}$	0,4596 $\pm 0,0067^{hijk}$	0,1498 $\pm 0,0170^{ef}$	3,09 $\pm 0,31^{ab}$	0,875 $\pm 0,013^{fghi}$
13.	0	-1	0	43,36 $\pm 1,47^{bc}$	0,2721 $\pm 0,0315^{ab}$	0,0860 $\pm 0,0163^{abc}$	3,19 $\pm 0,24^{ab}$	0,909 $\pm 0,004^{klm}$
14.	0	0	0	56,62 $\pm 1,34^{fgh}$	0,4295 $\pm 0,0198^{ghij}$	0,1327 $\pm 0,0126^{cdef}$	3,25 $\pm 0,16^{ab}$	0,875 $\pm 0,004^{fghi}$
15.	0	+1	0	61,23 $\pm 1,73^{hij}$	0,4715 $\pm 0,0253^{ijkl}$	0,1534 $\pm 0,0062^{ef}$	3,07 $\pm 0,04^{ab}$	0,863 $\pm 0,007^{defg}$
16.	0	-1	+1	43,42 $\pm 2,11^{bc}$	0,2846 $\pm 0,0049^{bc}$	0,1014 $\pm 0,0065^{abcd}$	2,81 $\pm 0,13^{ab}$	0,874 $\pm 0,003^{efghi}$
17.	0	0	+1	60,64 $\pm 1,60^{ghi}$	0,4747 $\pm 0,022^{ijkl}$	0,1377 $\pm 0,011^{def}$	3,45 $\pm 0,12^{ab}$	0,846 $\pm 0,002^{cd}$
18.	0	+1	+1	66,72 $\pm 1,82^{kl}$	0,5207 $\pm 0,0115^{lm}$	0,1624 $\pm 0,0155^{ef}$	3,22 $\pm 0,24^{ab}$	0,811 $\pm 0,010^{ab}$

R. br.	t	$\tau$	C	R3				
				DMC (%)	WL (g/g i.s.)	SG (g/g i.s.)	DEI	$a_w$
19.	+1	-1	-1	47,78 $\pm 1,20^{cd}$	0,3349 $\pm 0,0093^{cd}$	0,1211 $\pm 0,0125^{bcde}$	2,78 $\pm 0,21^{ab}$	0,890 $\pm 0,014^{hijklm}$
20.	+1	0	-1	58,11 $\pm 0,67^{fghi}$	0,4545 $\pm 0,0154^{hijk}$	0,1490 $\pm 0,0131^{ef}$	3,06 $\pm 0,21^{ab}$	0,872 $\pm 0,007^{efghi}$
21.	+1	+1	-1	61,06 $\pm 0,47^{ghij}$	0,4822 $\pm 0,0159^{kl}$	0,1584 $\pm 0,0206^{ef}$	3,08 $\pm 0,38^{ab}$	0,867 $\pm 0,004^{defgh}$
22.	+1	-1	0	49,53 $\pm 1,73^{de}$	0,3754 $\pm 0,0264^{def}$	0,1216 $\pm 0,0266^{bcde}$	3,19 $\pm 0,56^{ab}$	0,882 $\pm 0,008^{ghi}$
23.	+1	0	0	61,67 $\pm 0,85^{ij}$	0,5035 $\pm 0,0197^{klm}$	0,1493 $\pm 0,0189^{ef}$	3,41 $\pm 0,35^{ab}$	0,856 $\pm 0,017^{def}$
24.	+1	+1	0	67,21 $\pm 1,23^{kl}$	0,5501 $\pm 0,0175^{mn}$	0,1606 $\pm 0,0134^{ef}$	3,44 $\pm 0,29^{ab}$	0,850 $\pm 0,003^{cde}$
25.	+1	-1	+1	50,59 $\pm 1,15^{de}$	0,3922 $\pm 0,0123^{efg}$	0,1521 $\pm 0,0088^{ef}$	2,54 $\pm 0,09^a$	0,880 $\pm 0,004^{fghi}$
26.	+1	0	+1	65,56 $\pm 0,62^{jk}$	0,5526 $\pm 0,0038^{mn}$	0,1708 $\pm 0,0094^{fg}$	3,29 $\pm 0,05^{ab}$	0,827 $\pm 0,013^{bc}$
27.	+1	+1	+1	71,11 $\pm 1,45^l$	0,5843 $\pm 0,0090^n$	0,2144 $\pm 0,0089^g$	2,81 $\pm 0,17^{ab}$	0,795 $\pm 0,004^a$

<sup>abcefghijklm</sup> Različita slova u eksponentu u istoj koloni tabele ukazuju na statistički značajnu razliku između vrednosti, pri nivou značajnosti od  $p < 0,05$  (na osnovu post-hoc Tukey-evog HSD testa)

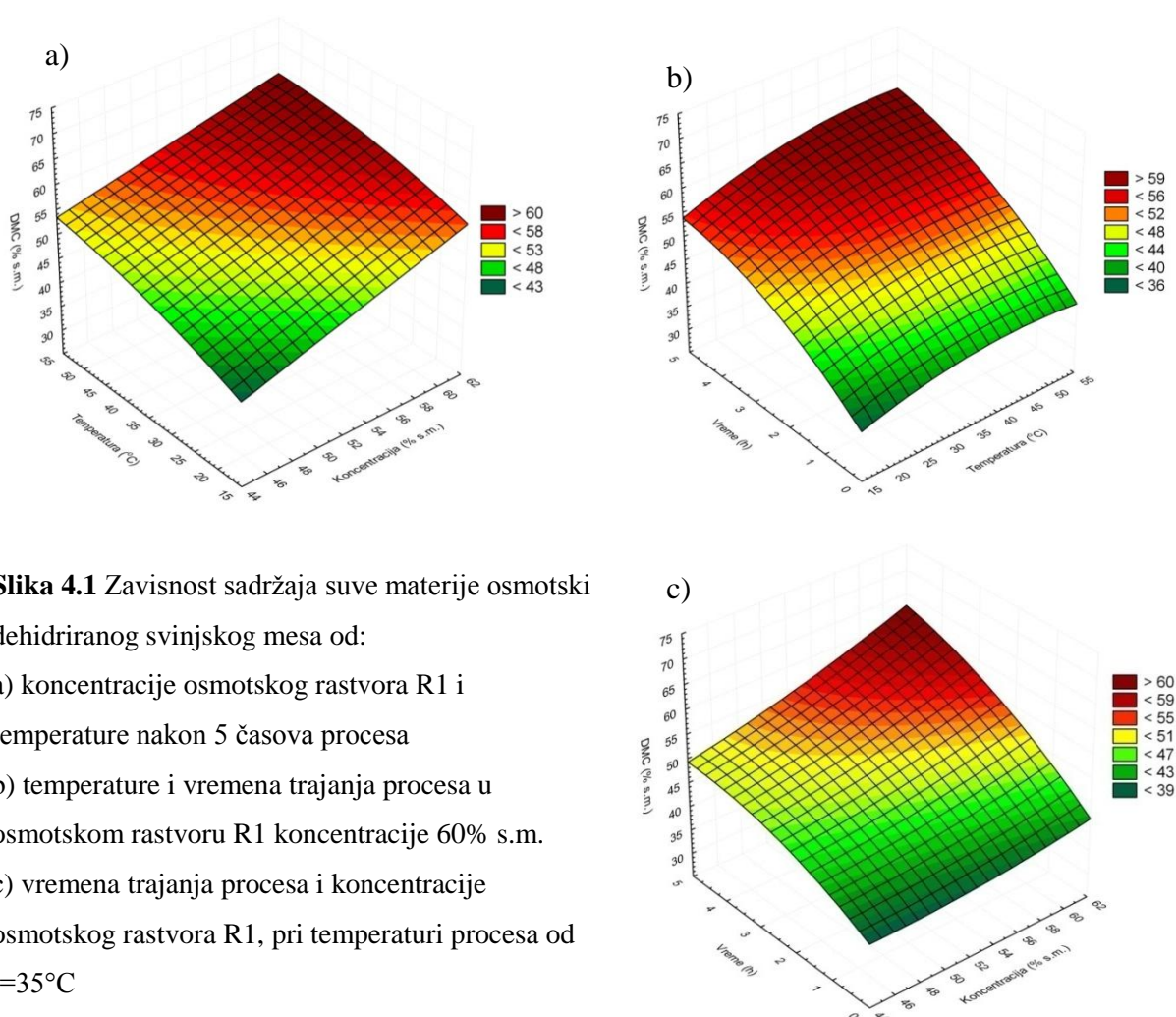
#### 4.1.1 Uticaj tehnoloških parametara na parametre procesa osmotske dehidracije

##### 4.1.1.1 Sadržaj suve materije osmotski dehidriranog mesa

Sadržaj suve materije svežeg mesa prosečno je iznosio  $25,46 \pm 1,29\%$ . Najveće postignute vrednosti sadržaja suve materije osmotski dehidriranog mesa u osmotskom rastvoru R1 su bile  $62,16 \pm 0,44\%$ , u rastvoru R2  $69,54 \pm 0,07$  i u rastvoru R3  $71,11 \pm 1,45\%$ , tabele 4.1-4.3 Za sva tri osmotska rastvora, najveće vrednosti sadržaja suve materije postignute su nakon 5 časova procesa, pri najvišim temperaturama ( $t=50^\circ\text{C}$ ) i u najvećim koncentracijama osmotskih rastvora (R1=60% s.m., R2=70% s.m., R3=80% s.m.).

Na slikama 4.1 do 4.15 dati su grafički prikazi jednačina polinoma drugog reda koji opisuju modele odziva proces osmotske dehidracije u zavisnosti od tehnoloških parametara. U poglavlju 4.1.1 na ovim graficima će biti diskutovani trendovi uticaja tehnoloških parametara na proces osmotske dehidracije.

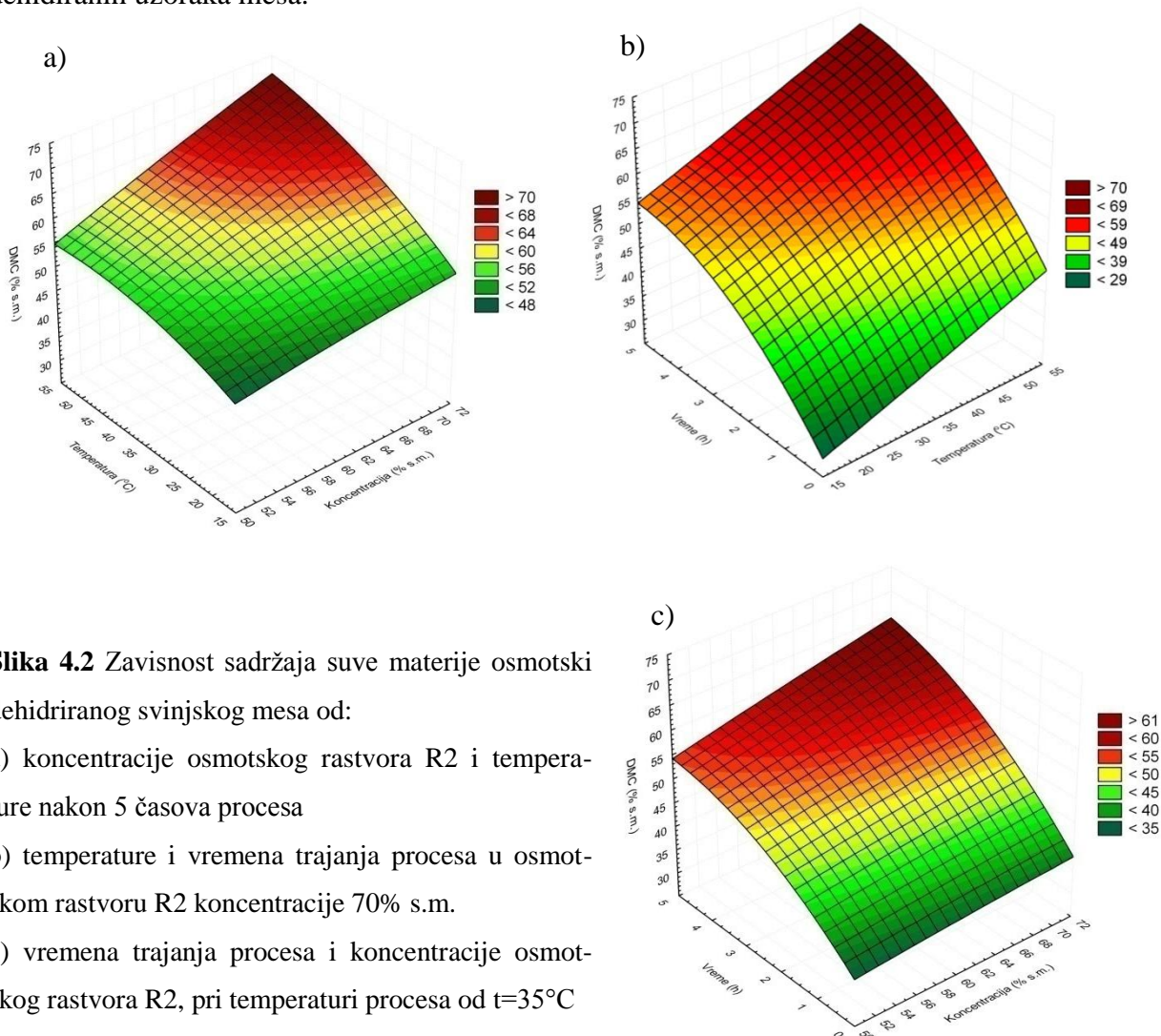
Na slici 4.1 a-c, prikazani su uticaji koncentracije osmotskog rastvora R1, temperature i vremena procesa na sadržaj suve materije osmotski dehidriranog svinjskog mesa.



Porastom temperature procesa pri konstantnim vrednostima koncentracije osmotskog rastvora R1, i vremena procesa osmotske dehidracije, povećavala se i vrednost sadržaja suve materije osmotski dehidriranog mesa (slika 4.1 a,b), iako ne statistički značajno (tabela 4.1).

Porastom koncentracije osmotskog rastvora R1, pri konstantnoj temperaturi i vremenu trajanja procesa osmotske dehidracije, statistički značajno se povećavala i vrednost sadržaja suve materije osmotski dehidriranog mesa (slika 4.1 a,c; tabela 4.1).

Produžavanjem vremena trajanja procesa osmotske dehidracije, pri konstantnim vrednostima tehnoloških parametara koncentracije osmotskog rastvora R1 i temperature procesa, statistički značajno se povećavala i vrednost sadržaja suve materije osmotski dehidriranog svinjskog mesa (slika 4.1 b,c; tabela 4.1). Povećavanjem vrednosti sva tri tehnološka parametra ( $t$ ,  $\tau$  i  $C$ ) intenzivirao se i prenos mase (tok vode iz mesa koje se dehidrira u osmotski rastvori i suprotnog toka rastvoraka u meso) koji je doprinio većim postignutim vrednostima DMC dehidriranih uzoraka mesa.



Na slici 4.2 a-c, prikazani su uticaji koncentracije osmotskog rastvora R2, temperature i vremena procesa na sadržaj suve materije osmotski dehidriranog svinjskog mesa.



Kao i u slučaju osmotske dehidracije svinjskog mesa u osmotskom rastvoru R1, porastom temperature procesa pri konstantnim vrednostima koncentracije osmotskog rastvora R2 i vremena trajanja procesa osmotske dehidracije, statistički značajno se povećavala i vrednost sadržaja suve materije osmotski dehidriranog mesa (slika 4.2 a,b; tabela 4.2).

Porastom koncentracije osmotskog rastvora R2, kao i u slučaju osmotskog rastvora R1, pri konstantnoj temperaturi i vremenu trajanja osmotske dehidracije, statistički značajno se povećala i vrednost sadržaja suve materije osmotski dehidriranog mesa (slika 4.2 a,c; tabela 4.2).

Produžavanjem vremena trajanja procesa osmotske dehidracije, pri konstantnim vrednostima tehnoloških parametara koncentracije osmotskog rastvora R2 i temperature procesa, statistički značajno se povećavala i vrednost sadržaja suve materije osmotski dehidriranog svinjskog mesa (slika 4.2 b,c; tabela 4.2).

Primetno je da su postignute veće vrednosti parametra sadržaja suve materije pri osmotskoj dehidraciji u osmotskom rastvoru R2 u poređenju sa osmotskim rastvorom R1, a pri istim ostalim tehnološkim parametrima. Vrednosti sadržaja suve materije dehidriranog svinjskog mesa pri maksimalnoj koncentraciji i na kraju petočasnog procesa na temperaturama od 20°C, 35°C i 50°C, za osmotski rastvor R1 su iznosile: 55,73±4,17 % s.m., 60,70±0,96 % s.m. i 62,16±0,44 % s.m., tabela 4.1., dok za osmotski rastvor R2 su iznosile: 55,78±0,51 % s.m., 63,00±0,92 % s.m. i 69,54±0,07 % s.m. za navedene temperature, tabela 4.2.

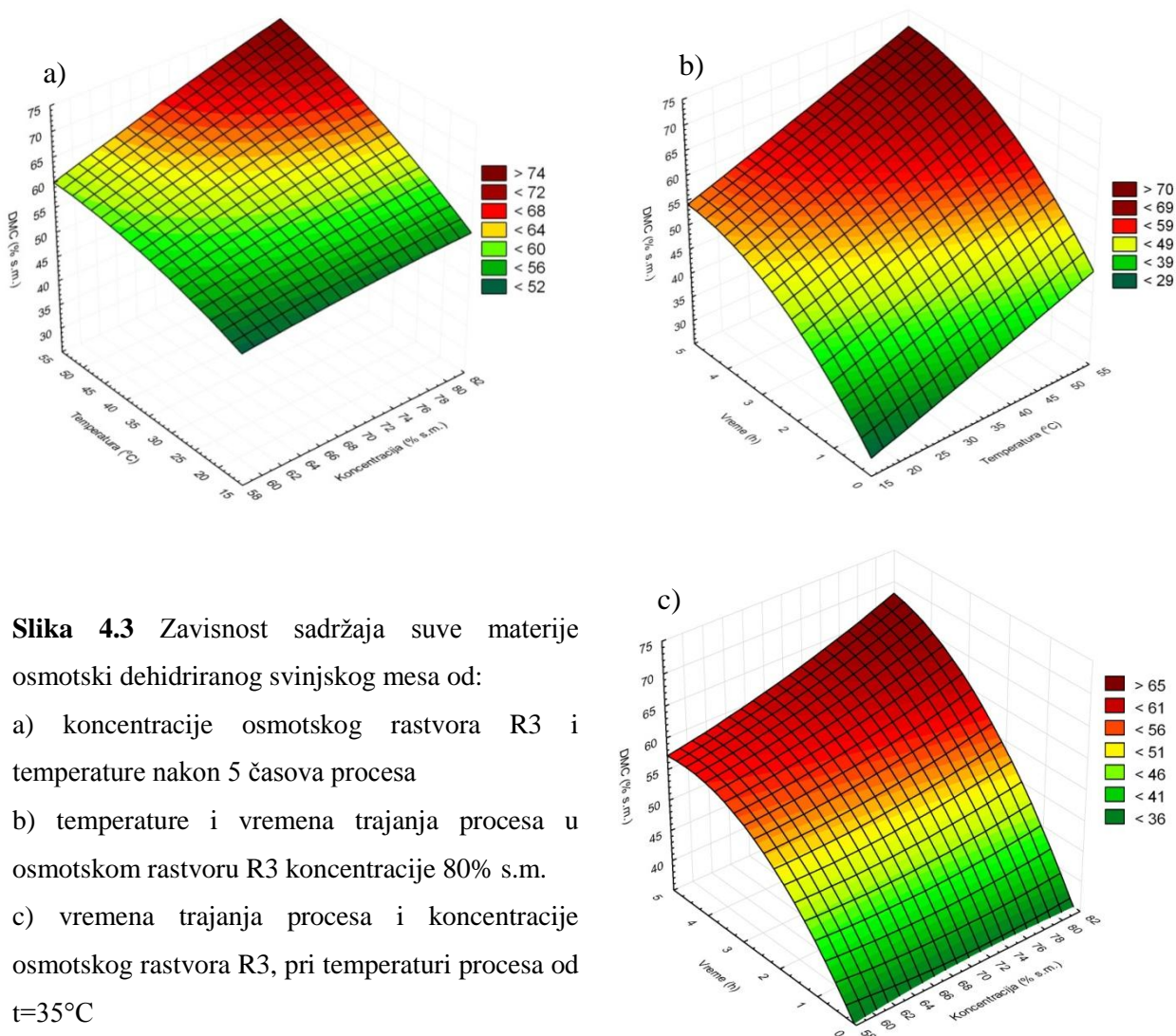
Na slici 4.3 a-c, prikazani su uticaji koncentracije osmotskog rastvora R3, temperature i vremena procesa na sadržaj suve materije osmotski dehidriranog svinjskog mesa.

Kao i u slučajevima osmotske dehidracije svinjskog mesa u osmotskim rastvorima R1 i R2, porastom temperature procesa pri konstantnim vrednostima koncentracije osmotskog rastvora R3 i vremena trajanja procesa osmotske dehidracije, statistički značajno se povećavala i vrednost sadržaja suve materije osmotski dehidriranog mesa (slika 4.3 a,b; tabela 4.3).

Porastom koncentracije osmotskog rastvora R3, kao i u slučaju osmotskog rastvora R1 i R2, pri konstantnoj temperaturi, i vremenu trajanja osmotske dehidracije, statistički značajno se povećavala i vrednost sadržaja suve materije osmotski dehidriranog mesa (slika 4.3 a,c; tabela 4.3).

Produžavanjem vremena trajanja procesa osmotske dehidracije, pri konstantnim vrednostima tehnoloških parametara koncentracije osmotskog rastvora R3 i temperature procesa, statistički značajno se povećavala i vrednost sadržaja suve materije osmotski dehidriranog svinjskog mesa (slika 4.3 b,c; tabela 4.3). Isti trendovi zavisnosti tehnoloških parametara i odziva DMC za sva tri osmotska rastvora posledica su istih mehanizama prenosa mase.

Najveće vrednosti parametra sadržaja suve materije osmotski dehidriranog svinjskog mesa postignute su pri osmotskoj dehidraciji u osmotskom rastvoru R3 u poređenju sa osmotskim rastvorima R1 i R2, a pri istim ostalim tehnološkim parametrima. Vrednosti sadržaja suve materije dehidriranog svinjskog mesa pri maksimalnoj koncentraciji i na kraju petočasnog procesa na temperaturama od 20°C, 35°C i 50°C, za osmotski rastvor R3 su iznosile: 56,53±0,37 % s.m., 66,72±1,82% s.m. i 71,11±1,45% s.m, za navedene temperature, tabela 4.3. Poređeno sa postignutim sadržajem suve materije u uporedivim osmotskim tretmanima biljnog tkiva (šargarepe i jabuke) (proces: 5 časova na temperaturi procesa od 55°C u melasi koncentracije 80% suve materije) (Mišljenović, 2012), svinjsko meso je postiglo za 19,71% veće rezultate sadržaja suve materije u poređenju sa šargarepom i 16,34% veće rezultate u poređenju sa jabukom.

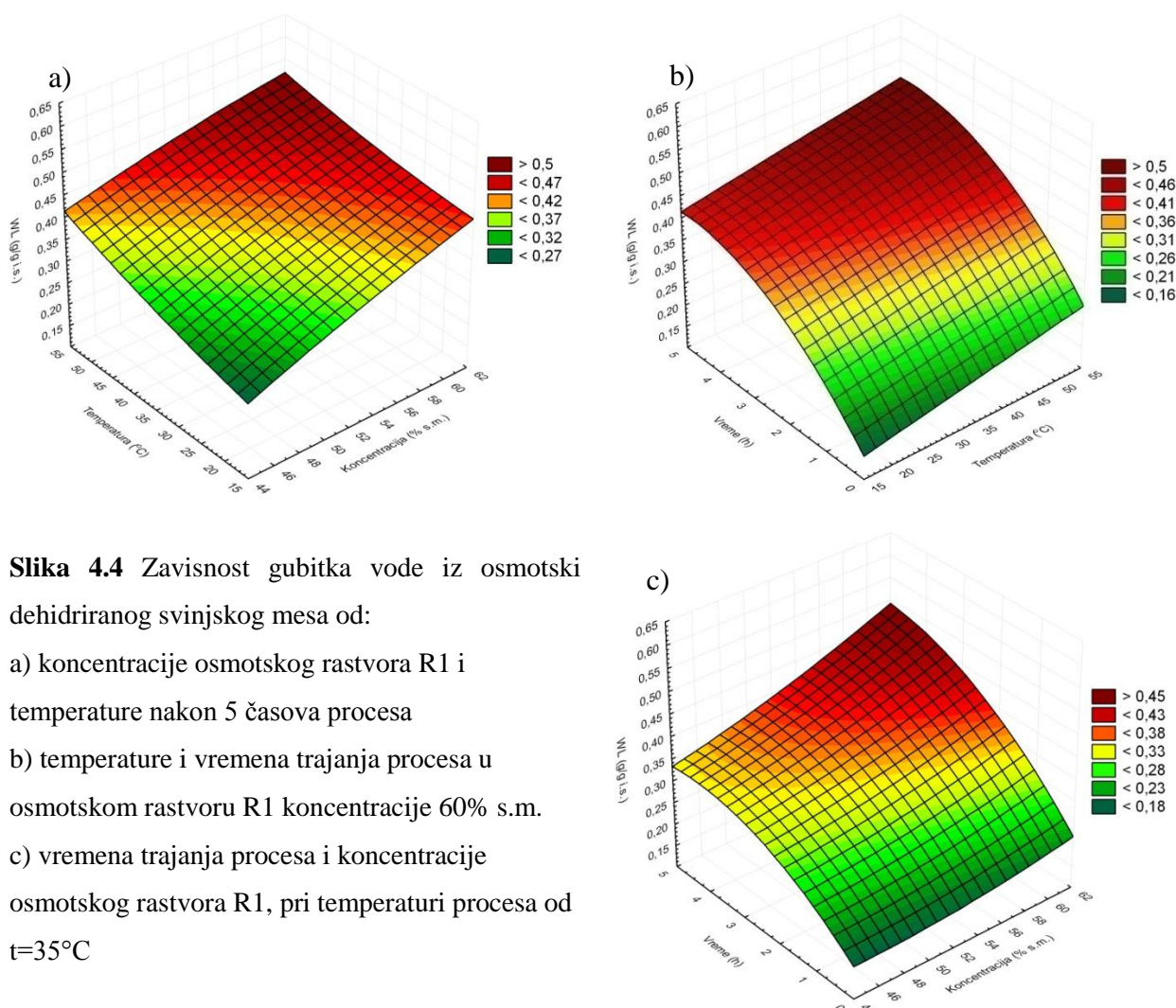


### 4.1.1.2 Gubitak vode iz osmotski dehidriranog mesa

Najveći gubitak vode nakon osmotske dehidracije iz svinjskog mesa u osmotskom rastvoru R1 je bio  $0,4950 \pm 0,0029$  g/g i.s., u osmotskom rastvoru R2  $0,5487 \pm 0,0004$  g/g i.s. i u osmotskom rastvoru R3  $0,5843 \pm 0,0090$  g/g i.s, tabele 4.1-4.3.

Za sva tri osmotska rastvora, najveće vrednosti gubitka vode postignute su nakon 5 časova procesa, pri najvišim temperaturama ( $t=50^\circ\text{C}$ ) i u najvećim koncentracijama osmotskih rastvora (R1=60% s.m., R2=70% s.m., R3=80% s.m.).

Isti trend uticaja koncentracije osmotskih rastvora, temperature i vremena trajanja procesa je ispoljen na gubitak vode iz osmotski dehidriranog mesa kao i na sadržaj suve materije dehidriranog mesa, u sva tri osmotska rastvora R1-3.

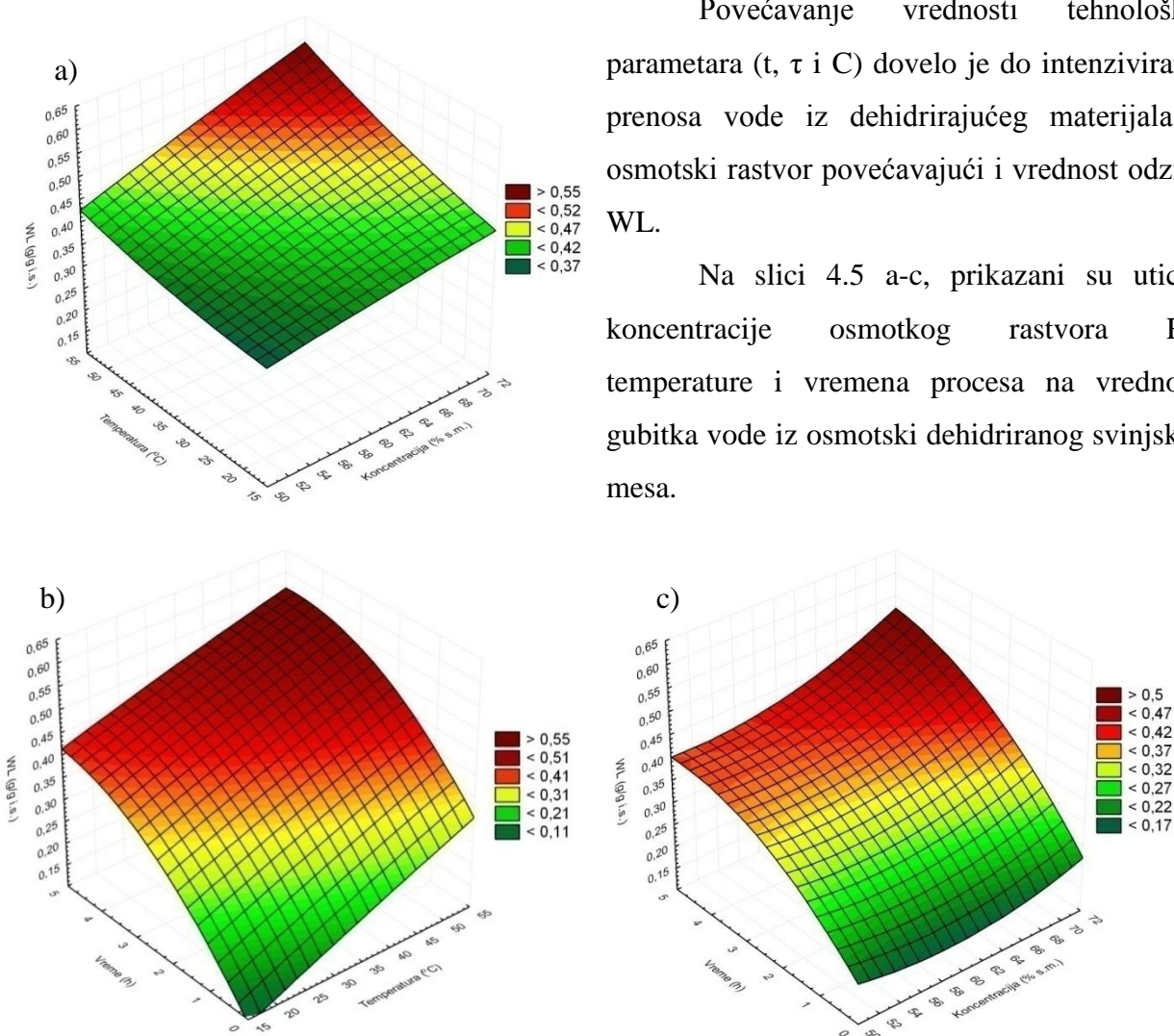


Na slici 4.4 a-c, prikazani su uticaji koncentracije osmotskog rastvora R1, temperature i vremena procesa na gubitak vode iz osmotski dehidriranog svinjskog mesa. Porastom temperature procesa pri konstantnim vrednostima koncentracije osmotskog rastvora R1 i dužine

trajanja procesa osmotske dehidracije, statistički značajno se povećala i vrednost gubitka vode iz osmotski dehidriranog mesa (slika 4.4 a,b; tabela 4.1).

Porastom koncentracije osmotskog rastvora R1, pri konstantnoj temperaturi, i vremenu trajanja osmotske dehidracije, statistički značajno se povećavala i vrednost gubitka vode iz osmotski dehidriranog mesa (slika 4.4 a,c; tabela 4.1).

Produžavanjem vremena trajanja procesa osmotske dehidracije, pri konstantnim vrednostima tehnoloških parametara koncentracije osmotskog rastvora R1 i temperature procesa, statistički značajno se povećavala i vrednost gubitka vode iz osmotski dehidriranog svinjskog mesa (slika 4.4 b,c; tabela 4.1).



Povećavanje vrednosti tehnoloških parametara ( $t$ ,  $\tau$  i  $C$ ) dovelo je do intenziviranja prenosa vode iz dehidrirajućeg materijala u osmotski rastvor povećavajući i vrednost odziva WL.

Na slici 4.5 a-c, prikazani su uticaji koncentracije osmotkog rastvora R2, temperature i vremena procesa na vrednosti gubitka vode iz osmotski dehidriranog svinjskog mesa.

**Slika 4.5** Zavisnost gubitka vode iz osmotski dehidriranog svinjskog mesa od:

- koncentracije osmotskog rastvora R2 i temperature nakon 5 časova procesa
- temperature i vremena trajanja procesa u osmotskom rastvoru R2 koncentracije 70% s.m.
- vremena trajanja procesa i koncentracije osmotskog rastvora R2, pri temperaturi procesa od  $t=35^{\circ}\text{C}$

Kao i u slučaju osmotske dehidracije svinjskog mesa u osmotskom rastvoru R1, porastom temperature procesa pri konstantnim vrednostima koncentracije osmotskog rastvora R2, i vremena trajanja procesa osmotske dehidracije, statistički značajno se povećala i vrednost gubitka vode iz osmotski dehidriranog mesa (slika 4.5 a,b; tabela 4.2).

Porastom koncentracije osmotskog rastvora R2, kao i u slučaju osmotskog rastvora R1, pri konstantnoj temperaturi, i vremenu trajanja procesa osmotske dehidracije, statistički značajno se povećala i vrednost gubitka vode iz osmotski dehidriranog mesa (slika 4.5 a,c; tabela 4.2).

Produžavanjem vremena trajanja procesa osmotske dehidracije, pri konstantnim vrednostima tehnoloških parametara koncentracije osmotskog rastvora R2 i temperature procesa, statistički značajno se povećala i vrednost gubitka vode iz osmotski dehidriranog mesa (slika 4.5 bc; tabela 4.2).

Uočava se trend većih postignutih vrednosti parametra gubitka vode iz mesa pri osmotskoj dehidraciji u osmotskom rastvoru R2 u poređenju sa osmotskim rastvorom R1, a pri istim ostalim tehnološkim parametrima.

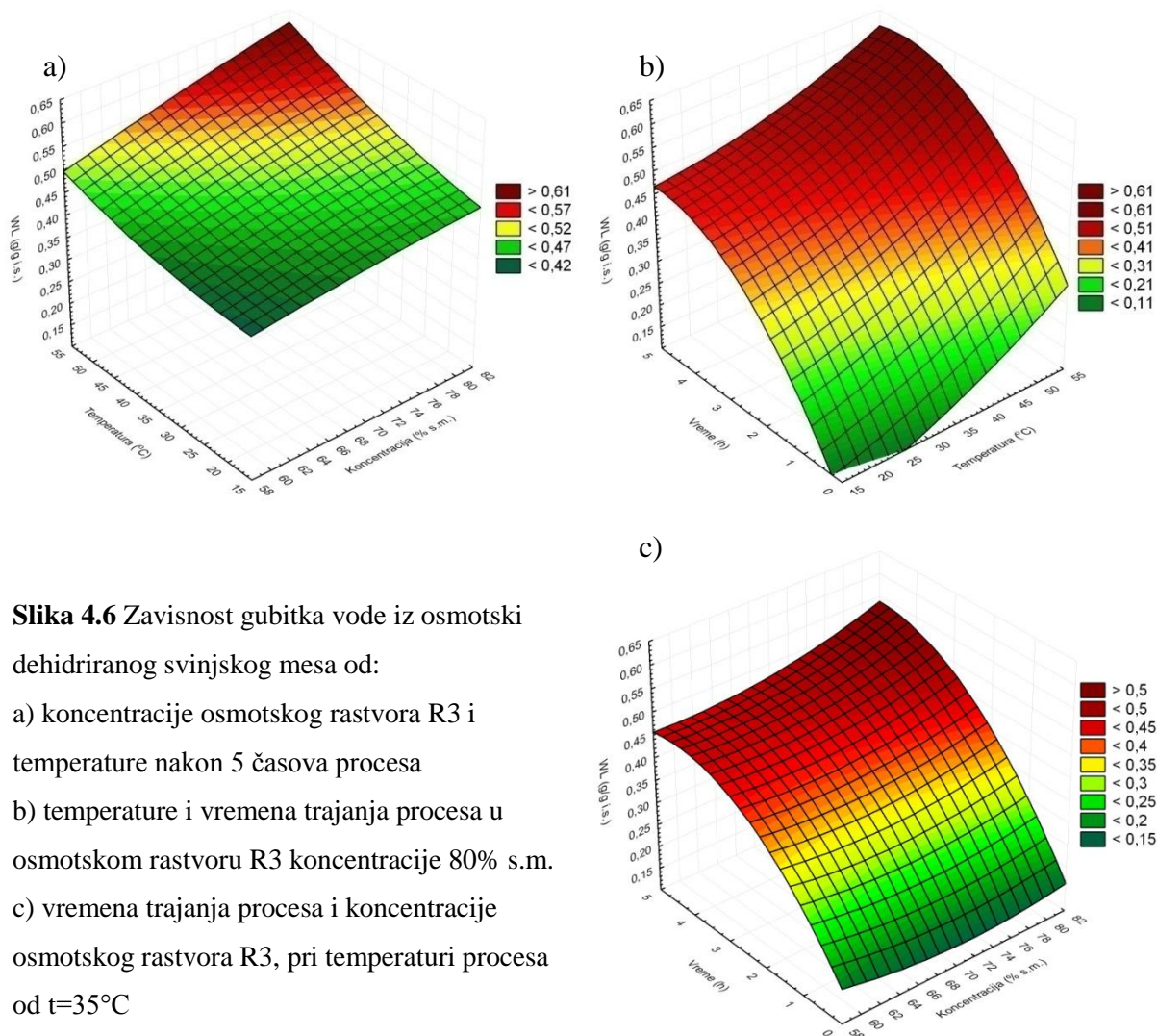
Vrednosti gubitka vode iz osmotski dehidriranog svinjskog mesa pri maksimalnoj koncentraciji i na kraju petočasnog procesa na temperaturama od 20°C, 35°C i 50°C, za osmotski rastvor R1 su iznosile:  $0,4231 \pm 0,0136$  g/g i.s.,  $0,4657 \pm 0,0243$  g/g i.s. i  $0,4950 \pm 0,0029$  g/g i.s., tabela 4.1, dok za osmotski rastvor R2 su iznosile:  $0,4280 \pm 0,0035$  g/g i.s.,  $0,49803 \pm 0,0058$  g/g i.s. i  $0,5487 \pm 0,0004$  g/g i.s. za navedene temperature, tabela 4.2.

Na slici 4.6. a-c, prikazani su uticaji koncentracije osmotskog rastvora R3, temperature i vremena procesa na vrednosti gubitka vode iz osmotski dehidriranog svinjskog mesa.

Kao i u slučajevima osmotske dehidracije svinjskog mesa u osmotskim rastvorima R1 i R2, porastom temperature procesa pri konstantnim vrednostima koncentracije osmotskog rastvora R3 i vremena trajanja procesa osmotske dehidracije, statistički značajno se povećavala i vrednost gubitka vode iz osmotski dehidriranog mesa (slika 4.6 a,b; tabela 4.3).

Kao i pri uticaju na vrednosti sadržaja suve materije, porastom koncentracije osmotskog rastvora R3, kao i u slučaju osmotskog rastvora R1 i R2, pri konstantnoj temperaturi, i vremenu trajanja procesa osmotske dehidracije, statistički značajno se povećavala i vrednost gubitka vode iz osmotski dehidriranog mesa (slika 4.6 a,c; tabela 4.3).

Produžavanjem vremena trajanja procesa osmotske dehidracije, pri konstantnim vrednostima tehnoloških parametara koncentracije osmotskog rastvora R3 i temperature procesa, statistički značajno se povećavala i vrednost gubitka vode iz osmotski dehidriranog svinjskog mesa (slika 4.6 b,c; tabela 4.3).



**Slika 4.6** Zavisnost gubitka vode iz osmotski dehidriranog svinjskog mesa od:

- koncentracije osmotskog rastvora R3 i temperature nakon 5 časova procesa
- temperature i vremena trajanja procesa u osmotskom rastvoru R3 koncentracije 80% s.m.
- vremena trajanja procesa i koncentracije osmotskog rastvora R3, pri temperaturi procesa od  $t=35^{\circ}\text{C}$

Najveće vrednosti parametra gubitka vode iz osmotski dehidriranog svinjskog mesa postignute su pri osmotskoj dehidraciji u osmotskom rastvoru R3 u poređenju sa osmotskim rastvorima R1 i R2, a pri istim ostalim tehnološkim parametrima, identično kao i sadržaj suve materije dehidriranog mesa. Vrednosti gubitka vode iz dehidriranog svinjskog mesa pri maksimalnoj koncentraciji i na kraju petočasnog procesa na temperaturama od  $20^{\circ}\text{C}$ ,  $35^{\circ}\text{C}$  i  $50^{\circ}\text{C}$ , za osmotski rastvor R3 su iznosile:  $0,4703 \pm 0,0025$  g/g i.s.,  $0,5207 \pm 0,0115$  g/g i.s.,  $0,5843 \pm 0,0090$  g/g i.s. za navedene temperature, tabela 4.3. Poređeno sa postignutim gubitkom vode u uporedivim osmotskim tretmanima biljnog tkiva (isti proces opisan u poglavlju 4.1.1.1) (Mišljenović, 2012), svinjsko meso je postiglo za 33,68% manje rezultate gubitka vode u poređenju sa mrkvom i 24,53% manje rezultate u poređenju sa jabukom. Ovakvi rezultati gubitka vode mesa u poređenju sa biljnim materijalom verovatno su posledica manjeg početnog sadržaja vode mesa u poređenju sa biljnim materijalom, kao i drugačije strukture animalnog tkiva, koja u manjoj meri dopušta otpuštanje vode u poređenju sa biljnim tkivom.

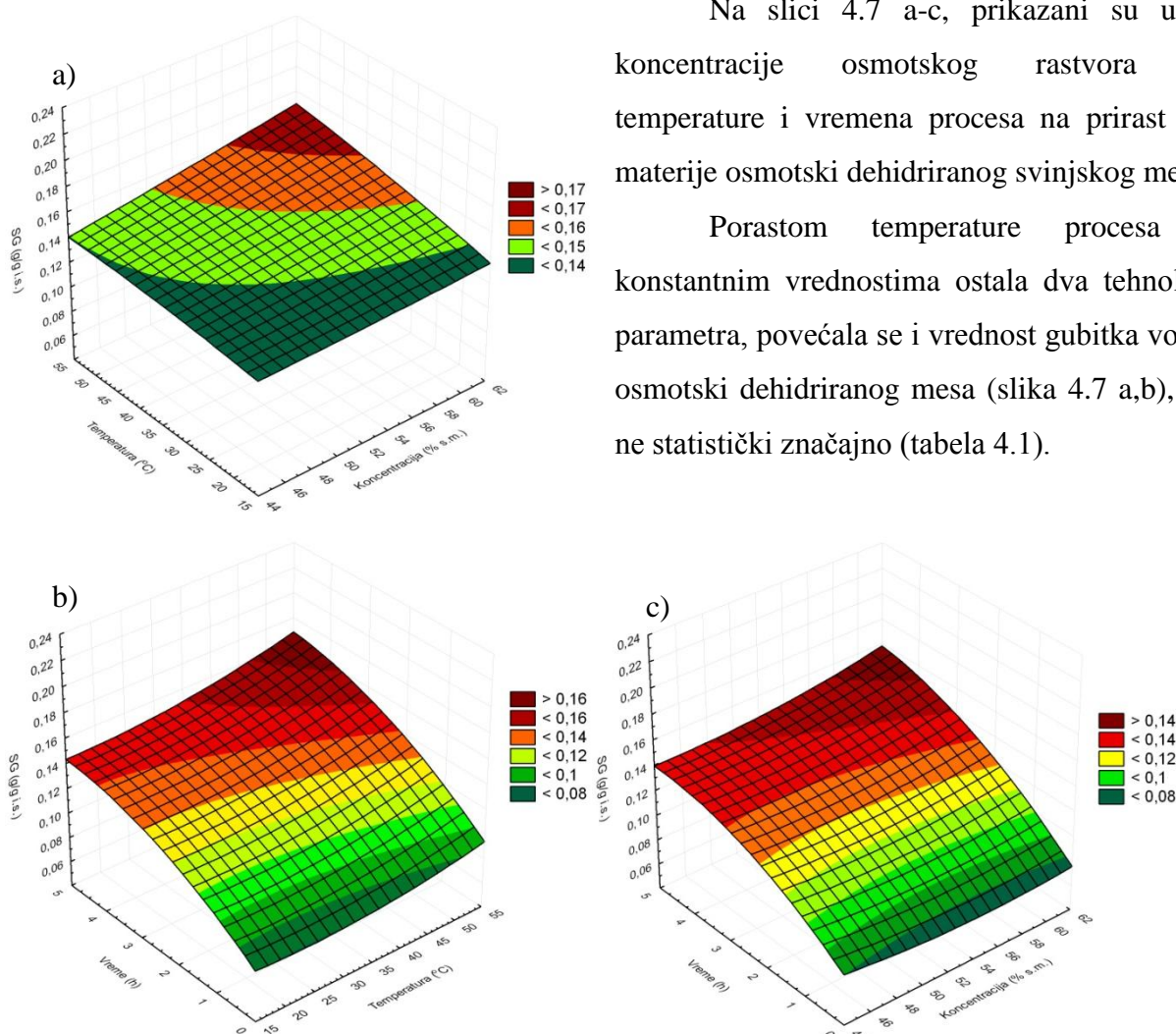
### 4.1.1.3 Prirast suve materije osmotski dehidriranog mesa

Najveći prirast suve materije nakon osmotske dehidratacije svinjskog mesa u osmotskom rastvoru R1 iznosio je  $0,1616 \pm 0,0152$  g/g i.s., u osmotskom rastvoru R2 iznosio je  $0,1797 \pm 0,0084$  g/g i.s., a u osmotskom rastvoru R3 iznosio je  $0,2144 \pm 0,0089$  g/g i.s., tabele 4.1-4.3. U sva tri slučaja temperatura procesa je bila najveća,  $50^\circ\text{C}$ , vreme trajanja 5 časova, a koncentracije osmotskih rastvora R1-R3 najveće koncentracije.

Isti trend uticaja tehnoloških parametara koncentracije osmotskih rastvora, temperature i vremena trajanja procesa je ispoljen na prirast suve materije osmotski dehidriranog mesa kao i na sadržaj suve materije dehidriranog mesa i gubitak vode iz dehidriranog mesa, u sva tri osmotska rastvora R1-3.

Na slici 4.7 a-c, prikazani su uticaji koncentracije osmotskog rastvora R1, temperature i vremena procesa na prirast suve materije osmotski dehidriranog svinjskog mesa.

Porastom temperature procesa pri konstantnim vrednostima ostala dva tehnološka parametra, povećala se i vrednost gubitka vode iz osmotski dehidriranog mesa (slika 4.7 a,b), iako ne statistički značajno (tabela 4.1).



**Slika 4.7** Zavisnost prirasta suve materije osmotski dehidriranog svinjskog mesa od:

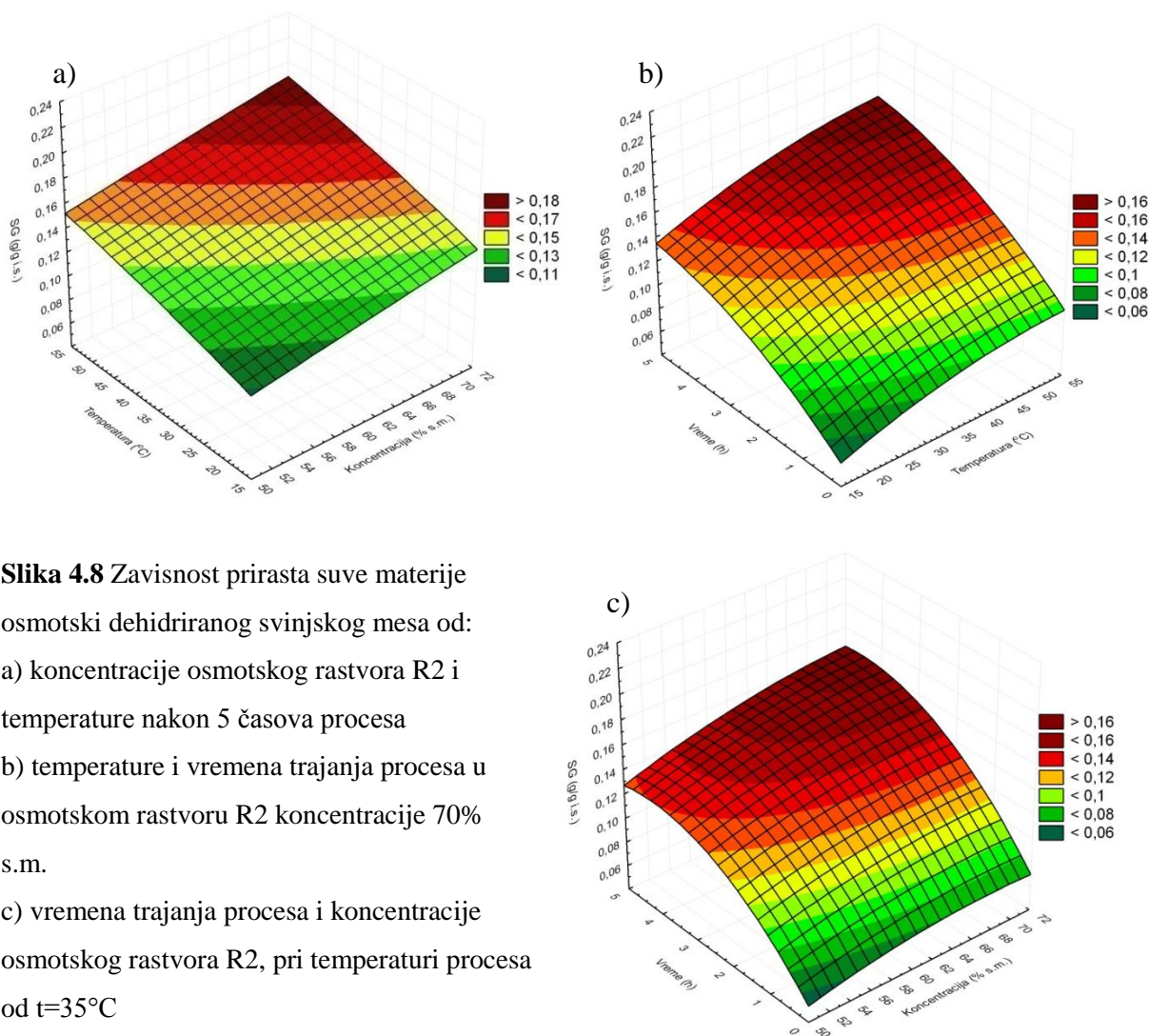
- koncentracije osmotskog rastvora R1 i temperature nakon 5 časova procesa
- temperature i vremena trajanja procesa u osmotskom rastvoru R1 koncentracije 60% s.m.
- vremena trajanja procesa i koncentracije osmotskog rastvora R1, pri temperaturi procesa od  $t=35^\circ\text{C}$

Porastom koncentracije osmotskog rastvora R1, pri konstantnoj temperaturi i vremenu trajanja procesa osmotske dehidracije, povećavala se i vrednost gubitka vode iz osmotski dehidriranog mesa (slika 4.7 a,c), iako ne statistički značajno (tabela 4.1).

Produžavanjem vremena trajanja procesa osmotske dehidracije, pri konstantnim vrednostima tehnoloških parametara koncentracije osmotskog rastvora R1 i temperature procesa, povećavala se i vrednost gubitka vode iz osmotski dehidriranog svinjskog mesa (slika 4.7 b,c), iako ne statistički značajno (tabela 4.1).

Povećavanje vrednosti tehnoloških parametara ( $t$ ,  $\tau$  i  $C$ ) dovelo je do intenziviranja prenosa rastvorka iz osmotskog rastvora u dehidrirajući materijal povećavajući i vrednost SG.

Na slici 4.8 a-c, prikazani su uticaji tehnoloških parametara koncentracije osmotskog rastvora R2, temperature i vremena procesa na vrednosti prirasta suve materije osmotski dehidriranog svinjskog mesa.



**Slika 4.8** Zavisnost prirasta suve materije osmotski dehidriranog svinjskog mesa od: a) koncentracije osmotskog rastvora R2 i temperature nakon 5 časova procesa b) temperature i vremena trajanja procesa u osmotskom rastvoru R2 koncentracije 70% s.m. c) vremena trajanja procesa i koncentracije osmotskog rastvora R2, pri temperaturi procesa od  $t=35^{\circ}\text{C}$

Kao i u slučaju osmotske dehidracije svinjskog mesa u osmotskom rastvoru R1, porastom temperature procesa pri konstantnim vrednostima koncentracije osmotskog rastvora



R2, i vremena dehidracije, povećavala se i vrednost gubitka vode iz osmotski dehidriranog mesa (slika 4.8 a,b), iako ne statistički značajno (tabela 4.2).

Porastom koncentracije osmotskog rastvora R2, kao i u slučaju osmotskog rastvora R1, pri konstantnoj temperaturi, i vremenu trajanja procesa osmotske dehidracije, povećavala se i vrednost prirasta suve materije osmotski dehidriranog mesa (slika 4.8 a,c), iako ne statistički značajno (tabela 4.1).

Produžavanjem vremena trajanja procesa osmotske dehidracije, pri konstantnim vrednostima tehnoloških parametara koncentracije osmotskog rastvora R2 i temperature procesa, statistički značajno se povećavala i vrednost prirasta suve materije osmotski dehidriranog svinjskog mesa (slika 4.8 b,c; tabela 4.2).

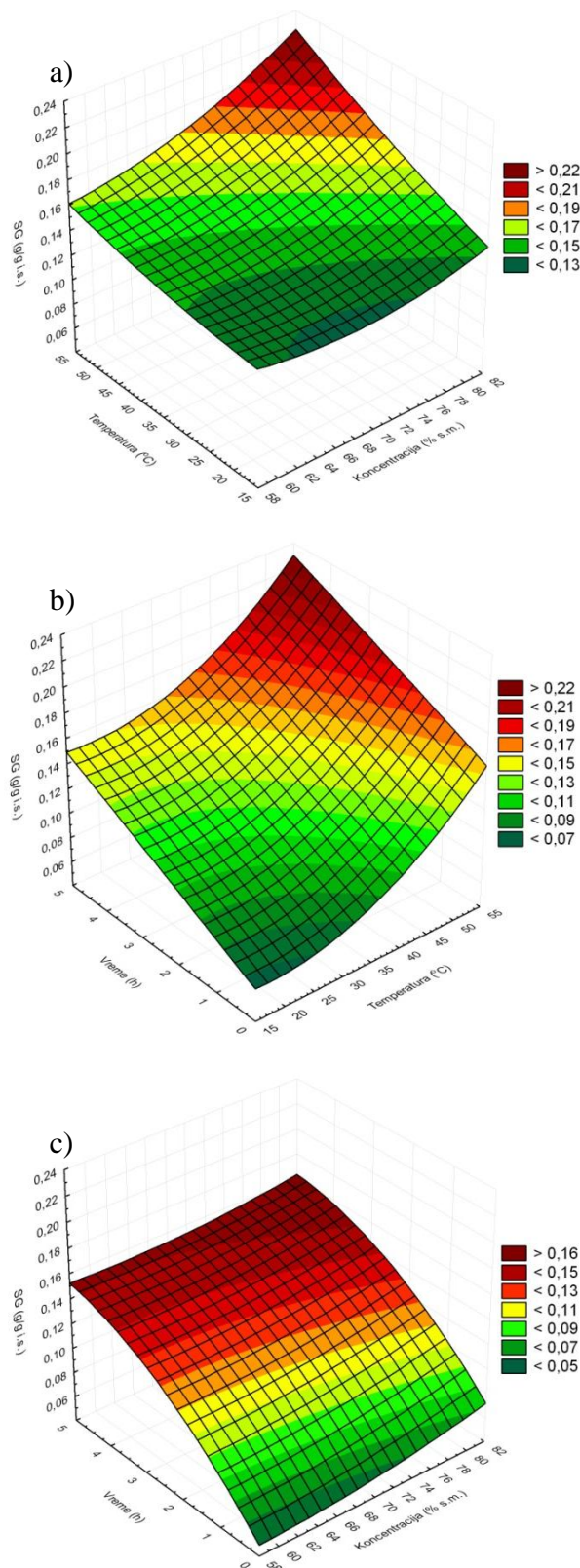
Kao i u slučaju sadržaja suve materije i gubitka vode iz osmotski dehidriranog mesa, uočava se trend većih postignutih vrednosti parametra prirasta suve materije mesa pri osmotskoj dehidraciji u osmotskom rastvoru R2 u poređenju sa osmotskim rastvorom R1, a pri istim ostalim tehnološkim parametrima. Vrednosti prirasta suve materije osmotski dehidriranog svinjskog mesa pri maksimalnoj koncentraciji i na kraju petočasnog procesa na temperaturama od 20°C, 35°C i 50°C, za osmotski rastvor R1 su iznosile:  $0,1388 \pm 0,015$  g/g i.s.,  $0,1559 \pm 0,0107$  g/g i.s. i  $0,1616 \pm 0,0152$  g/g i.s., tabela 4.1, dok za osmotski rastvor R2 su iznosile:  $0,1417 \pm 0,013$  g/g i.s.,  $0,1645 \pm 0,0163$  g/g i.s. i  $0,1797 \pm 0,0084$  g/g i.s, za navedene temperature, tabela 4.2.

Na slici 4.9 a-c, prikazani su uticaji koncentracije osmotskog rastvora R3, temperature i vremena procesa na vrednosti prirasta suve materije osmotski dehidriranog svinjskog mesa.

Zapažen je isti trend uticaja kao, i u slučajevima osmotske dehidracije svinjskog mesa u osmotskim rastvorima R1 i R2, odnosno, porastom temperature procesa pri konstantnim vrednostima koncentracije osmotskog rastvora R3, i vremena trajanja procesa osmotske dehidracije, statistički značajno u ovom slučaju, povećavala se i vrednost gubitka vode iz osmotski dehidriranog mesa (slika 4.9. a,b; tabela 4.3).

Kao i pri uticaju na vrednosti sadržaja suve materije i gubitak vode, porastom koncentracije osmotskog rastvora R3, kao i u slučaju osmotskog rastvora R1 i R2, pri konstantnoj temperaturi, i vremenu trajanja procesa osmotske dehidracije, statistički značajno se povećavala i vrednost prirasta suve materije iz osmotski dehidriranog mesa (slika 4.9 a,c; tabela 4.3).

Produžavanjem vremena trajanja procesa osmotske dehidracije, pri konstantnim vrednostima tehnoloških parametara koncentracije osmotskog rastvora R3 i temperature procesa, statistički značajno se povećavala i vrednost prirasta suve materije osmotski dehidriranog svinjskog mesa (slika 4.9 b,c; tabela 4.3).



**Slika 4.9** Zavisnost prirasta suve materije osmotski dehidriranog svinjskog mesa od:

- koncentracije osmotskog rastvora R3 i temperature nakon 5 časova procesa
- temperature i vremena trajanja procesa u osmotskom rastvoru R3 koncentracije 80% s.m.
- vremena trajanja procesa i koncentracije osmotskog rastvora R3, pri temperaturi procesa od  $t=35^{\circ}\text{C}$

Najveće vrednosti parametra prirasta suve materije osmotski dehidriranog svinjskog mesa postignute su pri osmotskoj dehidraciji u osmotskom rastvoru R3 u poređenju sa osmotskim rastvorima R1 i R2, a pri istim ostalim tehnološkim parametrima, identično kao i sadržaj suve materije i gubitak vode iz osmotski dehidriranog mesa. Vrednosti prirasta suve materije iz dehidriranog svinjskog mesa pri maksimalnoj koncentraciji i na kraju petočasnog procesa na temperaturama od  $20^{\circ}\text{C}$ ,  $35^{\circ}\text{C}$  i  $50^{\circ}\text{C}$ , za osmotski rastvor R3 su iznosile:  $0,1467 \pm 0,0059$  g/g i.s.,  $0,1624 \pm 0,0155$  g/g i.s.,  $0,2144 \pm 0,0089$  g/g i.s. za navedene temperature, tabela 4.3. Poređeno sa postignutim prirastom suve materije u uporedivim osmotskim tretmanima biljnog tkiva (isti proces opisan u poglavlju 4.1.1.1 i 4.1.1.2) (Mišljenović, 2012), svinjsko meso je postiglo za 81,69% veće rezultate prirasta suve materije u poređenju sa šargarepom i 49,62% veće rezultate u poređenju sa jabukom. Ovakvi rezultati prirasta suve materije mesa u poređenju sa biljnim materijalom verovatno su posledica drugačije strukture animalnog tkiva, koja za razliku od stanja prisutne vode, u većoj meri dopušta prirast suve materije u poređenju sa biljnim tkivom.

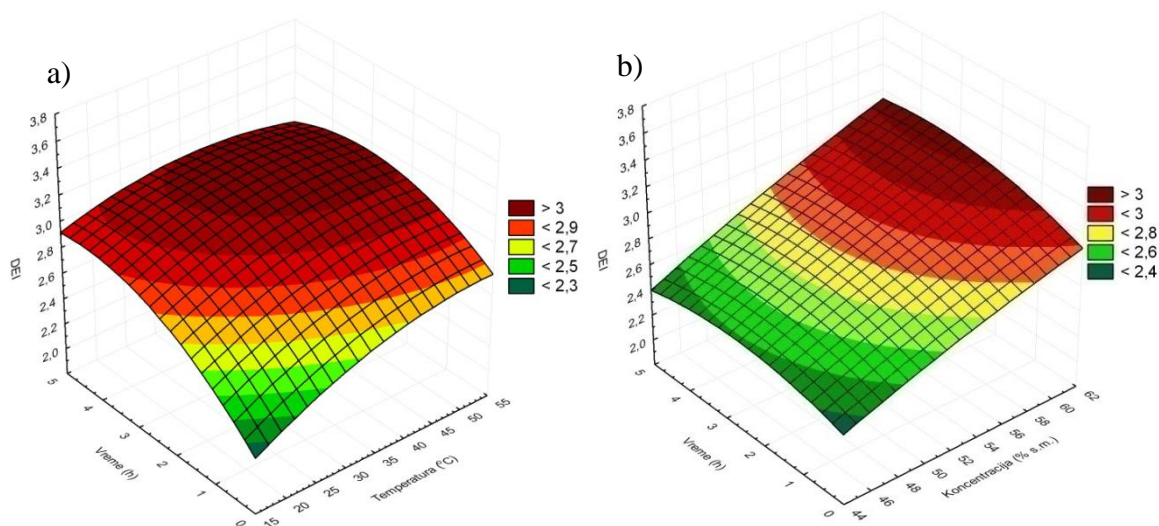
Porastom vrednosti tehnoloških parametara temperature i vremena trajanja procesa, kao i koncentracije osmotskog rastvora intenzivira se i povećava prenos mase između osmotski dehidrirajućeg materijala i osmotskog rastvora, kako vode iz materijala koji se dehidrira, tako i suve materije iz osmotskog rastvora u materijal. Zbog toga je i očekivano da parametri osmotske dehidratacije (DMC, WL i SG) koji karakterišu upravo transfer mase, koji se ogleda kroz dva toka materije u suprotnim smerovima, postignu maksimalne vrednosti upravo pri maksimalnim vrednostima tehnoloških parametara ( $t$ ,  $\tau$  i  $C$ ), a sa druge strane i u osmotskom rastvoru R3, jer je to rastvor sa maksimalnim sadržajem suve materije.

#### 4.1.1.4 Indeks efikasnosti dehidratacije (DEI)

Za ocenu efikasnosti procesa osmotske dehidratacije i utvrđivanja optimalnih procesnih parametara potrebno je i analizirati trendove kretanja vrednosti indeksa efikasnosti dehidratacije. Poželjne su velike vrednosti indeksa DEI jer njih karakteriše veći gubitak vode iz osmotski dehidriranog mesa i manji prirast suve materije osmotski dehidriranog mesa.

Kod osmotske dehidratacije mesa u osmotskom rastvoru R1 maksimalna vrednost DEI je iznosila  $3,33 \pm 0,08$  prilikom osmotske dehidratacije mesa u rastvoru R1 koncentracije 52,5% s.m., pri temperaturi procesa od  $50^\circ\text{C}$  i vremenu trajanja od 3h, tabela 4.1.

Na slici 4.10 prikazani su uticaji tehnoloških parametara vremena i temperature procesa, kao i koncentracije osmotskog rastvora R1 na vrednosti DEI.



**Slika 4.10** Zavisnost indeksa efikasnosti dehidratacije osmotski dehidriranog svinjskog mesa od:

a) temperature i vremena trajanja procesa u osmotskom rastvoru R1 koncentracije 60% s.m.

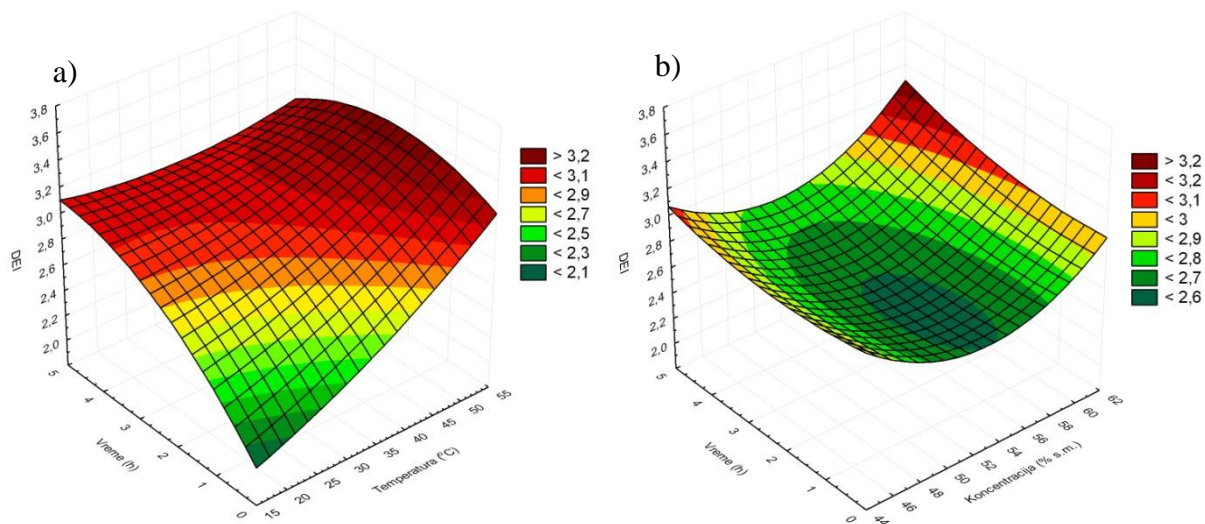
b) vremena trajanja procesa i koncentracije osmotskog rastvora R1, pri temperaturi procesa od  $t=35^\circ\text{C}$

Porastom temperature procesa pri konstantnom vremenu trajanja procesa osmotske dehidracije, statistički značajno se povećavala i vrednost DEI. Isti trend uticaja na DEI je iskazalo i povećanje koncentracije osmotskog rastvora, odnosno povećanjem koncentracije osmotskog rastvora R1, pri konstantnim ostalim tehnološkim parametrima, statistički značajno povećavala se i vrednost DEI (slika 4.10 a; tabela 4.1).

Vreme trajanja procesa je, međutim, iskazalo drugačiji trend uticaja na vrednost DEI (slika 4.10 a,b), iako nije bio statistički značajan (tabela 4.1). Maskimumi vrednosti DEI javili su se pri srednjem vremenu trajanja procesa osmotske dehidracije svinjskog mesa u osmotskom rastvoru R1, odnosno 3h. Ova zavisnost može da ukazuje na izraženije uvećanje prirasta suve materije osmotski dehidriranog mesa u rastvoru R1 u vremenu trajanja osmotske dehidracije od trećeg do petog sata nego što je bilo uvećanje gubitka vode iz osmotski dehidriranog mesa, što može biti posledica promene u brzinama prenosa vode iz mesa i suve materije iz rastvora u meso i smanjenje vrednosti DEI u petom satu procesa u poređenju sa vrednošću DEI u trećem satu procesa.

Maksimalna vrednost DEI u uzorcima mesa osmotski dehidriranog u osmotskom rastvoru R2 je iznosila  $3,45 \pm 0,42$  i to u pri temperaturi procesa od  $20^\circ\text{C}$ , nakon sat vremena i u osmotskom rastvoru R2 najmanje koncentracije od 52,5% s.m, tabela 4.2.

Na slici 4.11 prikazani su uticaji tehnoloških parametara vremena i temperature procesa, kao i koncentracije osmotskog rastvora R2 na vrednosti DEI.



**Slika 4.11** Zavisnost indeksa efikasnosti dehidracije osmotski dehidriranog svinjskog mesa od:

- temperature i vremena trajanja procesa u osmotskom rastvoru R2 koncentracije 70% s.m.
- vremena trajanja procesa i koncentracije osmotskog rastvora R2, pri temperaturi procesa od  $t=35^\circ\text{C}$

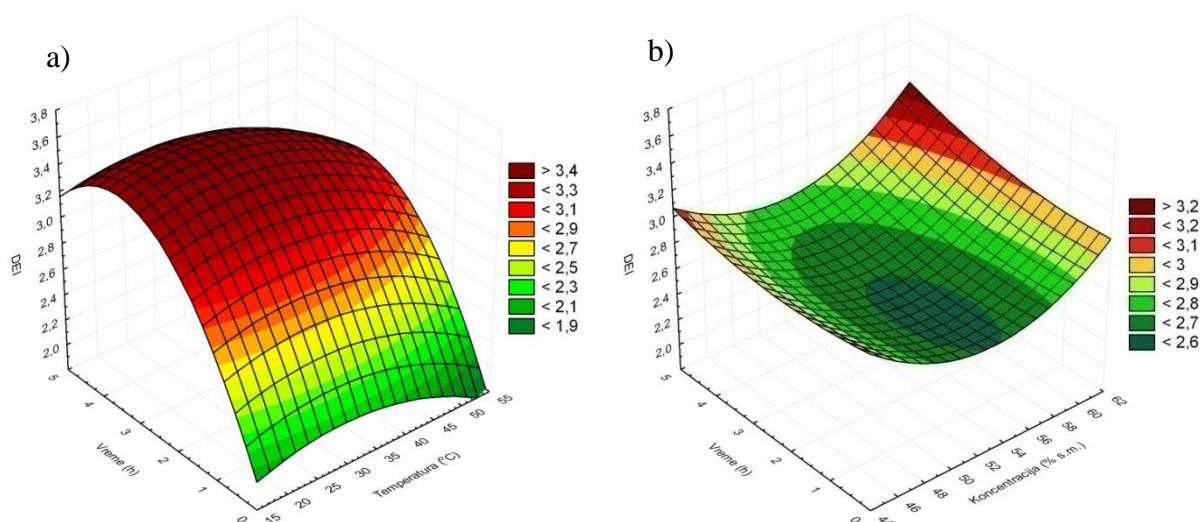
Porastom temperature procesa pri konstantnom vremenu trajanja procesa osmotske dehidracije, povećavala se i vrednost DEI (slika 4.11 a), iako ne statistički značajno (tabela 4.2).

Isti trend uticaja na DEI je iskazalo i vreme trajanja procesa osmotske dehidracije, odnosno produženjem trajanja procesa, pri konstantnim ostalim tehnološkim parametrima, povećavala se i vrednost DEI (slika 4.11 a,b), iako ne statistički značajno (tabela 4.2).

Koncentracija osmotskog rastvora R2, je međutim iskazala kompleksniji uticaj na vrednost DEI (slika 4.11 b), iako nije bio statistički značajan (tabela 4.2). Minimalne vrednosti DEI javili su se pri srednjoj koncentraciji osmotskog rastvora R2, odnosno 61,25% s.m, da bi se maksimumi vrednosti DEI javili pri maksimalnim koncentracijama osmotskog rastvora R3. Razlike u odnosima gubitka vode i prirasta suve materije mesa koji se iskazuju kao promena vrednosti DEI, sa promenom koncentracije rastvora R2 su verovatno posledica uvođenja melase u sastav ovog osmotskog rastvora i njenog kompleksnog uticaja na prenose mase koji se javljaju prilikom procesa osmotske dehidracije.

Maksimalna vrednost DEI u uzorcima mesa osmotski dehidriranog u osmotskom rastvoru R3 je iznosila  $3,46 \pm 0,15$  i to u pri temperaturi od  $20^\circ\text{C}$ , nakon tri sata procesa i u osmotskom rastvoru R3 najveće koncentracije od 80% s.m, tabela 4.3.

Na slici 4.12 prikazani su uticaji tehnoloških parametara vremena i temperature procesa, kao i koncentracije osmotskog rastvora R3 na vrednosti DEI.



**Slika 4.12** Zavisnost indeksa efikasnosti dehidracije osmotski dehidriranog svinjskog mesa od:

- temperature i vremena trajanja procesa u osmotskom rastvoru R3 koncentracije 80% s.m.
- vremena trajanja procesa i koncentracije osmotskog rastvora R3, pri temperaturi procesa od  $t=35^\circ\text{C}$

Porastom dužine trajanja procesa pri konstantnim ostalim tehnološkim parametrima temperature procesa i koncentracije osmotskog rastvora R3, povećavala se i vrednost DEI (slika 4.12 a,b), iako ne statistički značajno (tabela 4.3).

Povećanja tehnoloških parametara koncentracije osmotskog rastvora R3 i temperature procesa pokazuju kompleksne uticaje na vrednost DEI, a time i na odnose prometa materije u osmotski dehidriranom mesu, mada nemaju statističku značajnost (tabela 4.3).

Maksimalne vrednosti DEI pri porastu temperature procesa su se javile na srednjim temperaturama procesa ( $T=35^{\circ}\text{C}$ ), dok se minimum DEI vrednosti javio na najvišim temperaturama procesa ( $T=50^{\circ}\text{C}$ ), što ukazuje da je na toj temperaturi bio favorizovan prirast suve materije u odnosu na gubitak vode iz mesa prilikom osmotske dehidratacije (slika 4.12 a).

Minimum vrednosti DEI pri povećanju koncentracije osmotskog rastvora R3, pri konstantnim ostalim tehnološkim parametrima je zapažen na središnjoj koncentraciji osmotskog rastvora R3 (70% s.m.), dok je maksimum DEI vrednosti zapažen na maksimalnoj koncentraciji (80% s.m.).

Ovi kompleksni uticaji tehnoloških parametara koncentracije i temperature na prenos materije koji se odigravaju u dva pravca prilikom osmotske dehidratacije, a ogledaju se kroz odnos gubitka vode i prirasta suve materije, verovatno su posledica kompleksnog uticaja melase. Upravo ovi kompleksni uticaji se javljaju u osmotskim rastvorima R2 i R3 koji u svom sastavu sadrže melasu. Obzirom da oba tehnološka parametra (koncentracija i temperatura) značajno utiču i na viskoznost melase, koja je veoma velika i značajno utiče na svaki proces u kome se melasa koristi, može se pretpostaviti da je upravo promena viskoznosti melase koja se nalazi u sastavu osmotskih rastvora uslovlila i promene prenosa materije, a koji se ogleda direktno u promeni trenda DEI vrednosti.

#### **4.1.1.5 Vrednost aktivnosti vode $a_w$**

Vrednost aktivnosti vode svežeg mesa prosečno je iznosila  $0,926\pm 0,013$ . Proces osmotske dehidratacije mesa snižavao je  $a_w$  vrednost, a najniža postignuta  $a_w$  vrednost mesa osmotski dehidriranog u osmotskom rastvoru R1 je iznosila  $0,793\pm 0,009$ , nakon 5 časova procesa, pri temperaturi od  $35^{\circ}\text{C}$  i u najkoncentrovanijem osmotskom rastvoru R1 (60% s.m.), tabela 4.1.

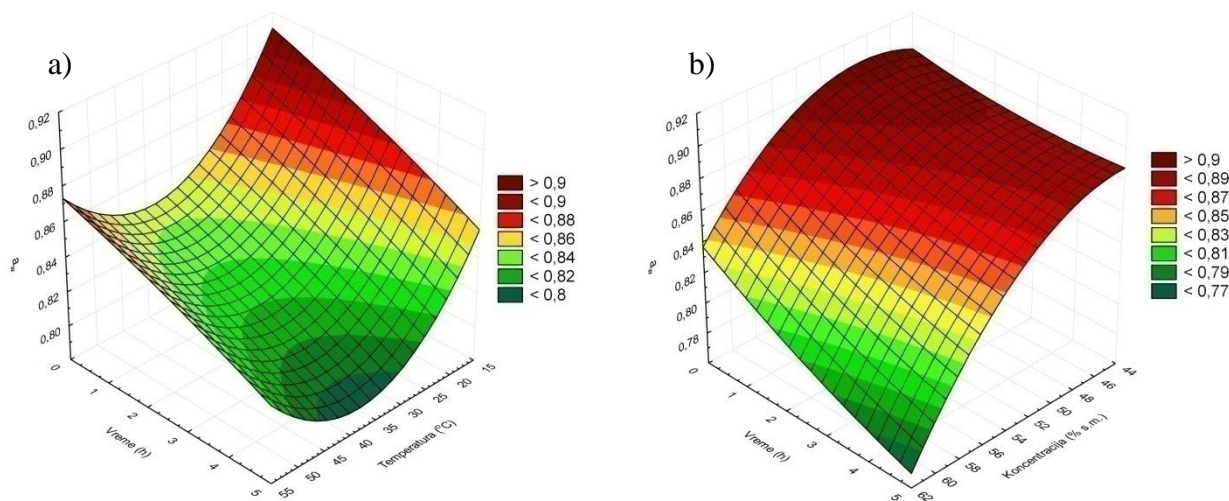
Minimalna  $a_w$  vrednost mesa osmotski dehidriranog u osmotskom rastvoru R2 je iznosila  $0,794\pm 0,001$  i ta vrednost je postignuta nakon 5 časova procesa, pri temperaturi od  $35^{\circ}\text{C}$  i u najkoncentrovanijem osmotskom rastvoru R2 (70% s.m.), tabela 4.2.

Minimalna  $a_w$  vrednost mesa osmotski dehidriranog u osmotskom rastvoru R3 je iznosila  $0,811 \pm 0,010$  i ta vrednost je takođe, postignuta nakon 5 časova procesa, pri temperaturi od  $35^\circ\text{C}$  i u najkoncentrovanijem osmotskom rastvoru R3 (80% s.m.), tabela 4.3.

Analiza uticaja tehnoloških parametara vremena, temperature i koncentracije na  $a_w$  vrednost mesa osmotski dehidriranog u osmotskom rastvoru R1 pokazuje kompleksnu zavisnost, slika 4.13 a i b.

Porastom dužine trajanja procesa osmotske dehidratacije pri konstantnim ostalim tehnološkim parametrima temperature procesa i koncentracije osmotskog rastvora R1, statistički značajno se smanjivala postignuta  $a_w$  vrednost osmotski dehidriranog mesa (slika 4.13 a,b; tabela 4.1).

Minimum  $a_w$  vrednost osmotski dehidriranog mesa koji ukazuje i na njegovu najbolju mikrobiološku stabilnost i održivost, postignut je na srednjoj temperaturi procesa osmotske dehidratacije od  $t=35^\circ\text{C}$ , bez obzira na ostale tehnološke parametre. Druge dve temperature procesa za proizvod su dale osmotski dehidrirano meso viših postignutih  $a_w$  vrednosti (slika 4.13 a).

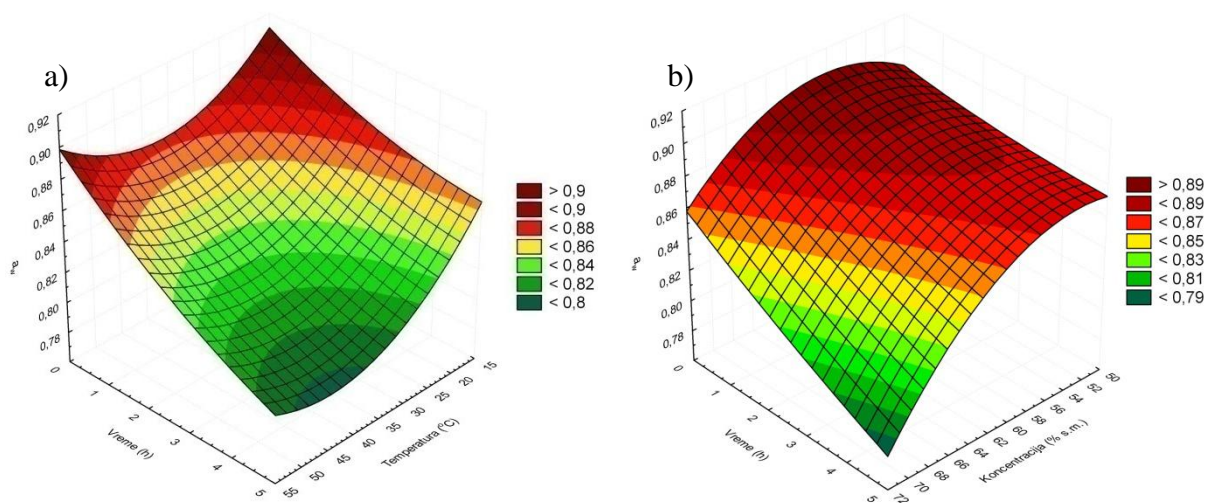


**Slika 4.13** Zavisnost  $a_w$  vrednosti osmotski dehidriranog svinjskog mesa od:

- temperature i vremena trajanja procesa u osmotskom rastvoru R1 koncentracije 60% s.m.
- vremena trajanja procesa i koncentracije osmotskog rastvora R1, pri temperaturi procesa od  $t=35^\circ\text{C}$

Porastom koncentracije osmotskog rastvora R1, a pri konstantnim ostalim parametrima vremena trajanja i temperature procesa, došlo je i do statistički značajnog snižavanja postignute  $a_w$  vrednosti osmotski dehidriranog mesa (slika 4.13 b; tabela 4.1).

Na slici 4.14 prikazani su uticaji tehnoloških parametara vremena i temperature procesa, kao i koncentracije osmotskog rastvora R2 na  $a_w$  vrednosti osmotski dehidriranog mesa.



**Slika 4.14** Zavisnost  $a_w$  vrednosti osmotski dehidriranog svinjskog mesa od:

- temperature i vremena trajanja procesa u osmotskom rastvoru R2 koncentracije 70% s.m.
- vremena trajanja procesa i koncentracije osmotskog rastvora R2, pri temperaturi procesa od  $t=35^\circ\text{C}$

Porastom dužine trajanja procesa osmotske dehidratacije pri konstantnim ostalim tehnološkim parametrima temperature procesa i koncentracije osmotskog rastvora R2, kao i u slučaju osmotskog rastvora R1, statistički značajno se smanjivala postignuta  $a_w$  vrednost osmotski dehidriranog mesa (slika 4.14 a,b; tabela 4.2).

Temperatura je i u slučaju osmotskog rastvora R2 pokazala isti trend uticaja na  $a_w$  vrednost osmotski dehidriranog mesa kao i u slučaju osmotske dehidratacije u rastvoru R1, odnosno, minimum  $a_w$  vrednost mesa postignut je na srednjoj temperaturi procesa osmotske dehidratacije od  $T=35^\circ\text{C}$ , bez obzira na ostale tehnološke parametre (slika 4.14 a).

Porastom koncentracije osmotskog rastvora R2, a pri konstantnim ostalim parametrima vremena trajanja i temperature procesa, došlo je i do statistički značajnog snižavanja postignute  $a_w$  vrednosti osmotski dehidriranog mesa (slika 4.14 b; tabela 4.2), identično kao i u slučaju osmotskog rastvora R1.

Vrednosti aktivnosti vode osmotski dehidriranog svinjskog mesa pri maksimalnoj koncentraciji i na kraju petočasnog procesa na temperaturama od  $20^\circ\text{C}$ ,  $35^\circ\text{C}$  i  $50^\circ\text{C}$ , za osmotski rastvor R1 su iznosile:  $0,836\pm 0,010$ ,  $0,793\pm 0,009$  i  $0,802\pm 0,005$ , tabela 4.1, dok za osmotski rastvor R2 su iznosile:  $0,848\pm 0,009$ ,  $0,794\pm 0,001$  i  $0,802\pm 0,005$  za navedene temperature, tabela 4.2, što pokazuje da su pri istim tehnološkim parametrima postignute vrlo slične  $a_w$  vrednosti osmotski dehidriranog mesa u različitim osmotskim rastvorima R1 i R2.

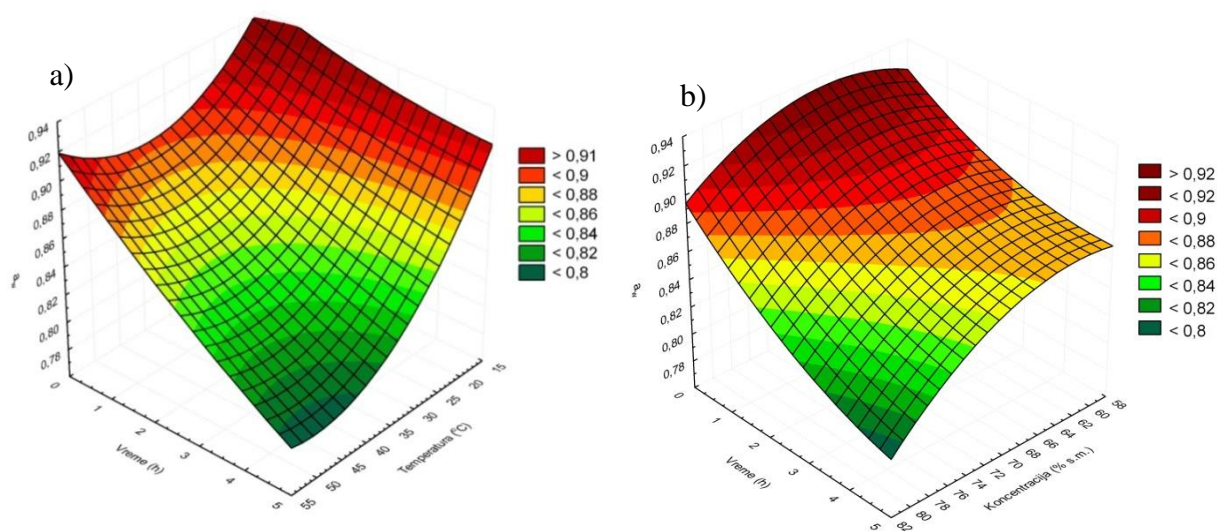


Na slici 4.15 prikazani su uticaji tehnoloških parametara vremena i temperature procesa, kao i koncentracije osmotskog rastvora R3 na  $a_w$  vrednosti osmotski dehidriranog mesa.

Kao i u slučajevima prethodnih osmotskih rastvora, porastom dužine trajanja procesa osmotske dehidracije pri konstantnim ostalim tehnološkim parametrima temperature procesa i koncentracije osmotskog rastvora R3, statistički značajno se smanjivala postignuta  $a_w$  vrednost osmotski dehidriranog mesa (slika 4.15 a,b; tabela 4.3).

Temperatura je i u slučaju osmotskog rastvora R3 pokazala sličan trend uticaja na  $a_w$  vrednost osmotski dehidriranog mesa kao i u slučaju osmotske dehidracije u rastvorima R1 i R2, mada je minimum  $a_w$  vrednost mesa bio malo pomeren od središnje temperature procesa ka maksimalnoj, bez obzira na ostale tehnološke parametre (slika 4.15 a).

Porastom koncentracije osmotskog rastvora R3, a pri konstantnim ostalim parametrima vremena trajanja i temperature procesa, došlo je i do statistički značajnog snižavanja postignute  $a_w$  vrednosti osmotski dehidriranog mesa (slika 4.15 b; tabela 4.3), identično kao i u slučajevima osmotskih rastvora R1 i R2.



**Slika 4.15.** Zavisnost  $a_w$  vrednosti osmotski dehidriranog svinjskog mesa od:

- temperature i vremena trajanja procesa u osmotskom rastvoru R3 koncentracije 80% s.m.
- vremena trajanja procesa i koncentracije osmotskog rastvora R3, pri temperaturi procesa od  $t=35^\circ\text{C}$

Vrednosti aktivnosti vode osmotski dehidriranog svinjskog mesa pri maksimalnoj koncentraciji i na kraju petočasnog procesa na temperaturama od  $20^\circ\text{C}$ ,  $35^\circ\text{C}$  i  $50^\circ\text{C}$ , za osmotski rastvor R3 su iznosile:  $0,884\pm 0,008$ ,  $0,811\pm 0,010$  i  $0,795\pm 0,004$ , tabela 4.3. Pri istim tehnološkim parametrima postignute vrlo slične  $a_w$  vrednosti osmotski dehidriranog mesa u različitim osmotskim rastvorima R1 i R2, s tim što je minimum postignute  $a_w$  vrednosti osmotskih dehidriranog mesa ostvaren na najvišoj temperaturi u rastvoru R3.

Na osnovu sadržaja suve materije osmotskih rasvora R1, R2 i R3, poglavlje 3.2, moglo se očekivati da će se postići najmanje  $a_w$  vrednosti osmotski dehidriranog mesa u osmotskom rastvoru R3 u poređenju sa osmotskim rastvorima R1 i R2, pri istim ostalim tehnološkim parametrima. Rezultati merenih  $a_w$  vrednosti međutim, ne pokazuju ovaj trend u svim slučajevima ( $a_w$  vrednosti dehidriranog mesa pri koncentrovanim rastvorima R1, R2 u poređenju sa R3, pri temperaturama od  $t=35^\circ\text{C}$ , a pogotovo od  $t=20^\circ\text{C}$ ). Jedno od mogućih objašnjenja ove nekonzistentnosti među rezultatima postignutih  $a_w$  vrednosti je da prirast suve materije koji potiče iz osmotskog rastvora, u većoj meri menja hemijski sastav mesa dehidriranog u rastvoru R3 (usled mnogo veće kompleksnosti hemijskog sastava melase u poređenju sa hemijskim sastavom osmotskog rastvora R1) u poređenju sa hemijskim sastavom mesa dehidriranog u rastvorima R1 i R2. Upravo tako izmenjen hemijski sastav dehidriranog mesa verovatno ispoljava kompleksne uticaje na  $a_w$  vrednosti dehidriranog mesa u osmotskom rastvoru R3.

Poređeno sa postignutim vrednostima aktivnosti vode u uporedivim osmotskim tretmanima biljnog tkiva (isti proces opisan u poglavlju 4.1.1.1, 4.1.1.2 i 4.1.1.3) (Mišljenović, 2012), svinjsko meso je postiglo za 1,12% manje vrednosti aktivnosti vode u poređenju sa mrkvom i za 1,61% manje vrednosti aktivnosti vode u poređenju sa jabukom. Ovako male razlike u vrednostima aktivnosti vode dehidriranog animalnog i biljnog materijala ukazuju na njihovo slično ponašanje u procesu osmotske dehidratacije.

Postignute  $a_w$  vrednosti mesa nakon osmotske dehidratacije, u svim osmotskim rastvorima R1-3 i pri svim ostalim kombinacijama tehnoloških parametara vremena trajanja i temperature procesa osmotske dehidratacije, kao i koncentracije osmotskih rastvora, bile su ispod inhibirajućih  $a_w$  vrednosti rasta većine mikroorganizama, izuzev nekih plesni (Huang i Nip, 2001; Feiner, 2006).

Upravo ova karakteristika osmotski dehidriranog mesa upućuje na dalje ispitivanje promene mikrobiološkog profila svinjskog mesa kao posledice osmotskog tretmana, radi potvrde povećanja mikrobiološke stabilnosti i bezbednosti osmotski dehidriranog svinjskog mesa.

#### **4.1.2 Utvrđivanje modela procesa osmotske dehidratacije metodom odzivne površine**

Metod odzivne površine primenjen je sa ciljem određivanja modela procesa osmotske dehidratacije svinjskog mesa u tri osmotska rastvora R1-R3.

U tabelama 4.4, 4.6 i 4.8 prikazani su rezultati analize varijanse (ANOVA) modela odzivnih površina koji su razvijeni na osnovu eksperimentalnih rezultata za proces osmotske dehidratacije mesa u osmotskim rastvorima R1-R3. Na osnovu ovih rezultata analizirani su statistički značajni efekti tehnoloških parametara, kao i njihove međuzavisnosti na odzive

matematičkog modela. U metodu odzivne površine korišćen je polinom drugog reda (SOP) u obliku jednačine [3.7] radi predviđanja funkcije [3.5] za sve tehnološke parametre, odnosno nezavisne promenljive veličine.

#### **4.1.2.1 Model procesa osmotske dehidracije u rastvoru R1**

Na osnovu ANOVA testa praćenih odziva mesa dehidriranog u osmotskom rastvoru R1 prikazanih u tabeli 4.4. vidi se da na vrednost odziva DMC su statistički značajno uticala sva tri tehnološka parametra temperature, vremena i koncentracije, sa tim što se kao najuticajniji parametar pokazalo  $\tau$ , pa zatim C i na kraju t, što je u skladu sa osmotskom dehidracijom biljnog materijala (Mišljenović i sar., 2012). Kvadratni članovi SOP-a za t i  $\tau$  statistički značajno doprinose formiranju modela procesa, dok kvadratni član C nije statistički značajan. Sva tri linearna člana su statistički značajni, kao i članovi proizvoda  $t \times C$  i  $\tau \times C$ , dok član proizvoda  $t \times \tau$  nije statistički značajan. Ostatak varijanse, kao mera odstupanja matematičkog modela od izmerenih eksperimentalnih vrednosti odziva, nije statistički značajna, što ukazuje da je primenjeni model za odziv DMC adekvatno prikazuje proces osmotske dehidracije mesa. Vrednost koeficijenta determinacije  $R^2$  koja se definiše kao odnos opisane varijacije sa ukupnom varijansom sistema (Madamba, 2002), je takođe visoka (0,9884) što još jednom ukazuje na dobro poklapanje modela SOP-a sa izmerenim eksperimentalnim vrednostima.

ANOVA test pokazuje da na vrednost odziva WL statistički značajno utiču sva tri parametra, sa istim nivoima uticajnosti kao i kod DMC. Samo kvadratni član SOP-a za  $\tau$  statistički značajno doprinosi formiranju modela procesa, dok druga dva kvadratna člana tehnoloških parametara nisu statistički značajna. Kao i u slučaju DMC sva tri linearna člana tehnoloških parametara statistički značajno doprinose modelu SOP-a za WL, a članovi proizvoda parametara statistički su značajni u slučaju  $t \times C$  i  $\tau \times C$ . Ostatak varijanse koji nije statistički značajan, kao i visoka vrednost  $R^2$  (0,9892) ukazuju na dobro poklapanje predloženog modela za WL sa eksperimentalnim podacima.

Testiranjem odziva SG utvrđeno je da sva tri tehnološka parametra statistički značajno utiču na vrednosti SG, kao i u prethodnim slučajevima za DMC i WL. Jedino kvadratni član SOP-a za t statistički značajno doprinosi formiranju modela procesa, dok druga dva kvadratna člana tehnoloških parametara nisu statistički značajna. Kao i u prethodnim slučajevima, sva tri linearna člana tehnoloških parametara statistički značajno doprinose modelu SOP-a za SG, dok članovi proizvoda parametara nisu statistički značajni. Kao i u dosadanjim slučajevima, ostatak varijanse nije statistički značajan, a visoka vrednost  $R^2$  (0,9415) ukazuje na dobro poklapanje predloženog modela za SG sa eksperimentalnim podacima.

Statistička značajnost kvadratnog člana za  $t$  u analizama odziva DMC, WL i SG ukazuje da se vrednosti ovih odziva ponašaju po kvadratnoj zavisnosti sa tehnološkim parametrom za  $\tau$ , odnosno da dolazi do smanjenja porasta DMC, WL i SG nakon izvesnog vremena trajanja procesa osmotske dehidracije, što je evidentno i sa grafika 4.1. b,c za DMC, 4.4 b,c za WL i 4.7 b,c za SG. Snižavanje sadržaja vode u dehidriranom mesu i istovremeno povećanje prirasta suve materije ulaskom rastvoraka u meso, tokom proticanja vremena od početka procesa, dovodi i do smanjenja gradijenta koncentracije, odnosno pogonske sile procesa osmotske dehidracije, a sa tim i smanjenja porasta vrednosti DMC, WL i SG u kasnijim fazama procesa osmotske dehidracije.

Analizom ANOVA testa odziva  $a_w$  utvrđeno je da koncentracija i vreme od tehnoloških parametara statistički značajno utiču na  $a_w$  vrednosti, gde je najveći uticaj ostvarila koncentracija osmotskih rastvora, dok temperatura nema statistički značajan uticaj. Jedino kvadratni član SOP-a za C statistički značajno doprinosi formiranju modela procesa, dok druga dva kvadratna člana tehnoloških parametara nisu statistički značajna. Linearni članovi tehnoloških parametara  $\tau$  i C statistički značajno doprinose modelu SOP-a za  $a_w$ , dok članovi proizvoda parametara su pokazali statističku značajnost samo u slučaju TxC. Ostatak varijanse nije statistički značajan, ukazujući na dobro poklapanje predloženog modela za  $a_w$  sa eksperimentalnim podacima, dok je vrednost  $R^2$  (0,8780) nešto niža od ostalih odziva.

**Tabela 4.4** Analiza varijanse (ANOVA) odziva modela mesa dehidriranog u osmotskom rastvoru R1

Član	Tehnološki parametri	df <sup>+</sup>	Zbir kvadrata			
			DMC	WL	SG	$a_w$
Kvadratni	Temperatura	1	4,842*	0,000154 <sup>ns</sup>	0,000006 <sup>ns</sup>	0,000253 <sup>ns</sup>
	Vreme	1	33,512*	0,009097*	0,000439*	0,000000 <sup>ns</sup>
	Koncentracija	1	0,000 <sup>ns</sup>	0,000047 <sup>ns</sup>	0,000024 <sup>ns</sup>	0,001040*
Linearni	Temperatura	1	184,512*	0,032930*	0,000704*	0,000003 <sup>ns</sup>
	Vreme	1	568,969*	0,085795*	0,008433*	0,003417*
	Koncentracija	1	250,507*	0,038642*	0,000542*	0,012535*
Proizvod	Temp. x Vreme	1	1,281 <sup>ns</sup>	0,000005 <sup>ns</sup>	0,000005 <sup>ns</sup>	0,000096 <sup>ns</sup>
	Temp. x Konc.	1	6,645*	0,001127*	0,000007 <sup>ns</sup>	0,000990*
	Vreme x Konc.	1	24,510*	0,002509*	0,000046 <sup>ns</sup>	0,000533 <sup>ns</sup>
Greška	Ostatak varijanse	17	12,654 <sup>ns</sup>	0,001862 <sup>ns</sup>	0,000634 <sup>ns</sup>	0,002336 <sup>ns</sup>
	Ukupan zbir kvadrata	26	1087,432	0,172168	0,010841	0,021204
$R^2$			0,9884	0,9892	0,9415	0,8898

<sup>+</sup> Broj stepeni slobode, \* Statistički značajno na nivou  $p < 0,05$ , <sup>ns</sup> Nije statistički značajno

U tabeli 4.5 prikazani su regresioni koeficijenti SOP-a jednačina [3.7] za četiri odziva matematičkog modela osmotske dehidracije mesa u osmotskom rastvoru R1. U tabeli su naznačene i statističke značajnosti pojedinačnih koeficijenata koji se mogu koristiti za formiranje kvadratnih jednačina koje opisuju model procesa osmotske dehidracije. Na osnovu ovih jednačina i poznatih ulaznih veličina, odnosno tehnoloških parametara temperature, vremena i koncentracije računskim putem mogu se dobiti vrednosti željenih odziva (DMC, WL, SG i  $a_w$ ).

**Tabela 4.5** Regresioni koeficijenti polinoma drugog stepena za pet odziva modela osmotske dehidracije mesa u osmotskom rastvoru R1

	<i>Y1/DMC</i>	<i>Y2/WL</i>	<i>Y3/SG</i>	<i>Y4/a<sub>w</sub></i>
$\beta_0$	3,192546 <sup>ns</sup>	-0,360128 <sup>ns</sup>	0,159205 <sup>ns</sup>	0,255037 <sup>ns</sup>
$\beta_{11}$	-0,003993*	0,000022 <sup>ns</sup>	0,000004 <sup>ns</sup>	0,000029 <sup>ns</sup>
$\beta_{22}$	-0,590833*	-0,009735*	-0,002139*	0,000000 <sup>ns</sup>
$\beta_{33}$	-0,000148 <sup>ns</sup>	-0,000050 <sup>ns</sup>	0,000036 <sup>ns</sup>	-0,000234*
$\beta_1$	0,807537*	0,005866*	-0,000178 <sup>ns</sup>	0,001959 <sup>ns</sup>
$\beta_2$	0,972917 <sup>ns</sup>	0,043101*	0,017569*	0,013139 <sup>ns</sup>
$\beta_3$	0,458648 <sup>ns</sup>	0,011507 <sup>ns</sup>	-0,003645 <sup>ns</sup>	0,025219*
$\beta_{12}$	0,010889 <sup>ns</sup>	0,000101 <sup>ns</sup>	-0,000022 <sup>ns</sup>	0,000094 <sup>ns</sup>
$\beta_{13}$	-0,006615*	0,000027*	0,000007 <sup>ns</sup>	-0,000081*
$\beta_{23}$	0,095278*	0,000201*	0,000131 <sup>ns</sup>	-0,000444 <sup>ns</sup>

\* Statistički značajno na nivou od  $p < 0,05$

<sup>ns</sup> Nije statistički značajno

#### 4.1.2.2 Model procesa osmotske dehidracije u rastvoru R2

U tabeli 4.6 prikazani su rezultati ANOVA testa modela odzivnih površina koji su razvijeni na osnovu eksperimentalnih rezultata za proces osmotske dehidracije mesa u osmotskom rastvoru R2. Na vrednost odziva DMC su statistički značajno uticala sva tri tehnološka parametra temperature, vremena i koncentracije, sa tim što se kao najuticajni parametar pokazalo  $\tau$ , pa zatim  $t$  i na kraju  $C$ . Kvadratni član SOP-a za  $t$  statistički značajno doprinosi formiranju modela procesa, dok kvadratni članovi za  $t$  i  $C$  nisu statistički značajni. Sva tri linearna člana su statistički značajni, kao i članovi proizvoda  $t \times C$  i  $\tau \times C$ , dok član proizvoda  $t \times \tau$  nije statistički značajan. Ostatak varijanse nije statistički značajan, što ukazuje da je primenjeni model za odziv DMC adekvatan za proces osmotske dehidracije mesa. Vrednost koeficijenta determinacije  $R^2$  je takođe visoka (0,9932) što još jednom ukazuje na dobro poklapanje modela SOP-a sa izmerenim eksperimentalnim vrednostima.

ANOVA test pokazuje da na vrednost odziva WL statistički značajno utiču sva tri parametra, sa istim nivoima uticajnosti kao i kod DMC. Kvadratni članovi SOP-a za  $t$  i  $\tau$  statistički značajno doprinose formiranju modela procesa. Kao i u slučaju DMC sva tri linearna člana tehnoloških parametara statistički značajno doprinose modelu SOP-a za WL, što je takođe slučaj i sa članovima proizvoda tehnoloških parametara. Ostatak varijanse koji nije statistički značajan, kao i visoka vrednost  $R^2$  (0,9916) ukazuju na dobro poklapanje predloženog modela za WL sa eksperimentalnim podacima.

Testiranjem odziva SG utvrđeno je da sva tri tehnološka parametra statistički značajno utiču na vrednosti SG, kao i u prethodnim slučajevima za DMC i WL, kao i pri osmotskoj dehidraciji mesa u R1. Jedino kvadratni član SOP-a za  $t$  statistički značajno doprinosi formiranju modela procesa, dok druga dva kvadratna člana tehnoloških parametara nisu statistički značajna. Sva tri linearna člana tehnoloških parametara statistički značajno doprinose modelu SOP-a za SG, dok članovi proizvoda parametara nisu statistički značajni, što je takođe identično kao i u slučaju dehidracije u R1. Kao i u dosadanjim slučajevima, ostatak varijanse nije statistički značajan, a visoka vrednost  $R^2$  (0,9712) ukazuje na dobro poklapanje predloženog modela za SG sa eksperimentalnim podacima.

**Tabela 4.6** Analiza varijanse (ANOVA) odziva modela mesa dehidriranog u osmotskom rastvoru R2

Član	Tehnološki parametri	df <sup>+</sup>	Zbir kvadrata			
			<i>DMC</i>	<i>WL</i>	<i>SG</i>	$a_w$
Kvadratni	Temperatura	1	1,739 <sup>ns</sup>	0,000559*	0,000077 <sup>ns</sup>	0,000280*
	Vreme	1	61,120*	0,011215*	0,000966*	0,000181 <sup>ns</sup>
	Koncentracija	1	0,728 <sup>ns</sup>	0,000018 <sup>ns</sup>	0,000015 <sup>ns</sup>	0,001067*
Linearni	Temperatura	1	406,220*	0,045170*	0,005148*	0,000685*
	Vreme	1	986,124*	0,126236*	0,010893*	0,005236*
	Koncentracija	1	186,438*	0,021115*	0,001746*	0,008978*
Proizvod	Temp.*Vreme	1	0,122 <sup>ns</sup>	0,000702*	0,000010 <sup>ns</sup>	0,000048 <sup>ns</sup>
	Temp.*Konc.	1	22,550*	0,002788*	0,000020 <sup>ns</sup>	0,000631*
	Vreme*Konc.	1	18,600*	0,001685*	0,000057 <sup>ns</sup>	0,000616*
Greška	Ostatak varijanse	17	11,567 <sup>ns</sup>	0,001778 <sup>ns</sup>	0,000561 <sup>ns</sup>	0,001063 <sup>ns</sup>
	Ukupan zbir kvadrata	26	1695,209	0,211265	0,019492	0,018785
$R^2$			0,9932	0,9916	0,9712	0,9434

<sup>+</sup> Broj stepeni slobode

\* Statistički značajno na nivou  $p < 0,05$

<sup>ns</sup> Nije statistički značajno

Statistička značajnost kvadratnog člana za  $t$  ukazuje da se vrednosti odziva DMC, WL i SG ponašaju po kvadratnoj zavisnosti sa tehnološkim parametrom za  $t$ , kao i u slučaju osmotskog rastvora R1. Vrednosti odziva DMC, WL i SG nakon izvesnog vremena trajanja procesa osmotske dehidracije usporavaju porast, što je evidentno i sa grafika 4.2 b,c za DMC, 4.5 b,c za WL i 4.8 b,c iz identičnih razloga opisanih za osmotski rastvor R1.

Analizom ANOVA testa odziva  $a_w$  utvrđeno je da sva tri tehnološka parametra statistički značajno utiču na  $a_w$  vredosti, gde je najveći uticaj ostvarila koncentracija osmotskih rastvora, kao i u slučaju R1, pa zatim slede vreme i temperatura. Kvadratni članovi SOP-a za  $t$  i  $C$  statistički značajno doprinose formiranju modela procesa, dok kvadratni član vremena nije statistički značajan. Svi linearni članovi tehnoloških parametara statistički značajno doprinose modelu SOP-a za  $a_w$ , dok članovi proizvoda parametara su pokazali statističku značajnost u slučaju  $T \times C$  i  $t \times C$ . Ostatak varijanse nije statistički značajan, ukazujući na dobro poklapanje predloženog modela za  $a_w$  sa eksperimentalnim podacima, na šta ukazuje i visoka vrednost  $R^2$  (0,9434).

U tabeli 4.7 prikazani su regresioni koeficijenti SOP-a jednačina [3.7] za četiri odziva matematičkih modela osmotske dehidracije mesa u osmotskom rastvoru R2, zajedno sa statističkim značajnostima pojedinačnih koeficijenata.

**Tabela 4.7** Regresioni koeficijenti polinoma drugog stepena za pet odziva modela pri osmotskoj dehidraciji mesa u osmotskom rastvoru R2

	<i>Y1/DMC</i>	<i>Y2/WL</i>	<i>Y3/SG</i>	<i>Y4/a<sub>w</sub></i>
$\beta_0$	52,52194*	0,302413 <sup>ns</sup>	-0,131198 <sup>ns</sup>	0,257662 <sup>ns</sup>
$\beta_{11}$	-0,00239 <sup>ns</sup>	0,000043*	-0,000016 <sup>ns</sup>	0,000030*
$\beta_{22}$	-0,79792*	-0,010808*	-0,003172 <sup>ns</sup>	0,001375 <sup>ns</sup>
$\beta_{33}$	0,00455 <sup>ns</sup>	0,000022 <sup>ns</sup>	-0,000021 <sup>ns</sup>	-0,000174*
$\beta_1$	-0,16562 <sup>ns</sup>	-0,006010*	0,002930*	0,001046 <sup>ns</sup>
$\beta_2$	4,01319*	0,074172*	0,024751*	0,010639 <sup>ns</sup>
$\beta_3$	-0,76851 <sup>ns</sup>	-0,004928 <sup>ns</sup>	0,003607 <sup>ns</sup>	0,021943*
$\beta_{12}$	0,00336 <sup>ns</sup>	-0,000255*	-0,000030 <sup>ns</sup>	-0,000067 <sup>ns</sup>
$\beta_{13}$	0,01044*	0,000116*	-0,000010 <sup>ns</sup>	-0,000055*
$\beta_{23}$	0,07114*	0,000677*	0,000125 <sup>ns</sup>	-0,000410*

\* Statistički značajno na nivou  $p < 0,05$

<sup>ns</sup> Nije statistički značajno

#### 4.1.2.3 Model procesa osmotske dehidracije u rastvoru R3

U tabeli 4.8 prikazani su rezultati ANOVA testa modela odzivnih površina koji su razvijeni na osnovu eksperimentalnih rezultata za proces osmotske dehidracije mesa u osmotskom rastvoru R3. Na vrednost odziva DMC su statistički značajno uticala sva tri tehnološka parametra temperature, vremena i koncentracije, sa tim što se kao najuticajniji parametar pokazalo  $\tau$ , pa zatim  $t$  i na kraju  $C$ , kao i u slučaju dehidracije u osmotskom rastvoru R2, koji takođe u svom sastavu sadrži melasu. Kvadratni član SOP-a za  $t$  statistički značajno doprinosi formiranju modela procesa, dok kvadratni članovi za  $t$  i  $C$  nisu statistički značajni, takođe, identično kao i u slučaju osmotskog rastvora R2. Sva tri linearna člana su statistički značajni, kao i članovi proizvoda  $t \times C$  i  $\tau \times C$ , dok član proizvoda  $t \times \tau$  nije statistički značajan. Ostatak varijanse nije statistički značajan, što ukazuje da je primenjeni model za odziv DMC adekvatan za proces osmotske dehidracije mesa, a takođe i vrednost koeficijenta determinacije  $R^2$  je visoka (0,9931) što još jednom ukazuje na dobro poklapanje modela SOP-a sa izmerenim eksperimentalnim vrednostima.

ANOVA test pokazuje da na vrednost odziva WL statistički značajno utiču sva tri parametra, sa istim nivoima uticajnosti kao i kod DMC, odnosno najuticajniji parametar je  $\tau$ , pa zatim  $t$ , pa  $C$ . Uočljiv je isti trend kao i kod osmotskog rastvora R2. Kvadratni članovi SOP-a za  $t$  i  $\tau$  statistički značajno doprinose formiranju modela procesa. Kao i u slučaju DMC sva tri linearna člana tehnoloških parametara statistički značajno doprinose modelu SOP-a za WL, što je takođe slučaj i sa članovima proizvoda tehnoloških parametara, što je isti trend uticaja kao i kod dehidracije u osmotskom rastvoru R2. Ostatak varijanse koji nije statistički značajan, kao i visoka vrednost  $R^2$  (0,9906) ukazuju na dobro poklapanje predloženog modela za WL sa eksperimentalnim podacima.

Testiranjem odziva SG utvrđeno je da sva tri tehnološka parametra statistički značajno utiču na vrednosti SG, kao i u prethodnim slučajevima za DMC i WL, kao i pri osmotskoj dehidraciji mesa u R1 i R2. Jedino kvadratni član SOP-a za  $t$  statistički značajno doprinosi formiranju modela procesa, dok druga dva kvadratna člana tehnoloških parametara nisu statistički značajna. Sva tri linearna člana tehnoloških parametara statistički značajno doprinose modelu SOP-a za SG, što je takođe slučaj i sa ostalim osmotkim rastvorima. Član proizvoda  $t \times C$  je statistički značajan, dok ostali članovi proizvoda parametara nisu. Kao i u dosadašnjim slučajevima, ostatak varijanse nije statistički značajan, a visoka vrednost  $R^2$  (0,9528) ukazuje na dobro poklapanje predloženog modela za SG sa eksperimentalnim podacima.

Statistička značajnost kvadratnih članova za  $t$  ukazuje da se vrednosti odziva DMC, WL i SG ponašaju po kvadratnoj zavisnosti sa tehnološkim parametrima  $\tau$ , isto kao i kod rastvora R1 i R2. Vrednosti DMC, WL i SG nakon izvesnog vremena trajanja procesa osmotske dehidracije



usporevaju porast, što je evidentno i sa grafika 4.3 b,c za DMC, 4.6 b,c za WL i 4.9 b,c za SG iz identičnih razloga opisanih za osmotski rastvor R1 i R2.

**Tabela 4.8** Analiza varijanse (ANOVA) odziva modela mesa dehidriranog u osmotskom rastvoru R3

Član	Tehnološki parametri	df <sup>+</sup>	Zbir kvadrata			
			<i>DMC</i>	<i>WL</i>	<i>SG</i>	<i>a<sub>w</sub></i>
Kvadratni	Temperatura	1	2,531 <sup>ns</sup>	0,000834*	0,000295 <sup>ns</sup>	0,000167 <sup>ns</sup>
	Vreme	1	84,801*	0,017256*	0,000428*	0,000318 <sup>ns</sup>
	Koncentracija	1	0,446 <sup>ns</sup>	0,000000 <sup>ns</sup>	0,000183 <sup>ns</sup>	0,000196 <sup>ns</sup>
Linearni	Temperatura	1	567,508*	0,055400*	0,008725*	0,006013*
	Vreme	1	1405,030*	0,172108*	0,014786*	0,007729*
	Koncentracija	1	78,668*	0,011471*	0,001891*	0,003500*
Proizvod	Temp.*Vreme	1	0,000 <sup>ns</sup>	0,001317*	0,000141 <sup>ns</sup>	0,000208 <sup>ns</sup>
	Temp.*Konc.	1	26,492*	0,002391*	0,000434*	0,001408*
	Vreme*Konc.	1	34,409*	0,002649*	0,000076 <sup>ns</sup>	0,000817*
Greška	Ostatak varijanse	17	15,236 <sup>ns</sup>	0,002503 <sup>ns</sup>	0,001336 <sup>ns</sup>	0,001988 <sup>ns</sup>
	Ukupan zbir kvadrata	26	2215,120	0,265929	0,028296	0,022346
R <sup>2</sup>			0,9931	0,9906	0,9528	0,9110

<sup>+</sup> Broj stepeni slobode

\* Statistički značajno na nivou p<0,05

<sup>ns</sup> Nije statistički značajno

**Tabela 4.9** Regresioni koeficijenti polinoma drugog stepena za pet odziva modela pri osmotskoj dehidraciji mesa u osmotskom rastvoru R3

	<i>Y1/DMC</i>	<i>Y2/WL</i>	<i>Y3/SG</i>	<i>Y4/a<sub>w</sub></i>
$\beta_0$	32,59951 <sup>ns</sup>	0,281746 <sup>ns</sup>	0,364192 <sup>ns</sup>	0,527540*
$\beta_{11}$	-0,00289 <sup>ns</sup>	0,000052*	0,000031 <sup>ns</sup>	0,000023 <sup>ns</sup>
$\beta_{22}$	-0,93986*	-0,013407*	-0,002112*	0,001819 <sup>ns</sup>
$\beta_{33}$	-0,00273 <sup>ns</sup>	0,000001 <sup>ns</sup>	0,000055 <sup>ns</sup>	-0,000057 <sup>ns</sup>
$\beta_1$	-0,11692 <sup>ns</sup>	-0,005509*	-0,003180 <sup>ns</sup>	0,002612 <sup>ns</sup>
$\beta_2$	4,13097*	0,089550*	0,022222 <sup>ns</sup>	0,012458 <sup>ns</sup>
$\beta_3$	-0,00975 <sup>ns</sup>	-0,003076 <sup>ns</sup>	-0,008478 <sup>ns</sup>	0,010382 <sup>ns</sup>
$\beta_{12}$	-0,00003 <sup>ns</sup>	-0,000349*	-0,000114 <sup>ns</sup>	-0,000139 <sup>ns</sup>
$\beta_{13}$	0,00991*	0,000094*	0,000040*	-0,000072*
$\beta_{23}$	0,08467*	0,000743*	0,000125 <sup>ns</sup>	-0,000412*

\* Statistički značajno na nivou p<0,05

<sup>ns</sup> Nije statistički značajno

Analizom ANOVA testa odziva  $a_w$  utvrđeno je da sva tri tehnološka parametara statistički značajno utiču na  $a_w$  vredosti, gde je najveći uticaj ostvarilo vreme trajanja procesa. Kvadratni članovi SOP-a nisu statistički značajni, dok svi linearni članovi tehnoloških parametara statistički značajno doprinose modelu SOP-a za  $a_w$ . Članovi proizvoda parametara su pokazali statističku značajnost u slučaju  $\tau \times C$  i  $\tau \times C$ . Ostatak varijanse nije statistički značajan, ukazujući na dobro poklapanje predloženog modela za  $a_w$  sa eksperimentalnim podacima, na šta ukazuje i visoka vrednost  $R^2$  (0,9110).

U tabeli 4.9 prikazani su regresioni koeficijenti SOP-a jednačina [3.7] za četiri odziva modela osmotske dehidracije mesa u osmotskom rastvoru R3, zajedno sa statističkim značajnostima pojedinačnih koeficijenata.

#### 4.1.3. “SCORE” analiza

U cilju određivanja tehnoloških parametara procesa osmotske dehidracije svinjskog mesa koji za rezultat daju optimalne vrednosti odziva DMC, WL, SG i  $a_w$ , urađena je min-max “Score” analiza, koja odzive različitih veličina kvantifikuje u bezdimenzione veličine. Na taj način dobija se “Score” ili “Ocena” (S) osmotske dehidracije na osnovu kombinacije svih figurišućih odziva i mogućnost upoređenja rezultata osmotskih dehidracija sa različitim tehnološkim paramterima, odnosno optimizacija i odabir najboljeg sklopa tehnoloških parametara osmotske dehidracije mesa. U formiranju vrednosti S osmotske dehidracije visoke vrednosti odziva DMC i WL pozitivno utiču na vrednost S, a visoke vrednosti odziva SG i  $a_w$  negativno utiču na njenu vrednost.

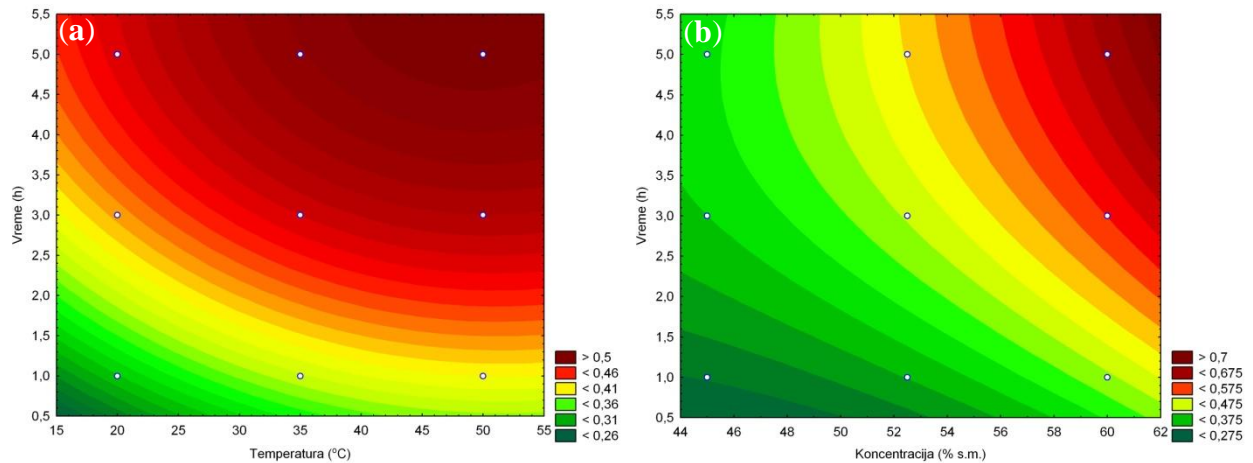
##### 4.1.3.1 „Score“ analiza procesa osmotske dehidracije u rastvoru R1

Na slici 4.16 prikazane su vrednosti S osmotske dehidracije mesa u osmotskom rastvoru R1, u zavisnosti od vremena i temperature procesa (a), kao i vremena i koncentracije osmotskog rastvora (b).

Najveća vrednost S postignuta je pri sledećim maksimalnim vrednostima tehnoloških parametara vremena, temperature i koncentracije:  $\tau = 5\text{h}$ ,  $t = 50^\circ\text{C}$  i 60% s.m. i iznosila je 0,69.

Vrednosti odziva za ove tehnološke parametare su iznosili:

DMC=62,16%; WL=0,4950 g/g i.s.; SG=0,1616 g/g i.s.; DEI=3,08 i  $a_w=0,805$ .



**Slika 4.16** Vrednosti  $S$  osmotske dehidracije mesa u osmotskom rastvoru R1 u zavisnosti od:

- (a) Vremena i temperature procesa
- (b) Vremena i koncentracije osmotskog rasvora

Obzirom da temperatura procesa ima značajnu ulogu u proračunu energetskog i ekonomskog bilansa procesa osmotske dehidracije, vrednosti  $S$  osmotskih dehidracija pri nižim temperaturama procesa, mogu ukazati na nivo smanjenja tehnološke efiksanosti pri povećanju energetske efiksanosti smanjenjem temperature procesa.

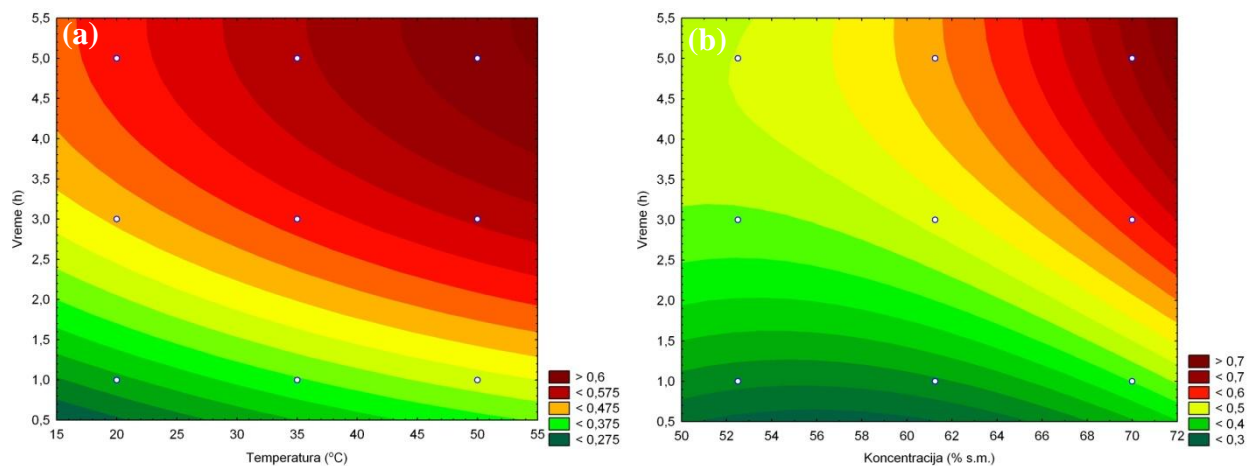
Vrednost  $S$  osmotske dehidracije pri  $\tau=5\text{h}$ ,  $t=35^\circ\text{C}$  i 60% s.m., iznosila je identičnih 0,69, što ukazuje da je opravdano smanjiti temperaturu procesa i na taj način obezbediti uštede u energetskom bilansu, pošto ne dolazi do pogoršanja tehnoloških parametara.

Vrednost  $S$  osmotske dehidracije pri  $\tau=5\text{h}$ ,  $t=20^\circ\text{C}$  i 60% s.m., iznosila je 0,58, odnosno bila je umanjena za 15,9% u odnosu na tempertauru od  $t=50^\circ\text{C}$ . Korištenjem energetski nezahtevne temperature od  $t=20^\circ\text{C}$  u procesu, postižu se značajne uštede u energetskom bilansu procesa (detaljnije u poglavlju 4.4), uz prihvatljivo smanjenje efiksanosti osmotske dehidracije.

#### 4.1.3.2 „Score“ analiza procesa osmotske dehidracije u rastvoru R2

Na slici 4.17 prikazane su vrednosti  $S$  osmotske dehidracije mesa u osmotskom rastvoru R2, u zavisnosti od vremena i temperature procesa (a), kao i vremena i koncentracije osmotskog rastvora (b).

Najveća vrednost  $S$  postignuta je pri maksimalnim vrednostima tehnoloških parametara vremena, temperature i koncentracije:  $\tau=5\text{h}$ ,  $t=50^\circ\text{C}$  i 70% s.m. i iznosila je 0,75.



**Slika 4.17.** Vrednosti  $S$  osmotske dehidracije mesa u osmotskom rastvoru R2 u zavisnosti od:

- (a) Vremena i temperature procesa
- (b) Vremena i koncentracije osmotskog rastvora

Vrednosti odziva za ove tehnološke parametre su iznosili:

DMC=69,54%; WL=0,5487 g/g i.s.; SG=0,1797 g/g i.s.; DEI=3,06 i  $a_w=0,802$ .

Smanjenjem temperature na 35°C radi povećanja energetske efikasnosti procesa, vrednost  $S$  se smanjuje na 0,72, odnosno smanjuje se samo za 4,00%. Daljim smanjenjem temperature procesa na 20°C, vrednost  $S$  se smanjuje na 0,55, odnosno za značajnih 26,67%.

Maksimalna vrednost  $S$  procesa osmotske dehidracije svinjskog mesa u osmotskom rastvoru R2 bila je za 8% veća od maksimalne vrednosti  $S$  za rastvor R1 ukazujući i na toliko veći nivo efikasnosti.

#### 4.1.3.3 „Score“ analiza procesa osmotske dehidracije u rastvoru R3

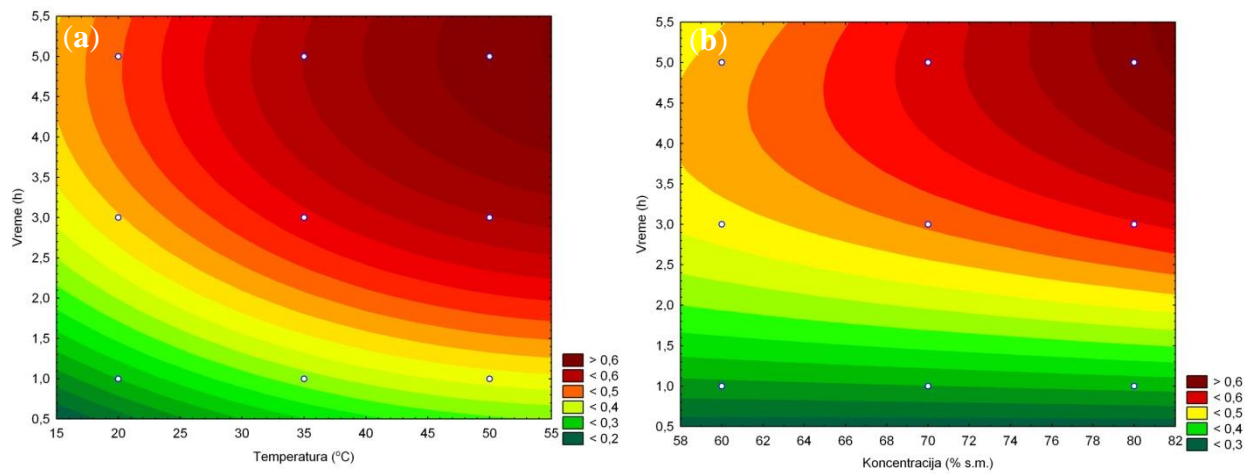
Na slici 4.18 prikazane su vrednosti  $S$  osmotske dehidracije mesa u osmotskom rastvoru R3, u zavisnosti od vremena i temperature procesa (a), kao i vremena i koncentracije osmotskog rastvora (b).

Najveća vrednost  $S$  postignuta je pri maksimalnim vrednostima tehnoloških parametara vremena, temperature i koncentracije:  $\tau=5$ h,  $t=50^\circ\text{C}$  i 80% s.m. i iznosila je 0,75.

Vrednosti odziva za ove tehnološke parametre su iznosili:

DMC=71,11%; WL=0,5843 g/g i.s.; SG=0,2144 g/g i.s.; DEI=2,81 i  $a_w=0,795$ .

Smanjenjem temperature na 35°C radi povećanja energetske efikasnosti procesa, vrednost S procesa se smanjuje na 0,62 odnosno smanjuje se za 17,33%. Daljim smanjenjem temperature procesa na 20°C, vrednost S procesa se smanjuje na 0,50, odnosno za značajnih 33,33%.



**Slika 4.18.** Vrednosti S osmotske dehidracije mesa u osmotskom rastvoru R3 u zavisnosti od:

- (a) Vremena i temperature procesa
- (b) Vremena i koncentracije osmotskog rasvora

Maksimalna vrednost S procesa osmotske dehidracije mesa u osmotskom rastvoru R3 bila je ista kao i maksimalna vrednost S za rastvor R2, a za 8% veća od rastvora R1.

## 4.2. Mogućnosti povećanja efikasnosti procesa osmotske dehidracije

### 4.2.1. Ponovna upotreba osmotskog rastvora

Mogućnost ponovne upotrebe osmotskog rastvora za proces osmotske dehidracije značajna je sa ekonomskog aspekta, a takođe i sa aspekta zaštite životne sredine koja sve više ima uticaja u ukupoj evaluaciji bilo kog procesa.

Da bi se iskorišćeni osmotski rastvor ponovo koristio u procesu osmotske dehidracije, potrebno je rešiti dva glavna problema:

- Koncentrisanje korištenog osmotskog rastvora do početne koncentracije i
- Sanitacija korištenog osmotskog rastvora, radi smanjenja mikrobiološke kontaminacije i bezbedne ponovne upotrebe (Dalla Rosa i Giroux, 2001).

Analiza uticaja jednake mere razblaženja različitih osmotskih rastvora na parametre osmotske dehidracije može da ukaže na različito ponašanje osmotskih rastvora prilikom smanjenja koncentracije do koje bi dolazilo tokom ponovne upotrebe osmotskih rastvora, a takođe, može da ukaže i na različite nivoe potrebnih tretmana rastvora pre ponovne upotrebe.

U tabeli 4.10 prikazani su procentualni rezultati odziva osmotske dehidracije u sva tri osmotska rastvora, na kraju petočasnog procesa pri temperaturi od 35°C. Vrednosti odziva osmotske dehidracije (DMC, WL, SG i DEI) koje su postignute pri dehidracijama u koncentrovanim rastvorima bile su maksimalne i prikazane su procentualne vrednosti smanjenja odziva dehidracije u razblaženim rastvorima (razblaženja su postignuta mešanjem rastvora i vode u masenim odnosima 7:1 i 3:1) u odnosu na maksimalne vrednosti u koncentrovanim rastvorima. Postignute  $a_w$  vrednosti dehidriranog mesa u koncentrovanim osmotskim rastvorima su bile minimalne, a  $a_w$  vrednosti dehidriranog mesa u razblaženim rastvorima su bile veće, te stoga i predstavljene kao procentualno povećanje u odnosu na minimalne vrednosti u koncentrovanim rastvorima.

Najveća smanjenja vrednosti praćenih odziva (osim u slučaju  $a_w$  vrednosti gde su praćena procentualna povećanja vrednosti) postignuta su pri dehidraciji u najrazblaženijim rastvorima R1, R2 i R3.

Razblaženje osmotskih rastvora u različitoj meri je uticalo na smanjenje postignutog sadržaja suve materije dehidriranog mesa u različitim rastvorima. Najveća smanjenja vrednosti DMC postignuta su pri dehidraciji u R1 (smanjenje od 16,9% u poređenju sa dehidracijom u koncentrovanom R1), dok je smanjenje vrednosti DMC u R2 i R3 bilo na sličnom nivou

(smanjenje od 12,52% odnosno 12,69% u u poređenju sa dehidratacijom u koncentrovanim R2 i R3).

**Tabela 4.10** Uticaj razblaženja osmotskih rastvora na parametre osmotske dehidracije mesa

	<b>DMC (%)</b>	<b>WL (%)</b>	<b>SG (%)</b>	<b>DEI (%)</b>	<b>a<sub>w</sub> (%)</b>
Koncentrovani rastvor R1	0	0	0	0	0
Razblaženje: R1:voda=7:1	-10,97	-16,66	-8,98	-8,38	+9,08
Razblaženje: R1:voda=3:1	-16,90	-24,95	-11,03	-14,72	+11,60
Koncentrovani rastvor R2	0	0	0	0	0
Razblaženje: R2:voda=7:1	-3,94	-13,57	-8,24	-6,89	+8,94
Razblaženje: R2:voda=3:1	-12,52	-20,00	-18,66	-2,30	+9,82
Koncentrovani rastvor R3	0	0	0	0	0
Razblaženje: R3:voda=7:1	-8,23	-9,45	-5,54	-4,66	+6,41
Razblaženje: R3:voda=3:1	-12,69	-11,73	-7,76	-4,04	+7,89

Smanjenje vrednosti WL usled razblaženja osmotskog rastvora najizraženije je kod R1 (24,95%), zatim kod R2 (20,00%) a najbolje vrednosti je pokazalo meso dehidrirano u osmotskom rastvoru R3, odnosno smanjenje vrednosti WL u najrazblaženijem rastvoru je bilo najmanje u poređenju sa rastvorima R1 i R2 (11,73%).

Slično kao i vrednosti WL i vrednosti SG su se najmanje smanjile usled razblaženja osmotskog rastvora R3 (7,76%) u poređenju sa R2 (18,66%) i R1 (11,03%).

Indeks efikasnosti osmotske dehidracije je pokazao najmanje smanjenje vrednosti usled razređenja osmotskog rastvora kod R2 (2,3%), za R3 smanjenje je iznosilo 4,04%, a najveće smanjenje vrednosti DEI je pokazalo meso dehidrirano u R1 i iznosilo je 14,72%.

Smanjenjem koncentracije osmotskih rastvora došlo je do povećanja postignutih  $a_w$  vrednosti dehidriranog mesa u poređenju sa postignutim  $a_w$  vrednostima mesa dehidriranog u koncentrovanim rastvorima. Najbolje rezultate, odnosno najmanje povećanje  $a_w$  vrednosti dehidriranog mesa usled dehidracije u razblaženim rastvorima je iskazao osmotski rastvor R3 sa povećanjem  $a_w$  vrednosti za 7,89% u odnosu na  $a_w$  vrednosti dehidriranog mesa u koncentrovanom rastvoru. Povećanje vrednosti u razblaženim osmotskom rastvoru R2 je iznosilo 9,82%, a najveći porast  $a_w$  vrednosti dehidriranog mesa je zapažen kod mesa dehidriranog u razblaženom rastvoru R1 i iznosio je 11,60% u poređenju sa postignutim  $a_w$  vrednostima mesa dehidriranog u koncentrovanom rastvoru R1.

Ovakvi rezultati ukazuju da na efikasnost osmotske dehidracije mesa u osmotskom rastvoru R3 u najmanjoj meri utiče smanjenje koncentracije osmotskih rastvora u poređenju sa osmotskim rastvorima R1 i R2. To daje mogućnost boljeg iskorišćenja osmotskog rastvora R3 u uzastopnim osmotskim dehidracijama, odnosno potreban je manji nivo dodatnog tretmana osmotskog rastvora radi efikasne i bezbedne ponovne upotrebe u poređenju sa nivoima neophodnih tretmanana osmotskih rastvora R1 i R2.

#### **4.2.2. Ispitivanje efikasnosti protivstrujnog procesa osmotske dehidracije**

Postavljanje eksperimentalnih uslova protivstrujne osmotske dehidracije, proisteklo je iz iskustvenih podataka dobijenih nakon završene faze istraživanja istostrujne osmotske dehidracije svinjskog mesa.

U slučaju istostruje osmotske dehidracije, čiji su ekperimentalni rezultati prikazani u poglavlju 4.1 korišćen odnos masa materijala i rastvora je bio 1:5. Odabrani odnos, kao što je navedeno u poglavlju 3.2, je sprečio da količina otpuštene vode iz mesa koje se dehidrira, kao i količina suve materije koja se ugradila u meso, prekomerno smanji koncentraciju osmotskog rastvora, što bi za posledicu dovelo i do smanjenja brzine osmotske dehidracije. Odabirom ovog odnosa materijala i rastvora, težilo se smanjenju varijacija eksperimentalnih uslova, odnosno sprečilo se prekomerno smanjenje koncentracije osmotskih rastvora koje bi ugrozilo dinamiku osmotske dehidracije.



#### **4.2.2.1. Materijalni bilans istostrujnog procesa osmotske dehidracije pri odnosu masa materijala i rastvora od 1:5**

Promene u koncentracijama osmotskih rastvora prikazane su proračunom materijalnog bilansa vode i suve materije osmotski dehidiranog mesa, kao i osmotskih rastvora, za tri različite temperature pri maksimalnim koncentracijama osmotskih rastvora, na kraju petočasnog procesa, tabela 4.11.

Razblaženje osmotskog rastvora R1 nakon pet časova osmotske dehidracije se kretalo od početnih 60% s.m. do 53,99%, 53,40% i 53,22% s.m. na temperaturama procesa od 20°C, 35°C i 50°C.

Razblaženje osmotskog rastvora R2 nakon pet časova osmotske dehidracije se kretalo od početnih 70% s.m. do 63,41%, 62,49% i 61,76% s.m. na temperaturama procesa od 20°C, 35°C i 50°C.

Razblaženje osmotskog rastvora R3 nakon pet časova osmotske dehidracije, bilo je najveće usled i najintenzivnije osmotske dehidracije mesa i razblaženje se kretalo od početnih 80% s.m. do 72,66%, 71,36% i 70,84% s.m. na temperaturama procesa od 20°C, 35°C i 50°C.

**Tabela 4.11** Materijalni bilans mesa i osmotskih rastvora pre i nakon procesa istostrujne osmotske dehidracije, pri odnosu masa materijala i rastvora od 1:5

		Materijalni bilans suve materije		Materijalni bilans vode	
		(%)	Masa (g)	(%)	Masa (g)
Sveže meso		25,24	25,24	74,76	74,76
t=20°C					
Osmotski dehidrirano meso	R1	55,73	40,85	44,27	32,45
	R2	55,78	38,46	44,22	30,49
	R3	56,53	37,50	43,47	28,84
R1	Pre O.D.	60,00	300,00	40,00	200,00
	Posle O.D.	53,99	284,39	46,01	242,31
R2	Pre O.D.	70,00	350,00	30,00	150,00
	Posle O.D.	63,41	336,78	36,59	194,31
R3	Pre O.D.	80,00	400,00	20,00	100,00
	Posle O.D.	72,66	387,74	27,34	145,92
t=35°C					
Osmotski dehidrirano meso	R1	60,70	40,28	39,30	26,08
	R2	63,00	39,76	37,00	23,35
	R3	66,72	42,37	33,28	21,13
R1	Pre O.D.	60,00	300,00	40,00	200,00
	Posle O.D.	53,40	284,95	46,60	248,68
R2	Pre O.D.	70,00	350,00	30,00	150,00
	Posle O.D.	62,49	335,48	37,51	201,41
R3	Pre O.D.	80,00	400,00	20,00	100,00
	Posle O.D.	71,36	382,87	28,64	153,63
t=50°C					
Osmotski dehidrirano meso	R1	62,16	40,84	37,84	24,86
	R2	69,54	41,90	30,46	18,35
	R3	71,11	44,53	28,89	18,09
R1	Pre O.D.	60,00	300,00	40,00	200,00
	Posle O.D.	53,22	284,40	46,78	249,9
R2	Pre O.D.	70,00	350,00	30,00	150,00
	Posle O.D.	61,76	333,34	38,24	206,41
R3	Pre O.D.	80,00	400,00	20,00	100,00
	Posle O.D.	70,84	380,71	29,16	156,67

**4.2.2.2. Istostrujni proces osmotske dehidracije pri odnosu masa materijala i rastvora od 1:2**

Direktno upoređivanje i procenjivanje uticaja protivstrujnog postupka procesa osmotske dehidracije, nije moguće sa istostrujnom osmotskom dehidracijom gde je efekat razblaženja osmotskog rastvora minimalizovan usled velikog odnosa materijala i osmotskog rastvora. Za potrebe poređenja efiksanosti provistrujnog i istostrujnog procesa odabrani su eksperimentalni uslovi manjeg odnosa masa materijala i osmotskog rastvora od 1:2 pri maksimalnim koncentracijama rastvora. Na taj način razblaživanje osmotskog rastvora pri istostrujnoj osmotskoj dehidraciji, kao posledica otpuštanja vode iz mesa koje se osmotski dehidrira, ima značajniji uticaj.

**Tabela 4.12** Vrednosti odziva istostrujne osmotske dehidracije svinjskog mesa u rastvoru R1, pri odnosu masa materijala i osmotksih rastvora 1:2

t (°C)	$\tau$ (h)	C (% s.m.)	R1				
			DMC (%)	WL (g/g i.s.)	SG (g/g i.s.)	DEI	$a_w$
20	1	60	37,05	0,2184	0,0735	3,00	0,891
			$\pm 2,05$	$\pm 0,0087$	$\pm 0,0097$	$\pm 0,28$	$\pm 0,009$
20	3	60	47,15	0,2984	0,1350	2,22	0,875
			$\pm 1,43$	$\pm 0,0099$	$\pm 0,0107$	$\pm 0,10$	$\pm 0,011$
20	5	60	47,68	0,3176	0,1404	2,27	0,870
			$\pm 2,59$	$\pm 0,0102$	$\pm 0,0129$	$\pm 0,14$	$\pm 0,006$
35	1	60	43,57	0,3009	0,0999	3,07	0,889
			$\pm 1,89$	$\pm 0,0092$	$\pm 0,0183$	$\pm 0,48$	$\pm 0,012$
35	3	60	48,86	0,3892	0,1354	2,90	0,873
			$\pm 2,03$	$\pm 0,0093$	$\pm 0,0171$	$\pm 0,30$	$\pm 0,008$
35	5	60	51,10	0,3975	0,1507	2,64	0,864
			$\pm 1,09$	$\pm 0,0122$	$\pm 0,0111$	$\pm 0,11$	$\pm 0,001$
50	1	60	45,29	0,30648	0,1104	2,82	0,892
			$\pm 1,29$	$\pm 0,0202$	$\pm 0,0201$	$\pm 0,34$	$\pm 0,006$
50	3	60	52,11	0,3933	0,1286	3,07	0,884
			$\pm 0,53$	$\pm 0,0042$	$\pm 0,0092$	$\pm 0,19$	$\pm 0,001$
50	5	60	53,66	0,4089	0,1429	2,86	0,877
			$\pm 0,83$	$\pm 0,0142$	$\pm 0,0054$	$\pm 0,01$	$\pm 0,009$

U tabelama 4.12-4.14 dati su rezultati srednjih vrednosti DMC, WL, SG, DEI i  $a_w$  sa standardnim devijacijama, za svinjsko meso dehidrirano u tri različita osmotska rastvora R1, R2 i

R3, tokom 1, 3 i 5 časova trajanja procesa istostrujne osmotske dehidracije, kao i pri tri različite temperature procesa u maskimalnim koncentracijama osmotskih rastvora, pri odnosu masa materijala i rastvora od 1:2.

**Tabela 4.13** Vrednosti odziva istostrujne osmotske dehidracije svinjskog mesa u rastvoru R2, pri odnosu masa materijala i osmotskih rastvora 1:2

t (°C)	τ (h)	C (% s.m.)	R2				
			DMC (%)	WL (g/g i.s.)	SG (g/g i.s.)	DEI	a <sub>w</sub>
20	1	70	37,33	0,2294	0,0610	3,78	0,902
			±1,54	±0,0065	±0,0067	±0,31	±0,011
20	3	70	49,24	0,4143	0,1219	3,46	0,881
			±0,76	±0,0049	±0,0204	±0,55	±0,013
20	5	70	50,01	0,4211	0,1234	3,43	0,872
			±0,99	±0,0106	±0,0138	±0,30	±0,008
35	1	70	43,68	0,3037	0,1000	3,04	0,893
			±1,99	±0,0137	±0,0058	±0,04	±0,003
35	3	70	52,63	0,4044	0,1366	3,00	0,874
			±0,45	±0,0152	±0,0217	±0,37	±0,014
35	5	70	56,51	0,4271	0,1407	3,04	0,859
			±1,37	±0,0209	±0,0132	±0,14	±0,017
50	1	70	46,60	0,3256	0,1221	2,68	0,896
			±1,76	±0,0119	±0,0137	±0,20	±0,009
50	3	70	55,21	0,4126	0,1498	2,75	0,875
			±0,79	±0,0192	±0,0067	±0,01	±0,003
50	5	70	57,39	0,4349	0,1657	2,63	0,865
			±1,91	±0,0142	±0,0139	±0,14	±0,005

U poređenju odziva osmotske dehidracije svinjskog mesa sa odnosom masa materijala i rastvora od 1:2 sa odzivima osmotske dehidracije svinjskog mesa sa odnosom masa materijala i rastvora od 1:5 (tabele 4.1.-4.3., poglavlje 4.1.), primetne su niže postignute vrednosti svih odziva, pri istim tehnološkim parametrima (temperature, vremena trajanja procesa i koncentracije osmotskih rastvora). Kao primer poređenja, mogu se uzeti kombinacije maksimalnih vrednosti tehnoloških parametara za sva tri osmotska rastvora pri odnosima masa materijala i rastvora 1:2 i 1:5 prikazanih u tabeli 4.15.

**Tabela 4.14** Vrednosti odziva istostrujne osmotske dehidracije svinjskog mesa u rastvoru R3, pri odnosu masa materijala i osmotksih rastvora 1:2

t (°C)	τ (h)	C (% s.m.)	R3				
			DMC (%)	WL (g/g i.s.)	SG (g/g i.s.)	DEI	a <sub>w</sub>
20	1	80	37,36	0,2343	0,0591	3,98	0,903
			±1,98	±0,0061	±0,0058	±0,29	±0,007
20	3	80	49,99	0,4085	0,1265	3,24	0,890
			±1,86	±0,0179	±0,0107	±0,13	±0,011
20	5	80	50,76	0,4190	0,1345	3,12	0,881
			±2,08	±0,0093	±0,0076	±0,11	±0,012
35	1	80	44,04	0,3214	0,0807	3,99	0,910
			±2,01	±0,0197	±0,0079	±0,15	±0,006
35	3	80	55,60	0,4585	0,1262	3,66	0,887
			±1,59	±0,0175	±0,0147	±0,29	±0,009
35	5	80	58,65	0,4963	0,1490	3,36	0,872
			±0,69	±0,0072	±0,0192	±0,39	±0,011
50	1	80	48,60	0,3619	0,1178	3,08	0,882
			±2,39	±0,0200	±0,0097	±0,08	±0,009
50	3	80	58,74	0,4757	0,1415	3,38	0,867
			±1,69	±0,0173	±0,0143	±0,22	±0,014
50	5	80	61,08	0,4968	0,1604	3,10	0,870
			±1,01	±0,0209	±0,0032	±0,07	±0,011

**Tabela 4.15.** Uporedni podaci odziva procesa osmotske dehidracije pri odnosima masa materijala i rastvora 1:2 i 1:5

Vrsta rastvora	Odnos masa materijala i rastvora	DMC (%)	WL (g/g i.s.)	SG (g/g i.s.)
R1	1:2	53,66±0,83	0,4089±0,0142	0,1429±0,0054
	1:5	62,16±0,44	0,4950±0,0029	0,1616±0,0152
R2	1:2	57,39±1,91	0,4349±0,0142	0,1657±0,0139
	1:5	69,54±0,07	0,5487±0,0004	0,1797±0,0084
R3	1:2	61,08±1,01	0,4968±0,0209	0,1604±0,0032
	1:5	71,11±1,45	0,5843±0,0090	0,2144±0,0089

Ovakvo smanjenje efikasnosti procesa osmotske dehidracije usled smanjenja količine korišćenog osmotskog rastvora je i očekivano, jer dolazi do povećanog razblaženja osmotskog

rastvora, smanjenja gradijenta koncentracije koja je i pogonska sila osmotske dehidracije (Koprivica i sar., 2010), a na taj način i smanjenja prenosa mase kako vode iz mesa u osmotski rastvor, tako i rastvorenih materija iz osmotskog rastvora u meso, što je u skladu sa istraživanjima Ponting i sar. (1966); Flink (1979) i Conway i sar. (1983).

#### 4.2.2.2.1. *Uticaji tehnoloških parametara na istostujni proces osmotske dehidracije u R1 pri odnosu masa materijala i rastvora od 1:2*

Na slici 4.19 a-e, prikazani su uticaji tehnoloških parametara vremena trajanja i temperature procesa osmotske dehidracije na praćene odzive (DMC,  $a_w$ , WL, SG i DEI) u osmotskom rastvoru R1, pri odnosu masa materijala i osmotskih rastvora 1:2.

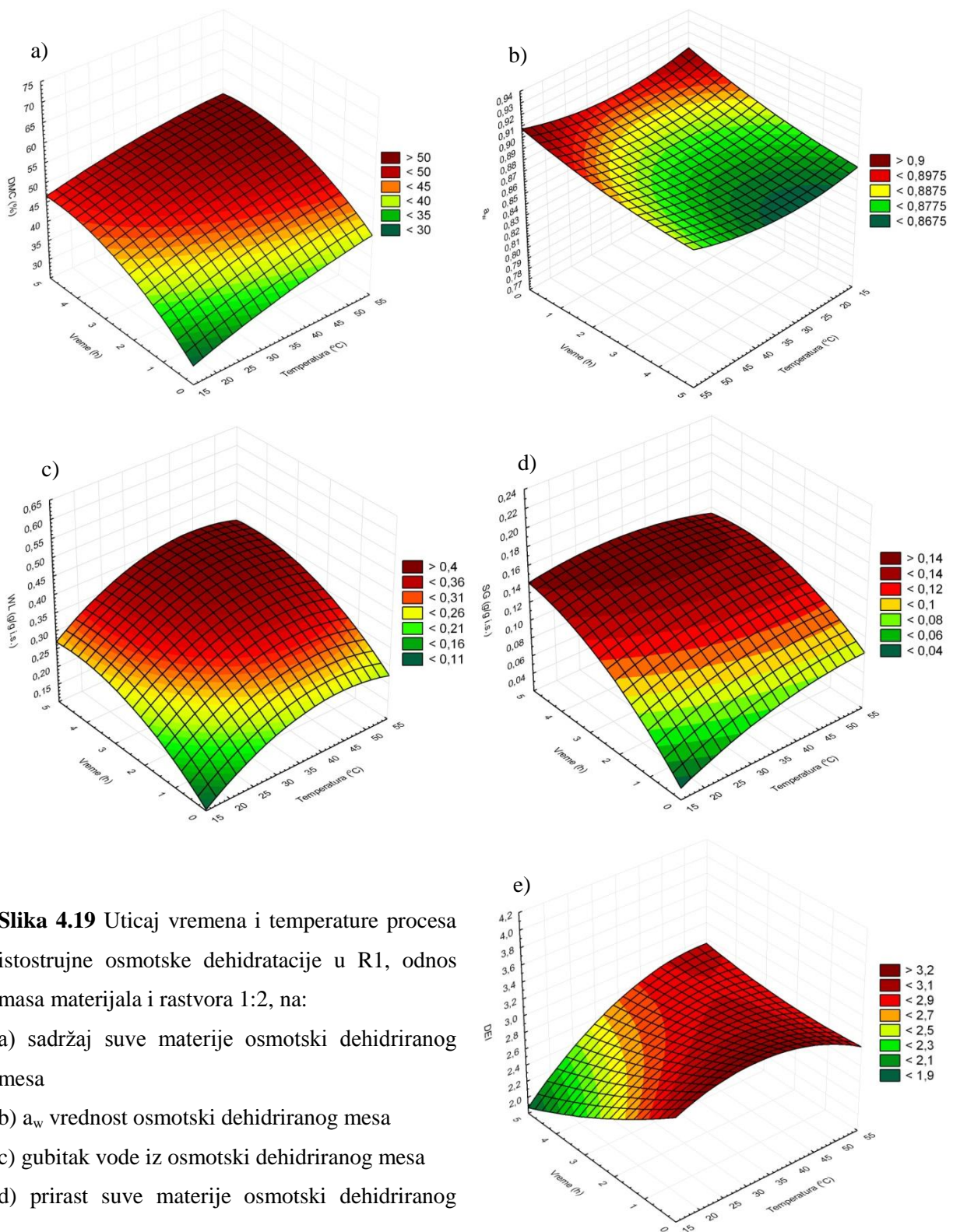
Uticaj vremena i temperature procesa na sadržaj suve materije osmotski dehidriranog mesa, slika 4.19 a, je identičan kao i pri osmotskoj dehidraciji sa odnosom masa materijala i rastvora od 1:5, slika 4.1 b, maksimum DMC vrednosti se nalazi pri maksimumima vremena i temperature procesa, sa tim što su evidentne niže postignute vrednosti.

Uticaj vremena i temperature procesa na  $a_w$  vrednosti osmotski dehidriranog mesa, slika 4.19 b, pokazuje iste trendove kompleksne zavisnosti kao i kod osmotske dehidracije sa odnosom masa materijala i rastvora od 1:5, slika 4.13 a. Porast dužine trajanja procesa osmotske dehidracije, smanjuje postignute  $a_w$  vrednost osmotski dehidriranog mesa, dok je minimum  $a_w$  vrednosti osmotski dehidriranog mesa postignut i u ovom slučaju na srednjoj temperaturi procesa osmotske dehidracije od  $t=35^\circ\text{C}$ , s tim što su evidentne mnogo veće minimalne  $a_w$  vrednosti dehidriranog mesa u dehidraciji sa manjom količinom osmotskog rastvora.

Uticaj vremena i temperature procesa na vrednosti gubitka vode kao i prirasta suve materije osmotski dehidriranog mesa, slika 4.19 c i d, pokazuju slične trendove kao i kod osmotske dehidracije sa odnosom masa materijala i rastvora od 1:5, slika 4.4 b i 4.7 b, odnosno sa povećanjem ovih tehnoloških parametara povećavaju se i WL i SG vrednosti. Razlika se primećuje u maksimalnim vrednostima tehnoloških parametara procesa vremena i temperature, gde je vidljivo smanjenje porasta WL i SG vrednosti, što je direktna posledica povećanog razblaženja manje količine osmotskog rastvora i smanjenja efikasnosti prenosa mase.

Indeks efikasnosti najbolje pokazuje razliku između osmotskih dehidracija u većoj i manjoj količini osmotskog rastvora. Pri osmotskoj dehidraciji sa odnosom masa materijala i rastvora od 1:5 maksimalne vrednosti DEI su postignute na kraju petočasnog procesa pri najvećim temperaturama ( $t=50^\circ\text{C}$ ), slika 4.10 a, dok u slučaju osmotske dehidracije mesa u manjoj količini osmotskog rastvora produženje vremena trajanja procesa je dovelo do smanjenja

vrednosti DEI, a temperatura sa srednjim vrednostima je najpovoljnije uticala na vrednosti DEI, slika 4.19 e.



**Slika 4.19** Uticaj vremena i temperature procesa istostrujne osmotske dehidracije u R1, odnos masa materijala i rastvora 1:2, na:

- sadržaj suve materije osmotski dehidriranog mesa
- $a_w$  vrednost osmotski dehidriranog mesa
- gubitak vode iz osmotski dehidriranog mesa
- prirast suve materije osmotski dehidriranog mesa
- indeks efikasnosti osmotske dehidracije

#### 4.2.2.2.2. Uticaji tehnoloških parametara na istostujni proces osmotske dehidracije u R2 pri odnosu masa materijala i rastvora od 1:2

Na slici 4.20 a-e prikazani su uticali tehnoloških parametara vremena trajanja i temperature procesa osmotske dehidracije na praćene odzive (DMC,  $a_w$ , WL, SG i DEI) u osmotskom rastvoru R2, pri odnosu masa materijala i osmotskih rastvora 1:2.

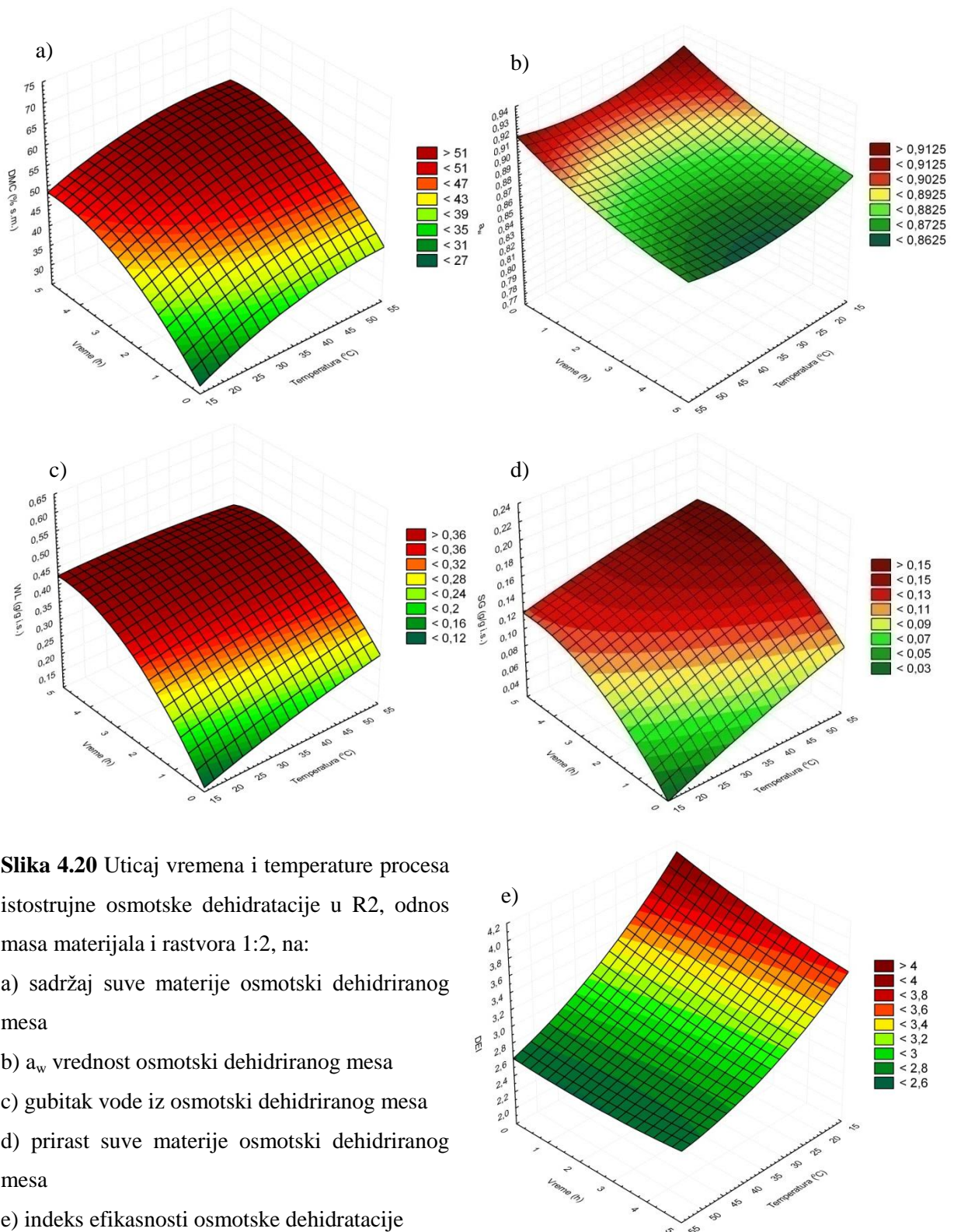
Uticaj vremena i temperature procesa na sadržaj suve materije osmotski dehidriranog mesa, slika 4.20 a, je identičan kao i pri osmotskoj dehidraciji sa odnosom masa materijala i rastvora od 1:5, slika 4.2 b, kao i u pri osmotskoj dehidraciji u osmotskom rastvoru R1, slika 4.19 a. Maksimum DMC vrednosti se nalazi pri maksimumima vremena i temperature procesa, sa tim što su evidentne niže postignute vrednosti, u poređenju sa većom količinom korišćenog osmotskog rastvora R2, a u poređenju sa istim uslovima ali mesom dehidriranim u osmotskom rastvoru R1, dobijeni su veći sadržaji suve materije dehidriranog mesa u osmotskom rastvoru R2.

Uticaj vremena i temperature procesa na  $a_w$  vrednosti osmotski dehidriranog mesa, slika 4.20.b, pokazuje iste trendove kompleksne zavisnosti kao i u prethodnom slučaju, kod osmotske dehidracije u rastvoru R1, slika 4.19 b, a takođe kao i kod osmotske dehidracije sa odnosom masa materijala i rastvora od 1:5, slika 4.14 a. Minimum  $a_w$  vrednosti osmotski dehidriranog mesa je i u ovom slučaju postignut na srednjoj temperaturi procesa osmotske dehidracije od  $t=35^\circ\text{C}$ , s tim što su primetne nešto manje  $a_w$  vrednosti dehidriranog mesa u osmotskom rastvoru R2 u poređenju sa vrednostima mesa dehidriranog u rastvoru R1.

Uticaj vremena i temperature procesa na vrednosti gubitka vode kao i prirasta suve materije osmotski dehidriranog mesa, slika 4.20 c i d, pokazuju vrlo slične trendove kao i kod osmotske dehidracije sa odnosom masa materijala i rastvora od 1:5, slike 4.5 b i 4.8 b, odnosno, sa povećanjem ovih tehnoloških parametara povećavaju se i WL i SG vrednosti. Primetne su niže vrednosti ovih odziva pri dehidraciji u manjoj količini R2 u poređenju sa osmotskom dehidracijom pri odnosu masa materijala i rastvora R2 od 1:5, ali su primetne veće vrednosti ovih odziva u poređenju sa osmotskom dehidracijom pri istim ostalim tehnoloških parametrima u rastvoru R1.

Primetan je uticaj povećanja temperature procesa na povećanje vrednosti DEI, slika 4.20 e, a vreme trajanja procesa nije imalo tako izražen uticaj na vrednosti DEI. Postignuti maksimumi vrednosti DEI su bili veći od maksimuma pri osmotskoj dehidraciji u rastvoru R1 i istim ostalim tehnološkim parametrima, slika 4.19 e, a čak su bili veći i od vrednosti DEI dehidracije mesa u većoj količini osmotskog rastvora R2, slika 4.11 a.





**Slika 4.20** Uticaj vremena i temperature procesa istostrujne osmotske dehidracije u R2, odnos masa materijala i rastvora 1:2, na:

- sadržaj suve materije osmotski dehidriranog mesa
- $a_w$  vrednost osmotski dehidriranog mesa
- gubitak vode iz osmotski dehidriranog mesa
- prirast suve materije osmotski dehidriranog mesa
- indeks efikasnosti osmotske dehidracije

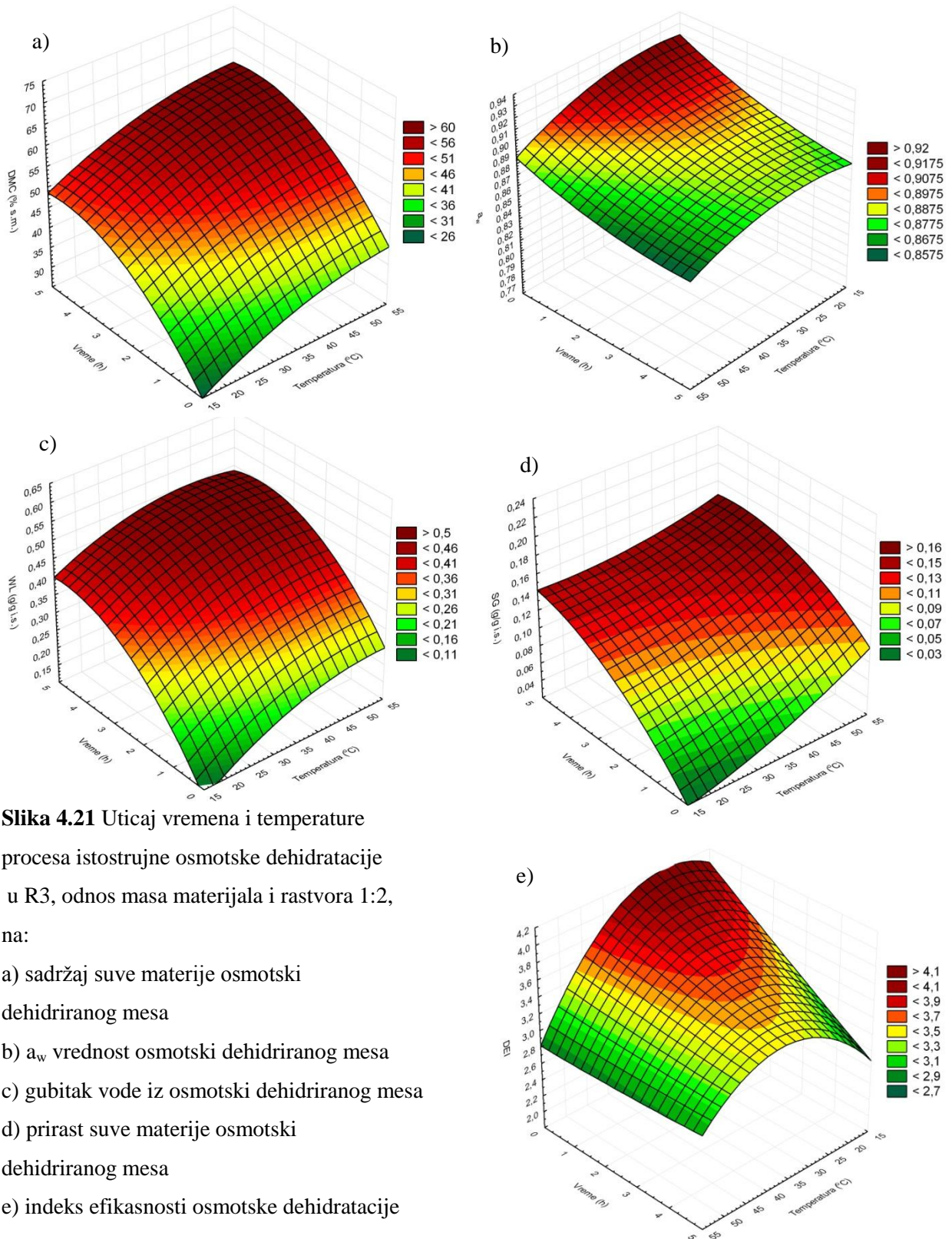
#### 4.2.2.2.3. *Uticaji tehnoloških parametara na istostujni proces osmotske dehidracije u R3 pri odnosu masa materijala i rastvora od 1:2*

Na slici 4.21 a-e prikazani su uticaji tehnoloških parametara vremena trajanja i temperature procesa osmotske dehidracije na praćene odzive (DMC,  $a_w$ , WL, SG i DEI) u osmotskom rastvoru R3, pri odnosu masa materijala i osmotskih rastvora 1:2.

Uticaj vremena i temperature procesa na sadržaj suve materije osmotski dehidriranog mesa, slika 4.21 a, je identičan kao i pri osmotskoj dehidraciji sa odnosom masa materijala i rastvora od 1:5, slika 4.3 b, a takođe i kao pri osmotskim dehidracijama u osmotskim rastvorima R1 i R2, slike 4.19 a i 4.20 a. Maksimum DMC vrednosti se nalazi pri maksimumima vremena i temperature procesa, sa tim što su evidentne niže postignute vrednosti, u poređenju sa većom količinom korišćenog osmotskog rastvora R3, a u poređenju sa istim uslovima ali sa mesom dehidriranim u osmotskim rastvorima R1 i R2, dobijeni su najveći sadržaji suve materije dehidriranog mesa u osmotskom rastvoru R3.

Uticaj vremena i temperature procesa na  $a_w$  vrednosti osmotski dehidriranog mesa, slika 4.21 b, pokazuje da porastom dužine trajanja procesa osmotske dehidracije pri konstantnim ostalim tehnološkim parametrima, smanjivala se postignuta  $a_w$  vrednost osmotski dehidriranog mesa, kao što je slučaj i sa dehidriranim mesom u većoj količini rastvora R3 (slika 4.15 a), a takođe i u istim uslovima osmotske dehidracije u rastvorima R1 i R2.

Minimum postignute  $a_w$  vrednosti mesa je bio u procesu sa najvišom temperaturom, mada postignute vrednosti nisu bile najniže u poređenju sa ostala dva rastvora. Verovatno je to posledica istih uticaja na menjanje sastava dehidriranog mesa preko prirasta suve materije, koje je drugačije u slučaju melase kao osmotskog rastvora u poređenju sa druga dva osmotska rastvora, kao i pri osmotskoj dehidraciji sa odnosom masa materijala i rastvora od 1:5.



Uticaj vremena i temperature procesa na vrednosti gubitka vode kao i prirasta suve materije osmotski dehidriranog mesa, slika 4.21 c i d, pokazuju vrlo slične trendove kao i kod osmotske dehidracije sa odnosom masa materijala i rastvora od 1:5, slika 4.6 b i 4.9 b, odnosno sa povećanjem ovih tehnoloških parametara povećavaju se i WL i SG vrednosti. Primetne su niže vrednosti ovih odziva pri dehidraciji u manjoj količini R3 u poređenju sa osmotskom dehidracijom pri odnosu masa materijala i rastvora R3 od 1:5, a takođe su primetne veće vrednosti ovih odziva u poređenju sa osmotskom dehidracijom pri istim ostalim tehnoloških parametrima u rastvorima R1 i R2.

Uticaj temperature i vremena trajanja procesa na vrednosti DEI, slika 4.21 e, pokazuje kompleksne zavisnosti, slične onima koje su uočene pri osmotskoj dehidraciji mesa u većoj količini osmotskog rastvora R3. Postignuti maksimumi vrednosti DEI su bili najveći u poređenju sa druga sva osmotska rastvora, a pri istim ostalim tehnološkim parametrima, slike 4.19 e i 4.20 e i bili su čak veći i od vrednosti DEI dehidracije mesa u većoj količini osmotskog rastvora R3, slika 4.12 a.

Proračun materijalnog bilansa suve materije i vode osmotski dehidriranog mesa i osmotskog rastvora pre i posle procesa istostrujne osmotske dehidracije, koji je prikazan u tabeli 4.15, ukazao je na sastave suve materije osmotskih rastvora koji su korišteni u protivostrujnom procesu.

Pri istostrujnom procesu osmotske dehidracije, nakon pet časova osmotske dehidracije, pri odnosu masa materijala i osmotskog rastvora od 1:2, na temperaturama procesa od 20°, 35° i 50°C, krajnje koncentracije osmotskog rastvora R1 su bile 48,71%, 46,70% i 46,66% suve materije, pri odgovarajućim temperaturama, tabela 4.16.

**Tabela 4.16** Materijalni bilans mesa i osmotskih rastvora pre i nakon procesa istostrujne osmotske dehidracije, pri odnosu masa materijala i rastvora od 1:2

		Materijalni bilans suve materije		Materijalni bilans vode	
		(%)	Masa (g)	(%)	Masa (g)
Sveže meso		25,24	12,62	74,76	37,38
t=20°C					
Osmotski dehidrirano meso	R1	47,68	19,58	52,32	21,48
	R2	50,01	17,56	49,99	17,55
	R3	50,76	18,19	49,24	17,62
R1	Pre O.D.	60,00	60,00	40,00	40,00
	Posle O.D.	48,71	53,06	51,29	55,88
R2	Pre O.D.	70,00	70,00	30,00	30,00
	Posle O.D.	55,56	63,83	44,44	51,06
R3	Pre O.D.	80,00	80,00	20,00	20,00
	Posle O.D.	64,15	73,28	35,85	40,95
t=35°C					
Osmotski dehidrirano meso	R1	51,10	19,24	18,42	48,90
	R2	56,51	20,16	43,49	12,52
	R3	58,65	19,14	41,35	13,49
R1	Pre O.D.	60,00	60,00	40,00	40,00
	Posle O.D.	46,70	52,47	53,30	59,88
R2	Pre O.D.	70,00	70,00	30,00	30,00
	Posle O.D.	55,08	62,97	44,92	51,36
R3	Pre O.D.	80,00	80,00	20,00	20,00
	Posle O.D.	61,82	72,55	38,18	44,82
t=50°C					
Osmotski dehidrirano meso	R1	53,66	19,69	46,34	17,01
	R2	57,39	20,97	42,61	15,57
	R3	61,08	20,27	38,92	12,91
R1	Pre O.D.	60,00	60,00	40,00	40,00
	Posle O.D.	46,66	52,86	53,34	60,45
R2	Pre O.D.	70,00	70,00	30,00	30,00
	Posle O.D.	54,39	61,72	45,61	51,75
R3	Pre O.D.	80,00	80,00	20,00	20,00
	Posle O.D.	61,61	71,98	38,39	44,84

### 4.2.2.3. Protivstrujni proces osmotske dehidracije pri odnosu masa materijala i rastvora od 1:2

Za protivstrujni proces osmotske dehidracije početna koncentracija osmotskog rastvora je tako odabrana da približno odgovara krajnoj koncentraciji osmotskog rastvora pri istostrujnom procesu. Pri odabiru koncentracija sva tri različita osmotska rastvora, takođe se vodilo računa da razblaženje među rastvorima bude isto, tako da su i različiti osmotski rastvori međusobno uporedivi.

Kao polazna koncentracija osmotskog rastvora R1 odabran je sadržaj suve materije od 45% s.m. Postepeno je povećavan sadržaj suve materije u osmotskom rastvoru nakon svakog sata procesa osmotske dehidracije, tako da je u drugom satu protivstrujne osmotske dehidracije korišćen osmotski rastvor koncentracije 48,75% s.m., u trećem satu 52,5% s.m., u četvrtom 56,25% s.m. i u krajnjem petom satu osmotski rastvor koncentracije 60% s.m., koji je bio i polazni rastvor pri istostrujnoj osmotskoj dehidraciji.

Krajnje koncentracije osmotskog rastvora R2 na temperaturama istostrujnog procesa od 20°, 35° i 50°C, bile su 55,56%, 55,08% i 54,39% suve materije, tabela 4.15.

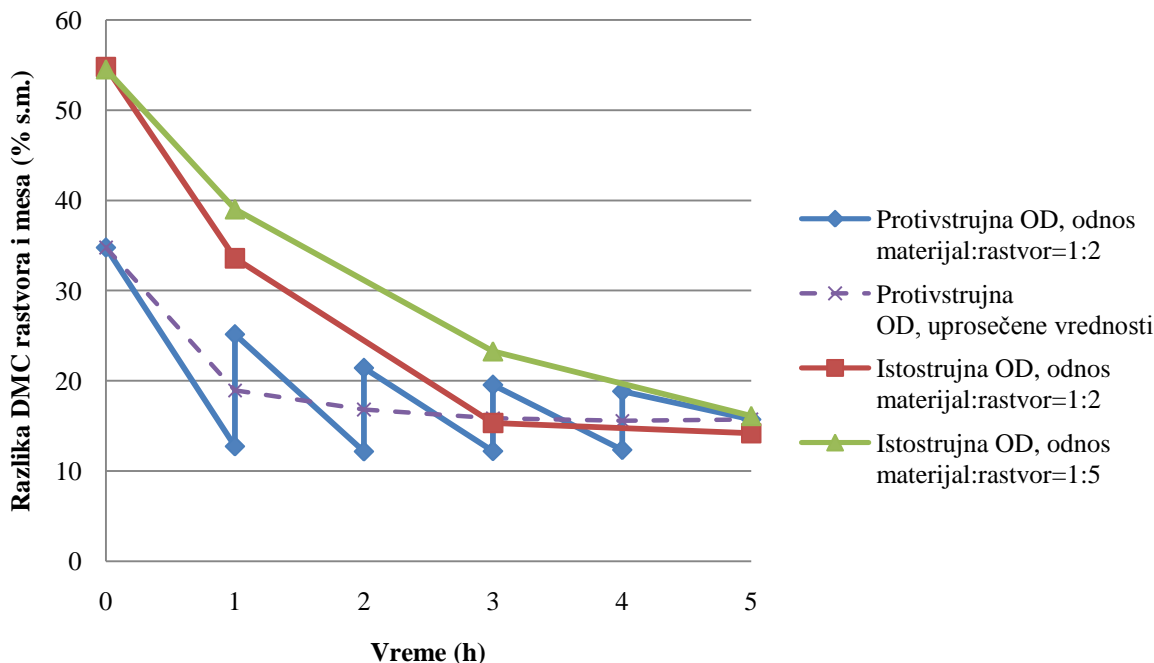
Kao polazna koncentracija osmotskog rastvora R2 odabran je sadržaj suve materije od 52,5% s.m. U drugom satu protivstrujne osmotske dehidracije korišćen je osmotski rastvor koncentracije 56,88% s.m., u trećem satu 61,25% s.m., u četvrtom 65,63% s.m. i u krajnjem petom satu osmotski rastvor koncentracije 70% s.m., koji je bio i polazni rastvor pri istostrujnoj osmotskoj dehidraciji.

Krajnje koncentracije osmotskog rastvora R3 na temperaturama istostrujnog procesa od 20°, 35° i 50°C, bile su 64,15%, 61,82% i 61,61% suve materije, tabela 4.15.

Kao polazna koncentracija osmotskog rastvora R3 odabran je sadržaj suve materije od 60% s.m. U drugom satu protivstrujne osmotske dehidracije korišćen je osmotski rastvor koncentracije 65% s.m., u trećem satu 70% s.m., u četvrtom 75% s.m. i u krajnjem petom satu osmotski rastvor koncentracije 80% s.m., koji je bio i polazni rastvor pri istostrujnoj osmotskoj dehidraciji.

Za ilustraciju prenosa mase prilikom različitih načina izvođenja procesa osmotske dehidracije uzet je primer osmotske dehidracije mesa u rastvoru R3 pri  $t=20^{\circ}\text{C}$ , u tri različita procesa izvođenja osmotske dehidracije, slika 4.22. Podaci za ovaj grafik izračunati su na osnovu podataka iz tabela 4.3, 4.14 i 4.18. Pogonska sila za prenos mase prilikom bilo kog procesa osmotske dehidracije je razlika u sadržaju suve materije/vode u sistemu osmotski rastvor-meso. U istostrujnim procesima ova razlika sadržaja suve materije, odnosno gradijent

koncentracije suve materije je najveća na početku procesa i zatim se konstantno smanjuje do kraja trajanja procesa ili do postizanja ravnotežnih koncentracija. Sa slike 4.22 vidi se da veća količina osmotskog rastvora je imala uticaj i na veći gradijent sve do kraja procesa.



**Slika 4.22** Gradijent koncentracije suve materije osmotskog rastvora i mesa u tri različite osmotske dehidratacije (OD)

Za razliku od istostrujnog, protivstrujni proces, barem u ovom načinu izvođenja je imao ujednačene padove/poraste gradijenta koncentracije, sa svakim korakom zamene osmotskog rastvora. Na taj način nije dopušten prevelik pad gradijenta koncentracije i usporavanja procesa prenosa masa iz dehidrirajućeg materijala u osmotski rastvor. Sa slike 4.22 se takođe zapaža da nakon trećeg sata procesa, protivstrujna osmotska dehidratacija beleži veće gradijente koncentracije, a sa tim i veću efikasnost prenosa mase u poređenju sa istostrujnim procesom sa istim odnosom materijala i rastvora.

#### 4.2.2.3.1. Odzivi protivstrujne osmotske dehidracije svinjskog mesa

U tabeli 4.17, dati su rezultati srednjih vrednosti DMC, WL, SG, DEI i  $a_w$  sa standardnim devijacijama, za svinjsko meso dehidirano u osmotskom rastvoru R1, tokom ukupnog trajanja procesa od pet časova, pri čemu je koncentracija osmotskog rastvora povećavana svaki sat, od 45% do 60% sadržaja suve materije, radi dobijanja približnih uslova protivstrujnog procesa. U tabeli su, takođe, dati i podaci za procese protivstrujne osmotske dehidracije na tri temperature od 20°, 35° i 50°C i pri odnosu masa materijala i rastvora od 1:2.

Najveće vrednosti odziva DMC ( $63,50 \pm 0,22$  % s.m.) i WL ( $0,4881 \pm 0,0015$  g/g i.s.) su postignute na kraju petog sata procesa, pri najvećoj temperaturi od 50°C. Vrednost SG od  $0,1743 \pm 0,0430$  g/g i.s. je dobijena na kraju petog sata procesa, pri temperaturi od 20°C, dok je najveća vrednost indeksa efikasnosti dehidracije od  $3,41 \pm 0,51$  dobijena nakon prvog sata protivstrujne osmotske dehidracije pri temperaturi procesa od 50°C, a najniža  $a_w$  vrednost od  $0,825 \pm 0,006$  je postignuta na kraju petočasnog procesa na temperaturi od 35°C.

Maksimalne dobijene vrednosti (odnosno minimalne vrednosti u slučaju  $a_w$ ) su veće u poređenju sa svim odgovarajućim maksimumima/minimumima ostvarenih vrednosti pri istostrujnoj osmotskoj dehidraciji sa odnosom masa materijala i rastvora od 1:2, tabela 4.11 i približne su vrednostima istostrujne osmotske dehidracije sa odnosom masa materijala i rastvora od 1:5, tabela 4.1.

U tabeli 4.18, dati su rezultati srednjih vrednosti DMC, WL, SG, DEI i  $a_w$  sa standardnim devijacijama, za svinjsko meso dehidirano u osmotskom rastvoru R2, tokom ukupnog trajanja procesa od pet časova, pri čemu je koncentracija osmotskog rastvora povećavana svaki sat, od 52,5% do 70% sadržaja suve materije, tako da se koncentracija osmotskog rastvora zavisno menja sa dužinom trajanja osmotske dehidracije.



**Tabela 4.17** Vrednosti odziva protivstrujne osmotske dehidracije svinjskog mesa u osmotskom rastvoru R1

t (°C)	$\tau$ (h)	C (% s.m.)	DMC (%)	WL (g/g i.s.)	SG (g/g i.s.)	DEI	$a_w$
20	1	45	37,50 $\pm 1,60^a$	0,1716 $\pm 0,0931^a$	0,0920 $\pm 0,0038^{ab}$	1,87 $\pm 0,22^{ab}$	0,931 $\pm 0,011^g$
20	2	48,75	44,68 $\pm 1,18^{bc}$	0,2758 $\pm 0,1493^{ab}$	0,1273 $\pm 0,0040^{bcd}$	2,17 $\pm 0,14^{abc}$	0,890 $\pm 0,009^f$
20	3	52,5	48,85 $\pm 2,84^{cd}$	0,3355 $\pm 0,1796^{ab}$	0,1402 $\pm 0,0167^{cde}$	2,42 $\pm 0,35^{abcd}$	0,875 $\pm 0,010^{def}$
20	4	56,25	55,07 $\pm 0,81^{ef}$	0,3876 $\pm 0,0050^{ab}$	0,1654 $\pm 0,0130^{de}$	2,45 $\pm 0,13^{abcd}$	0,843 $\pm 0,019^{abc}$
20	5	60	58,00 $\pm 1,92^{fg}$	0,4365 $\pm 0,0218^b$	0,1743 $\pm 0,0430^e$	2,63 $\pm 0,77^{bcde}$	0,836 $\pm 0,004^{ab}$
35	1	45	39,32 $\pm 2,05^a$	0,1649 $\pm 0,0192^a$	0,0994 $\pm 0,0192^{abc}$	1,67 $\pm 0,13^a$	0,932 $\pm 0,009^g$
35	2	48,75	47,41 $\pm 0,66^c$	0,2963 $\pm 0,0054^{ab}$	0,1246 $\pm 0,0054^{bcd}$	2,38 $\pm 0,06^{abcd}$	0,874 $\pm 0,018^{def}$
35	3	52,5	52,76 $\pm 0,29^{de}$	0,3597 $\pm 0,0023^{ab}$	0,1476 $\pm 0,0023^{de}$	2,44 $\pm 0,02^{abcd}$	0,849 $\pm 0,007^{abcd}$
35	4	56,25	55,01 $\pm 0,65^{ef}$	0,4051 $\pm 0,2074^{ab}$	0,1530 $\pm 0,0050^{de}$	2,65 $\pm 0,09^{bcde}$	0,847 $\pm 0,004^{abcd}$
35	5	60	60,02 $\pm 1,51^{gh}$	0,4451 $\pm 0,0108^b$	0,1625 $\pm 0,0108^{de}$	2,74 $\pm 0,12^{bcde}$	0,825 $\pm 0,006^a$
50	1	45	42,03 $\pm 1,11^{ab}$	0,2643 $\pm 0,0090^{ab}$	0,0782 $\pm 0,0090^a$	3,41 $\pm 0,51^e$	0,926 $\pm 0,007^g$
50	2	48,75	52,56 $\pm 1,86^{de}$	0,3840 $\pm 0,0138^{ab}$	0,1263 $\pm 0,0138^{bcd}$	3,06 $\pm 0,45^{cde}$	0,882 $\pm 0,003^{ef}$
50	3	52,5	58,21 $\pm 0,27^{fg}$	0,4484 $\pm 0,0018^b$	0,1369 $\pm 0,0018^{bcde}$	3,28 $\pm 0,06^{de}$	0,873 $\pm 0,014^{cdef}$
50	4	56,25	59,49 $\pm 2,06^{fgh}$	0,4497 $\pm 0,0145^b$	0,1568 $\pm 0,0145^{de}$	2,88 $\pm 0,36^{cde}$	0,861 $\pm 0,004^{bcde}$
50	5	60	63,50 $\pm 0,22^h$	0,4881 $\pm 0,0015^b$	0,1676 $\pm 0,0015^{de}$	2,91 $\pm 0,03^{cde}$	0,849 $\pm 0,009^{abcd}$

<sup>abcetfg</sup> Različita slova u eksponentu u istoj koloni tabele ukazuju na statistički značajnu razliku između vrednosti, pri nivou značajnosti od  $p < 0,05$  (na osnovu post-hoc Tukey-evog HSD testa)

**Tabela 4.18** Vrednosti odziva protivstrujne osmotske dehidracije svinjskog mesa u osmotskom rastvoru R2

t (°C)	τ (h)	C (% s.m.)	DMC (%)	WL (g/g i.s.)	SG (g/g i.s.)	DEI	a <sub>w</sub>
20	1	52,5	40,08 ±0,85 <sup>a</sup>	0,1964 ±0,0049 <sup>a</sup>	0,0919 ±0,0181 <sup>a</sup>	2,21 ±0,53 <sup>a</sup>	0,894 ±0,010 <sup>fgh</sup>
20	2	56,88	49,15 ±3,09 <sup>c</sup>	0,3178 ±0,0288 <sup>cd</sup>	0,1341 ±0,0310 <sup>abcde</sup>	2,43 ±0,43 <sup>ab</sup>	0,870 ±0,003 <sup>def</sup>
20	3	61,25	53,26 ±1,35 <sup>de</sup>	0,3767 ±0,0074 <sup>e</sup>	0,1389 ±0,0233 <sup>bcde</sup>	2,77 ±0,54 <sup>abcd</sup>	0,846 ±0,016 <sup>cd</sup>
20	4	65,63	58,06 ±0,89 <sup>fg</sup>	0,4282 ±0,0063 <sup>fg</sup>	0,1553 ±0,0302 <sup>cde</sup>	2,82 ±0,50 <sup>abcd</sup>	0,831 ±0,014 <sup>bc</sup>
20	5	70	62,93 ±1,60 <sup>hij</sup>	0,4768 ±0,0061 <sup>hi</sup>	0,1641 ±0,0174 <sup>de</sup>	2,93 ±0,36 <sup>abcd</sup>	0,800 ±0,007 <sup>a</sup>
35	1	52,5	43,50 ±0,41 <sup>ab</sup>	0,2358 ±0,0036 <sup>b</sup>	0,1089 ±0,0036 <sup>abc</sup>	2,17 ±0,04 <sup>a</sup>	0,916 ±0,003 <sup>h</sup>
35	2	56,88	50,85 ±0,17 <sup>cd</sup>	0,3367 ±0,0013 <sup>d</sup>	0,1351 ±0,0013 <sup>abcde</sup>	2,49 ±0,01 <sup>ab</sup>	0,910 ±0,009 <sup>h</sup>
35	3	61,25	56,62 ±0,22 <sup>ef</sup>	0,4010 ±0,0017 <sup>ef</sup>	0,1574 ±0,0017 <sup>de</sup>	2,55 ±0,02 <sup>abc</sup>	0,869 ±0,0012 <sup>de</sup>
35	4	65,63	61,52 ±0,91 <sup>ghi</sup>	0,4566 ±0,0064 <sup>gh</sup>	0,1648 ±0,0064 <sup>de</sup>	2,77 ±0,07 <sup>abcd</sup>	0,841 ±0,001 <sup>c</sup>
35	5	70	65,15 ±1,24 <sup>ij</sup>	0,4907 ±0,0085 <sup>i</sup>	0,1747 ±0,0085 <sup>e</sup>	2,81 ±0,09 <sup>abcd</sup>	0,815 ±0,007 <sup>ab</sup>
50	1	52,5	45,78 ±0,14 <sup>b</sup>	0,3047 ±0,0011 <sup>c</sup>	0,1005 ±0,0011 <sup>ab</sup>	3,03 ±0,02 <sup>abcd</sup>	0,917 ±0,002 <sup>h</sup>
50	2	56,88	54,28 ±2,11 <sup>def</sup>	0,4069 ±0,0152 <sup>f</sup>	0,1271 ±0,0152 <sup>abcd</sup>	3,22 ±0,27 <sup>bcd</sup>	0,909 ±0,010 <sup>h</sup>
50	3	61,25	61,02 ±0,85 <sup>gh</sup>	0,4742 ±0,0057 <sup>hi</sup>	0,1357 ±0,0057 <sup>abcde</sup>	3,49 ±0,03 <sup>d</sup>	0,900 ±0,005 <sup>gh</sup>
50	4	65,63	63,87 ±1,19 <sup>hij</sup>	0,4992 ±0,0078 <sup>ij</sup>	0,1463 ±0,0078 <sup>cde</sup>	3,41 ±0,08 <sup>cd</sup>	0,877 ±0,009 <sup>efg</sup>
50	5	70	65,84 ±0,45 <sup>j</sup>	0,5288 ±0,0027 <sup>j</sup>	0,1549 ±0,0027 <sup>cde</sup>	3,42 ±0,15 <sup>cd</sup>	0,846 ±0,003 <sup>cd</sup>

<sup>abcetghij</sup> Različita slova u eksponentu u istoj koloni tabele ukazuju na statistički značajnu razliku između vrednosti, pri nivou značajnosti od  $p < 0,05$  (na osnovu post-hoc Tukey-evog HSD testa)

U tabeli 4.18. su, takođe, dati i podaci za procese protivstrujne osmotske dehidracije na tri temperature pri odnosu masa materijala i rastvora R2 od 1:2.

Najveće vrednosti odziva DMC ( $63,87 \pm 1,19$  % s.m.) i WL ( $0,4992 \pm 0,0078$  g/g i.s.) su postignute na kraju petog sata procesa, pri najvećoj temperaturi od  $50^\circ\text{C}$ . Vrednost SG od  $0,1747 \pm 0,0085$  g/g i.s. je dobijena na kraju petog sata procesa, pri temperaturi od  $35^\circ\text{C}$ , a najveća vrednost indeksa efikasnosti dehidracije od  $3,49 \pm 0,03$  dobijena je nakon trećeg sata protivstrujne osmotske dehidracije na temperaturi procesa od  $50^\circ\text{C}$ . Najniža  $a_w$  vrednost od  $0,800 \pm 0,007$  je postignuta na kraju petočasnog procesa na temperaturi od  $20^\circ\text{C}$ .

Kao i u slučaju osmotske dehidracije u rastvoru R1, maksimalne dobijene vrednosti (odnosno minimalne vrednosti u slučaju  $a_w$ ) su veće u poređenju sa svim odgovarajućim maksimumima/minimumima ostvarenih vrednosti pri istostrujnoj osmotskoj dehidraciji sa odnosom masa materijala i rastvora od 1:2, tabela 4.13, i približne su vrednostima istostrujne osmotske dehidracije sa odnosom masa materijala i rastvora od 1:5, tabela 4.3.

U tabeli 4.19., dati su rezultati srednjih vrednosti DMC, WL, SG, DEI i  $a_w$  sa standardnim devijacijama, za svinjsko meso dehidrirano u osmotskom rastvoru R3, tokom ukupnog trajanja procesa od pet časova, pri čemu je koncentracija osmotskog rastvora povećavana svakog sata, od 60% do 80% sadržaja suve materije, tako da se koncentracija osmotskog rastvora zavisno menja sa dužinom trajanja osmotske dehidracije, kao i u slučaju prethodna dva osmotska rastvora. U tabeli 4.18 su, takođe, dati i podaci za procese protivstrujne osmotske dehidracije na tri temperature pri odnosu masa materijala i rastvora R3 od 1:2.

Najveće vrednosti odziva DMC ( $72,98 \pm 0,51$  % s.m.), WL ( $0,5698 \pm 0,0031$  g/g i.s.) i SG ( $0,1839 \pm 0,0031$  g/g i.s.) su postignute na kraju petog sata procesa, pri najvećoj temperaturi od  $50^\circ\text{C}$ , kao i u slučaju druga dva rastvora, dok je najveća vrednost indeksa efikasnosti dehidracije od  $4,25 \pm 0,20$  dobijena nakon četvrtog sata protivstrujne osmotske dehidracije pri temperaturi procesa od  $35^\circ\text{C}$ . Najniža  $a_w$  vrednost od  $0,839 \pm 0,005$  je postignuta na kraju petočasnog procesa na temperaturi od  $20^\circ\text{C}$ , kao i u slučaju rastvora R2.

**Tabela 4.19** Vrednosti odziva protivstrujne osmotske dehidracije svinjskog mesa u osmotskom rastvoru R3

t (°C)	$\tau$ (h)	C (% s.m.)	DMC (%)	WL (g/g i.s.)	SG (g/g i.s.)	DEI	$a_w$
20	1	60	39,84 $\pm 1,26^a$	0,2179 $\pm 0,0117^a$	0,0702 $\pm 0,0081^a$	3,13 $\pm 0,53^{abc}$	0,930 $\pm 0,002^e$
20	2	65	48,55 $\pm 2,21^c$	0,3334 $\pm 0,0033^d$	0,1056 $\pm 0,0158^c$	3,19 $\pm 0,51^{abcd}$	0,900 $\pm 0,008^d$
20	3	70	55,46 $\pm 0,32^{de}$	0,4150 $\pm 0,0119^e$	0,1233 $\pm 0,0037^{cd}$	3,37 $\pm 0,01^{abcde}$	0,889 $\pm 0,009^{cd}$
20	4	75	61,15 $\pm 1,14^{gh}$	0,4675 $\pm 0,0107^f$	0,1380 $\pm 0,0097^{de}$	3,24 $\pm 0,29^{abcd}$	0,866 $\pm 0,018^{bc}$
20	5	80	63,39 $\pm 0,87^h$	0,4967 $\pm 0,0139^g$	0,1497 $\pm 0,0200^e$	3,70 $\pm 0,44^{bcdef}$	0,839 $\pm 0,005^a$
35	1	60	41,11 $\pm 1,06^a$	0,2654 $\pm 0,0086^b$	0,0791 $\pm 0,0086^{ab}$	3,37 $\pm 0,26^{abcde}$	0,930 $\pm 0,001^e$
35	2	65	52,56 $\pm 1,70^d$	0,4172 $\pm 0,0081^e$	0,1074 $\pm 0,0081^c$	3,89 $\pm 0,22^{cdef}$	0,899 $\pm 0,008^d$
35	3	70	57,96 $\pm 0,68^{ef}$	0,4711 $\pm 0,0045^f$	0,1216 $\pm 0,0045^{cd}$	3,88 $\pm 0,11^{bcdef}$	0,892 $\pm 0,012^{cd}$
35	4	75	64,28 $\pm 1,30^{hi}$	0,5329 $\pm 0,0077^h$	0,1256 $\pm 0,0077^{cde}$	4,25 $\pm 0,20^f$	0,869 $\pm 0,009^{bc}$
35	5	80	68,19 $\pm 0,78^j$	0,5614 $\pm 0,0045^{ij}$	0,1373 $\pm 0,0045^{de}$	4,09 $\pm 0,10^{ef}$	0,849 $\pm 0,011^{ab}$
50	1	60	44,90 $\pm 0,71^b$	0,2892 $\pm 0,0057^c$	0,0997 $\pm 0,0057^{bc}$	2,90 $\pm 0,11^a$	0,929 $\pm 0,010^e$
50	2	65	54,10 $\pm 0,55^d$	0,4128 $\pm 0,0038^e$	0,1164 $\pm 0,0038^{cd}$	3,55 $\pm 0,08^{abcdef}$	0,903 $\pm 0,005^d$
50	3	70	60,31 $\pm 0,35^{fg}$	0,4687 $\pm 0,0023^f$	0,1415 $\pm 0,0023^{de}$	3,31 $\pm 0,04^{abcdef}$	0,894 $\pm 0,016^{cd}$
50	4	75	67,08 $\pm 0,04^{ij}$	0,5388 $\pm 0,0002^h$	0,1370 $\pm 0,0002^{de}$	3,93 $\pm 0,01^{def}$	0,852 $\pm 0,002^{ab}$
50	5	80	72,98 $\pm 0,51^k$	0,5698 $\pm 0,0031^j$	0,1839 $\pm 0,0031^f$	3,10 $\pm 0,04^{ab}$	0,844 $\pm 0,007^{ab}$

<sup>abcefgghijk</sup> Različita slova u eksponentu u istoj koloni tabele ukazuju na statistički značajnu razliku između vrednosti, pri nivou značajnosti od  $p < 0,05$  (na osnovu post-hoc Tukey-evog HSD testa)

Slično osmotskim dehidracijama u rastvorima R1 i R2, maksimalne dobijene vrednosti (odnosno minimalne vrednosti u slučaju  $a_w$ ) su u znatnoj meri veće u poređenju svim odgovarajućim maksimumima/minimumima ostvarenih vrednosti pri istostrujnoj osmotskoj dehidraciji sa odnosom masa materijala i rastvora od 1:2. Vrednosti su približne, a u nekim slučajevima čak i veće od vrednosti istostrujne osmotske dehidracije sa odnosom masa materijala i rastvora od 1:5, što je evidentno iz tabele 4.20, gde su prikazane srednje vrednosti maksimalnih odziva sa statistički značajnim razlikama za sva tri osmotska rastvora.

**Tabela 4.20** Srednje vrednosti i standardne devijacije maskimalnih vrednosti odziva u različitim postupcima osmotske dehidracije

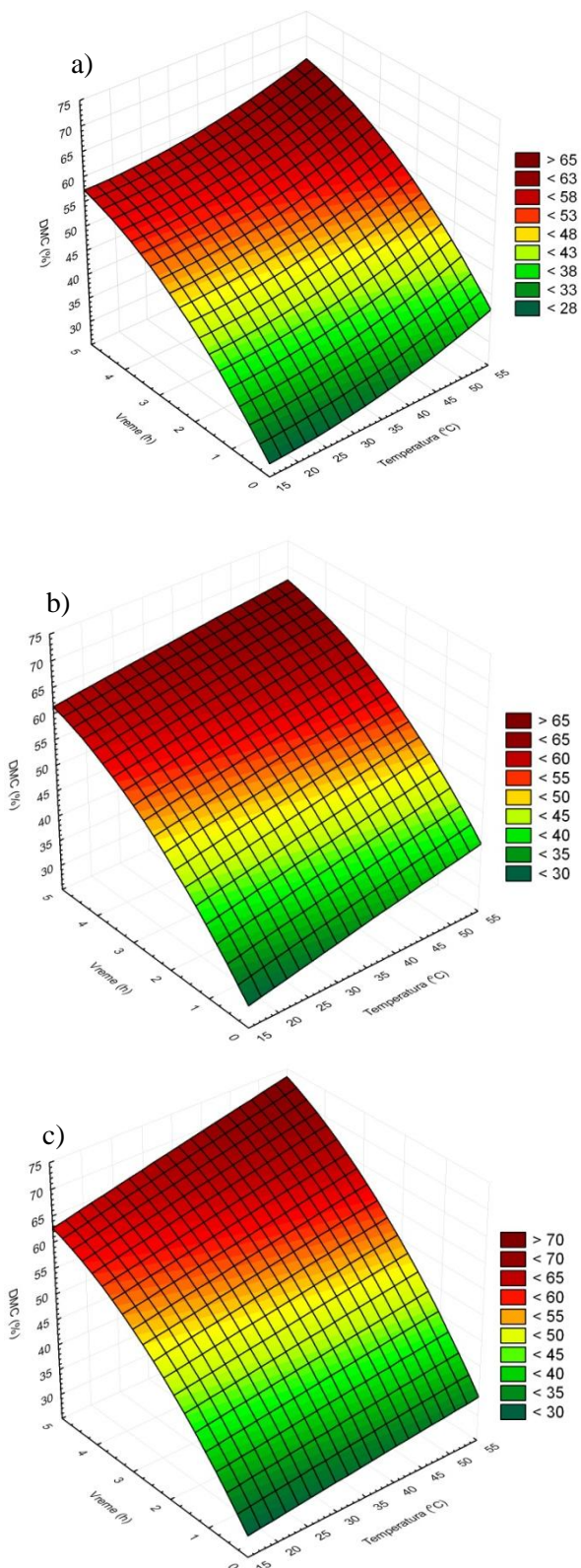
	DMC (% s.m.) t=50°C, τ=5h	WL (g/g i.s.) t=50°C, τ=5h	SG (g/g i.s.) t=50°C, τ=5h	$a_w$ t=35°C, τ=5h
<i>Protivstrujna osmotska dehidracija, odnos masa materijala i rastvora 1:2</i>				
R1	63,50±0,22 <sup>a</sup>	0,4881±0,0015 <sup>a</sup>	0,1676±0,0015 <sup>a</sup>	0,825±0,006 <sup>a</sup>
R2	65,84±0,45 <sup>a</sup>	0,5288±0,0027 <sup>b</sup>	0,1549±0,0027 <sup>a</sup>	0,815±0,007 <sup>a</sup>
R3	72,98±0,51 <sup>b</sup>	0,5698±0,0031 <sup>c</sup>	0,1839±0,0031 <sup>a</sup>	0,849±0,011 <sup>b</sup>
<i>Istostrujna osmotska dehidracija, odnos masa materijala i rastvora 1:2</i>				
R1	53,66±0,83 <sup>c</sup>	0,4089±0,0142 <sup>d</sup>	0,1429±0,0054 <sup>b</sup>	0,864±0,001 <sup>c</sup>
R2	57,39±1,91 <sup>d</sup>	0,4349±0,0142 <sup>d</sup>	0,1657±0,0139 <sup>a</sup>	0,859±0,017 <sup>c</sup>
R3	61,08±1,01 <sup>a</sup>	0,4968±0,0209 <sup>a</sup>	0,1604±0,0032 <sup>a</sup>	0,872±0,011 <sup>c</sup>
<i>Istostrujna osmotska dehidracija, odnos masa materijala i rastvora 1:5</i>				
R1	62,16±0,44 <sup>a</sup>	0,4950±0,0029 <sup>a</sup>	0,1616±0,0152 <sup>a</sup>	0,793±0,009 <sup>d</sup>
R2	69,54±0,07 <sup>b</sup>	0,5487±0,0004 <sup>bc</sup>	0,1797±0,0084 <sup>a</sup>	0,795±0,001 <sup>d</sup>
R3	71,11±1,45 <sup>b</sup>	0,5843±0,0090 <sup>c</sup>	0,2144±0,0089 <sup>c</sup>	0,811±0,010 <sup>d</sup>

<sup>abc</sup> Različita slova u eksponentu istog reda u tabeli ukazuju na značajnu statističku razliku između vrednosti, pri nivou značajnosti od  $p < 0,05$  (na osnovu post-hoc Tukey-evog HSD testa)

#### 4.2.2.3.2. Uticaji tehnoloških parametara na protivstrujni proces osmotske dehidracije

Kao i u poglavlju 4.1.1, na slikama 4.23 do 4.26 dati su grafički prikazi jednačina polinoma drugog reda koji opisuju modele odziva proces osmotske dehidracije u zavisnosti od tehnoloških parametara. Na ovim graficima će biti diskutovani trendovi uticaja tehnoloških parametara na proces osmotske dehidracije.

Na slici 4.23 a-c prikazani su uticaji temperature i vremena procesa protivstrujne osmotske dehidracije na sadržaj suve materije osmotski dehidriranog mesa u sva tri osmotska rastvora R1-R3.



Sa porastom vremena trajanja, kao i temperature procesa, statistički značajno se povećavala i vrednost sadržaja suve materije dehidriranog mesa (slika 4.23 a-c; tabele 4.17-4.19) kao i u svim ostalim procesima osmotske dehidracije, pri dehidraciji u sva tri osmotska rastvora.

Na osnovu rezultata iz tabele 4.20, vidi se da postoji statistički značajna razlika između vrednosti DMC mesa dehidriranog u različitim osmotskim rastvorima, a takođe postoji statistički značajna razlika i između vrednosti DMC mesa dehidriranog različitim postupcima osmotske dehidracije. Na osnovu ovih razlika može se zapaziti da priroda osmotskog rastvora i način izvođenja osmotske dehidracije imaju značajnog statističkog uticaja na sadržaj suve materije osmotski dehidriranog mesa.

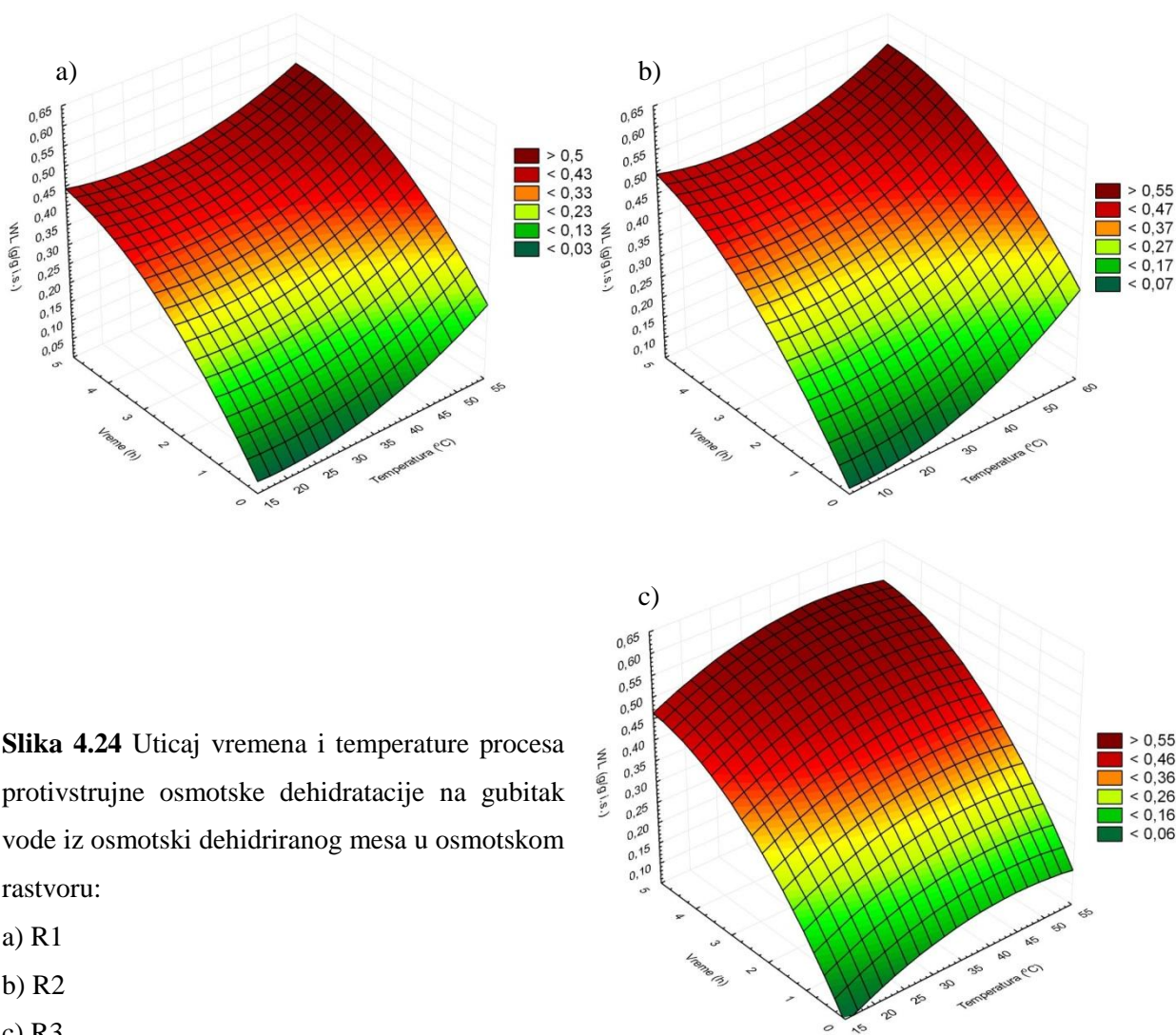
Od početne srednje vrednosti sadržaja suve materije svežeg mesa od  $25,32 \pm 1,62\%$  s.m. u eksperimentima protivstrujne osmotske dehidracije, maksimalne postignute vrednosti su iznosile:

- R1,  $DMC=63,50 \pm 0,22\%$ , odnosno povećanje od  $18,34\%$  u poređenju sa odgovarajućom istostrujnom osmotskom dehidracijom;

**Slika 4.23** Uticaj vremena i temperature procesa protivstrujne osmotske dehidracije na sadržaj suve materije osmotski dehidriranog mesa u osmotskom rastvoru: a) R1 b) R2 c) R3

- R2, DMC=65,84±0,45%, odnosno povećanje od 14,72% u poređenju sa odgovarajućom istostrujnom osmotskom dehidracijom;
- R3, DMC=72,98±0,51%, odnosno povećanje od 19,48% u poređenju sa odgovarajućom istostrujnom osmotskom dehidracijom.

Na slici 4.24 a-c prikazani su uticaji temperature i vremena procesa protivstrujne osmotske dehidracije na gubitak vode iz osmotski dehidriranog mesa u sva tri osmotska rastvora.



**Slika 4.24** Uticaj vremena i temperature procesa protivstrujne osmotske dehidracije na gubitak vode iz osmotski dehidriranog mesa u osmotskom rastvoru:

- R1
- R2
- R3

Povećanjem vremena i temperature procesa, statistički značajno su se povećavale i vrednosti gubitka vode iz osmotski dehidriranog mesa u sva tri osmotska rastvora (tabele 4.17-4.19), što je u saglasnosti i sa ostalim postupcima izvođenja procesa osmotske dehidracije.

Na osnovu rezultata maskimalnih vrednosti gubitaka vode iz dehidriranog mesa iz tabele 4.20, uočljivo je da postoje statistički značajne razlike između vrednosti gubitaka vode iz mesa dehidriranog u različitim osmotskim rastvorima, kao i razlike između vrednosti pri različitim

postupcima osmotske dehidracije. Na osnovu ovih razlika vidi se da, isto kao i u slučaju uticaja na sadržaj suve materije dehidriranog mesa, priroda osmotskog rastvora i način izvođenja osmotske dehidracije imaju statistički značajan uticaj na gubitak vode iz osmotski dehidriranog mesa.

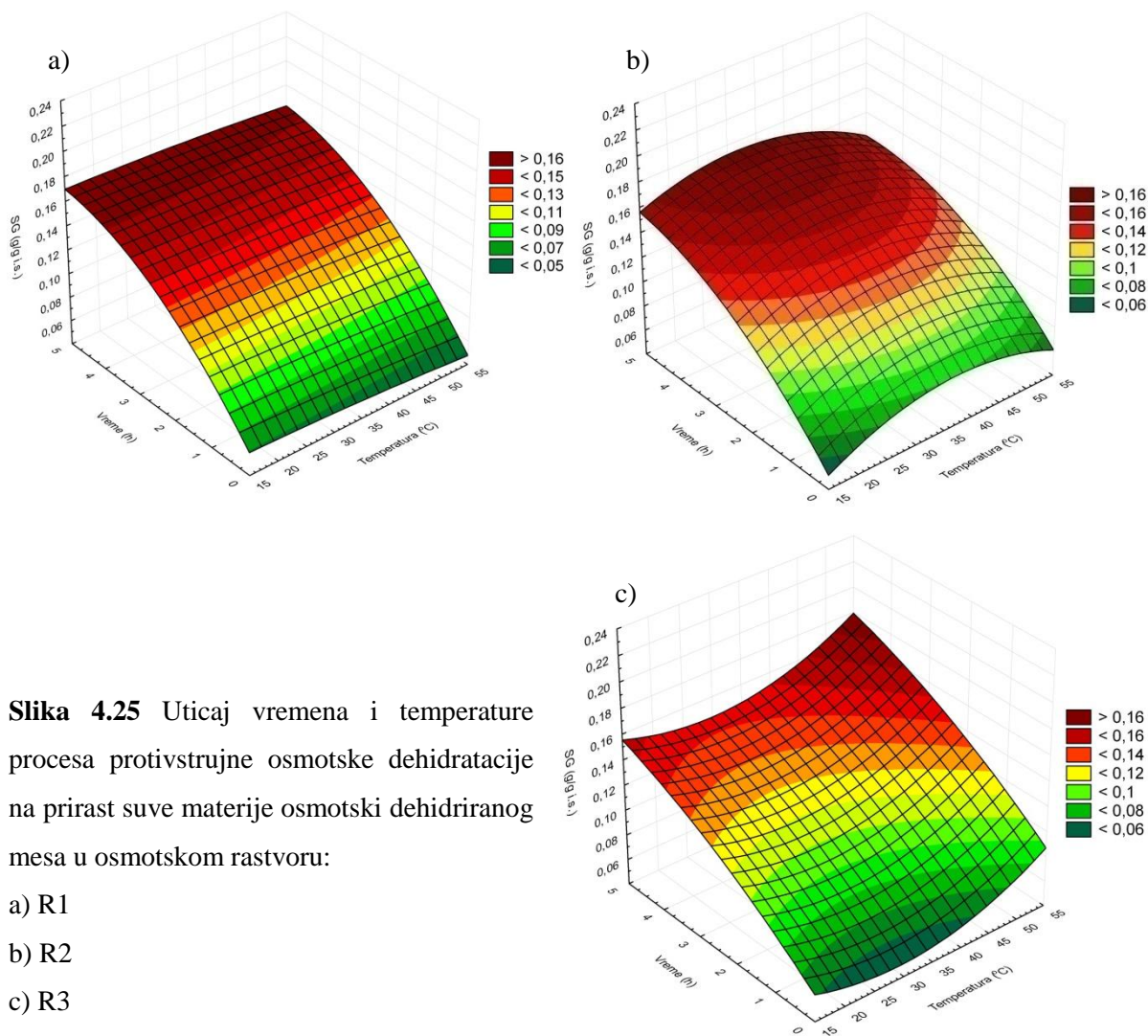
Maksimalne postignute vrednosti gubitka vode iz mesa dehidriranog protivstrujnom osmotskom dehidracijom su iznosile:

- R1,  $WL=0,4881\pm 0,0015$  g/g i.s., odnosno povećanje od 19,37% u poređenju sa odgovarajućom istostrujnom osmotskom dehidracijom;
- R2,  $WL=0,5288\pm 0,0027$  g/g i.s., odnosno povećanje od 21,59% u poređenju sa odgovarajućom istostrujnom osmotskom dehidracijom;
- R3,  $WL=0,5698\pm 0,0031$  g/g i.s., odnosno povećanje od 14,69% u poređenju sa odgovarajućom istostrujnom osmotskom dehidracijom.

Na slici 4.25 a-c prikazani su uticaji temperature i vremena procesa protivstrujne osmotske dehidracije na prirast suve materije osmotski dehidriranog mesa u sva tri osmotska rastvora. U sva tri osmotska rastvora povećanjem vremena procesa, odnosno koncentracije osmotskog rastvora statistički značajno su se povećavale i vrednosti prirasta suve materije mesa, što je u saglasnosti i sa ostalim postupcima izvođenja procesa osmotske dehidracije. Međutim, temperatura je iskazala drugačiju i kompleksniju zavisnost koja se razlikovala u sva tri rastvora, iako nije bila statistički značajna (tabele 4.17-4.19)

U osmotskom rastvoru R1, temperatura nije imala uticaja na vrednosti prirasta suve materije mesa. U rastvoru R2, maksimumi prirasta suve materije mesa su bili na srednjim temperaturama, dok u osmotskoj dehidraciji mesa u rastvoru R3, minimumi prirasta suve materije mesa su se javljali na srednjim temperaturama procesa.



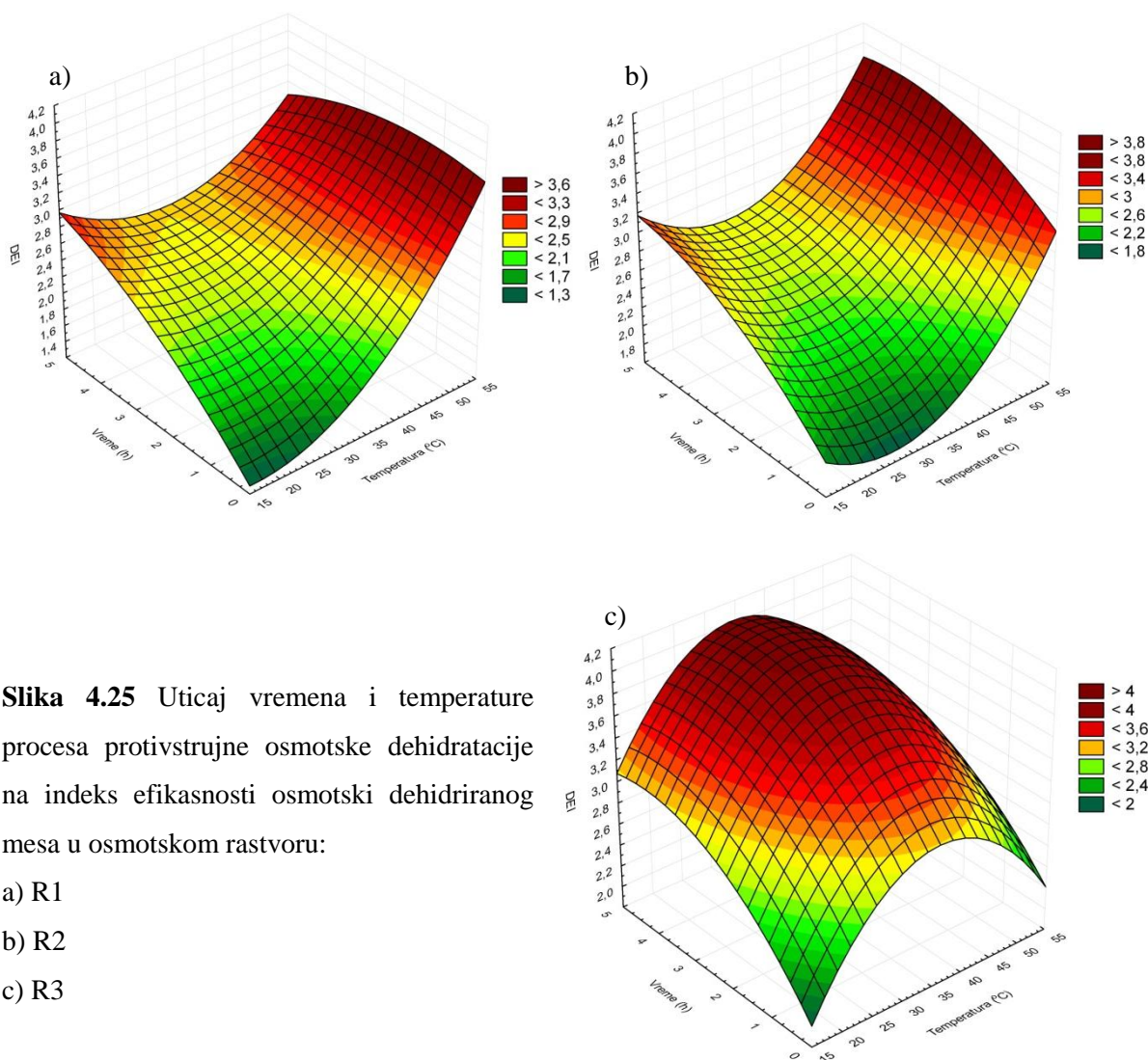


**Slika 4.25** Uticaj vremena i temperature procesa protivstrujne osmotske dehidracije na prirast suve materije osmotski dehidriranog mesa u osmotskom rastvoru:

- a) R1
- b) R2
- c) R3

Na osnovu statistički značajnih razlika između maksimalnih vrednosti gubitaka vode iz mesa dehidriranog u različitim osmotskim rastvorima i različitim načinima izvođenja postupaka tabela 4.20, u slučaju melase vidi se da protivstrujni postupak statistički značajno utiče na vrednost prirasta suve materije dehidriranog mesa, dok kod druga dva rastvora nije primećena statistički značajna razlika između ovih vrednosti. Priroda osmotskog rastvora, takođe, statistički značajno utiče na vrednosti prirasta suve materije dehidriranog mesa.

Na slici 4.25 a-c prikazani su uticaji temperature i vremena procesa protivstrujne osmotske dehidracije na indeks efikasnosti osmotske dehidracije mesa u sva tri osmotska rastvora.



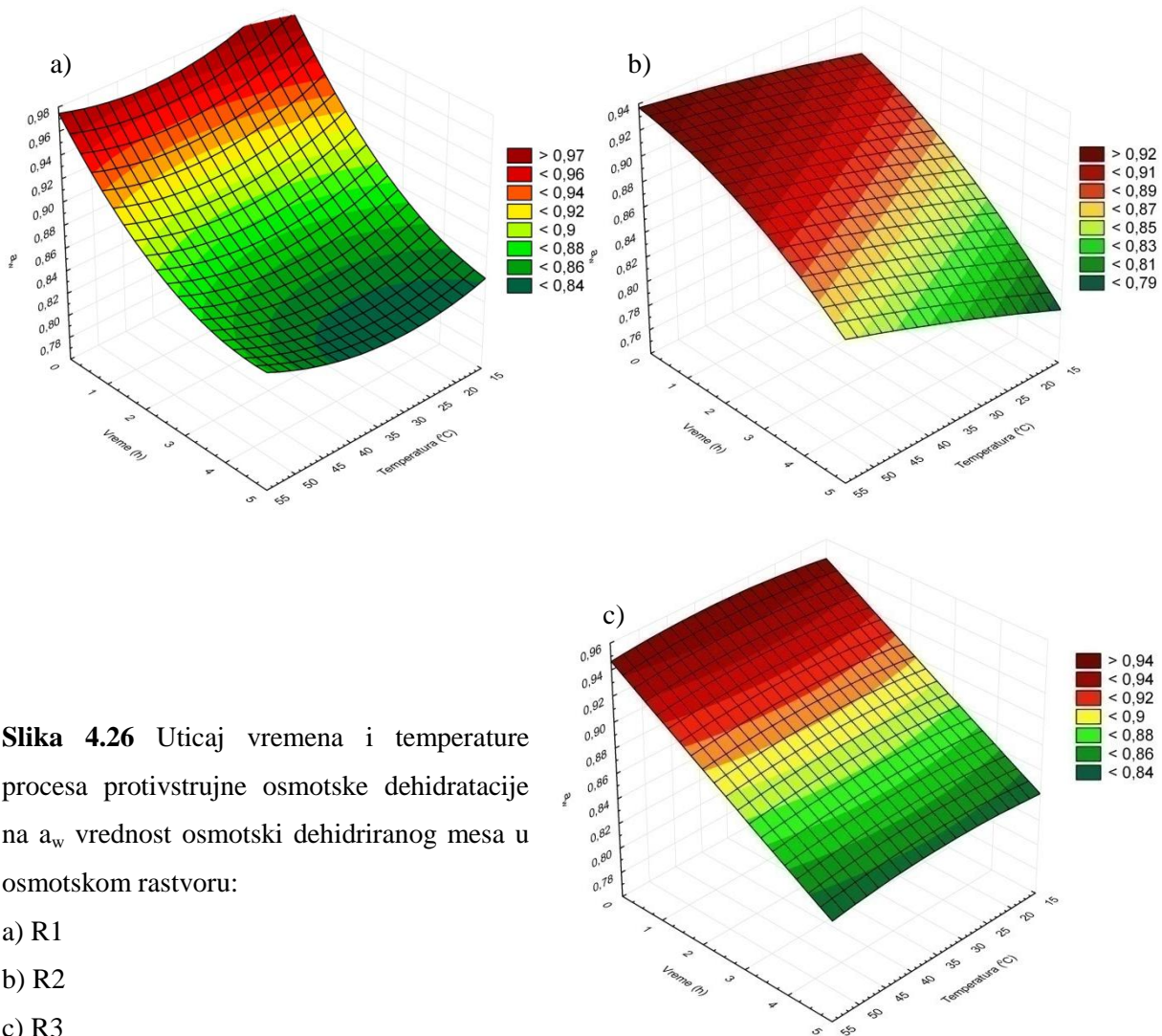
**Slika 4.25** Uticaj vremena i temperature procesa protivstrujne osmotske dehidracije na indeks efikasnosti osmotski dehidriranog mesa u osmotskom rastvoru:

- a) R1
- b) R2
- c) R3

U sva tri osmotska rastvora povećanjem vremena procesa, odnosno koncentracije osmotskog rastvora povećavale su se i DEI vrednosti, dok je temperatura iskazala drugačiju i kompleksniju zavisnost koja se razlikovala i zavisila od prirode rastvora, iako uticaji tehnoloških parametara na DEI vrednosti nisu bili statistički značajni (tabele 4.17-4.19).

Maksimumi DEI vrednosti za protivstrujnu osmotsku dehidraciju u rastvorima R1 i R2, slika 4.25 a i b, postignuti su pri maksimalnim temperaturama rastvora, gde su vrednosti DEI bile veće pri dehidraciji u osmotskom rasvoru R2.

U slučaju dehidracije u osmotskom rastvoru R3, maksimumi vrednosti su se javili na srednjim temperaturama, kao i u slučaju istostrujne osmotske dehidracije, slika 4.21 e, pri čemu su postignuti maksimumi DEI vrednosti bili najveći kako u poređenju sa druga sva osmotska rastvora, tako i u poređenju sa svim ostalim osmotskim dehidracijama, slike 4.12 a i 4.21 e.



**Slika 4.26** Uticaj vremena i temperature procesa protivstrujne osmotske dehidracije na  $a_w$  vrednost osmotski dehidriranog mesa u osmotskom rastvoru:

- a) R1
- b) R2
- c) R3

Uticaj temperature i vremena trajanja procesa protivstrujne osmotske dehidracije na  $a_w$  vrednosti mesa dehidriranog u sva tri rastvora, prikazan je na slikama 4.26 a-c. Uočljivo je da sa porastom dužine trajanja procesa protivstrujne osmotske dehidracije, a sa tim i povećanjem koncentracije osmotskih rastvora, dolazi do statistički značajnog smanjenja postignutih  $a_w$  vrednosti dehidriranog mesa (tabele 4.17-4.19). Minimumi vrednosti su ostvareni pri srednjim temperaturama procesa u rastvoru R1, odnosno zapaženi su isti trendovi uticaja koncentracije osmotskog rastvora, vremena i temperature procesa na postignute  $a_w$  vrednosti mesa nakon procesa protivstrujne osmotske dehidracije kao i pri istostrujnoj osmotskoj dehidraciji, pri oba odnosa masa materijala i rastvora (1:5 i 1:2), slika 4.13 a i slika 4.19 b.

U slučaju dehidracije u osmotskom rastvoru R2, minimum je postignut pri najnižim temperaturama, a trend uticaja temperature na  $a_w$  vrednost mesa dehidriranog u melasi (R3) je sličan kao i pri istostrujnoj dehidraciji, slika 4.21 b.

Rezultati minimalnih  $a_w$  vrednosti dehidriranog mesa prikazani u tabeli 4.20, pokazuju da postoje statistički značajne razlike između  $a_w$  vrednosti mesa dehidriranog pri različitim postupcima, a u slučaju protivstrujnog prostupka postoje statistički značajne razlike i između  $a_w$  vrednosti mesa u zavisnosti od prirode rastvora. Na osnovu ovih razlika vidi se da protivstrujni proces ima statistički značajan uticaj i da pozitivno utiče na smanjenje  $a_w$  vrednosti dehidriranog mesa u poređenju sa istostrujnim procesom.

#### ***4.2.2.4 Utvrđivanje modela procesa protivstrujne osmotske dehidracije metodom odzivne površine***

U tabelama 4.21, 4.23 i 4.25 prikazani su rezultati analize varijanse (ANOVA) modela odzivnih površina koji su razvijeni na osnovu eksperimentalnih rezultata za proces protivstrujne osmotske dehidracije mesa u osmotskim rastvorima R1-R3. U metodu odzivne površine korišćen je polinom drugog reda (SOP) u obliku jednačine [3.8] radi predviđanja funkcije [3.6] za tehnološke parametre temperature i vremena/koncentracije (koje su međusobno zavisno promenljive).

##### ***4.2.2.4.1 Model procesa protivstrujne osmotske dehidracije u rastvoru R1***

Na osnovu ANOVA testa odziva protivstrujne dehidracije mesa u osmotskom rastvoru R1 prikazanih u tabeli 4.21 vidi se da na vrednost odziva DMC su statistički značajno uticala oba tehnološka parametra temperature ( $t$ ) i vremena ( $\tau$ ), sa tim što se kao uticajniji parametar pokazalo  $\tau$ . Kvadratni član SOP-a modela  $\tau$  statistički značajno doprinosi formiranju modela procesa, dok kvadratni član  $t$  nije statistički značajan. Oba linearna člana su statistički značajni, dok član proizvoda  $\tau t$  nije statistički značajan. Ostatak varijanse, kao mera odstupanja izračunatog modela od izmerenih eksperimentalnih vrednosti, nije statistički značajna, što ukazuje da je primenjeni model za odziv DMC adekvatan za proces protivstrujne osmotske dehidracije mesa. Vrednost koeficijenta determinacije  $R^2$  je takođe visoka (0,9818) što još jednom ukazuje na dobro poklapanje modela SOP-a sa izmerenim eksperimentalnim vrednostima.

ANOVA test pokazuje da na vrednost odziva WL statistički značajno utiču oba parametra, gde je isto kao i kod DMC, vreme bilo uticajniji tehnološki parametar. Svi kvadratni, kao i linearni članovi SOP-a statistički značajno doprinose formiranju modela procesa, dok član proizvoda parametara nije statistički značajan. Ostatak varijanse koji nije statistički značajan,

kao i visoka vrednost  $R^2$  (0,9816) ukazuju na dobro poklapanje predloženog modela za WL sa eksperimentalnim podacima.

Testom je utvrđeno da tehnološki parametar vremena trajanja procesa statistički značajno utiče na vrednosti SG. Kvadratni i linearni član SOP modela  $\tau$  statistički značajno doprinosi formiranju modela procesa, dok ostali članovi nisu statistički značajni. Kao i u dosadašnjim slučajevima, ostatak varijanse nije statistički značajan, a visoka vrednost  $R^2$  (0,9640) ukazuje na dobro poklapanje predloženog modela za SG sa eksperimentalnim podacima.

Analizom ANOVA testa odziva  $a_w$  utvrđeno je da temperatura i vreme statistički značajno utiču na  $a_w$  vrednosti, gde veći uticaj ima vreme trajanja procesa. Oba kvadratna člana SOP-a statistički značajno doprinose formiranju modela procesa, a samo linearni član  $\tau$  statistički značajno doprinosi modelu SOP-a za  $a_w$ . Ostatak varijanse nije statistički značajan, ukazujući na dobro poklapanje predloženog modela za  $a_w$  sa eksperimentalnim podacima, a vrednost  $R^2$  od 0,9575 je veoma visoka za odziv  $a_w$ .

Statistička značajnost kvadratnog člana za  $\tau$  u analizama svih odziva (DMC, WL, SG i  $a_w$ ) ukazuje da se vrednosti ovih odziva ponašaju po kvadratnoj zavisnosti sa tehnološkim parametrom za  $\tau$ , odnosno da dolazi do usporavanja trendova menjanja vrednosti svih odziva nakon izvesnog vremena trajanja procesa osmotske dehidracije, što je evidentno i sa grafika 4.23 a za DMC, 4.24 a za WL, 4.25 a za SG i 4.26 a za  $a_w$ . Slično kao i u slučaju istostrujne osmotske dehidracije, snižavanje sadržaja vode u dehidriranom mesu i istovremeno povećanje prisasta suve materije ulaskom rastvoraka u meso tokom procesa dovodi do smanjenja gradijenta koncentracije, odnosno pogonske sile procesa osmotske dehidracije, a sa tim i usporavanja trenda menjanja vrednosti svih odziva u kasnijim fazama procesa osmotske dehidracije. Iako se u protivstrujnom procesu tokom procesa povećava koncentracija osmotskog rastvora radi održavanja visoke vrednosti gradijenta koncentracija, snižavanje sadržaja vode u materijalu koji se dehidrira dovodi do umanjenja brzine dehidracije u kasnijim fazama procesa.

**Tabela 4.21** Analiza varijanse (ANOVA) odziva modela procesa protivstrujne osmotske dehidracije mesa u osmotskom rastvoru R1

Član	Tehnološki parametri	df <sup>+</sup>	Zbir kvadrata			
			DMC	WL	SG	a <sub>w</sub>
Kvadratni	Temperatura	1	3,9241 <sup>ns</sup>	0,002986*	0,000003 <sup>ns</sup>	0,000418*
	Vreme	1	26,1175*	0,007064*	0,000571*	0,001020*
Linearni	Temperatura	1	100,4256*	0,018276*	0,000112 <sup>ns</sup>	0,000026 <sup>ns</sup>
	Vreme	1	752,6023*	0,110911*	0,010701*	0,014214*
Proizvod	Temp.xVreme	1	0,1155 <sup>ns</sup>	0,000823 <sup>ns</sup>	0,000002 <sup>ns</sup>	0,000192 <sup>ns</sup>
Greška	Ostatak varijanse	9	16,3489 <sup>ns</sup>	0,002631 <sup>ns</sup>	0,000425 <sup>ns</sup>	0,000704 <sup>ns</sup>
	Ukupan zbir kvadrata	14	899,5339	0,142692	0,011813	0,016574
R <sup>2</sup>			0,9818	0,9816	0,9640	0,9575

<sup>+</sup>Broj stepeni slobode

\* Statistički značajno na nivou p<0,05

<sup>ns</sup> Nije statistički značajno

U tabeli 4.22 prikazani su regresioni koeficijenti SOP-a jednačina [3.18] za četiri odziva modela protivstrujne osmotske dehidracije mesa u osmotskom rastvoru R1. U tabeli su naznačene i statističke značajnosti pojedinačnih koeficijenata koji se mogu koristiti za formiranje kvadratnih jednačina koje opisuju model procesa protivstrujne osmotske dehidracije.

**Tabela 4.22.** Regresioni koeficijenti polinoma drugog stepena za pet odziva modela protivstrujne osmotske dehidracije mesa u osmotskom rastvoru R1

	Y1/DMC	Y2/WL	Y3/SG	Y4/a <sub>w</sub>
β <sub>0</sub>	28,33889*	0,079324 <sup>ns</sup>	0,060054*	1,044144*
β <sub>11</sub>	0,00482 <sup>ns</sup>	0,000133*	-0,000004 <sup>ns</sup>	0,000050*
β <sub>22</sub>	-0,78857*	-0,012969*	-0,003686*	0,004929*
β <sub>1</sub>	-0,11109 <sup>ns</sup>	-0,005179 <sup>ns</sup>	-0,000002 <sup>ns</sup>	-0,003998*
β <sub>2</sub>	9,91743*	0,153586*	0,040231*	-0,058571*
β <sub>12</sub>	-0,00507 <sup>ns</sup>	-0,000428 <sup>ns</sup>	0,000022 <sup>ns</sup>	0,000207 <sup>ns</sup>

\* Statistički značajno na nivou p<0,05

<sup>ns</sup> Nije statistički značajno

## 4.2.2.4.2 Model procesa protivstrujne osmotske dehidracije u rastvoru R2

U tabeli 4.23 prikazani su rezultati ANOVA testa modela odzivnih površina koji su razvijeni na osnovu eksperimentalnih rezultata za proces protivstrujne osmotske dehidracije mesa u osmotskom rastvoru R2. Na vrednost odziva DMC su statistički značajno uticala oba tehnološka parametra (temperatura i vreme), sa tim što se kao uticajni parametar pokazalo vreme. Kvadratni član SOP-a za  $\tau$  statistički značajno doprinosi formiranju modela procesa, dok kvadratni član za  $t$  nije statistički značajan. Oba linearna člana su statistički značajna, dok član proizvoda  $t\tau$  nije statistički značajan. Ostatak varijanse nije statistički značajan, što ukazuje da je primenjeni model za odziv DMC adekvatan za proces protivstrujne osmotske dehidracije mesa. Vrednost koeficijenta determinacije  $R^2$  je takođe visoka (0,9919) što još jednom ukazuje na dobro poklapanje modela SOP-a sa izmerenim eksperimentalnim vrednostima.

ANOVA test pokazuje da na vrednost odziva WL statistički značajno utiču oba parametra, sa istim nivoima uticajnosti kao i kod DMC. Svi članovi SOP-a za  $t$  i  $\tau$  statistički značajno doprinose formiranju modela procesa. Ostatak varijanse koji nije statistički značajan, kao i visoka vrednost  $R^2$  (0,9946) ukazuju na dobro poklapanje predloženog modela za WL sa eksperimentalnim podacima.

**Tabela 4.23** Analiza varijanse (ANOVA) odziva modela procesa protivstrujne osmotske dehidracije mesa u osmotskom rastvoru R2

Član	Tehnološki parametri	df <sup>+</sup>	Zbir kvadrata			
			<i>DMC</i>	<i>WL</i>	<i>SG</i>	<i>a<sub>w</sub></i>
Kvadratni	Temperatura	1	0,0340 <sup>ns</sup>	0,000942*	0,000590*	0,000005 <sup>ns</sup>
	Vreme	1	25,8814*	0,005550*	0,000445*	0,000202 <sup>ns</sup>
Linearni	Temperatura	1	74,5836*	0,017464*	0,000039 <sup>ns</sup>	0,004326*
	Vreme	1	835,1908*	0,113025*	0,006898*	0,015053*
Proizvod	Temp.*Vreme	1	1,2005 <sup>ns</sup>	0,000854*	0,000071 <sup>ns</sup>	0,000140 <sup>ns</sup>
Greška	Ostatak varijanse	9	7,6109 <sup>ns</sup>	0,000754 <sup>ns</sup>	0,000235 <sup>ns</sup>	0,000680 <sup>ns</sup>
	Ukupan zbir kvadrata	14	944,5013	0,138589	0,008277	0,020406
$R^2$			0,9919	0,9946	0,9716	0,9667

<sup>+</sup> Broj stepeni slobode

\* Statistički značajno na nivou  $p < 0,05$

<sup>ns</sup> Nije statistički značajno

Testiranjem odziva SG utvrđeno je da oba tehnološka parametra statistički značajno utiču na vrednosti SG, kao i u prethodnim slučajevima za DMC i WL, kao i pri osmotskoj dehidraciji

mesa u R1, odnosno pri istostrujnoj osmotskoj dehidraciji. Oba kvadratna člana SOP-a statistički značajno doprinose formiranju modelu procesa, a samo je linearni član za vreme statistički značajan. Član proizvoda SOP-a, takođe nije statistički značajan. Kao i kod ostalih odziva, ostatak varijanse nije statistički značajan, a visoka vrednost  $R^2$  (0,9716) ukazuje na dobro poklapanje predloženog modela za SG sa eksperimentalnim podacima.

Analizom ANOVA testa odziva  $a_w$  utvrđeno je da oba tehnološka parametara statistički značajno utiču na  $a_w$  vrednosti, gde je veći uticaj ostvarilo vreme trajanja protivstrujne osmotske dehidracije, kao i u slučaju rastvora R1. Kvadratni članovi SOP-a za  $t$  i  $\tau$  nisu statistički značajni, dok su oba linearna člana tehnoloških parametara statistički značajni. Član proizvoda parametara nije pokazao statističku značajnost. Ostatak varijanse nije statistički značajan, ukazujući na dobro poklapanje predloženog modela za  $a_w$  sa eksperimentalnim podacima, na šta ukazuje i visoka vrednost  $R^2$  (0,9667).

Statistička značajnost kvadratnog člana za  $t$  ukazuje da se vrednosti odziva DMC, WL i SG ponašaju po kvadratnoj zavisnosti sa tehnološkim parametrom za  $\tau$ , kao i u slučaju osmotskog rastvora R1, odnosno isto kao i u slučaju istostrujne osmotske dehidracije u osmotskom rastvoru R2. Vrednosti odziva DMC, WL i SG nakon izvesnog vremena trajanja procesa osmotske dehidracije usporavaju porast, što je evidentno i sa grafika 4.23 b za DMC, 4.24 b za WL i 4.25 b za SG, iz identičnih razloga opisanih za osmotski rastvor R1.

U tabeli 4.24 prikazani su regresioni koeficijenti SOP-a jednačina [3.18] za četiri odziva modela protivstrujne osmotske dehidracije mesa u osmotskom rastvoru R2, zajedno sa statističkim značajnostima pojedinačnih koeficijenata.

**Tabela 4.24** Regresioni koeficijenti polinoma drugog stepena za pet odziva modela protivstrujne osmotske dehidracije mesa u osmotskom rastvoru R2

	$Y1/DMC$	$Y2/WL$	$Y3/SG$	$Y4/a_w$
$\beta_0$	25,56678*	0,067819 <sup>ns</sup>	-0,001044 <sup>ns</sup>	0,885550*
$\beta_{11}$	-0,00045 <sup>ns</sup>	0,000075*	-0,000059*	-0,000005 <sup>ns</sup>
$\beta_{22}$	-0,78500*	-0,011495*	-0,003255*	-0,002190 <sup>ns</sup>
$\beta_1$	0,26249 <sup>ns</sup>	-0,001137 <sup>ns</sup>	0,004382*	0,001230 <sup>ns</sup>
$\beta_2$	10,55800*	0,145600*	0,039079*	-0,015440 <sup>ns</sup>
$\beta_{12}$	-0,01633 <sup>ns</sup>	-0,000436*	-0,000125 <sup>ns</sup>	0,000177 <sup>ns</sup>

\* Statistički značajno na nivou  $p < 0,05$  <sup>ns</sup> Nije statistički značajno



#### 4.2.2.4.3 Model procesa protivstrujne osmotske dehidracije u rastvoru R3

U tabeli 4.25. prikazani su rezultati ANOVA testa modela odzivnih površina koji su razvijeni na osnovu eksperimentalnih rezultata za proces protivstrujne osmotske dehidracije mesa u osmotskom rastvoru R3. Na vrednost odziva DMC su statistički značajno uticala oba tehnološka parametra, sa tim što se kao uticajniji parametar pokazalo  $\tau$ , pa zatim  $t$ , što je inače slučaj sa protivstrujnim osmotskim dehidracijama u sva tri osmotska rastvora. Jedino kvadratni član SOP-a za  $t$  nije statistički značajan, dok su svi ostali članovi SOP-a statistički značajno doprinosili formiranju modela procesa. Ostatak varijanse nije statistički značajan, što ukazuje da je primenjeni model za odziv DMC adekvatan za proces protivstrujne osmotske dehidracije mesa, a takođe i vrednost koeficijenta determinacije  $R^2$  je visoka (0,9948) što još jednom ukazuje na dobro poklapanje modela SOP-a sa izmerenim eksperimentalnim vrednostima.

ANOVA test pokazuje da na vrednost odziva WL statistički značajno utiču oba parametra, sa istim nivoima uticajnosti kao i kod DMC. Kvadratni i linearni članovi SOP-a za  $t$  i  $\tau$  statistički značajno doprinose formiranju modela procesa, jedino član proizvoda  $\tau t$  nije statistički značajan. Ostatak varijanse koji nije statistički značajan, kao i visoka vrednost  $R^2$  (0,9926) ukazuju na dobro poklapanje predloženog modela za WL sa eksperimentalnim podacima.

Testiranjem odziva SG utvrđeno je da oba tehnološka parametra statistički značajno utiču na vrednosti SG, kao i u prethodnim slučajevima za DMC i WL, kao i pri osmotskoj dehidraciji mesa u rastvorima R1 i R2, odnosno pri istostrujnoj osmotskoj dehidraciji. Kvadratni članovi SOP-a za  $t$  i  $\tau$  nisu statistički značajni, dok linearni članovi statistički značajno doprinose modelu SOP-a za SG. Član proizvoda  $\tau t$  nije statistički značajan. Kao i u slučajevima ostalih odziva, ostatak varijanse nije statistički značajan, a visoka vrednost  $R^2$  (0,9148) ukazuje na dobro poklapanje predloženog modela za SG sa eksperimentalnim podacima.

Analizom ANOVA testa odziva  $a_w$  utvrđeno je da samo vreme trajanja procesa statistički značajno utiče na  $a_w$  vrednosti. Samo linearni član za  $\tau$  statistički značajno doprinosi modelu SOP-a za  $a_w$ , dok svi ostali članovi nisu statistički značajni. Ostatak varijanse nije statistički značajan, ukazujući na dobro poklapanje predloženog modela za  $a_w$  sa eksperimentalnim podacima, na šta ukazuje i visoka vrednost  $R^2$  (0,9674).

Statistička značajnost kvadratnih članova za  $\tau$  ukazuje da se vrednosti odziva DMC i WL ponašaju po kvadratnoj zavisnosti sa tehnološkim parametrom  $\tau$ , isto kao i u svim ostalim dehidracijama. Vrednosti DMC i WL nakon izvesnog vremena trajanja procesa osmotske

dehidracije usporavaju porast, što je evidentno i sa grafika 4.23 c za DMC i 4.24 c za WL iz identičnih razloga opisanih za protivstrujne procesa u osmotskim rastvorima R1 i R2 .

**Tabela 4.25** Analiza varijanse (ANOVA) odziva modela procesa protivstrujne osmotske dehidracije mesa u osmotskom rastvoru R3

Član	Tehnološki parametri	df <sup>+</sup>	Zbir kvadrata			
			<i>DMC</i>	<i>WL</i>	<i>SG</i>	<i>a<sub>w</sub></i>
Kvadratni	Temperatura	1	0,006 <sup>ns</sup>	0,002730*	0,000507 <sup>ns</sup>	0,000034 <sup>ns</sup>
	Vreme	1	28,110*	0,008900*	0,000094 <sup>ns</sup>	0,000000 <sup>ns</sup>
Linearni	Temperatura	1	95,976*	0,012166*	0,000841*	0,000000 <sup>ns</sup>
	Vreme	1	1263,863*	0,145130*	0,008841*	0,013188*
Proizvod	Temp.*Vreme	1	4,456*	0,000001 <sup>ns</sup>	0,000000 <sup>ns</sup>	0,000001 <sup>ns</sup>
Greška	Ostatak varijanse	9	7,311 <sup>ns</sup>	0,001267 <sup>ns</sup>	0,000958 <sup>ns</sup>	0,000445 <sup>ns</sup>
	Ukupan zbir kvadrata	14	1399,722	0,170194	0,011241	0,013669
R <sup>2</sup>			0,9948	0,9926	0,9148	0,9674

<sup>+</sup> Broj stepeni slobode

\* Statistički značajno na nivou p<0,05

<sup>ns</sup> Nije statistički značajno

U tabeli 4.26 prikazani su regresioni koeficijenti SOP-a jednačina [3.18] za četiri odziva modela protivstrujne osmotske dehidracije mesa u osmotskom rastvoru R3, zajedno sa statističkim značajnostima pojedinačnih koeficijenata.

**Tabela 4.26.** Regresioni koeficijenti polinoma drugog stepena za pet odziva modela protivstrujne osmotske dehidracije mesa u osmotskom rastvoru R3

	<i>Y1/DMC</i>	<i>Y2/WL</i>	<i>Y3/SG</i>	<i>Y5/a<sub>w</sub></i>
$\beta_0$	27,45711*	-0,099742*	0,097093*	0,932494*
$\beta_{11}$	-0,00020 <sup>ns</sup>	-0,000127*	0,000055 <sup>ns</sup>	-0,000014 <sup>ns</sup>
$\beta_{22}$	-0,81810*	-0,014557*	-0,001500 <sup>ns</sup>	0,000071 <sup>ns</sup>
$\beta_1$	0,12582 <sup>ns</sup>	0,011274*	-0,003201 <sup>ns</sup>	0,001032 <sup>ns</sup>
$\beta_2$	10,29790*	0,157421*	0,026447*	-0,020812*
$\beta_{12}$	0,03147*	-0,000015 <sup>ns</sup>	-0,000008 <sup>ns</sup>	-0,000017 <sup>ns</sup>

\* Statistički značajno na nivou p<0,05

<sup>ns</sup> Nije statistički značajno

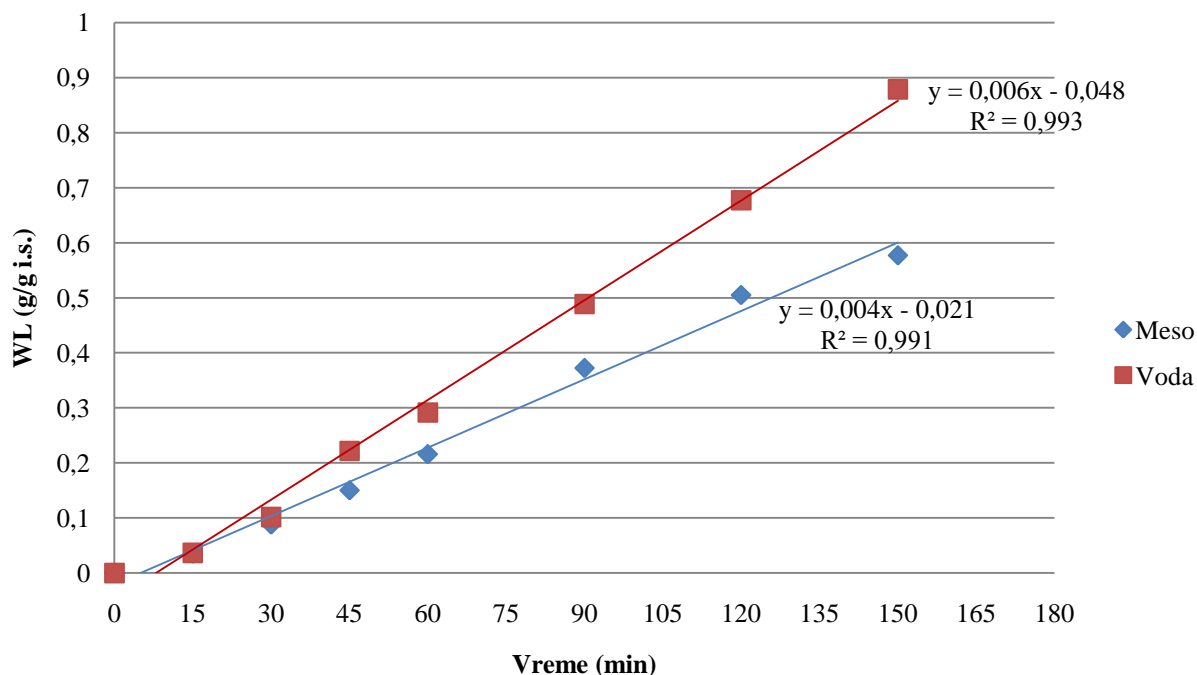
### 4.3. Energetski bilans procesa osmotske dehidracije

Za proračun i prikaz energetske efikasnosti procesa osmotske dehidracije, konvektivno sušenje je uzeto kao osnova za poređenje.

Pri poređenju energetske efikasnosti osmotske dehidracije, obzirom na prirodu mehanizama kojima se uklanja voda iz dehidrirajućeg materijala, odnosno postojanja i suprotnog toka materije – rastvorka iz osmotskog rastvora u materijal (Koprivica i sar., 2010) i koji dovodi do prirasta suve materije, specifičnosti procesa osmotske dehidracije, potrebno je odabrati odziv procesa za poređenje koji se kao opšta veličina koristi za karakterisanje i drugih vrsta sušenja i omogućava njihovo međusobno upoređivanje. Od svih odziva koji su praćeni i čije veličine su prikazane u poglavljima 4.1 i 4.2.2, jedino na veličinu gubitka vode (WL) ne utiče prirast suve materije, te je stoga veličina WL pogodna za poređenje energetske efikasnosti dva režima sušenja.

Usled velike kompleksnosti sastava mesa svinja (Stamenković i sar., 2007), toplota neophodna za uklanjanje ekvivalentne količine vode iz mesa konvektivnim sušenjem nije se proračunavala direktnom primenom izraza za količinu toplote potrebnu za povećanje temperature i isparavanje prisutne vode [3.20], jer na taj način bi se proračun suviše pojednostavio ne uzimajući u obzir fenomene koji su karakteristični za biološki materijal, kakav je meso gde se voda nalazi u miofibrilima, odnosno funkcionalnim organelama ćelija mesa, a takođe i u unutarćelijskom prostoru, između miofibrila i sarkoplazme (Barat i sar., 2009). Usled kompleksnosti proračuna, urađen je jednostavan ekperiment praćenja dinamike isparavanja vode, u paralelnim probama mesa i destilovane vode.

Na slici 4.27 prikazan je grafik zavisnosti gubitka vode iz uzoraka vode i mesa i vremena trajanja konvektivnog sušenja.



**Slika 4.27** Zavisnost gubitka vode isparavanjem iz uzoraka vode i mesa od vremena trajanja konvektivnog sušenja

Na osnovu grafika sa slike 4.27 određene su jednačine lineranih zavisnosti gubitaka vode i vremena trajanja sušenja za uzorke vode i mesa, koje su korištene za proračun primljene toplote za date nivoe gubitka vode. Visoki koeficijenti korelacije ukazuju na dobro poklapanje eksperimentalnih podataka sa dobijenim linearnim zavisnostima.

Obzirom da su uzorci vode i mesa sušeni pri istim uslovima (ista početna temperatura, ista vrsta, dimenzije i geometrija posuda za sušenje, ista količina materijala, isti položaj u sušnici, ista temperatura sušenja i merenje gubitaka vode u istim vremenskim intervalima), može se izvesti pretpostavka da su jedanku količinu toplote primila oba uzorka, vode i mesa.

Količina toplote potrebna za povećanje temperature uzorka vode i zatim za isparavanje određene količine vode može se izračunati na osnovu sledećeg izraza (Toledo, 2007):

$$Q = c_p \cdot m_u \cdot (t_2 - t_1) + L \cdot m_i \quad [3.20]$$

gde je:

$Q$  – količina toplote potrebna za zagrevanje uzorka i isparavanje date količine vode, [kJ]

$c_p$  – specifični toplotni kapacitet uzorka, [kJ/kg·C]

$m_u$  – masa uzorka, [kg]

$t_2$  – krajnja temperatura uzorka, [°C]

$t_1$  – početna temperatura uzorka, [°C]

$L$  – latentna toplota isparavanja vode, [kJ/kg]

$m_i$  – masa isparene vode iz uzorka, [kg].

Količina toplote za osmotsku dehidraciju proračunata je na sledeći način:

Na osnovu postignutih nivoa WL nakon 5 časova trajanja procesa osmotske dehidracije u maskimalnim koncentracijama osmotskih rastvora, tabele 4.1, 4.2, 4.3, 4.17, 4.18 i 4.19, u postavljenom eksperimentu konvektivnog sušenja, a na osnovu grafika i jednačina sa slike 4.27, određeno je vreme koje bi bilo potrebno za isti nivo vrednosti WL u procesu konvektivnog sušenja mesa, kao i u procesima osmotske dehidracije. Zatim je za to isto vreme trajanja konvektivnog sušenja mesa proračunata vrednost WL uzoraka vode. Pošto su svi uslovi jednaki za oba uzorka vode i mesa, jednaka je i količina toplote koju su ova dva uzorka primila. Ta količina toplote se računa na osnovu podatka gubitka vode i jednačine [3.20], odnosno to je količina utrošene toplote neophodne za uklanjanje, kako proračunate količine vode iz uzoraka vode, tako i količine vode iz uzorka mesa u procesu konvektivnog sušenja, odnosno početnih WL iz osmotski dehidriranog mesa. Na taj način dolazi se do pretpostavljene i proračunate „uštete” u količini toplote u procesu osmotske dehidracije.

U osmotskim dehidracijama na povećanim temperaturama (35°C i 50°C), u vrednosti „ušteđene“ količine toplote uračunate su i potrebne toplote za zagrevanje sistema meso/osmotski rastvori, te stoga iskazane vrednosti toplota su međusobno uporedive i iskazuju energetski bilans, kako ušteđene toplote na osnovu gubitka vode, tako i količine toplote neophodne za zagrevanje sistema.

Količine toplote neophodne za zagrevanje sistema uzoraka mesa i osmotskog rastvora na temperature procesa osmotske dehidracije od 35°C i 50°C su izračunate prema sledećem izrazu (Toledo, 2007):

$$Q_z = (c_{p1} \cdot m_{u1} + c_{p2} \cdot m_{u2}) \cdot (t_2 - t_1) \quad [3.21]$$

gde je:

$Q_z$  – količina toplote potrebna za zagrevanje sistema mesa i osmotskog rastvora, [kJ]

$c_{p1}$  – specifični toplotni kapacitet mesa, [kJ/kg·C]

$m_{u1}$  – masa mesa, [kg]

$c_{p2}$  – specifični toplotni kapacitet osmotskog rastvora, [kJ/kg·C]

$m_{u2}$  – masa osmotskog rastvora, [kg]

$t_2$  – krajnja temperatura procesa osmotske dehidracije, [°C]

$t_1$  – početna temperatura procesa osmotske dehidracije, [°C]

Specifični toplotni kapacitet mesa,  $c_{p1}$ , izračunat je na osnovu hemijskog sastava svinjskog mesa korišćenog u procesima osmotske dehidracije i sledećeg izraza (Toledo, 2007):

$$c_{p1} = P \cdot (c_{pp}) + M \cdot (c_{pm}) + A \cdot (c_{pa}) + V \cdot (c_{pv}) \quad [3.22]$$

gde je:

$c_{p1}$ – specifični toplotni kapacitet svinjskog mesa:	3,38 kJ/kg·C,
P – maseni udeo proteina u svinjskom mesu:	0,2078 kg/kg i.s.,
$c_{pp}$ – specifični toplotni kapacitet proteina:	0,84 kJ/kg·C,
M – maseni udeo masti u svinjskom mesu:	0,0031 kg/kg i.s.,
$c_{pm}$ – specifični toplotni kapacitet masti:	1,67 kJ/kg·C,
A – maseni udeo pepela u svinjskom mesu:	0,0011 kg/kg i.s.,
$c_{pa}$ – specifični toplotni kapacitet pepela:	1,14 kJ/kg·C,
V – maseni udeo vode u svinjskom mesu:	0,75 kg/kg i.s.,
$c_{pv}$ – specifični toplotni kapacitet vode:	4,19 kJ/kg·C.

Specifični toplotni kapaciteti osmotskih rastvora,  $c_{p2}$ , izračunati su na osnovu modifikovanog izraza [3.22], u kome su umesto masenih udela pojedinačnih komponenti hemijskog sastava mesa i njihovih odgovarajućih specifičnih toplotnih kapaciteta, korišteni maseni udeli komponenata osmotskih rastvora i njihovi odgovarajući specifični toplotni kapaciteti:

R1	$c_p(\text{NaCl})$ – specifični toplotni kapacitet kristalnog natrijum hlorida:	0,85 kJ/kg·C
	N – maseni udeo natrijum hlorida u osmotskom rastvoru R1:	0,1372 kg/kg i.s.
	$c_p(\text{saharoza})$ – specifični toplotni kapacitet kristalne saharoze:	1,24 kJ/kg·C
	S – maseni udeo saharoze u osmotskom rastvoru R1:	0,4706 kg/kg i.s.
	$c_p(\text{voda})$ – specifični toplotni kapacitet vode:	4,19 kJ/kg·C
	V – maseni udeo vode u osmotskom rastvoru R1:	0,3922
	$c_p(\text{R1})$ – specifični toplotni kapacitet osmotskog rastvora R1:	2,34 kJ/kg·C
R2*	$c_p(\text{R2})$ – specifični toplotni kapacitet osmotskog rastvora R2:	2,22 kJ/kg·C
	*mešavina osmotskog rastvora R1 i R3, u masenom odnosu 1:1	
R3	$c_p(\text{R3})$ – specifični toplotni kapacitet melase:	2,09 kJ/kg·C

(<http://www.diracdelta.co.uk>; <http://www.sugartech.co.za>; <http://www.engineeringtoolbox.com>; Olbrich, 1963).

U tabeli 4.27 date su vrednosti gubitaka vode i količine toplote koje bi se utrošile u ekvivalentnim procesima konvektivnog sušenja iste količine mesa od 1kg, odnosno pri istim vrednostima gubitaka vode (WL), a u tabeli 4.28. prikazane su vrednosti količine toplotne energije neophodne za uklanjanje 1 kg vode iz mesa u procesima istostrujene i protivstrujne osmotske dehidracije na različitim temperaturama.

**Tabela 4.27** Količine toplote neophodne za isti nivo WL u konvektivnom sušenju za uzorke mesa mase 1kg

	R1			R2			R3		
Temperatura	20°C	35°C	50°C	20°C	35°C	50°C	20°C	35°C	50°C
<i>Istostrujna osmotska dehidracija</i>									
WL (g/g i.s.)	0,4231 ±0,0136	0,4657 ±0,0243	0,4950 ±0,0029	0,4280 ±0,0035	0,4980 ±0,0058	0,5487 ±0,0004	0,4703 ±0,0025	0,5207 ±0,0115	0,5843 ±0,0090
Q (kJ/kg mesa)	1631,35 ±49,45 <sup>a</sup>	1529,17 ±82,47 <sup>a</sup>	1402,23 ±9,84 <sup>b</sup>	1627,54 ±11,97 <sup>a</sup>	1647,64 ±19,77 <sup>a</sup>	1602,32 ±1,42 <sup>a</sup>	1770,94 ±8,51 <sup>c</sup>	1734,34 ±39,04 <sup>ac</sup>	1742,54 ±30,51 <sup>c</sup>
<i>Protivstrujna osmotska dehidracija</i>									
WL (g/g i.s.)	0,4365 ±0,2311	0,4451 ±0,0108	0,4881 ±0,0015	0,4768 ±0,0061	0,4907 ±0,0085	0,5288 ±0,0027	0,4967 ±0,0139	0,5614 ±0,0045	0,5698 ±0,0031
Q (kJ/kg mesa)	1656,34 ±73,97 <sup>a</sup>	1564,61 ±36,67 <sup>a</sup>	1589,51 ±5,10 <sup>a</sup>	1793,01 ±20,74 <sup>c</sup>	1722,83 ±28,84 <sup>ac</sup>	1734,64 ±9,24 <sup>ac</sup>	1860,44 ±47,13 <sup>cd</sup>	1966,31 ±15,34 <sup>d</sup>	1881,40 ±10,50 <sup>d</sup>

<sup>abc</sup> Različita slova u eksponentu u tabeli ukazuju na statistički značajnu razliku između vrednosti, pri nivou značajnosti od  $p < 0,05$  (na osnovu post-hoc Tukey-evog HSD testa)

**Tabela 4.28** Toplotna energija neophodna za uklanjanje 1 kg vode iz sirovine mesa

	R1			R2			R3		
Temperatura	20°C	35°C	50°C	20°C	35°C	50°C	20°C	35°C	50°C
<i>Istostrujna osmotska dehidracija</i>									
Q (kJ/kgH <sub>2</sub> O)	127,87 ±4,12 <sup>a</sup>	601,89 ±31,51 <sup>b</sup>	1023,23 ±5,99 <sup>c</sup>	126,40 ±1,03 <sup>a</sup>	544,75 ±6,35 <sup>bd</sup>	890,29 ±0,65 <sup>e</sup>	115,03 ±0,62 <sup>a</sup>	502,40 ±11,10 <sup>d</sup>	804,38 ±12,39 <sup>f</sup>
<i>Protivstrujna osmotska dehidracija</i>									
Q (kJ/kgH <sub>2</sub> O)	123,94 ±95,34 <sup>a</sup>	393,17 ±9,55 <sup>g</sup>	606,23 ±1,86 <sup>bd</sup>	113,46 ±1,45 <sup>a</sup>	349,30 ±6,05 <sup>g</sup>	545,95 ±2,79 <sup>bd</sup>	108,92 ±3,05 <sup>a</sup>	298,36 ±2,39 <sup>f</sup>	492,98 ±2,68 <sup>d</sup>

<sup>abc</sup> Različita slova u eksponentu u tabeli ukazuju na statistički značajnu razliku između vrednosti, pri nivou značajnosti od  $p < 0,05$  (na osnovu post-hoc Tukey-evog HSD testa)

### 4.3.1 Analiza energetskog bilansa u procesu osmotske dehidracije u poređenju sa konvektivnim sušenjem

Toplotna energija u procesu osmotske dehidracije koristi se za potrebe zagrevanja sirovine koja se dehidrira na radnu temperaturu (u slučaju animalnih sirovina, temperatura skladištenja iznosi 4°C) i podizanja temperature procesa (na temperaturu u ovom istraživanju od 35°C, odnosno 50°C) radi ubrzanja mehanizama prenosa mase, te stoga i postizanja boljih tehnoloških rezultata u poređenju sa rezultatima procesa osmotske dehidracije na temperaturama koje uopšte ne zahtevaju trošenje toplotne energije (20°C ili sobna temperatura).

Nivo utroška toplotne energije za zagrevanje osmotskih rastvora na radne temperature, prikazan je u tabeli 4.29, i na te vrednosti utiču na prvom mestu, procesna temperatura na koju se zagreva sistem meso/osmotski rastvor, zatim, priroda osmotskog rastvora koja svojim različitim vrednostima specifičnog toplotnog kapaciteta zahteva i različite količine toplotne energije za zagevanje do iste procesne temperature, kao i tip procesa osmotske dehidracije. Kao što je već navedeno u poglavlju 4.2.2 u eksperimentima protivstrujne osmotske dehidracije korišten odnos materijala i osmotskog rasvora je bio 1:2 u poređenju sa 1:5 kod istostrujne osmotske dehidracije, odnosno bila je prisutna manja količina osmotskog rastvora koji se zagrevao do procesnih temperatura u slučaju protivstrujnog procesa, odnosno manja je bila i potreba za utroškom toplotne energije.

**Tabela 4.29** Toplotna energija neophodna za zagrevanje sisitema meso/osmotski rastvor na radnu temperaturu

	R1			R2			R3		
Temperatura	20°C	35°C	50°C	20°C	35°C	50°C	20°C	35°C	50°C
<i>Istostrujna osmotska dehidracija</i>									
Q (kJ)	5,41	28,03	50,65	5,41	27,13	48,85	5,41	26,16	47,00
<i>Protivstrujna osmotska dehidracija</i>									
Q (kJ)	5,41	17,50	29,59	5,41	17,14	28,87	5,41	16,75	28,09

U svakom slučaju ovi nivoi utroška toplotne enegije za potrebe zagrevanja sistema meso/osmotski rastvor su mnogo manji nego količine toplotne energije koja bi se morala utrošiti u procesima konvektivnog sušenja pri istim nivoima gubitka vode.

Na osnovu podataka prikazanih u tabeli 4.27, vidi se da su se nivoi uštede toplotne energije u poređenju sa konvetvinim sušenjem kretali od 1,40 MJ do 1,97 MJ po 1kg svežeg mesa. Procesi na 20°C koji su energetski u potpunosti nezahtevni, ostvarili su ekvivalentne



uštete u toplotnoj energiji od 1,63 MJ do 1,86 MJ po 1 kilogramu svežeg mesa u energetski najefikasnijim procesima, odnosno ostvarilo se povećanje uštete toplotne enegije od 12% samo upotrebom tehnoloških modifikacija procesa osmotske dehidracije, bez utroška toplotne energije.

Toplotna energija potrebna za uklanjanje 1kg vode iz mesa u procesima osmotske dehidracije kretala se od minimalnih  $108,92 \pm 3,05$  kJ/kgH<sub>2</sub>O do maksimalnih  $1023,23 \pm 5,99$  kJ/kgH<sub>2</sub>O, na šta su uticali primenjeni tehnološki parametri, tabela 4.28. U poređenju sa količinom toplotne energije neophodne za uklanjanje 1kg vode u procesima konvektivnog sušenja, koja se kreće od 8000 do 9500 kJ/kgH<sub>2</sub>O (Lenart i Lewicki, 1988), količina toplote koja se troši za uklanjanje iste količine vode u procesu osmotske dehidracije je od 8,55 do 80,28 puta manja.

#### **4.3.2 Analiza uticaja prirode rastvora na energetski bilans procesa osmotske dehidracije**

Na osnovu rezultata prikazanih u tabeli 4.27, vidi se da nije bilo statistički značajne razlike između vrednosti „ušteđene“ količine toplote prilikom istostrujne osmotske dehidracije mesa u različitim osmotskim rastvorima, na 20°C i 35°C, za osmotske rastvore R1 i R2, dok je na temperaturi od 50°C postojala statistički značajna razlika između ovih vrednosti između sva tri rastvora, što ukazuje da priroda rastvora statistički značajno utiče na ušteđenu količinu toplote prilikom istostrujne osmotske dehidracije mesa na 50°C, kao i da su najveće vrednosti ostvarene prilikom dehidracije u osmotskom rastvoru R3. Iste statističke značajnosti potvrđuje i analiza toplotne energije potrebne za uklanjanje 1kg vode iz mesa dehidriranog na istim temperaturama u različitim osmotskim rastvorima, tabela 4.28.

U slučaju protivstrujne osmotske dehidracije primetne su statistički značajne razlike između velična ušteđene toplote u različitim osmotskih rastvorima na svim temperaturama, što upućuje na zaključak da priroda osmotskog rastvora statistički značajno utiče na ušteđenu količinu toplote prilikom protivstrujne osmotske dehidracije mesa i ponovo su najveće vrednosti ostvarene prilikom osmotskih dehidracija mesa u rastvoru R3.

### 4.3.3 Analiza uticaja temperature procesa osmotske dehidracije na energetski bilans procesa

Vrednosti uštedene količine toplote prilikom istostrujne osmotske dehidracije mesa u osmotskom rastvoru R1, tabela 4.27, pokazuju da postoji statistički značajna razlika između vrednosti na 20°C i 35°C u poređenju sa vrednosti na 50°C, odnosno da je povećana temperatura procesa statistički značajno uticala na smanjenje uštedene toplote u procesu osmotske dehidracije. To potvrđuju i vrednosti WL ovih uzoraka, odnosno povećanje tehnološke efikasnosti procesa usled povećanja temperature procesa nije bilo dovoljno veliko da kompenzuje u energetskom bilansu dodatni utrošak energije radi zagrevanja sistema meso/osmotski rastvor R1 na temperaturu od 50°C.

U slučaju istostrujne dehidracije mesa u osmotskom rastvoru R2, ne postoji statistički značajna razlika između vrednosti uštedenja količine toplote, odnosno dodatni utrošak energije za povećanje temperature procesa doveo je i do značajnog povećanja vrednosti WL, tako da je energetski bilans ovih uzoraka približan, tabela 4.27.

U slučaju istostrujne dehidracije mesa u osmotskom rastvoru R3, ne postoji statistički značajna razlika između vrednosti uštedenja količine toplote, kao i u slučaju R2. Dodatni utrošak energije za povećanje temperature procesa doveo je i do značajnog povećanja vrednosti WL, tako da je energetski bilans ovih uzoraka približan, tabela 4.27.

Kod protivstrujne osmotske dehidracije mesa u rastvoru R1, nije se javila statistički značajna razlika između vrednosti uštedenih količina toplote pri različitim temperaturama procesa, što ukazuje da povećanje utroška energije radi zagrevanja procesa nije statistički značajno promenilo energetski bilans, jer je usled povećanja temperature procesa došlo i do dovoljnog povećanja vrednosti WL, tabela 4.27.

U slučaju protivstrujne osmotske dehidracije mesa u rastvoru R2 nije se javila statistički značajna razlika između vrednosti uštedenih količina toplote pri različitim temperaturama procesa, kao i u slučaju protivstrujnog procesa u R1. To ukazuje da povećanje utroška energije radi zagrevanja procesa nije statistički značajno promenilo energetski bilans, jer je usled povećanja temperature procesa došlo i to dovoljnog povećanja vrednosti WL, tabela 4.27.

Vrednosti uštedene količine toplote u procesu protivstrujne osmotske dehidracije mesa u osmotskom rastvoru R3, ne pokazuju statistički značajnu razliku između vrednosti u procesu na različitim temperaturama, tako da je dodatni utrošak toplote za potrebe zagrevanja sistema

meso/osmotski rastvor doprineo dovoljno izraženom porastu vrednosti WL koje su kompenzovale utrošenu toplotu, tabela 4.27.

Na osnovu rezultata statističkih uticaja temperature procesa na toplotnu energiju neophodnu za uklanjanje 1 kg vode iz sirovine mesa, tabela 4.28, vidi se da su u svim slučajevima postojale statistički značajne razlike između procesa na različitim temperaturama.

#### **4.3.4 Analiza uticaja tipa procesa osmotske dehidracije na energetski bilans procesa**

Na osnovu rezultata prikazanih u tabeli 4.27., vidi se da nije bilo statistički značajne razlike između vrednosti „uštedene“ količine toplote prilikom istostrujne i protivstrujne osmotske dehidracije mesa u osmotskom rastvoru R1 na temperaturama od 20°C i 35°C, dok je postojala statistički značajna razlika između vrednosti na temperaturama od 50°C. Na najvišoj temperaturi protivstrujni proces je statistički značajno uticao na povećanje uštede količine toplote u poređenju sa istostrujnim procesom.

U slučaju osmotske dehidracije mesa u rastvoru R2, statistički značajna razlika u vrednostima uštedene količine toplote javila se samo na temperaturi istostrujnog i protivstrujnog procesa od 20°C, što ukazuje da je na toj temperaturi statistički značajno uticao tip procesa osmotske dehidracije i povećao vrednost energetskog bilansa u poređenju sa istostrujnim procesom. Na druge dve, više temperature, nije bilo statistički značajne razlike između vrednosti energetskih bilansa u dva različita tipa osmotske dehidracije.

U slučaju osmotske dehidracije mesa u rastvoru R3, statistički značajne razlike u vrednostima uštedene količine toplote nisu se javile samo na temperaturi istostrujnog i protivstrujnog procesa od 20°C, dok na većim temperaturama oba procesa je bilo statistički značajne razlike između dva različita tipa osmotske dehidracije. To ukazuje da je na većim temperaturama statistički značajan uticaj tipa procesa osmotske dehidracije u osmotskim rastvorima R3 i da se povećala vrednost energetskog bilansa u poređenju sa istim parametrima istostrujnog procesa.

Na osnovu iznetih statistički značajnih uticaja tehnoloških parametara na energetski bilans procesa osmotske dehidracije mesa, optimizacija procesa sa aspekta uštede toplotne energije može se voditi u pravcu:

- odabira osmotskog rastvora R3, odnosno melase, koja je iskazala veće uštede toplotne energije u poređenju sa osmotskim dehidracijama u rastvorima R1 i R2, pri istim ostalim tehnološkim parametrima;

- povećanja procesne temperature sa energetski nezahtevnih 20°C na 35°C i 50°C nije bilo uvek opravdano kroz dovoljan porast tehnoloških parametara (WL), dok se procesna temperatura od 50°C se pokazala suviše energetski zahtevnom da bi krajnji energetski bilans bio povoljniji nego na nižim procesnim temperaturama;
- odabira protivstrujnog procesa osmotske dehidracije, jer se pokazao kao energetski efikasniji u poređenju sa istostrujnim procesom, u svim slučajevima uporedivih dehidracija, prvenstveno usled karakteristike protivstrujnog procesa da se koristi manji odnos materijala i osmotskog rasvora u poređenju sa istostrujnim procesom i stoga i manjom energetskom zahtevnošću koja direktno utiče i na celokupan energetski bilans procesa.

## 4.4 Karakterizacija osmotski dehidriranog svinjskog mesa

U poglavlju 4.1 prikazani su rezultati optimizacije procesa osmotske dehidracije svinjskog mesa u sva tri osmotska rastvora sa ciljem postizanja najveće efikasnosti procesa. U poglavlju 4.3 prikazani su rezultati energetskog bilansa procesa osmotske dehidracije pri različitim tehnološkim parametrima, na osnovu kojih su preporučeni pravci za optimizaciju procesa osmotske dehidracije sa aspekta enegetskog bilansa procesa.

Za potrebe karakterizacije osmotski dehidriranog poluporizvoda od svinjskog mesa, tehnološki parametri procesa su odabrani na osnovu prethodno utvrđenih optimalnih vrednosti parametara procesa radi dobijanja reprezentativnog poluproizvoda na kojima su izvođena dalja ispitivanja. Analize karakterizacije poluporizvoda od svinjskog mesa su obuhvatale:

- Mikrobiološke analize,
- Hemijske analize,
- Senzorne analize,
- Analize boje i
- Analize teksture.

### 4.4.1 Mikrobiološke analize osmotski dehidriranog svinjskog mesa

Nivoi postignutih  $a_w$  vrednosti mesa nakon procesa osmotske dehidracije (poglavlje 4.1, tabele 4.1, 4.2 i 4.3), manji su od limitirajućih  $a_w$  vrednosti za rast većine mikroorganizama (Huang i Nip, 2001; Feiner, 2006), što ukazuje na pozitivan uticaj procesa osmotske dehidracije na poboljšanje mikrobiološkog profila osmotski dehidriranog mesa.

Rezultati mikrobiološke analize uzoraka mesa dehidriranih 5 časova u osmotksim rastvorima maksimalnih koncentracija prikazani su u obliku srednjih vrednosti  $\pm$  standardne devijacije tri ponavljanja, tabela 4.30.

#### 4.4.1.1 Određivanje *Salmonella* spp.

U svim ispitivanim uzorcima svežeg i osmotski dehidriranog mesa nije utvrđeno prisustvo *Salmonella* spp. Ovaj rezultat ukazuje da je proizvedeni dehidrirani poluproizvod od mesa u skladu sa Kriterijumom bezbednosti hrane Pravilnika o opštim i posebnim uslovima higijene hrane (2010), odnosno da je dobijeni poluproizvod od dehidriranog mesa mikrobiološki bezbedan.

**Tabela 4.30** Mikrobiološka analiza svežeg i osmotski dehidriranog mesa pri različitim temperaturama

Parametri osmotske dehidracije mesa		Kriterijum <i>bezbednosti hrane</i>	Kriterijum higijene <i>u procesu proizvodnje</i>		
		<i>Salmonella</i> spp (negativno/10 g)	Ukupan broj bakterija (CFU <sup>*</sup> /g)	<i>Enterobacteriaceae</i> (CFU/g)	<i>Escherichia coli</i> (CFU/g)
Sveže meso		0±0 <sup>a</sup>	4,6·10 <sup>5</sup> ±3·10 <sup>4</sup> <sup>a</sup>	440±30 <sup>a</sup>	0±0 <sup>a</sup>
t=20°C	R1	0±0 <sup>a</sup>	2,2·10 <sup>5</sup> ±7,6·10 <sup>4</sup> <sup>b</sup>	200±100 <sup>b</sup>	0±0 <sup>a</sup>
	R2	0±0 <sup>a</sup>	2,2·10 <sup>5</sup> ±2,9·10 <sup>4</sup> <sup>b</sup>	270±60 <sup>b</sup>	0±0 <sup>a</sup>
	R3	0±0 <sup>a</sup>	1,2·10 <sup>5</sup> ±2,9·10 <sup>4</sup> <sup>c</sup>	170±120 <sup>b</sup>	0±0 <sup>a</sup>
t=35°C	R1	0±0 <sup>a</sup>	3,6·10 <sup>4</sup> ±5,1·10 <sup>3</sup> <sup>cd</sup>	0±0 <sup>c</sup>	0±0 <sup>a</sup>
	R2	0±0 <sup>a</sup>	2,7·10 <sup>4</sup> ±2,6·10 <sup>3</sup> <sup>d</sup>	0±0 <sup>c</sup>	0±0 <sup>a</sup>
	R3	0±0 <sup>a</sup>	3,1·10 <sup>4</sup> ±1,0·10 <sup>3</sup> <sup>d</sup>	0±0 <sup>c</sup>	0±0 <sup>a</sup>
t=50°C	R1	0±0 <sup>a</sup>	1,5·10 <sup>4</sup> ±2,6·10 <sup>3</sup> <sup>d</sup>	0±0 <sup>c</sup>	0±0 <sup>a</sup>
	R2	0±0 <sup>a</sup>	1,5·10 <sup>4</sup> ±2,5·10 <sup>3</sup> <sup>d</sup>	0±0 <sup>c</sup>	0±0 <sup>a</sup>
	R3	0±0 <sup>a</sup>	2,2·10 <sup>4</sup> ±1,2·10 <sup>3</sup> <sup>d</sup>	0±0 <sup>c</sup>	0±0 <sup>a</sup>

<sup>abc</sup> Različita slova u eksponentu vrednosti u istim kolonama ukazuju na statistički značajnu razliku na nivou p<0,05 (na osnovu post-hoc Tukey-evog HSD testa)

\* CFU – Colony Forming Unit (broj jedinica koje formiraju kolonije)

#### 4.4.1.2 Određivanje ukupnog broja bakterija

Ukupan broj bakterija (UBB) u svežem mesu, koje je u laboratoriji isečeno i pripremljeno za proces osmotske dehidracije, iznosio je 4,6·10<sup>5</sup>±3·10<sup>4</sup> CFU/g. ANOVA test pokazuje da postoji značajna statistička razlika između vrednosti UBB svežeg mesa i ovih vrednosti za osmotski dehidrirano meso u svim postupcima osmotske dehidracije, gde su vrednosti UBB osmotski dehidriranog mesa znatno niže. Ova činjenica ukazuje da proces osmotske dehidracije statistički značajno doprinosi smanjenju inicijalnog broja prisutnih mikroorganizama u svežem mesu. Iz rezultata se takođe uočava da povećanje temperature procesa osmotske dehidracije dovodi do statistički značajnog smanjenja UBB, što je verovatno posledica nižih postignutih a<sub>w</sub> vrednosti u procesima osmotske dehidracije na višim temperaturama. Uticaj prirode primenjenog osmotskog rastvora na smanjenje UBB, primetan je samo na temperaturi procesa od 20°C gde je meso dehidrirano u osmotskom rastvoru R3 (melasi) imalo vrednost UBB statistički značajno manju od vrednosti UBB mesa dehidriranog u druga dva rastvora. Na višim temperaturama procesa ova tendencija nije zapažena, što ukazuje da osmotski rastvor R3 na temperaturi procesa od 20°C efikasnije smanjuje vrednost UBB od druga dva primenjena osmotska rastvora.

Pravilnik o opštim i posebnim uslovima higijene hrane (2010), ne propisuje referentne vrednosti za UBB usitnjenog mesa, ali praćenje promene UBB u mesu nakon procesa osmotske dehidracije ukazuje na nivo higijene u procesu proizvodnje (odnosno nivo higijene procesa osmotske dehidracije) i održivosti dobijenog poluproizvoda od dehidriranog mesa. Rezultati smanjenja UBB mesa u svim procesima osmotske dehidracije ukazuju da je proces higijenski ispravan.

#### **4.4.1.3 Određivanje *Enterobacteriaceae***

Broj *Enterobacteriaceae* u svežem mesu iznosio je  $440 \pm 30$  CFU/g. ANOVA test pokazuje da postoji značajna statistička razlika između vrednosti broja *Enterobacteriaceae* svežeg mesa i ovih vrednosti za osmotski dehidrirano meso u svim postupcima osmotske dehidracije. Vrednosti broja *Enterobacteriaceae* u uzorcima mesa dehidriranog na 20°C su dvostruko manje u odnosu na vrednosti za sveže meso, dok u uzorcima mesa osmotski dehidriranog na povišenim temperaturama, *Enterobacteriaceae* nisu čak ni detektovane. Ovakvi rezultati ukazuju da proces osmotske dehidracije statistički značajno doprinosi smanjenju broja *Enterobacteriaceae* koje se nalaze svežem mesu. Iz rezultata se takođe uočava da povećanje temperature procesa osmotske dehidracije dovodi do statistički značajnog smanjenja broja *Enterobacteriaceae*, kao i u slučaju UBB, što je takođe, verovatno posledica nižih postignutih  $a_w$  vrednosti u procesima osmotske dehidracije na višim temperaturama. Nema statistički značajne razlike u broju *Enterobacteriaceae* u zavisnosti od primenjenog osmotskog rastvora, međutim najniža postignuta vrednost broja *Enterobacteriaceae* u osmotskim dehidracijama na 20°C je pri korišćenju melase (R3) kao osmotskog rastvora, što je i u saglasnosti sa rezultatima za UBB.

Kao i u slučaju UBB, Pravilnik o opštim i posebnim uslovima higijene hrane (2010), ne propisuje referentne vrednosti za broj *Enterobacteriaceae* usitnjenog mesa, ali ova vrednost je sastavni deo Kriterijuma higijene u procesu proizvodnje i kao takva je pogodan parametar za praćenje nivoa higijene procesa, a dobijeni rezultati potvrđuju zaključke izvedene za UBB.

#### **4.4.1.4 Određivanje *Escherichia coli***

U svim ispitivanim uzorcima kako svežeg, tako i osmotski dehidriranog mesa nije utvrđeno prisustvo *Escherichia coli*, što je u saglasnosti sa zahtevima Pravilnika o opštim i posebnim uslovima higijene hrane (2010) za proizvode od usitnjenog mesa, odnosno ukazuje na još jednu potvrdu higijenske ispravnosti procesa osmotske dehidracije.

#### 4.4.2 Hemijska analiza osmotski dehidriranog svinjskog mesa

Iz rezultata prikazanih u tabelama 4.31 - 4.33 mogu se pratiti primarni tokovi materijala između mesa i osmotskih rastvora R1-R3 pre i nakon procesa osmotske dehidracije u trajanju od 5 časova. Rezultati promene hemijskog sastava mesa i osmotskih rastvora određeni su nakon procesa koji je izvođen na temperaturi od 20°C i u osmotskim rastvorima maksimalnih koncentracija. Obzirom da tokom procesa osmotske dehidracije dolazi do promene sadržaja vlage, a takođe i promene sadržaja suve materije, nije moguće procentualno praćenje promene pojedinačnih komponenata hemijskog sastava mesa, već se promena mora pratiti iskazana u aposlutnoj vrednosti mase, odnosno u gramima.

##### 4.4.2.1 Hemijska analiza osmotski dehidriranog mesa u rastvoru R1

U tabeli 4.31 prikazana je promena hemijskog sastava mesa i rastvora nakon osmotske dehidracije u osmotskom rastvoru R1.

Na osnovu promene mase rastvora/mesa, suve materije i vode pre i posle procesa osmotske dehidracije uočavaju se dva primarna toka materije:

1. vode iz mesa u pravcu osmotskog rastvora (promena mase vode u mesu (447,40g→193,45g) i promena mase vode u rastvoru (1200g→1453,95g));
2. rastvorka iz osmotskog rastvora u meso (promena mase suve materije u osmotskom rastvoru (1800g→1716,69g) i promena mase suve materije mesa (152,82g→236,13g)).

Ova dva suprotna toka materije dovode do sveukupne promene mase gde se masa osmotskog rastvora povećava, a mesa smanjuje, što je u skladu sa literaturnim podacima o prisustvu dva primarna prenosa mase između mesa koje se dehidrira i osmotskog rastvora i jednog sekundarnog koji je mnogo manji po količini u poređenju sa primarnim prenosima mase (Lević i sar., 2008). Sekundarni prenos mase podrazumeva izlazak rastvoraka koji su sastavni konstituenti mesa u osmotski rastvor.



**Tabela 4.31** Promena hemijskog sastava mesa i osmotskog rastvora R1 nakon procesa osmotske dehidracije

R1	Osmotski rastvor		Meso			
	Masa (g)		Masa (g)		(%)	
	Pre OD	Posle OD	Pre OD	Posle OD	Pre OD	Posle OD
Rastvor/meso u procesu	3000	3170,64	600,22	429,58	100	100
Suva materija	1800	1716,69	152,82	236,13	25,46	54,97
Voda	1200	1453,95	447,40	193,45	74,54	45,03
Proteini	0	0,21	119,16	118,95	19,86	27,69
Ukupni fosfati	0	6,46	29,83	22,48	4,97	5,23
Ukupni pepeo	388,80	372,77	6,72	22,04	1,12	5,13
Masti	0	1,74	33,61	31,87	5,60	7,42
Natrijum hlorid	405,46	375,07	0	30,73	0	7,15
Saharoza	1395,78	1343,74	0	51,47	0	11,98
Kalijum	0	0,979	2,81	1,86	0,47	0,43
Natrijum	7,33	6,65	0,54	1,23	0,09	0,29
Magnezijum	$1,12 \cdot 10^{-2}$	0,15	0,19	0,19	0,03	0,04
Gvožde	0	$4,74 \cdot 10^{-3}$	$1,37 \cdot 10^{-2}$	$1,27 \cdot 10^{-2}$	$2,27 \cdot 10^{-3}$	$2,97 \cdot 10^{-3}$
Kalcijum	0	0,79	$6,46 \cdot 10^{-2}$	$6,35 \cdot 10^{-2}$	$1,08 \cdot 10^{-2}$	$1,48 \cdot 10^{-2}$

Masa proteina, fosfata, masti, kalijuma, gvožđa i kalcijuma se smanjuje u uzorcima mesa nakon procesa osmotske dehidracije, što je posledica trećeg, sekundarnog transfera mase koji teče iz mesa ka osmotskom rastvoru, ali koji je praktično zanemarljiv, što se i vidi iz malih količina promena mase svakog pojedinačnog sastojka.

Povećanje mase ukupnog pepela, natrijum hlorida, saharoze i natrijuma je posledica transfera mase iz osmotskog rastvora u meso, a karakterisitka osmotskog rastvora R1, pošto ga formiraju samo čiste kristalne supstance natrijum hlorida i saharoze, je dovela do porasta ovih sastojaka u dehidriranom mesu. Masa magnezijuma se nije menjala u mesu nakon osmotske dehidracije.

U cilju karakterizacije dobijenog poluproizvoda od osmotski dehidriranog mesa, vrednosti sastojaka hemijskog sadržaja mesa su iskazane u procentima, izraženim na masu dehidriranog mesa i upoređene sa procentima sastojaka svežeg mesa.

Kao posledica uklanjanja vode iz mesa i smanjenja ukupne mase dehidriranog mesa, došlo je do značajnog procentualnog povećanja svih sastojaka u suvoj materiji, jer se njihova

masa nije značajno menjala. Tako da kao posledica procesa osmotske dehidracije i uklanjanja vode, procentualni sadržaj proteina, masti, kalijuma magnezijuma gvožđa i kalcijuma značajno raste, karakterišući dobijeni poluproizvod procentualnim vrednostima ovih sastojaka značajno većim u poređenju sa svežim mesom. Povećanje procentualnog udela pepela, natrijum hlorida, saharoze i natrijuma je posledica kako smanjenja mase usled izlaska vode iz dehidriranog mesa, tako i prirasta suve materije, što dovodi do značajnijeg povećanja procentualnih vrednosti ovih sastojaka u dehidriranom mesu u poređenju sa svežim mesom.

#### **4.4.2.2 Hemijska analiza osmotski dehidriranog mesa u rastvoru R2**

U tabeli 4.32 prikazana je promena hemijskog sastava mesa i rastvora nakon osmotske dehidracije u osmotskom rastvoru R2.

Kao i u slučaju osmotske dehidracije mesa u rastvoru R1, na osnovu promene mase rastvora/mesa, suve materije i vode pre i posle procesa osmotske dehidracije uočavaju se ista dva primarna toka materije: promena mase vode u mesu (447,72g→190,64g) i promena mase vode u rastvoru (900g→1157,07g) i promena mase suve materije u osmotskom rastvoru (2100g→2014,89g) i promena mase suve materije mesa (152,92g→238,03g).

Obzirom da osmotski rastvor R2 ima kompleksniji hemijski sastav od R1 (u svom sastavu sadrži jednaku količinu rastvora R1 i melase) dolazi i do kompleksnijih promena hemijskog sastava dehidriranog mesa.

Od svih analiziranih sastojaka hemijskog sastava mesa i osmotskog rastvora, samo se masa ukupnih fosfata smanjuje u uzorcima mesa nakon procesa osmotske dehidracije. Istovremeno, dolazi do povećanja mase proteina, ukupnog pepela, natrijum hlorida, saharoze, kalijuma, natrijuma i kalcijuma u mesu nakon dehidracije, kao posledica transfera mase rastvoraka iz osmotskog rastvora u meso, a obzirom na mnogo kompleksniji sastav osmotskog rastvora R2 u poređenju sa R1, dolazi i do kompleksnijeg sadržaja prirasta suve materije osmotski dehidriranog mesa. Masa masti, magnezijuma i gvožđa se nije menjala u mesu nakon osmotske dehidracije.

**Tabela 4.32** Promena hemijskog sastava mesa i osmotskog rastvora R2 nakon procesa osmotske dehidracije

R2	Osmotski rastvor		Meso			
	Masa (g)		Masa (g)		(%)	
	Pre OD	Posle OD	Pre OD	Posle OD	Pre OD	Posle OD
Rastvor/meso u procesu	3000	3171,96	600,64	428,68	100	100
Suva materija	2100	2014,89	152,92	238,03	25,46	55,53
Voda	900	1157,07	447,72	190,64	74,54	44,47
Proteini	150,69	148,94	119,29	120,97	19,86	28,22
Ukupni fosfati	3,01	10,46	29,85	23,04	4,97	5,37
Ukupni pepeo	307,61	295,14	6,72	18,64	1,12	4,35
Masti	1,57	2,27	33,64	32,99	5,60	7,70
Natrijum hlorid	206,40	192,64	0	15,39	0	3,59
Saharoza	1399,64	1350,05	0	50,47	0	11,77
Kalijum	47,68	45,81	2,81	4,73	0,47	1,10
Natrijum	8,58	6,77	0,54	2,35	$8,97 \cdot 10^{-2}$	0,55
Magnezijum	0,57	0,58	0,19	0,19	$3,20 \cdot 10^{-2}$	$4,49 \cdot 10^{-2}$
Gvožđe	$0,70 \cdot 10^{-2}$	$0,71 \cdot 10^{-2}$	$1,37 \cdot 10^{-2}$	$1,36 \cdot 10^{-2}$	$2,28 \cdot 10^{-3}$	$3,17 \cdot 10^{-3}$
Kalcijum	4,08	3,92	$6,46 \cdot 10^{-2}$	0,19	$1,08 \cdot 10^{-2}$	$4,35 \cdot 10^{-2}$

Osmotski dehidrirano meso u rastvoru R2 karakteriše povećanje procentualnih udela svih sastojaka hemijskog sastava, u poređenju sa svežim mesom. U poređenju sa osmotski dehidriranim mesom u R1, javlja se veći procentualni porast proteina, masti, kalijuma, natrijuma, gvožđa i kalcijuma, kao posledica kompleksnijeg sastava osmotskog rastvora R2, pa stoga i kompleksnijeg prirasta suve materije dehidriranog mesa koji potiče iz R2.

**4.4.2.3 Hemijska analiza osmotski dehidriranog mesa u rastvoru R3**

U tabeli 4.33 prikazana je promena hemijskog sastava mesa i rastvora nakon osmotske dehidracije u osmotskom rastvoru R3.

**Tabela 4.33** Promena hemijskog sastava mesa i osmotskog rastvora R3 nakon procesa osmotske dehidracije

R3	Osmotski rastvor		Meso			
	Masa (g)		Masa (g)		(% )	
	Pre OD	Posle OD	Pre OD	Posle OD	Pre OD	Posle OD
Rastvor/meso u procesu	3000	3194,48	600,99	406,51	100	100
Suva materija	2400	2311,84	153,01	241,18	25,46	59,33
Voda	600	882,65	447,98	165,33	74,54	40,67
Proteini	286,50	283,21	119,36	122,70	19,86	30,18
Ukupni fosfati	7,8	17,03	29,87	20,819	4,97	5,12
Ukupni pepeo	238,80	230,22	6,73	15,45	1,12	3,80
Masti	2,70	2,75	33,66	33,50	5,60	8,24
Natrijum hlorid	1,71	0,66	0	0,98	0	0,24
Saharoza	1386	1338	0	47,56	0	11,70
Kalijum	93,47	89,99	2,82	6,30	0,47	1,55
Natrijum	10,39	7,80	0,54	3,14	0,09	0,77
Magnezijum	1,12	1,12	0,19	0,19	0,03	0,05
Gvožđe	0,15	0,15	$1,37 \cdot 10^{-2}$	$1,39 \cdot 10^{-2}$	$2,28 \cdot 10^{-3}$	$3,43 \cdot 10^{-3}$
Kalcijum	8,36	8,04	0,06	0,37	$1,08 \cdot 10^{-2}$	$9,16 \cdot 10^{-2}$

Kao i u prethodnim slučajevima osmotske dehidracije mesa u rastvorima R1 i R2, na osnovu promene mase rastvora/mesa, suve materije i vode pre i posle procesa osmotske dehidracije uočavaju se ista dva primarna toka materije: promena mase vode u mesu (447,98g→165,33g) i promena mase vode u rastvoru (600g→882,65g) i promena mase suve materije u osmotskom rastvoru (2400g→2311,84g) i promena mase suve materije mesa (153,01g→241,18g).

Od svih analiziranih sastojaka hemijskog sastava mesa i osmotskog rastvora, samo se masa ukupnih fosfata smanjuje u uzorcima mesa nakon procesa osmotske dehidracije, kao i u slučaju osmotske dehidracije u R2. Kao posledica transfera mase rastvoraka iz osmotskog rastvora u meso dolazi do povećanja mase proteina, ukupnog pepela, natrijum hlorida, saharoze,

kalijuma, natrijuma i kalcijuma u mesu nakon dehidracije, odnosno isti su trendovi povećanja kao i u slučaju osmotskog rastvora R2, upravo iz razloga što R3 i R2 imaju iste sastojke hemijskog sastava, samo u različitim udelima. Masa masti, magnezijuma i gvožđa se nije menjala u mesu nakon osmotske dehidracije.

Osmotski dehidrirano meso u rastvoru R3 karakteriše povećanje procentualnih udela svih sastojaka hemijskog sastava, u poređenju sa svežim mesom, kao što je bio slučaj i u prethodnim dehidracijama. U poređenju sa osmotski dehidriranim mesom u R2, javlja se veći procentualni porast proteina, masti, kalijuma, natrijuma, gvožđa i kalcijuma, gde su postignute najveće vrednosti procentualnih udela ovih komoneti hemijskog sastava, dok je procenat povećanja natrijum hlorida najmanji, što je bitno sa aspekta uticaja na zdravlje ljudi (Decker i Park, 2010).

#### 4.4.2.4 Energetska vrednost osmotski dehidriranih poluproizvoda svinjskog mesa

Energetske vrednosti svežeg i osmotski dehidriranog svinjskog mesa proračunate su na osnovu hemijskog sastava prikazanog u tabelama 4.31-4.33 i energetske vrednosti pojedinačnih sastojaka hemijskog sastava mesa (FAO, 2003) i prikazane su u tabeli 4.34.

Na osnovu prikazanih rezultata evidentno je da proces osmotske dehidracije dovodi do značajnog povećanja energetske vrednosti dehidriranog poluproizvoda u sva tri osmotska rastvora, usled gubitka vode iz uzorka svežeg mesa, kao i ulaska rastvorenih materija koje se nalaze u osmotskim rastvorima kroz sekundarni prenos mase, evidentan kao prirast suve materije (energetska vrednost dehidriranih uzoraka je skoro duplirana u odnosu na sveže svinjsko meso).

**Tabela 4.34** Energetske vrednosti svežeg i osmotski dehidriranog svinjskog mesa

Vrsta uzorka:	Energetska vrednost (kJ/100g uzorka)
Sveže svinjsko meso	544,82
Osmotski dehidrirano meso u R1	936,61
Osmotski dehidrirano meso u R2	952,96
Osmotski dehidrirano meso u R3	1005,14

Vrsta osmotskog rastvora takođe, ima značajnu ulogu u povećanju energetske vrednosti dehidriranog poluproizvoda. Najbolje rezultate energetske vrednosti pokazali su uzorci svinjskog mesa dehidrirani u osmotskom rastvoru R3, usled kompleksnosti njegovog hemijskog sastava koji, kroz prirast suve materije, ima uticaj i na porast energetske vrednosti dehidriranog poluproizvoda.

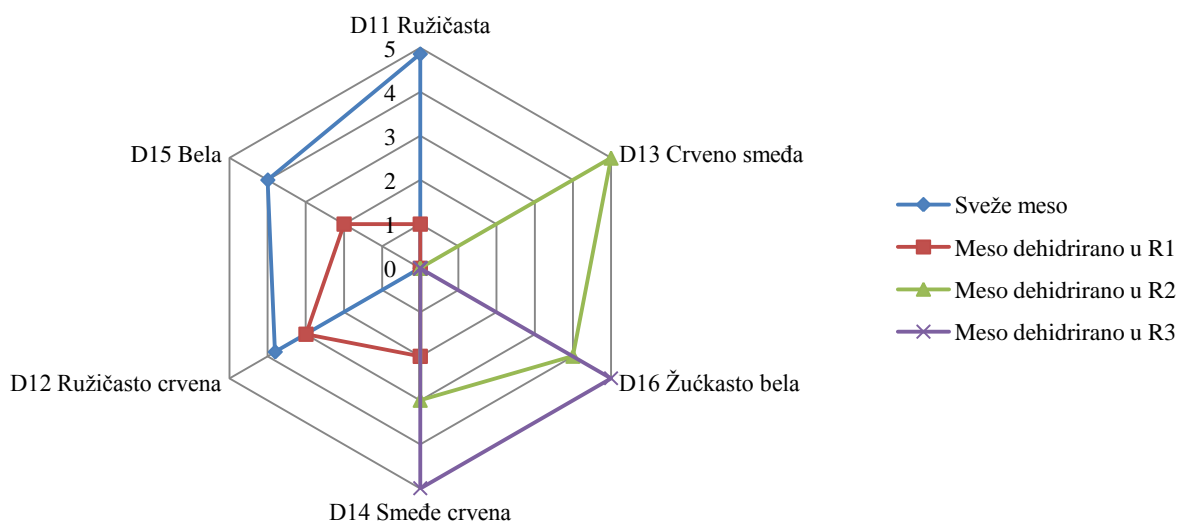
### 4.4.3 Senzorne analize osmotski dehidriranog svinjskog mesa

Senzorna analiza svežeg i osmotski dehidriranog svinjskog mesa u tri osmotska rastvora obuhvataju analize boje, arome, ukusa, zaostalog ukusa i teksture.

#### 4.4.3.1 Senzorna analiza boje osmotski dehidriranog mesa

Na slici 4.28 prikazani su rezultati deskriptivne senzorne analize boje svežeg i dehidriranog mesa.

Na osnovu prikazanih rezultata evidentno je da sveže meso karakterišu najveće vrednosti senzorskih deskriptora D11, odnosno ružičaste boje koja je karaktreiše sveže svinjsko meso (5) i D12 odnosno ružičasto crvene boje (4). Boja masnog tkiva D15 je takođe imala visoku vrednost (4). Meso dehidrirano u osmotskom rastvoru R1, imalo je niže vrednosti deskriptora D11 (1) i nešto izraženu ružičasto crvenu boju (D12=3), kao i blago izraženu smeđe crvenu boju (D14=2), dok je boja masnog tkiva bila bela (D15=2). Boja osmotski dehidriranog svinjskog mesa u osmotskom rastvoru R1 nije se značajnije promenila u odnosu na netretirano, sveže meso, osim smanjenja inteziteta postojećih boja, uz pojavu smeđe crvene nijanse.



**Slika 4.28** Boja svežeg i dehidriranog mesa određena deskriptivnom senzornom analizom

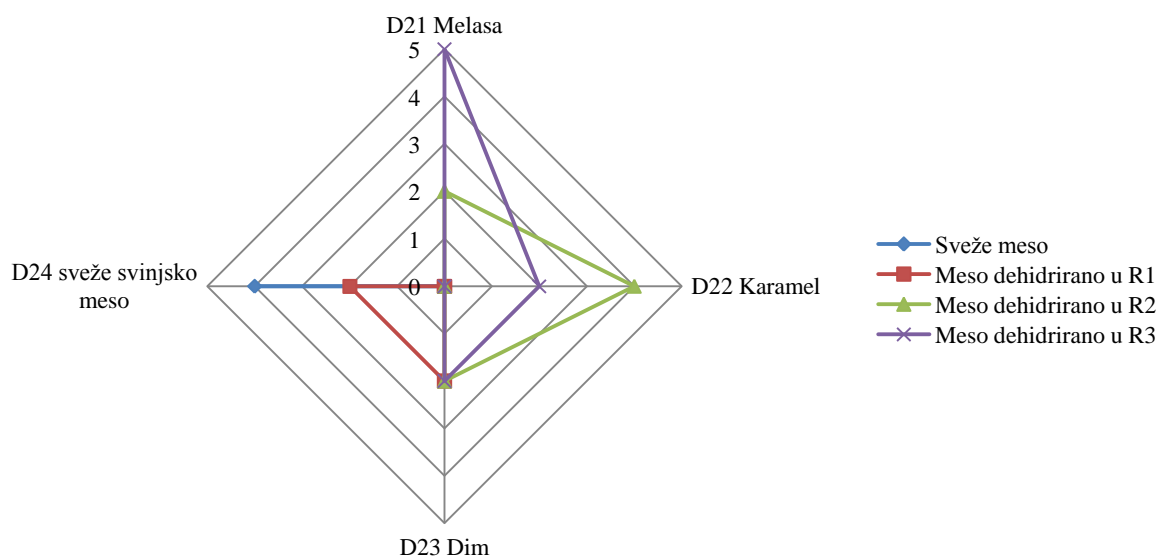
Uticaj melase kao sastavnog dela osmotskog rastvora R2 vidljiv je kao povećanje vrednosti deskriptora D13 (5), odnosno vrednosti crveno smeđe boje, kao i povećanja vrednosti smeđe crvene boje (D14=3), što je posledica velikog sadržaja melanoidina i proizvoda karamelizacije koji se nalaze u melasi (Šušić i sar., 1994). Boja masnog tkiva se promenila u žućkasto belu (D16=4).

Osmotski rastvor R3, koji u svom sastavu ima samo melasu najviše je uticao na promenu boje osmotski dehidriranog mesa u poređenju sa svežim mesom, a i u poređenju sa dehidriranim mesom u druga dva osmotska rastvora. Najizraženiji ton boje je bila smeđe crvena sa vrednošću deskriptora  $D14=5$ . Boja masnog tkiva se takođe promenila u žućkasto belu,  $D16=5$ .

Na osnovu rezultata deskriptivne senzorne analize promene boje osmotski dehidriranog mesa u poređenju sa bojom svežeg mesa, vidi se da je došlo do najveće promene boje kod mesa dehidriranog u osmotskom rastvoru R3, a zatim i u R2, gde dobijena boja u potpunosti eliminiše potrebu korišćenja nitritnih soli u funkciji uticaja na promenu boje svinjskog mesa (Sebranek i Bacus, 2007).

#### 4.4.3.2 Senzorna analiza arome osmotski dehidriranog mesa

Na slici 4.29 prikazani su rezultati deskriptivne senzorne analize arome svežeg i dehidriranog mesa.



**Slika 4.29** Aroma svežeg i dehidriranog mesa određena deskriptivnom senzornom analizom

Sveže svinjsko meso karakterisala je visoka vrednost deskriptora  $D24=4$ , za sveže svinjsko meso i iz rezultata deskriptivne senzorne analize je vidljivo da je do najmanje promene arome došlo u procesu osmotske dehidratacije mesa u R1. Vrednost deskriptora za sveže svinjsko meso  $D24$ , mesa dehidriranog u R1, se prepolovila nakon procesa, a javila se i aroma dima sa vrednošću deskriptora od  $D23=2$ .

Meso dehidrirano u osmotskom rastvoru R2 je imalo kompleksniju aromu, vrednost deskriptora  $D21$ , arome melase je bila 2, vrednost  $D22$ , arome karamela bila je 3, a vrednost  $D23$  na dim bila je 2. Izrazitija promena arome osmotski dehidriranog mesa u R2 u odnosu na meso

dehidrirano u R1 posledica je melase koja ulazi u sastav osmotskog rastvora R2, a nije prisutna u R1 i koja svojim kompleksnim hemijskim sastavom, u znatnoj meri menja aromu dehidiranog mesa, u poređenju sa svežim, netretiranim mesom, a i u poređenju sa dehidriranim mesom u R1.

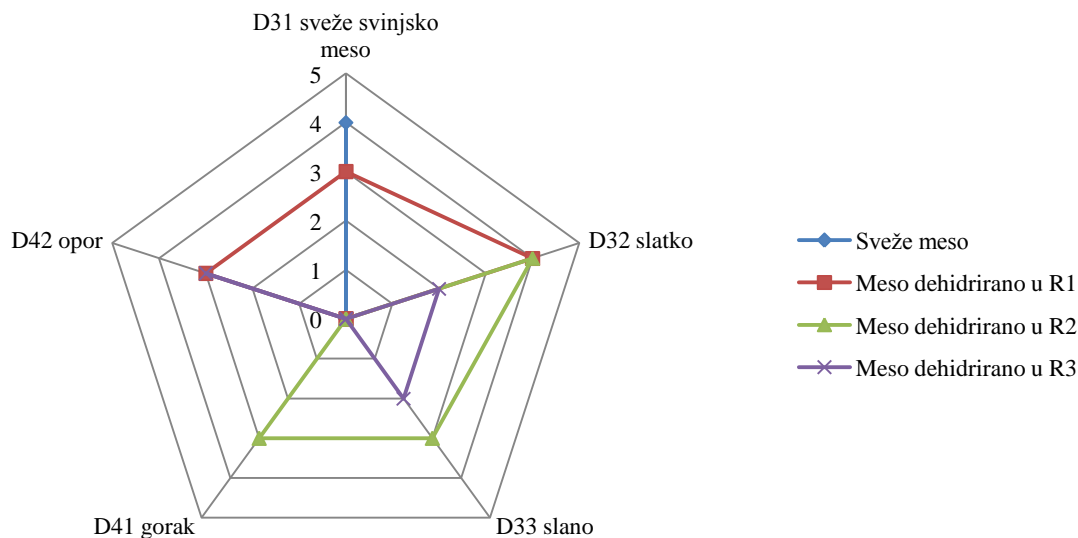
Meso osmotski dehidrirano u R3 (melasa sadržaja suve materije od 80%) imalo je najizraženiju promenu arome i to upravo na melasu (D21=5). Primetne su bile i arome na karamel (D22=2) i na dim (D23=2). Promene arome u osmotski dehidriranom mesu u R3 bile su najizraženije u poređenju sa dehidriranim mesom u druga dva osmotska rastvora.

#### 4.4.3.3 Senzorna analiza ukusa i zaostalog ukusa osmotski dehidriranog mesa

Na slici 4.30 prikazani su rezultati deskriptivne senzorne analize ukusa i zaostalog ukusa svežeg i dehidriranog mesa.

Sveže svinjsko meso je imalo karakterističan ukus (D31=4), bez ostalih primesa ukusa i bez zaostalog ukusa. Nakon procesa osmotske dehidratacije došlo je do promene ukusa i zaostalog ukusa mesa osmotski dehidriranih u svim osmotskim rastvorima.

Meso dehidrirano u R1 zadržalo je ukus na sveže svinjsko meso (D31=3), mada je došlo do porasta vrednosti deskriptora D32 za ukus na slatko na 4 i porasta vrednosti deskriptora za zaostali opor ukus D42 na 3. Ove promene ukusa dehidriranog mesa u poređenju sa svežim mesom su posledica prirasta suve materije i transfera materijala (rastvorka) iz R1 u meso, odnosno ulaska saharoze i NaCl koji čine suhu materiju osmotskog rastvora R1.



**Slika 4.30** Ukus i zaostali ukus svežeg i dehidriranog mesa određena deskriptivnom senzornom analizom

Meso dehidrirano u osmotskom rastvoru R2 izgubilo je ukus na sveže svinjsko meso, a preovladavali su ukusi na slatko (D32=4) i slano (D33=3), dok je zaostali ukus bio gorak,



D41=3. Ove promene ukusa i zaostalog ukusa dehidriranog mesa, posledica su kompleksnog hemijskog sastava rastvora R2, koji u svom sadržaju ima pored melase i veliku količinu NaCl.

Meso osmotski dehidrirano u rastvoru R3, imalo je blaže izražen ukus na slatko (D32=2) i slano (D33=2) u poređenju sa mesom dehidriranim u R2, dok je zaostali ukus bio umereno opor (D41=2).

Proces osmotske dehidracije doprinosi značajnoj promeni arome i ukusa dehidriranog mesa, pogotovo u osmotskim rastvorima gde je prisutna melasa. Obzirom da je osmotski dehidrirano meso polu-proizvod koji treba dodatno finalizovati u cilju proizvodnje gotovog proizvoda, moguća je korekcija arome i ukusa ukoliko nije zadovoljavajuća u narednim koracima tehnološke obrade dehidriranog poluproizvoda od mesa.

#### **4.4.3.4 Senzorna analiza teksture osmotski dehidriranog mesa**

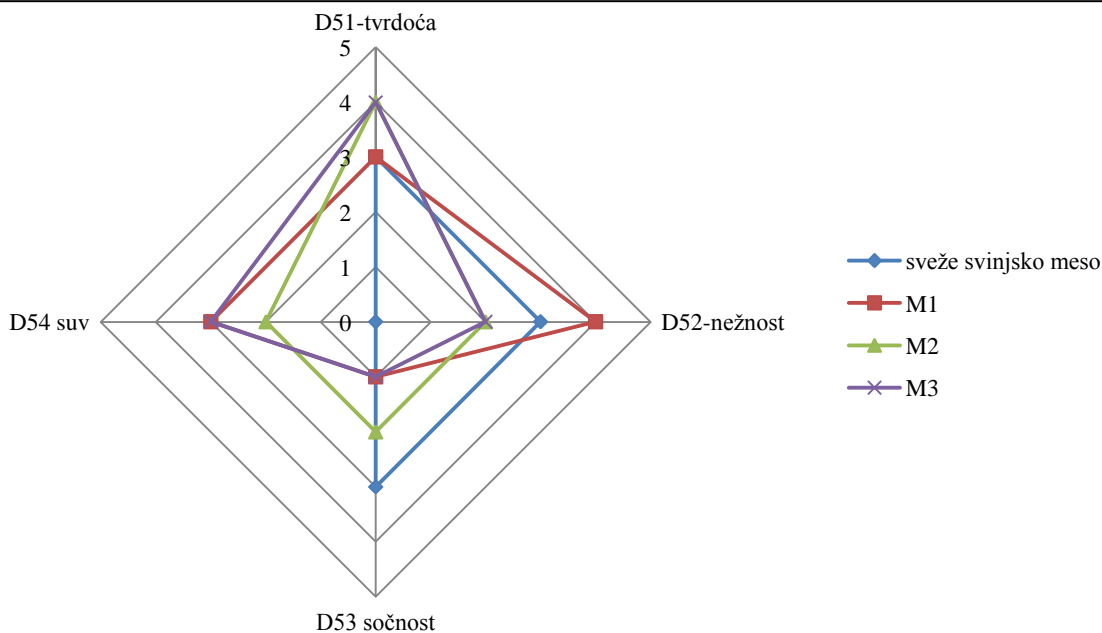
Na slici 4.31 prikazani su rezultati deskriptivne senzorne analize teksture svežeg i dehidriranog mesa.

Sveže, netretirano svinjsko meso je imalo umerene vrednosti deskriptora tvrdoće (D51=3), nežnosti (D52=4) i sočnosti (D53=3).

Nakon procesa osmotske dehidracije, meso dehidrirano u R1 zadržalo je iste vrednosti tvrdoće kao i netretirano meso, nežnost se malo povećala (D52=3), sočnost se smanjila (D53=1), a bila je i primetna srednja vrednost deskriptora suvoće (D54=3).

Svinjsko meso dehidrirano u osmotskom rastvoru R2 imalo je veću vrednost deskriptora tvrdoće (D51=4) i sočnosti (D53=2), a manje vrednosti deskriptora nežnosti (D52=2) i suvoće (D54=2) u poređenju sa mesom dehidriranim u rastvoru R1.

Svinjsko meso dehidrirano u osmotskom rastvoru R3 imalo je istu vrednost deskriptora tvrdoće (D51=4) i nežnosti (D52=2), kao i meso dehidrirano u R2, a vrednost deskriptora sočnosti (D53=1) i suvoće od (D54=3) ukazuju na lošije parametre teksture mesa dehidriranog u R3 u poređenju sa mesom u druga dva osmotska rastvora.



**Slika 4.31** Tekstura svežeg i dehidriranog mesa određena deskriptivnom senzornom analizom

Rezultati senzorne analize teksture dehidriranog mesa, upućuju na zaključak da melasa ima negativniji uticaj na teksturu dehidriranog mesa u poređenju sa rezultatima analize mesa dehidriranog u R1. Međutim, treba imati u vidu da je meso u osmotskim rastvorima R2 i R3 karakterisao viši nivo dehidracije, odnosno povećanja sadržaja suve materije mesa u poređenju sa mesom dehidriranim u osmotskom rastvoru R1 (poglavlje 4.1, tabele 4.1, 4.2 i 4.3), što za posledicu daje negativan uticaj na teksturu dehidriranog mesa, ali ne znači da melasa direktno utiče na pogoršanje teksturalnih osobina osmotski dehidriranog mesa.

#### 4.4.4 Instrumentalna analiza boje osmotski dehidriranog svinjskog mesa

U tabeli 4.35 prikazani su podaci srednje vrednosti i standardne devijacije boje uzoraka svežeg i osmotski dehidriranog mesa u tri osmotska rastvora.

Rezultati određivanja svetloće uzoraka mesa pokazuju da postoji statistički značajna razlika između uzoraka svežeg mesa i dehidriranih uzoraka, što ukazuje da tretman osmotske dehidracije statistički značajno smanjuje svetloću mesa. Ovakvi rezultati posledica su obojenosti osmotskih rastvora koji su doveli i do promene svetloće tretiranog mesa. Iz uporednih rezultata svetloće mesa dehidriranog u različitim rastvorima, vidi se da postoji značajna statistička razlika između mesa dehidriranog u R1 i mesa dehidriranog u R2 i R3. Obzirom da se melasa nalazi u sastavu osmotskih rastvora R2 i R3, njihova obojenost je dovela i do statistički značajnog smanjenja svetloće dehidriranog mesa u poređenju sa mesom dehidriranim u

osmotskom rastvoru R1 čija je boja prozirno bledo-žuta. Najnižu vrednost svetloće je imalo meso dehidrirano u osmotskom rastvoru sastavljenom samo od melase (22,36).

**Tabela 4.35** Boja uzoraka svežeg i osmotski dehidriranog mesa

	Sveže meso	Meso osmotski dehidrirano u rastvoru:		
		R1	R2	R3
$L^*$ - svetloća	40,16 ±5,26 <sup>a</sup>	32,23 ±2,61 <sup>b</sup>	26,01 ±2,00 <sup>c</sup>	22,36 ±2,29 <sup>c</sup>
$a^*$ - udeo crvene-zelene boje	15,91 ±3,31 <sup>a</sup>	9,84 ±1,87 <sup>b</sup>	11,50 ±2,01 <sup>b</sup>	13,17 ±1,42 <sup>ab</sup>
$b^*$ - udeo žute-plave boje	6,29 ±0,97 <sup>ab</sup>	4,32 ±0,90 <sup>a</sup>	7,45 ±2,46 <sup>ab</sup>	6,22 ±2,27 <sup>ab</sup>

<sup>abc</sup> Različita slova u eksponentu vrednosti u istim redovima ukazuju na statistički značajnu razliku na nivou  $p < 0,05$  (na osnovu post-hoc Tukey-evog HSD testa)

Parametar udela crvene-zelene boje ( $a^*$ ) pokazuje da postoji statistički značajna razlika u vrednostima ovog parametra kod svežeg mesa i osmotski dehidriranih uzoraka mesa, što ukazuje da proces osmotske dehidratacije dovodi do statistički značajnog smanjenja udela crvene boje u dehidriranom mesu. Najniža vrednost  $a^*$  je imalo meso dehidrirano u R1 (9,84), dok meso dehidrirano u rastvorima sa melasom je imalo veće vrednosti. Meso dehidrirano u čistoj melasi, imalo je vrednost parametra  $a^*$  koja nije bila statistički značajno umanjena u poređenju sa svežim mesom.

Ovakvi rezultati instrumentalnog određivanja boje su u saglasnosti sa rezultatima deskriptivnog senzornog određivanja boje, poglavlje 4.4.3.1, gde je takođe zapaženo da osmotski rastvori koji sadrže u svom sastavu melasu, dovode do povećanja intenziteta crvene boje dehidriranog mesa.

Parametar udela žute-plave boje ( $b^*$ ) pokazuje da ne postoji statistički značajna razlika u vrednostima ovog parametra kod svežeg mesa i osmotski dehidriranih uzoraka mesa, što ukazuje da proces osmotske dehidratacije ne dovodi do statistički značajnog smanjenja udela žute boje u dehidriranom mesu.

Uticao različite vrste osmotskog rastvora na udeo žute boje se vidi na osnovu statistički značajne razlike u vrednostima parametra  $b^*$  u mesu dehidriranom u R1 u poređenju sa mesom dehidriranim u R2 i R3, gde veće vrednosti ovog parametra karakterišu rastvore koji u svom sastavu sadrže melasu.

#### 4.4.5 Instrumentalna analiza teksture osmotski dehidriranog svinjskog mesa

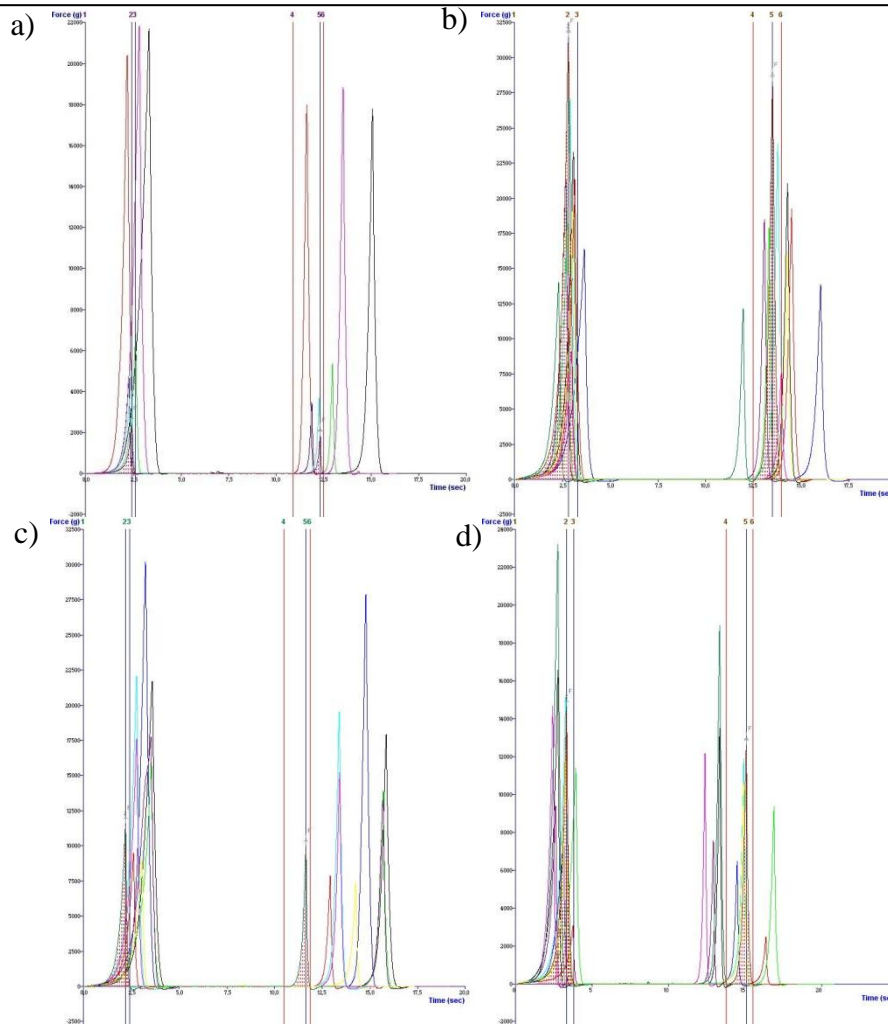
Na graficima 4.32 a-d, prikazane su analize teksturnog profila uzoraka mesa, na kojima se vide zavisnosti primenjene sile od vremena i koji daju podatke neophodne za izračunavanje parametara teksturnog profila (sila, tvrdoća, lomljivost, adhezivnost, elastičnost, kohezivnost, žvakljivost i otpornost), a koji se izračunavaju po postuku opisanom u poglavlju 3.5.5.

Na svakom grafiku prikazane su analize paralelnih uzoraka mesa koje karakterišu dva pika sile.

U tabeli 4.36 prikazane su srednje vrednosti i standardne devijacije parametara teksturnog profila uzoraka svežeg i osmotski dehidriranog mesa u sva tri osmotska rastvora.

Vrednosti parametara sile, tvrdoće, adhezivnosti i sile žvakanja pokazali su iste trendove statističke značajnosti, odnosno proces osmotske dehidratacije je statistički značajno doveo do povećanja ovih vrednosti uzoraka mesa dehidriranih u sva tri osmotska rastvora. Povećanje ovih parametara kao posledica tretmana osmotske dehidratacije je očekivana usled smanjenja sadržaja vode u dehidriranom poluproizvodu u poređenju sa svežim mesom i što je u saglasnosti sa deskriptivnom senzornom analizom poluproizvoda mesa.

Uticaj prirode osmotskog rastvora na ovu grupu posmatranih parameta teksturnog profila pokazuje da meso dehidrirano u R3 ima najmanje vrednosti koje nisu statistički značajno veće od vrednosti za sveže meso. Ovakvi rezultati ukazuju da meso dehidrirano u melasi je pokazalo najbolje rezultate sile, tvrdoće, adhezivnosti i sile žvakanja u poređenju sa mesom dehidriranim u druga dva osmotska rastvora. Kompleksan hemijski sastav melase i njegov uticaj kroz prirast suve materije u dehidriranom uzorku je verovatno razlog najboljih rezultata ovih parametara teksturalnog profila mesa u poređenju sa mesom iz druga dva osmotska rastvora, a posebno sa mesom iz R1.



**Slika 4.32.** Grafici analize teksturnog profila uzoraka:

- a) Svežeg mesa
- b) Mesa dehidriranog u R1
- c) Mesa dehidriranog u R2
- d) Mesa dehidriranog u R3

Parametar lomljivosti nije detektovan u ispitivanju teksture svežeg i osmotski dehidriranog mesa.

Vrednosti parametra elastičnosti su statistički značajno veće kod svežeg mesa u poređenju sa tretiranim, što ukazuje da proces osmotske dehidracije statistički značano utiče na smanjenje elastičnosti dehidriranog mesa. Priroda osmotskog rastvora nije značajno uticala na drugačiju elastičnost dehidriranih uzoraka mesa.

**Tabela 4.36.** Parametri teksturnog profila uzorka svežeg i osmotski dehidriranog mesa

	Sveže meso	Meso osmotski dehidrirano u rastvoru:		
		R1	R2	R3
Sila (g)	3597,81 ±1468,84 <sup>a</sup>	15872,55 ±4327,11 <sup>b</sup>	13973,82 ±4133,56 <sup>b</sup>	9818,54 ±2464,26 <sup>ab</sup>
Tvrdoća (g)	4736,75 ±1808,24 <sup>a</sup>	18054,72 ±4653,90 <sup>b</sup>	16610,39 ±4737,94 <sup>b</sup>	11730,70 ±2642,48 <sup>ab</sup>
Lomljivost (g)	-	-	-	-
Adhezivnost (g·s)	-38,23 ±18,67 <sup>a</sup>	-134,71 ±69,26 <sup>b</sup>	-138,63 ±53,11 <sup>b</sup>	-87,92 ±49,93 <sup>ab</sup>
Elastičnost	0,58 ±0,13 <sup>a</sup>	0,43 ±0,05 <sup>b</sup>	0,42 ±0,07 <sup>b</sup>	0,41 ±0,08 <sup>b</sup>
Kohezivnost	0,42 ±0,03 <sup>a</sup>	0,57 ±0,05 <sup>b</sup>	0,48 ±0,08 <sup>ab</sup>	0,49 ±0,10 <sup>ab</sup>
Sila žvakanja	1107,40 ±353,58 <sup>a</sup>	4470,38 ±1315,74 <sup>b</sup>	3399,81 ±1446,68 <sup>b</sup>	2499,62 ±1254,13 <sup>ab</sup>
Otpornost	0,25 ±0,02 <sup>a</sup>	0,35 ±0,07 <sup>a</sup>	0,27 ±0,06 <sup>a</sup>	0,28 ±0,08 <sup>a</sup>

<sup>abc</sup> Različita slova u eksponentu vrednosti u istim redovima ukazuju na statistički značajnu razliku na nivou  $p < 0,05$  (na osnovu post-hoc Tukey-evog HSD testa)

Parametar kohezivnosti je pokazao veoma slične značajnosti kao i grupa parametara sile, tvrdoće, adhezivnosti i sile žvakanja, sa tom razlikom da je i meso dehidrirano u osmotskom rastvoru R2 (takođe sa melasom u svom sastavu) imalo statistični beznačajno povećanje kohezivnosti u poređenju sa svežim mesom.

Parametar otpornosti nije pokazao statistički značajnu razliku između svih analiziranih uzoraka, što ukazuje da proces osmostke dehidratacije i priroda osmostkog rastvora ne utiču statistički značajno na povećanje parametra otpornosti mesa, iako su najmanje vrednosti ovog parametra zabeležene u uzorcima svežeg mesa.

## 5. ZAKLJUČCI

---

1. Na osnovu rezultata ispitivanja uticaja tehnoloških parametara temperature i vremena procesa, kao i koncentracije i prirode osmotskih rastvora na efikasnost procesa osmotske dehidracije svinjskog mesa iskazanu kroz parametre sadržaja suve materije, gubitka vode, prirasta suve materije, vrednosti aktivnosti vode dehidiranog poluproizvoda i indeksa efikasnosti procesa, mogu se izvesti sledeći zaključci:
  - U tri osmotska rastvora (vodeni rastvor natrijum hlorida i saharoze, melasa šećerne repe i mešavina prethodna dva rastvora u masenom odnosu 1:1) povećanje vrednosti tehnoloških parametara temperature procesa (od 20°C do 50°C), vremena trajanja procesa (od 1 do 5 časova) i koncentracije osmotskih rastvora (od 45% do 60 s.m. % za vodeni rastvor natrijum hlorida i saharoze, od 52,5% do 70% s.m. za kombinovani rastvor i od 60% do 80% s.m. za melasu) dovodi do intenziviranja prenosa mase između materijala i rastvora odnosno do porasta vrednosti osmotskih parametara, odnosno smanjenja  $a_w$  vrednosti, što je za posledicu povećavalo efikasnost procesa osmotske dehidracije.
  - Na osnovu ispitivanja efikasnosti procesa osmotske dehidracije u različitim osmotskim rastvorima, a pri istim tehnološkim uslovima, zaključeno je da su najveće vrednosti glavnih parametara procesa:
    - sadržaja suve materije (71,11% s.m.),
    - gubitaka vode (0,5843 g/g i.s.),
    - i prirasta suve materije (0,2144 g/g i.s.)postizane pri korištenju melase kao osmotskog rastvora
  - Osmotskom dehidracijom mesa u melasi postizane su od 2,21% do 12,59% veće vrednosti suve materije dehidiranog mesa i od 6,09% do 15,28% veće vrednosti gubitka vode iz mesa, u poređenju sa druga dva osmotska rastvora.
  - Uticaj razblaženja osmotskog rastvora u najmanjoj meri je uticao na smanjenje efikasnosti procesa u osmotskom rastvoru sa melasom, omogućavajući manji nivo dodatnog tretmana i bolje iskorišćenje melase u uzastopnim procesima u poređenju sa drugim osmotskim rastvorima.
  - Primenom svih, pa i najnižih vrednosti (najniža temperatura od 20°C i u rastvorima najmanjih koncentracija) u sva tri osmotska rastvora, vrednosti aktivnosti vode osmotski dehidriranog mesa od svinjske svinja bile su ispod vrednosti aktivnosti vode koje

inhibiraju rast većine mikroorganizama, dajući pretpostavku dugog roka održivosti dehidriranog poluproizvoda.

- Dobijene maksimalne vrednosti ocene procesa koje predstavljaju optimum efikasnosti primenom „Score“ analize, postignute su pri maksimalnim vrednostima vremena i temperature procesa, kao i pri maksimalnim koncentracijama sva tri osmotska rastvora. Osmotski rastvori sa melasom u svom sastavu dali su 8% veću ocenu efikasnosti procesa u poređenju sa procesom u osmotskom rastvoru koji sadrži saharozu i natrijum hlorid.

2. Na osnovu rezultata ispitivanja mogućnosti povećanja efikasnosti procesa osmotske dehidracije mogu se izvesti sledeći zaključci:

- Trendovi uticaja tehnoloških parametara na rezultate odziva protivstrujne osmotske dehidracije su bili isti kao i u istostrujnim procesima, usled identičnih mehanizama prenosa mase u procesu.
- Statistički značajne razlike su uočene između vrednosti svih odgovarajućih parametara istostrujne i protivstrujne osmotske dehidracije, ukazujući da protivstrujni proces statistički značajno povećava ukupnu efikasnost osmotske dehidracije. Vrednosti pojedinih parametara protivstrujnog procesa su bile vrlo blizu ili čak i veće od parametara istostrujnog procesa koji se odvijao u većoj količini osmotskog rastvora. Maksimalne vrednosti parametara protivstrujnog procesa su iznosili:
  - sadržaj suve materije: 72,98% s.m.,
  - gubitak vode: 0,5698 g/g i.s.,
  - prirast suve materije: 0,1839 g/g i.s,u melasi kao osmotskom rastvoru.
- Melasa kao osmotski rastvor iskazala je statistički značajno veću efikasnost posmatranu kroz parametre osmotske dehidracije u poređenju sa druga dva osmotska rastvora u protivstrujnom procesu.
- Primena protivstrujnog procesa omogućava smanjenje potrebne količine osmotskog rastvora u poređenju sa istostrujnim procesom, uz održanje dobre efikasnosti osmotske dehidracije.
- Primenom metoda odzivne površine proračunate su jednačine polinoma drugog reda koje su definisale modele procesa istostrujne i protivstrujne osmotske dehidracije, a na osnovu kojih je moguće predvideti parametre osmotskih dehidracija svinjskog mesa u zavisnosti od primenjenih tehnoloških parametara za sva tri osmotska rastvora.



3. Na osnovu rezultata ispitivanja energetskog bilans procesa osmotske dehidracije mogu se izvesti sledeći zaključci:
- Energetski bilans procesa osmotske dehidracije je bio najpovoljniji u procesima u kojima je korišćena melasa kao osmotski rastvor, u poređenju sa druga dva osmotska rastvora. Temperatura procesa je takođe značajno uticala na energetski bilans, gde se kao najoptimalnija pokazala temperatura od 20°C, usled manje energetske zahtevnosti takvog procesa.
  - Protivstrujni proces osmotske dehidracije je imao povoljniji energetski bilans u poređenju se istostrujnim procesom istih tehnoloških parametara. Ostvarena ušteda u protivstrujnom procesu se kretala od 4,9% do 12,97% u poređenju sa odgovarajućim istostrujnim osmotskim dehidracijama.
4. Na osnovu rezultata ispitivanja svojstava osmotski dehidranog mesa od svinja mogu se izvesti sledeći zaključci:
- Povećanje temperature procesa osmotske dehidracije daje bolje rezultate redukcije prisutnog broja ispitivanih mikroorganizama, iako i temperatura procesa od 20°C za rezultat daje poluproizvod od dehidriranog mesa koji zadovoljava zahteve Pravilnika o opštim i posebnim uslovima higijene hrane u bilo kojoj fazi proizvodnje, prerade i prometa (2010).
  - Melasa kao medijum za osmotsku dehidraciju na temperaturi procesa od 20°C dala je bolje rezultate redukcije ispitivanih mikroorganizama u poređenju sa druga dva osmotska rastvora, što je preporučuje kao najbolji osmotski rastvor sa aspekta redukcije prisutnih mikroorganizama.
  - Praćenje promene mikrobiološkog profila mesa pre i nakon osmotske dehidracije ukazuje na pozitivan uticaj procesa na poboljšanje mikrobiološkog profila mesa i definiše proces osmotske dehidracije kao higijenski ispravan, a osmotski dehidrirano mesa kao poluproizvod mikrobiološki bezbedan za dalju tehnološku obradu.
  - Proces osmotske dehidracije dovodi do povećanja energetske vrednosti dehidriranog poluproizvoda, promene hemijskog sastava osmotski dehidriranog mesa i obogaćuje se nutritivni profil dobijenog poluproizvoda dehidriranog mesa usled povećanja sadržaja proteina, masti soli i saharoze, kao i mineralnih materija.

- Od tri ispitivana osmotska rastvora najbolje rezultate obogaćivanja nutritivnog profila i povećanja energetske vrednosti iskazala je melasa, upravo zbog svog kompleksnog hemijskog sastava, koji ima ključnu ulogu u svim aspektima procesa osmotske dehidracije.
  - Proces osmotske dehidracije svinjskog mesa dovodi do promene boje, arome, ukusa i teksture mesa u poređenju sa svežim mesom, pogotovo u osmotskim rastvorima sa melasom u svom sadržaju. Boja tako dehidriranog mesa u potpunosti eliminiše potrebu korišćenja nitritnih soli za potrebe korekcije boje.
  - Obzirom da je osmotski dehidrirano meso poluproizvod koji treba dodatno finalizovati u cilju proizvodnje gotovog proizvoda, moguća je korekcija arome i ukusa ukoliko nije zadovoljavajuća u narednim koracima tehnološke obrade dehidriranog poluproizvoda od svinjskog mesa.
  - Instrumentalno određivanje boje uzoraka dehidriranog mesa potvrđuje zaključke izvedene na osnovu deskriptivne senzorne analize boje osmotski dehidriranih uzoraka mesa.
  - Proces osmotske dehidracije dovodi do promene parametara sile, tvrdoće, adhezivnosti, elastičnosti, kohezivnosti, sile žvakanja i otpornosti dehidriranog mesa, kao direktne posledice smanjenja sadržaja prisutne vode u dehidriranim uzorcima.
  - Najbolji teksturalni profil dehidriranog mesa je postignut korišćenjem čiste melase kao osmotskog rastvora.
5. Na osnovu svih ispitanih uticaja variranih parametara na efikasnost i energetski bilans procesa osmotske dehidracije i kvalitet dehidriranog poluproizvoda kao optimalni parametri procesa mogu da se definišu: protivstrujni proces, u trajanju od 5 časova na temperaturi od 20°C, u melasi kao osmotskom rastvoru. Ovakav proces osmotske dehidracije koji je energetski nisko zahtevan dovodi do sveukupnog poboljšanja karakteristika svinjskog mesa uvodeći nutritivna poboljšanja iz hemijskog sastava melase u ljudsku ishranu. Melasa, kao nus proizvod industrije šećera, na taj način dobija novu upotrebnu vrednost.

## 6. LITERATURA

---

- Allen T.T. (2006): *Introduction to engineering statistics and six sigma: statistical quality control and design of experiments and systems*. Springer, London.
- AOAC (2000): *Official Methods of Analysis*. Washington, USA.
- Argaiz A., Lopez-Malo A., Paou E. i Welti, J. (1994): Osmotic dehydration of papaya with corn syrup solids, *Dry. Technol.* **12** 1709–1725.
- Baechle T. R. i Earle, R. W. (2008): *Essentials of strength training and conditioning (2<sup>nd</sup> edition)*. Champaign, Illinois: Human Kinetics.
- Barat J., Alino M., Fuentes A., Grau R. i Romero J. B. (2009): Measurement of swelling pressure in pork meat brining. *J.Food Eng.* **93** 108-113.
- Beristain C.L., Azuara E., Cortes R. i Garcia H.S. (1990): Mass transfer during osmotic dehydration of pineapple rings. *Int. J. Food Sci. Technol.* **25** 576-582.
- Biswal R.N. i Le Maguer M. (1989): Mass transfer in plant material in contact with aqueous solutions of ethanol and sodium chloride: equilibrium data. *J. Food Pro. Eng.* **11** 159-176.
- Biswal R.N., Bozorgmehr K., Tompkins F.D. i Liu X. (1991). Osmotic concentration of green beans prior to freezing. *J. Food Sci.* **56** 1008-1012.
- Bolin H.R., Huxsoll C.C., Jackson R. i Ng K.C. (1983): Effect of osmotic agents and concentration on fruit quality, *J. Food Sci.* **48** 202–212.
- Borg T.K. i Caulfield J.B. (1980): Morphology of connective tissue in skeletal muscle. *Tissue Cell.* **12** 197-207.
- Bourne, M. C. (1978): *Food Texture and Viscosity. Concept and Measurement*, Academic Press, New York.
- Bourne M. C. (2002): *Food Texture and Viscosity (Second Edition)*, Academic Press, London.
- Box G. E. P. i Behnken D. W. (1960): Some New Three Level Designs for the Study of Quantitative Variables. *Technometrics*, **2**, 4, 455-475.
- Box G. E. P. i Draper N. R. (1987): *Empirical model building and response surface*. New York: John Wiley and Sons.
- Brereton R.G. (2003): *Applied chemometrics for scientists*. John Wiley & Sons Ltd., London.

- Bruin S. i Luyben K.C. (1992): Drying shrinkage and stresses, *Proc Eighth International Drying Symposium IDS '92, Quebec*, 155–216.
- Cazier J.B. i Gekas V. (2001): Water activity and its prediction: a review. *Int. J. Food Prop.* **4** 35-43.
- Chen X.D. i Mujumdar A.S. (2008): *Drying Technologies in Food Processing*, Wiley-Blackwell
- Chua K. J., Mujumdar A. S., Hawlader M. N. A., Chou S. K. i Ho, J. C. (2001): Batch drying of banana pieces—effect of stepwise change in drying air temperature on drying kinetics and product colour. *Food Res. Int.* **34** 721–731.
- Collignan A., Bohuon P., Deumier F. i Poligne, I. (2001): Osmotic treatment of fish and meat products. *J. Food Eng.* **49** 153-162.
- Contreras J.E. i Smyrl T.G. (1981): An evaluation of osmotic concentration of apple rings using corn solids solutions. *Can. Inst. Food Sci. Technol. J.* **14** 310-314.
- Conway J., Castaigne F., Picard G. i Vovan, X.(1983): Mass transfer considerations in the osmotic dehydration of apples. *Can. Inst. Food Sci. Technol. J.* **16** 22–25.
- Cox D.R. i Reid N. (2000): *The theory of design of experiments*. Chapman & Hall, Great Britain.
- Crank J. (1975): *The Mathematics of Diffusion*, Clarendon Press, Oxford, U.K.
- Decker, E.A. i Park, Y. (2010): Healthier meat products as functional foods, *Meat Sci.* **86**, 49-55.
- Curtin L.V. (1983): *Molasses in Animal Nutrition, Molasses - General Considerations*, National Feed Ingredients Association West Des Moines, Iowa.
- Della Rosa M. i Giroux, F. (2001): Osmotic Treatments (OT) and Problems Related to the Solution Management. *J. Food Eng.* **49** 2-3, 223-236.
- Đaković, Lj. (2006). *Koloidna hemija*. Beograd: Zavod za udžbenike.
- Eren I. i KaymakErtekin F. (2007): Optimization of osmotic dehydration of potato using response surface methodology. *J. Food Eng.* **79** 344-352.
- Ertekin F. K. i Cakaloz T. (1996): Osmotic Dehydration of Peas: I Influence of Process Variables on Mass Transfer. *J. Food Process. Pres.* **20** 2 87-176
- FAO, Food and Agriculture Organisation of the United Nations (2003): *Food energy – methods of analysis and conversion factors*, Report of a technical workshop Rome, 3–6 December 2002.

- Farkas D.F. i Lazar M.E. (1969): Osmotic dehydration of apple pieces: effect of temperature and syrup concentration on rates. *Food Technol.* **23** 688-690.
- Feiner G. (2006): *Meat products handbook, Practical science and technology*, Woodhead Publishing Limited, Cambridge, England
- Filipović V., Kuljanin T., Mišljenović N., Čurčić B., Nićetin M., Koprivica G. i Pezo L.(2012): Determination of the Water Apparent Diffusivity Coefficients During Osmotic Dehydration of Carrot in Sugar Beet Molasses, *6th Central European Congress on Food, CEFood*, Novi Sad, Serbia, 656-661.
- Fish B.P.(1958): Diffusion and thermodynamics of water in potato starch, *Conference on Fundamental Aspects of the Dehydration of Foodstuffs*, Aberdeen, Scotland.
- Fito P.(1994): Modelling of vacuum osmotic dehydration of food, *J. Food Eng.* **22** 313–328.
- Fito P., Andres A., Chiralt A. i Pastor, R.(1996): Coupling of hydrodynamic mechanism and deformation–relaxation phenomena during vacuum treatments in solid porous food–liquid system, *J. Food Eng.* **21** 229–240.
- Fito P. i Chiralt A. (2000): *Vacuum impregnation of plant tissues*, in *Design of Minimal Processing Technologies for Fruits and Vegetables*, Alzamora, S.M., Tapia, M.S., and Lopez-Malo, A., Eds., Aspen Publishers, Gaithersburg, MD.
- Fito P., Chiralt A., Barat J., Salvatori D. i Andres, A. (1998): Some advances in osmotic dehydration of fruit, *Food Sci. Int.* **4** 329–338.
- Fito P. i Pastor R. (1994): Studies on some non diffusional mechanisms occurring during vacuum osmotic dehydration. *J. Food Eng.* **21** 513-519.
- Flink J.M. (1975): Process conditions for improved flavor quality of freeze dried foods. *J. Agric. Food Chem.* **23** 1019–1026.
- Flink J.M. (1979): Dehydrated carrot slices: influence of osmotic concentration on drying behaviour and product quality. In: *Food Process Engineering*. Linko, P, Malki Y, Olkku J, Larinkari J, Fito P, Ortega E, Barbosa G, (Eds.). Applied Science Publishers, London, 412-418.
- GarciaMartinez E., MartinezMonzo J., Camacho M. M., Martinez Navarrete N. (2002): Characterisation of reused osmotic solution as ingredient in new product formulation. *Food Res. Int.* **35** 307-313.
- Gianotti A., Sacchetti G., Guerzoni M.E. i Dalla Rosa M. (2001): Microbial aspects on short-time osmotic treatment of kiwifruit. *J. Food Eng.* **49** 265-270.

- Giangiaco R., Torreggiani D. i Abbo, E. (1987): Osmotic dehydration of fruit. 1. Sugars exchange between fruit and extracting syrups, *J. Food Process. Preserv.* **11** 183–195.
- Gill C.O. (1980): Total and intramuscular bacterial population of carcasses and cuts. *Proc Annu. Prociprocal Meat Conf* **33** 47-53.
- Gill, C. O. (1998): Microbiological contamination of meat during slaughter and butchering of cattle, sheep and pigs. In: A. Davies and R. Board (Ed.) *The Microbiology of Meat and Poultry*. Blackie Academic & Professional, New York. 118-157.
- Hawkes J. i Flink J.M. (1978): Osmotic concentration of fruit slices prior to freeze-dehydration. *J. Food Process. Preserv.* **2** 265–284.
- Honikel K.O. (1987): Water binding capacity of meat. *Fleischwirtschaft.* **67** 418, 420, 422–423, 425, 428, 452. Water and protein dehydration. In: JR Whitaker, SR Tannenbaum, ed. *Food Proteins*. Westport: AVI, 50-90.
- <http://faculty.etsu.edu/forsman/Histologyofmuscleforweb.htm>
- <http://www.chem.wisc.edu/deptfiles/genchem/sstutorial/Text11/Tx112/tx112.html>
- <http://www.diracdelta.co.uk/science/source/s/p/specific%20heat%20capacity/source.html>
- [http://www.engineeringtoolbox.com/water-thermal-properties-d\\_162.html](http://www.engineeringtoolbox.com/water-thermal-properties-d_162.html)
- <http://www.sugartech.co.za/solubility/index.php>
- Huang T. i Nip W. (2001): Intermediate-Moisture Meat and Dehydrated Meat, in *Meat Science and Application*; CRC Press.
- Huff-Lonergan, E., & Lonergan, S. M. (2005). Mechanisms of water-holding capacity of meat: The role of postmortem biochemical and structural changes. *Meat Sci.* **71** 1 194–204.
- Huxley H. (1957): The double array of filaments in cross-striated muscle. *J. Biophys Biochem Cytol.* **3** 631-647.
- Islam M.N. i Flink J.N. (1982): Dehydration of Potato. II. Osmotic concentration and its effect on air drying behaviour. *J. Food Technol.* **17** 387-403.
- Jayalakshmi T. i Santhakumaran A. (2011): Statistical Normalization and Back Propagation for classification. *International Journal of Computer Theory and Engineering.* **3** 1 89-93.
- Jokić, A. (2010): Modelovanje "crossflow" mikrofiltracije suspenzija kvasca primenom koncepta neuronskih mreža i postupka odzivne površine. *Doktorska disertacija*. Novi Sad, Tehnološki fakultet.

- Kauffman R.G. (2001): *Meat Composition, Meat Science and Application*, edited by Owen A. Young, Robert W. Rogers, Y. H. Hui, and Wai-Kit Nip, Marcel Dekker, Inc. New York.
- Konopacka D., Jesionkowska K., Klewicki R. i Bonazzi C. (2009): The effect of different osmotic agents on the sensory perception of osmo-treated dried fruit. *Journal of Horticultural Science & Biotechnology ISAFRUIT Special Issue*. 80–84.
- Koprivca G., Mišljenović N., Lević Lj. i Jevrić L. (2010): Mass transfer kinetics during osmotic dehydration of plum in sugar beet molasses. *J. Process. Energy Agric.* **14** 1 27-31.
- Koprivica G., Mišljenović N., Lević Lj. i Kuljanin T. (2009a): Influence of nutrients present in sugar beet molasses and saccharose solution on the quality of osmodehydrated carrot. *J. Process. Energy Agric.* **13** 178-180.
- Koprivica, G., Mišljenović, N., Lević, Lj. i Pribiš, V. (2009b): Changes in nutritive and textural quality of apple osmodehydrated in sugar beet molasses and saccharose solutions. *APTEFF*. **40** 35-46.
- Lampinen M.J i Noponen T. (2005): Electric dipole theory and thermodynamics of actomyosin molecular motor in muscle contraction. *J Theor Biol.* **236** 4 397-421.
- Lazarides H. N. (2001): Reasons and possibilities to control solid uptake during osmotic treatment of fruits and vegetables. U P. Fito, A. Chiralt, J. M. Barat, W. E. Spiess, & D. Behnilian (Ed.), *Osmotic Dehydration & Vacuum Impregnation*. Pennsylvania, Lancaster: Technomic Publishing Company, Inc.
- Lazarides H.N., Gekas V. i Mavroudis N. (1997): Apparent mass diffusivities in fruit and vegetable tissues undergoing osmotic processing. *J. Food Eng.* **31** 315–324.
- Lazarides H.N., Mitrakas G.E. i Matsos K.I. (2007): Edible coating and counter-current product/solution contacting: A novel approach to monitoring solids uptake during osmotic dehydration of a model food system. *J. Food Eng.* **82** 171–177.
- Lazić Z.R. (2004): *Design of Experiments in Chemical Engineering: A Practical Guide*, Wiley–VCH, Weinheim.
- Le Maguer, M. (1988): Osmotic dehydration: review and future directions. *Proceedings of the symposium in food preservation process. Brussels: CERFCI*, 283-309.
- Le Maguer M. (1996): Mass transfer modelling in structured foods. In: Fito P., Ortega-Rodriguez E. i Barbosa-Canovas G.V. (eds.), *Food Engineering 2000*. New York: Chapman and Hall, 253–270.

- Le Maguer M. i Biswal R.N. (1984): Multicomponent diffusion and vapour–liquid equilibria of dilute organic components in aqueous sugar solutions. *Am. Inst. Chem. Eng. J.* **18** 513–519.
- Lenart A. (1992): Mathematical modelling of osmotic dehydration of apple and carrot. *Polish Journal of Food Nutrition Science.* **1** 1-33.
- Lenart A. (1996): Osmoconvection drying of fruits and vegetables: technology and application. *Dry. Technol.* **14** 391-413.
- Lenart A. i Flink J.M. (1984a): Osmotic concentration of potato. I. Criteria for the end-point of the osmosis process. *J. Food Technol.* **19** 45–63.
- Lenart A. i Lewicki P.P. (1987): Kinetics of osmotic dehydration of plant tissue. In: *Drying 87*. Mujumdar A S (Ed.). Hemisphere Publication Corporation, New York, USA. 239.
- Lenart A. i Lewicki P. P. (1988): Energy consumption during osmotic and convective drying of plant tissue. *Acta Alimentaria Polonica* **1** 65-72.
- Lenart A. i Lewicki P.P. (1989): Osmotic dehydration of apple at high temperature. In *Drying 89*. Mujumdar A S, Roques M (Eds.). Hemisphere Publication Corporation, New York, USA. 501.
- Lericci C.R., Pinnavaia G., Rosa M. i Bartolucci L. (1985): Osmotic dehydration of fruits. Influence of osmotic agents on drying behavior and product quality. *J. Food Sci.* **50** 1217-1226.
- Lević Lj., Filipović V. i Kuljanin T. (2007): Osmotski tretman oblikovanog korena mrkve u saharozi i melasi. *J. Process. Energy Agric.* **11** 3, 131-142.
- Lević, Lj., Koprivica, G., Mišljenović, N., Filipčev, B., Šimurina, O.D. i Kuljanin, T. (2008): Effect of starch as an edible coating material on the process of osmotic dehydration of carrot in saccharose solution and sugar beet molasses. *APTEFF* **39** 29-36.
- Lević, Lj., Lević, J., Koprivica, G., Mišljenović, N., Sredanović, S. (2009): The possibility of using sugar beet molasses, after osmotic dehydration of apple, as a component of animal feed. *XIII Symposium Feed Technology*, Novi Sad: Institute for Food Technology. 229-233.
- Lević, Lj., Mišljenović, N., Koprivica, G., Kuljanin, T., Jevrić, L. (2009): Nova proizvodna linija za osmotsku dehidraciju voća i povrća. *Tehnološki fakultet, Univerzitet u Novom Sadu. Tehničko rešenje.*



- Lević, L., Razmovski, R., Vućurović, V., Koprivica, G., & Mišljenović, N. (2008). Primena melase šećerne repe nakon osmotske dehidracije jabuke za proizvodnju bioetanola. *J. Process. Energy Agric.* **12** 4 219-221.
- Lewicki P. P. i Lenart A. (1992): Energy consumption during osmoconvection drying of fruits and vegetables. U A. S. Mujumdar (Ur.), *Drying of Solids Inter. Sci. Publ.* 354.
- Lewicki P. P. i Lenart A. (2006). Osmotic dehydration of fruits and vegetables. U A. S. Mujumdar (Ur.), *Handbook of Industrial Drying (3<sup>rd</sup> ed.)*. Taylor & Francis Group, LLC.
- Mackey B. M. i Roberts T. A. (1993): Improving slaughtering hygiene using HACCP and onitoring. *Fleischwirtsch Int.* **2** 40-45.
- Madamba P.S. (2002), The response surface methodology: an application to optimize dehydration operations of selected agricultural crops. *LWT - Food Sci. Technol.* **35** 584-592.
- Magee T.R.A., Hassaballah A.A. i Murphy W. R. (1983): Internal mass transfer during osmotic dehydration of apple slices in sugar solutions. *Irish J. Food Sci. Technol.* **7** 147-155.
- Maneepan P i Yuenyongputtakal W. (2011): Osmotic Dehydration of Coconut Pieces: Influence of Vacuum Pressure Pretreatment on Mass Transfer and Physical Characteristics. *Kasetsart J. (Nat. Sci.)* **45** 891 – 899.
- Marcotte M. i Le Maguer M. (1991): Repartition of water in plant tissues subjected to osmotic Processes. *J. Food Proc. Eng.* **13** 297–320.
- Marcotte M., Toupin C. i Le Maguer M. (1991): Mass transfer in cellular tissues. Part I: The mathematical model. *J. Food Eng.* **13** 199–220.
- Marshall D. L. i Farid A. Bal'a M. (2001): *Microbiology of Meats, Meat Science and Application*, edited by Owen A . Young , Robert W . Rogers , Y . H . Hui , and Wai-Kit Nip, Marcel Dekker, Inc. New York.
- Martínez-Valencia B. B., Abud-Archila M.M., Ruiz-Cabrera A., Grajales-Lagunes A., Dendooven L., Ovando-Chacón S. L. i Gutiérrez-Miceli F. A. (2011): Pulsed vacuum osmotic dehydration kinetics of melon (*Cucumis melo* L.) var. cantaloupe. *AFR. J. AGRIC. RES.* **6** 15 3588-3596.
- Mavroudis N.E., Gekas V. i SjGholm I. (1997): Osmotic Dehydration of Apples - Effects of Agitation and Raw Material Characteristics. *J. Food Eng.* **35** 191-209.
- Maxcy R.B. (1981): Surface microenvironment and penetration of bacteria into meat. *J. Food Prot.* **44** 550-552,

- Mayers R. H. i Montgomery D. C. (2002): *Response Surface Methodology: Process and Product Optimization Using Designed Experiments (2 ed.)*. Wiley Interscience.
- Mercali G.D., Marczak L.D.F., Tessaro I.C. i Norena C.P.Z. (2011): Evaluation of water, sucrose and NaCl effective diffusivities during osmotic dehydration of banana (*Musa sapientum*, shum.). *LWT Food Science and Technology* **44** 82-91.
- Mišljenović N.(2012): Osmotska dehidracija u melasi šećerne repe i rastvorima saharoze kao energetski efikasan i ekološki prihvatljiv tehnološki postupak povećanja održivosti voća i povrća, *Doktorska disertacija*, Novi Sad, Tehnološki fakultet.
- Mišljenović N., Koprivica G., Jevrić L. i Lević, Lj. (2011a): Mass transfer kinetics during osmotic dehydration of carrot cubes in sugar beet molasses. *Rom. Biotech. Lett.* **16** 6 6790-6799.
- Mišljenović N., Koprivica G., Lević Lj., Petkova M. i Kuljanin T. (2008): Mass Transfer During Osmotic Dehydration of Apple and Carrot in Sugar Beet Molasses. *J. Process. Energy Agric.* **12** 4 211 – 214.
- Mišljenović N., Koprivica G., Lević Lj., Stojiljković S. i Kuljanin T. (2011b): Counter-Current Osmotic Dehydration of Carrot and Apple in Sucrose Solutions and Sugar Beet Molasses, *J. Process. Energy Agric.* **15** 3 146-148.
- Mišljenović N., Koprivica G., Pezo L., Kuljanin T., Bodroža Solarov M. i Filipčev B. (2011c): Application of Peleg Model to Study Mass Transfer During Osmotic Dehydration of Apple in Sugar Beet Molasses. *APTEFF* **42** 91-100.
- Mišljenović N., Koprivica G., Pezo L., Lević Lj., Ćurčić B., Filipović V. i Nićetin M. (2012a): Optimization of the osmotic dehydration of carrot cubes in sugar beet molasses, *Therm Sci.* **16** 1, 43-52.
- Mišljenović N., Koprivica G., Pezo L., Ćurčić B., Filipović V., Kuljanin T. i Lević Lj. (2012b): Optimization of Osmotic Dehydration of Apple in Sugar Beet Molasses, *6th Central European Congress on Food, CEFood*, Novi Sad, Serbia 732-737.
- Montgomery D.C. i Runger G.C. (2003): *Applied statistics and probability for engineers*. John Wiley & Sons Inc., New York.
- Moreira R., Chenlo F., Torres M.D. i Vazquez G. (2007): Effect of stirring in the osmotic dehydration of chestnut using glycerol solutions. *LWT* **40** 1507–1514.
- Moreno J., Chiral A., Escriche I. i Serra J. A. (2000): Effect of blanching/osmotic dehydration combined methods on quality and stability of minimally processed strawberries. *Food Res. Int.* **33** 609-616.

- Moreira R. i Sereno A. M. (2003): Evaluation of mass transfer coefficients and volumetric shrinkage during osmotic dehydration of apple using sucrose solutions in static and non-static conditions. *J. Food Eng.* **57** 25 – 31.
- Moy J.H., Lau B.H. i Dollar A.M. (1978): Effects of sucrose and acids on osmotic dehydration of tropical fruits. *J. Food Proc. Pre.* **2** 131-135.
- Olbrich H. (1963): *The Molasses*, Institut für Zuckerindustrie, Berlin (Germany).
- Ozdemir M., Ozen B. F., Dock L. L. i Floros J. D. (2008): Optimization of osmotic dehydration of diced green peppers by response surface methodology. *LWT-Food Sci. Technol.* **68** 1-7.
- Panagiotou, N. M., Karathanos, V. T. i Maroulis Z. B. (1999): Effect of Osmotic Agent on Osmotic Dehydration of Fruits. *Dry. Technol.* **17** 1-2, 175-189.
- Pearce K. L., Rosenvold K. J., Andersen H. i Hopkins D. L. (2011): Water distribution and mobility in meat during the conversion of muscle to meat and ageing and the impacts on fresh meat quality attributes — A review. *Meat Sci.* **89** 111–124.
- Pearson A. i Young R. (1989): Proteins of the thick filament. In: A Pearson, RY Young, ed. *Muscle and Meat Biochemistry*. San Diego: Academic Press, 66-94.
- Penny I.F. (1975): The effect of freezing on the amount of “drip”. *Meat Proc. M.R.I. Symp. “Meat freezing: Why and how”*. **3** 8.1.-8.8.
- Perera CO (1990). *A report on drying of kiwi fruit (confidential)*. Horticulture and Food Research Institute of New Zealand Ltd. New Zealand. 18.
- Perišić-Janjić N. (1997). Opšta hemija. *Beograd: Nauka*.
- Petrović M., Brdarić T., Rajković K. i Pavelkić V. (2012): Mass transfer kinetics during osmotic dehydration of sour cherry in sugar beet molasses; *11th International Conference on Fundamental and Applied Aspects of Physical Chemistry*. 748-750.
- Pezo L., Koprivica G., Mišljenović N., Ćurčić B., Filipović V., Nićetin M. i Šuput D. (2012): Changes in Texture Properties of Carrot During Osmotic Dehydration in Sugar Beet Molasses, *3<sup>rd</sup> Workshop: Specific Methods for Food Safety and Quality, Vinča Institute of Nuclear Sciences, Belgrade, Serbia, Proceedings*, 25-28.
- Plotnikov S. V., Millard A. C., Campagnola P. J. i Mohler W. A. (2006): Characterization of the myosin-based source for the second-harmonic generation from muscle sarcomeres. *Biophys. J.* **90** 693–703.

- Ponting J.D. (1973): Osmotic dehydration of fruits—Recent modifications and applications, *Process. Biochem.* **8** 18–23.
- Ponting J.D., Watters G.G., Forrey G.G., Jackson R.R. i Stanley R. (1966): Osmotic dehydration of fruits. *Food Technol.* **20** 125–131.
- Popesku P. (1988): *Atlas topografske anatomije domaćih životinja*, Mladinska knjiga, Ljubljana.
- Potter N. N. i Hotchkiss J. H. (1998): *Food Science (Fifth ed.)*. Gaithersburg, Maryland: Aspen Publishers, Inc.
- Pravilnik o opštim i posebnim uslovima higijene hrane u bilo kojoj fazi proizvodnje, prerade i prometa (2010). *Službeni glasnik RS*, **72/10**.
- Puolanne E. i Halonen M. (2010): Theoretical aspects of water-holding in meat. *Meat Sci.* **86** 151–165.
- Qi H., LeMaguer M. i Sharma S.K. (1998): Design and Selection of Processing Conditions of a Pilot Scale Contactor for Continuous Osmotic Dehydration of Carrots, *J. Food Process Eng.* **21** 75-88.
- Rahman M. S. (2007): Osmotic Dehydration of Foods. U M. S. Rahman (Ur.), *Handbook of Food Preservation (2 ed.)*. CRC Press.
- Rahman M.S. i Lamb J. (1990): Osmotic dehydration of pineapple. *J. Food Sci. Technol.* **27** 150-152.
- Rahman M.S. i Lamb J. (1991). Air drying behaviour of fresh and osmotically dehydrated pineapple. *J. Food Process Eng.* **14** 163-171.
- Raoult-Wack A.L (1994): Recent advances in the osmotic dehydration of foods. *Trends Food Sci. Tech.* **5** 8 255-260
- Raoult-Wack A.L., Lafont F., Rios G. i Guilbert S. (1989): Osmotic dehydration: study of the mass transfer in terms of engineering properties. In: *Drying 89*. Mujumdar A S, Roques M (Eds.). Hemisphere Publishing Corporation, New York, USA. 487-495.
- Raoult-Wack A.L., Rios G., Saurel R., Giroux F. i Guilbert S. (1994): Modeling of dewatering and impregnation soaking process (osmotic dehydration). *Food Res. Int.* **27** 2 207-209
- Rastogi N.K., Eshtiaghi M.N. i Knorr, D. (1999): Accelerated mass transfer during osmotic dehydration of high intensity electrical field pulse pretreated carrots. *J. Food Sci.* **64** 1020–1023.

- Ratti C. (2009): *Advances in Food Dehydration*, CRC Taylor & Francis Group, Boca Ration, Florida, US
- Rede R. i Petrović Lj. (1997): *Tehnologija mesa i nauka o mesu, I izdanje*, Tehnološki fakultet, Novi Sad.
- Rastogi N.K., Angersbach A. i Knorr D. (2000): Synergistic effect of high hydrostatic pressure pretreatment and osmotic stress on mass transfer during osmotic dehydration. *J. Food Eng.* **45** 25-31
- Rastogi N.K. i Niranjana K. (1998): Enhanced mass transfer during osmotic dehydration of high pressure treated pineapple. *J. Food Sci.* **63** 508–511.
- Romagnoli M. i Gualtieri M. L. (2009): *Advantages in Using Design of experiments and Artificial Neural Networks in the Study and Optimization of Ceramic Systems*, Tile and Brick, International Manual.
- Saputra D. (2001): Osmotic dehydration of pineapple. *Dry. Technol.* **19** 415 – 425.
- Saurel R., Raoult-Wack A., Rios G. i Guilbert S. (1994a): Mass transfer phenomena during osmotic dehydration of apple. I Fresh plant tissue. *Int. J. Food Sci. Technol.* **29** 531-537.
- Saurel R., Raoult-Wack A., Rios G. i Guilbert S. (1994b): Mass transfer phenomena during osmotic dehydration of apple. II Frozen plant tissue. *Int. J. Food Sci. Technol.* **29** 538-542.
- Sebranek J.G. i Bacus J.N. (2007): Cured meat products without direct addition of nitrate or nitrite: what are the issues? *Meat Sci.* **77** 136–147.
- Sereno A.M., Hubinger M.D., Comesañac J.F. i Correa A. (2001): Prediction of water activity of osmotic solutions. *J. Food Eng.* **49** 2-3 103-114
- Shi J. i Le Maguer M. (2002a): Mass transfer in cellular material at solid–liquid contacting interface. *Lebensm.-Wiss. Technol.* **35** 367–372.
- Shi, J. i Le Maguer M. (2002b): Analogical cellular structure changes in solid–liquid contacting operations, *Lebensm.-Wiss. Technol.* **35** 444–451.
- Shi J. i Le Maguer M. (2003): Mass transfer flux at solid–liquid contacting interface, *Food Sci. Technol. Int.* **9** 193–197.
- Shi J. i Xue S. J. (2009): Application and Development of Osmotic Dehydration Technology in Food Processing, *Advances in Food Dehydration*, Taylor & Francis Group, Boca Raton, 187-208.

- Shi X.Q. i Manupoe P.F. (1994). Mass transfer in vacuum osmotic dehydration of fruits: a mathematical model approach. *J. Food Sci. Technol.* **27** 67-72.
- Silin P.M. (1950): *Voprosy tekhnologii sakharistykh veshchest*, Moskva, Pishchepromizdat.
- Sousa P.H.M., Souza Neto M.A., Maia G.A., Souza Filho M.S.M. i Figueiredo R.W. (2003): Desidratação osmótica de frutos. *Boletim da Sociedade Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos.* **37** 94-100.
- Spiess W.E.L. (1999): Improvement of overall food quality by application of osmotic treatments in conventional and new processes: Concerted action FAIR-CT96-1118, in *Osmotic Treatments for the Food Industry. Proceedings of the 1st Osmotic Treatment Seminar, Sereno, A.M., Ed., FEUP Edicoes, Porto, Portugal*, 9–17.
- SRPS ISO 11035:2002 Senzorske analize - Identifikacija i odabir deskriptora za utvrđivanje senzorskog profila multidimenzionalnim postupkom.
- Stamenković T., Živković D., Perunović M. i Jovanović M. (2007): Proizvodnja i odlike suve svinjske plećke, *Tehnologija mesa*, **48** 5-6.
- Stanley DW (1983): Relation of structure to physical properties of animal material. In: M Peleg, EB Bagley, ed. *Physical Properties of Foods*. Westport: AVI, 127-206.
- Šušić S.K. i Guralj E.M. (1965): *Osnovi tehnologije šećera*, Naučna knjiga, Univerzitet u Beogradu, Beograd.
- Šušić S., Kukić G., Sinobad V., Perunović P., Koronovac B. i Bašić Đ. C. (1995): *Osnovi tehnologije šećera*, Industrija šećera Jugoslavije „Jugošećer“ D.D., Beograd.
- Toledo R.T. (2007): *Fundamentals of Food Process Engineering*, University of Georgia, Athens, Georgia, USA.
- Torreggiani D. (1993): Osmotic Dehydration in Fruit and Vegetable Processing. *Food Res. Int.* **26** 1, 59-68.
- Torreggiani D. i Bertolo G. (2001): Osmotic pre-treatments in fruit processing: chemical, physical and structural effects. *J. Food Eng.* **49** 247–253.
- Tortoe C. (2010): A review of osmodehydration for food industry. *African Journal of Food Science.* **4** 6 303 – 324.
- Trout G. R. (1988): Techniques for measuring water-binding capacity in muscle foods— A review of methodology. *Meat Sci.* **23** 4 235–252.

- Uddin M. B., Ainsworth P. i Ibanoglu, S. (2004): Evaluation of mass exchange during osmotic dehydration of carrots using response surface methodology. *J. Food Eng.* **65** 473-477.
- Valle J.M. del, Aranguiz V. i Leon H.(1998): Effects of blanching and calcium infiltration on PPO activity, texture, microstructure and kinetics of osmotic dehydration of apple tissue. *Food Res. Int.* **31** 557–569.
- Valle J.M. del, Cuadros T.R.M. i Aguilera, J.M. (1998): Glass transitions and shrinkage during drying and storage of osmosed apple pieces. *Food Res. Int.* **31** 191–204.
- Waliszewski K.N., Cortés H.D., Pardo V.T. i Garcia M.A. (1999): Color Parameter Changes in Banana Slices During Osmotic Dehydration , *Dry. Technol.* **17** 4-5, 955-960.
- Yao Z. i Le Maguer M. (1996): Mathematical modelling and simulations of mass transfer in osmotic dehydration processes. Part I: Conceptual and mathematical models. *J. Food Eng.* **29** 349–360.
- Yao Z. i Le Maguer M. (1997): Mathematical modelling and simulation of mass transfer in osmotic dehydration processes. Part III: Parametric Study. *J. Food Eng.* **32** 33-46.