



UNIVERZITET U NOVOM SADU  
Tehnološki fakultet

**ISPITIVANJE NUTRITIVNE VREDNOSTI OSUŠENOG  
JABUČNOG TROPA I MOGUĆNOSTI NJEGOVE UPOTREBE U  
INDUSTRIJSKOJ PROIZVODNJI HRANE ZA ŽIVOTINJE**

*DOKTORSKA DISERTACIJA*

Mentori:

Prof. dr Ljubinko Lević  
Dr Rade Jovanović

Kandidat:

Marijana Maslovarić, dipl. inž.

Novi Sad, 2017. godine



## Zahvalnica

*Ova doktorska disertacija staza je života koju sam izabrala i predstavlja mnogo više od istraživanja. Ona je kruna važnog dela mog profesionalnog i ličnog razvoja, koji je bio obeležen bogatim iskustvima, a što je još vrednije, izuzetnim ljudima. Zato želim da iskoristim ovu priliku i da im iskreno zahvalim.*

*Želim da zahvalim mentoru, prof. dr Ljubinku Leviću, na prilici da radim doktorsku disertaciju pod njegovim vođstvom, na korisnim savetima, sugestijama i velikoj pomoći i podršci prilikom izrade disertacije.*

*Zahvaljujem mentoru dr Radetu Jovanoviću, naučnom savetniku, idejnom tvorcu ovih istraživanja, bez čije posvećenosti, zalaganja, znanja i iskustva, ove doktorske disertacije ne bi ni bilo. Njegova podrška i saveti tokom koncipiranja, realizacije ogleđa i pisanja rada za mene su od neprocenjive vrednosti.*

*Želim da zahvalim prof. dr Aleksandri Tepić na korisnim savetima i pomoći tokom rada na disertaciji.*

*Zahvalnost dugujem i prof. dr Nataliji Džinić na kritičkom pogledu i brojnim korisnim sugestijama prilikom pisanja ovog rada.*

*Veliku zahvalnost dugujem svom direktoru prof. dr Snežani Janković, zato što mi je ukazala poverenje i omogućila rad u naučnoistraživačkoj instituciji. Hvala joj i na nesebičnoj podršci, pomoći, razumevanju i uvek pravim savetima koje mi je davala tokom rada na disertaciji.*

*Posebno mesto i zahvalnost pripadaju dr Jovanki Lević, koja mi je omogućila da naučnoistraživački rad započnem u sjajnom timu na projektu čiji je rukovodilac. Zahvaljujem joj što mi je pomogla da ostvarim važne kontakte sa naučnoistraživačkim institucijama i stručnjacima iz inostranstva.*

*Posebnu zahvalnost dugujem kompaniji Vino Župa a.d. Aleksandrovac, njihovim stručnjacima u pogonima za preradu voća, koji su dali značajan doprinos u sprovođenju planiranih istraživanja. Naročito se zahvaljujem predsedniku ove kompanije Radetu Šljiviću, koji je inicirao izradu ove disertacije. Iskreno se nadam da će rezultati ovih istraživanja biti od posebne koristi za budući rad Vino Župe.*

*Takođe zahvaljujem dipl. inž. Goranu Dikiću i kompaniji Kotlenik – promet d.o.o iz Kraljeva, koja mi je omogućila izvođenje dela istraživanja na svojoj farmi i klanici*

*Veliku zahvalnost dugujem dragim kolegama dr Đuri Vukmiroviću i dr Radmilu Čoloviću, koji su me upoznali sa principima tehnološkog procesa peletiranja i praktično bili moji komentori u sprovođenju eksperimenata vezanih za ovu oblast. Hvala im na nesebičnoj pomoći i volji da svoje veliko znanje i iskustvo podele sa mnom.*

*Zahvaljujem dr Sveti Rakiću na komentorstvu u sprovođenju eksperimentalnih istraživanja vezanih za pojedine hemijske analize sprovedene u ovom radu i brojnim savetima prilikom pisanja dela disertacije koji se na njih odnosio.*

*Zahvalnost dugujem i dr Latu Pezu, koji je bio uključen u deo statističke obrade eksperimentalnih rezultata, kao i u sve segmente pisanja ovog rada. Njegova stručnost, znanje i bezrezervna podrška su u mnogome doprineli kvalitetu ove disertacije.*

*Zahvaljujem i svim kolegama iz Instituta za primenu nauke u poljoprivredi iz Beograda na podršci, pomoći i razumevanju. Posebnu zahvalnost dugujem dr Ivani Bakić, koja je preuzela veliki deo mojih obaveza u Institutu koje sam zapostavila tokom rada na disertaciji. Hvala joj što mi nije dozvolila da posustanem ni u najtežim trenucima. Želim da zahvalim i dr Milovanu Pušiću na izuzetno korisnim savetima i praktičnoj i stručnoj pomoći pri izvođenju oglada i pisanju ovog rada.*

*Veliku zahvalnost dugujem i dragim kolegama iz Instituta za prehrambene tehnologije (FINS) iz Novog Sada: Nedeljki Spasevski, Bojani Kokić, dr Dušici Čolović i Vojislavu Banjcu, na uvek dobroj volji i spremnosti da pomognu. Želela bih da zahvalim i dr Maji Natić i Milici Pantelić sa Hemijskog fakulteta u Beogradu, na velikoj pomoći pri izvođenju pojedinih hemijskih analiza.*

# 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	Marijana Maslovarić, dipl. inž. tehnologije
Mentor (titula, ime, prezime, zvanje): MN	Prof. dr Ljubinko Lević Dr Rade Jovanović, naučni savetnik
Naslov rada: NR	Ispitivanje nutritivne vrednosti osušenog jabučnog tropa i mogućnosti njegove upotrebe i industrijskoj proizvodnji hrane za životinje
Jezik publikacije: JP	Srpski jezik, latinica
Jezik izvoda: JI	srp. / eng.
Zemlja publikovanja: ZP	Republika Srbija
Uže geografsko područje: UGP	AP Vojvodina
Godina: GO	2017
Izdavač: IZ	autorski reprint
Mesto i adresa: MA	Bulevar cara Lazara 1, Novi Sad

Fizički opis rada: FO	6 poglavlja / 179 stranica / 29 slika / 65 tabela / 343 reference
Naučna oblast: NO	Biotehničke nauke - prehrambeno inženjerstvo
Naučna disciplina: ND	Tehnologija hrane za životinje
Predmetna odrednica, ključne reči: PO	Jabučni trop, hrana za životinje, peletiranje, smeše koncentrata za ishranu životinja, tovne svinje
UDK	
Čuva se: ČU	Biblioteka Tehnološkog fakulteta u Novom Sadu
Važna napomena: VN	Istraživanja u ovoj doktorskoj disertaciji deo su projekta III46012, koji finansira Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije
Izvod: IZ	<p>Jabučni trop je sporedni proizvod tehnološkog postupka proizvodnje soka od jabuke, koji čini oko 20 - 30% mase sveže prerađene jabuke. Godišnje se u svetu proizvede nekoliko miliona tona jabučnog tropa. Svež jabučni trop karakteriše visok sadržaj vlage i šećera, usled čega je podložan mikrobiološkoj kontaminaciji, nekontrolisanoj fermentaciji i kvarenju. I pored uvođenja sve strožije zakonske regulative u upravljanju biorazgradivim otpadom, velike količine jabučnog tropa odlažu se na deponijama, što predstavlja ozbiljan ekološki problem. S obzirom da jabučni trop ima određenu nutritivnu vrednost, potrebno je razmotriti mogućnosti njegovog iskorišćenja u ishrani životinja.</p> <p>Osnovni cilj ovih istraživanja bio je da se ispita mogućnost upotrebe osušenog jabučnog tropa u ishrani životinja, odnosno u industrijskoj proizvodnji hrane za životinje. U skladu s tim, izvršeno je ispitivanje nutritivne vrednosti osušenog jabučnog tropa i ispitivanje procesa</p>

peletiranja osušenog jabučnog tropa, s obzirom da je peletiranje jedan od najčešće korišćenih tehnoloških procesa u industrijskoj proizvodnji hrane za životinje.

Ispitivanje hemijskog sastava osušenog jabučnog tropa, koje je imao za cilj utvrđivanje njegove nutritivne vrednosti, obuhvatilo je analizu sadržaja: sirovih proteina, sirovih masti, sirovih vlakana, pepela, neutralnih deterdžentskih vlakana (NDF–Neutral Detergent Fibre), kiselih deterdžentskih vlakana (ADL–Acid Detergent Fibre), lignina, ukupnih šećera, pojedinih šećera–fruktoze, glukoze i saharoze, esencijalnih aminokiselina, vitamina i mineralnih elemenata. Pri tome je utvrđeno da, u odnosu na većinu standardno korišćenih hraniva u ishrani životinja, osušeni jabučni trop sadrži veliku količinu sirovih vlakana i šećera, a male količine proteina i masti.

Na osnovu utvrđenog nutritivnog sastava osušenog jabučnog tropa, sastavljene su smeše koncentrata za ishranu tovnih svinja i sproveden je ogled ishrane koji je imao za cilj ispitivanje uticaja ishrane tovnih svinja smešama koncentrata sa različitim procentualnim učešćem osušenog jabučnog tropa, na proizvodne rezultate tovljenika. Rezultati ogleđa pokazali su da ishrana svinja smešama koncentrata u koje je uključen osušeni jabučni tropa u količini od 7% u prvoj fazi tova i 10% u drugoj fazi tova, nije imala negativan uticaj na zdravlje, proizvodne i klanične rezultate tovljenika.

U sledećem delu istraživanja izvršeno je peletiranje osušenog jabučnog tropa, pri čemu su primenjena tri nivoa vlage nepeletiranog materijala - 10, 13 i 16%. Ispitivanjem kvaliteta proizvedenih peleta jabučnog

tropa, utvrđeno je da se peletiranjem ovog materijala dobijaju pelete veoma dobrog fizičkog kvaliteta, u pogledu indeksa otpornosti – PDI (Pellet Durability Index) i tvrdoće. Vrednost indeksa otpornosti peleta PDI iznosila je preko 99% za sva tri početna sadržaja vlage osušenog jabučnog tropa. Nasipna masa peletiranog osušenog jabučnog tropa bila je približno dva puta veća od nasipne mase pre peletiranja. Povećanje sadržaja vlage osušenog jabučnog tropa na 13 i 16% dovelo je do smanjenja temperature i potrošnje energije u procesu peletiranja.

Sledeći deo istraživanja odnosio se na ispitivanje uticaja dodavanja jabučnog tropa u model smeše koncentrata sastavljenih od kukuruza i suncokretove sačme, na fizički kvalitet dobijenih peleta, specifičnu potrošnju električne energije pelet prese i temperaturu matrice pelet prese. Za potrebe eksperimentalnog ispitivanja pripremljene su 3 model smeše koncentrata, sa udelom osušenog jabučnog tropa od 0, 10 ili 20%. Smeše su kondicionirane dodatkom vode u smešu do postizanja sadržaja vlage od 13, 15 i 17%, i peletirane pri tri debljine matrice pelet prese (8, 24 i 30 mm). Dakle, varirana tri parametra na tri nivoa, pri čemu je primenjen potpuni faktorijalni eksperimentalni plan. Zavisno promenljive veličine (odzivne veličine) bile su: PDI, tvrdoća peleta (H), udeo prašine u peletama, nasipna masa peleta, temperatura matrice pelet prese i specifična potrošnja energije pelet prese. Rezultati ovih istraživanja pokazali su da je dodavanje osušenog jabučnog tropa u model smeše koncentrata dovelo do značajnog poboljšanja kvaliteta peleta, koje je



bilo naročito izraženo u pogledu povećanja vrednosti PDI i smanjenja udela prašine u peletama. Rezultati analize standardnih ocena SS (SS – standard score) pokazali su da su optimalne vrednosti kvaliteta peleta, specifične potrošnje energije i temperature matrice pelet prese dobijene za model smešu koncentrata sa udelom osušenog jabučnog tropa od 10%, za debljinu matrice pelet prese od 30 mm i početni sadržaj vlage smeše od 17%. Dobri rezultati su postignuti i za pelete model smeše koncentrata sa 20% jabučnog tropa, dobijene pri debljini matrice od 24 mm i početnom sadržaju vlage smeše od 17%.

Za definisanje uticaja udela osušenog jabučnog tropa u model smešama, debljine matrice pelet prese i početnog sadržaja vlage model smeša na promenu odzivnih veličina sistema, korišćena je metoda odzivne površine (RSM-Response Surface Methodology). Analizom varijanse (ANOVA) modela odziva za svaki od analiziranih parametara kvaliteta peleta i procesa peletiranja, utvrđeno je koji od parametara procesa (udeo jabučnog tropa u model smešama koncentrata, debljina matrice pelet prese i početni sadržaj vlage model smeša koncentrata), ima statistički najznačajniji uticaj na formiranje matematičkih modela odziva, prikazanih u obliku polinoma drugog reda (SOP). Rezultati ovog istraživanja su pokazali da je povećanje udela osušenog jabučnog tropa, debljine matrice pelet prese i početnog sadržaja vlage model smeša koncentrata, dovelo do povećanja vrednosti PDI, tvrdoće (H) i nasipne mase peleta, a do smanjenja udela prašine u peletama. Povećanje udela jabučnog tropa u model smešama koncentrata i debljine

	<p>matrice pelet prese, doveli su do povećanja specifične potrošnje energije i temperature matrice pelet prese. Sa druge strane, sa povećanjem početnog sadržaja vlage smeše, došlo je do smanjenja specifične potrošnje energije i temperature matrice pelet prese.</p> <p>U poslednjem delu istraživanja, na osnovu definisane nutritivne vrednosti osušenog jabučnog tropa, urađen je proračun, odnosno optimizacija smeša koncentrata za ishranu pojedinih vrsta i kategorija domaćih životinja, u koje je u optimalnoj količini uključen osušeni jabučni trop kao jedno od hraniva. Na ovaj način je dat predlog praktične upotrebe osušenog jabučnog tropa u ishrani domaćih životinja i industrijskoj proizvodnji hrane za životinje.</p>
Datum prihvatanja teme od strane Senata: DP	28.09.2015.
Datum odbrane: DO	
Članovi komisije: (ime i prezime / titula / zvanje / naziv organizacije / status) KO	<p>Predsednik: Dr Aleksandra Tepić Horecki, vanredni profesor, Tehnološki fakultet, Novi Sad</p> <p>Član: Prof. dr Natalija Džinić, redovni profesor, Tehnološki fakultet, Novi Sad</p> <p>Član: Prof. dr Ljubinko Lević, mentor</p> <p>Član: Dr Rade Jovanović, naučni savetnik, mentor</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	PhD Thesis
Author: AU	Marijana Maslovarić, graduated engineer of technology
Mentor: MN	Ljubinko Lević, PhD, full professor Rade Jovanović, PhD, principal research fellow
Title: TI	A study on the nutritive value of dried apple pomace and possibilities for using its utilization in the industrial production of animal feed
Language of text: LT	Serbian language, Latin
Language of abstract: LA	English / Serbian
Country of publication: CP	Republic of Serbia
Locality of publication: LP	AP Vojvodina
Publication year: PY	2017
Publisher: PU	Author's reprint
Publication place: PP	21000 Novi Sad, Bulevar cara Lazara 1

Physical description: PD	6 chapters, 179 pages, 65 tables, 29 figures, 343 references
Scientific field SF	Biotechnical Sciences - Food Engineering
Scientific discipline SD	Feed technology
Subject, Key words SKW	Apple pomace, animal feed, pelleting, feed mixtures, fattening pigs
UC	
Holding data: HD	Library of the Faculty of technology, University of Novi Sad
Note: N	Researche of this PhD thesis is a part of the project III46012, funded by Ministry of Education, Science and Technological Development of the Republic of Serbia
Abstract: AB	<p>Apple pomace is a by-product of the industrial production of apple juice, amounting to approximately 20-30% of freshly processed apples. Several million tonnes of apple pomace is produced in the world annually. Fresh apple pomace is characterised by high sugar and moisture content, which makes it susceptible to microbial contamination, uncontrolled fermentation and spoiling. Despite increasingly stricter legal regulations in managing biodegradable waste, large quantities of apple pomace are still being disposed of at landfills, posing a serious environmental issue. Since apple pomace has a certain nutritive value, it seems necessary to consider possibilities for using it as animal feed.</p> <p>The main goal of this research was to examine the possibility for using dried apple pomace as animal feed, i.e., as a raw material in the industrial production of animal feed. Accordingly, the nutritive</p>

value of dried apple pomace was examined, along with the process of pelleting, since pelleting is one of the most common technological procedures in the industrial production of animal feed.

The testing of the chemical composition of dried apple pomace, used to determine its nutritive value, included the analyses of the content of raw proteins, raw fats, raw fibres, ash, neutral detergent fibres (NDF), acid detergent lignin (ADL), lignin, total sugars, individual sugars – fructose, glucose and sucrose, essential amino-acids, vitamins and mineral elements. When compared with the majority of commonly used animal feeds, the dried apple pomace was found to contain large amounts of raw fibres and sugars and small amounts of proteins and fats.

In accordance with the determined nutritional composition of the dried apple pomace, concentrate mixtures for fattening pigs were prepared, after which a trial was performed to examine the effect of feeding the animals on the mixtures containing dried apple pomace in different concentrations on the production performance of the fattening pigs. The results of the feeding trial showed that adding 7% of dried apple pomace in the growing period and 10% in the finishing period had no negative effects on the animal health, production and meat yield.

In the next part of the research, the dried apple pomace was pressed into pellets, with three starting moisture contents in the unpelleted material – 10%, 13% and 16%. The examination of the produced

pellets showed that they had very good physical quality in terms of the pellet durability index (PDI) and hardness. The value of PDI exceeded 99% for all three starting moisture contents. The bulk density of the pelleted dried apple pomace was nearly twice as large as it was before pelleting. Increasing the moisture content in the dried apple pomace from 13% to 16% resulted in lower temperatures and energy consumption in the process of pelleting.

The goal of the next part of the research was to examine the effect of adding apple pomace into the concentrate mixture models consisting of corn and sunflower meal on the physical quality of the obtained pellets, the specific electricity consumption of the pellet press and the temperature of the pellet press die. Three concentrate mixture models were prepared for the test, comprising 0%, 10% and 20% of dry apple pomace. The mixtures were conditioned by adding water to reach the moisture content of 13%, 15% and 17% and pelleted at three settings of the press die (8, 24 and 30 mm). Therefore, three parameters were varied at three levels, in a full factorial experimental design. The dependent variables (response variables) were: PDI, pellet hardness (H), dust content in the pellets, bulk density of the pellets, matrix temperature of the pellet press and the specific energy consumption of the pellet press. The results showed that adding dried apple pomace into the model concentrate mixtures led to a significant increase in pellet quality, especially in terms of increasing the PDI value and decreasing the dust content. The results of the analysis of standard scores (SS) showed that the

optimum values for pellet quality, specific energy consumption and temperature of the press die were obtained for the model concentrate mixture containing 10% of dried apple pomace, using 30 mm press die and with 17% of the starting moisture content. Good results were also obtained for the model concentrate mixture containing 20% of dried apple pomace, using 24 mm press die and with 17% of the starting moisture content.

To define the effect of the concentration of dried apple pomace in the model mixtures, the press die thickness and the starting moisture content on the change of the response variables, the response surface methodology (RSM) was used. The analysis of variance (ANOVA) of the response models for each of the analysed quality parameters and pelleting processes, showed which of the process parameters (percentage of apple pomace in the concentrate model mixtures, press die thickness and starting moisture content) had statistically the biggest effect on creating the mathematical response models, presented in the form of the second order polynomial (SOP). The results of this research showed that the increase in the percentage of dried apple pomace, press die thickness and starting moisture content led to an increase in PDI value, hardness (H) and bulk density of the pellets and a decrease in the content of dust in the pellets. The increase in the share of apple pomace in the model mixtures and in the die thickness of the pellet press led to an increase in the specific energy consumption and die temperature. On the other hand, the increase in the starting moisture content led to a decrease in

	<p>the specific energy consumption and die temperature.</p> <p>In the last part of the research, on the basis of the determined nutritive value of the dried apple pomace the author made a calculation, in terms of optimising the concentrate mixtures containing dried apple pomace in the optimum amount for feeding particular species and categories of farm animals. The results suggest the way of practical utilization of dried apple pomace in feeding farm animals as well as in the industrial production of animal feed.</p>
<p>Accepted on Senate on: AS</p>	
<p>Defended: DE</p>	
<p>Thesis Defend Board: DB</p>	<p>President: Aleksandra Tepić Horecki, PhD, Associate Professor, Faculty of Technology, Novi Sad</p> <p>Member: Natalija Džinić, PhD, Full Professor, Faculty of Technology, Novi Sad</p> <p>Member: Ljubinko Lević, PhD, Full Professor Faculty of Technology, Novi Sad - mentor</p> <p>Member: Rade Jovanović, Principal Research Fellow - mentor</p>



## Sadržaj

<b>1.</b>	<b>UVOD.....</b>	<b>1</b>
<b>1.1.</b>	<b>Ciljevi istraživanja.....</b>	<b>4</b>
<b>2.</b>	<b>PREGLED LITERATURE.....</b>	<b>5</b>
<b>2.1.</b>	<b>Sporedni proizvodi prehrambene industrije.....</b>	<b>5</b>
2.1.1.	Načini tretmana sporednih proizvoda prehrambene industrije i njihov uticaj na životnu sredinu.....	6
2.1.1.1.	<i>Odlaganje sporednih proizvoda prehrambene industrije na deponijama.....</i>	7
2.1.1.2.	<i>Termohemijske metode tretmana sporednih proizvoda prehrambene industrije.....</i>	7
2.1.1.3.	<i>Biološke metode tretmana sporednih proizvoda prehrambene industrije.....</i>	9
2.1.1.3.1.	<i>Kompostiranje.....</i>	9
2.1.1.3.2.	<i>Siliranje.....</i>	9
2.1.1.3.3.	<i>Anaerobna.....</i>	9
2.1.2.	Mogućnosti iskorišćenja sporednih proizvoda prehrambene industrije.....	10
2.1.3.	Upotreba sporednih proizvoda prehrambene industrije kao hraniva u ishrani životinja.....	12
<b>2.2.</b>	<b>Jabučni trop - sporedni proizvod u proizvodnji soka od jabuke.....</b>	<b>13</b>
2.2.1.	Jabuka.....	13
2.2.1.1.	<i>Nutritivna vrednost ploda jabuke.....</i>	14
2.2.2.	Tehnološki proces proizvodnje bistrog soka od jabuke.....	15
2.2.3.	Nutritivna vrednost jabučnog tropa.....	18
2.2.4.	Mogućnosti iskorišćenja jabučnog tropa.....	23
2.2.4.1.	<i>Sušenje jabučnog tropa.....</i>	23
2.2.4.2.	<i>Jabučni trop kao izvor pektina.....</i>	26
2.2.4.3.	<i>Jabučni trop kao izvor dijetetskih vlakana.....</i>	27
2.2.4.4.	<i>Jabučni trop kao izvor polifenolnih jedinjenja.....</i>	28
2.2.4.5.	<i>Biokonverzija jabučnog tropa u hranivo sa povećanom hranljivom vrednošću.....</i>	29
2.2.5.	Jabučni trop kao hranivo u ishrani životinja.....	31
<b>2.3.</b>	<b>Peletiranje kao tehnološki postupak u industrijskoj proizvodnji hrane za životinje.....</b>	<b>36</b>
2.3.1.	Faze procesa peletiranja.....	38
2.3.1.1.	<i>Kondicioniranje.....</i>	38
2.3.1.2.	<i>Peletiranje.....</i>	40
2.3.1.3.	<i>Hlađenje / sušenje peleta.....</i>	42
2.3.2.	Mehanizmi povezivanja čestica u peleti.....	43
2.3.3.	Fizički kvalitet peleta.....	45
2.3.3.1.	<i>Parametri fizičkog kvaliteta peleta.....</i>	45

2.3.3.2.	<i>Značaj fizičkog kvaliteta peleta smeša koncentrata u ishrani životinja.....</i>	46
2.3.4.	Uticaj hemijskog sastava smeše na kvalitet peleta.....	47
2.3.4.1.	<i>Vlaga.....</i>	47
2.3.4.2.	<i>Skrob.....</i>	48
2.3.4.3.	<i>Proteini.....</i>	49
2.3.4.4.	<i>Masti.....</i>	50
2.3.4.5.	<i>Vlakna.....</i>	50
2.3.4.6.	<i>Šećeri.....</i>	51
<b>3.</b>	<b>MATERIJAL I METODE RADA.....</b>	<b>53</b>
<b>3.1.</b>	<b>Tehnološki proces proizvodnje soka jabuke u fabrici VINO Župa, a.d., Aleksandrovac i dobijanje jabučnog tropa kao sporednog proizvoda.....</b>	<b>53</b>
3.1.1.	Postupak sušenja jabučnog tropa.....	56
<b>3.2.</b>	<b>Metode određivanja hemijskog sastava osušenog jabučnog tropa.....</b>	<b>57</b>
<b>3.3.</b>	<b>Tehnološki postupak peletiranja osušenog jabučnog tropa i model smeša koncentrata.....</b>	<b>59</b>
3.3.1	Usitnjavanje.....	60
3.3.2.	Kondicioniranje.....	60
3.3.3.	Peletiranje.....	61
3.3.4.	Hlađenje.....	64
3.3.5.	Metode analize fizičkog kvaliteta peleta.....	65
<b>3.4.</b>	<b>Ogled ishrane svinja smešama koncentrata sa dodatkom osušenog jabučnog tropa.....</b>	<b>68</b>
<b>3.5.</b>	<b>Optimizacija sastava smeša koncentrata sa dodatkom osušenog jabučnog tropa.....</b>	<b>71</b>
<b>3.6.</b>	<b>Statistička obrada eksperimentalnih rezultata.....</b>	<b>71</b>
3.6.1.	Određivanje normalizovanih standardnih ocena (SS – Standard Score).....	72
3.6.2.	Metoda odzivne površine - RSM (Response Surface Methodology).....	73
<b>4.</b>	<b>REZULTATI I DISKUSIJA.....</b>	<b>75</b>
<b>4.1.</b>	<b>Hemijski sastav osušenog jabučnog tropa.....</b>	<b>75</b>
<b>4.2.</b>	<b>Peletiranje osušenog jabučnog tropa.....</b>	<b>83</b>
<b>4.3.</b>	<b>Peletiranje model smeša koncentrata sa različitim udelima osušenog jabučnog tropa.....</b>	<b>87</b>
4.3.1.	Deskriptivna statistika parametara procesa peletiranja i fizičkog kvaliteta peleta model smeša koncentrata.....	88
4.3.2.	Određivanje normalizovanih standardnih ocena – Standard score analiza.....	89
4.3.3.	Analiza glavnih komponenata (PCA).....	97
4.3.4.	Metoda odzivnih površina (RSM) i ANOVA.....	102
4.3.4.1.	<i>Udeo prašine u peletama.....</i>	105
4.3.4.2.	<i>Indeks otpornosti peleta (PDI).....</i>	107

4.3.4.3.	<i>Tvrdoća peleta.....</i>	110
4.3.4.4.	<i>Nasipna masa peleta.....</i>	112
4.3.4.5.	<i>Specifična potrošnja energije pelet prese.....</i>	115
4.3.4.6.	<i>Temperatura matrice pelet prese.....</i>	116
<b>4.4.</b>	<b>Ogled ishrane na tovnim svinjama hranjenim smešama koncentrata sa dodatkom osušenog jabučnog tropa.....</b>	<b>119</b>
4.4.1.	<i>Proizvodni rezultati tovnih svinja.....</i>	119
4.4.2.	<i>Kvalitet polutki tovnih svinja.....</i>	121
<b>4.5.</b>	<b>Optimizacija sastava smeša koncentrata sa dodatkom osušenog jabučnog tropa, namenjenih ishrani različitih vrsta i kategorija domaćih životinja.....</b>	<b>123</b>
4.5.1.	<i>Predlozi sastava smeša koncentrata za ishranu goveda u koje je kao hranivo uključen osušeni jabučni trop.....</i>	123
4.5.1.1.	<i>Primer potpune smeše za ishranu teladi I (početna).....</i>	124
4.5.1.2.	<i>Primer potpune smeše za ishranu teladi telesne mase od 50 do 100 kg.....</i>	125
4.5.1.3.	<i>Primer smeše za ishranu teladi telesne mase od 100-250 kg....</i>	126
4.5.1.4.	<i>Primer smeše za ishranu junadi telesne mase od 250 - 350 kg.</i>	127
4.5.1.5.	<i>Primer smeše za ishranu junadi telesne mase preko 350 kg ....</i>	128
4.5.1.6.	<i>Primer smeše sa 12% proteina za ishranu mlečnih krava.....</i>	129
4.5.1.7.	<i>Primer smeše sa 15% proteina za ishranu mlečnih krava.....</i>	130
4.5.1.8.	<i>Primer smeše za ishranu mlečnih krava koje daju preko 20 l mleka dnevno.....</i>	131
4.5.1.9.	<i>Primer smeše za ishranu junica i zasušenih krava.....</i>	132
4.5.1.10.	<i>Primer smeše za ishranu priplodnih bikova.....</i>	133
4.5.1.11.	<i>Primer smeše za ishranu jagnjadi telesne mase do 15 kg.....</i>	134
4.5.1.12.	<i>Primer potpune smeše za ishranu jagnjadi u porastu i tovu II (15 do 30 kg telesne mase).....</i>	135
4.5.1.13.	<i>Primer potpune smeša za jagnjad u porastu i tovu III (30 do 50 kg telesne mase).....</i>	136
4.5.1.14.	<i>Primer smeše za ishranu ovaca i dviski.....</i>	137
4.5.1.15.	<i>Primer smeše za ishranu ovaca u laktaciji.....</i>	138
4.5.1.16.	<i>Primer smeše za ishranu ovnova.....</i>	139
4.5.1.17.	<i>Primer smeše za ishranu svinja u porastu, telesne mase od 25 do 60 kg.....</i>	140
4.5.1.18.	<i>Primer smeše za ishranu svinja u tovu, telesne mase od 60 do 100 kg.....</i>	141
4.5.1.19.	<i>Primer smeše za ishranu suprasnih krmača i nazimica.....</i>	142
4.5.1.20.	<i>Primer smeše za ishranu krmača dojara i nerastova.....</i>	143
4.5.1.21.	<i>Primer smeše za ishranu kunića.....</i>	144
<b>5.</b>	<b>ZAKLJUČCI.....</b>	<b>145</b>
<b>6.</b>	<b>LITERATURA.....</b>	<b>148</b>

## 1. UVOD

Sa porastom broja stanovnika u svetu dolazi do povećanja potreba za hranom, što iziskuje intenziviranje i unapređenje poljoprivredne proizvodnje i industrijske prerade hrane. Prema procenama Ujedinjenih nacija (UN, 2013), do 2050. godine broj stanovnika u svetu dostići će 9,1 milijardi, usled čega će biti neophodno da se i proizvodnja poljoprivredno-prehrambenih proizvoda poveća za 60% u odnosu na prosek iz perioda od 2005 do 2007. godine (*Food and Agriculture Organization - FAO, 2012*). Istovremeno sa povećanjem broja stanovnika, urbanizacijom ruralnih područja, širenjem gradova i razvojem industrije, dolazi do degradacije prirodnih resursa neophodnih za primarnu poljoprivrednu proizvodnju. Usled toga postoji bojazan da se prehrambena industrija i industrija hrane za životinje, na globalnom nivou, suoče sa problemom obezbeđenja dovoljnih količina zdravstveno bezbedne hrane. Jedan od načina za rešavanje ovog problema je upotreba novih, do sada nedovoljno korišćenih proizvoda i sirovina u prehrambenoj industriji, ishrani životinja i industrijskoj proizvodnji hrane za životinje. Njihova upotreba podrazumeva primenu savremenih tehnoloških procesa i rezultata naučnih istraživanja. U industrijskoj proizvodnji hrane nastaju značajne količine sporednih proizvoda, koji se ne koriste i najčešće predstavljaju otpad, koji u velikoj meri negativno utiče na životnu sredinu, a često može izazvati ozbiljne ekološke probleme. S obzirom na to da u mnogim sporednim proizvodima poljoprivrede i prehrambene industrije ostaju značajne količine hranljivih i biološki aktivnih materija, nameće se potreba njihovog sistematizovanog i ekološki prihvatljivog iskorišćavanja.

Jedan od načina iskorišćavanja nekih od sporednih proizvoda poljoprivrede i prehrambene industrije je njihova upotreba u ishrani životinja. Proizvodnja potrebnih količina hrane za životinje je jedan od ključnih faktora stabilnosti lanca ishrane, odnosno obezbeđenja globalne prehrambene sigurnosti.

Mnogi sporedni proizvodi prehrambene industrije su, nakon detaljnog ispitivanja nutritivne vrednosti, već definisani kao hraniva i koriste se u ishrani životinja, a njihov značajan broj se koristi u industrijskoj proizvodnji hrane za životinje. Ovo se posebno odnosi na sporedne proizvode mlinske industrije (stočno brašno, mekinje), industrije proizvodnje jestivih ulja (sačme i pogače), kao i industrije alkohola i vrenja (pivski treber i pivski kvasac) i industrije skroba

(kukuruzna droždina, pšenični u kukuruzni gluten). Sa druge strane, mnogi sporedni proizvodi industrijske prerade voća i povrća, poput tropa, komina, kore voća i povrća, nisu u dovoljnoj meri ispitani sa aspekta mogućnosti njihove primene kao hraniva u ishrani životinja. Pored toga, treba uzeti u obzir i da je tokom poslednje decenije došlo do značajnih promena u industriji hrane za životinje kada su u pitanju cena i stabilnost ponude pojedinih hraniva, što se u velikoj meri odrazilo na ekonomičnost proizvodnje hrane za životinje. Takođe, do značajnih promena u ovoj industriji došlo je i usled zabrane korišćenja određenih hraniva životinjskog porekla (mesnog, mesno koštanog i krvnog brašna) za pojedine vrste i kategorije životinja, kao i smanjenja resursa pojedinih hraniva, kao što je slučaj sa ribljim brašnom. Kao posledica navedenog, poraslo je interesovanje za ispitivanje mogućnosti upotrebe do sada nekorišćenih sporednih proizvoda prehrambene industrije u proizvodnji hrane za životinje, što ima veliki značaj kako sa ekološkog, tako i sa ekonomskog aspekta, a na ovaj način se može doprineti i održivosti i ekonomskoj efikasnosti proizvodnje hrane.

Jedan od interesantnih sporednih proizvoda prehrambene industrije je jabučni trop, koji nastaje u tehnološkom procesu proizvodnje soka i čini od 20 do 30% mase sveže jabuke. Jabuka (*Malus domestica* Borkh.) je jedna od najrasprostranjenijih i najzastupljenijih voćnih vrsta u umerenom klimatskom pojasu, dok je u Srbiji to najvažnija jabučasta voćna vrsta, i po površinama na kojima se uzgaja nalazi se na drugom mestu, posle šljive (*Keserović i sar. 2014.*). Plodovi jabuke se najviše koriste kao stono voće, ali se značajne količine i industrijski prerađuju. Najveće količine jabuke koriste se za proizvodnju soka, pa se godišnje u svetu dobija nekoliko miliona tona jabučnog tropa kao sporednog proizvoda ovog procesa (*Oreopoulou et al., 2007*). Do nedavno, jabučni trop je smatran otpadom koji se najčešće direktno odlagao na deponijama ili zemljištu, dok je u manjoj meri korišćen u pripremi komposta i ishrani životinja. I pored uvođenja sve strožije zakonske regulative u upravljanju biorazgradivim otpadom, jabučni trop se još uvek u velikoj meri odbacuje i bez ikakvog tretmana odlaze u životnu sredinu. Ovakav način odlaganja jabučnog tropa je ekološki neprihvatljiv, s obzirom na to da ovaj organski materijal karakteriše visok sadržaj vlage, što ga čini pogodnim medijumom za razvoj mikroorganizama, usled čega je naročito podložan kvarenju. Posledice ovakvog neadekvatnog tretmana jabučnog tropa su zagađenje zemljišta i vodotokova i produkcija gasova staklene bašte, čime se indirektno ugrožava zdravlje ljudi i životinja.

Sa druge strane, s obzirom na to da je jabučni trop bogat izvor šećera, dijetetskih vlakana i minerala, ukazala se realna potreba za ispitivanjem mogućnosti njegove upotrebe kao hraniva u ishrani životinja i u industrijskoj proizvodnji hrane za životinje.

## **1.1. CILJEVI ISTRAŽIVANJA**

Osnovni cilj ovih istraživanja je da se na što sveobuhvatniji način ispita nutritivna vrednost osušenog jabučnog tropa i mogućnost njegove upotrebe kao hraniva u ishrani životinja, kao i mogućnost upotrebe ovog sporednog proizvoda kao hraniva u industrijskoj proizvodnji hrane za životinje. U skladu s tim, izvršiće se ispitivanje nutritivne vrednosti osušenog jabučnog tropa, kao i ispitivanje tehnološkog procesa peletiranja osušenog jabučnog tropa, imajući u vidu da je peletiranje jedan od najčešće korišćenih tehnoloških procesa u industrijskoj proizvodnji hrane za životinje.

U skladu sa navedenim osnovnim ciljem, definisani su sledeći posebni ciljevi ovog istraživanja:

- utvrđivanje hemijskog sastava, odnosno nutritivnog kvaliteta osušenog jabučnog tropa;
- ispitivanje fizičkih karakteristika osušenog jabučnog tropa sa stanovišta mogućnosti njegovog peletiranja i utvrđivanje fizičkog kvaliteta dobijenih peleta;
- ispitivanje uticaja dodavanja osušenog jabučnog tropa u model smeše koncentrata sastavljenih od ugljenohidratnih i proteinskih hraniva (kukuruza i suncokretove sačme), na parametre tehnološkog procesa peletiranja i fizički kvalitet dobijenih peleta;
- ispitivanje mogućnosti korišćenja osušenog jabučnog tropa kao hraniva u ishrani tovnih svinja, utvrđivanjem proizvodnih rezultata (prirasta i konverziju hrane) i kvaliteta polutki;
- optimizacija sastava smeša koncentrata, namenjenih ishrani različitih vrsta i kategorija domaćih životinja (goveda, ovaca, svinja, kunića), u koje je kao hranivo uključen osušeni jabučni trop;

## 2. PREGLED LITERATURE

### 2.1. Sporedni proizvodi prehrambene industrije

Proizvodnja prehrambenih proizvoda trenutno predstavlja najznačajniju oblast prerađivačke industrije i ključni je element privrede najvećeg broja zemalja (*Waldron, 2007*). Sa druge strane, razvoj prehrambene industrije dovodi do stvaranja velikih količina otpadnog materijala i specifičnih sporednih proizvoda koji se u nedovoljnoj meri koriste za dalju preradu i predstavljaju veliki ekološki problem (*Chen, 2009*). Tako, prema podacima *FAO (2011)*, gotovo trećina svetske proizvodnje hrane završi kao otpad, što ukazuje na značaj ove problematike. U tehničkom izveštaju Evropske Komisije iz 2010. godine navodi se da u okviru Evropske unije (EU 27), tokom proizvodnje, prerade, transporta, distribucije i konzumiranja hrane, na godišnjem nivou nastaje oko 90 miliona tona otpada, od čega 39% potiče iz prehrambene industrije (*European Comission, 2010*). S obzirom na to da se mnogi sporedni proizvodi prehrambene industrije uklanjaju tokom proizvodnog procesa kao nepoželjni, prema zakonskim propisima Evropske unije imaju status otpada. U prehrambenoj industriji se za ove materije najčešće koristi termin “sporedni proizvod” i odnosi se na proizvod koji nastaje u procesu proizvodnje, a koji ne mora imati direktnu vrednost kao resurs za proizvođača, ali se može iskoristiti i na druge načine, čime može dobiti i određenu vrednost koja se može valorizovati i na tržištu (*Otles et al., 2015*).

Iznalaženje načina za smanjenje količina prehrambenog otpada i što efikasnijeg iskorišćenja sporednih proizvoda prehrambene industrije može značajno doprineti obezbeđenju prehrambene sigurnosti, zaštiti životne sredine i očuvanju prirodnih resursa. Sporedni proizvodi prehrambene industrije sadrže značajne količine hranljivih materija i bioaktivnih jedinjenja (poput ugljenih hidrata, proteina, minerala, masti, vlakana, antioksidanasa) koji se ne iskorišćavaju u procesima prerade, već predstavljaju otpad (*Frewer et al., 2007; Helkar, 2016*).

Sporedni proizvodi prehrambene industrije nastaju u različitim tehnološkim procesima, pri čemu najveće količine otpadnog materijala i sporednih proizvoda nastaju u industriji prerade voća i povrća, zatim u mlekarskoj industriji i mesnoprerađivačkoj industriji (*Baiano, 2014*). Kako navode *Ndubuisi Ezejiofor et al. (2014)*, prilikom prerade voća i povrća nastaje čak 50% sporednih proizvoda, odnosno otpada.



Sporedni proizvodi prehrambene industrije su brojni i mogu biti biljnog ili životinjskog porekla (Galanakis, 2012). Kako navode Russ & Meyer-Pittroff (2004); Mullen et al., (2015); Murugan et al., (2013), u sporedne proizvode biljnog porekla ubrajaju se proizvodi prerade: žitarica (mekinje, stočno brašno, ljuške, klice, kukuruzni gluten, droždina), krtolastog povrća (ljuška krompira, odbačeni krompir, trop i sok krompira, krompirova džibra), voća i povrća (trop, pulpa, kora, pokožica, peteljke, semenke, koštice), uljarica i leguminoza (ljuške, delovi zrna, sačme i pogače, poput suncokretove, sojine, pamukove sačme). Takođe, značajne količine sporednih proizvoda nastaju u industriji šećera (listovi, rezanci šećerne repe, pulpa šećerne trske, melasa), industriji piva (sladne klice, pivski treber, pivski kvasac), industriji vina (komina grožđa, vinski talog, semenke i peteljke vinove loze). Sa druge strane, sporedne proizvode životinjskog porekla čine: proizvodi mesnoprerađivačke industrije (krv, koža, dlaka, rogovi, kosti, kopita, iznutrice, masnoća, itd.), industrije prerade ribe i morskih plodova (kosti, glave, ikra, iznutrice, krv, oklop, krljušt, itd.), industrije prerade mleka (surutka) (Galanakis, 2012; Kim & Venkatesan, 2014).

### **2.1.1. Načini tretmana sporednih proizvoda prehrambene industrije i njihov uticaj na životnu sredinu**

Prema definiciji Direktive 2008/98/EC Evropskog parlamenta i Veća o otpadu, sporedni proizvodi prehrambene industrije predstavljaju biorazgradivi otpad (biootpad) koji podleže aerobnoj i anaerobnoj fermentaciji (Directive 2008/98/EC, 2008). Odlaganje sporednih proizvoda prehrambene industrije predstavlja složen ekološki problem, s obzirom na to da se radi o proizvodima koji su, zbog visokog sadržaja vode, organskih materija i aktivnih enzima, podložni nekontrolisanoj mikrobiološkoj razgradnji i autooksidaciji (Russ & Schnappinger, 2007; Dhillon et al. 2013). Ove procese karakterišu visoke vrednosti biološke i hemijske potrošnje kiseonika (Ndubuisi Ezejiolor et al., 2014).

Russ & Schnappinger (2007) navode da se uklanjanje i tretman otpada i sporednih proizvoda poljoprivrede i prehrambene industrije može vršiti procesima spaljivanja ili insineracije, kompostiranja i anaerobne digestije. Direktiva Evropske unije o otpadu (Directive 2008/98/EC, 2008) i Agencija za zaštitu životne sredine Sjedinjenih Američkih Država (United States Environmental Protection Agency–EPA) (EPA, 2017), u okviru redosleda prioriteta zakonodavstva i politike o upravljanju otpadom, prioritet daju pre svega, sprečavanju nastajanja otpada, zatim mogućnostima reciklaže i drugim postupcima upotrebe (poput upotrebe u

proizvodnji energije), iskorišćenju u ishrani ljudi i životinja, upotrebi u drugim industrijama i kompostiranju. Odlaganje otpada na deponijama predstavlja najmanje prihvatljivo rešenje, ne samo u pogledu ugrožavanja životne sredine, već i prema troškovima koje ovaj način uklanjanja otpada iziskuje (Frewer et al., 2007).

#### **2.1.1.1. Odlaganje sporednih proizvoda prehrambene industrije na deponijama**

Odlaganje sporednih proizvoda prehrambene industrije na deponijama, zajedno sa čvrstim komunalnim otpadom, još uvek je najčešće primenjivani način njihovog uklanjanja (Chandrasekaran, 2013; Otles et al., 2015). Ovakav način tretmana ima veoma negativan uticaj na životnu sredinu s obzirom da u procesima razgradnje sporednih proizvoda prehrambene industrije dolazi do produkcije gasova staklene bašte (najviše ugljen dioksida i metana), nastanka deponijskih procednih voda i zagađenja zemljišta i površinskih i podzemnih vodotokova (Ajila, 2011). Takođe, dolazi do pojave neprijatnih mirisa usled truležnih procesa, a deponije često mogu postati i izvori širenja zaraznih bolesti (Dhillon, 2013). Pored toga, odlaganje sporednih proizvoda prehrambene industrije na deponijama iziskuje i značajne troškove, s obzirom da zakonski okvir Evropske unije predviđa da troškove odlaganja snose proizvođači otpada (Frewer et al., 2007; Directive 2008/98/EC, 2008).

#### **2.1.1.2. Termohemijske metode tretmana sporednih proizvoda prehrambene industrije**

Procesi termohemijske konverzije organske materije, uopšte, podrazumevaju njenu termičku razgradnju sa ciljem proizvodnje toplotne energije, tečnih ili gasovitih goriva. U termohemijske metode tretmana otpada spadaju: spaljivanje / insineracija, piroliza i gasifikacija (Begum et al., 2012). Insineracija predstavlja najčešće korišćenu metodu termičkog tretmana otpada i u osnovi predstavlja kontrolisani proces sagorevanja otpada, uz prisustvo viška vazduha, tokom kojeg se oslobađaju ugljen dioksid i vodena para, kao i drugi gasovi, a kao čvrsti ostatak se javlja pepeo (Hulgaard & Vehlow, 2010; Begum et al., 2012). U savremenim postrojenjima za insineraciju energija proizvedena sagorevanjem koristi se za proizvodnju toplotne i električne energije (Saveyn & Eder, 2014). Insineracija se smatra održivom metodom tretmana otpada sa relativno niskim sadržajem vlage (<50%) (Otles et al., 2015). Sporedni proizvodi prehrambene industrije često imaju visok sadržaj vlage, koja umanjuje njihovu kalorijsku vrednost, pa se svrsishodnijim

smatra izdvajanje biorazgradivog dela iz mase drugog otpada predviđenog za insineraciju, a zatim njegovo korišćenje za druge svrhe (Saveyn & Eder, 2014).

Nove tehnologije termičkog tretmana otpada uključuju procese pirolize i gasifikacije u kojima se organske materije najpre termički razgrađuju do manjih molekula, pri čemu nastaju gasoviti i/ili tečni proizvodi koji se zatim koriste kao gorivo (Jahirul et al. 2012).

Procesi insineracije, pirolize i gasifikacije biorazgradivog otpada, se međusobno razlikuju i po temperaturi na kojoj se odvijaju (između 400 i 1200 °C), prisustvu ili odsustvu kiseonika, kao i proizvodima koji nastaju kao posledica procesa (ugljen dioksid, ugljen monoksid, voda, oksidi azota, metan, pepeo, koksni ostatak) (Arvanitoyannis et al., 2008). Sporedni proizvodi koji nastaju u navedenim procesima imaju negativan uticaj na životnu sredinu, ali se pozitivna strana termičkog tretmana biorazgradivog otpada, koji obuhvata i sporedne proizvode prehrambene industrije, ogleda u smanjenju količine otpada koji se odlaže na deponijama, korišćenju biorazgradivog otpada kao obnovljivog izvora energije, a time i u smanjenju potrošnje fosilnih goriva (FAO, 2013; Saveyn & Eder, 2014).

### **2.1.1.3. Biološke metode tretmana sporednih proizvoda prehrambene industrije**

#### *2.1.1.3.1. Kompostiranje*

Kompostiranje predstavlja proces pretežno aerobne mikrobiološke razgradnje i stabilizacije organske materije, pri kojem dolazi do transformacije biorazgradivog materijala u biološki stabilan čvrsti proizvod - kompost, uz oslobađanje ugljen dioksida i vodene pare (*Irvine et al. 2010; Kalyani et al., 2014*). Primena komposta značajna je u poboljšanju kvaliteta zemljišta, s na to da pozitivno utiče na njegovu strukturu, vodni i vazdušni režim i plodnost (*Fuchs et al. 2006*). Uticaj kompostiranja biorazgradivog otpada na životnu sredinu obuhvata uglavnom povremenu emisiju gasova koji stvaraju efekat staklene baste, dok rizik od zagađenja zemljišta postoji u slučajevima primene komposta neodgovarajućeg kvaliteta (*Green paper, EC 2008*).

#### *2.1.1.3.2. Siliranje*

Siliranje predstavlja način konzervisanja biljaka i njihovih sporednih proizvoda procesom anaerobne fermentacije (*Čobić i sar, 1984*). Sporedni proizvodi prehrambene industrije mogu se silirati samostalno ili u kombinaciji sa drugim hranivima, čime se stvaraju mogućnosti za njihovo korišćenje u ishrani životinja u dužem vremenskom periodu. To potvrđuju i istraživanja *Pavličevića i sar. (1988)* u kojima su jabučni trop i komina grožđa silirani u kombinaciji sa rezancima šećerne repe, pivskim treberom i zelenom lucerkom. Slično istraživanje izvršili su *Abdollahzadeh et al. (2010)* koji su silirali jabučni trop i trop paradajza i koristili dobijenu silažu u ishrani muznih krava.

#### *2.1.1.3.3. Anaerobna digestija*

Anaerobna digestija predstavlja proces biološke razgradnje organske materije bez prisustva kiseonika, uz pomoć kompleksnog ekosistema mikroorganizama (*Gumisiriza et al., 2009*). Proces anaerobne digestije je naročito pogodan za tretman veoma vlažnog biorazgradivog otpada (>50% vlage) (*Green paper 2008; Otles et al., 2015*). Kao proizvod anaerobne digestije nastaje biogas koji predstavlja smešu metana (50 - 75 zapreminskih % (vol %) i ugljen dioksida (25 - 46 vol %), vodene pare (i malih količina vodene pare i vodonik sulfida i drugih gasova) (*Gumisiriza et al., 2009; Granada et al., 2016*). Biogas se koristi kao energent za proizvodnju električne ili toplotne energije, a njegovim prečišćavanjem do sadržaja metana od preko 80–96%, dobija se biometan koji se može direktno ubrizgavati u gasovodnu mrežu za prirodni gas i koristiti kao

gorivo za motorna vozila (*Muñoz et al., 2015; Saveyn & Eder, 2014*). Na ovaj način, smanjuje se upotreba fosilnih goriva. Po završetku procesa anaerobne digestije, zaostaje mulj, odnosno digestat koji se može koristiti kao organsko đubrivo s obzirom da može sadržati značajne količine azota, fosfora i kalijuma i drugih minerala (*Koszel & Lorencowicz, 2015*). S obzirom da se anaerobna digestija odvija u zatvorenim biogasnim postrojenjima, emisija gasova je mnogo manja i lakše ju je kontrolisati u odnosu na proces kompostiranja. Proces anaerobne digestije omogućava proizvodnju energije iz obnovljivih izvora, uz istovremeno dobijanje organskog đubriva, stoga predstavlja veoma dobru metodu tretmana biorazgradivog otpada sa aspekta zaštite životne sredine i ekonomičnosti (*Green paper, 2008*).

### **2.1.2. Mogućnosti iskorišćenja sporednih proizvoda prehrambene industrije**

Ispitivanje novih metoda tretmana i načina iskorišćenja sporednih proizvoda prehrambene industrije i njihova valorizacija kao izvora visoko vrednih sastojaka i dodataka hrani, sve više dobijaju na značaju, s obzirom da se na ovaj način može doprineti očuvanju životne sredine i održivom upravljanju prirodnim resursima (*Russ & Schnappinger, 2007*). Veliki broj sporednih proizvoda prehrambene industrije predstavlja značajan izvor hranljivih sastojaka i bioaktivnih jedinjenja, kao što su proteini, polisaharidi, vitamini, minerali, dijetetska vlakna, polifenoli, karotenoidi, aromatična jedinjenja, itd., koji ostaju neiskorišćeni usled uobičajene prakse u upravljanju otpadom (*Frewer & Gremmen, 2007; Helkar et al., 2016*).

Sporedni proizvodi prerade mesa su bogati izvori masti, ugljenih hidrata i proteina, bioaktivnih peptida, koji se mogu izolovati procesima hidrolize, kuvanja ili fermentacije (*Helkar, 2016*).

Sporedni proizvodi prerade voća i povrća, kao što su jabučni trop, komina grožđa, pulpa citrusa, kora i pulpa šargarepe, trop paradajza, ostaci prerade karfiola, brokolija i dr., predstavljaju posebno bogat izvor dijetetskih vlakana i fenolnih jedinjenja, s obzirom da su ovi sastojci skoncentrisani upravo u delovima biljaka koji se odbacuju u procesu prerade (ljusci, semenkama, peteljka) (*Chantaro et al., 2008; Domínguez-Perle et al. (2010); O'Shea et al., 2012; Russo et al., 2014; Tian, 2016*). U tom smislu, sporedni proizvodi prerade voća i povrća se mogu iskoristiti kao funkcionalni dodaci hrani ili kao sirovina za izdvajanje bioaktivnih sastojaka (*Reis et al., 2012; Baiano et al., 2014*).

Sa druge strane, mnogi sporedni proizvodi prehambene industrije mogu se koristiti kao supstrati za kultivaciju različitih vrsta i sojeva plesni, kvasaca i bakterija sa ciljem proizvodnje enzima i organskih kiselina. Limunska, mlečna kiselina i sirćetna kiselina imaju širok spektar primene u prehrambenoj, farmaceutskoj industriji i proizvodnji hrane za životinje. U istraživanjima koja su sprovedi *Shojaosadati & Babaeipour (2002)*, *Xie & West (2006)*, *Kuforiji et al. (2010)*, *Dhillon et al. (2011)* utvrđeno je da se se vlažna kukuruzna džibra, pulpa pomorandže i ananasa i jabučni trop, mogu koristiti kao supstrati u procesu fermentacije na čvrstoj podlozi za dobijanje limunske kiseline uz pomoć sojeva plesni *Aspergillus niger*. Rezultati istraživanja koje su sprovedi *Liang et al. (2014)* pokazali su da se u procesu fermentacije kore krompira, uz korišćenje nedefinisane kulture mikroorganizama izolovane iz otpadne vode iz procesa prerade, uz minimalna ulaganja, mogu dobiti mlečna i sirćetna kiselina, kao i etanol. Sa druge strane, u istraživanju koje su sprovedi *Mudaliyar et al. (2012)* mlečna kiselina dobijena je u procesima fermentacije kore pomorandže, manga, krompira i mahune zelene boranije, uz pomoć čistih kultura bakterija *Lactobacillus casei* i *Lactobacillus delbrueckii*.

S obzirom na sve veću primenu enzima u mnogim granama savremene industrije, a posebno u prehambenoj industriji, veliki broj istraživanja posvećen je razvoju postupaka za proizvodnju enzima na jeftinijim supstratima (*Panda et al., 2016*). U istraživanju koje su sprovedi *Mulimani et al. (2000)*, utvrđeno da se za proizvodnju amilolitičkih enzima mogu se koristiti pšenične mekinje, mekinje pirinča, pogače zaostale nakon presovanja ulja i bagasa šećerne trske. Sporedni proizvodi prerade voća i povrća uglavnom se koriste za proizvodnju pektolitičkih enzima (*Ndubuisi Ezejiofor et al., 2014*). Tako je u istraživanju koje su sprovedi *Dhillon et al. (2004)* za proizvodnju enzima pektinaze, uz pomoć plesni *Aspegilus niger*, upotrebljena osušena pulpa citrusa. U istraživanju *Mrudula & Anitharaj (2011)*, za proizvodnju pektinaze iskorišćena je kora pomorandže kao supstrat u procesu fermentacije na čvrstoj hranljivoj podlozi, uz korišćenje plesni *Aspegilus niger*. Rezultati istraživanja *Díaz et al. (2007)* pokazali su da se za dobijanje enzima ksilanaze i pektinolitičkog enzima egzo-poligalakturonaze može upotrebiti komina grožđa kao supstrat u procesu fermentacije na čvrstoj hranljivoj podlozi, uz pomoć plesni *Aspergillus awamori*.

### 2.1.3. Upotreba sporednih proizvoda prehrambene industrije kao hraniva u ishrani životinja

Zadovoljenje rastućih potreba za hranom za životinje, u skladu sa principima održivog razvoja, podrazumeva što efikasnije korišćenje postojećih resursa, pri čemu je potrebno posebnu pažnju posvetiti sporednim proizvodima prehrambene industrije kao potencijalnim hranivima (*Bakshi et al., 2016*). Upotreba ovih proizvoda u ishrani životinja predstavlja dobru strategiju za zadovoljenje potreba za hranom za životinje, uz istovremeno povećanje ekonomičnosti ishrane životinja i smanjenje količina otpada i njegovog negativnog uticaja na životnu sredinu (*Omer & Abdel-Magid, 2015*). Takođe, upotrebom sporednih proizvoda prehrambene industrije u ishrani životinja, postiže se njihova transformacija iz proizvoda neupotrebljivih za ishranu ljudi, u visoko vredne proizvode, poput mesa, mleka, jaja i drugih proizvoda animalnog porekla (*Elferink et al., 2008; Rodrigues et al., 2008*).

I pored činjenice da je upotreba mnogih sporednih proizvoda poljoprivrede i prehrambene industrije kao hraniva u ishrani životinja već uobičajena praksa, potencijalna vrednost brojnih sporednih proizvoda nije u dovoljnoj meri ispitana, niti je njihov potencijal kao hraniva u potpunosti iskorišćen (*Mirzaei-Aghsaghali, 2011*). Da bi se izvršila adekvatna evaluacija sporednih proizvoda prehrambene industrije sa aspekta mogućnosti njihove upotrebe u ishrani životinja i kao sirovina u proizvodnji hrane za životinje, neophodno je izvršiti detaljna istraživanja, počev od ispitivanja njihovog hemijskog sastava, odnosno nutritivne vrednosti, načina prerade i čuvanja, do uticaja na zdravlje i proizvodne rezultate životinja (*Amata, 2014*). Poslednjih decenija sprovedena su brojna istraživanja vezana za mogućnost iskorišćenja sporednih proizvoda prehrambene industrije u ishrani životinja, kao što su: trop paradajza (*Caluya et al., 2000; Mirzaei-Aghsaghali et al., 2011; Omer & Abdel-Magid, 2015; Shdaifat et al., 2013*), rezanci šećerne repe (*Jiménez-Moreno et al., 2013; Poorkasegaran & Yansari (2014); Münnich et al., 2017*), jabučni trop (*Ahn et al., 2002; Ghoreishi et al., 2007; Tiwari et al., 2008; Ayhan et al. (2009) Sehm et al. (2007)*), komina grožđa (*Sehm et al., 2007; Chanthakhoun et al. 2011; Moate et al., 2014; Voicu et al., 2014; Habeanu et al., 2015*), pulpa citrusa (*Belibasakis & Tsirgogianni, 1996; Inserra et al., 2014; Terra Peixoto et al., 2015*), ostataka prerade krompira i drugih sporednih proizvoda prerade voća i povrća (*Kasapidou et al., 2014*).

## 2.2. Jabučni trop - sporedni proizvod u proizvodnji soka od jabuke

Jabučni trop je sporedni proizvod tehnološkog postupka proizvodnje soka od jabuke, koji nastaje u fazi presovanja voća i izdvajanja matičnog soka i čini oko 20 - 30% mase sveže prerađene jabuke (*Vendruscolo et al., 2008; Madrera et al., 2015*). Jabučni trop predstavlja heterogenu smešu sastavljenu od kore, peteljki, semene lože, semenki i mesnatog dela jabuke (*Vendruscolo et al., 2008; Madrera et al., 2015*). Kako navode *Bhushan et al. (2008)* najveći udeo u jabučnom tropu imaju kora i meso jabuke - 95%, dok semenke čine od 2 do 4%, a peteljke 1% ukupne mase ovog sporednog proizvoda.

Svež jabučni trop karakteriše visok sadržaj vlage (75–85%) i šećera, niska pH vrednost (od 3 do 4), usled čega je podložan mikrobiološkoj kontaminaciji, nekontrolisanoj fermentaciji i kvarenju (*Wang et al. 2007; Bhushan & Gupta, 2013*). Kako navode *Shalini & Gupta (2010)* i *Gassara et al (2011)*, adekvatnom zbrinjavanju, kao i iznalaženju načina za iskorišćenje ovog organskog materijala treba posvetiti posebnu pažnju. Međutim, jabučni trop se u velikoj meri i dalje tretira kao otpad i velike količine ovog sporednog proizvoda odlažu se na deponijama, što predstavlja ozbiljan ekološki problem (*Shalini & Gupta 2010*). Osim toga, ovakvim tretmanom odbacuje se potencijalna sirovina za dobijanje različitih proizvoda, bogata hranljivim i bioaktivnim sastojcima koja se može iskoristiti (*Wang et al., 2007*).

### 2.2.1. Jabuka

Jabuka (*Malus domestica* Borkh.) je najvažnija kontinentalna vrsta voća u svetu, koja se po obimu proizvodnje, prometu i potrošnji nalazi odmah iza citrusa i banana (*Nikolić i Fotirić, 2009; Keserović i sar., 2012; FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations (2016)*). U 2014. godini u svetu je proizvedeno preko 84,6 miliona tona jabuke, na površini od preko 5 miliona hektara (*FAOSTAT, 2014*). Srbija ima veoma povoljne klimatske i zemljišne uslove za gajenje većeg broja vrsta kontinentalnog voća, pri čemu jabučaste voćne vrste pokrivaju preko 20% ukupnih površina pod voćnjacima (*Keserović, 2014*). Prema podacima Republičkog zavoda za statistiku Republike Srbije, proizvodnja jabuke u Srbiji u poslednjih 10 godina je u porastu. U 2005. godini u Srbiji je proizvedeno 198 hiljada tona jabuke, u 2010. oko 240 hiljada tona, dok je u 2013, 2014 i 2015. godini proizvodnja jabuke iznosila preko 330 hiljada tona (*Statistički godišnjaci Republike Srbije za 2010, 2014, 2015. i 2016. godinu*).



Plodovi jabuke se najviše koriste kao stono voće, ali su značajna sirovina i u prehrambenoj industriji za proizvodnju sokova, nektara, dečije hrane, želiranih proizvoda (marmelada, džemova), kompota, jabukovog sirćeta, rakija i sušenih plodova (*Paunović i sar, 2010*). Prema podacima *Madrera et al. (2017)*, oko 15% proizvedene jabuke prerađuje se u sok ili cider.

### **2.2.1.1. Nutritivna vrednost ploda jabuke**

Plod jabuke predstavlja važnu namirnicu u ishrani s obzirom da je dobar izvor šećera, dijetetskih vlakana (od kojih je 80% rastvorno u vodi), kalijuma i fenolnih jedinjenja koja, kao prirodni antioksidansi, imaju značajnu ulogu u zaštiti organizma od oksidativnog stresa (*Murešan et al., 2014*). Hemijski sastav ploda jabuke zavisi od sorte, podloge, ekoloških uslova, primenjenih agrotehničkih mera, rodnosti i starosti voćke, stepena zrelosti, vremena berbe, uslova čuvanja plodova i drugih faktora. pa može varirati i u unutar iste sorte (*Mišić, 2004*).

Sadržaj vode u jabuci kreće se od 75–95% (*Juranovic Cindric et al., 2012*). Dominantni sastojci ploda jabuke su ugljeni hidrati, i to šećeri, pektin, celuloza i hemiceluloza. Od šećera jabuka sadrži najviše fruktoze i glukoze i disaharida saharoze, pri čemu je sadržaj fruktoze značajno viši od sadržaja glukoze i saharoze (*Root & Barrett, 2005; Murešan, 2014*). Skroba ima u zelenim plodovima jabuke, u količini od 1 - 2%, dok ga u zrelim plodovima obično ima samo u tragovima (*Mišić, 2004*). Plod jabuke sadrži približno od 2% do 3% dijetetskih vlakana koja se sastoje od celuloze, hemiceluloze, lignina i pektina (*Li et al., 2002; Feliciano et al., 2010; USDA (United States Department of Agriculture) Food Composition Databases*). Prema podacima istraživanja *Dhingra et al. (2012)* i *Li et al. (2002)*, sadržaj nerastvornih dijetetskih vlakana u jabuci je veći u odnosu na sadržaj rastvornih vlakana. *Mišić (2004)* navodi da je sadržaj celuloze u jabuci najveći u odnosu na ostala vlakna i kreće se od 0,5 do 1,3%. Pektin čini nešto manje od 50% ukupnih dijetetskih vlakana jabuke (*Aprikian et al., 2003*).

Kao i ostale voćne vrste, jabuka sadrži veoma mali procenat proteina (manje od 0,2 %) i masti (manje od 0,4%) (*Lee, 2012*). Masti se se u plodu jabuke nalaze najčešće u obliku kutinsko - voštane prevlake na pokožici i u semenkama. Semenke jabuke sadrže od 18 do 24% ulja, što je značajna rezervna supstanca za klijanje i razvoj mladih plodova (*Mišić, 2004*).

Plod jabuke karakteriše niži sadržaj vitamina u odnosu na neke druge voćne vrste (*Mišić, 2004*), pri čemu sadrži najviše vitamina C, a znatno manje vitamina B3, B5, B6, E i A. Od mineralnih

elemenata plod jabuke ima najviše kalijuma, zatim kalcijuma, fosora i magnezijuma (*USDA Food Composition Databases*).

Najzasupljenija organska kiselina u plodu jabuke je jabučna kiselina, slede limunska, šikiminska i hlorogenska kiselina. koje se većim delom u jabuci nalaze u slobodnom, disociranom stanju. pH vrednost plodova jabuke kreće se od 3,0 - 4,1%. Odnos između količine šećera i slobodnih organskih kiselina određuje ukus ploda, odnosno indeks slasti (*Mišić, 2004*).

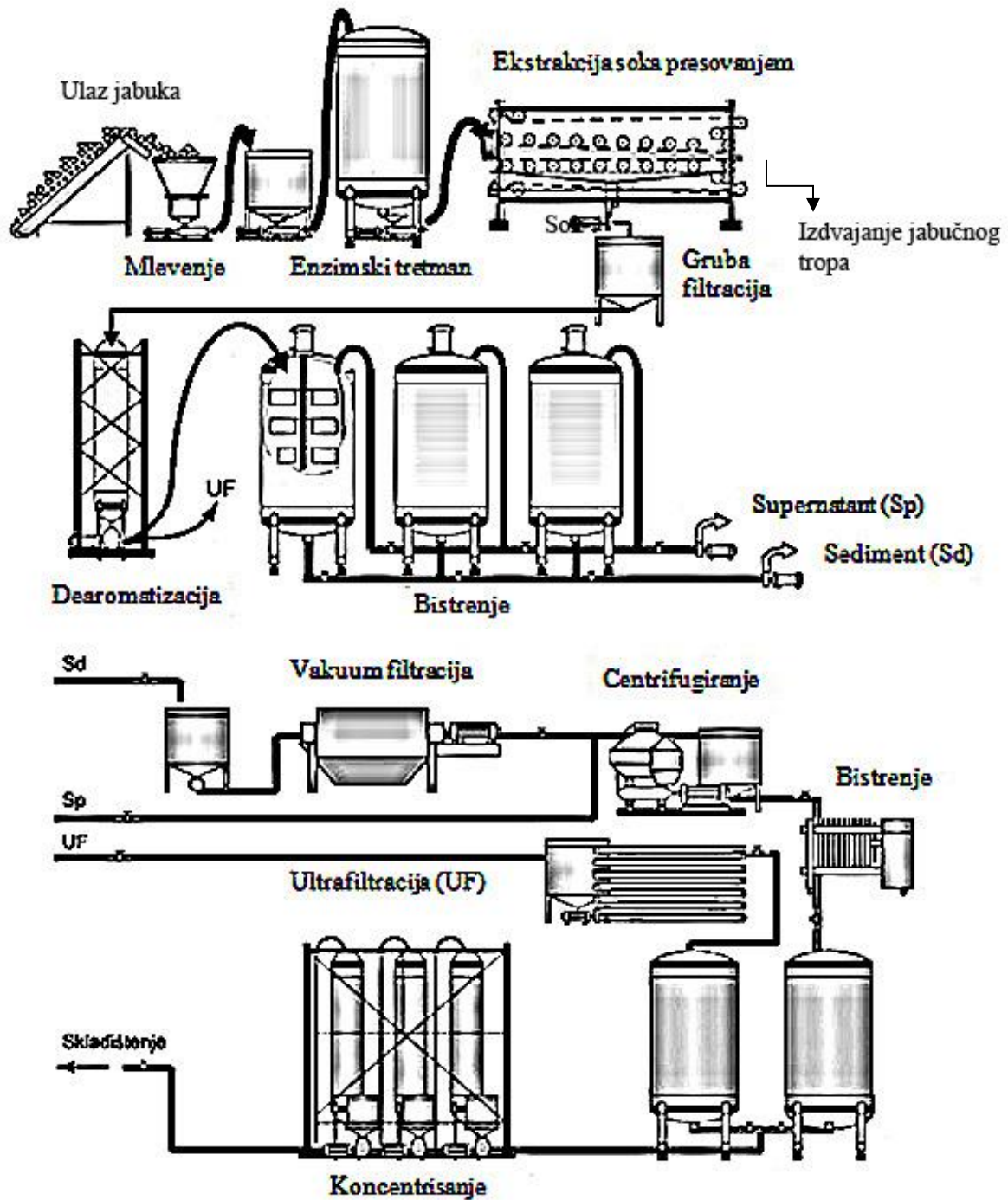
Sadržaj polifenola u jabuci varira u zavisnosti od sorte i različit je u različitim delovima ploda - kora sadrži više fenolnih supstanci od mesa jabuke (*Dilas et al., 2009; Bhushan & Gupta, 2013*). U plodu jabuke najzastupljeniji su flavanoli, flavonol glikozidi (u najvećoj meri kvercetin glikozidi), katehini, proantocijanidini, dihidrokalhoni (u najvećoj meri florizin), hidroksicimetne kiseline, kao i antocijanini u crvenim jabukama (*Escarpa & Gonzalez, 1998; Gerhauser, 2008*).

### **2.2.2. Tehnološki proces proizvodnje bistrog soka od jabuke**

Najčešći način prerade jabuka je proizvodnja soka (*Lozano, 2006*). Jabuka je veoma pogodna sirovina za ovaj vid prerade, s obzirom da se postiže dobar prinos soka sa relativno visokim sadržajem suve materije, odnosno šećera (*Brajanoski & Brajanoski, 2004*). Za proizvodnju soka od mogu se koristiti jabuke različitih sorti, pri čemu je bolje da se istovremeno prerađuje nekoliko sorti pomešanih u određenom odnosu, kako bi se obezbedila potrebna kiselost, sadržaj šećera i aroma soka (*Brajanoski & Brajanoski, 2004*). Za proizvodnju soka koriste se plodovi u fazi pre pune zrelosti, sa ciljem postizanja optimalnog odnosa šećera i kiselina i odgovarajuća aroma soka (*Horváth - Kerkai, 2006*). Kako navode *Zielinski et al (2014)*, u industrijskoj preradi najčešće se koriste oni plodovi koji nemaju zadovoljavajuće fizičke karakteristike - izgled, veličinu i oblik potrebne za stonu upotrebu.

Kako navodi *Lozano (2006)*, tehnološki proces proizvodnje bistrog soka od jabuke sastoji se od sledeće operacije: pranje i inspekciju plodova, drobljenje (mlevenje) plodova, enzimski tretman, ekstrakciju soka postupkom presovanja, bistrenje i koncentrisanje, pasterizaciju i pakovanje.

Tehnološka šema proizvodnje bistrog soka od jabuke data je na slici 1.



Slika 1. Šema tehnološkog procesa proizvodnje bistrog koncentrata soka jabuke  
(izvor: *Lozano, 2006*)

Proces proizvodnje soka od jabuke započinje prijemom sirovine, nakon čega obavlja pranje kako bi se sa plodova odstranile mehanička, hemijska i biološka nečistoća (*Fellows, 2000*). U ovoj fazi vrši se i inspekcija plodova sa ciljem uklanjanja stranih primesa kao što su lišće, grančice i peteljke, kao i neodgovarajućih plodova (natrulih, loše opranih, oštećenih) (*Horváth-Kerkai, 2006; Brajanoski & Brajanoski, 2004*). Nakon pranja i inspekcije, plodovi se drobe, odnosno melju, najčešće uz pomoć mlina čekićara. Ovaj postupak ima za cilj dezintegraciju plodova, oslobađanje soka i povećanje dodirne površine koja je neophodna za postizanje zadovoljavajućeg prinosa soka u fazi presovanja. Sitnjenjem se razaraju tkiva i ćelije plodova jabuke i započinje izdvajanje soka (*Horváth-Kerkai, 2006*).

Drobljenjem jabuka dobija se voćna kaša koji se sastoji od tečne i čvrste faze. Tečnu fazu čini vodeni rastvor supstanci koje su se nalazile u vakuolama ćelija, dok čvrstu fazu čine delovi tkiva, polisaharidi i drugi polimeri nerastvorni u vodi (*Brajanoski & Brajanoski, 2004*). Pošto je drobljenjem razorena mehanička zaštita ćelija, voćna kaša je veoma pogodan medijum za razvoj mikroorganizama, usled čega je neophodno izvršiti primarni termički tretman, koji obuhvata brzo zagrevanje kaše na temperaturi od 90°C u trajanju od 3 min, a potom brzo hlađenje na temperaturu od 50 °C (*Brajanoski & Brajanoski, 2004*). Ovaj termički tretman omogućava hidrolizu protopektina, kojom se postiže omekšavanje ćelijskih zidova i povećanje njihove propustljivosti, čime se ubrzava difuzija supstanci rastvorljivih u vodi. Takođe, tokom primarnog termičkog tretmana, dolazi i do inaktivacije enzima, pre svih polifenoksidaza, koje su odgovorne za tamnjenje soka (*Brajanoski & Brajanoski, 2004; Horváth-Kerkai, 2006*).

Nakon primarnog termičkog tretmana, vrši se depektinizacija kaše jabuke, koja obuhvata tretman kaše enzimima i ima za cilj razgradnju pektinskih materija. Depektinizacijom se snižava viskozitet kaše i time olakšava i pospešuje izdvajanje soka u procesu ceđenja, odnosno presovanja (*Root & Barrett, 2005*). Proces depektinizacije traje 1 - 2 sata, i sprovodi tako što se kaša pre procesa ceđenja zagreva do temperature od 45 to 50 °C, a zatim se dodaju pektolitički enzimski preparati (*McLellan & Padilla-Zakour, 2005*). Enzimskim tretmanom povećava se prinos soka, a istovremeno se skraćuje vreme trajanja procesa izdvajanja soka i pospešuje izdvajanje značajnih komponenti voća.

Proces **ekstrakcije soka** predstavlja odvajanje tečne od čvrste faze voća i može se vršiti metodama: presovanja, centrifugiranja, ekstrakcije difuzijom i reverznom osmozom (*Fellows,*

2000). Presovanje je najčešće korišćen način izdvajanja soka iz voća i sastoji se od presovanja voćne kaše kroz filtracioni materijal. Obavlja se u filter presama različitih konstrukcija, kao što su ramske filter prese, horizontalne pak prese, kontinualne trakaste prese i pužne prese (Lozano, 2003).

Jedan od najefikasnijih savremenih sistema za presovanje u industrijskoj proizvodnji voćnih sokova je polukontinualna hidraulična Bucher presa (Bucher-Guyer AG, Zurich, Switzerland) (McLellan & Padilla-Zakour, 2005). Ovaj tip prese sastoji se od horizontalno postavljenog cilindra u kojem se uz pomoć klipa vrši presovanje i ceđenje voćne kaše u matični sok. Unutar cilindra nalazi se snop fleksibilnih gumenih cevi na se čijoj površini se nalaze žlebovi, a koje su obavijene filtracionim materijalom. U postupku presovanja sok prolazi kroz filtracioni materijal i sakuplja se u žlebovima cevi, kojima se i odvodi do sabirnog kanala na izlazu iz prese (Lozano, 2006). Na kraju jednog ciklusa presovanja obavlja se automatsko pražnjenje prese, tj. odstranjivanje voćnog tropa (Saravacos & Kostaropoulos, 2016).

U industrijskoj proizvodnji voćnih sokova koriste se i kontinualne trakaste prese kod kojih se vrši kontinualno presovanje voćne kaše (kljuka) i izdvajanje soka. Presovanje se vrši između dve trake od kojih je jedna pokretna, a pritisak potreban za presovanje se ostvaruje uz pomoć valjaka koji se nalaze iznad traka (Brajanoski, 2004).

Nakon procesa ceđenja soka slede faze njegovog bistrenja, filtracije i koncentrisanja. Koncentrisani sok jabuke se skladišti ili pakuje u aseptičnu ambalažu (Lea, 1999).

### **2.2.3. Nutritivna vrednost jabučnog tropa**

Jabučni trop je bogat izvor složenih ugljenih hidrata - celuloze, hemiceluloze, lignina i pektina, prostih ugljenih hidrata - fruktoze i glukoze, disaharida saharoze, a sadrži i manje količine proteina i masti, minerale i vitamine (Gullón et al., 2007; Vendruscolo et al. 2008; Sato et al., 2010; Gabriel et al. 2013).

Hemijski sastav jabučnog tropa dosta varira u zavisnosti od sorte i porekla jabuke, uslova gajenja (klime, zemljišta, agrotehničkih mera), stepena zrelosti i primenjenog procesa ekstrakcije soka (Gullón et al., 2007; Zafar et al., 2005; Taasoli and Kafilzadeh, 2008).

Sadržaj vlage u jabučnom tropu kreće se u opsegu od 70 do 80% (Gullon et al., 2007; Bhushan et al., 2008; Gabriel et al., 2013). Vlažan jabučni trop brzo podleže kvarenju, a skladištenje,

transport i manipulacija ovim kabastim materijalom su otežani (*Bhushan et al., 2008; Yan, 2010*); on se zato često podvrgava sušenju, sa ciljem stabilizacije i mogućnosti upotrebe tokom dužeg vremenskog perioda (*Sun et al., 2007*). U istraživanjima koja su se odnosila na upotrebu osušenog jabučnog tropa u ishrani životinja ili kao sirovine za dobijanje različitih bioaktivnih sastojaka, jabučni trop je sušen do sadržaja vlage od 7,0 do 11% (*Constenla et al.; 2002; Shuda et al., 2007; Maghsoud et al., 2008; Taasoli and Kafilzadeh, 2008; Bibbins–Martínez et al., 2011*).

Jabučni trop ne predstavlja značajan izvor proteina i masti (*Ajila, 2015*). Prema podacima *NRC (National Research Council) (2001)* sadržaj sirovih proteina u suvoj materiji jabučnog tropa iznosi 7,7%, a sadržaj masti 5,0%. Rezultati istraživanja *Masoodi & Chauhan (1998), Pirmohammadi et al. (2006), Abdollahzadeh et al. (2010), Sudha et al. (2007), Reis et al. (2012)*, pokazali su da se sadržaj proteina u suvoj materiji jabučnog tropa kreće od 1,3% do 6,4%. Prema podacima koje navode *Abdollahzadeh et al. (2010), Mirzaei-Aghsaghali et al. (2011), Reis et al. (2012)* i *Madrera et al. (2017)*, udeo masti u suvoj materiji jabučnog tropa varira u intervalu od 1,8 do 4,7%.

Jabučni trop sadrži značajnu količinu šećera, a kako navode *Sato et al. (2010)*, glukoza, fruktoza i saharoza čine 80% ukupne rastvorljive suve materije jabučnog tropa. Prema rezultatima istraživanja koje su sprovedi *Chandel et al. (2016)*, sadržaj ukupnih šećera u suvoj materiji jabučnog tropa iznosio je 38,05%. Rezultati istraživanja koja su sprovedi *Gullon et al. (2007), Sato et al. (2010)* i *Queji et al. (2010)*, pokazali su da sadržaj ukupnih i pojedinih šećera u jabučnom tropu značajno varira u zavisnosti od sorte jabuke. Tako je u istraživanju *Sato et al. (2010)*, sadržaj ukupnih šećera u 11 uzoraka jabučnog tropa različitih sorti jabuke, varirao u opsegu od 32,43 do 60,5% (na bazi suve materije). Sadržaj fruktoze u navedenom istraživanju, u suvoj materiji jabučnog tropa, kretao se u opsegu od 13,3 do 25,13%, glukoze od 6,9 do 21,07% i saharoze od 3,6 do 18,58%. Slično tome, u istraživanju *Queji et al. (2016)*, koje je obuhvatilo uzorke jabučnog tropa dobijene od 26 sorti jabuke, sadržaj fruktoze kretao se u opsegu od 18% do 31%, glukoze od 2,5% do 12,4% i saharoze od 3,4% do 24%. Rezultati istraživanja *Gullon et al. (2007)* i *Gabriel et al. (2013)* pokazali su da jabučni trop sadrži najveću količinu fruktoze, zatim glukoze i najmanju količinu saharoze. Sa druge strane, u istraživanju *Sato et al. (2010)* i

*Queji et al. (2016)*, za pojedine sorte jabuka sadržaj saharoze u jabučnom tropu bio je veći u odnosu na sadržaj glukoze.

Prema bazi podataka hemijskog sastava hraniva koju su dali *Ensminger et al. (1990)*, sadržaj sirovih vlakana u suvoj materiji vlažnog jabučnog tropa iznosi 20,7%, a u osušenom jabučnom tropu 18,2%. Prema rezultatima istraživanja koja su sprovedeli *Ayhan et al. (2009)*, *Gazalli et al. (2013)* i *Pieszka et al. (2017)*, sadržaj sirovih vlakana u osušenom jabučnom tropu, na bazi suve materije, iznosio je 20,09%, 22,22% i 25,69%, respektivno. Termin “sirova vlakna” (sirova celuloza) često se koristi u oblasti ishrane životinja i njihov sadržaj određuje se prema Weende sistemu hemijske analize hrane za životinje, koji pored sirovih vlakana, obuhvata određivanje sadržaja vlage (suve materije), sirovih proteina, masti, i pepela (*Kolarski, 1995*). Weende metoda analize sadržaja sirovih vlakana podrazumeva tretiranje uzorka hraniva razblaženim kiselinama i bazama, pri čemu sirova vlakna predstavljaju nerazloženi ostatak nakon navedenog tretiranja i sastoje se od celuloze, hemiceluloze, lignina i različitih lignificiranih jedinjenja (*Dorđević i sar., 2009*).

Da bi se izvršilo preciznije određivanje sadržaja vlakana u hrani za životinje, a naročito u kabastim hranivima, uveden je takozvani deterdžent sistem analize hrane za životinje koji je šezdesetih godina prošlog veka razvio Van Soest (*Kolarski, 1995; Dorđević i sar, 2009*). Kako navodi *Kolarski (1995)*, prema Van Soest postupku, suva materija hrane i hraniva deli se na rastvorljivu i nerastvorljivu frakciju. Rastvorljivu frakciju čini sadržaj biljnih ćelija, odnosno proteini, masti, šećeri, vitamini, neorganske soli, itd. i ona se u potpunosti razlaže u digestivnim organima, pa praktično predstavlja svarljivu frakciju. Nerastvorljivu frakciju čine ćelijski zidovi biljnih ćelija, pa se ona sastoji od celuloze, hemiceluloze, lignina, kutina, nerastvorljive neorganske soli, silicijum dioksid. Ova frakcija je delimično svarljiva u predželucu preživara, debelom i slepom crevu preživara i nepreživara. Dostupnost ove frakcije životinjama varira između pojedinih hraniva, zbog različitog učešća i međusobne povezanosti celuloze, hemiceluloze i lignina (*Jovanović i sar. 2001*).

Prema Van Soest postupku, neutralna deterdžentska vlakna (Neutral Deterent Fibre, NDF) predstavljaju ostatak posle ekstrakcije uzorka hrane rastvorom neutralnog deterdženta (neutralnim rastvorom natrijum lauril sulfata i etilen-diamino-tetra sirćetne kiseline–EDTA) i sastoje se uglavnom od lignina, celuloze i hemiceluloze (*McDonald et al., 2011*). Kako navode

*Fox et al. (1990)* i *Grubić i sar. (1999)*, sadržaj NDF predstavlja najadekvatnije merilo udela vlakana u hrani za životinje. Ova frakcija vlakana manje je povezana sa svarljivošću hrane, pošto predstavlja nesvarljivi deo ćelijskog zida, ali ima veliki značaj u stimulanju preživanja i žvakanja i povezana je sa osećajem sitosti životinja, brzinom prolaska hrane kroz digestivni trakt, a time i sa konzumiranjem hrane (*Fox et al., 1990; Grubić i sar., 1999b; Jovanović, 2007*). Kako navodi *Minson (1990)*, sadržaj NDF u hranivima može poslužiti za kao pouzdan parametar za procenu voljnog konzumiranja suve materije hraniva.

Kisela deterdžentska vlakna (Acid Detergent Fibre, ADF) predstavljaju ostatak nakon tretiranja uzorka sumpornom kiselinom i cetil trimetil amonijum bromidom i sastoje se od frakcija sirove celuloze i lignina, a sadrže i silicijum dioksid (*Jovanović i sar., 2001*). Utvrđivanje sadržaja ADF je od posebnog značaja zbog postojanja jake uzajamne veze između ove frakcije i svarljivosti (*Jovanović, 2007*). Tretiranjem izdvojenog ADF sumpornom kiselinom, dolazi do razlaganja celuloze, a ostatak nakon ovog postupka sastoji se od lignina i kutina (*McDonald et al., 2011*).

Prema podacima *NRC (2001)*, vlažan jabučni trop u suvoj materiji sadrži 52,5% NDF-a, 43,2% ADF-a i 15,4% lignina. U istraživanjima koja su sproveli *Besharati et al. (2008)*, *Taasoli & Kafilzadeh (2008)*, *Mirzaei-Aghsaghali (2011)*, *Pieszka et al. (2015)*, *Juskiewicz et al. (2015)* sadržaj NDF u suvoj materiji jabučnog tropa kretao se u opsegu od 35,3% do 61,2%, a ADF-a od 28% do 46,7%. U istraživanju *Juskiewicz et al. (2016)* sadržaj ADL u osušenom jabučnom tropu iznosio je 10,4%, dok je u u istraživanju *Pieszka et al. (2016)* dobijena vrednost sadržaja ADL od 14,2%.

Značajnu ulogu u ishrani monogastričnih životinja, a naročito u ishrani ljudi, imaju dijetetska vlakna (*McDonald et al., 2011*). Ovi autori navode da dijetetska vlakna čine lignin i polisaharidi koji ne mogu biti razloženi digestivnim enzimima čoveka i monogastričnih životinja. Prema definiciji Američke asocijacije za hemiju žitarica (AACC–American Association of Cereal Chemists) dijetetska vlakna predstavljaju jestive delove biljaka koje čine ugljeni hidrati otporni na varenje i apsorpciju u tankom crevu čoveka, a čija se potpuna ili delimična fermentacija odvija u debelom crevu (AACC). Prema rastvorljivosti u vodi, dijetetska vlakna se uobičajeno klasifikuju u dve kategorije–nerastvorljiva (IDF, insoluble dietary fibre) i rastvorljiva dijetetska vlakna (SDF, soluble dietary fibre) (*Esposito et al., 2005*). Rastvorljiva dijetetska vlakna imaju sposobnost formiranja viskoznih gelova, lako prolaze kroz tanko crevo i fermentišu u debelom



crevu. a sastoji se od pektina, guma, fruktana i biljnih sluzi. Sa druge strane, nerastvorljiva dijetetska se vlakna čine celuloza, hemiceluloza i lignin (*Lattimer & Haub, 2010*).

Jabučni trop predstavlja značajan izvor dijetetskih vlakana i njihov sadržaj na bazi suve materije kreće se u opsegu od 37,5% do 70,1% (*Kołodziejczyk et al., 2007; Sato et al. 2010; Bibbins-Martínez et al., 2011; Reis et al., 2012*). Znatno viša vrednost sadržaja dijetetskih vlakana dobijena je u istraživanju *Figuerola et al. (2005)* za jabučni trop sorte jabuke Liberty A. i iznosila je 81,6%. Rezultati istraživanja koja su sproveli *Figuerola et al. (2005), Sudha et al. (2007), Sato et al. 2010 i Bibbins-Martínez et al. (2011)* pokazali su da je sadržaj nerastvornih dijetetskih vlakana u jabučnom tropu znatno veći u odnosu na sadržaj rastvornih dijetetskih vlakana. Tako je u istraživanju *Sudha et al. (2007)*, sadržaj nerastvornih dijetetskih vlakana u suvoj materiji jabučnog tropa iznosio 36,5%, a rastvornih 14,6%, dok je u istraživanju *Bibbins-Martínez et al., (2011)* ovaj odnos bio 59,2% : 8,7%.

Jabučni trop je poznat kao značajan izvor pektinskih materija i jedna je od važnih sirovina za proizvodnju pektina (*Chandel et al., 2016*). Kako navodi *Endreß (2000)*, jabučni trop sadrži od 10 do 15% pektina na bazi suve materije. U istraživanjima koja su sproveli *Marcon et al. (2005), Garna et al. (2007) i Pieszka et al. (2017)*, sadržaj pektina u suvoj materiji jabučnog tropa varirao je u opsegu od 3,4 do 16,8%, u zavisnosti od parametara procesa ekstrakcije (upotrebljene kiseline, pH vrednosti, temperature, vremena). Važno je istaći da su u navedenim istraživanjima parametri procesa ekstrakcije uticali na kvalitet izolovanog pektina, pre svega u pogledu sadržaja galakturonske kiseline, molekulske mase i stepena esterifikacije.

U pogledu sadržaja makroelemenata, jabučni trop, u suvoj materiji, sadrži najviše kalijuma—od 0,24 do 0,73%, zatim kalcijuma - od 0,01 do 0,20%, fosfora - od 0,07 do 0,17% i najmanje količine magnezijuma (0,04–0,09% s.m.) i natrijuma (0,002–0,04% s.m.) (*NRC (2001); Villas-Bôas et al., 2003; Pieszka et al., 2015*). Od mikroelemenata sadrži najviše gvožđa (31,80 - 185 mg/kg), mangana (3,96 - 17 mg/kg) i cinka (6,90–15 mg/kg) (*NRC, 2001; Bhushan et al., 2008; Pieszka et al., 2015*).

Osim hranljivih sastojaka, jabučni trop sadrži i značajne količine bioaktivnih jedinjenja, kao što su polifenoli i dijetetska vlakna (*Kołodziejczyk et al., 2007*). Prema podacima (*Guyot et al. 2003*), pri preradi jabuke oko 42% polifenola prelazi u sok, dok značajan deo ostaje u jabučnom tropu. U istraživanju *Tsao et al. (2005)* pokazano je da kod pojedinih sorti jabuka, sadržaj

polifenola u kori, koja je glavni sastojak jabučnog tropa, može biti 4 do 5 puta veći nego u mesu jabuke.

## 2.2.4. Mogućnosti iskorišćenja jabučnog tropa

### 2.2.4.1. Sušenje jabučnog tropa

Vlažan jabučni trop je podložan nekontrolisanoj fermentaciji i kvarenju, pre svega, usled visokog sadržaja vlage i fermentabilnih šećera (glukoze, fruktoze, saharoze, ksiloze) (*Bhushan & Gupta 2013; Joshi & Attri 2006*), pa je potrebno izvršiti njegovo konzervisanje, tj. prevođenje u oblik u kojem se može čuvati i koristiti u dužem vremenskom periodu. Metode konzervisanja jabučnog tropa prilikom njegove upotrebe kao hraniva u ishrani životinja su siliranje i sušenje (*Pirmohammadi et al., 2007; Mirzaei - Aghsaghali et al., 2011*).

Sušenje predstavlja jedan od najzastupljenijih načina konzervisanja hrane. Procesom sušenja vrši se uklanjanje vode iz materijala u manjoj ili većoj meri, smanjuje aktivnost preostale vode i enzima, čime se sprečava razvoj mikroorganizama i hemijski procesi koji dovode do kvarenja hrane (*Rahman & Perera, 2007*). Osim konzervisanja, sušenjem se postiže i smanjenje mase i zapremine hrane, čime se smanjuju troškovi pakovanja i transporta i olakšavaju operacije mlevenja i mešanja u daljim procesima prerade (*Farias & Ratti, 2009*).

Termičko sušenje, odnosno sušenje dovođenjem toplote materijalu, jedna je od najčešće primenjivanih metoda uklanjanja vode iz prehrambenih proizvoda (*Rahman & Perera, 2007*). Dovođenje toplote materijalu koji se suši vrši se nekim od mehanizama prenosa toplote: konvekcijom, kondukcijom ili zračenjem (mikrotalasima, infracrvenim zračenjem, itd.) (*Berk, 2009*). Konvekcija je jedan od najčešćih načina prenosa toplote, pri čemu se kao medijum za zagrevanje i odnošenje vlage iz materijala najčešće koristi atmosferski vazduh, a koriste se i direktni produkti sagorevanja ili pregrejana vodena para (*Mujumdar, 2006*). Ovakav način sušenja se još naziva i direktno sušenje (*Zlatanović, 2012*). Kod sušenja kondukcijom, koje se još naziva indirektno ili kontaktno sušenje, toplota se predaje materijalu njegovim kontaktom sa zagrejanom radnom površinom, dok okolni vazduh služi za odnošenje oslobođene vlage. Sušenje kondukcijom često se izvodi u vakuumu (*Zlatanović, 2012*).

Kako navode *Jung et al. (2015)* proces sušenja jabučnog tropa podrazumeva snižavanje sadržaja vlage u ovom materijalu do oko 10%, čime se postiže njegovo konzervisanje, povećava

koncentracija hranljivih materija, omogućava lakše skladištenje i snižavaju troškovi transporta. Međutim, isti autori ističu da prilikom sušenja jabučnog tropa može doći do gubitaka pojedinih polifenolnih jedinjenja usled osetljivosti na toplotu i podložnost oksidaciji.

U istraživanjima vezanim za ispitivanje upotrebe suvog jabučnog tropa kao hraniva u ishrani životinja ili kao sirovine za dobijanje bioaktivnih jedinjenja i proizvoda sa dodatom vrednošću, primenjivani su različiti tipovi sušara i režimi sušenja. Kako navode *El Boushy & van der Poel (2000)*, za sušenje jabučnog tropa često se koriste rotacione sušnice, koje inače imaju značajnu primenu u prehrambenoj industriji. Ovaj tip sušnica često se koristi za sušenje različitog zrnastog materijala (žitarica, uljarica), povrća, zelene mase (detelina), repnih rezanaca, tropa od voća za proizvodnju pektina, itd (*Lovrić, 2003*). Kako navode *Delele et al. (2015)*, rotaciona sušnica sastoji se od horizontalnog cilindra koji rotira, i najčešće je nagnut u odnosu na horizontalnu osu pod uglom od 0 do 4 °, što olakšava transport materijala od ulaza ka izlazu sušnice. Vlažan materijal se u sušnicu ubacuje na višem kraju cilindra, i tokom rotacije se meša, zagreva i suši, i izlazi iz sušnice na nižem kraju nagnutog cilindra. Važan element rotacionih sušara su pregrade različitih oblika, ugrađene unutar cilindra koje raspoređuju materijal na veću površinu čime potpomažu i njegovo mešanje, a time i sušenje. Zagrevanje materijala se može vršiti indirektno, pomoću ugrađenih razmenjivača toplote, ili direktno, pomoću gasova ili pare koji struje suprotnostrujno u odnosu na materijal koji se suši ili istostrujno (kada se suše osetljive materije) (*Mani & Sokhansanj, 2008*). U zavisnosti od materijala koji se suši, kao medijum za dehidrataciju mogu se upotrebiti dimni gasovi, odnosno oprodukti sagorevanja goriva, zagrejani vazduh, kao i pregrejana para (*Lovrić, 2003; Delele et al., 2015*).

U istraživanju koje su sproveli *Constenla et al. (2002)*, ispitan je uticaj temperature sušenja na prinos i funkcionalne osobine pektina iz jabučnog tropa. Sušenje je obavljeno u rotacionoj sušnici, sa polukontinualnim režimom rada, kod kojeg se material zadržavao u određenim delovima (modulima) sušnice određeno vreme (šaržni režim), a kretanje iz modula u modul se odvijalo kontinualno. Kao medijum za sušenje korišćen je vazduh čija je temperatura na izlazu iz sušare iznosila 60, 70, 80 i 105 °C. Brzina obrtanja sušnice iznosila je 17 obrtaja/min, a brzina strujanja vazduha 1,5 m/s. Početna vlaga jabučnog tropa bila je 80%, dok je krajnja vlaga na izlazu iz sušnice bila niža od 7%. Proces sušenja trajao je od 6 do 8 sati, u zavisnosti od temperature vazduha. Sušenje tropa na temperaturi od 105 °C imalo je za rezultat niži prinos

pektina, koji je imao nižu temperaturu želiranja i tamniju boju u odnosu na pektin dobijen iz jabučnog tropa sušenog na 80 °C. Temperatura sušenja nije uticala na stepen esterifikacije, odnosno metoksilacije pektina.

U istraživanju koje su sproveli *Rawal & Masih (2014)* jabučni trop je sušen u tunelskoj sušari, u trajanju od 300, 240 i 195 minuta, na temperaturama od 60, 70 i 80 °C, respektivno. Rezultati istraživanja su pokazali da je pri temperaturama sušenja od 60°C i 80 °C došlo do značajnog smanjenja sadržaja proteina u osušenom proizvodu, u prvom slučaju zbog duže izloženosti tropa povišenoj temperaturi, a u drugom zbog više temperature sušenja. Trop osušen na temperaturi od 80 °C imao je tamniju boju, ali i nešto bolju stabilnost u pogledu hemijskog sastava tokom perioda skladištenja u odnosu na trop osušen na 60 i 70 °C.

U radu *Yan (2012)* sušenje jabučnog tropa u obavljeno je vakuumskoj trakastoj sušnici, na temperaturama 80, 95, i 110°C, tokom 96, 130 i 170 minuta respektivno. Koeficijent aktivnosti vode ( $a_w$ ) u jabučnom tropu na kraju procesa sušenja iznosio je od 0,2. Nakon sušenja određivani su boja, higroskopnost, veličina čestica, sadržaj ukupnih fenola, antocijana i ukupnih vlakana jabučnog tropa. Prema dobijenim rezultatima, zaključeno je da je temperatura sušenja imala mali uticaj na određivane osobine jabučnog tropa. Uzimajući u obzir potrebno vreme sušenja na različitim temperaturama, zaključeno je da je sušenje jabučnog tropa na 95°C u trajanju od 130 minuta bilo optimalno u ovom procesu.

S obzirom na značajnu količinu hranljivih i bioaktivnih sastojaka koji zaostaju u jabučnom tropu nakon procesa proizvodnje soka, ovaj sporedni proizvod se može iskoristiti za različite svrhe. Prema navodima *Bhushan et al. (2008)*, *Vendruscolo et al. (2008)*, *Dhillon et al. (2013)*, jabučni trop se može iskoristiti kao sirovina za dijetetskih vlakana, pektina, polifenola, a značajne su i mogućnosti njegovog iskorišćenja kao supstrata za gajenje mikroorganizama sa ciljem proizvodnje organskih kiselina, enzima, etanola, jednoćelijskih proteina, i dr. Međutim, upotreba jabučnog tropa na industrijskom nivou trenutno je ograničena na proizvodnju pektina (*Joshi et al., 2006; Gullón et al., 2007*).

#### 2.2.4.2. Jabučni trop kao izvor pektina

Kao sirovine u komercijalnoj proizvodnji pektina najčešće se koriste jabučni trop i kora citrusa, pri čemu ekstrakcija pektina najčešće obavlja mineralnim kiselinama na povišenoj temperaturi (Ziari et al., 2010; Liew et al., 2014). Pektinske materije predstavljaju prirodne polimere koji se uglavnom nalaze u primarnom ćelijskom zidu viših biljaka (Canteri-Schemin et al., 2005). Po hemijskoj strukturi pektin je složeni heteropolisaharid čiju osnovu čine linearni nizovi galakturonske kiseline povezani  $\alpha$ -1,4-glikozidnim vezama, koje su delimično metilesterifikovane (Mukhiddinov et al., 2000; Sriamornsak, 2003). Stepen metilesterifikacije ima veliki uticaj na svojstva pektina, pa se pektini na osnovu toga dele na visoko (stepen metilesterifikacije  $> 50\%$ ) i nisko metilesterifikovane (stepen metilesterifikacije  $\leq 50\%$ ) (Yapo & Koffi, 2014). U sastav linearnog niza poligalakturonske kiseline ulaze i male količine ostataka ramnoze koji izazivaju njegovo račvanje. Za ostatke ramnoze uglavnom su vezani neutralni šećeri L-arabinoza, D-galaktoza i D-ksiloza koji čine bočne nizove u makromolekulu pektina (Marcon et al., 2005). Pektin ima svojstva hidrofilnog koloida koji ima sposobnost želiranja, zgušnjavanja, emulgovanja, pa nalazi široku primenu u prehrambenoj i farmaceutskoj industriji i medicini (Sriamornsak, 2003).

Pektin izdvojen iz jabučnog tropa ima bolju sposobnost želiranja u odnosu na pektin iz kore citrusa, ali ga karakteriše tamnija boja, koja potiče od oksidovanih polifenolnih jedinjenja, koja se ekstrahuju zajedno sa pektinom i samo delimično uklanjaju u procesu taloženja pektina, što ograničava njegovu upotrebu u proizvodnji prehrambenih proizvoda svetle boje (Schieber et al., 2003; Dilas et al., 2009). Sa ciljem prevazilaženja ovog problema, u istraživanju Schieber et al. (2003), razvijen je postupak kombinovanog izdvajanja pektina i polifenolnih jedinjenja iz jabučnog tropa. U okviru ovog postupka, izvršeno je izdvajanje polifenolnih jedinjenja iz ekstrakta jabučnog tropa njihovom adsorpcijom na koloni ispunjenoj stiren-divinilbenzen kopolimerom, što je za rezultat imalo značajnu depigmentaciju dobijenog pektina, pri čemu njegova sposobnost želiranja nije smanjena.

Kako navode Kammerer et al. (2014), za ekstrakciju pektina neophodno je koristiti suvi jabučni trop, pošto u svežem jabučnom tropu veoma brzo dolazi do reakcija depolimerizacije i deesterifikacije pektina, koje su katalizovane enzimima prisutnim u samom tropu, kao i enzimima mikroorganizama koji se brzo razvijaju na ovom vlažnom materijalu.

U istraživanjima koja su sprovedi *Canteri-Schemin et al. (2005)*, *Marcon et al. (2005)*, *Garna et al. (2007)*, *Ziari et al. (2010)*, ispitivan je uticaj parametara procesa ekstrakcije pektina (temperature, pH vrednosti i vremena trajanja procesa) i kiseline upotrebljene za ekstrakciju, sa ciljem dobijanja što većeg prinosa i kvaliteta pektina. Tako je u istraživanju *Canteri-Schemin et al. (2005)* utvrđeno da se znatno veći prinos dobija pri ekstrakciji pektina limunskom i azotnom kiselinom, u poređenju sa hlorovodoničnom, fosforom, sumpornom, jabučnom i vinskom kiselinom. U istraživanju *Ziari et al. (2010)* najveći prinos pektina, od 15,20%, dobijen je pri pH vrednosti od 1,5, temperaturi od 90 °C, tokom 90 minuta, ali je kvalitet pektina (u pogledu udela galakturonske kiseline i stepena esterifikacije) bio bolji za više pH vrednosti, kraće vreme trajanja i nižu temperature procesa ekstrakcije.

#### **2.2.4.3. Jabučni trop kao izvor dijetetskih vlakana**

Jabučni trop predstavlja bogat izvor dijetetskih vlakana s obzirom da njihov sadržaj u ovom sporednom proizvodu iznosi preko 50% (*Kołodziejczyk et al., 2007*). Poznato je da dijetetska vlakna ispoljavaju brojne pozitivne fiziološke efekte u organizmu čoveka, kao što su vezivanje viška hlorovodonične kiseline u želucu, snižavanje nivoa holesterola u krvi, usporavanje procesa apsorpcije glukoze u tankom crevu, poboljšanje peristaltike creva i dr. (*Nawirska & Kwasniewska, 2005; Gunness et al., 2010*). Zahvaljujući ovim specifičnim svojstvima, prisustvo većih količina dijetetskih vlakana u ishrani može doprineti sprečavanju pojave određenih bolesti, kao što su gojaznost, dijabetes, ateroskleroza, koronarne bolesti srca, pojedine vrste karcinoma (*Schneeman, 1998; Peters et al., 2003; Wu et al., 2015; Farvid et al., 2016; Kim & Je, 2016*). Pored navedenog, zbog sve većih zahteva potrošača za prirodnim suplementima u ishrani, upotreba jabučnog tropa kao izvora dijetetskih vlakana nameće se kao značajan način njegovog iskorišćenja (*Elleuch et al., 2011*), naročito ako se ima u vidu da dodavanje dijetetskih vlakana u hranu koja se često konzumira može doprineti rešavanju problema deficita vlakana u ishrani (*Fernández-Ginés et al., 2003*).

U istraživanju *Figuerola et al. (2005)* ispitivane su funkcionalne karakteristike koncentrata vlakana izdvojenih iz jabučnog tropa, pri čemu se došlo do zaključka da bi se ovi koncentri mogli koristiti kao dodatak hrani sa ciljem dobijanja prehrambenih proizvoda niske kalorijske vrednosti, bogate dijetetskim vlaknima. Ispitivanjem različitih metoda ekstrakcije rastvornih dijetetskih vlakana iz jabučnog tropa, u istraživanju koje su sprovedi *Li et al. (2014)*, utvrđeno je

da enzimsko, mikrotalasna i ultrazvučna ekstrakcija, u odnosu na konvencionalni proces ekstrakcije kiselinom, dovode do povećanja prinosa rastvornih dijetetskih vlakana, kao i do poboljšanih njihovih funkcionalnih karakteristika, odnosno sposobnosti bubrenja i zadržavanja vode i ulja.

U nekoliko istraživanja ispitani su efekti upotrebe jabučnog tropa kao izvora dijetetskih vlakana u pripremi pekarskih proizvoda (*Masoodi et al., 2002; Sudha et al., 2007; Lu et al., 2017*). Rezultati istraživanja koje su sprovedi *Sudha et al. (2007)* pokazali su da se u pripremi kolača pšenično brašno može zameniti sa 25% samlevenog jabučnog tropa, pri čemu se dobija proizvod sa povećanim sadržajem dijetetskih vlakana, prihvatljivog kvaliteta i prijatne arome jabuke. Kako navode *Lu et al. (2017)*, korišćenje hleba sa dodatkom jabučnog tropa, predstavlja efikasan način povećanja unosa dijetetskih vlakana u ishrani ljudi. Navedeni autori su pokazali da je optimalna količina samlevenog jabučnog sa tropa u testu za pripremu pšeničnog hleba dobrog kvaliteta, iznosila 3%, kao i da je dodavanje ove količine jabučnog tropa dovelo do poboljšanja senzornih karakteristika hleba.

#### **2.2.4.4. Jabučni trop kao izvor polifenolnih jedinjenja**

S obzirom da prilikom proizvodnje soka veći deo polifenolnih jedinjenja zaostaje u jabučnom tropu, iskorišćenje ovog sporednog proizvoda kao izvora polifenola mogao bi predstavljati jedan od načina njegove upotrebe (*Ćetković et al., 2008*).

Polifenolna jedinjenja predstavljaju brojnu i raznovrsnu grupu sekundarnih metabolita biljaka, koja obuhvata preko 8000 jedinjenja, različite strukture, u čijoj osnovi se nalazi benzenov prsten za koji je vezana jedna ili više hidroksilnih grupa (*González-Vallinas, 2010*). Polifenoli obuhvataju više klasa jedinjenja, i to: fenolne kiseline, flavonoide, stilbene, lignane i tanine, čija struktura varira od proste, kao što je to slučaj sa fenolnim kiselinama, do vrlo složene, kao kod polimerizovanih tanina (*Dai & Mumper, 2010*). Mnoga polifenolna jedinjenja poseduju snažno antioksidativno svojstvo, koje je uglavnom posledica njihove aromatične strukture i velikog broja hidroksilnih grupa, usled čega imaju sposobnost da doniraju elektrone i atome vodonika i na taj način neutrališu slobodne radikale i druge reaktivne kiseonične vrste (ROS - reactive oxygen species) (*Zhang & Tsao, 2016*). Rezultati brojnih istraživanja su pokazali da polifenolna jedinjenja poseduju i antimikrobno, antiinflamatorno i antikancerogeno dejstvo, kao i da imaju ulogu u zaštiti čovekovog organizma od kardiovaskularnih oboljenja i dijabetesa (*Hertog et al.,*

1995; Arai et al., 2000; Chu, Chang, & Hsu, 2000; Liu, 2002; Bendini et al., 2006; McCann et al., 2007; Zhang et al., 2016; Tu et al., 2017).

Najzastupljenije grupe polifenolnih jedinjenja u jabučnom tropu su: flavanoli (katehin, epikatehin, procijanidini), flavonoli (kvercetin glikozidi), hidroksi derivati cimetne kiseline i dihidrokahoni (Schieber et al., 2003).

U istraživanjima koja su sprovedi Ćetković et al. (2008), Wijngaard et al. (2009), Belén Suárez et al. (2010), Bai et al. (2013) utvrđeno je da ekstrakti polifenola jabučnog tropa poseduju značajnu antioksidativnu aktivnost. Sve veći broj istraživanja usmeren je upravo na ispitivanje mogućnosti upotrebe jabučnog tropa za pripremu ekstrakata polifenola kao izvora prirodnih antioksidanasa ili kao sastojka koji bi se mogao iskoristiti za dobijanje funkcionalne hrane (Wijngaard & Brunton, 2009; Rana et al. 2015, Candrawinata et al., 2014). Kako navode Reis et al. (2012) i Leyva-Corral et al. (2016), s obzirom na povećano konzumiranje ekstrudiranih snek proizvoda (grickalica), njihovo obogaćivanje sastojcima sa visokim sadržajem vlakana i polifenola dovelo bi do poboljšanja njihove biološke vrednosti, a moglo bi doprineti poboljšanju zdravstvenog statusa stanovništva. Tako je u istraživanju Reis et al. (2012) dodavanje osušenog jabučnog tropa u smeše od pšeničnog griza i pirinča za proizvodnju ekstrudiranih snek proizvoda, kao i u smešu za peciva, rezultiralo je značajnim povećanjem saržaja polifenola i antioksidativne aktivnosti ovih proizvoda.

#### **2.2.4.5. Biokonverzija jabučnog tropa u hranivo sa povećanom hranljivom vrednošću**

Veći broj istraživanja pokazao je da je korišćenjem jabučnog tropa kao supstrata za gajenje različitih vrsta i sojeva kvasaca i plesni moguće izvršiti biokonverziju ovog sporednog proizvoda u hranivo sa većom hranljivom vrednošću, posebno u pogledu povećanja sadržaja proteina (Bhalla & Joshi, 1994; Joshi et al. 2000; Villas-Bôas et al., 2003; Vendruscolo et al., 2008). Tako je u istraživanju koje su sprovedi Bhalla & Joshi (1994) gajenje najpre plesni *Aspergillus niger* i *Trichoderma viride*, kao celulolitičkih mikroorganizama, a zatim kvasaca *Saccharomyces cerevisiae* i *Candida utilis*, kao fermentativnih mikroorganizama, na jabučnom tropu kao supstratu, dovelo do značajnog povećanja sadržaja proteina u fermentisanom u jabučnom tropu kao krajnjem proizvodu. U istraživanju Villas-Bôas et al. (2003) fermentacijom jabučnog tropa korišćenjem kvasca *Candida utilis* sadržaj proteina povećan je za 100%, minerala za 60%, dok je povećanje svarljivosti iznosilo 8,2%. Na ovaj način izvršena je biokonverzija jabučnog tropa



gajenjem kvasca *Candida utilis* u hranivo sa povećanom hranljivom vrednošću koje bi se moglo koristiti u ishrani preživara.

### 2.2.5. Jabučni trop kao hranivo u ishrani životinja

Jabučni trop ima značajnu nutritivnu vrednost, s obzirom na to da je bogat izvor prostih šećera i vlakana i da sadrži određene količine minerala i vitamina. Stoga je upotreba ovog sporednog proizvoda u ishrani životinja jedan od značajnih načina njegovog iskorišćenja. Nedostatak ovog hraniva je relativno nizak sadržaj proteina i prisustvo pektina i tanina kao antinutritivnih faktora koji mogu negativno uticati na iskorišćenje hranljivih materija kod životinja (*Zhong - Tao et al., 2009*).

S obzirom brzo podleže kvarenju, svež jabučni trop se može koristiti u ishrani životinja samo na lokalnom nivou, u okolini fabrika u kojima nastaje, pa je njegovo upotreba u svežem stanju gotovo zanemarljivo mala (*Dhillon et al., 2013*). Iz tog razloga se jabučni trop u ishrani životinja najčešće koristi u siliranom ili suvom obliku (*Mirzaei-Aghsaghali et al., 2011*). Dosadašnja istraživanja u velikoj meri su se odnosila na ispitivanje mogućnosti korišćenja jabučnog tropa u ishrani preživara. Svež, siliran ili osušen jabučni trop predstavlja uglavnom energetsko hranivo za preživare i može zameniti konvencionalna hraniva u ishrani preživara kao što su kukuruz i druge žitarice (*Afzal et al., 2015*). Prema podacima *NRC (2001)*, sa stanovišta ishrane mlečnih goveda, metabolička energija jabučnog tropa iznosi 80% metaboličke energije silaže kukuruza. *Macgregor (2000)* navodi da svež ili siliran jabučni trop sadrži oko 80% ukupnih svarljivih hranljivih materija ječma, kao i da se u tom obliku može koristiti u ishrani mlečnih krava u količini od 13,5 kg po grlu dnevno. Istraživanja su pokazala da je jabučni trop pogodniji za ishranu tovnih goveda, nego za ishranu teladi i mlečnih krava (*Knežević i sar., 2005*). Kako navodi *Walker (2000)*, uvođenje jabučnog tropa u ishranu goveda treba sprovoditi sa određenom dozom opreznosti, s obzirom na dosta visok nivo prostih šećera. Isti autor navodi da se jabučni trop generalno u ishrani goveda može koristiti u količini do 25% suve materije obroka.

Usled visokog sadržaja vlage, pri siliranju jabučnog tropa neophodno je dodati suvi materijal kao absorbens, kao što je slama žitarica, čime se sprečava gubitak hranljivih materija usled ceđenja vode iz silaže (*Alibes et al., 1984; Antov i sar., 2004*). Istraživanje koje su sproveli *Pirmohammadi et al. (2006)* pokazalo je da se siliranjem jabučnog tropa sa dodatkom 10% pšenične slame u odnosu na količinu tropa, može dobiti silaža zadovoljavajućeg kvaliteta, koju karakteriše niska pH vrednost, niska koncentracija sirćetne i buterne kiseline, a visoka koncentracija mlečne kiseline. Kako navode *Antov i sar. (2004)*, vrlo dobar kvalitet silaže

dobijen je pri kombinovanom siliranju jabučnog tropa sa rezancima šećerne repe i pivskim tropom u odnosu 25:50:25. Isti autori navode i da se jabučni trop može uspešno silirati u različitim kombinacijama sa svežim repinim rezancima, kao i u kombinacijama sa do 35% kukuruzovine i do 35% iseckane ovsene slame.

U istraživanju *Ghoreishi et al. (2007)* silaža jabučnog tropa korišćena je kao delimična zamena lucerke i ječma u ishrani krava Holštajn rase. Primenjena su tri tretmana ishrane: 1. - kontrolni, bez dodatka siliranog jabučnog tropa, 2. - sa 15% siliranog jabučnog tropa u obroku i 3. - sa 30% siliranog jabučnog tropa u obroku (izraženo na suvu materiju obroka). Rezultati ovog istraživanja pokazali su da nije bilo značajnih razlika u prinosu i sastavu mleka između primenjenih tretmana, odnosno da silirani jabučni trop može da supstituiše do 30% suve materije obroka krava Holštajn rase bez negativnih efekata na prinos i nutritivni kvalitet mleka. Rezultati istraživanja *Szucsne (2000)* pokazali su da se siliran jabučni trop sa dodatkom slame može uspešno koristiti kao delimična zamena za koncentrat u obrocima jagnjadi i ovaca u laktaciji, pri čemu je potrebno voditi računa o ukupnoj energetskej vrednosti obroka.

Rezultati brojnih istraživanja su pokazali da se u ishrani preživara može koristiti i osušeni jabučni trop. *Macgregor (2000)* navodi da se u osušeni jabučni trop može biti zastupljen u obrocima za mlečne krave u količini od 3 kg po grlu dnevno. Rezultati istraživanja *Bae et al. (1994)* pokazali su da je ishrana mlečnih krava kompletnim obrokom sa 39% osušenog i samlevenog jabučnog tropa, dovela do povećanog sadržaja proteina u mleku i smanjenog sadržaja laktoze, u odnosu na ishranu kompletnim obrokom bez jabučnog tropa, pri čemu su sadržaj masti i bezmasna suva materija mleka imali slične vrednosti kod primenjenih tretmana ishrane. U navedenom istraživanju, telesna masa krava hranjenih koncentrovanom smešom sa dodatkom jabučnog tropa bila je veća u odnosu na krave hranjene standardnom smešom. U istraživanju *Tiwari et al. (2008)* u ishrani krava meleza Red Sindhi i Jersey, korišćen je osušeni jabučni trop kao delimična zamena za kukuruz u količini od 12% suve materije koncentrovanog dela obroka. Rezultati navedenog istraživanja su pokazali da ishrana krava smešama sa dodatkom osušenog jabučnog tropa, nije imala značajan uticaj na prinos i kvalitet mleka.

Rezultati istraživanja koje su sproveli *Ahn et al. (2002)* pokazali su da se osušeni jabučni trop može koristiti u ishrani koza u količini do 60 % obroka, koji je pored tropa sadržao 30% pirinčanih mekinja i 10% koncentrata, bez negativnog uticaja na svarljivost obroka i retenciju

azota. Takođe, *Ahn et al. (2002)* su istakli da se prilikom upotrebe većih količina jabučnog tropa u ishrani koza mora voditi računa o adekvatnoj količini proteina u obrocima, naročito kod ishrane životinja u porastu, obzirom da je jabučni trop deficitaran u ovim hranljivim materijama.

Pored pozitivnih efekata upotrebe jabučnog tropa u ishrani preživara, ustanovljeni su i pozitivni efekti upotrebe ovog hraniva u ishrani nepreživara. Tako je u istraživanju koje su sprovedli *Bowden & Berry (1958)* osušen jabučni trop korišćen kao sastojak smeše za ishranu tovnih svinja Jorkšir rase u količini od 0, 10, 20, 30 i 40%, pri čemu je utvrđeno da je do značajnih razlika u dnevnom prirastu, randmanu mesa, kvalitetu polutki, masi srca, jetre, slezine i tankog creva, došlo samo pri dodavanju 40% suvog tropa jabuke u smeše. Sa druge strane, u istraživanju koje su sprovedli *Pieszka et al (2017)* dodavanje osušenog jabučnog tropa u smeše za ishranu tovnih svinja, u količini od 8% u prvoj fazi tova i 10% u drugoj fazi tova, dovelo je do značajnog smanjenja dnevnog konzumiranja i konverzije hrane u odnosu na kontrolnu grupu koja je hranjena standardnom smešom koncentrata, bez dodatka jabučnog tropa. Takođe, u navedenom istraživanju, tov ogleadne grupe trajao četiri dana duže u odnosu na kontrolnu grupu, pa se završne mase i prosečni dnevni prirast nisu statistički značajno razlikovali između grupa.

Rezultati istraživanja *Sehm et al. (2011)* su pokazali da je dodavanje osušenog jabučnog tropa u količini 3,5% u smeše za ishranu prasadi pre i posle zalučenja, imalo pozitivan uticaj na razvoj limfatičnog tkiva digestivnog trakta, morfologiju crevnih resica, kao i na opšte zdravstveno stanje prasadi. Navedeni autori su ovakve rezultate doveli u vezu sa visokim sadržajem polifenolnih jedinjenja u jabučnom tropu, koja mogu imati pozitivan uticaj na zdravlje ljudi i životinja.

U istraživanju *Gutzwiller et al. (2007)* je utvrđeno da dodatak osušenog jabučnog tropa u smeše za ishranu svinja, koje su bile kontaminirane mikotoksinima roda *Fusarium*, može značajno umanjiti negativan uticaj koji ishrana ovakvim smešama ima na zdravlje i proizvodne rezultate. U ovom istraživanju ispitivan je uticaj ishrane odlučene prasadi smešama koncentrata koje su sadržale pšenicu kontaminiranu mikotoksinima - deoksinivalenolom i zeralenonom, sa i bez dodatka osušenog jabučnog tropa. Deoksinivalenol negativno utiče na konzumiranje i prirast kod prasadi, dok oba mikotoksina negativno utiču na plodnost ženskih prasadi, odnosno

krmača. Rezultati ovog istraživanja pokazali su da je prirast bio veći kod grupe prasadi koja je dobijala kontaminiranu hranu sa dodatkom osušenog jabučnog tropa, u odnosu na grupu koja je dobijala istu hranu, ali bez dodatka jabučnog tropa. Ovakav efekat korišćenja osušenog jabučnog tropa u ishrani prasadi *Gutzwiller et al. (2007)* objašnjavaju činjenicom da jabučni trop sadrži veliku količinu sirovih vlakana i pektina, pa njegovo konzumiranje dovodi do povećanja količine vode u gastrointestinalnom traktu, do brže sinteze proteina i deobe ćelija sluzokože tankog creva, čime se omogućava njena regeneracija. Na ovaj način, umanjuje se negativno dejstvo deoksinivalenola koji izaziva inhibiciju sinteze proteina i izaziva apoptozu epitelnih ćelija u gastrointestinalnom traktu, čime dolazi do iritacije sluzokože i smanjenja apsorpcije hranljivih materija. Takođe, *Gutzwiller et al. (2007)* navode mogućnost da jabučni trop deluje i kao adsorbens deoksinivalenola, usled čega se smanjuje absorpcija ovog mikotoksina u tankom crevu.

U eksperimentu koji su sprovedi *Yamamoto et al. (2002)*, tokom 7 dana ogleđa ishrane svinja, telesne mase od 45 kg, smešom sa smanjenim sadržajem proteina i dodatkom 23,1% osušenog jabučnog tropa, ustanovljeno je smanjeno izlučivanje azota putem urina, koje je za posledicu imalo i smanjenu emisiju amonijaka.

Osušeni i samleveni jabučni trop je korišćen i u ishrani živine tako što je dodavan smeši koncentrata kao delimična zamena za kukuruz. Ograničenje značajnijeg učešća ovog hraniva u ishrani živine svakako predstavlja visok sadržaj sirovih vlakana koja su limitirajući faktor kod procesa varenja u digestivnom traktu ove kategorije domaćih životinja (*Đorđević i sar., 2009*). Istraživanje *Ayhan et al. (2009)* pokazalo je da se osušeni i samleveni jabučni trop može koristiti u koncentrovanim smešama za ishranu brojlera kao zamena za kukuruz u količini od 5%, bez negativnog uticaja na performanse i zdravlje životinja. Udeo jabučnog tropa u smeši iznad 10% uzrokovao je smanjenu efikasnost ishrane kao i pojavu vlažne prostrirke, verovatno usled višeg nivoa vlakana u ishrani (*Zafar et al., 2005*). Ukoliko se u smešu za ishranu brojlera dodaje veća količina osušenog jabučnog tropa, potrebno je istovremeno dodavati i enzime. U istraživanju *Matoo et al. (2001)*, prilikom ishrane brojlera smešama u kojima je 15 ili 20% kukuruza zamenjeno osušenim tropom jabuke, uz dodatak enzima ( $\alpha$ -amilaze, hemicelulaze, proteaze i  $\beta$ -glukanaze), prirast i konverzija hrane nisu se značajnije razlikovali u odnosu na brojlere hranjene standardnom smešom koncentrata.

Rezultati istraživanja koje su sproveli *Yıldız et al. (1998)* su pokazali da je ishrana kokoši nosilja smešom sa 5% osušenog jabučnog tropa, u koju je dodat i kompleks enzima, imala pozitivan uticaj na konverziju hrane, dok nije bilo uticaja na telesnu masu kokoši i osobine kvaliteta jaja, odnosno tvrdoću i debljinu ljuske jaja.

### 2.3. Peletiranje kao tehnološki postupak u industrijskoj proizvodnji hrane za životinje

Koncentratovani deo obroka za preživare i ukupni obrok za nepreživare se dobija kombinovanjem većeg broja koncentrovanih hraniva, koja su prethodno dobro usitnjena i maksimalno izmešana u finalni proizvod koji se naziva smeša koncentrata. Određeni tehnološki postupci prerade stočne hrane poput peletiranja, mikronizacije, ekstruzije, ekspaniranja podrazumevaju sledljivost u kompletnom lancu ishrane „od njive do trpeze”, koji sve više dobijaju na značaju u ishrani ljudi, a samim tim i ishrani domaćih životinja kao integralnom delu ovog procesa (*Jovanović i sar., 2001*). Navedeni tehnološki postupci najčešće podrazumevaju izlaganje hrane za životinje vodenoj pari, povećanom pritisku i temperaturi, pri čemu najčešće dolazi do hemijskih transformacija hranljivih sastojaka poput skroba, hemiceluloze, celuloze i pentozana koji doprinose njihovoj efikasnijoj usvojivosti u organizmu životinje. Industrijski proizvedene smeše koncentrata u novije vreme se najčešće koriste u formi peleta. Peletiranje predstavlja postupak uobličavanja smeša koncentrata čime se onemogućava dokomponovanje smeše i rastur hrane, vrši delimična pasterizacija, kao i povećano konzumiranje ovako obrađene hrane.

Od uvođenja u proizvodnju hrane za živinu u SAD i Evropi, dvadesetih godina prošlog veka, peletiranje je postalo jedan od osnovnih tehnoloških procesa u industrijskoj proizvodnji hrane za životinje (*Schoeff, 1994*). Kako navodi *Feil (2007)*, u Evropi se oko 80% smeša koncentrata za ishranu životinja proizvodi u peletiranom obliku.

Prilikom sastavljanja smeša koncentrata za ishranu životinja može se koristiti veliki broj hraniva, pri čemu, pre svega, mora biti zadovoljen nutritivni kvalitet propisan normativima u ishrani za pojedine vrste i kategorije životinja, a u našoj zemlji, i postojećim *Pravilnikom o kvalitetu hrane za životinje (2014)*. Međutim, i pored zadovoljenja nutritivnih parametara kvaliteta, pojedine sirovine koje se koriste u proizvodnji peletirane hrane mogu imati negativan uticaj na fizički kvalitet peleta. Tako je u istraživanju koje je sproveo *Farenholz (2012)* utvrđeno da uključivanje suve kukuruzne džibre sa rastvorenim materijama u smeše za ishranu životinja, imalo negativan uticaj na fizički kvalitet peleta. Sa druge strane, pojedina hraniva, poput melase šećerne repe i šećerne trske, mogu imati pozitivan uticaj na kvalitet peleta (*Israelsen et al., 1981*).

U literaturi se za sada može naći vrlo malo podataka o procesu peletiranja jabučnog tropa. U istraživanju koje su sproveli *Wojdalski et al. (2016)*, ispitivan je pritisak potreban za kompresiju jabučnog tropa u pelete, gustina peleta nakon kompresije i kalorijska vrednost peleta osušenog jabučnog tropa kao potencijalnog biogoriva. Proces peletiranja jabučnog tropa i kvalitet peleta sa stanovišta njegovog korišćenja kao hraniva u ishrani životinja i njegov uticaj na proces peletiranja smeša koncentrata za ishranu životinja do sada nisu ispitivani.

Proces peletiranja predstavlja aglomeraciju čestica praškastih smeša u veće čestice - pelete, dodavanjem vode ili pare, pod dejstvom mehaničkog pritiska i povišene temperature (*Abdollahi et al., 2013*). U osnovi, to je proces potiskivanja kondicioniranog materijala kroz metalnu matricu sa otvorima određene debljine i dimenzija otvora (*Koch, 2008; Vukmirović et al., 2010*).

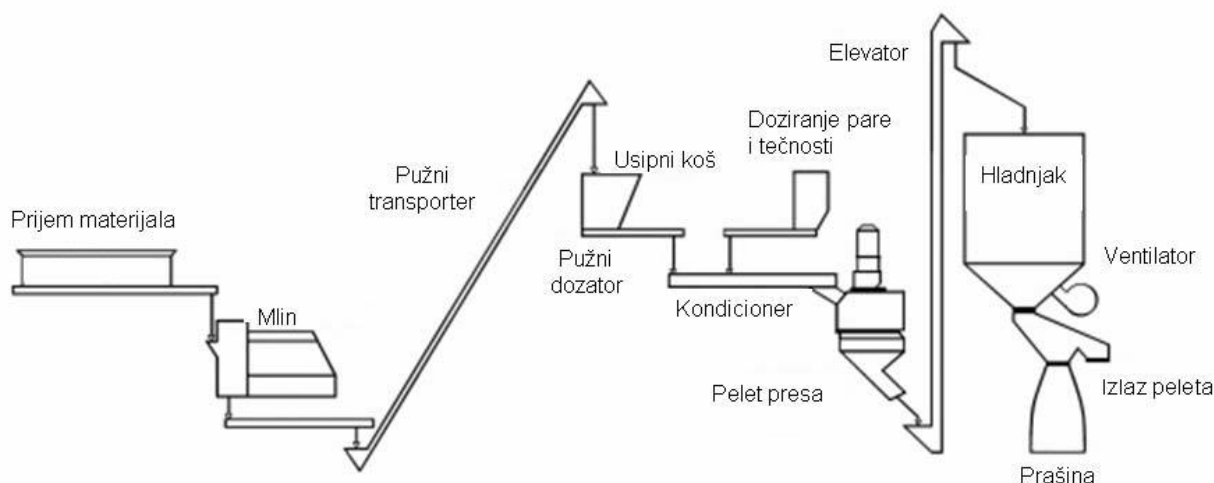
Primena tehnološkog procesa peletiranja praškastih smeša u proizvodnji hrane za životinje dovodi do poboljšanja fizičkih i nutritivnih karakteristika hrane. Kako navode *Behnke et al. (1994)*, *Briggs et al. (1999)*, *Moritz i et al. (2001)*, *Dorđević i sar. (2008)*, prednosti korišćenja smeša u peletiranom obliku u odnosu na praškaste smeše, tj. smeše u rasutom obliku, su:

- povećanje nasipne mase, odnosno smanjenje zapremine smeše, čime se olakšavaju transport i skladištenje proizvoda i smanjuju troškovi transporta,
- poboljšanje protočnosti, čime je olakšano pražnjenje silosa, doziranje, transport smeše unutar pogona i hranjenje životinja na farmi,
- smanjenje gubitaka hrane,
- sprečavanje raslojavanja smeše čime se postiže ujednačenija raspodela hranljivih sastojaka,
- onemogućavanje selektivne ishrane (sastojci u peleti se nalaze u istom odnosu kao i u makrosmeši) i smanjenje rastura hrane, usled čega životinje dobijaju dobro izbalansiran obrok,
- bolja dostupnost hranljivih sastojaka,
- termička modifikacija skroba i proteina u smeši,
- povećanje svarljivosti, ukusnosti i konzumiranja hrane,
- olakšano konzumiranje hrane (fino usitnjena, hraniva se teže konzumiraju u odnosu na pelete, zato što se mogu lepiti za nepce životinja).



### 2.3.1. Faze procesa peletiranja

Proizvodnja peleta, pored samog procesa peletiranja, obuhvata nekoliko tehnoloških procesa koji su uobičajeni u proizvodnji hrane za životinje, a to su: mlevenje, doziranje i mešanje pojedinačnih sirovina ili smeša, kondicioniranje, peletiranje, hlađenje i sušenje peleta (Abdollahi *et al.*, 2013). Na slici 2 prikazan je tehnološki dijagram procesa proizvodnje peleta.



Slika 2. Tehnološki dijagram procesa proizvodnje peleta (izvor: Carroll and Finnan, 2012)

Kako navode (Thomas *et al.*, 1997) celokupni proces peletiranja obuhvata faze kondicioniranja, peletiranja i hlađenja peleta, koje su međusobno zavisne a kvalitet proizvedenih peleta zavisi od svake od njih.

#### 2.3.1.1. Kondicioniranje

Kondicioniranje predstavlja pripremu materijala za peletiranje, koja podrazumeva korišćenje toplote, vode i pritiska, tokom određenog vremena, pri čemu se materijal dovodi u fizičko stanje koje olakšava njegovo sabijanje u procesu peletiranja (Skoch *et al.*, 1981). Kondicioniranje smeše ima lubrikativni (podmazujući) efekat u kanalima matrice pelet prese, usled kojeg dolazi do smanjenja trenja između materijala koji se peletira i zidova matrice, čime se povećava proizvodni kapacitet, a smanjuju potrošnja energije, habanje matrice i valjaka pelet prese. Takođe, kondicioniranjem smeše se povećavaju higijenska ispravnost i upotrebna vrednost hrane za životinje (Pfof & Young, 1973, citirano u Buchanan, 2008; Lević & Sredanović, 2000).

Voda se u procesu kondicioniranja može dodavati u obliku pare pod određenim pritiskom ili u obliku tečnosti (*Brlek et al., 2012*). S obzirom da je u gasovitom stanju, para se bolje raspodeljuje u materijalu, a njenom kondenzacijom formira se tanak film vode oko čestica koji omogućava njihovo međusobno povezivanje dejstvom kapilarnih sila. Takođe, zajedničko dejstvo vode i povišene temperature može inicirati fizičke i hemijske promene u materijalu, kao što su termičko omekšavanje, denaturacija proteina i želatizacija skroba (*Thomas et al, 1997*), kao i aktivacija dodatih vezivnih sredstava (*Kaliyan & Morey, 2009*), čiji je krajnji efekat bolje povezivanje čestica u peletama, odnosno poboljšanje kvaliteta peleta. Sa druge strane, rezultati istraživanja koje su sprovedli *Fairchild & Greer (1999)*, pokazali su da je do značajnijeg poboljšanja kvaliteta peleta došlo pri kondicioniranju smeše vodom (koncentrovana smeša na bazi kukuruza i sojine sačme za ishranu krmača), u poređenju sa kondicioniranjem parom, pri čemu treba uzeti u obzir da je u ovom istraživanju voda dodavana u mešalicu i da je bila omogućena konstantna on-line kontrola sadržaja vlage u materijalu prilikom mešanja.

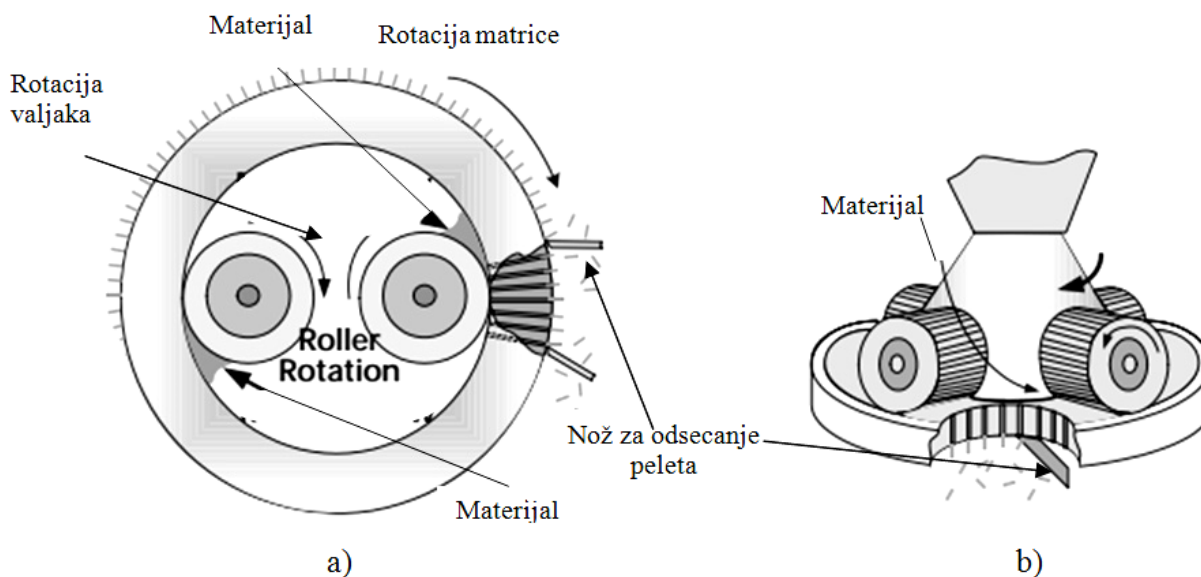
Kvalitet pare ima veliki uticaj na proces kondicioniranja. Dodavanjem suvozasicene pare u procesu kondicioniranja omogućava se homogenija distribucija pare u materijalu i bolje iskorišćenje toplote, što za posledicu ima bolji fizički kvalitet peleta, manju potrošnju električne energije, manji otpor prilikom presovanja i manje habanje matrice pelet prese (*Feil, 2009*). Korišćenje vlažne pare (stepena suvoće manjeg od 1) u procesu kondicioniranja, zahteva dodavanje veće količine pare kako bi se postigla odgovarajuća temperatura materijala, s obzirom da vlažna para sadrži manje energije od suvozasicene pare (*Behnke, 2001b*). Ukoliko se u procesu kondicioniranja koristi vlažna para, koja sadrži kondenzat, može doći do povećane vlažnosti materijala, što izaziva stvaranje grudvica i blokiranje pelet prese (*Winowiski 1985*).

Kako navodi *Cutlip (2008)*, vrednosti pritiska i temperature pare koji se koriste u procesu kondicioniranja, u proizvodnji hrane za životinje, kreću se u opsegu od 138 do 552 kPa, odnosno od 76,7 do 93,3 °C. *Thomas et al (1997)* su, na osnovu podataka do kojih su došli *Payne (1978)* i *Maier & Gardecki (1992)*, dali preporuke za vrednosti pritiska i temperature pri kondicioniranju različitih materijala, sa ciljem dobijanja peleta dobrog kvaliteta. Za peletiranje materijala sa visokim sadržajem skroba i niskim sadržajem vlakana, preporučena je niža vrednost pritiska, od 103,4 kPa i temperatura pare od 80 do 85 °C. Sa druge strane, za postizanje dobrog kvaliteta peleta pri peletiranju smeša sa visokim sadržajem proteina, preporučena je viša vrednost pritiska pare pri kondicioniranju, odnosno 448,2 kPa i temperatura pare od 80 °C.

U industriji hrane za životinje najčešće se koriste kontinualni kondicioneri cilindričnog oblika koji se sastoje od centralne osovine na kojoj se nalaze lopatice, koje omogućavaju mešanje pare i/ili vode sa materijalom koji se kondicionira (Vukmirović, 2015). Vreme zadržavanja materijala u kondicioneru zavisi od nagiba lopatica, brzine obrtanja osovine, stepena napunjenosti, protoka materijala i dužine cilindra i kreće se od u opsegu od 10 do 255 s (Audet, 1995; Oechsner de Coninck & Bouvier, 1995).

### 2.3.1.2. Peletiranje

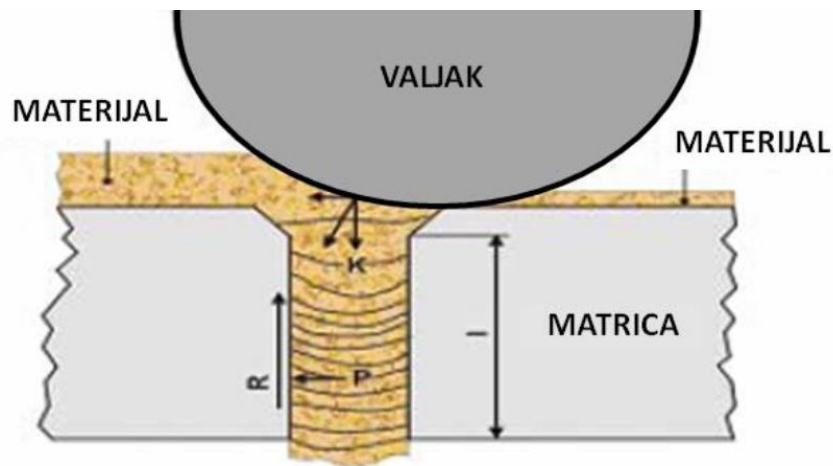
U savremenim postrojenjima za proizvodnju hrane za životinje peletiranje se obavlja u pelet presama čiji su osnovni elementi valjci i matrica (Thomas & van der Poel, 1996). U praksi se mogu sresti pelet prese sa vertikalno postavljenom cilindričnom matricom, koje se najčešće koriste u proizvodnji hrane za životinje, i pelet prese sa horizontalno postavljenom (ravnom) matricom (slika 3) (Čolović, 2013).



Slika 3. Valjci i matrica pelet prese sa cilindričnom (a) i ravnom (b) matricom

(Izvor: Payne et al., 2001)

Materijal koji je prethodno kondicioniran, raspodeljuje se između valjaka i površine matrice i pod pritiskom valjaka utiskuje se u kanale matrice (slika 4). Između materijala i zidova kanala matrice javljaju se sile trenja, usled čega dolazi do generisanja toplote (Čolović, 2012). Kada pritisak koji utiskuje materijal u kanale matrice postane veći od otpora sila trenja, materijal biva potisnut kroz kanale matrice i odseca se sa spoljne strane kanala pomoću rotirajućih noževa (Vukmirović, 2015). Pri tome se dobijaju pelete odgovarajuće dužine, prečnika i oblika. Dužinu određuje rastojanje između noža i donjeg dela matrice, a prečnik zavisi od prečnika otvora matrice (Pfost, 1971; Kersten i sar., 2005).



Slika 4. Formiranje peleta u kanalima matrice pelet prese (izvor: Kytö & Äijälä, 1981)

Svaka matrica ima određenu debljinu, tj. dužinu kanala i prečnik otvora. Matrice se najčešće karakterišu veličinom koja predstavlja odnos dužine kanala matrice i prečnika otvora kanala matrice ( $l/d$  odnos) (Behnke, 2001). Povećanjem  $l/d$  odnosa, povećava se intenzitet sila trenja prilikom formiranja peleta u kanalima matrice, što može dovesti do poboljšanja fizičkog kvaliteta peleta (Farenholz, 2012). Takođe, sa povećanjem debljine matrice, materijal se duže zadržava u sabijenom stanju u kanalima matrice pelet prese, usled čega se umanjuje uticaj prisutnih elastičnih komponenti jer dolazi do relaksacije elastičnih sila u materijalu (Mohsenin & Zasko, 1976). Na ovaj način dolazi do povećanja kontaktne površine i do boljeg međusobnog povezivanja između čestica u peletama (Thomas et al., 1997). Sa druge strane, povećanje debljine matrice za rezultat ima povećanje potrošnje energije i smanjenje kapaciteta pelet prese (Farenholz, 2012).

U istraživanju koje su sprovedeli *Miladinović i Svihus (2005)*, pri povećanju debljine matrice i smanjenju protoka materijala, došlo je do povećanja vrednosti PDI. Do sličnih rezultata došli su *Buchanan et al. (2010)*, prilikom peletiranja smeša za ishranu brojlera, kada je povećanje debljine matrice pelet prese dovelo do povećanja PDI vrednosti, kao i do smanjenja udela prašine u peletama. U istraživanju *Čolović et al. (2010)* takođe je ispitivan uticaj l/d odnosa na fizički kvalitet peletirane hrane za goveda, pri čemu je utvrđeno da je povećanje dužine kanala, odnosno debljine matrice, dovelo do povećanja tvrdoće peleta.

### **2.3.1.3. Hlađenje / sušenje peleta**

Pelete uglavnom izlaze iz pelet prese na temperaturama u rasponu od 60 do 95 °C, s vlagom od 12 do 17 %. Kod toplih peleta, usled kondenzacije vode može doći do razvoja plesni ili drugih mikroorganizama, kojima pogoduju povišena temperatura i vlažnost. Iz tog razloga pelete se ne smeju pakovati i skladištiti pre hlađenja i sušenja (*Brlek, 2012*). U procesima hlađenja i sušenja peleta dolazi do snižavanja temperature i sadržaja slobodne vode u peletama, što omogućava njihovo bezbedno čuvanje i skladištenje u dužem vremenskom periodu. Pelete se obično hlade i suše uz pomoć struje vazduha, odmah po izlasku iz pelet prese, pri čemu je poželjno da temperatura peleta nakon izlaska iz hladnjaka bude do 5 °C viša od temperature okoline, a vlažnost materijala za 0,5% viša od vlažnosti pre kondicioniranja (*Turner, 1995; Payne i sar., 2010*).

Tokom procesa sušenja i hlađenja odvijaju se i fizičke promene unutar peleta, kao što su rekristalizacija rastvorenih komponenti, povećanje viskoziteta viskoznih komponenti, usled kojih dolazi do formiranja veza između čestica peleta koje doprinose stabilnosti njihove strukture (*Friedrich, 1977*).

U industrijskoj proizvodnji hrane za životinje najčešće su u upotrebi dva tipa sušnica/hladnjaka - horizontalni, sa unakrsnim strujanjem vazduha i hladnjak bunkerskog tipa sa suprotnostrujnim protokom vazduha (*Thomas et al., 1997*).

### 2.3.2. Mehanizmi povezivanja čestica u peleti

Prilikom formiranja peleta u procesu aglomeracije, međusobno povezivanje čestica u peletama može se ostvariti sledećim mehanizmima:

- **formiranjem čvrsto-čvrsto veza (tzv. “čvrstih mostova”)** koje nastaju kao rezultat različitih procesa, a to su: difuzija molekula iz jedne čestice u drugu na mestima kontakta (usled primene povišenih temperatura i pritiska tokom peletiranja), rekristalizacija ili rast kristala pojedinih sastojaka smeše, topljenje (ili omekšavanje), a potom očvršćavanje pojedinih termoplastičnih komponenata, očvršćavanje vezivnih sredstava i hemijske reakcije (*Rumpf, 1962; Pietsch, 2002*);
- **dejstvom kapilarnih sila.** Prema *Rumpf-u (1958)* u poroznim aglomeratima, poput peleta, mogu se razlikovati tri faze: voda, vazduh i čestice (čvrsta faza), usled čega postoje uslovi za povezivanje čestica dejstvom kapilarnih sila - tzv. vodenih mostova. Sila kojom su čestice povezane definisana je Laplasovom jednačinom:

$\Delta p = 2 \times (\gamma/r)$ , gde su:

$\Delta p$  (N) – sila koja povezuje čestice,

$\gamma$  (N/m-) – površinski napon tečnosti,

$r$  (m) – prečnik susedne čestice.

Na osnovu navedene jednačine sledi da sila koja povezuje čestice raste sa smanjenjem prečnika čestica, što je u skladu sa opštim principom da sitnije čestice formiraju pelete boljeg fizičkog kvaliteta (*Payne, 1978*).

Voda se može rapoređivati između čestica peleta, pri čemu sa povećanjem temperature dolazi do povećane mobilnosti molekula vode i formiranja veza između čestica (*Friedrich and Robohm, 1968*). Prilikom smanjenja sadržaja vode u peletama, dolazi do smanjenja broja vodenih mostova, ali u tom slučaju preostala voda formira veze većeg intenziteta između čestica peleta i doprinosi njihovoj celovitosti i fizičkom kvalitetu. Sa druge strane, kada je u peletama prisutna velika količina vode koja ispunjava sve pore u

peletama, dominira dvofazni system čvrsto – tečno, pa dolazi do nestanka kapilarnih sila, s obzirom da je trofazni sistem narušen (*Thomas and van der Poel, 1996*).

- **dejstvom adhezionih i kohezionih sila** koje se javljaju se kada su u peletama prisutne viskozne komponente, pri čemu adhezione sile deluju u prisustvu tankih adsorpcionih slojeva, na dodirnoj površini između čvrstih čestica i viskozne komponente, a kohezione unutar viskozne komponente (*Kaliyan and Morey, 2010*). Usled adhezije viskoznih materijala na površini čestica i njihovog naknadnog očvršćavanja, dolazi do formiranja jakih čvrsto-čvrsto veza (“čvrstih mostova”) između čestica u peletama (*Pietsch, 1997*). Adsorpcioni slojevi takođe omogućavaju stvaranje čvrstih mostova ujednačavanjem površine čestica, povećavanjem dodirne površine i smanjenjem rastojanja između čestica (*Mani et al., 2003*).
- **dejstvom sila privlačenja između čvrstih čestica** koje se javljaju u slučajevima kada je rastojanje između čestica dovoljno malo. To su sile kratkog dometa koje nastaju kao posledica uspostavljanja hemijskih veza, vodoničnih veza, zatim, van der Waals-ove, elektrostatičke i magnetne sile (*Kaliyan & Morey, 2010*). Elektrostatičke sile doprinose povezivanju čestica kada postoji višak električnog naboja koji se može javiti usled trenja između čestica, ali je njihov doprinos u procesu povezivanja čestica u peletama hrane za životinje gotovo zanemarljiv usled sila odbijanja između različitih materijala / komponenti (*Thomas & van der Poel, 1996*). Magnetne sile se javljaju kada su u smeši prisutni feromagnetni sastojci, što nije slučaj kod hrane za životinje (*Kaliyan & Morey, 2010*). Van der Waals - ove sile najviše doprinose međumolekulskom povezivanju, ali one mogu imati ulogu u strukturi peleta kada su čestice dovoljno male (<50 µm, onosno < 60 µm) (*de Jong, 1995; Rumpf, 1958*). Sa povećanjem dimenzija čestica, dejstvo ovih sila brzo opada (*Thomas & van der Poel, 1996*). Sile privlačenja između čvrstih čestica zapravo obezbeđuju početno povezivanje i orijentaciju čestica, da bi zatim, ulogu u konačnoj strukturi peleta preuzele sile većeg intenziteta (kao što su kapilarne sile i sile između čestica povezanih čvrsto – čvrsto vezama) (*Ghebre-Sellassie, 1989*).
- **dejstvom sila mehaničkog povezivanja;** tokom kompresije materijala u procesu peletiranja, dolazi do međusobnog savijanja, preplitanja i obmotavanja čestica (naročito

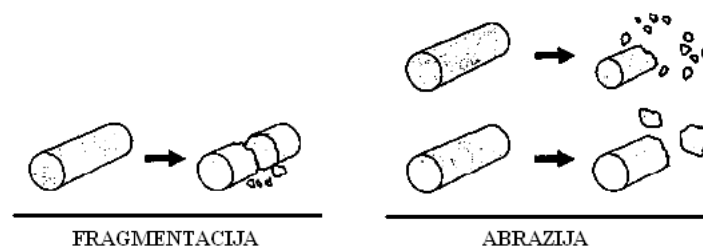
vlakana, pljosnatih i krupnih čestica) što ima za posledicu njihovo mehaničko povezivanje (Kaliyan, 2008)

### 2.3.3. Fizički kvalitet peleta

Dobar fizički kvalitet definisan je njihovom otpornošću na lomljenje i otiranje tokom transporta i rukovanja. Pri manipulaciji peletama lošeg fizičkog kvaliteta, nastaje velika količina prašine, što izaziva probleme u radnom okruženju i dovodi do narušavanja nutritivnog kvaliteta hrane za životinje (Boac et al. 2008; Amerah et al., 2007a). Na prvom mestu, veliki udeo prašine predstavlja gubitak proizvoda, koji mora biti vraćen u proces proizvodnje, čime se smanjuje proizvodni kapacitet i povećava potrošnja energije u pogonu. Prašina nastala lomljenjem i otiranjem peleta negativno utiče na protočnost i doziranje, a ostaci prašine u silo - ćelijama i koševima mogu dovesti do unakrsne kontaminacije (Löwe, 2005).

#### 2.3.3.1. Parametri fizičkog kvaliteta peleta

Pelete mogu biti izložene dejstvu statičkih i dinamičkih sila. Statičke sile deluju tokom skladištenja, dok dinamičke sile dolaze do izražaja prilikom mehaničkog i pneumatskog transporta peleta ili punjenja i pražnjenja silosa (Tomas & van der Poel, 1996). Gustafson (1959) je podelio sile koje deluju na pelete na sile udara, kompresije i smicanja. Usled delovanja ovih sila na pelete, dolazi do njihove fragmentacije ili abrazije (slika 5). Fragmentacija predstavlja lomljenje peleta na manje komade, dok abrazija predstavlja osipanje peleta na krajevima ili na mestima sa površinskim nepravilnostima. Posledica oba procesa je nastajanje sitnijih čestica i prašine (Thomas and van der Poel, 1996).



Slika 5. Fragmentacija i abrazija peleta (izvor: Thomas & van der Poel (1996))

Najvažniji parametri fizičkog kvaliteta peleta su indeks otpornosti peleta (PDI – Pellet Durability Index) i tvrdoća.



Tvrdoća peleta predstavlja otpor fragmentaciji, odnosno lomljenju, koji pelete pružaju kada su izložene spoljašnjem pritisku. Neophodno je da pelete imaju određeni stepen tvrdoće kako bi mogle da podnesu statičke pritiske tokom skladištenja. Postoje različiti tipovi uređaja za određivanje tvrdoće peleta čiji se rad u osnovi zasniva na utvrđivanju otpornosti peleta na zatezanje, udar i kompresiju, pri čemu su najznačajniji uređaji kojima se meri otpornost na kompresiju (*Thomas and van der Poel, 1996*).

Indeks otpornosti peleta (PDI), predstavlja otpornost na abraziju (otiranje) i meri se količinom prašine koja nastaje usled manipulacije peletama. Princip rada uređaja za merenje PDI vrednosti zasniva se na mehaničkom ili pneumatskom tretmanu peleta kojima se simulira manipulacija peletama u praktičnim uslovima (*Thomas & van der Poel, 1996*).

### **2.3.3.2. Značaj fizičkog kvaliteta peleta smeša koncentrata u ishrani životinja**

Ishrana životinja peletama lošeg kvaliteta najčešće ne dovodi do očekivanog poboljšanja proizvodnih performansi i efikasnosti ishrane životinja, što je jedan od osnovnih ciljeva peletiranja (*Behnke, 2001*). Rezultati eksperimenta koji su sprovedi *Stark et al. (1994)* pokazali su da je ishrana svinja u završnoj fazi tova peletama dobrog kvaliteta, dovela do bolje konverzije hrane, u poređenju sa peletiranom hranom koja je sadržala 30% prašine. Slično tome, u istraživanju *Nemeček et al. (2012)* je utvrđeno da je ishrana svinja u završnoj fazi tova prosejanim peletama bez prašine, dovela do bolje konverzije hrane u odnosu na ishranu peletiranom hranom koja je sadržala 50% prašine.

Najveći deo hrane za živinu proizvodi se u peletiranom obliku, pri čemu kvalitet peleta ima značajnu ulogu u poboljšanju prirasta, konverzije i ukupnog iskorišćenja hrane (*Winowiski, 1995*). Ispitujući uticaj kvaliteta peleta na proizvodne karakteristike brojlera, *Greenwood et al. (2004)* su utvrdili značajno smanjenje prosečnog prirasta i konzumiranja pri povećanju udela prašine u peletama sa 20% na 40 ili 60%. U istraživanju koje su sprovedi *McKinney & Teeter (2004)*, brojleri su hranjeni peletama sa udelom prašine od 0, 20, 40, 60 i 80%. Rezultati ovog istraživanja su pokazali da ishrana peletiranom hranom i kvalitet peleta nisu imali značajan uticaj na konzumiranje hrane, mada je primećeno da su pilići selektivno konzumirali pelete kada je udeo prašine u hrani rastao. Sa druge strane, peletiranje i kvalitet peleta značajno su uticali na prirast i iskorišćenje hrane. U pomenutom istraživanju došlo se do zaključka da udeo prašine u peletiranoj smeši može da iznosi maksimalno 60% (udeo peleta minimalno 40%) da bi došlo do

pozitivnih efekata u pogledu efikasnosti ishrane. Takođe, što je udeo peleta u obroku veći, pilići jedu ređe, češće se odmaraju, troše manje energije za konzumiranje hrane, pa dolazi do poboljšanja efikasnosti ishrane (McKinney & Teeter, 2004).

U istraživanju Corzo et al. (2011) utvrđeno je da je ishrana pilića peletiranom hranom sa 36% prašine u poređenju sa ishranom peletama sa 68% prašine, dovela do poboljšanja konverzije hrane, kao i klaničnih rezultata. Kako navodi Dozier (2001) minimalne vrednosti indeksa otpornosti peleta (PDI) iznose: 96% u ishrani patki, 90% u ishrani ćurki i 80% u ishrani brojlera.

#### 2.3.4. Uticaj hemijskog sastava smeše na kvalitet peleta

Tehnološki proces peletiranja je kompleksan i zavisi od velikog broja faktora: fizičkih i hemijskih karakteristika sirovina, procesnih parametara (parametara kondicionera, pelet prese i hladnjaka/sušnice), sistemskih parametara (protoka materijala i potrošnje energije) i funkcionalnih promena makronutrijenata (želatinizacije skroba, denaturacije proteina i rastvorljivosti vlakana). Promena svakog od ovih faktora u tehnološkom procesu peletiranja može uticati na promenu kvaliteta peleta (Thomas et al. 1997). Reimer (1992) navodi sledeće procentualno učešće uticaja faktora na proces peletiranja i kvalitet peleta:

- Sastav smeše - 40% ,
- Veličina čestice smeše - 20% ,
- Proces kondicioniranja - 20% ,
- Dimenzije matrice - 15% ,
- Proces hlađenja/sušenja - 5%.

Sastav smeše, odnosno fizičko-hemijske osobine sirovina koje se koriste u smešama za ishranu životinja, imaju najznačajniji uticaj na fizički kvalitet peleta i na parametre procesa peletiranja. Na kvalitet peleta najveći uticaj imaju: skrob, proteini, vlakna, masti, šećeri, neorganske materije i vlaga (Loar II & Corzo, 2011). U pogledu hemijskog sastava, jabučni trop sadrži najviše sirovih vlakana i šećera, dok je udeo skroba, proteina i masti vrlo nizak.

##### 2.3.4.1. Vlaga

Pored kvaliteta vodene pare u procesu kondicioniranja, vremena zadržavanja materijala u kondicioneru i tipa uređaja, na kvalitet peleta veoma značajan uticaj ima i početni sadržaj vlage

smeše (Johnston et al., 1999; Gilpin et al., 2002). Kao što je već navedeno, voda omogućava povezivanje čestica u materijalu dejstvom kapilarnih sila (Thomas & van der Poel, 1996), a usled povećanja dodirne površine između čestica, njihovim oblaganjem, može doprineti međusobnom povezivanju čestica posredstvom van der Waals-ovih sila (Grover & Mishra, 1996). Takođe, prisustvo vode dovodi do omekšavanja čestica smeše i omogućava odvijanje procesa denaturacije proteina, želatinizacije skroba, rastvaranja šećera, koji doprinose poboljšanju kvaliteta peleta (Thomas et al., 1998).

U istraživanju koje su sproveli Moritz et al. (2001) povećanje početne vlage smeše za ishranu brojlera na bazi kukuruza i sojine sačme sa 8 na 14% (kod starter smeše) i sa 7 na 15% kod (grover smeše), dovelo je do značajnog povećanja stepena želatinizacije skroba i fizičkog kvaliteta peleta, pri čemu je vrednost PDI povećana za 25%. U narednom istraživanju koje su sproveli Moritz et al. (2003), sa povećanjem početog udela vlage u standardnim smešama za ishranu brojlera za 2,5 i 5%, došlo je do povećanja kvaliteta peleta (PDI vrednost je povećana za 2 i 4%), kao i do smanjenja potrošnje energije u procesu peletiranja.

Rezultati istraživanja koje su sproveli Fairchild & Greer (1999), pokazali su da je povećanje početnog sadržaja vlage smeše na bazi kukuruza, sa 12 na 15%, dodavanjem vode u mešalicu, dovelo je do značajnog povećanja PDI vrednosti peleta.

U istraživanju Lundblad et al. (2009), pri povećanju sadržaja početne vlage smeše na bazi ječma, ovsa i sojine sačme, dodavanjem 1,5, 3, 6 i 12% vode (u odnosu na količinu smeše za peletiranje) u mešalicu, došlo je do povećanja fizičkog kvaliteta peleta (vrednosti PDI), kao i efikasnosti procesa peletiranja. Slične efekte ovi autori su zabeležili i kada je voda u količini od 1,5 i 3% dodavana u smešu na bazi kukuruza i suncokretove sačme.

#### **2.3.4.2. Skrob**

Skrob se u biljkama nalazi u obliku granula i na povišenoj temperaturi, pri dovoljnoj količini vlage, želatinizira i deluje kao vezivno sredstvo između čestica, što pozitivno utiče na fizički kvalitet peleta (Wood, 1987). Maier et al. (1999) navode da je uz denaturaciju proteina, želatinizacija skroba jedna od reakcija koja poboljšava kvalitet peleta. Lund (1984) navodi da je za otpočinjanje pomenutog procesa neophodan sadržaj vlage i skroba u odnosu 0,3:1, dok je za potpunu želatinizaciju potrebno da ovaj odnos bude 1,5:1 (Marchant & Blanshard, 1980). S obzirom da količina dodate vodene pare u procesu kondicioniranja iznosi samo oko 3%,

prisustvo vlage predstavlja limitirajući faktor za želatinizaciju skroba u procesu peletiranja (Thomas et al., 1998). Ipak, da bi došlo do povezivanja čestica u peletama dovoljno je da se želatinizirani skrob bude prisutan samo na dodirnim površinama između čestica, odnosno da dodje do njegove delimične želatinizacije (Thomas & van der Poel, 1996). Istraživanja koja su sprovedli Zimonja et al. (2008) i Abdollahi et al. (2011) su pokazala da tokom kondicioniranja dolazi samo do delimične želatinizacije skroba, dok se u većoj meri ovaj proces odigrava tokom samog peletiranja usled sila trenja u kanalima matrice pellet prese. Moritz et al. (2001) su utvrdili dodavanjem vode u smešu na bazi kukuruza i sojine sačme, pre procesa kondicioniranja, dolazi do povećanja stepena želatinizacije skroba, koja je bila u pozitivnoj korelaciji sa fizičkim kvalitetom peleta. Wood (1987) navodi da se pre-želatinizirani skrob može i direktno dodavati u smešu, pri čemu se kvalitet peleta poboljšava sa povećanjem dodate količine.

#### 2.3.4.3. Proteini

Važno svojstvo proteina u procesu peletiranja je njihova sposobnost povezivanja čestica. Naime, usled kombinovanog dejstva vlage, toplote i trenja u procesu peletiranja, dolazi do denaturacije proteina. Denaturacija proteina podrazumeva narušavanje trodimenzionalne strukture proteina, čime se mijenja bioaktivnost proteina (Van Barneveld, 1993; Thomas et al., 1998). Nakon hlađenja, veze u proteinima se ponovo uspostavljaju, što dovodi do međusobnog povezivanja čestica u peletama, a time do poboljšanja fizičkog kvaliteta peleta (Thomas et al., 1998).

U istraživanju koje su sprovedli Zimonja & Svihus (2009) ustanovljeno je da se bolji kvalitet peleta postiže pri većem sadržaju proteina u smeši. Proteini poreklom iz žitarica i soje poboljšavaju fizički kvalitet peleta (Kaliyan & Morey, 2009). Ustanovljeno je da do poboljšanja fizičkog kvaliteta peleta dolazi zamenom dela kukuruza sa pšenicom (Winowski, 1988), dodatkom proteina iz ječma i raži (Moran, 1989) ili dodavanjem proteina u formi sojine sačme u početnu smešu (Buchanan & Moritz, 2009). S druge strane, u istraživanju koje je sproveo Cavalcanti (2004), primećen je negativan uticaj dodatka proteina izdvojenog iz kukuruza na fizički kvalitet peleta. Sa dodatkom sirovih proteina u smešu dobijaju se kvalitetnije pelete, u poređenju sa onim smešama kojima je dodat denaturisan protein Wood (1987) je svojim rezultatima pokazao da se dodatkom sirovog proteina u smeše dobijaju kvalitetnije pelete, dok je Proces je daleko slabijeg intenziteta, kada se u smeše dodaje već denaturisan protein.

U procesu peletiranja može doći do Maillard - ove reakcije, odnosno do međusobne reakcije amino kiselina (uglavnom lizina) iz proteina i redukujućih šećera (*Voragen et al., 1995*). Na ovaj način može doći do smanjenja nutritivnog kvaliteta hrane usled smanjenja iskoristljivosti proteina i šećera (*Thomas et al, 1998*).

#### **2.3.4.4. Masti**

S obzirom da je mast hidrofobna komponenta smeša za ishranu životinja, dok je većina ostalih sastojaka (skrob, protein, vlakna) hidrofilne prirode, masti mogu umanjiti vezivnu sposobnost pomenutih hidrofilnih komponenata u smeši. Dodatak masti može inhibirati želatinizaciju skroba ili se ona može odvijati na višim temperaturama nego što je uobičajeno (*Larsson, 1980*), što može uzrokovati slabiji kvalitet peleta. Kako navodi *Van Vliet (1981)*, povećanje sadržaja masti u smeši može narušiti otpornost i tvrdoću peleta. Masti ispoljavaju lubrikativni efekat u kanalima pelet prese, pri čemu se smanjuje trenje između smeše koja se peletira i zidova kanala pelet prese. Usled smanjenog trenja, sabijanje materijala u kanalima matrice je slabijeg intenziteta što rezultira slabijim povezivanjem čestica u peletama i lošijim fizičkim kvalitetom peleta. Takođe, usled smanjenja trenja dolazi i do pada temperature matrice pelet prese, pa su i fizičko - hemijske promene pojedinih makro komponenata, koje doprinose kvalitetu peleta, slabije izražene (*Cavalcanti, 2004*). Sa druge strane, lubrikativni efekat masti ima i pozitivno dejstvo na proces peletiranja, jer se podmazivanjem kanala matrice olakšava potiskivanje materijala, a time i povećava kapacitet pelet prese i smanjuje energija potrebna za proces peletiranja (*Van Vliet, 1981; Walter, 1990*).

Masti se mogu po potrebi dodavati u smešu za peletiranje, pri čemu treba obratiti pažnju na njihov negativni uticaj na fizički kvalitet peleta. Kako navodi (*Vest, 1993*), za postizanje zadovoljavajućeg kvaliteta peleta, udeo dodate masti u smešu za peletiranje ne bi trebao da prelazi 1,5%. U istraživanju koje su sproveli *Briggs et al. (1999)*, zaključeno je u smešama koje su sadržale kukuruz, sojinu sačmu i kukuruz sa povećanim sadržajem masti, ukupan sadržaj masti treba da bude manji od 5,6%, kako bi se postigao zadovoljavajući kvalitet peleta.

#### **2.3.4.5. Vlakna**

Vlakna mogu biti rastvorna ili nerastvorna u vodi, pri čemu rastvorna vlakna (glukani, arabinoksilani i pektin) povećavaju viskozitet materijala koji se peletira i pozitivno utiču na

strukturu peleta (*Frolich, 1990; Lo, 1990*). Naime, viskozni materijali mogu da oblože površinu čestica i da deluju kao “punjenje” između čestica, čime se smanjuje poroznost peleta, odnosno povećava se stabilnost njihove strukture aglomerata, što rezultira većom tvrdoćom i otpornošću na abraziju. Stepen rastvorljivosti ovih vlakana zavisi od parametara procesa peletiranja kao što su vreme, vlaga, pritisak i temperatura (*Thomas et al, 1998*).

Kako navodi *Rumpf (1958)* vlakna nerastvorna u vodi mogu imati pozitivan uticaj na proces peletiranja i fizički kvalitet peleta s obzirom da imaju sposobnost savijanja, zaplitanja i obmotavanja oko čestica u peletama što doprinosi njihovom međusobnom povezivanju i stabilnoj strukturi peleta. Sa druge strane, nerastvorna vlakna usled svoje čvrstoće i elastičnosti mogu ometati kontakt između čestica i pružati otpor kompresiji materijala pri peletiranju. Takođe, nerastvorna, vlakna mogu dovesti do nehomogene strukture unutar peleta i izazvati pojavu slabih tačaka, čime se povećava i lomljivost peleta. Duže vreme zadržavanja materijala u matrici pelet prese može smanjiti elastičnost i vlakana, a time omogućiti proizvodnju peleta boljeg kvaliteta (*Rumpf, 1962; Thomas i sar., 1998*). U istraživanju *Buchanan and Moritz (2009)*, dodavanje čiste celuloze u količini od 5% u smešu na bazi kukuruza i sojine sačme, dovelo je do povećanja vrednosti PDI, dok je dodavanje ljuske ovsa u smešu na bazi istih sirovina, u iznosu od 2 i 4 %, imalo negativan uticaj na fizički kvalitet peleta.

#### 2.3.4.6. Šećeri

Dodavanje šećera u smešu koja se peletira može imati dvojak uticaj na proces peletiranja (*Čolović, 2013*). U procesima kondicioniranja i peletiranja dolazi do rastvaranja ovih komponenata, da bi nakon hlađenja i sušenja došlo do njihove rekristalizacije ili formiranja staklaste strukture i stvaranja čvrsto-čvrsto veza između čestica (*Friedrich and Robohm, 1982; Thomas et al., 1998*). Usled stvaranja ovakvih struktura dolazi do poboljšanja kvaliteta peleta. U istraživanju *Aumaitre et al. (1978)* dodavanjem različitih količina glukoze, saharoze i melase (sa visokim sadržajem fruktoze) nije dovelo do značajnog povećanja stepena čvrstoće, dok je tvrdoća peleta bila mala. Ovakav rezultat *Thomas et al. (1998)* objašnjavaju kao posledicu nedovoljnog stepena rastvorenosti šećera. Da bi došlo do rastvaranja šećera u meri potrebnoj za da omogući povezivanje između čestica peleta, neophodno je prisustvo dovoljne količine vode u smeši koja se peletira. Pri tome je poželjno da voda bude dodata u obliku vodene pare (*Thomas et al., 1998*). Sa druge strane uključivanje šećera u smeše dovodi do povećanog trenja između

materijala koji se peletira i zidova matrice pelet prese, usled čega dolazi do povećanja potrošnje energije u procesu peletiranja (*Thomas et al., 1998*). Kao što je već rečeno, u procesu peletiranja može doći i do Millard-ove reakcije, usled reakcije proteina i prostih ugljenih hidrata. U prisustvu vlage dolazi do reakcije slobodne aldehidne grupe prostih ugljenih hidrata i amino grupe protein, usled čega nastaju melanoidi koji povećavaju viskozitet smeše, što može doprineti uspostavljanju veza između čestica unutar peleta. Međutim, produkti Millard-ove reakcije mogu negativno uticati na nutritivnu vrednost hrane (*Hendriks et al., 1994; Thomas et al., 1998*).

### 3. MATERIJAL I METODE RADA

#### 3.1. Tehnološki proces proizvodnje soka jabuke u fabrici VINO ŽUPA, a.d., Aleksandrovac i dobijanje jabučnog tropa kao sporednog proizvoda

Za ova istraživanja korišćen je osušeni jabučni trop, dobijen nakon procesa sušenja vlažnog jabučnog tropa kao sporednog proizvoda tehnološkog postupka proizvodnje soka u fabrici sokova VINO ŽUPA, a.d., Aleksandrovac. Za proizvodnju soka upotrebljena je mešavina sorti jabuka: Ajdared, Zlatni delišes i Greni smit, namenjena industrijskoj upotrebi.

Tehnološki proces proizvodnje soka jabuke u ovoj fabrici sastojao se od: prijema, pranja i inspekcije plodova jabuke, potom, mlevenja jabuka, depektinizacije jabučne kaše, procesa ceđenja soka, separacije, pasterizacije, mikrofiltracije i ultrafiltracije, bistrenja, koncentrisanja, i skladištenja.



Slika 6. Prijem plodova jabuke na prijemnoj rampi u fabrici VINO ŽUPA, a.d., Aleksandrovac (sopstvena fotografija)



**Pranje plodova** jabuke obavljeno je potapanjem i pranjem plodova vodom, dok je inspekcija, odnosno uklanjanje neodgovarajućih plodova (u pogledu zrelosti, mikrobiološke neispravnosti, mehanički oštećenih), kao i različitih primesa, obavljena ručno, na inspekcionalnoj traci (slika 7).



Slika 7. Inspekcija plodova (sopstvena fotografija)

Za **mlevenje plodova jabuke** korišćen je mlin za voće, koji se sastoji od statora i rotora sa nazubljenim noževima. Step en usitnjenosti plodova iznosio je od 4 do 5 mm.

Pre procesa presovanja, kaša jabuke je podvrgnuta **enzimskom tretmanu (maceraciji)**, sa ciljem razlaganja pektinskih materija, kako bi se olakšalo izdvajanje soka u procesu ceđenja. Maceracija je obavljena bez zagrevanja, kako bi se sprečila oksidacija fenolnih jedinjenja i drugih termolabilnih komponenti (vitamini, aromatične materije) i pojava retrogradnog skroba, koji je bi izazvao probleme pri bistrenju soka. Za maceraciju su korišćeni komercijalni pektolitički i amilolitički preparati - Rapidase i Hazyme.

**Ekstrakcija soka** obavljena je presovanjem jabuka, odnosno ceđenjem matičnog soka u cilindričnoj hidrauličnoj presi marke „Bucher“, kapaciteta 10.000 kg/h, pod pritiskom od 230 bara (slike 8 i 9). Kod ove prese izdvajanje matičnog soka iz jabuka vrši se pomoću klipa koji sabija samlevenu masu jabuke. U unutrašnjosti cilindra prese nalazi se snop gumenih creva obavijenih filtracionim materijalom, kroz koje otiče iscedeni matični sok jabuke.



Slika 8. Buher presa kapaciteta 10.000 t/h, Vino Župa a.d., Aleksandrovac (sopstvena fotografija)



Slika 9. Snop creva Buher prese kroz koja se vrši ceđenje soka jabuke (sopstvena fotografija)

Nakon presovanja, matični sok se obrađuje procesima bistrenja, filtracije, pasterizacije i koncentrisanja.

Isceđeni ostatak samlevene jabučne mase predstavlja **jabučni trop** koji je zbog svojih negativnih karakteristika (voluminoznost, podložnost kvarenju, problemi transporta) najčešće slabo iskoristiv, odnosno gotovo neupotrebljiv sporedni proizvod.

U fabrici sokova VINO Župa a.d., iz Aleksandrovca, u cilju efikasnijeg korišćenja jabučnog tropa, pre nekoliko godina, projektovana je tehnološka linija za sušenje ovog sporednog proizvoda. Osušeni trop se koristi kao energent u postrojenju za dobijanje vodene pare, koja se koristi u brojnim tehnološkim procesima u samoj fabrici.

Osušeni jabučni trop se usled niskog sadržaja vlage može lako čuvati i transportovati, što ga čini potencijalno interesantnom sirovinom i za druge načine upotrebe. Stoga je menadžment fabrike pokazao interes da se ispita mogućnost upotrebe ove sirovine i za druge namene. Jedna od mogućnosti svakako je i upotreba suvog jabučnog tropa u ishrani domaćih životinja.

### 3.1.1. Postupak sušenja jabučnog tropa

Sušenje jabučnog tropa obavljeno je u jednoprolaznoj rotacionoj sušari sa lopatičastom ispunom, dužine 9 m, unutrašnjeg prečnika 1,5 m, pri brzini od 4 obrtaja/min. (slika 10). Za sušenje vlažnog jabučnog tropa su korišćeni direktni produkti sagorevanja goriva (koje se sastojalo od osušenog jabučnog tropa i drvenih opiljaka). Temperatura vazduha na ulazu u sušaru od iznosila je 450 °C, a na izlazu 80 °C. U procesu sušenja sadržaj vlage jabučnog tropa je smanjen sa 72,55% na 7,96%. Nakon procesa sušenja, jabučni trop je ohlađen i upakovan u papirne vreće i skladišten je na podnom skladištu na temperaturi od 20 °C.



Slika 10. Ulaz jabučnog tropa u sušaru (a) i rotaciona sušara (b) u fabrici VINO Župa a.d.  
(sopstvena fotografija)

### 3.2. Metode određivanja hemijskog sastava osušenog jabučnog tropa

Sa ciljem utvrđivanja nutritivne vrednosti sastava jabučnog tropa izvršena je analiza njegovog hemijskog sastava, koja je obuhvatila određivanje sadržaja:

- vlage - gravimetrijski, po metodi AOAC 934.01 (AOAC 1998);
- sirovih proteina - Kjeldahl metodom (AOAC, 2000);
- aminokiselina - prema metodi VM/MET 937, baziranoj na standardnoj metodi SRPS EN ISO 13903:2011;
- sirovih masti – uz pomoć uređaja za ekstrakciju Soxtec System HT, model 1043 Extraction unit, „Foss Tecator AB“, Švedska, prema proceduri proizvođača i AOCS Ba 3-38 metodi, (AOCS, 2001);
- sirove celuloze - AOAC 978.10 metodom (AOAC, 2000);
- sirovog pepela - AOAC 942.05 metodom (AOAC, 2000);
- neutralnih deterdžent vlakana (NDF – neutral detergent fibre), kiselih deterdžent vlakana (ADF – acid detergent fibre) i kiselog deterdžent lignina (ADL – acid detergent lignin) – primenom ANKOM tehnologije uz korišćenje ANKOM<sup>2000</sup> Fiber Analyzer-a (ANKOM, 2006 a, b);
- pektina – kolorimetrijski, karbazolnom metodom, prema postupku koji je opisao *Vračar (2001)*
- skroba - polarimetrijskom metodom, prema *Pravilniku o metodama uzimanja uzoraka i metodama fizičkih, hemijskih i mikrobioloških analiza stočne hrane ("Službeni list SFRJ" br.15/87.)*;
- ukupnih šećera – metodom po Luff-Schoorl-u, prema *Pravilniku o metodama fizičkih i hemijskih analiza za kontrolu kvaliteta žita, mlinskih i pekarskih proizvoda, testenina i brzo smrznutih testa ("Službeni list SFRJ" br. 74/88)*;
- fruktoze, glukoze i saharoze – metodom SRPS E.L8.007:1980;
- vitamina B<sub>1</sub>, B<sub>6</sub> – HPLC metodom, fluorescentnim detektorom, postupkom opisanom u radu *Žilić et al. (2014)*;
- vitamina B<sub>3</sub>, A i E - HPLC metodom, UV/VIS detektorom, postupcima opisanim u radovima *Žilić et al. (2015)* i *Žilić et al. (2012)*;

- fosfora - kompleksometrijskom metodom, prema Pravilniku o metodama uzimanja uzoraka i metodama fizickih, hemijskih i mikrobioloških analiza stocne hrane ("Službeni list SFRJ" br.15/87.);
- kalcijuma, kalijuma, gvožđa, bakra, magnezijuma, cinka, mangana i natrijuma - metodom atomske apsorpcione spektrometrije, metodom SRPS EN ISO 6869:2008;
- ukupnih polifenola– prema Folin-Ciocalteu metodi, postupkom opisanom u radu *Pantelić et al. (2017)*;
- antioksidativne aktivnosti - ispitivanjem sposobnosti neutralizacije DPPH radikala, postupkom opisanom u radu *Pantelić et al. (2017)*;

Hemijske analize izvedene su u Institutu za prehrambene tehnologije u Novom Sadu, Tehnološkom, i Poljoprivrednom fakultetu Univerziteta u Novom Sadu, Hemijskom falultetu Univerziteta u Beogradu, Odeljenju za ispitivanje namirnica, vode i predmeta opšte upotrebe, Vojnomedicinske akademije, Beograd i Centru za ispitivanje namirnica (CIN), Beograd.

### 3.3. Tehnološki postupak peletiranja osušenog jabučnog tropa i model smeša koncentrata

Sa ciljem ispitivanja fizičkih karakteristika osušenog jabučnog tropa sa stanovišta mogućnosti njegovog peletiranja, koje bi omogućilo lakši transport, skladištenje i rukovanje ovom sirovinom, peletirane su tri šarže sa osušenog jabučnog tropa sa sadržajem vlage od 10 (JTR 10), 13 (JTR 13) i 16% (JTR 16).

Sa druge strane, sa ciljem ispitivanja uticaja osušenog jabučnog tropa na kvalitet peleta smeša koncentrata za ishranu životinja i optimizacije tehnološkog procesa peletiranja, pripremljene su tzv. model smeše koncentrata sastavljene od kukuruza i suncokretove sačme kao najčešće korišćenih hraniva u industrijskoj proizvodnji hrane za životinje u našoj zemlji i osušenog jabučnog tropa. Korišćen je hibrid kukuruza „NS 300“ i suncokretova sačma iz fabrike Victoria Oil a.d. iz Šida. Od ovih sirovina napravljene su 3 model smeše čiji je sirovinski sastav prikazan u tabeli 1. Analiza hemijskog sastava model smeša u pogledu sadržaja sirovih proteina, masti, vlakana, skroba i ukupnih šećera izvršena je prema metodama prikazanim u poglavlju 3.2.

Tabela 1. Sirovinski sastav model smeša za proces peletiranja

Komponenta	Udeo u smeši, %		
	Model smeša – JT 0	Model smeša – JT 10	Model smeša – JT 20
Kukuruz	75	65	55
Suncokretova sačma	25	25	25
<b>Osušeni jabučni trop</b>	0	10	20

Tehnološki postupak peletiranja izveden je u pilot pogonu za proizvodnju hrane za životinje Instituta za prehrambene tehnologije u Novom Sadu, a sastojao se od sledećih faza: mlevenje, vlaženje (kondicioniranje), peletiranje i hlađenje. Nakon peletiranja, u laboratoriji Instituta izvršena je analiza fizičkog kvaliteta proizvedenih peleta.



### 3.3.1 Usitnjavanje

Za usitnjavanje sirovina i model smeša korišćenih u procesu peletiranja upotrebljen je laboratorijski mlin čekićar (Tip 11, „ABC Inženjering“, Pančevo, Srbija) horizontalnog tipa sa bočnim centralnim ulazom materijala u mlevnu komoru (slika 11). Ostale karakteristike mlina čekićara su: kapacitet - 200 kg materijala po času; snaga motora mlina - 2,2 kW, frekvencija - 50 Hz, broj obrtaja motora-2880 o/min; broj komora za mlevenje-1; prečnik sita-31 cm; prečnik otvora sita-3 mm; broj tačaka na osovini na kojoj su fiksirani čekići - 4; broj redova čekića - 4; ukupan broj čekića - 16; dužina jednog čekića - 10 cm.



Slika 11. Mlin čekićar (ABC Inženjering, Srbija)

### 3.3.2. Kondicioniranje

Priprema materijala za peletiranje (osušenog jabučnog tropa i model smeša) vršena je podešavanjem sadržaja vlage materijala (vlaženjem) dodavanjem vode u dvoosovinsku lopatastu mešalicu model SLHSJ0.2 (Muyang, Kina) (slika 12).

Karakteristike mešalice su sledeće: kapacitet-100 kg materijala po šarži; snaga motora - 2,2 kW; frekvencija-50 Hz; težina mešalice - 720 kg; vreme mešanja - 90 sekundi; stepen umešanosti smeše:  $\leq 5\%$ ; broj osovina: 2; broj lopatica po osovini: 14.

Voda je dodavana u mešalicu preko 6 dizni raspoređenih u dva reda iznad lopatica u središnjem delu mešalice. Masa svake šarže iznosila je 50 kg. Sadržaj vlage jabučnog tropa podešen je na 10, 13 i 16%, a model smeša na 13, 15 i 17%. Količina vode koju je bilo potrebno dodati u materijal izračunata je na osnovu početnog sadržaja vlage i željenog sadržaja vlage materijala za proces peletiranja. Nakon dodavanja celokupne količine vode u mešalicu, mešanje je nastavljeno još 30 s kako bi se dodata voda što ravnomernije rasporedila u materijalu za peletiranje. Ovako pripremljen materijal ispuštan je u koš ispod mešalice odakle je ručno dopreman do usipnog koša pelet prese.



Slika 12. Dvoosovinska lopatasta mešalice (SLHSJ0.2, Muyang, Kina)

### 3.3.3. Peletiranje

Peletiranje pripremljenog materijala izvršeno je na pelet presi sa ravnom matricom 14-175, Amandus Kahl, Nemačka (slika 13). Uz pomoć sistema za doziranje materijal se željenim protokom ispušta iz usipnog koša u komoru pelet prese, u kojoj se uz pomoć para nazubljenih valjaka koji rotiraju, raspoređuje po matrici i potiskuje kroz otvore matrice. Valjci se nalaze na centralnoj osovini koja rotira, dok je matrica fiksirana. Nakon izlaska iz matrice presovani materijal je uz pomoć rotirajućih noževa sa donje strane matrice odsecan u pelete dužine od oko 12 mm. Temperatura matrice merena je pomoću otpornog termometra koji je bio prislonjen direktno na bočnu stranu matrice.





Slika 13. Pelet presa sa ravnom matricom, model 14-145 (Amandus Kahl, Reinbek, Nemačka)

Tehničke karakteristike korišćene pelet prese su sledeće:

- snaga motora - 3 kW; broj valjaka - 2; prečnik otvora matrice - 6 mm; rastojanje valjci-matrica - 0,5 mm; rastojanje noževi-matrica - 15 mm; brzina obrtanja osovine sa valjcima i noževima: 136 obrtaja/minut;

U eksperimentu koji je obuhvatio peletiranje jabučnog tropa protok materijala bio je 15 kg/h, a debljina matrice iznosila je 18 mm. U eksperimentu koji je obuhvatio peletiranje model smeša, protok materijala bio je 50 kg/h, dok je debljina matrice pelet prese varirana i iznosila je 18, 24 i 30 mm. Najveća i najmanja debljina matrice peletirke određeni su preliminarnim ispitivanjima. Specifična potrošnja energije u operaciji peletiranja određena je prema sledećoj jednačini:

$$E_{sp} = \frac{E - E_0}{Q} \quad (1)$$

gde je:

- $E_{sp}$  – specifična potrošnja energije u operaciji peletiranja (Wh/kg)
- $E$  – potrošnja energije pri peletiranju (W)
- $E_0$  – potrošnja energije pri radu pelet prese bez materijala (W)
- $Q$  – protok materijala (kg/h)

Na slici 14 prikazane su pelete proizvedene peletiranjem jabučnog tropa i model smeša koncentrata sa 0, 10 i 20% jabučnog tropa.



Slika 14. Pelete osušenog jabučnog tropa (a), pelete model smeše koncentrata bez dodatog osušenog jabučnog tropa (0% tropa) (b), pelete model smeše koncentrata sa 10% osušenog jabučnog tropa (c) i model smeše koncentrata sa 20% osušenog jabučnog tropa (d)

### 3.3.4. Hlađenje

Tople pelete su transportovane u vibro sušnicu/hladnjak FB 500x200, Amandus Kahl, Nemačka, gde su hlađene 10 minuta u blago fluidizovanom sloju vazduhom sobne temperature (20-23 °C) (slika 15). Tehničke karakteristike vibro sušnice/hladnjaka su:

- širina i dužina dehidratora - 500 mm i 2000 mm; broj otvora za inspekciju: 3; broj vibromotora: 2; snaga vibromotora: 2 x 0,3 kW; temperatura vazduha za hlađenje: 25 °C; protok materijala: 18 kg/h

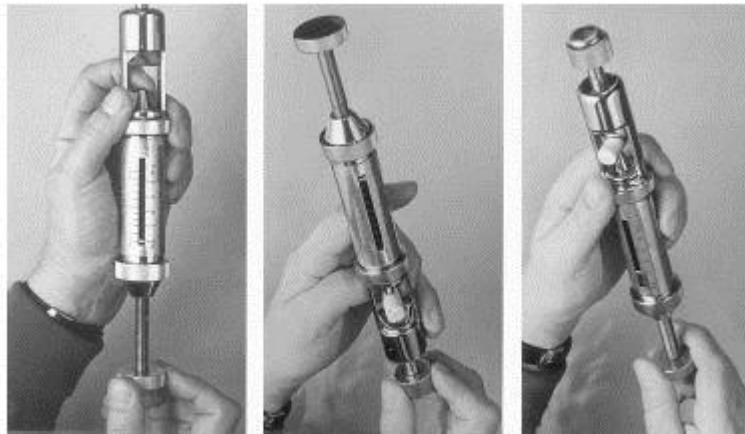


Slika 15. Sušnica/hladnjak za pelete

### 3.3.5. Metode analize fizičkog kvaliteta peleta

**Udeo prašine u peletama** određivan je po izlasku peleta iz pelet prese. Oko 100 g toplih peleta prosejavano je na situ promera 4,8 mm. Udeo prašine izračunat je kao odnos razlike mase peleta pre i posle prosejavanja i početne mase peleta i izražen je u procentima.

**Tvrdoća peleta (H)** određena je uz pomoć uređaja “Pellet Hardness Tester“, AMANDUS KAHL GmbH & Co. KG, koji radi na principu poprečne kompresije, prema metodi koju su opisali *Thomas & van der Poel (1996)*. Iz svake šarže uzeto je po 20 peleta dužine od oko 12 mm, pri čemu je određivana tvrdoća svake pojedinačne pelete iz uzetog uzorka. Pelete su postavljane između ležišta i zateznog zavrtnja opremljenog oprugom koja stvara opterećenje do 100 kg, a zatim pritiskute okretanjem zavrtnja do prvog loma peleta (ili pucanja peleta) (Slika 16). Tvrdoća peleta svake šarže izražena je kao srednja vrednost 20 pojedinačnih merenja i data je u jedinicama Kalove tvrdoće (KH).



Slika 16. Ručni Kahl-ov tester tvrdoće peleta (AMANDUS KAHL GmbH & Co. KG)

**Indeks otpornosti peleta PDI** (Pellet Durability Index) određen je metodom koji su opisali *Svihus et al. (2004)* i *Abdollahi (2011)*, korišćenjem Holmen pelet testera (New Holmen NHP100 Portable Pellet Durability Tester, TekPro Limited, Norfolk, UK) (slike 17 i 18). Uzorci peleta najpre su prosejavani na situ sa prečnikom otvora mrežice od 4,8 mm ( $0,8 \times d_{\text{peleta}}$  ( $0,8 \times 6$  mm)), kako bi se otklonili prašina i sitne čestice. Oko 100 g prosejanog uzorka stavljano je u perforiranu komoru piramidalnog oblika, gde je izložen intenzivnom cirkulisanju u struji vazduha u trajanju od 30 s, pri čemu dolazi do međusobnog sudaranja peleta i udaranja peleta o

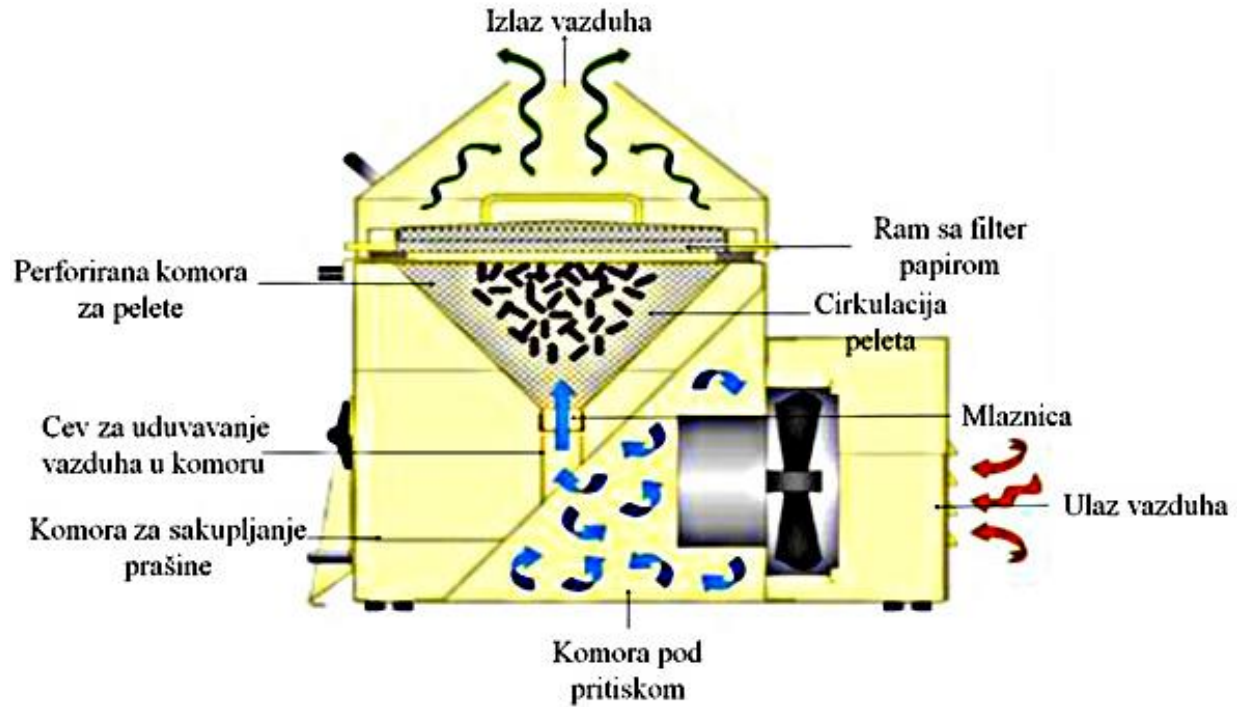
zidove komore. Usled ovakvog tretmana, dolazi do otiranja i lomljenja peleta, pri čemu nastaju sitne čestice i prašina koje propadaju kroz otvore na komori (Vukmirović, 2015).

Nakon testa, pelete su dodatno prosejavane na situ promera 4,8 mm, a zatim je merena masa prosejanih peleta. PDI je izračunat kao odnos mase peleta posle testa i početne mase peleta i izražen je u procentima (jednačina x).

$$\text{PDI (\%)} = \frac{\text{masa peleta zaostalih na situ nakon testa}}{\text{početna masa peleta}} \cdot 100 \quad (2)$$



Slika 17. Holmen pelet tester NHP 100 (sopstvena fotografija)



Slika 18. Princip rada Holmen pelet testera NHP 100 (izvor: *Wolska et al., 2016*)

**Nasipna masa** peleta i nepeletiranog materijala određivana je uz pomoć aparature za određivanje nasipne mase proizvođača Tonindustrie (West und Goslar, Germany). Određivanje nasipne mase rađeno je u pet ponavljanja.

### **3.4. Ogled ishrane svinja smešama koncentrata sa dodatkom osušenog jabučnog tropa**

Sa ciljem ispitivanja nutritivne vrednosti jabučnog tropa i mogućnosti njenovog korišćenja u ishrani životinja, sproveden je ogled ishrane u kojem su ispitani proizvodni rezultati ishrane tovnih svinja smešama koncentrata u koje kao jedno od hraniva uključen osušeni jabučni trop.

Ogled je izveden na farmi svinja u mestu Bečanj (koja posluje u okviru firme Kotlenik promet, Kraljevo) i obuhvatio je 40 tovljenika-meleza F1 generacije švedski landras x veliki jorkšir, ujednačene početne telesne mase 27 ( $\pm 1.2$ ) kg i odnosa polova 50 muških : 50 ženskih prasadi, podeljenih na dve grupe od po 20 jedinki - kontrolnu i oglednu, na kojima su primenjeni različiti tretmani ishrane.

Životinje su smeštene u grupne boksove sa rešetkastim podom i hranjene su i napajane po volji (*ad libitum*). Uslovi smeštaja i ishrane bili su u skladu sa zatvorenim farmsko - industrijskim sistemom držanja svinja, a veterinarske i sanitarne intervencije su urađene u skladu sa važećim propisima.

Ogled je trajao 125 dana i bio je podeljen u dve faze tova. Prva faza tova trajala je 55, a druga 70 dana. U prvoj fazi tova korišćena je smeša sa 16% proteina, namenjena ishrani tovnih svinja telesne mase od 25 do 60 kg, dok je u drugoj fazi tova korišćena smeša sa 13% proteina, namenjena ishrani tovnih svinja telesne mase od 60 do 100 kg.

Kontrolna grupa hranjena je standardnim smešama koncentrata, odnosno kontrolnom smešom 1 - KS<sub>1</sub> i kontrolnom smešom 2 - KS<sub>2</sub>, a ogledna grupa smešama u koje je uključen osušeni jabučni trop. Smeše za ishranu ogledne grupe sadržale su 7 % jabučnog tropa u prvoj fazi tova - do 60 kg telesne mase svinja (eksperimentalna smeša 1 - ES<sub>1</sub>), a 10% jabučnog tropa u drugoj fazi tova - od 60 do 100 kg telesne mase svinja (eksperimentalna smeša 2 - ES<sub>2</sub>). Sve smeše za ishranu tovljenika sastavljene su uz pomoć softvera Optimix i u skladu sa *Pravilnikom o kvalitetu hrane za životinje (2014)* i u potpunosti su odgovarale starosnoj kategoriji i nutritivnim zahtevima tovljenika.

Hemijski sastav smeša koncentrata za ishranu svinja (vlage, sirovih proteina, sirovih masti, sirovih vlakana i sirovog pepela) utvrđivan je na početku svake faze ogleada, prema metodama



opisanim u poglavlju 3.2. Sirovinski i hemijski sastav korišćenih smeša koncentrata predstavljen je u tabeli 2.

Tabela 2. Sirovinski i hemijski sastav smeša koncentrata za ishranu tovnih svinja

Sastojci (%)	I faza tova		II faza tova	
	KS1	ES1	KS2	ES2
Ječam	26,50	26,00	31,50	29,00
Kukuruz	35,80	35,30	33,30	33,30
Sojina sačma sa 44% proteina	6,00	6,00	-	-
Sojin punomasni griz	6,00	6,00	7,00	7,50
Suncokretova sačma sa 32% proteina	7,00	7,00	7,00	7,00
Stočni kvasac	1,50	2,50	2,00	4,00
<b>Osušeni jabučni trop</b>	-	7,00	-	10,00
Stočno brašno	14,00	7,00	16,00	6,00
Mineralno-vitaminska predmeša-premiks	3,00	3,00	3,00	3,00
Adsorbent mikotoksina	0,29	0,20	0,20	0,20
<b>Hemijski sastav smeša koncentrata</b>				
Vlaga, %	13,90	12,95	13,73	13,11
Sirovi protein, %	15,46	15,24	13,85	13,83
Sirova mast, %	3,48	3,56	3,64	3,76
Sirova celuloza, %	5,48	6,43	5,43	6,75
Pepeo, %	3,47	3,33	3,36	3,18
Bezazotne ekstraktivne materije, BEM, %	50,98	54,01	59,99	59,37

Na početku i kraju svake faze ogleda, kao i na kraju ogleda, merena je telesna masa životinja. Tokom celog perioda ogleda merena je količina utrošene hrane za svaku grupu. Životinje su merene individualno pomoću stočne vage, i to: na početku ogleda, na kraju prve faze tova (sa oko 60 kg telesne mase, odnosno pre prelaska na ishranu drugom smešom koncentrata) i na kraju druge faze tova, odnosno na kraju ogleda, sa oko 100 kg završne telesne mase, pre odvoženja u klanicu na liniju klanja (slika 19).





Slika 19. Merenje telesne mase tovih svinja

Na kraju svake faze ogleđa utvrđeni su ukupan i dnevni prirast životinja, utrošak i konverzija hrane.

U klanici Kotlenik - prometa, 1 h nakon klanja, izvršeno je određivanje mesnatosti polutki merenjem mase toplih polutki i utvrđivanjem udela mišićnog tkiva (% mesa - PM), primenom „Metode dve tačke” prema jednačini datoj u *Nacrtu Pravilnika o kvalitetu zaklanih svinja i kategorizaciji svinjskog mesa (2009)*:

$$PM=65,93356- 0,17759*S+ 0,00579*M-52,54737*S/M \quad (3)$$

gde je:

S - debljina masnog tkiva sa kožom u milimetrima izmerena lenjirom na krstima na najtanjem mestu, odnosno gde *Musculus gluteus medius* najviše urasta u masno tkivo

M - debljina *Musculus longissimus dorsi* u milimetrima, mereno lenjirom kao najkraća veza kranijalnog završetka *Musculus gluteus medius* sa dorzalnim rubom kičmenog kanala

### 3.5. Optimizacija sastava smeša koncentrata sa dodatkom osušenog jabučnog tropa

Na osnovu definisane nutritivne vrednost suvog jabučnog tropa uzimajući u obzir i njegove fizičke karakteristike sa stanovišta mogućnosti peletiranja, pomoću softvera za proračunavanje smeša koncentrata Optimix, koji je prikazan u radu *Sretenović i sar. (1994)*, u skladu sa normativima ishrane datim u *NRC (2001)* i *NRC (1998)* i *Pravilnikom o kvalitetu hrane za životinje (2014)*, urađen je proračun smeša - receptura koncentrata za ishranu pojedinih vrsta i kategorija domaćih životinja.

### 3.6. Statistička obrada eksperimentalnih rezultata

Statistička obrada eksperimentalnih rezultata dobijenih u procesu peletiranja jabučnog tropa i ishrambenom ogledu izvršena je uz pomoć jednofaktorske analize varijanse ANOVA (analysis of variance) i Tukey-evog HSD testa uz nivo značajnosti  $p < 0,05$ .

U okviru ispitivanja procesa peletiranja model smeša koncentrata ispitan je uticaj sastava smeše, odnosno udela osušenog jabučnog tropa u smešama, početnog sadržaja vlage model smeša i debljine matrice pelet prese, na zavisno promenljive veličine u procesu peletiranja, odnosno na fizički kvalitet peleta i parametre procesa peletiranja - specifičnu potrošnju energije i temperature pelet prese. Za potrebe eksperimentalnog ispitivanja pripremljene su 3 različite smeše. U svakoj smeši je variran udeo jabučnog tropa (0, 10 i 20%). Smeše su kondicionirane dodatkom vode u smešu do postizanja sadržaja vlage od 13, 15 i 17%, i peletirane pri tri debljine matrice pelet prese (18, 24 i 30 mm). Ukupan broj testova bio je 27 (3 x 3 x 3).

U ispitivanjima koja su se odnosila na peletiranje model smeša primenjene su višeparametarske matematičke metode: deskriptivna statistika, analiza glavnih komponentata (engl. principal components analysis – PCA):

- Deskriptivna statistika je upotrebljena za kvantitativno opisivanje proučavanih osobina radi početnog opisivanja podataka i sagledavanja njihovog međusobnog odnosa. Univarijantna analiza je urađena da bi se utvrdila raspodela promenljivih, uključujući centralnu tendenciju (srednje vrednosti) i disperziju (opsezi, standardne devijacije i varijanse). Interpretacija rezultata urađena je na osnovu Tukey-evog HSD testa, na nivou značajnosti  $p < 0,05$ .

- Analiza glavnih komponentata (Principal Component Analysis - PCA), primenjena je sa ciljem klasifikacije uzoraka peleta model smeša u faktorskoj ravni, na osnovu njihovih fizičkih karakteristika.

Deskriptivna statistička analiza je korišćena za izračunavanje srednjih vrednosti, standardne devijacije (SD) i varijanse promenljivih, a urađena je uz pomoć *Microsoft Excel 2007* softvera. PCA i korelaciona analiza su urađene korišćenjem *StatSoft Statistica 10* programa.

### 3.6.1. Određivanje normalizovanih standardnih ocena (SS – Standard Score)

Min-max normalizacija je veoma često korišćena tehnika za upoređivanje različitih karakteristika složenih uzoraka koje su određene pomoću različitih merenja. U ovoj statističkoj analizi uzorci se rangiraju na osnovu višeparametarske analize pojedinačnih izmerenih vrednosti i ekstremnih vrednosti određene merene veličine. S obzirom da su jedinice i opsezi merenih vrednosti za određene merene veličine različiti, podaci u svakoj grupi merenih veličina treba da se normalizuju prema sledećim jednačinama (*Prior et al. 2005; Brlek et al. 2013*):

$$\bar{x}_i = 1 - \frac{\max_i x_i - x_i}{\max_i x_i - \min_i x_i}, \quad \forall i, \text{ u slučaju kriterijuna "veće je bolje"}, \quad (4)$$

$$\bar{x}_i = \frac{\max_i x_i - x_i}{\max_i x_i - \min_i x_i}, \quad \forall i, \text{ u slučaju kriterijuna "manje je bolje"}, \quad (5)$$

Izračunavanjem prosečne vrednosti normalizovanih ocena različitih merenih vrednosti, za svaki posmatrani uzorak dobija se jedinstvena bezdimenziona vrednost koja se naziva standardna ocena (engl. Standard Score, SS). SS predstavlja specifičnu kombinaciju podataka dobijenih različitim mernim metodama, bez ograničenja određene merne jedinice. Ovakav prilaz omogućava jednostavnije potencijalno uključivanje i većih ili manjih količina jabučnog tropa u model smeše od kukuruza i suncokretove sačme.

### 3.6.2. Metoda odzivne površine - RSM (Response Surface Methodology)

Za definisanje uticaja udela osušenog jabučnog tropa u model smešama, debljine matrice pelet prese i početnog sadržaja vlage model smeša na promenu odzivnih veličina sistema, korišćena je metoda odzivne površine – RSM (Response Surface Methodology). Metoda odzivne površine je efikasan alat za optimizaciju tehnoloških procesa, uključujući i peletiranje. 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 jednačine opisuju parametre sistema i njihov uticaj na posmatrane odzive sistema, određuju međuzavisnosti testiranih promenljivih i ispituju kombinovane efekte parametara procesa na posmatrane odzive, omogućavajući da se efikasno istražuje proces.

Izbor odgovarajućeg eksperimentalnog plana je ključni korak u primeni RSM. Za ispitivanje peletiranja model smeša sa dodatkom jabučnog tropa, usvojen je potpuni faktorijalni eksperimentalni plan, sa tri faktora na tri nivoa, pri čemu su nezavisno promenljive veličine bile: udeo jabučnog tropa u model smešama - UJT ( $X_1$ ), debljina matrice pelet prese - DM ( $X_2$ ) i početni sadržaj vlage model smeše - V ( $X_3$ ). Zavisno promenljive veličine, odnosno odzivi sistema bili su: indeks otpornosti peleta - PDI<sub>24</sub> ( $Y_1$ ), Kalova tvrdoća - H ( $Y_2$ ), udeo prašine u peletama - UP ( $Y_3$ ), nasipna masa peleta - NM ( $Y_4$ ), temperatura matrice pelet prese - Tm ( $Y_5$ ), specifična potrošnja energije pelet prese - Esp ( $Y_6$ ). Potpuni faktorijalni plan se preporučuje za inicijalna ispitivanja i za određivanje glavnih efekata i interakcija (*Lazić, 2004*). U tabeli 3 prikazan je potpuni faktorijalni eksperimentalni plan sa 27 uzoraka.

Tabela 3. Potpuni faktorijalni plan, sa 3 promenljive i 3 nivoa

	Tehnološki parametri	Kodirane vrednosti		
		1	2	3
$X_1$	Udeo jabučnog tropa u model smešama (%)	0	10	20
$X_2$	Debljina matrice pelet prese (mm)	18	24	30
$X_3$	Početni sadržaj vlage model smeše (%)	13	15	17

Za opisivanje uticaja nezavisno promenljivih veličina na odzive sistema, kao i međuzavisnosti testiranih odziva i kombinovanog uticaja nezavisno promenljivih na posmatrane odzive, korišćen je polinom drugog stepena (jednačina 6)

$$Y_k = \beta_{k0} + \sum_{i=1}^2 \beta_{ki} \cdot X_i + \sum_{i=1}^2 \beta_{kii} \cdot X_i^2 + \beta_{k12} \cdot X_1 \cdot X_2, \quad (6)$$

gde su:  $\beta_{k0}$ ,  $\beta_{ki}$ ,  $\beta_{kii}$ ,  $\beta_{k12}$ , konstantni regresioni koeficijenti;

$Y_k$ , odzivi zavisno promenljivih (UP, PDI<sub>24</sub>, H, NM, Tm ili Esp);

$X_1$  – UJT;  $X_2$  – DM i  $X_3$  – V

Kvalitet razvijenih modela testiran je korišćenjem koeficijenta determinacije ( $r^2$ ), redukovanim  $\chi^2$  - testom, srednjom vrednošću odstupanja (engl. mean bias error) (*MBE*), korenom sume kvadrata greške (engl. root mean square error) (*RMSE*) i srednje vrednosti procenta greške (engl. mean percentage error) (*MPE*). Ovo su uobičajeni parametri koji se koriste pri validaciji razvijenih matematičkih modela, a računaju se na sledeći način:

$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (x_{\text{exp},i} - x_{\text{pre},i})^2}{N - n}, \quad RMSE = \left[ \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N (x_{\text{pre},i} - x_{\text{exp},i})^2 \right]^{1/2}, \quad (7)$$

$$MBE = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N (x_{\text{pre},i} - x_{\text{exp},i}), \quad MPE = \frac{100}{N} \cdot \sum_{i=1}^N \left( \frac{|x_{\text{pre},i} - x_{\text{exp},i}|}{x_{\text{exp},i}} \right) \quad (8)$$

gde su:  $x_{\text{exp},i}$  eksperimentalne vrednosti, a  $x_{\text{pre},i}$  su vrednosti dobijene na osnovu predikcije razvijenog matematičkog modela. Parametri  $N$  i  $n$  predstavljaju broj uzoraka i broj konstanti, respektivno. Da bi se dobilo dobro poklapanje rezultata modela sa eksperimentalnim vrednostima, vrednost  $r^2$  treba da je što veća (maksimalna vrednost je jednaka 1), a da vrednosti  $\chi^2$ , MBE, RMSE i MPE budu što manje (*Arsenović et al., 2013a*).

## 4. REZULTATI I DISKUSIJA

### 4.1. Hemijski sastav osušenog jabučnog tropa

Sadržaj najvažnijih hranljivih materija u vlažnom i osušenom jabučnom tropu dat je u tabeli 4. Na osnovu prikazanih podataka može se zaključiti da su glavni sastojci jabučnog tropa sirova vlakna i šećeri, dok su sadržaj proteina i sirovih masti veoma niski.

Tabela 4. Nutritivni sastav svežeg i osušenog jabučnog tropa

Parametar	Svež jabučni trop		Osušen jabučni trop	
	U ukupnoj količini	U suvoj materiji	U ukupnoj količini	U suvoj materiji
Vlaga, %	72,55	/	7,96±0,33	/
Sirovi proteini, %	1,83±0,71	6,67±0,41	5,9±0,84	6,32±0,94
Sirova mast, %	0.69±0,02	2,53±0,10	2,26±0,12	2,45±0,14
Sirova vlakna, %	6,34±0,57	23,10±0,56	20,76±0,27	22,55±0,27
Sirovi pepeo, %	0.69±0,11	2,54±0,16	2,06±0,04	2,20±0.04
Pektin, %	1,62	5,90	4,80	5,21
NDF, %	9,58±1,54	34,89±1,13	31,6	33,80
ADF, %	7,75±0,99	28,22±0,97	26,36	28,59
ADL, %	0.22±0.08	6,83±0,22	5,89	6,39
Ukupni šećeri, %	8,76±0,41	31,92±0,27	30,29±0,12	31,95±0,23
Fruktoza, %	n.a	n.a	17,82	19,36
Glukoza, %	n.a	n.a	6,88	7,47
Saharoza, %	n.a	n.a	1,56	1,69
BEM, %	17,90	65,21	61,06	66,34

Rezultati su prikazani kao prosek± standardna devijacija (n = 4); n.a.- nije analizirano

BEM- bezazotne ekstraktivne materije

NDF- neutralna deterdžentska vlakna (Neutral Detergent Fibre)

ADF - kisela deterdžentska vlakna (Acid Detergent Fibre)

ADL - kiseli deterdžent lignin (Acid Detergent Lignin)

**Sadržaj vode/vlage** u vlažnom jabučnom tropu bio je 72,55%, što je u saglasnosti navodima *Bhushan et al. (2008)* i *Gabriel et al. (2013)*, prema kojima se udeo vlage u ovom materijalu

kreće se između 70 i 85%. Razlike koje se javljaju u sadržaju vlage u svežem jabučnom tropu mogu se objasniti činjenicom da se u procesu proizvodnje soka koriste različite sorte jabuke, različitog stepena zrelosti i primenjuju različiti tehnološki postupci izdvajanja soka. Sadržaj vlage u vlažnom jabučnom tropu u ovom istraživanju nalazi se na donjoj granici opsega navedenog u literaturi, što ukazuje na dobru efikasnost procesa izdvajanja soka u fazi presovanja. Dobijena vrednost **sadržaja sirovih proteina** u suvom jabučnom tropu, na bazi suve materije, u skladu su sa podacima rezultatima istraživanja *Pirmohammadi et al., (2006)* i *Abdollahzadeh et al. (2010)*.

**Sadržaj sirovih masti** u jabučnom tropu, ovom istraživanju, u saglasnosti je sa rezultatima istraživanja *Reis et al. (2012)*. U istraživanjima koja su sprovedeli *Sudha et al. (2007)*, *Abdollahzadeh et al. (2010)*, *Mirzaei-Aghsaghali et al. (2011)*, *Reis et al. (2012)* i *Madrera et al. (2017)*, sadržaj masti u suvom jabučnom tropu (u suvoj materiji) kretao se u opsegu od 1,8 do 4,7%. Variranje sadržaja masti može se pripisati različitom udelu semenki u jabučnom tropu, koje predstavljaju glavni izvor masti u ovom proizvodu.

Hemijski sastav osušenog jabučnog tropa može se uporediti sa hemijskim sastavom pojedinih sporednih proizvoda prerade voća i povrća. Tako je po sadržaju sirovih proteina i masti jabučni trop sličan pulpi citrusa, koja je prema podacima *NRC (2001)*, *Watanabe et al. (2010)*, *Lima et al. (2014)*, *Javed et al. (2016)*, *Peixoto et al. (2015)*, sadržala od 6 do 7 % sirovih proteina i 2 do 5% masti. Sa druge strane, komina grožđa i trop paradajza sadrže veću količinu sirovih proteina u odnosu na jabučni trop. Sadržaj sirovih proteina u komini grožđa kreće se od 9,4 do 15,8% (*Abarghuei et al., 2010; Voicu et al., 2014; Winkler et al., 2015; Foiklang et al., 2016*), a u tropu paradajza od 19,3 do 22,6% (*Jafari et al., 2006; Amirkolaie et al., 2015; Saemi et al., 2012*). Trop paradajza karakteriše i veći sadržaj sirovih masti u odnosu na jabučni trop, koji se prema podacima *Jafari et al. (2006)*, *Amirkolaie et al. (2015)* i *Saemi et al. (2012)*, kretao u opsegu od 4,0 do 10,7%.

Sadržaj **sirovog pepela** u osušenom jabučnom tropu iznosio je 2,20%, što je dosta niska vrednost u odnosu na neke sporedne proizvode koji se koriste kao hraniva u proizvodnji hrane za životinje, kao što su pšenične mekinje, kukuruzno glutensko brašno, rezanci šećerne repe, itd), a u skladu je sa rezultatima istraživanja *Villas-Bôas et al. (2003)*, *Gullón et al. (2007)* i *Mirzaei-Aghsaghali et al. (2011)*.

Sadržaj **sirovih vlakana** u suvoj materiji jabučnog tropa bio je relativno visok i iznosio je 22,55%. Visok sadržaj vlakana dobijen je i u istraživanju *Ganai et al. (2006)* i kretao se u opsegu od 19 do 20,66%. Ovako visoke vrednosti sadržaja sirovih vlakana karakteristične su za kabasta hraniva koja sadrže preko 18% sirovih vlakana (*Dorđević i sar., 2009*). Po sadržaju vlakana, jabučni trop bi se mogao uporediti sa suncokretovom sačmom III kvaliteta koja sadrži do 21% sirovih vlakana (*Doređević i Dinić, 2007*). Visok sadržaj sirovih vlakana karakterističan je i za kominu grožđa koja, prema podacima *Voicu et al. (2014)* sadrži 29,2% sirovih vlakana. *Baumgärtel et al. (2007)* su utvrdili da komina crvenog grožđa sadrži 31,2%, a belog 19,9% sirovih vlakana. Sa druge strane, rezultati ovog istraživanja pokazali su da osušeni jabučni trop sadrži manje sirovih vlakana u odnosu na trop paradajza, za koji su *Saemi et al. (2012)*, utvrdili vrednost od 36%, a *Jafari et al. (2006)* 39% sirovih vlakana u suvoj materiji.

Udeo **bezazotnih ekstraktivnih materija (BEM)** u suvom jabučnom tropu iznosio je 66,34% (u suvoj materiji), što je relativno visoka vrednost, koja je karakteristična za koncentrovana hraniva. Imajući u vidu da se BEM pretežno sastoje od lako dostupnih ugljenih hidrata-šećera i skroba, ali da sadrže i značajne količine lignina i celuloze (*Jovanović i sar al., 2001*), visok sadržaj ove frakcije u jabučnom je očekivan, s obzirom na to da jabučni trop sadrži značajnu količinu šećera, ali i sirovih vlakana (tabela 4), u kojoj značajan udeo imaju hemiceluloza i lignin.

Utvrđene vrednosti sadržaja frakcija sirovih vlakana, odnosno NDF i ADF u osušenom jabučnom tropu su u skladu sa vrednostima koje su dobili *Besharati et al. (2008)* i *Taasoli & Kafilzadeh (2008)*. Sa druge strane, prema podacima *NRC (2001)*, kao i istraživanja *Mirzaei-Aghsaghali (2011)* sadržaj ovih frakcija u jabučnom tropu iznosi preko 50% za NDF i preko 40% za ADF.

Sadržaj ADL u osušenom jabučnom tropu utvrđen u ovom istraživanju, nešto je niži u odnosu na vrednosti koje su dobili *Gullón et al. (2008)* i *Pieszka et al. (2015)* i koje su se kretale oko 9%. U pojedinim istraživanjima zabeležene su značajno više vrednosti ove frakcije vlakana u jabučnom tropu. *Bhushan et al. (2008)* navode da sadržaj kiselog deterdžent lignina u suvoj materiji jabučnog tropa može kretati od 15,20 do 20,40%. U istraživanju *Parmar & Rupasinghe (2013)* visok sadržaj kiselog deterdžent lignina, od 21,2% u suvoj materiji, objašnjen je prisustvom ljuske pirinča u jabučnom tropu, koja je dodavana kao pomoćno sredstvo prilikom presovanja jabuka radi povećanja efikasnosti izdvajanja soka. Uopšte, variranja u hemijskom sastavu



jabučnog tropa potiču od uslova gajenja i sorte jabuke, kao i primenjenog postupka prerade jabuke u sok.

Visoke vrednosti frakcija sirovih vlakana–NDF, ADF i ADL u jabučnom tropu mogu se uporediti sa vrednostima kod nekih standardno korišćenih hraniva u ishrani životinja, kao što su rezanci šećerne repe, suvi pivski trop, lucerkino brašno (NRC, 2001). Takođe, relativno visoke vrednosti frakcija sirovih vlakana karakteristične su i za druge sporedne proizvode prerade voća i povrća. Rezultati ovog istraživanja pokazuju da suvi jabučni trop sadrži manje NDF, ADF i ADL u poređenju sa kominom grožđa i pulpom paradajza. Rezultati istraživanja *Abarghuei et al.*, (2010), *Moate et al.* (2014), *Winkler et al.* (2015) i *Foiklang et al.* (2016) su pokazali da komina grožđa sadrži od 34,1 do 56,8% NDF, od 30,6 do 47,5% ADF-a i od 20,0 do 36,9% ADL. Trop paradajza takođe karakteriše visok sadržaj frakcija sirovih vlakana, i to NDF od 49,2 do 55,4%, ADF od 42,2 do 46,2% (*Aghajanzadeh - Golshani et al.*, 2010; *Abbeddou et al.*, 2011; *Razzaghi et al.*, 2015) i ADL-a 25,9% (*Abbeddou et al.*, 2011). Sa druge strane, pulpa citrusa sadrži značajno manje količine frakcija sirovih vlakana–NDF, ADF i ADL u odnosu na jabučni trop ispitivan u okviru ovog istraživanja i prema podacima NRC (2001) i rezultatima istraživanja *Lima et al.* (2014), *Santos et al.* (2014) i *Peixoto et al.* (2015), sadržaj NDF kreće se od 18,3 do 24,2% u, ADF od 13,7 do 22,2%, a ADL od 0,8 do 2,8%.

Utvrđeni **sadržaj pektina** u suvoj materiji osušenog jabučnog tropa iznosio je 5,21% (tabela 4), što je u skladu sa vrednošću dobijenom istraživanja *Villas-Bôas et al.* (2003). U istraživanjima drugih autora zabeležene su značajno veće količine pektina u jabučnom tropu. Kako navode *Bhushan et al.* (2008) sadržaj pektina u suvoj materiji jabučnog tropa kreće se od 3,5 do 14,2%. U istraživanju *Pieszka et al.* (2017) sadržaj pektina u jabučnom tropu iznosio 11,8% (s.m.), dok je u istraživanju *Gullon et al.* (2007) ova vrednost varirala od 9,2 do 12,8% u zavisnosti od sorte jabuke od koje je jabučni trop dobijen. Niža vrednost sadržaja pektina u jabučnom tropu dobijena u ovom istraživanju može se objasniti tehnološkim postupkom dobijanja soka u fabrici VINO Župa, u okviru kojeg se sprovodi depektinizacija voćne kaše pre procesa presovanja, kako bi se pospešilo izdvajanje soka.

Sadržaj ukupnih šećera (prostih, u vodi rastvornih ili samo šećera) u ovom istraživanju iznosio je 30,29% (tabela 4) i nalazi se u okviru opsega vrednosti od 28,83 do 53,63% koji je dobijen u istraživanju *Sato et al.* (2010) za trop različitih sorti jabuka. U istraživanju *Chandel et al.* (2016)

sadržaj šećera u svežem jabučnom tropu, na bazi suve materije, iznosio je 38,05%, što je nešto viša vrednost u odnosu na onu dobijenu u ovom istraživanju. Mogućnost iskorišćenja jabučnog tropa u ishrani životinja, zasniva se u velikoj meri na visokom sadržaju šećera u koji daje energetska vrednost ovom sporednom proizvodu. Visok **sadržaj šećera** predstavlja glavnu nutritivnu vrednost jabučnog tropa.

Na osnovu podataka prikazanih u tabeli 4, uočava se da je osušeni jabučni trop sadržao najveću količinu fruktoze, znatno manje glukoze i vrlo malu količinu saharoze. Dobijene vrednosti su u skladu sa rezultatima istraživanja *Gullón et al. (2007)* i *Sato et al. (2010)*. Takođe, vrednosti sadržaja fruktoze i saharoze u suvom jabučnom tropu u skladu su sa rezultatima *Queji et al. (2010)*, koji su sprovedli istraživanje na 26 uzoraka suvog jabučnog tropa različitih sorti jabuka. Sa druge strane, sadržaj saharoze u istraživanju *Queji et al. (2010)* bio je viši u odnosu na rezultate ovog istraživanja, i kretao se u opsegu od 3,4 do 24%. Na osnovu ovih istraživanja, može se primetiti da je sadržaj šećera u osušenom jabučnom tropu znatno viši u odnosu na najčešće korišćena energetska hraniva, kao što su kukuruz (1,91%), raž (1,92%) i ovas (1,77%) (*Menkovska i Cilev, 2001*). Takođe, i druga hraniva, poput kukuruznog glutena, sojine sačme, suncokretove sačme, sačme uljane repice, sadrže znatno manje šećera (ispod 10%) u odnosu na osušeni jabučni trop (*Grbeša, 2004*). Prema sadržaju ukupnih šećera, jabučni trop se može uporediti sa kominom belog grožđa, koja je prema rezultatima *Baumgärtel et al. (2007)* sadržala 27,6% šećera. Takođe, rezanci šećerne repe sadrže značajnu količinu prostih šećera, ali u njihovom sastavu preovlađuje glukoza (*Kühnel et al., 2011*).

Rezultati analize sadržaja **mineralnih elemenata** u jabučnom tropu, pokazali su da osušeni jabučni trop sadrži najviše kalijuma, zatim kalcijuma, fosfora, magnezijuma i natrijuma, kao i značajne količine gvožđa (tabela 5), što je u skladu sa mineralnim sastavom same jabuke (poglavlje 2.2.1.1). Važno je napomenuti da je odnos sadržaja kalcijuma i fosfora u jabučnom tropu 2,23:1.00, što je blizu optimalnom odnosu ovih elemenata u hrani za životinje.

Tabela 5. Sadržaj mineralnih elemenata i vitamina u osušenom jabučnom tropu

Parametar	Udeo u ukupnoj količini	Udeo u suvoj materiji
<b>Makroelementi</b>		
P, %	0,12±0.00	0,13±0.00
Ca, %	0,27±0.00	0.29±0,00
Na, %	0,04±98,39	0,04±0,00
K, %	0,50±0,01	0,50±0,01
Mg, mg/kg	801,64±13,4	870.55
<b>Mikroelementi</b>		
Mn, mg/kg	31,22±0.70	33,91±0,79
Cu, mg/kg	7,01±0.10	7,61±0,14
Fe, mg/kg	262±36,51	284,9±40,01
Zn, mg/kg	36,76±5,22	39,94±5,82
<b>Vitamini</b>		
Vitamin B1, mg/100g	0,04	
Vitamin B3, mg/100g	1,20	
Vitamin B6, mg/100g	0,03	
Vitamin A, mg/100g	<0,1	
Vitamin E, mg/100g	0,43	

Sadržaj kalcijuma u suvom jabučnom tropu u skladu je sa podatkom navedenom u *NRC (2001)*, a veća je u odnosu na vrednost dobijenu u istraživanju *Villas-Bôas et al. (2003)*, koja je iznosila 0,10%. Sadržaj fosfora u saglasnosti sa podacima *NRC (2001)*, dok su vrednosti sadržaja gvožđa, cinka i mangana više u odnosu na navedeni izvor. Sadržaj kalijuma i magnezijuma u saglasnosti je sa podacima *NRC (2001)* i rezultatima istraživanja *Villas-Bôas et al. (2003)*. Dobijena vrednost za sadržaj fosfora u skladu je sa osegom vrednosti ovog minerala u istraživanju *Gullón et al. (2007)*. Sa druge strane, u poređenju sa rezultatima navedenog istraživanja, suvi jabučni trop sadržao je znatno veće količine kalijuma, magnezijuma, mangana i gvožđa. U poređenju sa sojinom sačmom od delimično oljuštenog zrna (sa oko 45% proteina) i suncokretovom sačmom od neoljuštenog zrna, osušeni jabučni trop sadržao je približno istu količinu kalcijuma i natrijuma, veću količinu gvožđa i znatno niže količine fosfora i kalijuma.

U literaturi se za sada može naći samo nekoliko istraživanja u kojima je ispitivan sadržaj vitamina u svežem ili osušenom jabučnom tropu. Tako je u istraživanju *Sun et al (2016)* sadržaj vitamina B<sub>1</sub> bio nešto viši (0,09% s.m.) u odnosu na ovo istraživanje.

Podaci o aminokiselinskom sastavu (tabela 6), pokazuju da u jabučnom tropu ima najviše alanina, zatim glutaminske i asparaginske kiseline, leucina i arginina. Sa druge strane, u istraživanju *Pieszka et al. (2015)* utvrđeno je da je najzastupljenija aminokiselina u jabučnom tropu glutaminska kiselina, zatim asparaginska, leucin i lizin. Dobijene sadržaja pojedinačnih aminokiselina u ovom istraživanju bile su niže u odnosu na vrednosti *NRC (2001)* i rezultate istraživanja *Pieszka et al. (2015)*.

Tabela 6. Sadržaj aminokiselina u osušenom jabučnom tropu

Aminokiselina u osušenom jabučnom tropu	Udeo, %
L-Lizin	0,13
L-Alanin	1,39
L-Treonin	0,16
L-Glicin	0,19
L-Valin	0,12
L-Serin	0,18
L-Prolin	0,14
L-Izoleucin	0,12
L-Leucin	0,25
L-Metionin	0,03
L-Histidin	0,08
L-Fenilalanin	0,12
L-Glutamat	0,69
L-Aspartat	0,49
L-Cistin	0,06
L-Tirozin	0,08
L-Arginin	0,22

Tabela 7. Sadržaj ukupnih i pojedinih polifenolnih jedinjenja i antioksidativna aktivnost osušenog jabučnog tropa, vrednosti

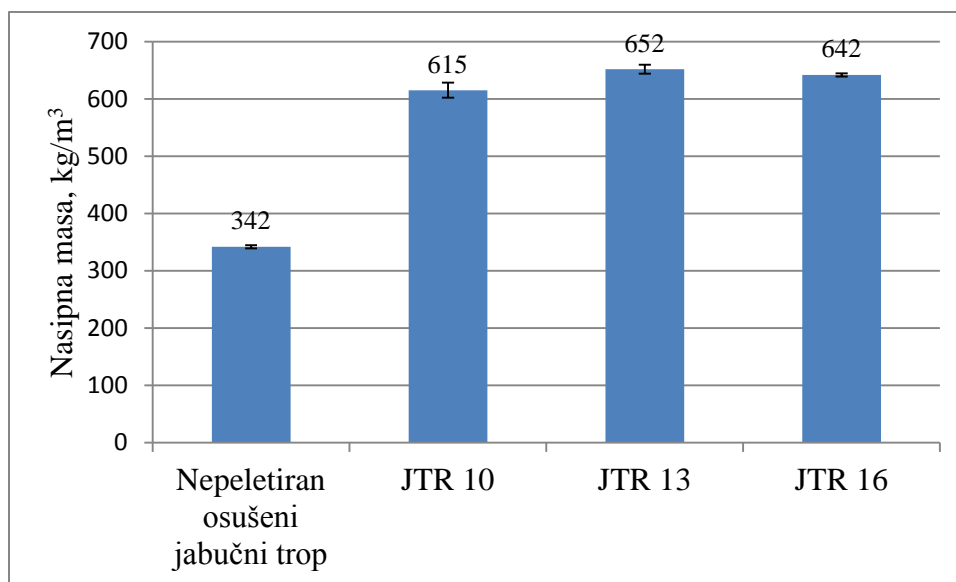
Parametar	Udeo
<b>Ukupan sadržaj polifenola, g GAE/kg suve materije jabučnog tropa</b>	<b>2,27±0,01</b>
<b>RSA (mmol TE/kg)</b>	<b>23,15±1,48</b>
<b>Sadržaj pojedinih polifenolnih jedinjenja, % suve materije jabučnog tropa</b>	
p-hidroksibenzoeva kiselina	39,23
Kvercetin	16,32
Kvercetin 3-O-ramnozid	33,12
Kvercetin 3-O-rutinozid	10,69
Kvercetin 3-O-glukozid	15,08
Florizin	14,11
Hlorogenska kiselina	21,93
Elaginska kiselina	9,22
Protokatehuinska kiselina	8,92
Ferulinska kiselina	2,34
Kafena kiselina	1,09
Izorhamnetin	2,51
Izorhamnetin 3-O-glucoside	6,38
Koniferil aldehid	1,48
Taksifolin	0,27
Kaempferol	0,21
Naringenin 7-O-neohesperidoside	0,17
Eriodictyol	0,17
Floretin	0,06

Rezultati dobijeni za sadržaj ukupnih polifenola u osušenom jabučnom tropu (tabela 7) u skladu su sa rezultatima dobijenim u istraživanjima *Zhang et al. (2016)* i *Rana et al. (2015)* u kojima se sadržaj polifenola kretao u opsegu od 1,62 do 3,05 mg GAE/g i 1,00 do 3,31 mg GAE /g suve materije. Sa druge strane, u istraživanju *Bai et al. (2013)* dobijene su niže vrednosti sadržaja ukupnih polifenola, koje su iznosile 0,53 do 1,48 mg GAE /g suve materije jabučnog tropa. U istraživanju *Lavelli & Corti (2011)* dobijena je znatno viša vrednost antioksidativne aktivnosti i iznosila je 50 mmol TE/kg suve materije jabučnog tropa. Ova razlika mogla bi se objasniti znatno nižim temperaturama sušenja u navedenom istraživanju u odnosu na istraživanje u okviru ove disertacije.

## 4.2. Peletiranje osušenog jabučnog tropa

U okviru istraživanja koje se odnosilo na proces peletiranja jabučnog tropa, ispitan je uticaj sadržaja vlage u osušenom jabučnom tropu na fizički kvalitet proizvedenih peleta, specifičnu potrošnju energije procesa, kao i na temperature matrice pelet prese. Pri peletiranju jabučnog tropa primenjena su tri različita nivoa vlage nepeletiranog materijala - 10, 13 i 16%, pri čemu su dobijene tri šarže označene kao JTR10, JTR13 i JTR16.

Na slici 20 su predstavljene vrednosti nasipne mase nepeletiranog jabučnog tropa i peleta jabučnog tropa dobijenih pri različitim početnim sadržajima vlage materijala. Nasipna masa peletiranog jabučnog tropa, za sve tri šarže, bila je skoro dva puta veća od nasipne mase jabučnog tropa u rasutom stanju ( $p < 0,05$ ), što je značajno sa aspekta olakšanog i jeftinijeg transporta, skladištenja i rukovanja ovim materijalom. Vrednosti izmerene nasipne mase peleta mogu se uporediti sa nasipnom masom peleta ječmene ( $644 \text{ kg/m}^3$ ) i pšenične slame ( $620 \text{ kg/m}^3$ ) koje su utvrđene u istraživanju *Miranda et. al. (2015)*, dok je nasipna masa komine grožđa u pomenutom istraživanju bila relativno visoka i iznosila je  $824 \text{ kg/m}^3$ .



Slika 20. Nasipna masa nepeletiranog i peletiranog jabučnog tropa  
Rezultati su prikazani kao prosek  $\pm$  standardna devijacija

Nasipna masa peleta dobijenih od osušenog jabučnog tropa sa sadržajem vlage od 10% bila je statistički značajno manja ( $p > 0,01$ ) od nasipne mase peleta sa 13 i 16% vlage polaznog materijala.

Dodavanje vode u materijal u fazi pripreme za peletiranje utiče na fizičke osobine peletiranog materijala poboljšavajući njegovu kompresibilnost (Mohsenin & Zaske, 1976; Nathier-Dufour et al., 1995). Time se može objasniti veća nasipna masa peleta dobijenih kada je sadržaj vlage bio dva puta veći, kada je zbog poboljšane kompresibilnosti došlo do gušćeg pakovanja čestica pri peletiranju, a time i do veće nasipne mase peleta.

U tabeli 8 prikazani su parametri fizičkog kvaliteta peleta, odnosno vrednosti indeksa otpornosti (PDI) i tvrdoće (H). Indeks otpornosti peleta (PDI) predstavlja najvažniji parameter kvaliteta, s obzirom na to da niža vrednost PDI podrazumeva veću podložnost abraziji, što dovodi do lakšeg oštećenja peleta, a time i nastanka veće količine prašine tokom manipulacije peletama. Vrednosti PDI za sve ispitivane šarže osušenog jabučnog tropa bile su veoma visoke i iznosile su preko 99%, što znači da skoro da nije došlo do abrazije peleta. Ovakvi rezultati mogu se objasniti visokim sadržajem vlakana (rastvorljivih i nerastvorljivih) i šećera u jabučnom tropu. Pozitivan uticaj rastvorljivih vlakana na kvalitet peleta ogleda se u povećanju viskoziteta materijala, pri čemu hidratizirana rastvoljiva vlakna deluju kao punilac, tj. okružuju čestice u strukturi peleta i povezuju ih usled izrazitih adhezivnih (lepljivih) svojstava, a takođe i ispunjavaju pore u strukturi peleta, što rezultira povećanjem tvrdoće i vrednosti PDI (Thomas et al., 1998). S obzirom na to da je u osušenom jabučnom topu prisutna određena količina pektina, može se zaključiti da je i ovaj hidrofilni koloid doprineo veoma dobrom fizičkom kvalitetu peleta osušenog jabučnog tropa. Sa druge strane, pozitivan uticaj nerastvorljivih vlakana ogleda se u njihovoj sposobnosti savijanja, zaplitanja i obmotavanja oko čestica u peletama, što doprinosi njihovom međusobnom povezivanju i stabilnoj strukturi peleta. Takođe, može se pretpostaviti da je tokom peletiranja, došlo je delimičnog rastvaranja šećera, a nakon hlađenja peleta do njihove kristalizacije i stvaranja čvrsto - čvrsto veza između čestica peleta (Thomas et al., 1998).

Tabela 8. PDI i tvrdoća peleta osušenog jabučnog tropa

	<b>JTR 10</b>	<b>JTR 13</b>	<b>JTR 16</b>
PDI, %	99,13±0,24 <sup>a</sup>	99,55±0,27 <sup>a</sup>	99,74±0,01 <sup>a</sup>
Tvrdoća, H (KH)	12,22±2,28 <sup>a</sup>	9,66±1,34 <sup>b</sup>	6,06±1,07 <sup>c</sup>

Rezultati su prikazani kao prosek  $\pm$  standardna devijacija 20 merenja

<sup>a,b,c</sup> Prosečne vrednosti u okviru istog reda, obeležene različitim slovima se statistički značajno razlikuju ( $p < 0,01$ ); \*KH-jedinice Kalove tvrdoće

U sprovedenom istraživanju vrednost PDI je rasla sa povećanjem početnog sadržaja vlage u osušenom jabučnom tropu. Najviša vrednost PDI utvrđena je za šaržu jabučnog tropa sa najvišim sadržajem vlage, koji je iznosio 16%. Iz toga se može zaključiti da je veći sadržaj vlage u peletiranom materijalu uticao na rastvaranja šećera i omekšavanja rastvoljivih vlakana, a time i do boljeg povezivanja čestica u strukturi peleta pa su dobijene pelete bile otpornije na abraziju. Takođe, povećanje sadržaja vlage u jabučnom tropu omogućilo je formiranje veza između čestica u peletama dejstvom kapilarnih sila, kao i do boljih kompresionih karakteristika materijala (*Thomas i van der Poel, 1996*). Međutim, i pri nižem sadržaju vlage u osušenom jabučnom tropu, dobijene su visoke vrednosti PDI. S obzirom da prisutna slobodna voda u materijalu koji se peletira ima podmazujuće (lubrikativno) dejstvo, smanjujući trenje i pritisak u kanalima matrice pelet prese, može se zaključiti da je pri smanjenju sadržaja vode, usled povećanog pritiska došlo do boljeg povezivanja čestica. Veći pritisak u kanalima matrice doprinosi smanjenju rastojanja između čestica i njihovom povezivanju putem interakcija čvrsto - čvrsto. Takođe, može se pretpostaviti da su i van der Waals-ove sile doprinele boljem povezivanju čestica u peletama, s obzirom da one dolaze do izražaja kada je udaljenost između čestica dovoljno mala (*Thomas i van der Poel, 1996; Vukmirović, 2015*).

Rezultati prikazani u tabeli 8 pokazuju da je sa povećanjem vlage u osušenom jabučnom tropu došlo do statistički značajnog smanjenja tvrdoće peleta. Ovakav trend se može pripisati manjem intenzitetu sila trenja i manjem pritisku u kanalima matrice pelet prese prilikom peletiranja jabučnog tropa sa većim sadržajem vlage, što je dovelo do smanjenja tvrdoće peleta.



Temperatura matrice pelet prese i specifična potrošnje energije u procesu peletiranja jabučnog tropa prikazane su u tabeli 9. Povećanje sadržaja vlage u jabučnom tropu, dovelo je do smanjenja trenja u kanalima matrice zbog podmazujućeg efekta vode, što je za rezultat imalo smanjenje temperature matrice i potrošnje energije pelet prese. Efekat smanjenja temperature matrice i potrošnje energije pelet prese, usled povećanja sadržaja vlage smeše koja se peletira, utvrđen je i u istraživanjima *Fairchild & Greer (1999)*, *Moritz et al. (2003)* i *Vukmirović et al (2010)*.

Tabela 9. Specifična potrošnja energije u procesu peletiranja osušenog jabučnog tropa

	<b>JTR 10</b>	<b>JTR 13</b>	<b>JTR 16</b>
Temperatura matrice pelet prese, °C	65,0	63,5	57,0
Potrošnja energije, kWh/t	34,15±4,76 <sup>a</sup>	25,87±4,03 <sup>b</sup>	22,71±3,52 <sup>c</sup>

Rezultati su prikazani kao prosek ± standardna devijacija 25 merenja

<sup>a,b,c</sup> Prosečne vrednosti u okviru istog reda, obeležene različitim slovima se statistički značajno razlikuju ( $p < 0,01$ )

Povećanje početnog sadržaja vlage osušenog jabučnog tropa na 16%, u procesu peletiranja, dovelo je do najvećeg smanjenja temperature i specifične potrošnje energije pelet prese, što upućuje na zaključak da bi peletiranje osušenog jabučnog tropa sa ovim sadržajem vlage bilo energetski najefikasnije. Međutim, iako je prilikom peletiranja osušenog jabučnog tropa sa početnim sadržajem vlage od 13%, potrošnja energije bila veća za 14% u odnosu na potrošnju energije pri početnoj vlazi od 16%, treba uzeti u obzir mogućnost da bi se peletiranjem osušenog jabučnog tropa početnog sadržaja vlage od 13%, mogla izostaviti operacija sušenja peleta ili skratiti vreme trajanja ove operacije i time omogućiti ušteda energije u celokupnom procesu proizvodnje peleta od osušenog jabučnog tropa.

### 4.3. Peletiranje model smeša koncentrata sa različitim udelima osušenog jabučnog tropa

Hemijski sastav osušenog jabučnog tropa (JT) i model smeša sa 0% (JT 0), 10% (JT 20) i 20% (JT 20) osušenog jabučnog tropa prikazan je u tabeli 10.

Tabela 10. Hemijski sastav osušenog jabučnog tropa i model smeša koncentrata, %\*

Parametar	JT	JT 0	JT 10	JT 20
Sirovi proteini	6.32±0.26	16.95±0.01	16.49±0.15	15.75±0.13
Sirova mast	2.45±0.12	4.29±0.02	3.99±0.03	3.88±0.02
Sirova vlakna	22.55±0.27	7.93±0.04	9.97±0.04	11.99±0.04
Sirovi pepeo	2.20±0.04	2.81±0.03	2.95±0.02	2.96±0.01
Skrob	n.a.	55.78±0.44	48.15±0.46	40.59±0.53
Ukupni šećeri	31.95±0.23	4.33±0.10	7.37±0.19	10.37±0.04

\*na bazi suve materije

Rezultati su dati kao srednja vrednost ± standardna devijacija 4 ponavljanja

n.a. - nije analizirano

Povećanje udela osušenog jabučnog tropa, dovelo je do smanjenja sadržaja skroba, proteina i masti, u model smešama koncentrata, što je bilo očekivano, s obzirom na nizak sadržaj ovih sastojaka u samom osušenom jabučnom tropu. Do najznačajnijeg smanjenja došlo je u sadržaju skroba, čiji je sadržaj smanjen za oko 7% kada je u model smešu dodato 10% jabučnog tropa, odnosno za oko 15% kada je u model smešu dodato 20% jabučnog tropa. Sa druge strane, model smeše koncentrata sa 10 i 20% jabučnog tropa imale su viši sadržaj šećera i sirovih vlakana u odnosu na smešu bez dodatka jabučnog tropa.

### 4.3.1. Deskriptivna statistika parametara procesa peletiranja i fizičkog kvaliteta peleta model smeša koncentrata

Korišćenjem metode deskriptivne statistike za proces peletiranja model smeša koncentrata sa dodatkom osušenog jabučnog tropa, dobijene su osnovne informacije o uticaju različitih udela osušenog jabučnog tropa na parametare procesa peletiranja i kvalitet peleta za svaku od ispitivanih model smeša (tabela 11).

Tabela 11. Deskriptivna statistika parametara fizičkog kvaliteta peleta i parametara procesa peletiranja model smeša koncentrata

Model smeša koncentrata	Deskriptivna statistika	$T_m$ , °C	$E_{sp}$ , kWh/t	UP%	NM, kg/m <sup>3</sup>	H, KH	PDI, %
JT 0	Minimum	40,5	11,43	2,66	543,52	1,35	28,14
	Maksimum	47,7	18,54	7,38	600,371	4,21	78,41
	Srednja vrednost	43,7	14,84	4,06	575,85	3,08	64,81
	St.devijacija	2,6	2,28	1,42	19,64	0,88	17,07
	Varijansa	6,6	5,19	2,02	385,74	0,78	291,36
JT 10	Minimum	42,5	14,26	0	540,61	3,03	50,76
	Maksimum	50,7	21,10	8,07	626,57	5,26	98,88
	Srednja vrednost	45,8	17,41	3,08	588,59	4,50	86,76
	St. devijacija	2,6	2,49	2,35	27,31	0,78	15,38
	Varijansa	6,9	6,18	5,51	745,96	0,61	236,50
JT 20	Minimum	43,5	16,20	0	543,16	3,10	72,99
	Maksimum	52,4	23,29	6,11	630,73	5,40	99,52
	Srednja vrednost	47,2	19,33	1,97	590,85	4,64	94,29
	St. devijacija	2,7	2,32	1,97	28,11	0,79	8,40
	Varijansa	7,5	5,38	3,84	790,44	0,62	70,49

$T_m$  - temperatura matrice pelet prese,  $E_{sp}$  - specifična potrošnja energije pelet prese, UP - udeo prašine u peletama, NM - nasipna masa peleta, H - tvrdoća peleta,  $PDI_{24}$  - indeks otpornosti peleta PDI određen 24h nakon hlađenja, St. devijacija – Standardna devijacija; KH – jedinice Kalove tvrdoće

Na osnovu podataka prikazanih u tabeli 11, uočava se da je povećanje udela osušenog jabučnog tropa u model smešama koncentrata dovelo do poboljšanja fizičkog kvaliteta peleta, odnosno došlo je do povećanja prosečnih vrednosti indeksa otpornosti peleta – PDI, tvrdoće – H, nasipne mase peleta – NM i do smanjenja udela prašine (UP) u peletama. Poboljšanje kvaliteta peleta bilo naročito izraženo u pogledu vrednosti PDI. Pri udelu jabučnog tropa model smešama koncentrata od 10%, prosečna vrednost PDI je povećana za preko 20%, dok je pri udelu jabučnog tropa od 20%, ovo povećanje iznosilo preko 30%. Sa druge strane, dodavanje osušenog

jabučnog tropa u model smeše koncentrata, dovelo je do povećanja temperature matrice i specifične potrošnje energije pelet prese. Prosečno povećanje specifične potrošnje energije pelet prese iznosilo je 17,3% kada je u model smeše koncentrata dodato 10% osušenog jabučnog tropa i 30,2% pri dodatku 20% osušenog jabučnog tropa. Da bi se utvrdile kombinacije procesnih parametara (udela osušenog jabučnog tropa u model smešama koncentrata, debljine matrice pelet prese i početnog sadržaja vlage smeša) koje obezbeđuju dobar kvalitet peleta uz što manju potrošnju energije, pristupilo se daljoj analizi rezultata procesa peletiranja model smeša koncentrata.

#### 4.3.2. Određivanje normalizovanih standardnih ocena – Standard score analiza

Rezultati analize standardnih ocena SS (SS – standard score) dati su u tabeli 12. Korišćenje metode standardne ocene omogućilo je poređenje parametra procesa peletiranja i fizičkog kvaliteta uzoraka peleta koji su dobijeni pri različitim kombinacijama nezavisno promenljivih veličina (udela osušenog jabučnog tropa, debljine matrice i početne vlage smeše), prema potpunom faktorijalnom eksperimentalnom planu. Poređenje pojedinačnih uzoraka peleta je otežano s obzirom na njihov broj, pa je standardna ocena uvedena kao kriterijum za brzu i jednostavnu ocenu, koji je obuhvatio sve ispitivane osobine uzoraka peleta. Iako je standardna ocena relativni indeks i ne predstavlja određeno svojstvo, ona je omogućila rangiranje uzoraka peleta različitih model smeša koncentrata. Najviša moguća ocena u SS analizi je 1,00, dok su u ovom istraživanju vrednosti standardnih ocena (SS) iznad 0,70 bile indikator zadovoljavajućih vrednosti praćenih parametara kvaliteta peleta: indeksa otpornosti (PDI), tvrdoće (H), udela prašine (UP) i nasipne mase peleta (NM), kao i parametara procesa peletiranja - specifične potrošnje energije (Esp) i temperature matrice (Tm) pelet prese. Uzorke peleta sa vrednošću SS manjom od 0,70 karakterisao je lošiji fizički kvalitet ili više vrednosti potrošnje energije i temperature matrice pelet prese.

Analiza standardnih ocena je pokazala da su optimalne vrednosti parametara kvaliteta peleta, specifične potrošnje energije (Esp) i temperature matrice (Tm) pelet prese dobijene za uzorak peleta broj 18 (PDI=97,78%; UP=0%; H=5,12; NM=589,60 kg/m<sup>3</sup>, Esp=17,60 kWh/t; Tm=45,60 °C), odnosno za model smešu koncentrata sa udelom jabučnog tropa od 10%, za debljinu matrice pelet prese od 30 mm i početni sadržaj vlage smeše od 17%. Veoma dobri rezultati u pogledu kvaliteta peleta i parametara procesa peletiranja, postignuti su i za uzorak broj 15, odnosno za

pelete model smeše koncentrata sa 10% jabučnog tropa, dobijene pri debljini matrice od 24 mm i početnom sadržaju vlage smeše od 17%. Takođe, dobri rezultati su postignuti i za uzorak broj 24, odnosno za pelete model smeše koncentrata sa 20% jabučnog tropa, dobijene pri debljini matrice od 24 mm i početnom sadržaju vlage smeše od 17%.

Tabela 12. Rezultati određivanja fizičkog kvaliteta peleta, potrošnje energije, temperature matrice pelet prese i standardnih ocena za uzorke peleta model smeša koncentrata proizvedenih pri različitim procesnim parametrima

	UJT, %	DM, mm	V, %	UP, %	PDI, %	H (KH)	NM, kg/m <sup>3</sup>	Tm, °C	Esp, kWh/t	SS
1	0	18	13	7,38±0,079 <sup>q</sup>	28,14±0,135 <sup>a</sup>	1,35±0,009 <sup>a</sup>	578,45±2,591 <sup>cdef</sup>	40,5±0,5 <sup>a</sup>	11,429±0,096 <sup>a</sup>	0,418
2	0	18	15	4,61±0,049 <sup>o</sup>	45,36±0,222 <sup>b</sup>	2,50±0,013 <sup>b</sup>	580,44±4,906 <sup>cdefg</sup>	41,2±0,3 <sup>a</sup>	14,270±0,062 <sup>c</sup>	0,513
3	0	18	17	4,20±0,029 <sup>m</sup>	64,85±0,353 <sup>d</sup>	3,03±0,008 <sup>c</sup>	543,52±3,792 <sup>a</sup>	41,2±0,2 <sup>a</sup>	13,066±0,046 <sup>b</sup>	0,535
4	0	24	13	4,05±0,027 <sup>l</sup>	69,35±1,176 <sup>e</sup>	2,41±0,014 <sup>b</sup>	596,14±4,242 <sup>ghij</sup>	43,3±0,2 <sup>bc</sup>	13,090±0,147 <sup>b</sup>	0,590
5	0	24	15	2,90±0,024 <sup>h</sup>	70,38±0,338 <sup>ef</sup>	3,51±0,038 <sup>d</sup>	588,36±8,044 <sup>efgh</sup>	43,8±0,5 <sup>cd</sup>	15,449±0,119 <sup>e</sup>	0,607
6	0	24	17	3,25±0,019 <sup>i</sup>	78,20±0,594 <sup>j</sup>	4,21±0,037 <sup>h</sup>	555,970±4,123 <sup>ab</sup>	43,2±0,2 <sup>bc</sup>	14,080±0,093 <sup>c</sup>	0,613
7	0	30	13	4,33±0,039 <sup>n</sup>	78,41±0,620 <sup>j</sup>	3,11±0,017 <sup>c</sup>	600,371±1,174 <sup>hijk</sup>	47,7±0,2 <sup>kl</sup>	17,451±0,157 <sup>h</sup>	0,518
8	0	30	15	3,18±0,026 <sup>i</sup>	71,91±0,683 <sup>fg</sup>	3,62±0,008 <sup>e</sup>	583,370±2,797 <sup>defg</sup>	47,1±0,2 <sup>ijk</sup>	18,540±0,138 <sup>i</sup>	0,510
9	0	30	17	2,66±0,037 <sup>g</sup>	76,71±0,494 <sup>ij</sup>	3,95±0,029 <sup>fg</sup>	556,061±4,415 <sup>ab</sup>	45,1±0,5 <sup>efgh</sup>	16,219±0,120 <sup>f</sup>	0,554
10	10	18	13	8,07±0,090 <sup>r</sup>	50,76±0,229 <sup>c</sup>	3,03±0,007 <sup>c</sup>	568,200±2,916 <sup>bcd</sup>	44,4±0,3 <sup>cdef</sup>	14,890±0,170 <sup>d</sup>	0,400
11	10	18	15	4,50±0,012 <sup>o</sup>	75,15±0,380 <sup>hi</sup>	3,87±0,036 <sup>f</sup>	573,422±1,976 <sup>cde</sup>	43,6±0,4 <sup>bc</sup>	16,385±0,072 <sup>f</sup>	0,561
12	10	18	17	3,37±0,044 <sup>j</sup>	93,48±0,735 <sup>l</sup>	3,93±0,018 <sup>f</sup>	540,610±1,318 <sup>a</sup>	42,5±0,3 <sup>b</sup>	14,260±0,074 <sup>c</sup>	0,611
13	10	24	13	3,85±0,034 <sup>k</sup>	84,02±0,192 <sup>k</sup>	4,14±0,043 <sup>h</sup>	604,552±8,617 <sup>ijkl</sup>	47,0±0,5 <sup>ijk</sup>	16,858±0,192 <sup>g</sup>	0,608
14	10	24	15	1,98±0,020 <sup>f</sup>	93,14±0,874 <sup>l</sup>	4,90±0,023 <sup>j</sup>	609,820±2,669 <sup>ijkl</sup>	46,0±0,4 <sup>ghi</sup>	19,150±0,043 <sup>j</sup>	0,690
<b>15</b>	<b>10</b>	<b>24</b>	<b>17</b>	<b>1,54±0,007<sup>e</sup></b>	<b>98,88±0,408<sup>op</sup></b>	<b>5,16±0,027<sup>l</sup></b>	<b>571,722±4,069<sup>bed</sup></b>	<b>44,3±0,2<sup>cde</sup></b>	<b>15,580±0,094<sup>e</sup></b>	<b>0,726</b>
16	10	30	13	3,19±0,033 <sup>i</sup>	93,47±0,701 <sup>l</sup>	5,06±0,042 <sup>k</sup>	626,570±1,542 <sup>mn</sup>	50,7±0,2 <sup>n</sup>	21,100±0,082 <sup>l</sup>	0,610
17	10	30	15	1,24±0,016 <sup>d</sup>	94,14±0,675 <sup>lm</sup>	5,26±0,046 <sup>m</sup>	612,802±7,948 <sup>klm</sup>	48,6±0,4 <sup>lm</sup>	20,842±0,207 <sup>l</sup>	0,667
<b>18</b>	<b>10</b>	<b>30</b>	<b>17</b>	<b>0,00±0,000<sup>a</sup></b>	<b>97,78±1,460<sup>no</sup></b>	<b>5,12±0,042<sup>kl</sup></b>	<b>589,600±2,300<sup>fghi</sup></b>	<b>45,6±0,5<sup>fgh</sup></b>	<b>17,600±0,134<sup>h</sup></b>	<b>0,740</b>
19	20	18	13	6,11±0,056 <sup>p</sup>	72,99±0,729 <sup>gh</sup>	3,10±0,015 <sup>c</sup>	564,506±3,743 <sup>bc</sup>	46,3±0,4 <sup>hij</sup>	17,524±0,179 <sup>h</sup>	0,420
20	20	18	15	3,38±0,033 <sup>j</sup>	95,90±0,567 <sup>mn</sup>	4,18±0,021 <sup>h</sup>	572,410±6,935 <sup>cde</sup>	44,9±0,1 <sup>defg</sup>	18,460±0,129 <sup>i</sup>	0,593
21	20	18	17	3,14±0,020 <sup>i</sup>	99,42±1,429 <sup>q</sup>	4,31±0,009 <sup>i</sup>	543,156±5,989 <sup>a</sup>	43,5±0,6 <sup>bc</sup>	16,201±0,061 <sup>f</sup>	0,619
22	20	24	13	1,88±0,013 <sup>f</sup>	93,80±0,800 <sup>lm</sup>	4,04±0,011 <sup>g</sup>	605,220±3,535 <sup>ijkl</sup>	49,0±0,6 <sup>m</sup>	19,480±0,150 <sup>j</sup>	0,603
23	20	24	15	0,76±0,002 <sup>b</sup>	99,52±0,467 <sup>p</sup>	5,07±0,017 <sup>kl</sup>	603,354±4,863 <sup>hijk</sup>	47,3±0,7 <sup>jk</sup>	19,934±0,173 <sup>k</sup>	0,696

	UJT, %	DM, mm	V, %	UP, %	PDI, %	H (KH)	NM, kg/m <sup>3</sup>	Tm, °C	Esp, kWh/t	SS
<b>24</b>	<b>20</b>	<b>24</b>	<b>17</b>	<b>1,29±0,010<sup>d</sup></b>	<b>97,370±0,927<sup>no</sup></b>	<b>5,380±0,037<sup>n</sup></b>	<b>578,630±9,458<sup>cddef</sup></b>	<b>45,4±0,4<sup>efgh</sup></b>	<b>17,510±0,143<sup>h</sup></b>	<b>0,707</b>
25	20	30	13	1,12±0,007 <sup>c</sup>	99,128±0,515 <sup>op</sup>	4,960±0,061 <sup>j</sup>	630,726±6,984 <sup>n</sup>	52,4±0,4 <sup>o</sup>	23,286±0,118 <sup>n</sup>	0,614
26	20	30	15	0,00±0,000 <sup>a</sup>	98,320±0,646 <sup>op</sup>	5,400±0,034 <sup>n</sup>	619,640±5,299 <sup>lmn</sup>	49,7±0,4 <sup>mn</sup>	22,470±0,065 <sup>m</sup>	0,682
<b>27</b>	<b>20</b>	<b>30</b>	<b>17</b>	<b>0,00±0,000<sup>a</sup></b>	<b>92,146±0,678<sup>l</sup></b>	<b>5,335±0,048<sup>mn</sup></b>	<b>599,996±4,857<sup>hijk</sup></b>	<b>46,4±0,3<sup>hij</sup></b>	<b>19,094±0,173<sup>j</sup></b>	<b>0,723</b>
Polaritet				-	+	+	+	-	-	

UJT-udeo jabučnog tropa u smešama; Tm-temperatura matrice pelet prese; Esp-specifična potrošnja energije pelet prese; PDI-indeks otpornosti peleta; H-tvrdoća peleta; UP-udeo prašine u peletama; NM-nasipna masa peleta; DM-debljina matrice pelet prese; M-početna vlaga smeše; SS - standardna ocena; KH –jedinice Kalove tvrdoće;

Različita slova u istoj koloni označavaju da su vrednosti statistički značajne za  $p < 0,05$

Polaritet: ‘+’ = kriterijum–“veće je bolje”, ‘-’ = kriterijum–“manje je bolje”

Na osnovu rezultata prikazanih u tabeli 12 može se zaključiti da je fizički kvalitet peleta model smeša koncentrata bez dodatka osušenog jabučnog tropa bio dosta lošiji u odnosu na pelete sa dodatkom osušenog jabučnog tropa. Pelete model smeša koncentrata sa 10 i 20% osušenog jabučnog tropa imale su vrednost PDI iznad 70%, kao i nizak udeo prašine i veću tvrdoću u odnosu na pelete model smeše koja nije sadržala osušeni jabučni trop. Najniža vrednost PDI iznosila je 28,15% i utvrđena je kod peleta model smeše koncentrata bez osušenog jabučnog tropa, proizvedenih pri debljini matrice od 18 mm i pri početnom sadržaju vlage smeše od 13%. Sa druge strane, najviša vrednost PDI iznosila je 99,52% i utvrđena je za pelete model smeša koncentrata sa udelom osušenog jabučnog tropa od 20%, pri debljini matrice od 24 mm i početnom sadržaju vlage smeše od 15%. Dobijeni rezultati mogu se objasniti povećanim sadržajem vlakana i šećera u model smešama sa osušanim jabučnim tropom, s obzirom na to da ovi sastojci mogu imati značajnu ulogu u povezivanju čestica u procesu peletiranja. Kako navode *Loar II & Corzo (2011)*, prisustvo vlakana rastvorljivih u vodi može povećati viskozitet materijala koji se peletira, odnosno njihovim rastvaranjem nastaju viskozne oblasti u materijalu koje deluju kao punjenje koje oblaže čestice peleta i omogućava njihovo međusobno povezivanje, što dovodi do poboljšanja tvrdoće i otpornosti peleta na abraziju. Stepem rastvorenosti vlakana zavisi od procesnih uslova, odnosno od temperature, vlage i pritiska. Sa druge strane, pozitivan uticaj prisustva nerastvornih vlakana ogleda se u njihovom preplitanju i savijanju oko čestica i stvaranju stabilne strukture peleta (*Thomas et al., 1998*). Rezultati istraživanja koja su sprovedli *Zimonja et al. (2008)* i *Buchanan & Moritz (2009)* su pokazali da se dodavanjem sirovina sa visokim sadržajem vlakana ili sirove celuloze u smeše za ishranu životinja, može poboljšati kvalitet peleta. *Zimonja et al. (2008)* su utvrdili da je pri dodavanju 14% fino mlevene ljuske ovsa u smeše za ishranu brojlera, došlo do povećanja vrednosti PDI. Nasuprot tome, do smanjenja kvaliteta peleta došlo je u istraživanju *Buchanan and Moritz (2009)* kada je u smešu dodato 2 i 4% grubo mlevene ljuske ovsa u smešu za ishranu brojlera na bazi kukuruza i sojine sačme. Sa druge strane, u navedenom istraživanju je dodavanje 5% čiste celuloze u istu smešu, dovelo do povećanja vrednosti PDI, nasipne mase i smanjenja udela prašine u peletama. Na osnovu prethodno navedenog, može se zaključiti da ne samo količina, već i oblik u kojem se nalaze dodata sirova vlakna (čista celuloza ili sirovina sa visokim sadržajem vlakana, fino ili grubo mlevenje) utiču na fizički kvalitet peleta. U istraživanju u okviru ove doktorske disertacije fizički kvalitet peleta je značajno poboljšán, iako nije primenjeno fino



mlevenje osušenog jabučnog tropa, što navodi na zaključak da je i prisustvo šećera u smešama doprinelo poboljšanju kvaliteta peleta. Kao i kod peletiranja osušenog jabučnog tropa, i u ovom slučaju se može pretpostaviti da se deo šećera rastvorio tokom procesa peletiranja, usled čega je došlo do formiranja čvrsto - čvrsto veza (čvrstih mostova) između čestica peleta, usled rekristalizacije šećera tokom hlađenja.

Dodavanje osušenog jabučnog tropa u model smeše koncentrata, dovelo je do povećanja temperature i potrošnje energije u procesu peletiranja (tabela 12). Kao što je već rečeno, pri povećanju udela jabučnog tropa u model smešama koncentrata na 10%, odnosno na 20%, prosečno povećanje specifične potrošnje energije pelet prese iznosilo je 17,3%, odnosno 30,2%. Ovakvi rezultati se takođe mogu objasniti povećanim sadržajem vlakana u model smešama koncentrata sa osušenim jabučnim topom, koja su dovela do većeg otpora materijala kompresiji i povećanja trenja u kanalima matrice pelet prese.

Na osnovu rezultata prikazanih u tabeli 12, može se zaključiti da su najbolji rezultati u pogledu fizičkog kvaliteta peleta, odnosno u pogledu vrednosti indeksa otpornosti – PDI, tvrdoće, nasipne mase i udela prašine u peletama, dobijeni za uzorke proizvedene pri većim vrednostima debljine matrice pelet prese. Generalno, veća debljina matrice znači duže zadržavanje materijala pod dejstvom mehaničkog pritiska u kanalima matrice, što omogućava bolje povezivanje između čestica u peletama (*Behnke, 2001a*). Pozitivan uticaj povećanja debljine matrice pelet prese na vrednost PDI potvrđen je u istraživanjima koja su sproveli *Stark (2009)* i *Miladinović & Svihus (2005)*. Povećanje debljine matrice u istraživanju *Čolović et al. (2010)* dovelo je do povećanja tvrdoće peleta, dok značajan uticaj na vrednost PDI nije zabeležen. Takođe, može se pretpostaviti da je u ovom istraživanju duže vreme zadržavanja materijala u kanalima matrice pelet prese, tokom kojeg je material bio izložen silama trenja, smicanja i pritiska, dovelo do omekšavanja nerastvornih vlakana, kao i do boljeg rastvaranja šećera i rastvornih vlakana, što je doprinelo povezivanju čestica u peletama i dovelo do poboljšanja fizičkog kvaliteta peleta.

Dobijene vrednosti ispitivanih parametara procesa peletiranja model smeša koncentrata pokazali su da je povećanje početnog sadržaja vlage smeše dovelo do poboljšanja kvaliteta peleta, kao i do smanjenja potrošnje energije i temperature matrice pelet prese. U istraživanju koje su sproveli *Fairchild and Greer (1999)*, pri povećanju početnog sadržaja vlage smeše za 3% dodavanjem vode u mešalicu, došlo je do značajnog povećanja PDI vrednosti, i smanjenja potrošnje energije

u procesu peletiranja. Sličan efekat primećen je u istraživanju koje su sprovedeli *Moritz et al. (2003)*, prilikom dodavanja 2,5 i 5% vode u smeše za ishranu brojlera. Kako navode *Fairchild & Greer (1999)* pozitivan efekat povećanja početnog sadržaja vlage smeše za peletiranje na kvalitet peleta bio je veći kada je voda dodavana u tečnom obliku u mešalicu, u odnosu na dodavanje u vidu pare tokom kondicioniranja. Rezultati ovog istraživanja navode na zaključak da je povećanje početnog sadržaja vlage smeše dovelo do delimičnog rastvaranja rastvornih vlakana, narušavanja strukture nerastvornih vlakana i do povećane rastvorljivosti šećera, što je značajno doprinelo poboljšanju kvaliteta peleta. Sa druge strane, povećanje debljine matrice pelet prese dovelo je do povećanja temperature matrice i potrošnje energije pelet prese. Ovaj rezultat je u skladu sa rezultatima istraživanja *Čolović et al. (2010)*. Povećanje sadržaja vlage umanjilo je ovaj efekat usled lubrikativnog dejstva vlage u kanalima matrice i omekšavanja smeše.

U tabeli 13 prikazana je matrica korelacija između parametara fizičkog kvaliteta peleta model smeša koncentrata i parametara procesa peletiranja - temperature matrice i specifične potrošnje energije pelet prese. Podaci u tabeli pokazuju da je udeo prašine u peletama (UP) bio u negativnoj korelaciji sa vrednosti PDI, tvrdoćom peleta (H), temperaturom matrice (Tm), specifičnom potrošnjom energije pelet prese (Esp) i standardnom ocenom (SS), statistički značajno na nivou  $p < 0,01$ , kao i u negativnoj korelaciji sa nasipnom masom peleta (NM), statistički značajno na nivou  $p < 0,05$ . PDI vrednost bila je u pozitivnoj korelaciji sa tvrdoćom peleta (H), temperaturom matrice (Tm), specifičnom potrošnjom energije pelet prese (Esp) i SS. Tvrdoća peleta (H) je takođe bila u pozitivnoj korelaciji sa temperaturom matrice (Tm), specifičnom potrošnjom energije pelet prese (Esp) i SS, statistički značajno na nivou  $p < 0,01$ . Tvrdoća peleta (H) je bila u pozitivnoj korelaciji sa nasipnom masom peleta (NM), statistički značajno na nivou  $p < 0,05$ . Nasipna masa peleta (NM) bila je u pozitivnoj korelaciji sa temperaturom matrice (Tm), specifičnom potrošnjom energije pelet prese (Esp), na statistički značajnom nivou od  $p < 0,01$ . Temperatura matrice (Tm) i specifična potrošnja energije pelet prese (Esp) bile su u pozitivnoj korelaciji, statistički značajno na nivou  $p < 0,01$ , dok su specifična potrošnja energije pelet prese (Esp) i standardna ocena (SS) bile u pozitivnoj korelaciji, statistički značajnoj na nivou  $p < 0,05$ .

Tabela 13. Korelacije između fizičkih karakteristika peleta i parametara procesa peletiranja model smeša koncentrata

	<b>PDI, %</b>	<b>H (KH)</b>	<b>NM, kg/m<sup>3</sup></b>	<b>Tm, °C</b>	<b>Esp, kWh/t</b>	<b>SS</b>
<b>UP %</b>	-0,801 <sup>+</sup>	-0,848 <sup>+</sup>	-0,426 <sup>*</sup>	-0,504 <sup>+</sup>	-0,636 <sup>+</sup>	-0,917 <sup>+</sup>
	p=0,000	p=0,000	p=0,027	p=0,007	p=0,000	p=0,000
<b>PDI, %</b>		0,887 <sup>+</sup>	0,275	0,588 <sup>+</sup>	0,680 <sup>+</sup>	0,801 <sup>+</sup>
		p=0,000	p=0,165	p=0,001	p=0,000	p=0,000
<b>H</b>			0,385 <sup>*</sup>	0,610 <sup>+</sup>	0,737 <sup>+</sup>	0,846 <sup>+</sup>
			p=0,048	p=0,001	p=0,000	p=0,000
<b>NM, kg/m<sup>3</sup></b>				0,778 <sup>+</sup>	0,726 <sup>+</sup>	0,333 <sup>**</sup>
				p=0,000	p=0,000	p=0,090
<b>Tm, °C</b>					0,931 <sup>+</sup>	0,313
					p=0,000	p=0,112
<b>Esp, kWh/t</b>						0,447 <sup>*</sup>
						p=0,019

<sup>+</sup>Statistički značajan na nivou p<0,01, <sup>\*</sup>Statistički značajan na nivou p<0,05,

<sup>\*\*</sup>Statistički značajan na nivou p<0,10 članovi koji nisu obeleženi nisu statistički značajni

KH – jedinice Kalove tvrdoće

### 4.3.3. Analiza glavnih komponentata (PCA)

U ovom istraživanju, korišćena je analiza glavnih komponentata (Principal Component Analysis - PCA), za prikazivanje i grupisanje rezultata u faktorskoj ravni, na osnovu rezultata eksperimentalnih merenja. Ova metoda se često koristi za vizualizaciju podataka i lakšu analizu. PCA je višeparametarska matematička metoda u kojoj se ispituje korelacija između promenljivih i na osnovu toga se broj promenljivih smanjuje, a određuju se nove, faktorske koordinate. Ove transformacije (preslikavanja) koordinata se izvode tako da prva faktorska koordinata pokriva najveću moguću varijansu sistema, a analiza se koristi da se obezbedi najveće moguće razdvajanje između grupa (klastera) koje definišu promenljive. Ova metoda prepoznavanja sličnosti među grupama uzoraka se ovde koristi za karakterizaciju i razdvajanje uzoraka na osnovu uočenih osobina uzoraka (tj. na osnovu eksperimentalnih merenja svih promenljivih veličina koje se pripisuju određenom uzorku). Korišćenjem PCA metode, uzorci peleta model smeša koncentrata mogu da se identifikuju na osnovu kvaliteta dobijenog proizvoda, pa ovakav pristup, koji podrazumeva međuzavisnosti između promenljivih, omogućava razlikovanje uzoraka dobijenih pri različitim procesnim parametrima.

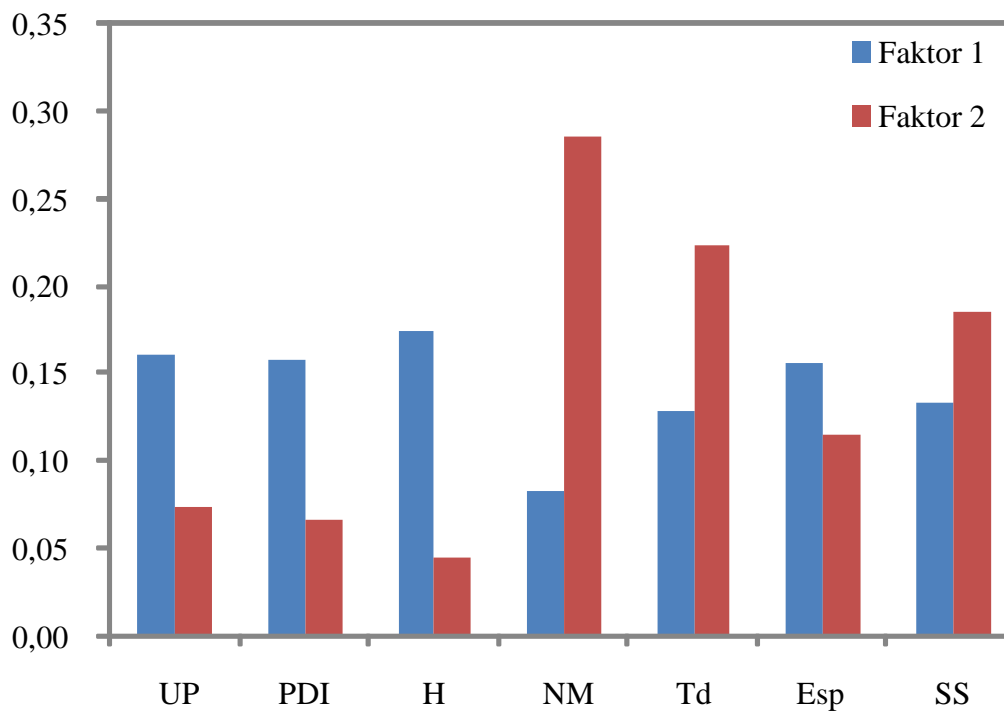
Osnovni cilj PCA je izdvajanje nekoliko osnovnih komponenti, koje opisuju u najvećem obimu različitosti između različitih uzoraka peleta. PCA omogućava značajno smanjenje broja promenljivih i otkrivanje strukture u odnosu između merenih parametara različitih uzoraka peleta model smeša koncentrata i primenjenih procesnih parametara, što daje sveobuhvatniju sliku kako se proces peletiranja odigrava. Uzorci peleta proizvedeni su od različitih model smeša koncentrata, pri različitim debljinama matrice pelet prese i pri različitom početnom sadržaju vlage smeša, kao što je objašnjeno u dizajnu eksperimenta (u poglavlju Materijali i metode) i predviđeno grafikonom PCA analize (slika 23). Celokupna matrica merenih vrednosti, koja se sastoji od rezultata merenih veličina za pelete model smeše koncentrata dobijenih pri različitim procesnim parametrima, je "autoskalirana" i analizirana pomoću PCA. Auto - skaliranje" se vrlo često koristi za višeparametarsko poređenje različitih kompleksnih uzoraka, pri čemu se uzorci ocenjuju (rangiraju) na osnovu srednje vrednosti i standardne devijacije grupe uzoraka. Pošto jedinice, kao ni skale različitih promenljivih koje opisuju poređene uzorke hrane nisu iste, potrebno je transformisati podatke svih merenja u tzv. standardne ocene, bezdimenzionalne

vrednosti koje se dobijaju iz srednje vrednosti eksperimentalnih (merenih) vrednosti određene veličine za dati uzorak, podeljene sa standardnom devijacijom grupe uzoraka, prema jednačini:

$$\text{Standardna ocena} = (x - \mu)/\sigma \quad (9)$$

pri čemu je  $x$  mereni podatak,  $\mu$  srednja vrednost grupe podataka, i  $\sigma$  standardna devijacija.

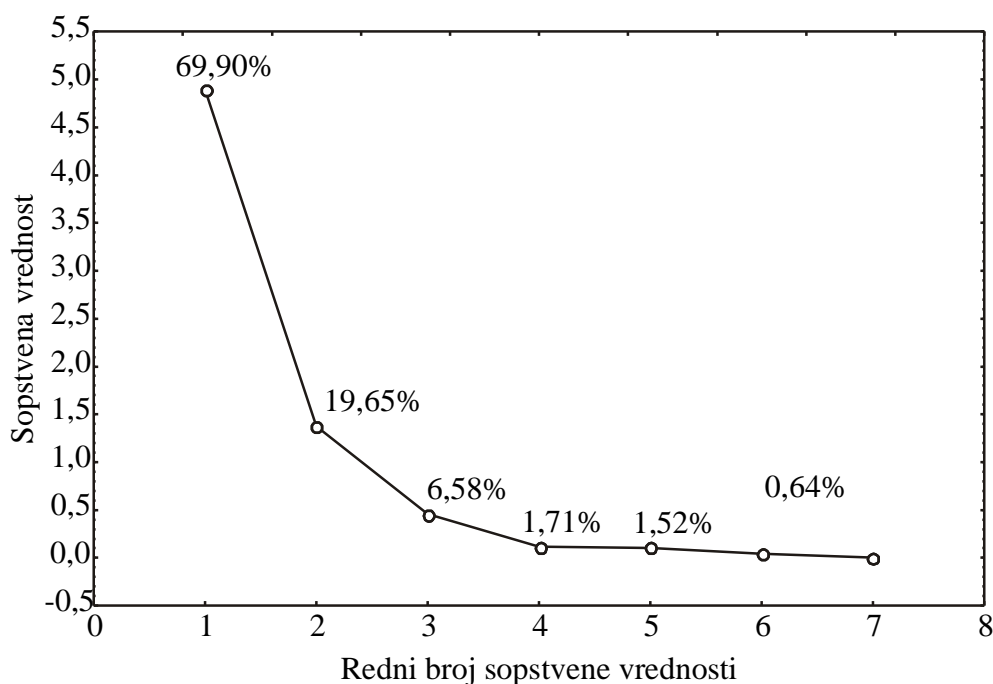
PCA analiza je obuhvatila 7 osobina parametara kvaliteta peleta i procesa peletiranja. Doprinos promenljivih UP (udela prašine u peletama), PDI (indeksa otpornosti peleta), H (tvrdoće peleta), NM (nasipne mase peleta), Tm (temperature matrice pelet prese) i Esp (specifične potrošnje energije pelet prese) na izračunavanje faktorskih koordinata prikazan je na slici 21. Na izračunavanje prve faktorske koordinate (PC1) najveći uticaj imali su: tvrdoća peleta (H) (17,5% od ukupne varijanse, računata na osnovu korelacija promenljivih), udeo prašine u peletama (UP) (16,2%), PDI (15,8%) i specifična potrošnja energije pelet prese (Esp) (15,7%), dok su uticaji standardne ocene (SS) (13,4%) i temperature matrice pelet prese (Tm) (12,9%), bili nešto niži. Na izračunavanje druge faktorske koordinate (PC2) najveći uticaj imali su: nasipna masa peleta (NM) (28,7% od ukupne varijanse), standardna ocena (SS) (18,6%), temperatura matrice pelet prese (Tm) (12,9%) i specifična potrošnja energije pelet prese (Esp) (11,6%).



Slika 21. Doprinos promenljivih na izračunavanje faktorskih koordinata

UP-udeo prašine u peletama, PDI (indeks otpornosti peleta), H-tvrdoća peleta, NM-nasipna masa peleta, Tm-temperatura matrice pelet prese, Esp-specifična potrošnja energije pelet prese, SS-standardna ocena

Na slici 22 prikazane su sopstvene vrednosti matrice eksperimentalnih vrednosti (engl. Eigenvalues). Na osnovu Kajzerovog pravila smatra se da su sopstvene vrednosti iznad 1 statistički značajne, a vrednost varijanse koju svaka od sopstvene vrednosti opisuje je prikazana procentom na ovom dijagramu. Na slici 28 se može videti da su izdvojene 2 PC komponente čija je sopstvena vrednost bila veća od 1, a koje objašnjavaju 89,55% ukupne varijabilnosti podataka (slika 22).



Slika 22. Broj sopstvenih vrednosti matrice, sopstvene veličine i procenat varijanse koju opisuje svaka od sopstvenih vrednosti

Grafički prikaz eksperimentalnih vrednosti fizičkih parametara kvaliteta peleta model smeša koncentrata, specifične potrošnje energije pelet prese i temperature matrice pelet prese i položaj posmatranih uzoraka peleta u faktorskoj ravni, dati su na slici 23.

Tačke prikazane u PCA grafiku, koji su geometrijski blizu jedne drugima, ukazuju na sličnost uzoraka koji su predstavljeni ovim tačkama. Orijentacija vektora opisuje promenljivu u faktorskom prostoru i ukazuje na trend rasta ovih promenljivih, a dužina vektora je

proporcionalna vrednosti kvadrata korelacije između vrednosti promenljive i same promenljive. Uglovi između odgovarajućih promenljivih ukazuju na stepen njihove korelacije (mali uglovi odgovaraju visokom stepenu korelacije).

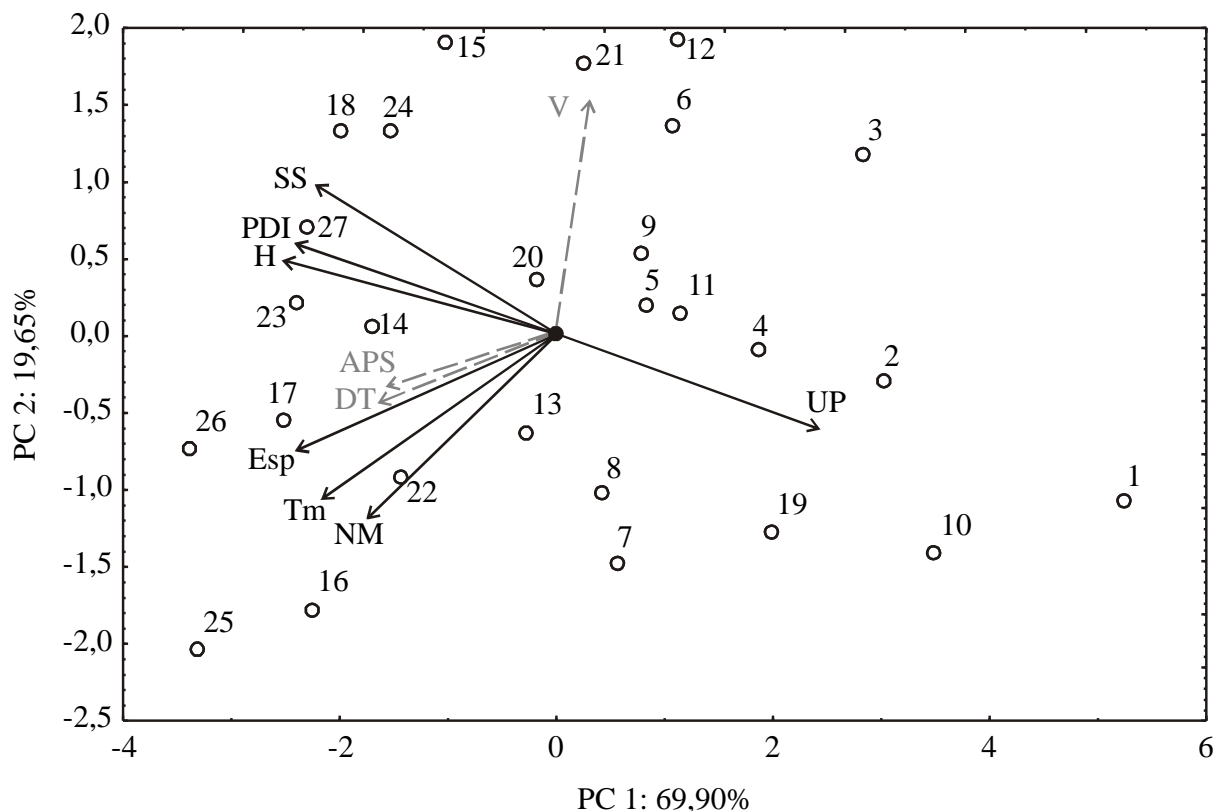
Slika 23 pokazuje da su uzorci 1, 2, 10 i 19 imali najveću vrednost udela prašine, što se može objasniti činjenicom da su ovi uzorci peleta proizvedeni pri najmanjoj debljini matrice i najmanjem početnom sadržaju vlage smeše (tabela 12). Nizak početni sadržaj vlage smeše mogao je usloviti nedovoljno omekšavanje vlakana i rastvaranje šećera u uzorcima sa osušenim jabučnim tropom, što je uslovilo njihovu veću abraziju i pojavu prašine.

Uzorci 16, 25 i 26 imali su najveće vrednosti nasipne mase (NM), temperature matrice ( $T_m$ ) i specifične potrošnje energije pelet prese (Esp). Ovakav rezultat je bio očekivan, s obzirom na to da su navedeni uzorci sadržali 10 ili 20% osušenog jabučnog tropa, kao i da su proizvedeni pri najvećoj debljini matrice pelet prese pri i nižem početnom sadržaju vlage model smeša koncentrata. Naime, veća debljina matrice uslovlila je duže zadržavanje materijala u kanalima matrice, što je dovelo do veće sabijanosti materijala i posledično, do povećanja nasipne mase peleta. Sa druge strane, prisustvo osušenog jabučnog tropa u ovim uzorcima, kao i duže zadržavanje materijala u kanalima matrice i niži sadržaj vlage u model smešama, uslovlili su povećanje intenziteta sila trenja u kanalima matrice, što je rezultiralo povećanjem temperature matrice i specifične potrošnje energije pelet prese.

Uzorci 15, 18, 24 i 27 imali su najveće vrednosti indeksa otpornosti (PDI), tvrdoće (H) i standardne ocene (SS), što se može objasniti činjenicom da su ovi uzorci sadržali 10 ili 20% osušenog jabučnog tropa, koji je pozitivno uticao na kvalitet peleta, kao i činjenicom da su proizvedeni pri većim vrednostima debljine matrice pelet prese i početnog sadržaju vlage model smeša koncentrata (tabela 12).

Na slici 23 se može videti da su nasipna masa (NM), temperatura matrice ( $T_m$ ) i specifična potrošnja energije pelet prese (Esp) bili u pozitivnoj korelaciji, imajući u vidu pravce vektora koji opisuju trendove ovih promenljivih u faktorskoj ravni. Do istog rezultata došlo se i analizom korelacija (tabela 13). Indeks otpornosti peleta (PDI) i tvrdoća peleta (H), takođe su bili u pozitivnoj korelaciji, što se u saglasnosti sa rezultatima istraživanja koja je sproveo *Vukmirović (2015)*. Sa druge strane udeo prašine u peletama (UP) bio je u negativnoj korelaciji sa PDI, H i

SS, što je bilo i očekivano, s obzirom da manji udeo prašine znači bolji kvalitet peleta, odnosno veću tvrdoću i otpornost peleta na abraziju i lomljenje.



Slika 23. PCA dijagram procesa peletiranja model smeša koncentrata

UJT-udeo jabučnog tropa u model smešama koncentrata; Tm-temperatura matrice pelet prese; Esp-specifična potrošnja energije pelet prese; PDI – indeks otpornosti peleta; H - tvrdoća peleta; UP - udeo prašine u peletama; NM - nasipna masa peleta; DM - debljina matrice pelet prese; V - početna vlaga model smeša koncentrata

Sa slike 23 se takođe može videti da su procesne veličine - udeo jabučnog tropa u model smešama koncentrata (UJT) i debljina matrice pelet prese (DM), bile u pozitivnoj korelaciji sa nasipnom masom peleta (NM), temperaturom matrice pelet prese (Tm) i specifičnom potrošnjom energije pelet prese (Esp), što je takođe u skladu sa matricom korelacija (tabela 13). To znači da pri povećanju udela osušenog jabučnog tropa u model smešama koncentrata i pri povećanju debljine matrice pelet prese dolazi do povećanja nasipne mase peleta (NM), kao i do povećanja potrošnje energije pelet prese i temperature matrice pelet prese. Sa druge strane pozitivna korelacija između udela osušenog jabučnog tropa u model smešama koncentrata (UJT) i debljine matrice pelet prese (DM) sa tvrdoćom peleta (H), indeksom otpornosti peleta (PDI) i standardnom ocenom (SS), znači da pri povećanju udela osušenog jabučnog tropa u model



smešama koncentrata i pri povećanju debljine matrice pelet prese, dolazi do poboljšanja fizičkog kvaliteta peleta.

#### 4.3.4. Metoda odzivnih površina (RSM) i ANOVA

Primenom metode odzivne površine (RSM) i ANOVA-e ispitivan je uticaj procesnih promenljivih (udela osušenog jabučnog tropa u model smešama koncentrata, početnog sadržaja vlage model smeša i debljine matrice pelet prese) na promenu fizičkog kvaliteta peleta model smeša koncentrata i parametara procesa peletiranja – temperature matrice i specifične potrošnje energije pelet prese. U okviru ANOVA-e ispituje se uticajnost parametara na formiranje SOP modela (modela polinoma drugog stepena) (jednačina 6), kao i statistička značajnost svakog od članova polinoma (koja se izražava preko p vrednosti).

U tabeli 14 prikazana je ANOVA kalkulacija razvijenog SOP modela za odzive udela prašine u peletama (UP), indeksa otpornosti peleta (PDI), tvrdoće peleta (H), nasipne mase peleta (NM), temperature matrice pelet prese (Tm) i specifične potrošnje energije pelet prese (Esp) za proces peletiranja model smeša koncentrata.

Na osnovu podataka prikazanih u tabeli 14, može se zaključiti da su u SOP modelu za izračunavanje udela prašine u peletama (UP) najveći uticaj imali linearni član debljine matrice pelet prese (DM), linearni član početnog sadržaja vlage model smeše koncentrata (V) i linearni član udela osušenog jabučnog tropa u model smešama koncentrata (UJT), kao i kvadratni član debljine matrice pelet prese (DM), statistički značajno na nivou  $p < 0,01$ .

Za izračunavanje vrednosti PDI u SOP modelu, najveći uticaj imali su linearni član udela osušenog jabučnog tropa u model smešama koncentrata (UJT), linearni član debljine matrice pelet prese (DM) i linearni član početnog sadržaja vlage model smeše koncentrata (V), kao i kvadratni članovi DM i UJT, statistički značajno na nivou  $p < 0,01$ . Članovi proizvoda UJT x DM i DM x V imali su, takođe, statistički značajan uticaj na predikciju vrednosti PDI ( $p < 0,01$ ).

Najznačajniji uticaj u SOP modelu za izračunavanje tvrdoće peleta (H) imali su linearni članovi udela osušenog jabučnog tropa u model smešama koncentrata (UJT), debljine matrice pelet prese (DM) i početnog sadržaja vlage model smeše koncentrata (V) (statistički značajno na nivou  $p < 0,01$ ), kao i kvadrati ovih promenljivih ( $p < 0,01$ ) i član proizvoda DM x V, takođe statistički značajno na nivou  $p < 0,01$ .

Najznačajniji uticaj u SOP modelu za izračunavanje nasipne mase peleta (NM) imali su linearni članovi udela osušenog jabučnog tropa u model smešama koncentrata (UJT), debljine matrice pelet prese (DM) i početnog sadržaja vlage model smeša (V) (statistički značajno na nivou  $p < 0,01$ ), kao i kvadrati promenljivih DM i V ( $p < 0,01$ ) i član proizvoda UJT x DM, takođe statistički značajno na nivou  $p < 0,01$ .

Najznačajniji uticaj u SOP modelu za izračunavanje Tm imali su linearni članovi udela osušenog jabučnog tropa u model smešama koncentrata (UJT), debljine matrice pelet prese (DM) i početnog sadržaja vlage model smeša (V) (statistički značajno na nivou  $p < 0,01$ ), kao i nelinearni članovi proizvoda UJT x V i DM x V, statistički značajno na nivou  $p < 0,01$ .

Najznačajniji uticaj u SOP modelu za izračunavanje specifične potrošnje energije pelet prese (Esp) imali su linearni članovi udela osušenog jabučnog tropa u model smešama koncentrata (UJT), debljine matrice pelet prese (DM) i početnog sadržaja vlage model smeša (V) (statistički značajno na nivou  $p < 0,01$ ), kao i kvadratni članovi DM i V i nelinearni članovi proizvoda UJT x V i DM x V, statistički značajno na nivou  $p < 0,01$ .

Tabela 15 prikazuje rezultate rezidualne analize, koja je urađena da bi se potvrdila pretpostavka da razlike između eksperimentalnih i izračunatih vrednosti zadovoljavaju kriterijum homogenosti varijanse, tj. da su ove razlike nezavisne, da imaju normalnu raspodelu i da je srednja vrednost razlika bliska nuli. Srednje vrednosti razlika za odzive UP, PDI, H, NM, TM i Esp bile su oko 0, a standardne devijacije razlika, kao i varijansa razlika takođe su bile bliske 0. Ovakvi rezultati pokazuju da je model na odgovarajući način predstavlja eksperimentalne podatke procesa peletiranja model smeša koncentrata, pošto su rezidualne vrednosti pokazale dobro poklapanje sa normalnom raspodelom, oko nulte srednje vrednosti, u okviru granice poverenja od 95%. Dobre osobine za generalizaciju modela pokazane su parametrima Skew. (engl. Skeweness - krivljenje), koja predstavlja odstupanje od normalne raspodele i Kurt. (Kurtosis), koji predstavlja odstupanje od "nazubljenosti" normalne raspodele.

Niske vrednosti parametara  $\chi^2$ , RMSE, MBE i MPE, kao i visoka vrednost koeficijenta determinacije ( $r^2$ ), prikazane u tabeli 15 ukazuju na pouzdanu predikciju UP, PDI, H, NM, Tm i Esp za proces peletiranja jabučnog tropa, na osnovu modela prikazanog u tabeli X i na dobro poklapanje vrednosti dobijenih ovim modelom sa eksperimentalnim rezultatima.

Tabela 14. Analiza varijanse (ANOVA) modela odziva za parametre fizičkog kvaliteta peleta (UP, PDI, H, NM, Tm i Esp), temperature matice pelet prese i specifične potrošnje energije pelet prese (Tm i Esp) u procesu peletiranja model smeša koncentrata

	df	UP	F	p	PDI	F	p	H	F	p	NM	F	p	TM	F	p	Esp	F	p
<b>UJT</b>	1	19,79 <sup>+</sup>	49,23	0,00	4089 <sup>+</sup>	210,69	0,00	11,02 <sup>+</sup>	251,17	0,00	1012 <sup>+</sup>	35,65	0,00	56,71 <sup>+</sup>	509,21	0,00	90,52 <sup>+</sup>	510,08	0,00
<b>UJT<sup>2</sup></b>	1	0,03	0,07	0,79	283 <sup>+</sup>	14,61	0,00	2,43 <sup>+</sup>	55,42	0,00	165 <sup>*</sup>	5,80	0,03	1,02 <sup>*</sup>	9,15	0,01	0,62 <sup>**</sup>	3,48	0,08
<b>DM</b>	1	46,87 <sup>+</sup>	116,59	0,00	1624 <sup>+</sup>	83,67	0,00	8,69 <sup>+</sup>	198,14	0,00	6979 <sup>+</sup>	245,88	0,00	113,63 <sup>+</sup>	1020,26	0,00	89,41 <sup>+</sup>	503,84	0,00
<b>DM<sup>2</sup></b>	1	5,66 <sup>+</sup>	14,08	0,00	354 <sup>+</sup>	18,24	0,00	0,78 <sup>+</sup>	17,89	0,00	382 <sup>+</sup>	13,47	0,00	0,16	1,43	0,25	2,17 <sup>+</sup>	12,23	0,00
<b>V</b>	1	23,44 <sup>+</sup>	58,30	0,00	994 <sup>+</sup>	51,22	0,00	4,73 <sup>+</sup>	107,74	0,00	4850 <sup>+</sup>	170,89	0,00	32,20 <sup>+</sup>	289,12	0,00	7,34 <sup>+</sup>	41,38	0,00
<b>V<sup>2</sup></b>	1	3,80 <sup>*</sup>	9,46	0,01	5	0,24	0,63	0,46 <sup>+</sup>	10,47	0,00	1007 <sup>+</sup>	35,49	0,00	0,68 <sup>*</sup>	6,12	0,02	19,30 <sup>+</sup>	108,75	0,00
<b>UJTxDM</b>	1	2,53 <sup>*</sup>	6,29	0,02	437 <sup>+</sup>	22,50	0,00	0,01	0,17	0,68	1472 <sup>+</sup>	51,86	0,00	0,91 <sup>*</sup>	8,15	0,01	0,05	0,29	0,60
<b>UJTxV</b>	1	0,08	0,20	0,66	21	1,08	0,31	0,16 <sup>**</sup>	3,62	0,07	138 <sup>*</sup>	4,87	0,04	9,19 <sup>+</sup>	82,49	0,00	6,57 <sup>+</sup>	37,03	0,00
<b>DMxV</b>	1	1,98 <sup>*</sup>	4,92	0,04	1106 <sup>+</sup>	57,02	0,00	0,53 <sup>+</sup>	12,06	0,00	66	2,32	0,15	7,68 <sup>+</sup>	68,96	0,00	6,18 <sup>+</sup>	34,81	0,00
<b>Greška</b>	17	6,83			330			0,75			482			1,89			3,02		

<sup>+</sup>Statistički značajan na nivou p<0,01, <sup>\*</sup>Statistički značajan na nivou p<0,05, <sup>\*\*</sup>Značajan na nivou p<0,10, Neobeleženi članovi nisu statistički značajni

Tabela 15. Rezidualna analiza matematičkih modela za odzive UP, PDI, H, NM, Tm i Esp za proces peletiranja model smeša koncentrata

	$\chi^2$	RMSE	MBE	MPE	$r^2$	Skew	Kurt	Mean	StDev	Var
<b>UP</b>	6,83E+00	1,31E+00	-2,03E-14	4,52E+09	9,38E-01	-1,69E-01	1,66E+00	-3,00E-15	5,13E-01	2,63E-01
<b>PDI</b>	3,30E+02	9,08E+00	-9,77E-14	1,75E+01	9,64E-01	-3,05E-02	1,92E+00	-1,45E-14	3,56E+00	1,27E+01
<b>H</b>	7,46E-01	4,32E-01	1,03E-14	1,69E+01	9,75E-01	2,11E-02	1,41E+00	1,53E-15	1,69E-01	2,87E-02
<b>NM</b>	4,82E+02	1,10E+01	3,98E-13	3,46E+00	9,71E-01	-4,15E-02	5,18E-02	5,89E-14	4,31E+00	1,86E+01
<b>Tm</b>	1,89E+00	6,88E-01	7,64E-14	2,31E+00	9,92E-01	-1,48E-02	1,61E+00	1,13E-14	2,70E-01	7,28E-02
<b>Esp</b>	3,02E+00	8,68E-01	3,33E-14	1,02E+01	9,87E-01	5,89E-01	1,46E+00	4,93E-15	3,41E-01	1,16E-01

$r^2$  - koeficijent determinacije,  $\chi^2$  - redukovani test, MBE - srednjavrednost odstupanja (mean bias error), RMSE - koren sume kvadrata greške (root mean square error), MPE - srednja vrednost procenta greške (mean percentage error), Skew. (Skeweness - krivljenje) - odstupanje od normalne raspodele; Kurt. (Kurtosis) - odstupanje od "nazubljenosti" normalne raspodele

#### 4.3.4.1. Udeo prašine u peletama

Na osnovu rezultata merenja, formirani su matematički modeli, u obliku polinoma drugog stepena (SOP) za predikciju vrednosti odziva udela prašine (UP) u peletama model smeša koncentrata, u zavisnosti od udela osušenog jabučnog tropa (UJT) u model smešama koncentrata, debljine matrice pelet prese (DM) i početnog sadržaja vlage model smeša (V). U tabeli 16, regresioni koeficijenti su prikazani srednjom vrednošću i standardnom greškom, a statistička značajnost rezultata je izražena preko  $p$  - vrednosti.

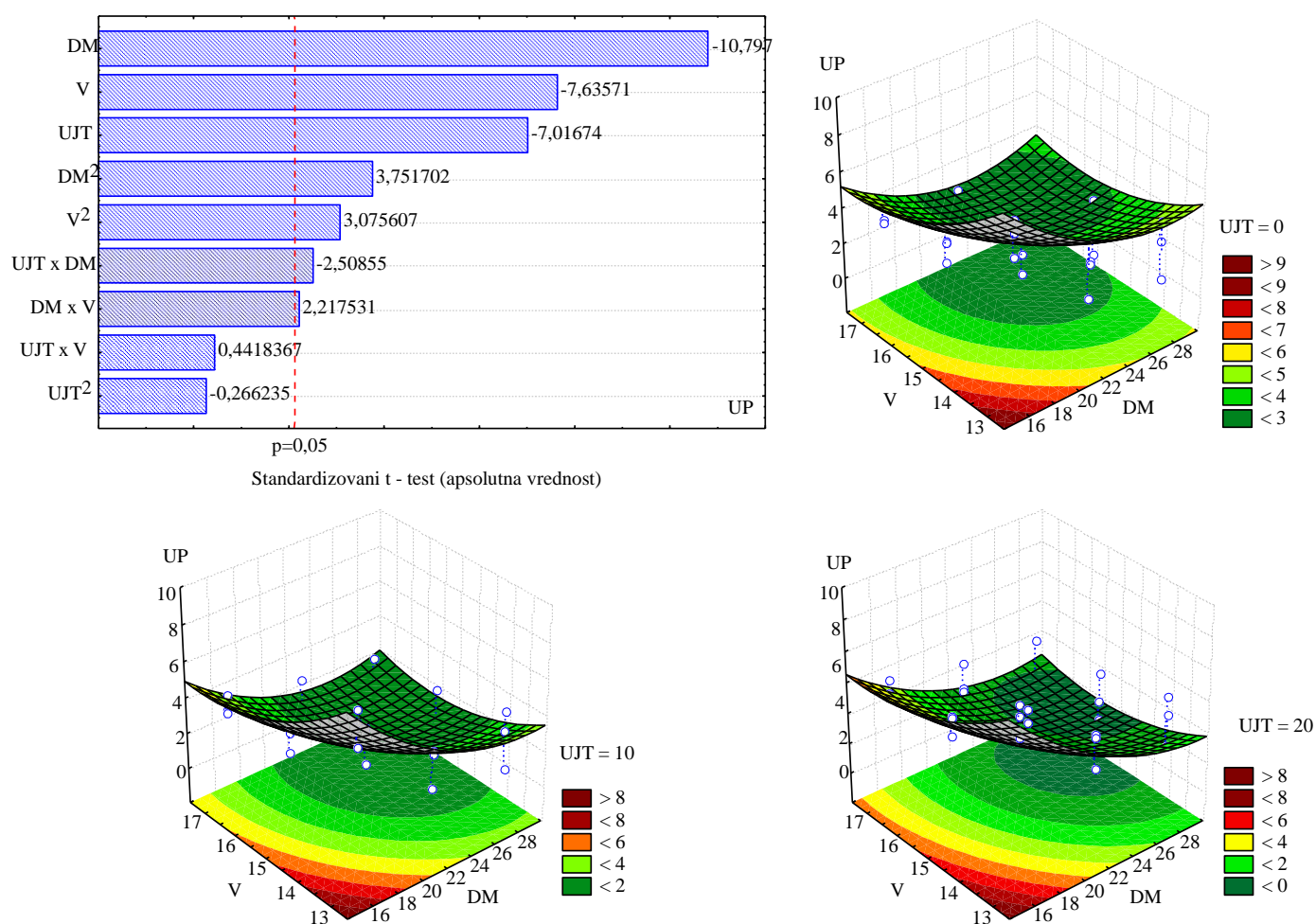
Tabela 16. Regresioni koeficijenti polinoma drugog stepena za odziv udela prašine (UP) za proces peletiranja model smeša koncentrata

UP	Regresioni koeficijent	Standardna devijacija	t (17)	p	-95,%	+95,%
Nulti	89,161 <sup>+</sup>	16,030	5,562	0,000	55,340	122,982
UJT	0,032	0,165	0,194	0,849	-0,315	0,379
UJT <sup>2</sup>	-0,001	0,003	-0,266	0,793	-0,006	0,005
DM	-1,995 <sup>+</sup>	0,416	-4,795	0,000	-2,872	-1,117
DM <sup>2</sup>	0,027 <sup>+</sup>	0,007	3,752	0,002	0,012	0,042
V	-7,393 <sup>+</sup>	1,979	-3,736	0,002	-11,569	-3,218
V <sup>2</sup>	0,199 <sup>+</sup>	0,065	3,076	0,007	0,062	0,336
UJT x DM	-0,008 <sup>*</sup>	0,003	-2,509	0,023	-0,014	-0,001
UJT x M	0,004	0,009	0,442	0,664	-0,015	0,023
DM x M	0,034 <sup>*</sup>	0,015	2,218	0,041	0,002	0,066

<sup>+</sup>Statistički značajan na nivou  $p < 0,01$ , <sup>\*</sup>Statistički značajan na nivou  $p < 0,05$ , <sup>\*\*</sup>Značajan na nivou  $p < 0,10$ ; t-test (Studentova t-raspodela)

Na slici 24 prikazan je Parettov dijagram razvijenog SOP modela za odziv udela prašine u peletama (UP), za proces peletiranja model smeša koncentrata, koji prikazuje uticajnost parametara procesa – udela osušenog jabučnog tropa (UJT), debljine matrice pelet prese (DM), i početnog sadržaja vlage smeše (V) na ovaj parametar kvaliteta peleta. Sa ovog dijagrama se vidi da su u SOP modelu, za izračunavanje udela prašine u peletama (UP) najveći uticaj imali linearni član početnog sadržaja vlage model smeše koncentrata (V), linearni član debljine matrice pelet prese (DM), i linearni član udela osušenog jabučnog tropa u model smešama koncentrata (UJT), kao i kvadratni član DM, statistički značajno na nivou  $p < 0,01$ .

Na slici 30 su dati i dijagrami odzivnih površina koji prikazuju uticaj debljine matrice pelet prese (DM) i početnog sadržaja vlage smeše (V) na udeo prašine u peletama (UP), pri udelima osušenog jabučnog tropa u model smešama koncentrata od 0, 10 ili 20%. Na ovim dijagramima se može videti da sa povećanjem debljine matrice pelet prese (DM) i početnog sadržaja vlage smeše (V), dolazi do smanjenja udela prašine u peletama, što je u saglasnosti sa rezultatima analize standardnih ocena (SS) i analize glavnih komponenta (PCA). Povećanje početnog sadržaja vlage smeše i povećanje debljine matrice pelet prese doprinose boljem povezivanju čestica u peletama (objašnjeno u poglavlju 4.3.2.), usled čega se povećava otpornost peleta na lomljenje i otiranje, što za rezultat ima smanjenje udela prašine u peletama.



Slika 24. Parettov dijagram udela prašine (UP) u procesu peletiranja model smeša koncentrata; Dijagrami odzivnih površina za nasipnu udeo prašine u peletama (UP) model smeša koncentrata

#### 4.3.4.2. Indeks otpornosti peleta (PDI)

Na osnovu rezultata merenja, formirani su matematički modeli, u obliku polinoma drugog stepena (SOP) za predikciju vrednosti odziva PDI peleta model smeša koncentrata, u zavisnosti od udela jabučnog tropa u model smešama koncentrata (UJT), debljine matrice pelet prese (DM) i početnog sadržaja vlage smeše (V). U tabeli 17, regresioni koeficijenti su prikazani srednjom vrednošću i standardnom greškom, a statistička značajnost rezultata je izražena preko preko  $p$  - vrednosti.

Tabela 17. Regresioni koeficijenti polinoma drugog stepena za odziv PDI za proces peletiranja model smeša koncentrata

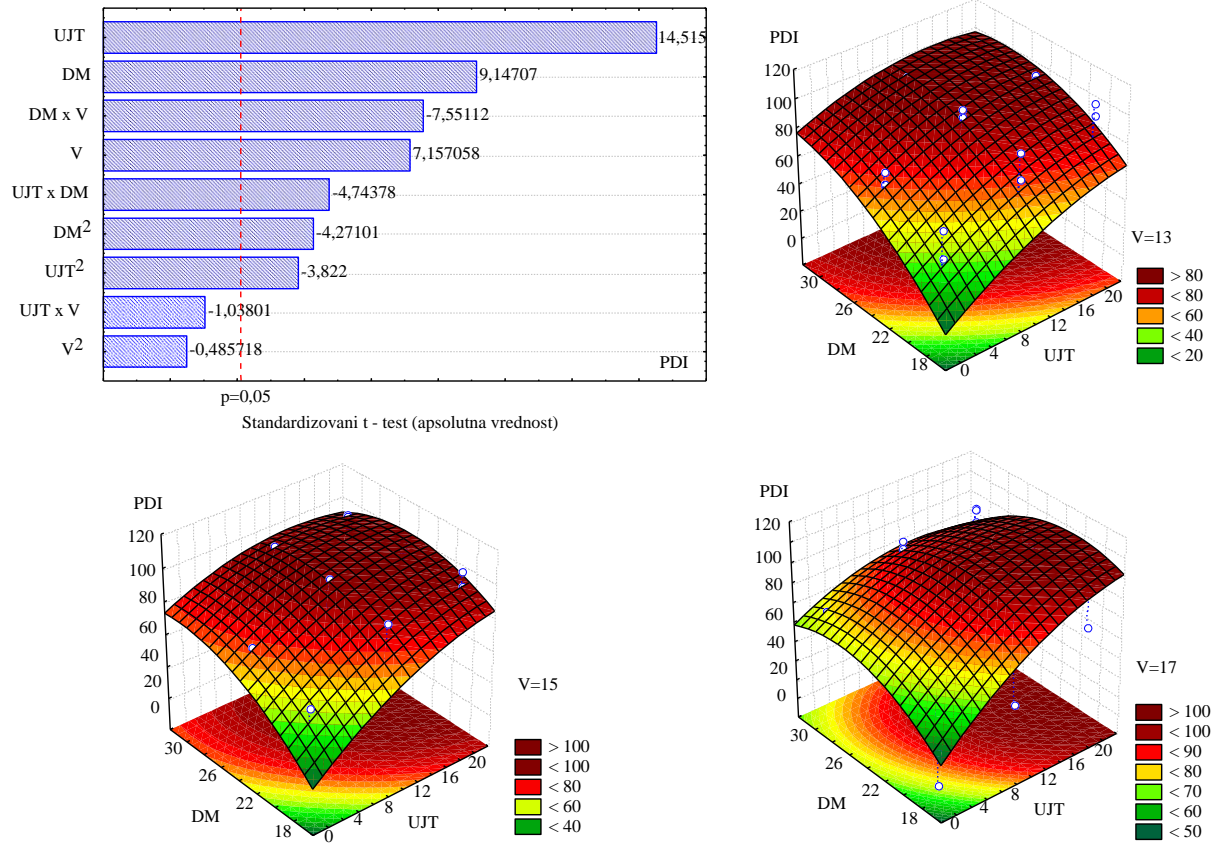
PDI	Regresioni koeficijent	Standardna devijacija	t (17)	p	-95,%	+95,%
Nulti	-517,345 <sup>+</sup>	111,378	-4,645	0,000	-752,331	-282,358
UJT	6,285 <sup>+</sup>	1,144	5,494	0,000	3,871	8,698
UJT <sup>2</sup>	-0,069 <sup>+</sup>	0,018	-3,822	0,001	-0,107	-0,031
DM	24,833	2,890	8,593	0,000	18,736	30,930
DM <sup>2</sup>	-0,213 <sup>+</sup>	0,050	-4,271	0,001	-0,319	-0,108
M	30,132 <sup>*</sup>	13,750	2,191	0,043	1,121	59,143
M <sup>2</sup>	-0,218	0,450	-0,486	0,633	-1,167	0,730
UJT x DT	-0,101 <sup>+</sup>	0,021	-4,744	0,000	-0,145	-0,056
UJT x M	-0,066	0,064	-1,038	0,314	-0,200	0,068
DM x M	-0,800 <sup>+</sup>	0,106	-7,551	0,000	-1,024	-0,577

<sup>+</sup>Statistički značajan na nivou  $p < 0,01$ , <sup>\*</sup> Statistički značajan na nivou  $p < 0,05$ ,

Na slici 25 prikazan je Parettov dijagram razvijenog SOP modela za odziv PDI za proces peletiranja model smeša koncentrata, koji prikazuje uticajnost parametara procesa – udela osušenog jabučnog tropa (UJT), debljine matrice pelet prese (DM), i početnog sadržaja vlage smeše (V) na ovaj parametar kvaliteta peleta. Sa ovog dijagrama se vidi da su u SOP modelu, za izračunavanje vrednosti PDI, najveći uticaj imali linearni član udela jabučnog tropa (UJT), linearni član debljine matrice pellet prese (DM) i linearni član početnog sadržaja vlage (V), kao i kvadratni članovi DM i UJT, statistički značajno na nivou  $p < 0,01$ . Članovi proizvoda UJT x DM i DM x V takođe su statistički značajno uticali na predikciju vrednosti PDI ( $p < 0,01$ ).

Na slici 31 dati su i dijagrami dijagrami odzivnih površina koji prikazuju uticaj debljine matrice pelet prese (DM) i udela osušenog jabučnog tropa u model smešama koncentrata (UJT), na PDI vrednost peleta, pri početnom sadržaju vlage smeše od 13, 15 ili 17%. Kao što se može videti, pri povećanju udela osušenog jabučnog tropa u model smešama koncentrata i debljine matrice pelet prese, dolazi do povećanja PDI vrednosti, za vrednosti početnog sadržaja vlage smeše od 13 i 15%. Povećanje PDI vrednosti sa povećanjem sadržaja vlage sa 13 na 15% je u skladu sa rezultatima istraživanja *Fairchild & Greer (1999)*, *Moritz et al. (2001)*, *Moritz et al. (2003)*, a pozitivan uticaj povećanja početnog sadržaja vlage smeše na fizički kvalitet peleta, odnosno na PDI vrednost, objašnjen je i u poglavlju 4.3.2.

Sa druge strane, za početni sadržaj vlage model smeše koncentrata od 17%, pri povećanju debljine matrice, PDI raste, pa blago opada za smeše sa 0 i 10% udela osušenog jabučnog tropa, a opada za vrednost od 20% udela osušenog jabučnog tropa. Ovaj trend može se zapaziti i pregledom podataka SS analize, datih u tabeli 12 (poglavlje 4.3.2.). Može se pretpostaviti da je pri sadržaju vlage od 17%, kompresabilnost model smeša koncentrata veoma dobra, pa povećanje debljine matrice preko vrednosti od 24 mm, dovodi do narušavanja kvaliteta peleta. Takođe, podaci prikazani u tabeli 12, pokazuju da pri udelu osušenog jabučnog tropa od 20%, pri najvećoj debljini matrice – od 30 mm, i pri povećanju početnog sadržaja vlage smeše, PDI vrednost peleta opada. Prethodno navedeno upućuje na zaključak da pri udelu osušenog jabučnog tropa u model smešama koncentrata od 20%, ekstremene vrednosti sadržaja vlage (17%) i debljine matrice (30 mm) dovode do pogoršanja kvaliteta peleta u pogledu PDI vrednosti. U prilog tome ide i činjenica da je najviša vrednost PDI, pri udelu osušenog jabučnog tropa u model smešama koncentrata, iznosila je 99,52% i utvrđena je za pelete proizvedene pri debljini matrice od 24 mm i početnom sadržaju vlage smeše od 15%.



Slika 25. Parettov dijagram PDI vrednosti u procesu peletiranja model smeša koncentrata; Dijagrami odzivnih površina za vrednost PDI peleta model smeša koncentrata



4.3.4.3. *Tvrdoća peleta*

Na osnovu rezultata merenja, formirani su matematički modeli, u obliku polinoma drugog stepena (SOP) za predikciju vrednosti odziva tvrdoće peleta (H) model smeša koncentrata, u zavisnosti od udela osušenog jabučnog tropa u model smešama koncentrata (UJT), debljine matrice pelet prese (DM) i početnog sadržaja vlage model smeša (V). U tabeli 18, regresioni koeficijenti su prikazani srednjom vrednošću i standardnom greškom, a statistička značajnost rezultata je izražena preko preko  $p$  - vrednosti.

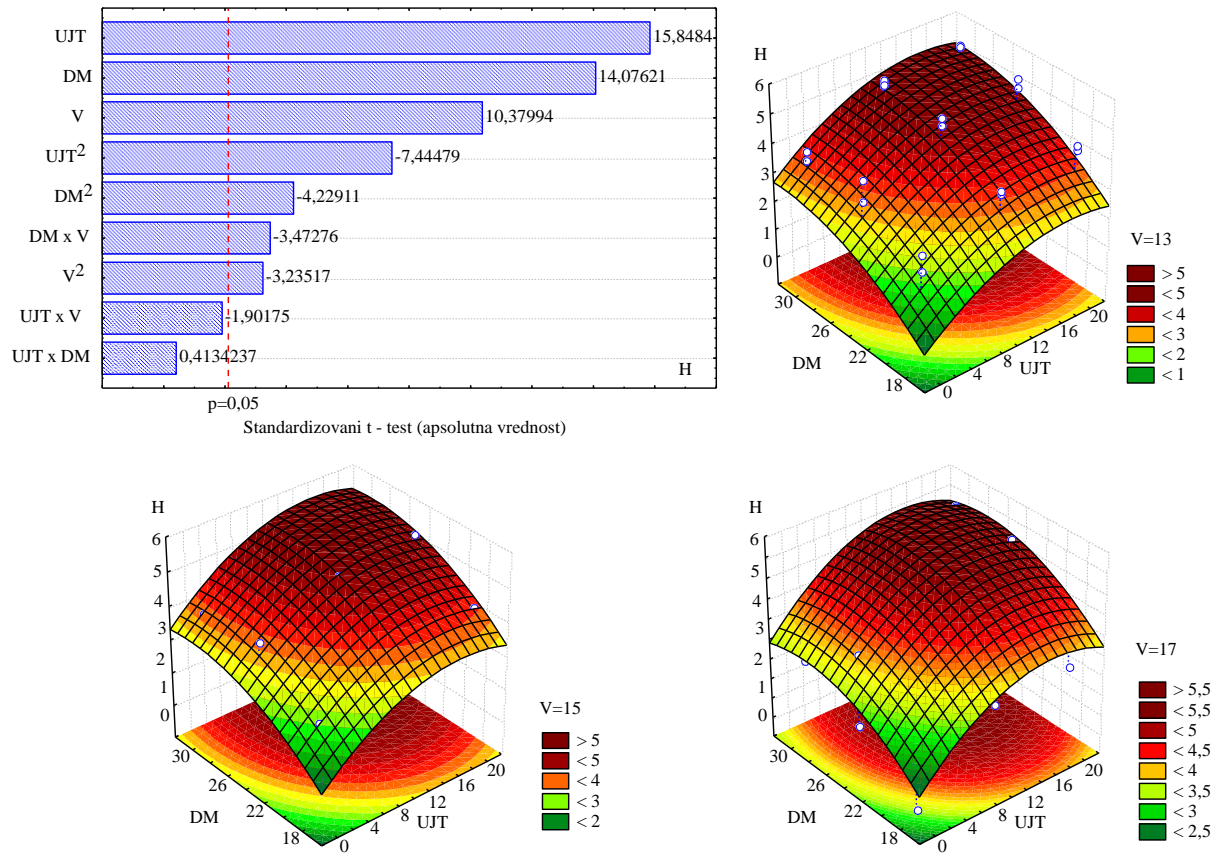
Tabela 18. Regresioni koeficijenti polinoma drugog stepena za odzive H za proces peletiranja model smeša koncentrata

H	Regresioni koeficijent	Standardna devijacija	t (17)	p	-95,%	+95,%
Nulti	-31,532 <sup>+</sup>	5,296	-5,954	0,000	-42,707	-20,358
UJT	0,282 <sup>+</sup>	0,054	5,181	0,000	0,167	0,397
UJT <sup>2</sup>	-0,006 <sup>+</sup>	0,001	-7,445	0,000	-0,008	-0,005
DM	0,856 <sup>+</sup>	0,137	6,232	0,000	0,566	1,146
DM <sup>2</sup>	-0,010 <sup>+</sup>	0,002	-4,229	0,001	-0,015	-0,005
V	2,809 <sup>+</sup>	0,654	4,296	0,000	1,429	4,188
V <sup>2</sup>	-0,069 <sup>+</sup>	0,021	-3,235	0,005	-0,114	-0,024
UJT x DM	0,000	0,001	0,413	0,684	-0,002	0,003
UJT x V	-0,006 <sup>**</sup>	0,003	-1,902	0,074	-0,012	0,001
DM x V	-0,017 <sup>+</sup>	0,005	-3,473	0,003	-0,028	-0,007

<sup>+</sup>Statistički značajan na nivou  $p < 0,01$ , <sup>\*</sup>Statistički značajan na nivou  $p < 0,05$ , <sup>\*\*</sup>Značajan na nivou  $p < 0,10$

Na slici 26 prikazan je Parettov dijagram razvijenog SOP modela za odziv tvrdoće peleta (H) za proces peletiranja model smeša koncentrata. Najznačajniji uticaj u SOP modelu za izračunavanje tvrdoće peleta (H) imali su linearni članovi početnog sadržaja vlage model smeša (V), debljine matrice pelet prese (DM) i udela jabučnog tropa (UJT) (statistički značajno na nivou  $p < 0,01$ ), kao i kvadratni članovi ovih promenljivih ( $p < 0,01$ ) i član proizvoda DM x V, takođe statistički značajno na nivou  $p < 0,01$ .

Na slici 26 se može videti da je pri povećanju udela osušenog jabučnog tropa u model smešama koncentrata i debljine matrice pelet prese, došlo do povećanja tvrdoće peleta. Kao što je već rečeno, povećanje debljine matrice znači duže zadržavanje materijala pod dejstvom mehaničkog pritiska u kanalima matrice, što omogućava da bolje povezivanje između čestica peleta



Slika 26. Parettov dijagram tvrdoće peleta (H) u procesu peletiranja model smeša koncentrata;  
Dijagrami odzivnih površina za tvrdoću peleta (H) model smeša koncentrata

## 4.3.4.4. Nasipna masa peleta

Na osnovu rezultata merenja, formirani su matematički modeli, u obliku polinoma drugog stepena (SOP) za predikciju vrednosti odziva nasipne mase peleta (NM) model smeša koncentrata, u zavisnosti od udela osušenog jabučnog tropa u model smešama koncentrata (UJT), debljine matrice pelet prese (DM) i početnog sadržaja vlage model smeša (V). U tabeli 19, regresioni koeficijenti su prikazani srednjom vrednošću i standardnom greškom, a statistička značajnost rezultata je izražena preko preko  $p$  - vrednosti.

Tabela 19. Regresioni koeficijenti polinoma drugog stepena za odzive nasipne mase peleta (NM) u procesu peletiranja model smeša

H	Regresioni koeficijent	Standardna devijacija	t (17)	p	-95,%	+95,%
Nulti	-222,994	134,697	-1,656	0,116	-507,181	61,192
UJT	-5,179 <sup>+</sup>	1,383	-3,744	0,002	-8,098	-2,260
UJT <sup>2</sup>	-0,052 <sup>*</sup>	0,022	-2,408	0,028	-0,098	-0,006
DM	15,010 <sup>+</sup>	3,495	4,295	0,000	7,637	22,384
DM <sup>2</sup>	-0,222 <sup>+</sup>	0,060	-3,670	0,002	-0,349	-0,094
V	91,966 <sup>+</sup>	16,629	5,530	0,000	56,881	127,050
V <sup>2</sup>	-3,239 <sup>+</sup>	0,544	-5,958	0,000	-4,387	-2,092
UJT x DM	0,185 <sup>+</sup>	0,026	7,201	0,000	0,131	0,239
UJT x V	0,170 <sup>*</sup>	0,077	2,208	0,041	0,008	0,332
DM x V	-0,195	0,128	-1,525	0,146	-0,466	0,075

<sup>+</sup>Statistički značajan na nivou  $p < 0,01$ , <sup>\*</sup>Statistički značajan na nivou  $p < 0,05$ ,

<sup>\*\*</sup>Značajan na nivou  $p < 0,10$

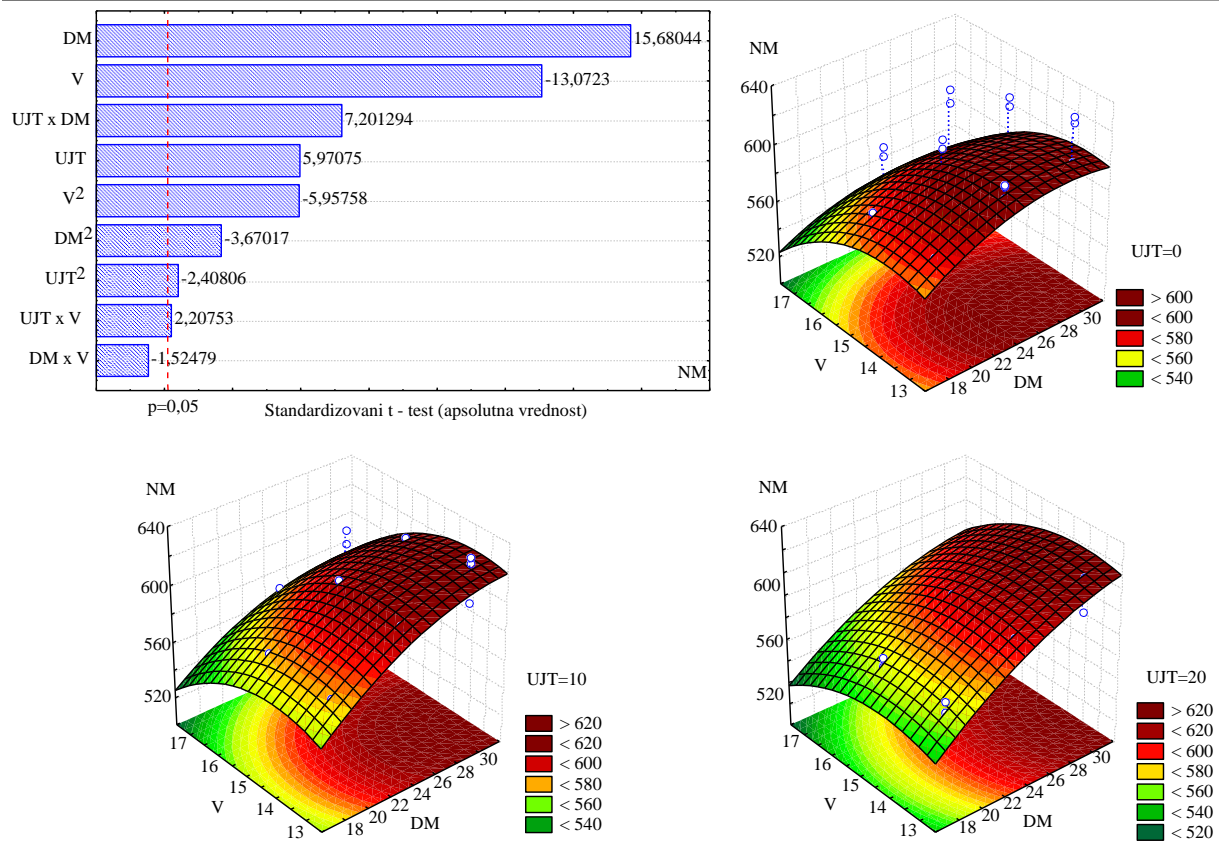
Na slici 27 prikazan je Parettov dijagram razvijenog SOP modela za odziv nasipne mase (NM) za proces peletiranja model smeša koncentrata, koji prikazuje uticajnost parametara procesa - udela osušenog jabučnog tropa (UJT), debljine matrice pelet prese (DM) i početnog sadržaja vlage smeše (V) na ovaj parametar kvaliteta peleta. Sa ovog dijagrama se vidi da su u SOP modelu za izračunavanje nasipne mase (NM) najveći uticaj imali linearni članovi udela jabučnog tropa (UJT), debljine matrice pelet prese (DM) i početnog sadržaja vlage model smeša (V) (statistički značajno na nivou  $p < 0,01$ ), kao i kvadratni članovi promenljivih DM i V ( $p < 0,01$ ) i član proizvoda UJT x DM, takođe statistički značajno na nivou  $p < 0,01$ .

Na slici 27 dati su i dijagrami odzivnih površina koji prikazuju uticaj debljine matrice pelet prese (DM) i početnog sadržaja vlage model smeše koncentrata (V), na nasipnu masu peleta (NM), pri udelima osušenog jabučnog tropa u model smešama koncentrata (UJT) od 0, 10 ili 20%.

Sa dijagrama odzivnih površina se može videti da je sa povećanjem udela osušenog tropa u model smešama koncentrata, došlo do povećanja nasipne mase peleta, što je u skladu sa rezultatima analize glavnih komponenata - PCA (slika 23, poglavlje 4.3.3). Ovakav rezultat se može objasniti time što sa povećanjem udela vlakana i šećera u model smešama koncentrata, dolazi do boljeg povezivanja čestica u peletama i smanjenja poroznosti njihove strukture, a time i do povećanja nasipne mase peleta. Pozitivan uticaj prisustva šećera i vlakana u model smešama koncentrata na povezivanje čestica u peletama objašnjen je ranije (poglavlje 4.3.2).

Dijagrami odzivnih površina za nasipnu masu peleta pokazuju da je sa povećanjem debljine matrice pelet prese došlo do povećanja nasipne mase peleta, što je bilo i očekivano, s obzirom da povećanje debljine matrice znači duže zadržavanje materijala u njenim kanalima, što za rezultat ima veću sabijenost materijala u peletama, smanjenje poroznosti i povećanje nasipne mase. Ovaj trend utvrđen je i analizom glavnih komponenata - PCA (slika 23, poglavlje 4.3.3). Takođe, u istraživanju *Čolović et al. (2010)*, zabeleženo je povećanje nasipne mase peleta pri povećanju debljine matrice sa 18 na 36 mm. Potrebno je istaći da je do značajnijeg povećanja nasipne mase peleta došlo pri većim udelima osušenog jabučnog tropa u model smešama koncentrata. Kao što je već rečeno, duže zadržavanje materijala u kanalima matrice, sa povećanjem njene debljine, verovatno je dovelo do omekšavanja nerastvornih vlakana i većeg rastvaranja šećera i rastvornih vlakana, usled čega je došlo do boljeg povezivanja čestica u peletama. Bolje povezivanje čestica u peletama imalo je za rezultat smanjenje poroznosti strukture peleta, što je doprinelo značajnijem povećanju nasipne mase peleta model smeša koncentrata.

Pareto dijagram za nasipnu masu peleta, kao i PCA dijagram (slika 23, poglavlje 4.3.3.) pokazuju da između sadržaja vlage model smeša koncentrata i nasipne mase peleta postoji negativna korelacija, što znači da sa povećanjem vlage model smeša koncentrata dolazi do smanjenja nasipne mase peleta. Smanjenje nasipne mase peleta sa povećanjem sadržaja vlage polaznog materijala posledica je smanjenja sila trenja u kanalima matrice pelet prese, usled čega dolazi do manje sabijenosti materijala u peletama, a time i do smanjenja njihove nasipne mase (*Serrano i sar., 2011*). Smanjenje nasipne mase peleta sa povećanjem početne vlage smeše zabeleženo je i u istraživanju koje su sproveli *Vukmirović et al. (2010)*.



Slika 27. Paretov dijagram za nasipnu masu peleta (NM) u procesu peletiranja model smeša koncentrata;  
 Dijagrami odzivnih površina za nasipnu masu peleta (NM) model smeša koncentrata

#### 4.3.4.5. Specifična potrošnja energije pelet prese

Na osnovu rezultata merenja, formirani su matematički modeli, u obliku polinoma drugog stepena (SOP) za predikciju vrednosti odziva nasipne mase peleta (NM) model smeša koncentrata, u zavisnosti od udela osušenog jabučnog tropa u model smešama koncentrata (UJT), debljine matrice pelet prese (DM) i početnog sadržaja vlage model smeša (V). U tabeli 19, regresioni koeficijenti su prikazani srednjom vrednošću i standardnom greškom, a statistička značajnost rezultata je izražena preko preko  $p$  - vrednosti.

Na osnovu rezultata merenja, formirani su matematički modeli, u obliku polinoma drugog stepena (SOP) za predikciju vrednosti odziva specifične potrošnje energije pellet prese (Esp) u procesu peletiranja model smeša koncentrata, u zavisnosti od udela jabučnog tropa u smešama (UJT), debljine matrice pelet prese (DM) i početnog sadržaja vlage model smeša (V). U tabeli 20, regresioni koeficijenti su prikazani srednjom vrednošću i standardnom greškom, a statistička značajnost rezultata je izražena preko preko  $p$  - vrednosti.

Tabela 20. Regresioni koeficijenti polinoma drugog stepena za odzive Esp za proces peletiranja model smeša

Esp	Regresioni koeficijent	Standardna devijacija	t (17)	p	-95,%	+95,%
Nulti	-107,079 <sup>+</sup>	10,651	-10,054	0,000	-129,551	-84,608
UJT	0,869 <sup>+</sup>	0,109	7,948	0,000	0,639	1,100
UJT <sup>2</sup>	-0,003 <sup>**</sup>	0,002	-1,866	0,079	-0,007	0,000
DM	0,477	0,276	1,727	0,102	-0,106	1,060
DM <sup>2</sup>	0,017 <sup>+</sup>	0,005	3,498	0,003	0,007	0,027
M	14,937 <sup>+</sup>	1,315	11,359	0,000	12,162	17,711
M <sup>2</sup>	-0,448 <sup>+</sup>	0,043	-10,428	0,000	-0,539	-0,358
UJT x DM	-0,001	0,002	-0,535	0,600	-0,005	0,003
UJT x M	-0,037 <sup>+</sup>	0,006	-6,085	0,000	-0,050	-0,024
DM x M	-0,060 <sup>+</sup>	0,010	-5,900	0,000	-0,081	-0,038

<sup>+</sup> Statistički značajan na nivou  $p < 0,01$ , <sup>\*</sup> Statistički značajan na nivou  $p < 0,05$ ,

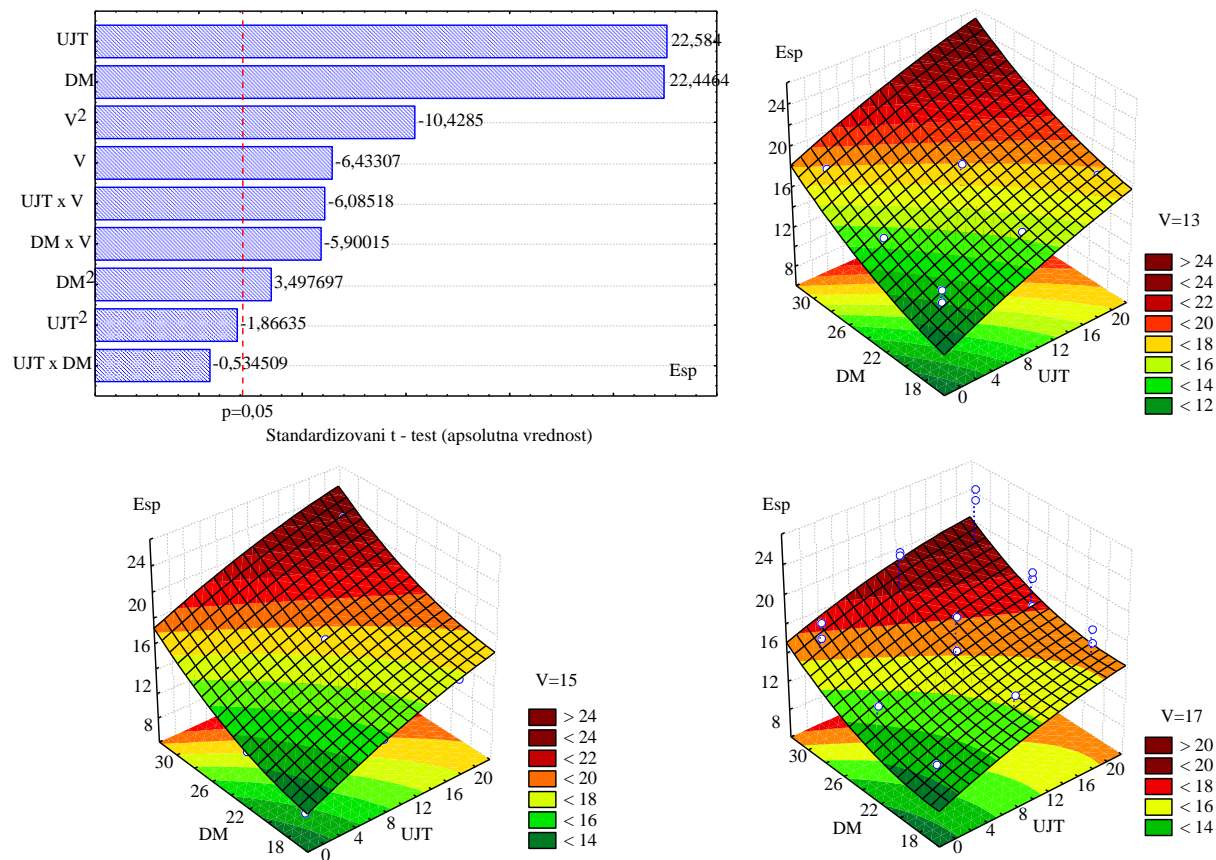
<sup>\*\*</sup> Značajan na nivou  $p < 0,10$

Na slici 28 prikazan je Parettov dijagram razvijenog SOP modela za odziv specifične potrošnje energije pelet prese-Esp u procesu peletiranja model smeša.



Najznačajniji uticaj u SOP modelu za izračunavanje Esp imali su linearni članovi udela jabučnog tropa (UJT), debljine matrice (DM) i početnog sadržaja vlage model smeša (M) (statistički značajno na nivou  $p < 0,01$ ), nelinearni članovi DM i M, kao i nelinearni članovi proizvoda UJT x M i DM x M, staistički značajno na nivou  $p < 0,01$ .

Na slici 28, prikazani su uticaji procesnih parametara udela jabučnog tropa (UJT), debljine matrice pellet prese (DM) i početnog sadržaja vlage model smeša (M) na specifičnu potrošnju energije pelet prese-Esp



Slika 28. Parettov dijagram specifične potrošnje energije pelet prese-Esp za proces peletiranja jabučnog tropa-zavisnost Esp od debljine matrice (DM) i udela jabučnog tropa u model smešama (UJT), pri početnim sadržajima vlage smeše od 13, 15 i 17%

#### 4.3.4.5. Temperatura matrice pelet prese

Na osnovu rezultata merenja formirani su matematički modeli u obliku polinoma drugog stepena za predikciju vrednosti odziva temperature matrice pelet prese ( $T_m$ ), za proces peletiranja model smeša u zavisnosti od udela jabučnog tropa u smešama (UJT), debljine matrice pelet prese (DM)

i početnog sadržaja vlage model smeša (M). U tabeli 21, regresioni koeficijenti su prikazani srednjom vrednošću i standardnom greškom, a statistička značajnost rezultata je izražena preko preko  $p$  - vrednosti.

Tabela 21. Regresioni koeficijenti polinoma drugog stepena za odzive temperature matrice pelet prese (Tm) u procesu peletiranja model smeša koncentrata

<b>Tm</b>	<b>Regresioni koeficijent</b>	<b>Standardna devijacija</b>	<b>t (17)</b>	<b>p</b>	<b>-95,%</b>	<b>+95,%</b>
Nulti	-4,244	8,438	-0,503	0,621	-22,046	13,558
UJT	1,026	0,087 <sup>+</sup>	11,841	0,000	0,843	1,209
UJT <sup>2</sup>	-0,004	0,001 <sup>+</sup>	-3,024	0,008	-0,007	-0,001
DM	1,247	0,219 <sup>+</sup>	5,697	0,000	0,785	1,709
DM <sup>2</sup>	0,005	0,004	1,196	0,248	-0,003	0,013
V	3,897	1,042 <sup>+</sup>	3,741	0,002	1,699	6,094
V <sup>2</sup>	-0,084	0,034 <sup>*</sup>	-2,474	0,024	-0,156	-0,012
UJT x DM	-0,005	0,002 <sup>*</sup>	-2,855	0,011	-0,008	-0,001
UJT x V	-0,044	0,005 <sup>+</sup>	-9,083	0,000	-0,054	-0,034
DM x V	-0,067	0,008 <sup>+</sup>	-8,304	0,000	-0,084	-0,050

<sup>+</sup>Statistički značajan na nivou  $p < 0,01$ , <sup>\*</sup> Statistički značajan na nivou  $p < 0,05$ ,

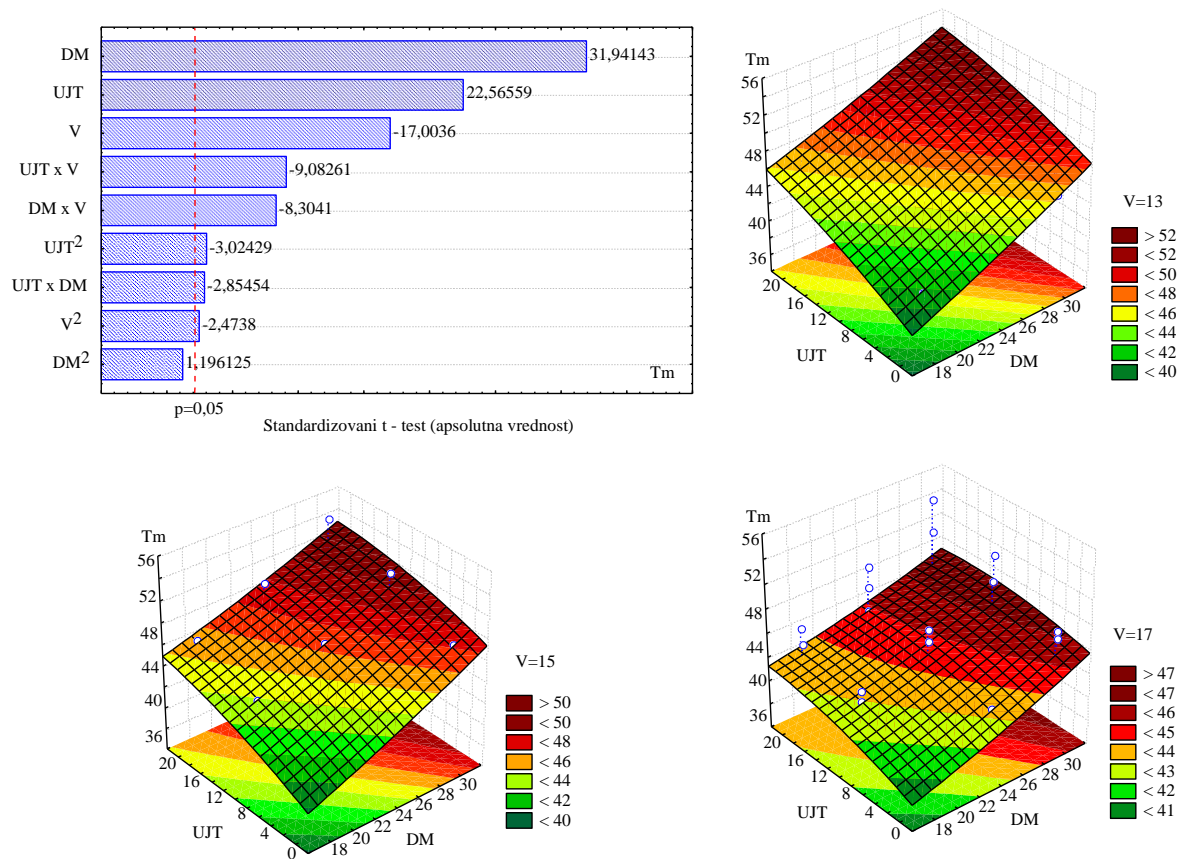
<sup>\*\*</sup> Značajan na nivou  $p < 0,10$

Na slici 28 prikazan je Parettov dijagram razvijenog SOP modela za odziv temperature matrice pelet prese (Tm) u procesu peletiranja model smeša koncentrata. Sa ovog dijagrama se vidi da su u SOP modelu, za izračunavanje temperature matrice pelet prese (Tm), najznačajniji uticaj imali linearni članovi udela jabučnog tropa (UJT), debljine matrice pellet prese (DM) i početnog sadržaja vlage model smeša (V) (statistički značajno na nivou  $p < 0,01$ ), kao i nelinearni članovi proizvoda UJT x V i DM x V, staistički značajno na nivou  $p < 0,01$ .

Na slici 29 dati su i dijagrami koji prikazuju uticaj udela osušenog jabučnog tropa u model smešama koncentrata (UJT) i debljine matrice pelet prese (DM) na temperaturu matrice pelet prese (Tm), pri početnim sadržajima vlage model smeša od 13, 15 ili 17%. Kao što se sa dijagrama može videti, pri povećanju debljine matrice pelet prese i udela jabučnog tropa u model smešama koncentrata, došlo je do povećanja temperature matrice pelet prese. Ovaj rezultat je u skladu sa rezultatima analize glavnih komponenta – PCA (slika 23, poglavlje 4.3.3.) i može se objasniti povećanim intenzitetom trenja u kanalima matrice do kojeg je došlo usled povećanog sadržaja vlakana i prostih šećera u model smešama koncentrata. Takođe, usled povećanja



debljine matrice, materijal je duže bio izložen pojačanom trenju u kanalima matrice, što je rezultiralo povećanjem njene temperature. Uticaj povećanog sadržaja vlakana i šećera u model smešama koncentrata, kao i povećanja debljine matrice pelet prese, na temperaturu matrice pelet prese, objašnjen je u poglavlju 4.3.2.



Slika 29. Paretov dijagram za temperaturu matrice pelet prese ( $T_m$ ) u procesu peletiranja model smeša koncentrata; Dijagrami odzivnih površina za temperaturu matrice pelet prese ( $T_m$ ) u procesu peletiranja model smeša koncentrata

#### 4.4. Ogled ishrane na tovnim svinjama hranjenim smešama koncentrata sa dodatkom osušenog jabučnog tropa

##### 4.4.1. Proizvodni rezultati tovnih svinja

Proizvodni rezultati tovnih svinja, odnosno utvrđene vrednosti prosečnog i dnevnog prirasta, utroška i konverzije hrane po fazama tova (I faza - od 25 do 60 kg telesne mase; II faza – od 60 do 100 kg telesne mase), kao i na nivou celog perioda tova, prikazani su u tabeli 22.

Tabela 22. Proizvodni rezultati ogleda ishrane na tovnim svinjama hranjenim smešama koncentrata sa dodatkom osušenog jabučnog tropa

Proizvodni rezultati	Kontrolna grupa	Ogledna grupa
Broj svinja	20	20
Prosečna telesna masa na početku ogleda, kg	27,05±1,28	27,4±1,19
Prosečna telesna masana kraju I faze tova kg	60,30±2,05	60,55±1,85
Prosečna telesna masa na kraju II faze tova kg	100,10±2,92	100,90±2,61
Prosečan prirast u I fazi tova, kg	33,25±1,62	33,15±1,84
Prosečan prirast u II fazi tova, kg	39,85±1,50	40,35±1,46
Prosečan prirast za ceo period tova, kg	73,05±2,63	73,50±2,02
Prosečan dnevni prirast u I fazi tova, kg	0,604±0,029	0,603±0,033
Prosečan dnevni prirast u II fazi tova, kg	0,569±0,021	0,576±0,021
Prosečan dnevni prirast za ceo period tova, kg	0,585±0,021	0,588±0,017
Ukupan utrošak hrane u I fazi tova, kg	2040,00	1960,00
Ukupan utrošak hrane u II fazi tova, kg	3010,00	3160,00
Ukupan utrošak hrane za ceo period tova, kg	5050,00	5120,00
Prosečan utrošak hrane u I fazi tova, kg	102,00	98,00
Prosečan utrošak hrane u II fazi tova, kg	150,50	158,00
Prosečan utrošak hrane za ceo period tova, kg	252,50	256,00
Prosečan dnevni utrošak hrane u I fazi tova, kg	1,85	1,78
Prosečan dnevni utrošak hrane u II fazi tova, kg	2,15	2,26
Prosečan dnevni utrošak hrane za ceo period tova, kg	2,02	2,05
Konverzija hrane (kg hrane/ kg prirasta) u I fazi tova	3,07	2,96
Konverzija hrane (kg hrane/ kg prirasta) u II fazi tova	3,78	3,91
Konverzija hrane (kg hrane/ kg prirasta) za ceo period tova	3,46	3,48

Rezultati određivanja telesnih masa i prirasta tovnih svinja prikazani su kao proseka±standardna devijacija

Prosečan prirast u I fazi tova bio je nešto veći kod kontrolne grupe (K:O=33,25 kg:33,15 kg), dok je u II fazi tova zabeležen veći prirast kod ogledne grupe tovljenika (K:O kg=39,85 kg:40,35

kg). Prosečan prirast na nivou celog perioda tova bio je veći kod ogledne (73,50 kg), nego kod kontrolne grupe tovnih svinja (73,05 kg). Vrednosti prosečnog dnevnog prirasta za kontrolnu i oglednu grupu u I fazi tova bile su jednake, dok je u II fazi tova i na nivou celog perioda tova zabeležen nešto veći dnevni prirast kod ogledne grupe (K:O=0,569 kg:0,576 kg i 0,585 kg:0,588 kg). Ispoljene razlike u prosečnom prirastu i prosečnom dnevnom prirastu po fazama tova, kao i na nivou celog ogleda nisu bile statistički značajne ( $p>0,05$ ).

U pogledu parametara utroška hrane među ispitivanim tretmanima nisu utvrđene bitnije razlike. Može se primetiti, da je u I fazi tova došlo do nešto većeg konzumiranja, tj. ukupnog utroška hrane kod kontrolne u odnosu na oglednu grupu (K:O= 2040 kg : 1960 kg), dok je u II fazi tova utrošak hrane bio veći kod ogledne grupe (3160 kg : 3010 kg). Utrošak hrane za ceo period tova takođe je bio veći kod ogledne grupe–5120 kg, nego kod kontrolne grupe–5050 kg (prosečno 256,00 kg po grlu kod eksperimentalne i 252,50 kg po grlu kod kontrolne grupe). Prosečan dnevni utrošak hrane po grlu u I fazi tova bio je viši kod kontrolne grupe tovljenika (K:O=1,85 kg : 1,78 kg), dok je u II fazi tova i na nivou celog perioda tova ova vrednost bila viša kod ogledne grupe (K:O=2,15 kg : 2,26 kg i 2,02 kg: 2,05 kg). Nešto veće konzumiranje smeša koncentrata sa dodatkom osušenog jabučnog tropa u odnosu na standardnu smešu koncentrata može se verovatno pripisati nešto prijatnijem ukusu hrane zahvaljujući aromi jabuke.

Konverzija hrane (kg hrane/ kg prirasta) u I fazi tova bila je veća kod kontrolne grupe (K:O=3,07:2,96), dok je u II fazi tova zabeležena veća konverzija hrane kod ogledne grupe (K:O=3,78:3,91). Konverzija hrane za ceo period tova bila je ujednačena između grupa i iznosila 3,46 za kontrolnu i 3,48 za oglednu grupu tovljenika.

Tokom ogleda, odnosno ishrane svinja smešama koncentrata sa dodatkom osušenog jabučnog tropa nije bilo nikakvih zdravstvenih problema.

U literaturi se za sada može naći mali broj podataka o efektima upotrebe osušenog jabučnog tropa u ishrani tovnih svinja. Rezultati ovog istraživanja u saglasnosti su sa rezultatima do kojih su došli *Bowden & Berry (1958)*, koji su pratili proizvodne rezultate tovnih svinja Jorkšir rase tokom celog perioda tova. Ovi autori nisu takođe nisu zabeležili statistički značajne razlike u dnevnom prirastu tovnih svinja, niti u konzumiranju hrane, pri dodavanju 10% suvog jabučnog u smeše za ishranu. Ovakvi rezultati ishrane tovnih svinja smešama sa dodatkom osušenog jabučnog tropa, u oba istraživanja, mogu se objasniti činjenicom da su razlike u sadržaju sirovih

vlakana (koje su eventualno mogle da dovedu do manjeg prirasta ili promena u konzumiranju hrane) između kontrolnih i oglednih smeša bile veoma male (oko 1%).

Rezultati ovih istraživanja u skladu su sa rezultatima istraživanja koje su sproveli *Yamamoto et al. (2003)*, u kojem dodavanje 10% jabučnog tropa u koncentrovane smeše za ishranu, nije imalo statistički značajan uticaj na proizvodne osobine tovnih svinja telesne mase od 80 do 105 kg.

#### 4.4.2. Kvalitet polutki tovnih svinja

Parametri kvaliteta polutki tovnih svinja prikazani su u tabeli 23. Analiza parametara kvaliteta polutki, odnosno mase i randmana toplih polutki, debljine leđne slanine i mesnatosti trupa, pokazala je da razlike između ispitivanih parametara kontrolne i ogledne grupe svinja nisu bile statistički značajne ( $p > 0,5$ ), što je bilo očekivano, s obzirom na prikazane proizvodne rezultate, istu genetsku osnovu i identične uslove držanja.

Tabela 23. Klanični rezultati tovnih svinja

Parametar	Kontrolna grupa	Ogledna grupa
Masa toplih polutki, kg	81,35±2,06	81,55±2,03
Randman toplih polutki, %	81,24±1,08	80,83±1,26
Debljina slanine, tačka S, mm	12,50±4,36	12,95±4,60
Debljina MLD-a, tačka M, mm	70,70±6,00	69,30±7,13
Mesnatost, %	58,38±4,52	57,69±4,77

Vrednosti su prikazane kao prosek ± SD tri merenja

Prosečna masa toplih polutki bila je nešto veća kod ogledne (81,55±2,03 kg) u odnosu na kontrolnu grupu (81,35±2,06 kg), ali ove razlike nisu bile statistički značajne ( $p > 0,05$ ). Randman toplih polutki (randman klanja) iznosio je 81,24±1,08% kod kontrolne i 80,83±1,26% kod ogledne grupe. Između prosečnih vrednosti debljine slanine u tački S, kontrolne (12,50±4,36 mm) i ogledne (12,95±4,60 mm) grupe svinja nije utvrđena statistički značajna razlika ( $p > 0,05$ ). Takođe, nije utvrđena statistički značajna razlika između prosečnog sadržaja mesa u trupu ogledne (42,49±0,87%) i kontrolne grupe svinja (42,94±1,54%).

Klanični rezultati tovnih svinja dobijeni u ovim istraživanjima, u saglasnosti su sa rezultatima istraživanja *Yamamoto et al. (2003)*, u kojem takođe nisu zabeležene statistički značajne razlike u debljini leđne slanine između kontrolne grupe svinja hranjene standardnom smešom i ogledne grupe u čiju je ishranu bio uključen osušeni jabučni trop u količini od 10%.

Tokom perioda ishrane tovnih svinja smešama koncentrata sa osušenim jabučnim tropom nije bilo zdravstvenih problema, što ukazuje na zaključak da osušeni jabučni trop nije imao negativan uticaj na zdravlje životinja.

Rezultati oglada ishrane pokazali su da ishrana tovnih svinja smešama koncentrata u koje je bio uključen osušeni jabučni trop, u količini od 7 i 10 % (u zavisnosti od kategorije), nije dovela do značajnih razlika u pogledu proizvodnih rezultata i kvaliteta polutki tovljenika u odnosu na ishranu standardnom smešom koncentrata, na osnovu čega se može zaključiti da se osušeni jabučni trop može uspešno koristiti u u smešama koncentrata za ishranu tovnih svinja. Takođe, rezultati ovog oglada ishrane na tovnim svinjama hranjenih smešama koncentrata sa dodatkom osušenog jabučnog tropa, upućuju na zaključak da bi se osušeni jabučni trop mogao koristiti i u ishrani drugih vrsta i kategorija domaćih životinja, a posebno u ishrani preživara.

#### **4.5. Optimizacija sastava smeša koncentrata sa dodatkom osušenog jabučnog tropa, namenjenih ishrani različitih vrsta i kategorija domaćih životinja**

Na osnovu nutritivne vrednosti jabučnog tropa, utvrđene analizom hemijskog sastava, fizičkih karakteristika, kao i rezultata oglada ishrane na tovrim svinjama, konstatovano je da se osušeni jabučni trop može uspešno koristiti kao hranivo u ishrani određenih vrsta i kategorija domaćih životinja. Ovim istraživanjem definisana je upotrebna vrednost suvog jabučnog tropa u ishrani životinja, pre svega kao sirovine u industrijskoj proizvodnji hrane za životinje.

Kao što je poznato, u intenzivnoj stočarskoj proizvodnji i industrijskoj proizvodnji hrane za životinje, neophodno je kombinovanje više hraniva u cilju zadovoljenja nutritivnih potreba određene vrste i kategorije životinje. Dakle, kombinovanjem više koncentrovanih hraniva, koje se prethodno usitne, a potom dobro izmešaju u uređajima za mešanje, dobijaju se smeše koncentrata. Pravilnim balansiranjem sastava, primenom softverskog paketa Optimix, uvažavajući potrebe u pogledu hranljivih materija, odnosno normative u ishrani i poštujući uslove kvaliteta *Pravilnika o kvalitetu hrane za životinje (2014)*, urađeni su predlozi receptura, odnosno smeša koncentrata u koje je kao jedno od hraniva uključen osušeni jabučni trop. Na ovaj način praktično je dat predlog upotrebe osušenog jabučnog tropa u ishrani domaćih životinja i industrijskoj proizvodnji hrane za životinje, čime se konkretno definiše njegova upotrebna vrednost u ovoj oblasti. Takođe, na osnovu rezultata procesa peletiranja jabučnog tropa i model smeša koncentrata sa dodatkom jabučnog tropa, mogao bi se očekivati i poboljšan kvalitet peleta smeša konkretnih smeša koncentrata.

##### **4.5.1. Predlozi sastava smeša koncentrata za ishranu goveda u koje je kao hranivo uključen osušeni jabučni trop**

Analiza i fizičkih karakteristika osušenog jabučnog tropa pokazala je da se ovo hranivo može koristiti u ishrani svih vrsta i kategorija goveda. Učešće ovog hraniva se kreće od 5% kod početne smeše za telad, do čak 20 % u ishrani junadi preko 350 kg.

## 4.5.1.1. Primer potpune smeše za ishranu teladi I (početna)

U tabelama 24 i 25 dati su sirovinski i hemijski sastav početne smeše za ishranu teladi. S obzirom da se radi o prvoj smeši koncentrata koja se koristi u ishrani teladi, maksimalno učešće jabučnog tropa, za pravilno balansiran, odnosno optimalan obrok, iznosilo je 5%.

Tabela 24. Sirovinski sastav potpune smeše za ishranu teladi I (početna)

Komponenta	Udeo u smeši, %
Kukuruz	41,80
Pšenica brašno (pšenično stočno brašno)	5,00
Zamena za mleko	5,00
Sojin mikronizirani griz	16,00
Sojina sačma	12,00
Suncokretova sačma (33% proteina)	5,00
Stočno brašno	5,00
Stočni kvasac	2,00
<b>Osušeni jabučni trop</b>	5,00
Mono kalcijum fosfat	0,50
Mineralno-vitaminska predsmesha - premiks	1,00

Tabela 25. Hemijski sastav potpune smeše za ishranu teladi I (početna)\*

Sastojak	Količina	Sastojak	Količina
Suva materija, %	90,02	Ca, g/kg	6,49
Sirovi protein, %	20,32	P, g/kg	5,81
Sirova mast, %	6,64	Mg, g/kg	1,91
Sirova celuloza, %	5,45	K, g/kg	5,44
Pepeo, %	4,61	Na, g/kg	2,30
BEM, %	49,38	S, g/kg	0,49
NDF, %	9,74	Zn, mg/kg	27,46
ADF, %	4,65	Mn, mg/kg	24,05
UIP, %	5,90	Cu, mg/kg	8,24
DIP, %	7,61	Fe, mg/kg	107,33
Ovsene hranlj. jed.	1,23	Co, mg/kg	1,69
NEL, %	7,21	Se, mg/kg	0,05
NEM, %	7,70	J, mg/kg	0,19
		Odnos Ca:P	1,12

\*Hemijski sastav smeša izračunat je uz pomoć programa Optimix

UIP – Proteini nerazgradivi na nivou buraga, DIP - Proteini razgradivi na nivou buraga

#### 4.5.1.2. Primer potpune smeše za ishranu teladi telesne mase od 50 do 100 kg

U tabelama 26 i 27 dati su sirovinski i hemijski sastav smeše za ishranu teladi telesne mase od 50-100 kg. Ova smeša se koristi već od 15. dana života, najčešće u kombinaciji sa zamenom za mleko. Pošto je funkcija preživljanja u ovoj još uvek nerazvijena, maksimalno učešće osušenog jabučnog tropa, za pravilno balansiran obrok, u ovoj smeši je inosilo 6%.

Tabela 26. Sirovinski sastav potpune smeše za ishranu teladi telesne mase od 50 do 100 kg

Komponenta	Udeo u smeši, %
Kukuruz	45,80
Pšenica brašno (pšenično stočno brašno)	5,00
Sojin mikronizirani griz	15,00
Sojina sačma	10,00
Suncokretova sačma (33% proteina)	10,00
Stočno brašno	5,00
<b>Osušeni jabučni trop</b>	6,00
Mono kalcijum fosfat	0,50
Mineralno-vitaminska predsmesa - premiks	1,00
Stočna kreda	1,20
Stočna so	0,50

Tabela 27. Hemijski sastav potpune smeše za ishranu teladi telesne mase od 50 do 100 kg\*

Sastojak	Količina	Sastojak	Količina
Suva materija, %	89,65	Ca, g/kg	6,31
Sirovi protein, %	18,16	P, g/kg	5,44
Sirova mast, %	7,45	Mg, g/kg	2,03
Sirova celuloza, %	6,73	K, g/kg	4,00
Pepeo, %	4,30	Na, g/kg	2,20
BEM, %	50,67	S, g/kg	0,40
NDF, %	8,73	Zn, mg/kg	27,19
ADF, %	4,21	Mn, mg/kg	24,40
UIP, %	5,00	Cu, mg/kg	8,36
DIP, %	7,32	Fe, mg/kg	112,21
Ovsene hranlj. jedinice	1,24	Co, mg/kg	1,64
NEL, %	7,15	Se, mg/kg	0,04
NEM, %	7,68	J, mg/kg	0,19
		Odnos Ca:P	1,16

\*Hemijski sastav smeše izračunat je uz pomoć programa Optimix



## 4.5.1.3. Primer smeše za ishranu teladi telesne mase od 100-250 kg

U tabelama 28 i 29 dati su sirovinski i hemijski sastav smeše za ishranu teladi telesne mase od 100-250 kg. Pošto je ova starosna kategorija goveda sa već uspostavljenim sistemom varenja-preživljanja hrane, učešće jabučnog tropa iznosilo je 15%.

Tabela 28. Sirovinski sastav smeše za ishranu teladi telesne mase od 100 do 250 kg

Komponenta	Udeo u smeši, %
Kukuruz	46,00
Sojin mikronizirani griz	5,00
Sojina sačma	10,00
Suncokretova sačma (33% proteina)	14,00
Stočno brašno	6,00
<b>Osušeni jabučni trop</b>	15,00
Mono kalcijum fosfat	0,80
Mineralno-vitaminska predsmesa - premiks	1,00
Stočna kreda	1,60
Stočna so	0,60

Tabela 29. Hemijski sastav smeše za ishranu teladi telesne mase od 100 do 250 kg\*

Sastojak	Količina	Sastojak	Količina
Suva materija, %	89,63	Ca, g/kg	8,47
Sirovi protein, %	16,18	P, g/kg	5,86
Sirova mast, %	6,40	Mg, g/kg	1,96
Sirova celuloza, %	9,19	K, g/kg	4,54
Pepeo, %	4,47	Na, g/kg	2,52
BEM, %	53,95	S, g/kg	0,40
NDF, %	11,98	Zn, mg/kg	28,78
ADF, %	6,70	Mn, mg/kg	26,15
UIP, %	5,42	Cu, mg/kg	9,04
DIP, %	8,42	Fe, mg/kg	139,62
Ovsene hranlj. jedinice	1,25	Co, mg/kg	0,92
NEL, %	6,64	Se, mg/kg	0,05
NEM, %	7,08	J, mg/kg	0,23
		Odnos Ca:P	1,44

\*Hemijski sastav smeša izračunat je uz pomoć programa Optimix

**4.5.1.4. Primer smeše za ishranu junadi telesne mase od 250 - 350 kg**

U tabelama 30 i 31 dati su sirovinski i hemijski sastav smeše za ishranu teladi telesne mase od 250 - 350 kg. S obzirom na to da u ovom proizvodnom ciklusu smeša koncentrata obično predstavlja dopunu obroka, koji se uglavnom sastoji od kabaste hrane, moguće učešće osušenog jabučnog tropa u smeši iznosilo je 20%.

Tabela 30. Sirovinski sastav smeše za ishranu junadi telesne mase od 250-350 kg

<b>Komponenta</b>	<b>Udeo u smeši, %</b>
Kukuruz	46,20
Sojina sačma	6,00
Suncokretova sačma (33% proteina)	18,00
Stočno brašno	6,00
<b>Osušeni jabučni trop</b>	<b>20,00</b>
Mono kalcijum fosfat	0,70
Mineralno-vitaminska predsmesha - premiks	1,00
Stočna kreda	1,50
Stočna so	0,60

Tabela 31. Hemijski sastav smeše za ishranu teladi telesne mase od 250-350 kg\*

<b>Sastojak</b>	<b>Količina</b>	<b>Sastojak</b>	<b>Količina</b>
Suva materija, %	89,60	Ca, g/kg	8,00
Sirovi protein, %	14,28	P, g/kg	5,45
Sirova mast, %	6,20	Mg	1,95
Sirova celuloza, %	10,79	K	4,00
Pepeo, %	4,21	Na	2,50
BEM, %	56,57	S	0,30
NDF, %	13,08	Zn, mg/kg	30,34
ADF, %	7,67	Mn, mg/kg	26,87
UIP, %	5,01	Cu, mg/kg	9,61
DIP, %	8,41	Fe, mg/kg	149,47
Ovsene hranlj. jedinice	1,26	Co, mg/kg	0,63
NEL, %	6,38	Se, mg/kg	0,04
NEM, %	6,80	J, mg/kg	0,23
		Odnos Ca:P	1,47

\*Hemijski sastav smeša izračunat je uz pomoć programa Optimix

## 4.5.1.5. Primer smeše za ishranu junadi telesne mase preko 350 kg

Tabela 32. Sirovinski sastav smeše za ishranu junadi telesne mase preko 350 kg

Komponenta	Udeo u smeši, %
Kukuruz	56,20
Sojina sačma	3,00
Suncokretova sačma (33% proteina)	16,00
<b>Osušeni jabučni trop</b>	20,00
Mono kalcijum fosfat	1,20
Mineralno-vitaminska predsmesha - premiks	1,00
Stočna kreda	1,90
Stočna so	0,70

Tabela 33. Hemijski sastav smeše za ishranu junadi telesne mase preko 350 kg\*

Sastojak	Količina	Sastojak	Količina
Suva materija, %	89,60	Ca, g/kg	10,13
Sirovi protein, %	12,27	P, g/kg	6,00
Sirova mast, %	5,93	Mg	1,85
Sirova celuloza, %	9,88	K	3,20
Pepeo, %	4,39	Na	2,84
BEM, %	58,77	S	0,18
NDF, %	11,12	Zn, mg/kg	27,21
ADF, %	7,01	Mn, mg/kg	20,59
UIP, %	4,42	Cu, mg/kg	8,29
DIP, %	6,82	Fe, mg/kg	131,64
Ovsene hranlj. jedinice	1,28	Co, mg/kg	0,62
NEL, %	6,45	Se, mg/kg	0,03
NEM, %	6,98	J, mg/kg	0,27
		Odnos Ca:P	1,69

\*Hemijski sastav smeša izračunat je uz pomoć programa Optimix

#### 4.5.1.6. Primer smeše sa 12% proteina za ishranu mlečnih krava

U tabelama 34 i 35 dati su sirovinski i hemijski sastav smeša koncentrata za ishranu mlečnih krava, sa 12 % proteina. S obzirom da se ova smeša koristi u ishrani krava niže mlečnosti, jabučni trop se može uključiti u smešu u značajnijoj količini, koja je iznosila 18%.

Tabela 34. Sirovinski sastav smeše sa 12% proteina za ishranu mlečnih krava

Komponenta	Udeo u smeši, %
Kukuruz	50,60
Pšenično stočno brašno	5,00
Suncokretova sačma (33% proteina)	22,00
<b>Osušeni jabučni trop</b>	18,00
Mono kalcijum fosfat	1,00
Mineralno-vitaminska predsmesa - premiks	1,00
Stočna kreda	1,80
Stočna so	0,60

Tabela 35. Hemijski sastav smeše sa 12% proteina za ishranu mlečnih krava\*

Sastojak	Količina	Sastojak	Količina
Suva materija, %	89,55	Ca, g/kg	9,36
Sirovi protein, %	12,61	P, g/kg	6,06
Sirova mast, %	2,76	Mg, g/kg	2,01
Sirova celuloza, %	9,05	K, g/kg	2,34
Pepeo, %	4,63	Na, g/kg	2,64
BEM, %	56,49	S, g/kg	0,09
NDF, %	17,57	Zn, mg/kg	30,06
ADF, %	10,22	Mn, mg/kg	22,17
UIP, %	5,28	Cu, mg/kg	9,80
DIP, %	6,77	Fe, mg/kg	135,32
Ovsene hranlj. jedinice	1,05	Co, mg/kg	0,80
NEL, %	5,11	Se, mg/kg	0,04
NEM, %	5,62	J, mg/kg	0,23
		Odnos Ca:P	1,54

\*Hemijski sastav smeša izračunat je uz pomoć programa Optimix

**4.5.1.7. Primer smeše sa 15% proteina za ishranu mlečnih krava**

U tabelama 36 i 37 dati su sirovinski i hemijski sastav smeša koncentrata za ishranu mlečnih krava, sa 15 % proteina. Kao i u slučaju smeše sa 12% proteina, i ova smeša se koristi u ishrani krava niže mlečnosti, pa se osušeni jabučni trop može uključiti u smešu u većoj količini, koja je iznosila 15%.

Tabela 36. Sirovinski sastav smeše sa 15% proteina za ishranu mlečnih krava

Komponenta	Udeo u smeši, %
Kukuruz	43,40
Pšenica brašno	6,00
Sojin mikronizirani griz	6,00
Suncokretova sačma (33% proteina)	25,00
<b>Osušeni jabučni trop</b>	15,00
Mono kalcijum fosfat	1,10
Mineralno-vitaminska predmeša - premiks	1,00
Stočna kreda	1,90
Stočna so	0,60

Tabela 37. Hemijski sastav smeše sa 15% proteina za ishranu mlečnih krava\*

Sastojak	Količina	Sastojak	Količina
Suva materija, %	89,86	Ca, g/kg	10,00
Sirovi protein, %	15,11	P, g/kg	6,81
Sirova mast, %	3,66	Mg, g/kg	2,20
Sirova celuloza, %	9,05	K, g/kg	1,99
Pepeo, %	5,10	Na, g/kg	2,68
BEM, %	51,91	S, g/kg	0,07
NDF, %	17,13	Zn, mg/kg	32,01
ADF, %	9,80	Mn, mg/kg	23,36
UIP, %	5,42	Cu, mg/kg	10,73
DIP, %	7,13	Fe, mg/kg	137,52
Ovsene hranlj. jedinice	1,00	Co, mg/kg	1,13
NEL, %	5,00	Se, mg/kg	0,04
NEM, %	5,49	J, mg/kg	0,23
		Odnos Ca:P	1,47

\*Hemijski sastav smeša izračunat je uz pomoć programa Optimix

**4.5.1.8. Primer smeše za ishranu mlečnih krava koje daju preko 20 l mleka dnevno**

U tabelama 38 i 39 dati su sirovinski i hemijski sastav smeša koncentrata za ishranu mlečnih krava koje daju preko 20 l mleka dnevno. Usled značajne potrebe za proteinima kod ove kategorije krava, udeo jabučnog tropa u smeši je sveden na 10%.

Tabela 38. Sirovinski sastav smeše za ishranu mlečnih krava koje daju preko 20 l mleka dnevno

Komponenta	Udeo u smeši, %
Kukuruz	40,50
Pšenica brašno	5,00
Sojin mikronizirani griz	10,00
Sojina sačma	6,00
Suncokretova sačma (33% proteina)	24,00
<b>Osušeni jabučni trop</b>	10,00
Mono kalcijum fosfat	1,00
Mineralno-vitaminska predsmesa - premiks	1,00
Stočna kreda	1,80
Stočna so	0,70

Tabela 39. Hemijski sastav smeše za ishranu mlečnih krava koje daju preko 20 l mleka dnevno

Sastojak	Količina	Sastojak	Količina
Suva materija, %	89,97	Ca, g/kg	9,51
Sirovi protein, %	18,35	P, g/kg	7,15
Sirova mast, %	4,36	Mg, g/kg	2,30
Sirova celuloza, %	8,23	K, g/kg	2,45
Pepeo, %	5,46	Na, g/kg	3,06
BEM, %	48,53	S, g/kg	0,18
NDF, %	15,46	Zn, mg/kg	32,35
ADF, %	8,58	Mn, mg/kg	23,26
UIP, %	6,60	Cu, mg/kg	10,97
DIP, %	8,13	Fe, mg/kg	135,48
Ovsene hranlj. jedinice	0,99	Co, mg/kg	1,36
NEL, %	5,28	Se, mg/kg	0,04
NEM, %	5,74	J, mg/kg	0,27
		Odnos Ca:P	1,33

\*Hemijski sastav smeša izračunat je uz pomoć programa Optimix

## 4.5.1.9. Primer smeše za ishranu junica i zasušenih krava

Tabela 40. Sirovinski sastav smeše za ishranu junica i zasušenih krava

Komponenta	Udeo u smeši, %
Kukuruz	48,40
Pšenično stočno brašno	6,00
Sojina sačma	3,00
Suncokretova sačma (33% proteina)	22,00
Stočni kvasac	2,00
<b>Osušeni jabučni trop</b>	14,00
Mono kalcijum fosfat	1,00
Mineralno-vitaminska predsmesha - premiks	1,00
Stočna kreda	2,00
Stočna so	0,60

Tabela 41. Hemijski sastav smeše za ishranu junica i zasušenih krava\*

Sastojak	Količina	Sastojak	Količina
Suva materija, %	89,50	Ca, g/kg	10,10
Sirovi protein, %	14,52	P, g/kg	6,45
Sirova mast, %	2,72	Mg, g/kg	2,07
Sirova celuloza, %	8,45	K, g/kg	2,68
Pepeo, %	5,00	Na, g/kg	2,65
BEM, %	54,70	S, g/kg	0,16
NDF, %	16,51	Zn, mg/kg	30,58
ADF, %	9,37	Mn, mg/kg	22,26
UIP, %	6,43	Cu, mg/kg	10,24
DIP, %	7,77	Fe, mg/kg	134,55
Ovsene hranlj. jedinice	1,03	Co, mg/kg	0,90
NEL, %	5,21	Se, mg/kg	0,04
NEM, %	5,69	J, mg/kg	0,23
		Odnos Ca:P	1,56

\*Hemijski sastav smeša izračunat je uz pomoć programa Optimix

## 4.5.1.10. Primer smeše za ishranu priplodnih bikova

Tabela 42. Sirovinski sastav smeše za ishranu priplodnih bikova

Komponenta	Udeo u smeši, %
Kukuruz	40,00
Ovas	12,60
Sojina sačma	4,00
Suncokretova sačma (33% proteina)	25,00
Stočni kvasac	2,00
<b>Osušeni jabučni trop</b>	12,00
Mono kalcijum fosfat	1,00
Mineralno-vitaminska predsmesha - premiks	1,00
Stočna kreda	1,80
Stočna so	0,60

Tabela 43. Hemijski sastav smeše za ishranu priplodnih bikova\*

Sastojak	Količina	Sastojak	Količina
Suva materija, %	89,39	Ca, g/kg	9,51
Sirovi protein, %	16,08	P, g/kg	6,90
Sirova mast, %	2,94	Mg, g/kg	2,23
Sirova celuloza, %	9,62	K, g/kg	3,04
Pepeo, %	5,23	Na, g/kg	2,69
BEM, %	52,79	S, g/kg	0,28
NDF, %	19,88	Zn, mg/kg	33,11
ADF, %	11,18	Mn, mg/kg	28,67
UIP, %	7,03	Cu, mg/kg	12,37
DIP, %	9,55	Fe, mg/kg	143,88
Ovsene hranlj. jedinice	0,95	Co, mg/kg	0,62
NEL, %	4,87	Se, mg/kg	0,04
NEM, %	5,28	J, mg/kg	0,23
		Odnos Ca:P	1,38

\*Hemijski sastav smeša izračunat je uz pomoć programa Optimix



## 4.5.1.11. Primer smeše za ishranu jagnjadi telesne mase do 15 kg

Tabela 44. Sirovinski sastav smeše za ishranu jagnjadi telesne mase do 15 kg

Komponenta	Udeo u smeši, %
Kukuruz	53,30
Ovas	4,00
Mleko u prahu	5,00
Sojin mikronizirani griz	10,00
Sojina sačma	18,50
<b>Osušeni jabučni trop</b>	5,00
Mono kalcijum fosfat	0,80
Mineralno - vitaminski premiks	1,00
Stočna kreda	1,70
Stočna so	0,70

Tabela 45. Hemijski sastav smeše za ishranu jagnjadi telesne mase do 15 kg\*

Sastojak	Količina	Sastojak	Količina
Suva materija, %	89,52	Ca, g/kg	9,05
Sirovi protein, %	18,15	P, g/kg	5,75
Sirova mast, %	5,00	Mg, g/kg	1,73
Sirova celuloza, %	4,45	K, g/kg	5,63
Pepeo, %	4,89	Na, g/kg	3,16
BEM, %	53,08	S, g/kg	0,63
NDF, %	9,18	Zn, mg/kg	20,66
ADF, %	4,96	Mn, mg/kg	19,45
UIP, %	5,98	Cu, mg/kg	6,30
DIP, %	7,05	Fe, mg/kg	99,41
Ovsene hranlj. jedinice	1,26	Co, mg/kg	1,23
NEL, %	7,34	Se, mg/kg	0,04
NEM, %	7,90	J, mg/kg	0,27
		Odnos Ca:P	1,57

\*Hemijski sastav smeša izračunat je uz pomoć programa Optimix

**4.5.1.12. Primer potpune smeše za ishranu jagnjadi u porastu i tovu II (15 do 30 kg telesne mase)**

Tabela 46. Sirovinski sastav smeše ishranu jagnjadi u porastu i tovu II (15 do 30 kg telesne mase)

Komponenta	Udeo u smeši, %
Kukuruz	54,00
Ovas zrno	5,00
Sojin mikronizirani griz	5,00
Sojina sačma	8,60
Suncokretova sačma sa 33% proteina	12,00
Lucerkino brašno – 17%	3,00
Stočni kvasac	2,00
<b>Osušeni jabučni trop</b>	6,00
Mono kalcijum fosfat	1,00
Mineralno-vitaminska predsmeša - premiks	1,00
Stočna kreda	1,80
Stočna so	0,60

Tabela 47. Hemijski sastav smeše ishranu jagnjadi u porastu i tovu II (15 do 30 kg telesne mase)\*

Sastojak	Količina	Sastojak	Količina
Suva materija, %	89,32	Ca, g/kg	9,68
Sirovi protein, %	16,19	P, g/kg	6,21
Sirova mast, %	6,27	Mg, g/kg	2,02
Sirova celuloza, %	7,82	K, g/kg	3,76
Pepeo, %	4,90	Na, g/kg	2,56
BEM, %	54,36	S, g/kg	0,37
NDF, %	8,59	Zn, mg/kg	25,86
ADF, %	4,52	Mn, mg/kg	21,71
UIP, %	5,83	Cu, mg/kg	8,59
DIP, %	7,99	Fe, mg/kg	119,84
Ovsene hranlj. jedinice	1,20	Co, mg/kg	1,00
NEL, %	6,88	Se, mg/kg	0,04
NEM, %	7,39	J, mg/kg	0,23
		Odnos Ca:P	1,56

\*Hemijski sastav smeša izračunat je uz pomoć programa Optimix

## 4.5.1.13. Primer potpune smeša za jagnjad u porastu i tovu III (30 do 50 kg telesne mase)

Tabela 48. Sirovinski sastav potpune smeše za ishranu jagnjadi u porastu i tovu III (30 do 50 kg telesne mase)

Komponenta	Udeo u smeši, %
Kukuruz	49,50
Ovas	5,00
Sojina sačma	6,00
<b>Osušeni jabučni trop</b>	10,00
Suncokretova sačma sa 33% proteina	14,00
Stočno brašno	6,00
Lucerkino brašno - 17%	3,00
Stočni kvasac	2,00
Mono kalcijum fosfat	1,00
Mineralno-vitaminska predsmesa - premiks	1,00
Stočna kreda	1,80
Stočna so	0,70

Tabela 49. Hemijski sastav smeše za ishranu jagnjadi u porastu i tovu III (30 do 50 kg telesne mase)\*

Sastojak	Količina	Sastojak	Količina
Suva materija, %	89,29	Ca, g/kg	9,76
Sirovi protein, %	14,67	P, g/kg	6,26
Sirova mast, %	5,67	Mg, g/kg	1,96
Sirova celuloza, %	9,10	K, g/kg	3,79
Pepeo, %	4,77	Na, g/kg	2,91
BEM, %	56,11	S, g/kg	0,34
NDF, %	11,55	Zn, mg/kg	27,90
ADF, %	5,87	Mn, mg/kg	26,66
UIP, %	5,53	Cu, mg/kg	9,20
DIP, %	8,43	Fe, mg/kg	130,98
Ovsene hranlj. jedinice	1,19	Co, mg/kg	0,71
NEL, %	6,55	Se, mg/kg	0,04
NEM, %	6,99	J, mg/kg	0,27
		Odnos Ca:P	1,56

## 4.5.1.14. Primer smeše za ishranu ovaca i dviski

Tabela 50. Sirovinski sastav smeše za ishranu ovaca i dviski

Komponenta	Udeo u smeši, %
Kukuruz	46,80
Ovas	5,00
Sojina sačma	3,00
Suncokretova sačma sa 33% proteina	22,00
Lucerkino brašno – 17%	4,00
<b>Osušeni jabučni trop</b>	15,00
Mono kalcijum fosfat	0,80
Mineralno-vitaminska predsmesha - premiks	1,00
Stočna kreda	1,60
Stočna so	0,80

Tabela 51. Hemijski sastav smeše za ishranu ovaca i dviski

Sastojak	Količina	Sastojak	Količina
Suva materija, %	89,48	Ca, g/kg	8,91
Sirovi protein, %	14,29	P, g/kg	5,84
Sirova mast, %	2,91	Mg, g/kg	2,16
Sirova celuloza, %	9,97	K, g/kg	2,88
Pepeo, %	5,10	Na, g/kg	3,42
BEM, %	54,33	S, g/kg	0,20
NDF, %	18,07	Zn, mg/kg	30,33
ADF, %	10,35	Mn, mg/kg	24,93
UIP, %	5,84	Cu, mg/kg	10,57
DIP, %	7,83	Fe, mg/kg	152,62
Ovsene hranlj. jedinice	1,00	Co, mg/kg	0,65
NEL, %	5,03	Se, mg/kg	0,04
NEM, %	5,48	J, mg/kg	0,30
		Odnos Ca:P	1,53

## 4.5.1.15. Primer smeše za ishranu ovaca u laktaciji

Tabela 52. Sirovinski sastav smeše za ishranu ovaca u laktaciji

Komponenta	Udeo u smeši, %
Kukuruz	40,70
Ovas	4,00
Suncokretova sačma (33% proteina)	22,00
<b>Osušeni jabučni trop</b>	15,00
Mono kalcijum fosfat	1,00
Mineralno-vitaminska predsmesa - premiks	0,90
Stočna kreda	1,60
Stočna so	0,80

Tabela 53. Hemijski sastav smeše za ishranu ovaca u laktaciji

Sastojak	Količina	Sastojak	Količina
Suva materija, %	90,11	Ca, g/kg	9,46
Sirovi protein, %	16,24	P, g/kg	6,39
Sirova mast, %	8,65	Mg, g/kg	2,25
Sirova celuloza, %	11,66	K, g/kg	2,07
Pepeo, %	5,12	Na, g/kg	3,30
BEM, %	51,10	S, g/kg	0,10
NDF, %	9,04	Zn, mg/kg	31,11
ADF, %	5,62	Mn, mg/kg	24,67
UIP, %	3,86	Cu, mg/kg	10,34
DIP, %	7,30	Fe, mg/kg	146,96
Ovsene hranlj. jedinice	1,21	Co, mg/kg	1,10
NEL, %	6,41	Se, mg/kg	0,03
NEM, %	6,91	J, mg/kg	0,30
		Odnos Ca:P	1,48

## 4.5.1.16. Primer smeše za ishranu ovnova

Tabela 54. Sirovinski sastav smeše za ishranu ovnova

Komponenta	Udeo u smeši, %
Kukuruz	40,00
Ovas	10,00
Suncokretova sačma (33% proteina)	20,00
<b>Osušeni jabučni trop</b>	10,00
Mono kalcijum fosfat	1,00
Mineralno-vitaminska predmeša - premiks	1,00
Stočna kreda	1,50
Stočna so	1,00

Tabela 55. Hemijski sastav smeše za ishranu ovnova

Sastojak	Količina	Sastojak	Količina
Suva materija, %	89,19	Ca, g/kg	8,88
Sirovi protein, %	17,37	P, g/kg	6,45
Sirova mast, %	6,75	Mg, g/kg	2,19
Sirova celuloza, %	10,85	K, g/kg	4,64
Pepeo, %	5,21	Na, g/kg	3,99
BEM, %	52,07	S, g/kg	0,51
NDF, %	10,68	Zn, mg/kg	30,81
ADF, %	6,35	Mn, mg/kg	28,48
UIP, %	6,38	Cu, mg/kg	11,70
DIP, %	10,55	Fe, mg/kg	157,14
Ovsene hranlj. jedinice	1,17	Co, mg/kg	0,71
NEL, %	6,47	Se, mg/kg	0,05
NEM, %	6,87	J, mg/kg	0,38
		Odnos Ca:P	1,38

## 4.5.1.17. Primer smeše za ishranu svinja u porastu, telesne mase od 25 do 60 kg

Tabela 56. Sirovinski sastav smeše za ishranu svinja u porastu, telesne mase od 25 do 60 kg

Komponenta	Udeo u smeši, %
Ječam	10,00
Kukuruz	53,20
Sojin mikronizirani griz	10,00
Sojina sačma	8,00
Suncokretova sačma (33% proteina)	6,00
Stočni kvasac	2,00
<b>Osušeni jabučni trop</b>	7,00
Monokalcijum fosfat	0,80
Premiks	1,00
Stočna kreda	1,40
Stočna so	0,50
L-Lizin - HCl	0,10

Tabela 57. Hemijski sastav smeše za ishranu svinja u porastu, telesne mase od 25 do 60 kg

Sastojak	Količina	Sastojak	Količina
Suva materija, %	89,19	Ca, g/kg	8,88
Sirovi protein, %	17,37	P, g/kg	6,45
Sirova mast, %	6,75	Mg, g/kg	2,19
Sirova celuloza, %	10,85	K, g/kg	4,64
Pepeo, %	5,21	Na, g/kg	3,99
BEM, %	52,07	S, g/kg	0,51
NDF, %	10,68	Zn, mg/kg	30,81
ADF, %	6,35	Mn, mg/kg	28,48
UIP, %	6,38	Cu, mg/kg	11,70
DIP, %	10,55	Fe, mg/kg	157,14
Ovsene hranlj. jedinice	1,17	Co, mg/kg	0,71
NEL, %	6,47	Se, mg/kg	0,05
NEM, %	6,87	J, mg/kg	0,38
		Odnos Ca:P	1,38

## 4.5.1.18. Primer smeše za ishranu svinja u tovu, telesne mase od 60 do 100 kg

Tabela 58. Sirovinski sastav smeše za ishranu svinja u tovu telesne mase od 60 do 100 kg

Komponenta	Udeo u smeši, %
Ječam	10,00
Kukuruz	56,40
Sojin mikronizirani griz	4,00
Sojina sačma	6,00
Suncokretova sačma sa 33% proteina	8,00
<b>Osušeni jabučni trop</b>	10,00
Mono kalcijum fosfat	0,80
Mineralno – vitaminski premiks	1,00
Stočna kreda	1,00
Stočna so	1,50
L Lizin	0,10

Tabela 59. Hemijski sastav smeše za ishranu svinja u tovu telesne mase od 60 do 100 kg

Sastojak	Količina	Sastojak	Količina
Suva materija, %	89,19	Izoleucin, %	4,64
Sirovi protein, %	17,37	Valin, %	3,99
Sirova mast, %	6,75	Ca, g/kg	0,51
Sirova celuloza, %	10,85	P, g/kg	30,81
Pepeo, %	5,21	Mg, g/kg	28,48
BEM, %	52,07	Na, g/kg	11,70
Metabolička energija, MJ/kg	10,68	Zn, mg/kg	157,14
Lizin, %	6,35	Mn, mg/kg	0,71
Metionin, %	6,38	Cu, mg/kg	0,05
Metionin + Cistin, %	10,55	Fe, mg/kg	0,38
Triptofan, %	1,17	Co, mg/kg	1,38
Arginin, %	6,47	Se, mg/kg	0,03
Histidin, %	6,87	J, mg/kg	0,19
Treonin, %	8,88	Odnos Ca:P	1,69
Fenilalanin, %	6,45		
Leucin, %	2,19		



## 4.5.1.19. Primer smeše za ishranu suprasnih krmača i nazimica

Tabela 60. Sirovinski sastav smeše za ishranu suprasnih krmača i nazimica

Komponenta	Udeo u smeši, %
Ječam	10,00
Kukuruz	49,50
Sojina sačma	7,00
Suncokretova sačma sa 33% proteina	9,00
Stočno brašno	5,00
Stočni kvasac	2,00
<b>Osušeni jabučni trop</b>	12,00
Mono kalcijum fosfat	1,80
Mineralno – vitaminski premiks	1,00
Stočna kreda	2,20
Stočna so	0,50

Tabela 61. Hemijski sastav smeše za ishranu suprasnih krmača i nazimica

Sastojak	Količina	Sastojak	Količina
Suva materija, %	89,26	Izoleucin, %	0,63
Sirovi protein, %	13,73	Valin, %	0,72
Sirova mast, %	2,87	Ca, g/kg	12,06
Sirova celuloza, %	6,70	P, g/kg	7,87
Pepeo, %	4,76	Mg, g/kg	1,66
BEM, %	57,83	Na, g/kg	2,24
Metabolička energija, MJ/kg	12,10	Zn, mg/kg	26,28
Lizin, %	0,55	Mn, mg/kg	22,66
Metionin, %	0,24	Cu, mg/kg	7,52
Metionin + Cistin, %	0,48	Fe, mg/kg	113,66
Triptofan, %	0,15	Co, mg/kg	1,17
Arginin, %	0,91	Se, mg/kg	0,04
Histidin, %	0,38	J, mg/kg	0,19
Treonin, %	0,51		
Fenilalanin, %	0,72		
Leucin, %	1,25		

## 4.5.1.20. Primer smeše za ishranu krmača dojara i nerastova

Tabela 62. Sirovinski sastav smeše za ishranu krmača dojara i nerastova

Komponenta	Udeo u smeši
Kukuruz	58,00
Sojin mikronizirani griz	13,00
Sojina sačma	7,00
Suncokretova sačma sa 33% proteina	7,00
Stočni kvasac	2,00
<b>Osušeni jabučni trop</b>	8,00
Mono kalcijum fosfat	1,60
Mineralno – vitaminski premiks	1,00
Stočna kreda	1,90
Stočna so	0,50

Tabela 63. Hemijski sastav smeše za ishranu krmača dojara i nerastova

Sastojak	Količina	Sastojak	Količina
Suva materija, %	89,84	Izoleucin, %	0,57
Sirovi protein, %	16,20	Valin, %	0,67
Sirova mast, %	5,37	Ca, g/kg	10,58
Sirova celuloza, %	5,38	P, g/kg	7,52
Pepeo, %	4,82	Mg, g/kg	1,87
BEM, %	53,33	Na, g/kg	2,22
Metabolička energija, MJ/kg	13,00	Zn, mg/kg	23,69
Lizin, %	0,80	Mn, mg/kg	17,56
Metionin, %	0,28	Cu, mg/kg	6,59
Metionin + Cistin, %	0,55	Fe, mg/kg	96,64
Triptofan, %	0,18	Co, mg/kg	1,35
Arginin, %	1,19	Se, mg/kg	0,03
Histidin, %	0,47	J, mg/kg	0,19
Treonin, %	0,63		
Fenilalanin, %	0,66		
Leucin, %	1,29		

## 4.5.1.21. Primer smeše za ishranu kunića

Tabela 64. Sirovinski sastav smeše za ishranu kunića

Komponenta	Udeo u smeši, %
Ječam	10,00
Kukuruz	20,00
Ovas	5,00
Sojina sačma	4,00
Suncokretova sačma sa 33% proteina	15,00
Suvi rezanci šećerne repe	7,00
Stočno brašno	8,00
Lucerkino brašno	10,00
Stočni kvasac	2,00
<b>Osušeni jabučni trop</b>	15,00
Mono kalcijum fosfat	1,70
Mineralno – vitaminski premiks	1,00
Stočna kreda	0,90
Stočna so	0,40

Tabela 65. Hemijski sastav smeše za ishranu kunića

Sastojak	Količina	Sastojak	Količina
Suva materija, %	89,38	Izoleucin, %	0,62
Sirovi protein, %	15,15	Valin, %	0,75
Sirova mast, %	5,25	Ca, g/kg	9,13
Sirova celuloza, %	13,19	P, g/kg	7,88
Pepeo, %	4,91	Mg, g/kg	2,06
BEM, %	52,34	Na, g/kg	1,86
Metabolička energija, MJ/kg	10,54	Zn, mg/kg	30,73
Lizin, %	0,60	Mn, mg/kg	34,84
Metionin, %	0,23	Cu, mg/kg	11,10
Metionin + Cistin, %	0,51	Fe, mg/kg	196,34
Triptofan, %	0,17	Co, mg/kg	1,20
Arginin, %	0,96	Se, mg/kg	0,14
Histidin, %	0,47	J, mg/kg	0,15
Treonin, %	0,53		
Fenilalanin, %	0,72		
Leucin, %	1,20		

## 5. ZAKLJUČCI

Na osnovu rezultata sprovedenih istraživanja, koja su obuhvatila ispitivanje nutritivne vrednosti, osušenog jabučnog tropa, odnosno njegovog hemijskog sastava, zaim njegovih fizičkih karakteristika (mogućnosti peletiranja), kao i na osnovu oglada ishrane na životinjama, može se zaključiti sledeće:

1. Osušeni jabučni trop sa sadržajem šećera od 31,95%, proteina 6,32%, masti 2,45%, predstavlja proizvod koji se može uspešno upotrebiti u kao hranivo u ishrani životinja;
2. U odnosu na najčešće korišćena hraniva u smešama koncentrata za ishranu životinja, osušeni jabučni trop sadrži relativno viši nivo sirovih vlakana - 22,5%, što je ograničavajući faktor za njegovo značajnije uključivanje u smeše koncentrata za ishranu pojedinih vrsta i kategorija životinja;
3. Ispitivanjem fizičkih karakteristika osušenog jabučnog tropa, sa stanovišta mogućnosti njegovog peletiranja, utvrđeno je da se primenom ovog tehnološkog postupka dobijaju pelete veoma dobrog kvaliteta, u pogledu indeksa otpornosti (PDI) – koji je iznosio preko 99% i tvrdoće (H) čije se vrednost kretala od 6 do 12 Kalovih jedinica (u zavisnosti od sadržaja vlage osušenog jabučnog tropa)
  - a. Nasipna masa peletiranog osušenog jabučnog tropa bila je skoro dva puta veća od nasipne mase osušenog jabučnog tropa u rasutom stanju, čime se značajno doprinosi lakšem i efikasnijem skladištenju, transportu i manipulaciji, a time i ekonomičnosti u industrijskoj proizvodnji hrane za životinje
    - Povećanje sadržaja vlage osušenog jabučnog tropa sa 10 na 16%, uslovalo je smanjenje temperature i specifične potrošnje energije pelet prese, što upućuje na zaključak da bi peletiranje osušenog jabučnog tropa sa ovim sadržajem vlage bilo energetska najefikasnije
4. Dodavanje osušenog jabučnog tropa u model smeše koncentrata sastavljenih od kukuruza i sojine sačme, imalo je pozitivan uticaj na fizički kvalitet peleta (stepen otiranja, tvrdoću i udeo prašine). Prosečna vrednost PDI za model smeše sa 10%, odnosno 20% osušenog jabučnog tropa, povećana je za 30, odnosno 40%, u odnosu na smeše bez dodatka

osušenog jabučnog tropa. Povećanje početnog sadržaja vlage model smeša i debljine matrice pelet prese dovele su do povećanja kvaliteta peleta u pogledu indeksa otpornosti (PDI), tvrdoće (H) i udela prašine u peletama. Sa druge strane, sa dodatkom osušenog jabučnog tropa u model smeše koncentrata, došlo je do povećanja specifične potrošnje energije pelet prese i temperature matrice pelet prese

- Analiza standardnih ocena pokazala je da su optimalne vrednosti parametara procesa peletiranja (potrošnje energije i temperature matrice) i fizičkog kvaliteta peleta dobijene pri peletiranju model smeše sa udelom jabučnog tropa od 10%, pri debljini matrice pelet prese od 30 mm i početnom sadržaju vlage model smeša koncentrata od 17%.
5. Na osnovu rezultata dobijenih u procesu peletiranja model smeša koncentrata, može se zaključiti da bi dodavanje osušenog jabučnog tropa u konkretne smeše koncentrata za ishranu životinja, moglo imati pozitivan uticaj na proces peletiranja i kvalitet peleta. Takođe, osušeni jabučni trop mogao bi se upotrebiti i kao prirodno vezivno sredstvo sa ciljem dobijanja kvalitetnijih peleta.
  6. Uključivanje osušenog jabučnog tropa kao komponente u smeša koncentrata za ishranu svinja, u količini od 7% u prvoj (od 25 do 60 kg telesne mase), odnosno 10% u drugoj fazi tova (od 60 do 100 kg telesne mase), nije imalo negativan uticaj na proizvodne rezultate, kvalitet polutki i zdravstveno stanje životinja.
  7. Na osnovu dobijenih rezultata, može se zaključiti da se osušeni jabučni trop može uspešno uključivati i u smeše koncentrata za ishranu najvećeg broja drugih vrsta i kategorija životinja.
  8. Primenom savremenih softverskih paketa, odnosno proračuna za optimizaciju sastava smeša koncentrata (koji podrazumeva izbalansiranost odnosa različitih hraniva u cilju zadovoljenja nutritivnih potreba životinja uz postizanje minimalne cene koštanja), utvrđeno je da se u zavisnosti od vrste i kategorije životinja, osušeni jabučni trop kao hranivo uspešno može uključiti u količini od 5% (smeše za ishranu teladi) do 20% (smeše za ishranu junadi) u smeše koncentrata za ishranu životinja.

9. Primerima sastava smeša koncentrata za pojedine vrste i kategorije domaćih životinja praktično je predstavljena mogućnost iskorišćenja osušenog jabučnog tropa i konkretno definisana njegova upotrebna vrednost, odnosno mogućnost njegovog korišćenja u industrijskoj proizvodnji hrane za životinje .

Ovim istraživanjima je utvrđeno je da osušeni jabučni trop, kao sporedni proizvod tehnološkog procesa dobijanja soka, ima značajnu nutritivnu vrednost kao hranivo u ishrani životinja, i da se uspešno može upotrebiti u industrijski proizvedenim smešama koncentrata, odnosno supstitusati druga hraniva. Na taj način, može se značajno doprineti ekonomičnosti proizvodnje, očuvanju prirodnih resursa kao i zaštiti životne sredine. Buduća istraživanja treba da daju još preciznije odgovore o mogućnostima iskorišćenja osušenog jabučnog tropa i u drugim oblastima primene.

---

**Literatura**

1. Abdollahi, M., Ravindran, V., & Svihus, B. (2013). Pelleting of broiler diets: An overview with emphasis on pellet quality and nutritional value. *Animal Feed Science and Technology*, 179(1-4), 1-23.
2. Abdollahi, M., Ravindran, V., Wester, T., Ravindran, G., & Thomas, D. (2011). Influence of feed form and conditioning temperature on performance, apparent metabolisable energy and ileal digestibility of starch and nitrogen in broiler starters fed wheat-based diet. *Animal Feed Science and Technology*, 168(1), 88-99.
3. Abdollahzadeh, F., Pirmohammadi, R., Fatehi, F., & Bernousi, I. (2010). Effect of feeding ensiled mixed tomato and apple pomace on performance of Holstein dairy cows. *Slovak Journal of Animal Science*, 1(1), 31-35.
4. Adamović, M., Stojanović, M., Lopičić, Z., Milojković, J., Lačnjevac, Č., Petrović, J., & Bočarov-Stančić, A. (2013). Biosorption of mycotoxins by waste biomass. *Zaštita materijala*, 54(4), 327-333.
5. Ahn, J., Jo, I., & Lee, J. (2002). The use of apple pomace in rice straw based diets of Korean native goats (*Capra hircus*). *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 15(11), 1599-1605.
6. Ajila, C. M., Brar, S. K., Verma, M., & Prasada Rao, U. J. S. (2012). Sustainable Solutions for Agro Processing Waste Management: An Overview. In A. Malik & E. Grohmann (Eds.), *Environmental Protection Strategies for Sustainable Development* (pp. 65-109). Dordrecht: Springer Netherlands.
7. Alibes, X., Munoz, F., & Rodriguez, J. (1984). Feeding value of apple pomace silage for sheep. *Animal Feed Science and Technology*, 11(3), 189-197.
8. Amata, I. (2014). The use of non-conventional feed resources (NCFR) for livestock feeding in the tropics: A review. *Journal of Global Bioscience*, 3, 604-613.
9. Amerah, A., Ravindran, V., Lentle, R., & Thomas, D. (2007). Feed particle size: Implications on the digestion and performance of poultry. *World's poultry science journal*, 63(3), 439-455.
10. ANKOM (2006a). Acid Detergent Fibre in Feeds. Filter Bag Technique, (For A2000, A2000I). ANKOM Technology method 8. New York:ANKOM Technology Corp.

11. ANKOM (2006b). Acid Detergent Fibre in Feeds. Filter Bag Technique, (For A2000, A2000I). ANKOM Technology method 9. New York:ANKOM Technology Corp.
12. Antov, G., Čobić, T. & Antov, A. (2004). *Siliranje i silaže*. Novi Sad: Univerzitet u Novom Sadu, Poljoprivredni fakultet .
13. Aprikian, O., Duclos, V., Guyot, S. Besson, C., Manach, C., Bernalier, A., Morand, C., Rémésy, C. & Demigne C. (2003). Apple pectin and a Polyphenol-Rich Apple concentrate are more effective together than separately on cecal fermentations and plasma lipids in rats. *The journal of Nutrition*, 1860 – 1865.
14. Arai, Y., Watanabe, S., Kimira, M., Shimoi, K., Mochizuki, R., & Kinae, N. (2000). Dietary intakes of flavonols, flavones and isoflavones by Japanese women and the inverse correlation between quercetin intake and plasma LDL cholesterol concentration. *Journal of Nutrition*, 130(9), 2243-2250.
15. Araya-Farias, M., & Ratti, C. (2009). Dehydration of Foods: General Concepts. In C. Ratti (pp. 1-37). *Advances in Food Dehydration*, New York: Taylor and Francis Group.
1. Kassaveti A., & Ladas D. (2008). Food waste treatment methodologies, In: Arvanitoyannis I.S. (Ed.) *Waste management for the food industries*, Amsterdam: Academic.
16. Association of Official Analytical Chemists (AOAC). (1998). *Official methods of analysis of AOAC International*, Gaithersburg, MD:AOAC.
17. Association of Official Analytical Chemists (AOAC). (2000). *Official methods of analysis of AOAC International*. Gaithersburg, MD:AOAC.
18. Audet, L. (1995). Emerging feed mill technology: keeping competitive. *Animal Feed Science and Technology*, 53(2), 157-170.
19. Aumaitre, A., Melcion, J., Vaissade, P., Seve, B., Peiniau, J., Lapanouse, A., & Varo, H. (1978). *Glucose, sirop de glucose à haute teneur en fructose (SGHTF), ou saccharose dans les aliments de sevrage précoce du porcelet: influence sur l'agglomération et l'appétibilité*. Paper presented at the Annales de zootechnie.
20. Ayhan, V., Duru, A., & Ozkaya, S. (2009). Possibilities of Using Dried Apple Pomace in Broiler Chicken Diets. *Kafkas Universitesi Veteriner Fakultesi Dergisi*, 15(5), 669-672.
21. Bae, D., Shin, C., & Ko, K. (1994). Effect of total mixed ration including apple pomace for lactating cows. *Korean Journal of Dairy Science* 16, 295-302



22. Bai, X., Zhang, H., & Ren, S. (2013). Antioxidant activity and HPLC analysis of polyphenol-enriched extracts from industrial apple pomace. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 93(10), 2502-2506.
23. Baiano, A. (2014). Recovery of Biomolecules from Food Wastes - A Review. *Molecules*, 19(9), 14821-14842.
24. Bakshi, M., Wadhwa, M., & Makkar, H. P. (2016). Waste to worth: vegetable wastes as animal feed. *CAB Reviews*, 11(012), 1-26.
25. Baumgärtel, T., Kluth, H., Epperlein, K., & Rodehutschord, M. (2007). A note on digestibility and energy value for sheep of different grape pomace. *Small ruminant research*, 67(2), 302-306.
26. Begum, S., Rasul, M., & Akbar, D. (2012). An Investigation on Thermo Chemical Conversions of Solid Waste for Energy Recovery. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 62, 624-630.
27. Behnke, K. C. (1994). Factors affecting pellet quality. *Maryland Nutrition Conference* (pp. 44-54), Department of Poultry Science and Animal Science, University of Maryland, College Park, MD, USA,
28. Behnke, K. C. (2001). Factors influencing pellet quality. *Feed Tech*, 5(4), 19-22.
29. Beigh Y. Afzal, Ganai A.M., Ahmad H.A. (2015) Utilisation of Apple pomace as livestock feed: A review, *Indian Journal of Small Ruminants* 21(2), 165–179.
30. Belibasakis, N., & Tsirgogianni, D. (1996). Effects of dried citrus pulp on milk yield, milk composition and blood components of dairy cows. *Animal Feed Science and Technology*, 60(1-2), 87-92.
31. Bendini, A., Cerretani, L., Pizzolante, L., Toschi, T., Guzzo, F., Ceoldo, S., . . . Levi, M. (2006). Phenol content related to antioxidant and antimicrobial activities of Passiflora spp. extracts. *European Food Research and Technology*, 223(1), 102-109.
32. Berk, Z. (2009). *Food process engineering and technology*. Academic Press, Elsevier Inc.
33. Bhalla, T., & Joshi, M. (1994). Protein enrichment of apple pomace by co-culture of cellulolytic moulds and yeasts. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 10(1), 116-117.

34. Bhushan, S., Kalia, K., Sharma, M., Singh, B., & Ahuja, P. S. (2008). Processing of apple pomace for bioactive molecules. *Critical reviews in biotechnology*, 28(4), 285-296.
35. Bhushan, S., Gupta, M. (2013). Apple pomace: source of dietary fibre and antioxidant for food fortification. In V.R. Preedy, R. Srirajaskanthan, V. B. Patel (Eds.). *The Handbook of Food Fortification and Health-From Concepts to Public Health Applications Volume 2* (p.p. 21 – 27). New York:Springer Science + Business Media.
36. Bibbins-Martinez, M., Encisco-Chavez, B., Galicia, S., & Hernandez, D. (2011). Soluble dietary fiber generation from apple pomace. *International Congress on Engineering and Food (ICEF)* 11.
37. Boac, J. M., Casada, M. E., & Maghirang, R. G. (2008). Feed pellet and corn durability and breakage during repeated elevator handling. *Applied engineering in agriculture*, 24(5), 637-643.
38. El Boushy, A.R.Y & van der Poel, A.F.B. (2000) *Handbook of Poultry Feed from Waste: Processing and Use, 2nd edition*. Dordrecht: Springer Science + Business Media LLC.
39. Bowden, D., & Berry, J. (1959). Effects of levels of dried apple pomace in swine rations on growth rate, feed efficiency, carcass quality and size of certain organs. *Canadian Journal of Animal Science*, 39(1), 26-33.
40. Brajanoski, B., & Brajanoski, D. (2004). Nove tehnologije u proizvodnji koncentrisanog soka jabuke. *Časopis za procesnu tehniku i energetiku u poljoprivredi/PTEP*, 8(3-4), 87-89.
41. Briggs, J., Maier, D., Watkins, B., & Behnke, K. (1999). Effect of ingredients and processing parameters on pellet quality. *Poultry Science*, 78(10), 1464-1471.
42. Brlek, T., Bodroža-Solarov, M., Vukmirović, D., Čolović, R., Vučković, J., & Lević, J. (2012). Utilization of spelt wheat hull as a renewable energy source by pelleting. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 18(5), 752-758.
43. Brlek, T. (2013). *Utjecaj čimbenika peletiranja na goriva svojstva komine masline* (Doktorska disertacija). Sveučilište u Zagrebu, Zagreb
44. Buchanan, N., & Moritz, J. (2009). Main effects and interactions of varying formulation protein, fiber, and moisture on feed manufacture and pellet quality. *Journal of Applied Poultry Research*, 18(2), 274-283.

45. Calislar, S., & Uygur, G. (2010). Effects of dry tomato pulp on egg yolk pigmentation and some egg yield characteristics of laying hens. *Journal of Animal and Veterinary Advances*, 9(1), 96-98.
46. Caluya, R., Sair, R., & Balneg, B. (2000). Fresh tomato pomace (FTP) as good feed for growing and fattening pigs. *Highlights' 99 (Philippines)*. <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=PH2001100569>
47. Calvacanti, W.B. (2004). *The effect of ingredient composition on the physical quality of pelleted feeds: a mixture experimental approach*, (Ph.D. dissertation), Kansas State University, USA.
48. Candrawinata, V., Golding, J., Roach, P., & Stathopoulos, C. (2014). Total phenolic content and antioxidant activity of apple pomace aqueous extract: effect of time, temperature and water to pomace ratio. *International Food Research Journal*, 21(6), 2337-2344
49. Canteri-Schemin, M. H., Fertonani, H. C. R., Waszczyński, N., & Wosiacki, G. (2005). Extraction of pectin from apple pomace. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 48(2), 259-266.
50. Chandel, V., Vaidya, D., Kaushal, M., Gupta, A., & Verma, A. K. (2016). Standardization of eco-friendly technique for extraction of pectin from apple pomace. *Indian Journal of Natural Products and Resources (IJNPR)[Formerly Natural Product Radiance (NPR)]*, 7(1), 69-73.
51. Chandrasekaran, M. (2013). Need for valorization of food processing by - products and wastes. In M. Chandrasekaran (Ed.), *Valorization of Food Processing By-Products*.(pp. 91 – 106). CRC Press Taylor & Francis Group.
52. Chantaro, P., Devahastin, S., & Chiewchan, N. (2008). Production of antioxidant high dietary fiber powder from carrot peels. *LWT-Food Science and Technology*, 41(10), 1987-1994.
53. Chanthakhoun, V., Wanapat, M., Wachirapakorn, C., & Wanapat, S. (2011). Effect of legume (*Phaseolus calcaratus*) hay supplementation on rumen microorganisms, fermentation and nutrient digestibility in swamp buffalo. *Livestock Science*, 140(1-3), 17-23.

- 
54. Chen, S. (2009). Food waste. In G. V. Barbosa-Cánovas. *Food Engineering - Volume IV* (pp. 148–168). Oxford, UK: Eolss Publishers Co. Ltd.
55. Chu, Y., Chang, C., & Hsu, H. (2000). Flavonoid content of several vegetables and their antioxidant activity. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 80(5), 561-566.
56. Cindrić, I. J., Krizman, I., Zeiner, M., Kampać, Š., Medunić, G., & Stinger, G. (2012). ICP-AES determination of minor-and major elements in apples after microwave assisted digestion. *Food chemistry*, 135(4), 2675-2680.
57. Constenla, D., Ponce, A., & Lozano, J. (2002). Effect of pomace drying on apple pectin. *LWT-Food Science and Technology*, 35(3), 216-221.
58. Corzo, A., Mejia, L., & Loar, R. (2011). Effect of pellet quality on various broiler production parameters. *Journal of Applied Poultry Research*, 20(1), 68-74.
59. Četković, G., Čanadanović-Brunet, J., Djilas, S., Savatović, S., Mandić, A., & Tumbas, V. (2008). Assessment of polyphenolic content and in vitro antiradical characteristics of apple pomace. *Food chemistry*, 109(2), 340-347.
60. Čobić, T., Bačvanski, S., & Vučetić, S. (1984). *Proizvodnja i korišćenje silaže u ishrani stoke*: Nolit, Beograd
61. Čolović, R., Vukmirović, Đ., Matulaitis, R., Bliznikas, S., Uchockis, V., Juškienė, V., & Lević, J. (2010). Effect of die channel press way length on physical quality of pelleted cattle feed. *Food and Feed Research*, 37(1), 1-6.
62. Čolović, R. (2013). *Uticaj dodatka biljnih proteinskih koncentrata u hranu za životinje na kvalitet peleta*, Doktorska disertacija, Univerzitet u Novom Sadu, Tehnološki fakultet, Novi Sad.
63. Dai, J., & Mumper, R. J. (2010). Plant phenolics: extraction, analysis and their antioxidant and anticancer properties. *Molecules*, 15(10), 7313-7352.
64. Delele, M. A., Weigler, F., & Mellmann, J. (2015). Advances in the application of a rotary dryer for drying of agricultural products: A review. *Drying technology*, 33(5), 541-558.
65. Dhillon, S. S., Gill, R. K., Gill, S. S., & Singh, M. (2004). Studies on the utilization of citrus peel for pectinase production using fungus *Aspergillus niger*. *International Journal of Environmental Studies*, 61(2), 199-210.

66. Dhillon, G. S., Kaur, S., & Brar, S. K. (2013). Perspective of apple processing wastes as low-cost substrates for bioproduction of high value products: A review. *Renewable and sustainable energy reviews*, 27, 789-805.
67. Dhingra, D., Michael, M., Rajput, H., & Patil, R. (2012). Dietary fibre in foods: a review. *Journal of Food Science and Technology*, 49(3), 255-266.
68. Díaz, A. B., Caro, I., de Ory, I., & Blandino, A. (2007). Evaluation of the conditions for the extraction of hydrolitic enzymes obtained by solid state fermentation from grape pomace. *Enzyme and Microbial Technology*, 41(3), 302-306.
69. Díaz, A. B., Caro, I., de Ory, I., & Blandino, A. (2007). Evaluation of the conditions for the extraction of hydrolitic enzymes obtained by solid state fermentation from grape pomace. *Enzyme and Microbial Technology*, 41(3), 302-306.
70. Domínguez-Perles, R., Martínez-Ballesta, M. C., Carvajal, M., García-Viguera, C., & Moreno, D. A. (2010). Broccoli-Derived By-Products—A Promising Source of Bioactive Ingredients. *Journal of Food Science*, 75(4).
71. Đilas, S., Čanadanović-Brunet, J., & Četković, G. (2009). By-products of fruits processing as a source of phytochemicals. *Chemical Industry and Chemical Engineering Quarterly*, 15(4), 191-202.
72. Đorđević, N., Dinić, B. (2007). *Hrana za životinje*. Aranđelovac: Cenzone Tech-Europe.
73. Đorđević, N., Grubić, G., Lević, J., Sredanović, S., Stojanović, B., Knežević-Damjanović, M., & Pandurević, T. (2008). Savremeni postupci u industrijskoj proizvodnji hrane za životinje. *XXII savetovanje agronoma, veterinarara i tehnologa*, 20-21.02. 2008. Institut PKB Agroekonomik, Beograd. Zbornik radova, 14, 3-4: 55-66.
74. Đorđević, N., Makević, M., Grubić, G., Jokić, Ž. (2009). *Ishrana domaćih i gajenih životinja*. Beograd:Univerzitet u Beogradu, Poljoprivredni fakultet.
75. Elferink, E., Nonhebel, S., & Moll, H. (2008). Feeding livestock food residue and the consequences for the environmental impact of meat. *Journal of Cleaner Production*, 16(12), 1227-1233.
76. Elleuch, M., Bedigian, D., Roiseux, O., Besbes, S., Blecker, C., & Attia, H. (2011). Dietary fibre and fibre-rich by-products of food processing: Characterisation, technological functionality and commercial applications: A review. *Food chemistry*, 124(2), 411-421.

- 
77. Endress, H. (2000). High Quality Resulting from Product Integrated Environment Protection (PIUS). *Fruit processing*, 10(7), 273-277.
78. Ensminger, M.E., Oldfield, J.E., Heinemann, W.W. (1990). *Feeds and Nutrition, 2nd Edition*. Clovis, CA: The Ensminger Publishing Co.
79. EPA, 2017. Food Recovery Hierarchy. <https://www.epa.gov/sustainable-management-food/food-recovery-hierarchy> (pristupljeno 16.01.2017).
80. Escarpa, A., & Gonzalez, M. (1998). High-performance liquid chromatography with diode-array detection for the determination of phenolic compounds in peel and pulp from different apple varieties. *Journal of chromatography A*, 823(1), 331-337.
81. Esposito, F., Arlotti, G., Bonifati, A., Napolitano, A., Vitale, D., & Fogliano, V. (2005). Antioxidant activity and dietary fibre in durum wheat bran by-products. *Food Research International*, 38(10), 1167-1173.
82. European Commission (2008). Green paper on the management of bio-waste in the European Union. *Brussels, Belgium*.
83. European Commission, 2010. Preparatory study on food waste across EU 27 – Technical report.
84. Ezejiolor, T. I. N., Enebaku, U. E., & Ogueke, C. (2014). Waste to Wealth-Value Recovery from Agro-food Processing Wastes Using Biotechnology: A Review, *British Biotechnology Journal*, 4(4), 418-481
85. Fairchild, F., & Greer, D. (1999). Pelleting with precise mixer moisture control. *Feed International*, 20(8), 32-36.
86. FAO (2009). How to feed the world in 2050. Food and Agriculture Organization of the United Nations Rome, 12–13 October.  
[http://www.fao.org/fileadmin/templates/wsfs/docs/expert\\_paper/How\\_to\\_Feed\\_the\\_World\\_in\\_2050.pdf](http://www.fao.org/fileadmin/templates/wsfs/docs/expert_paper/How_to_Feed_the_World_in_2050.pdf) (pristupljeno 03.01.2017).
87. FAO (2011). Global food losses and food waste: extent, causes and prevention. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
88. FAO (2012). World Agriculture Towards 2030/2050: The 2012 revision ESA E Working PaperNo. 12-03
89. FAO (2013). Reducing the food wastage footprint–Toolkit. (2013).  
<http://www.fao.org/docrep/018/i3342e/i3342e.pdf>, pristupljeno 23.12.2016.

- 
90. FAOSTAT (2014): <http://faostat.fao.org>. (datum pristupa 13.01.2017).
91. Farvid, M. S., Eliassen, A. H., Cho, E., Liao, X., Chen, W. Y., & Willett, W. C. (2016). Dietary fiber intake in young adults and breast cancer risk. *Pediatrics*, 137(3)
92. Feil, A. (2007). Dodavanje aditiva u procesu proizvodnje hrane za životinje. U Zborniku radova I međunarodnog kongresa: "Tehnologija, kvalitet i bezbednost hrane". 13-15.11.2007. (pp. 89–94). Novi Sad.
93. Feil, A. (2009). Steam generation, steam properties and conditioning. *Fundamentals and new developments in feed-compounding technology*, Braunschweig, Germany.
94. Feliciano, R. P., Antunes, C., Ramos, A., Serra, A. T., Figueira, M., Duarte, C. M., . . . Bronze, M. R. (2010). Characterization of traditional and exotic apple varieties from Portugal. Part 1–Nutritional, phytochemical and sensory evaluation. *Journal of Functional Foods*, 2(1), 35-45.
95. Fellows, P.J. (2000). *Food Processing Technology*. Boston: CRC Press
96. Fernandez-Gines, J., Fernandez-Lopez, J., Sayas-Barbera, E., Sendra, E., & Perez-Alvarez, J. (2003). Effect of storage conditions on quality characteristics of bologna sausages made with citrus fiber. *Journal of Food Science*, 68(2), 710-714.
97. Figuerola, F., Hurtado, M. a. L., Estévez, A. M. a., Chiffelle, I., & Asenjo, F. (2005). Fibre concentrates from apple pomace and citrus peel as potential fibre sources for food enrichment. *Food chemistry*, 91(3), 395-401.
98. Foiklang, S., Wanapat, M., & Norrapoke, T. (2016). In vitro rumen fermentation and digestibility of buffaloes as influenced by grape pomace powder and urea treated rice straw supplementation. *Animal Science Journal*, 87(3), 370-377.
99. Fox, D., Sniffen, C., O'connor, J., Russell, J., & Van Soest, P. (1990). The Cornell net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets. Part I. A model for predicting cattle requirements and feedstuff utilization. *Search: Agriculture*(34), 7-83.
100. Frewer, L., & Gremmen, B. (2007). Consumer's interests in food processing waste management and co-product recovery. In K. Waldron (Ed.), *Handbook of waste management and co-product recovery in food processing* (p.p. 3-19). Boca Raton, FL: CRC Press.
101. Friedrich, W., & Robohm, K. (1968). Die Abriebfestigkeit von Pellets und ihre Abhängigkeit vom Pressprozess insbesondere der Kühlung. *Kraftfutter*, 52(2), 59-64.

102. Friedrich, W., & Robohm, K. (1982). Preßfähigkeit von Komponenten und Mischungen, Teil IV: Wirkung unterschiedlicher Inhaltsstoffe in Mischungen und Verdichtungswiderstand. *Kraftfutter*, 65(3), 92-102.
103. Frølich, W. (1990). Chelating properties of dietary fiber and phytate. The role for mineral availability *New Developments in Dietary Fiber* (pp. 83-93): Springer.
104. Fuchs, J. G., Baier, U., Berner, A., Mayer, J., Tamm, L., & Schleiss, K. (2006). Potential of different composts to improve soil fertility and plant health. In E. Kraft, W. Bidlingmaier, M. de Bertoldi, L.F. Diaz & J. Barth (Eds.): *Proceedings of the International Conference ORBIT 2006* (p.p. 507-518). Dostupno na [https://www.researchgate.net/publication/238074463\\_Einfluss\\_von\\_Kompost\\_und\\_Gargut\\_auf\\_Pflanzenwachstum\\_und\\_-gesundheit\\_Potential\\_und\\_Grenzen](https://www.researchgate.net/publication/238074463_Einfluss_von_Kompost_und_Gargut_auf_Pflanzenwachstum_und_-gesundheit_Potential_und_Grenzen), (pristupljeno 05.02.2017)
105. Fuchs J.G., Baier U., Berner A., Mayer J., Tamm L., Schleiss, K. (2006): Potential of different composts to improve soil fertility and plant health. In: E. Kraft, W. Bidlingmaier, M. de Bertoldi, L.F. Diaz & J. Barth. (eds.): *Proceedings of the International Conference ORBIT 2006 "Biological Waste Management: From Local to Global", Part 2 Composting – Quality, Application and Benefit, Life Cycle Analysis, Sludge and Soil*; ORBIT e.V. Publishing, D-Weimar; pp. 507-518 Available from: [https://www.researchgate.net/publication/238074463\\_Einfluss\\_von\\_Kompost\\_und\\_Gargut\\_auf\\_Pflanzenwachstum\\_und\\_-gesundheit\\_Potential\\_und\\_Grenzen](https://www.researchgate.net/publication/238074463_Einfluss_von_Kompost_und_Gargut_auf_Pflanzenwachstum_und_-gesundheit_Potential_und_Grenzen) (pristupljeno 2.7. 2016).
106. Gabriel, L. S., Prestes, R. A., Pinheiro, L. A., Barison, A., & Wosiacki, G. (2013). Multivariate analysis of the spectroscopic profile of the sugar fraction of apple pomace. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 56(3), 439-446.
107. Galanakis, C. M. (2012). Recovery of high added-value components from food wastes: conventional, emerging technologies and commercialized applications. *Trends in Food Science & Technology*, 26(2), 68-87.
108. Garna, H., Mabon, N., Robert, C., Cornet, C., Nott, K., Legros, H., . . . Paquot, M. (2007). Effect of extraction conditions on the yield and purity of apple pomace pectin precipitated but not washed by alcohol. *Journal of Food Science*, 72(1)., C1-C9



- 
109. Gassara, F., Brar, S., Pelletier, F., Verma, M., Godbout, S., & Tyagi, R. (2011). Pomace waste management scenarios in Québec—Impact on greenhouse gas emissions. *Journal of hazardous materials*, *192*(3), 1178-1185.
110. Gazalli, H., Malik, A., Jalal, H., Afshan, S., & Mir, A. (2013). Proximate composition of carrot powder and apple pomace powder. *International Journal of Food Nutrition and Safety*, *3*(1), 25-28.
111. Gerhauser, C. (2008). Cancer chemopreventive potential of apples, apple juice, and apple components. *Planta medica*, *74*(13), 1608-1624.
112. Ghebre-Sellassie, I. 1989. Mechanism of pellet formation and growth. In I. Ghebre-Sellassie (Ed.), *Pharmaceutical Pelletization Technology* (p.p. 123-143). New York, NY: Marcel Dekker, Inc.
113. Ghoreishi, S. F., Pirmohammadi, R., & Yansari, A. T. (2007). Effects of ensiled apple pomace on milk yield, milk composition and DM intake of Holstein dairy cows. *Journal of Animal and Veterinary Advances*, *6*(9), 1074-1078.
114. Gilpin, A., Herrman, T., Behnke, K., & Fairchild, F. (2002). Feed moisture, retention time, and steam as quality and energy utilization determinants in the pelleting process. *Applied engineering in agriculture*, *18*(3), 331-338.
115. González-Vallinas, M., González-Castejón, M., Rodríguez-Casado, A., & Ramírez de Molina, A. (2013). Dietary phytochemicals in cancer prevention and therapy: a complementary approach with promising perspectives. *Nutrition reviews*, *71*(9), 585-599.
116. Granada, S., Preto, R., Perez, T., Oppus, C., Tangonan, G., & Cabacungan, P. (2016). *A feasibility study and design of biogas plant via improvement of waste management and treatment in Ateneo de Manila University*. Paper presented at the Industrial Engineering, Management Science and Application (ICIMSA), 2016 International Conference on.
117. Grbeša, D. (2004). *Metode procjene i tablice kemijskog sustava i hranljive vrijednosti krepkih krmiva*. Zagreb: Hrvatsko agronomsko društvo.
118. Greenwood, M., Clark, P., & Beyer, R. (2004). Effect of feed fines level on broilers fed two concentrations of dietary lysine from 14 to 30 days of age. *International Journal of Poultry Science*, *3*, 446-449.

119. Grover, P. & Mishra, S. (1996). Biomass briquetting: technology and practices: *Regional wood energy development program in Asia, field document no. 46*. Bangkok, Thailand: (FAO) Food and Agriculture Organization of the United Nations.
120. Grubić, G., Đorđević, N., Radivojević, M. (1999): Fizičke osobine vlakana u obrocima za krave. *Arhiv za poljoprivredne nauke*, 210. 60(1 – 2), 61-72.
121. Gullon, B., Falque, E., Alonso, J., & Parajo, J. (2007). Evaluation of apple pomace alternative applications as a raw material for in food industries. *Food Technology and Biotechnology*, 45(4), 426-433.
122. Gullón, B., Falqué, E., Alonso, J. L., & Parajó, J. C. (2007). Evaluation of apple pomace as a raw material for alternative applications in food industries. *Food Technology and Biotechnology*, 45(4), 426-433.
123. Gumisiriza, R., Mshandete, A. M., Rubindamayugi, M. S. T., Kansime, F., & Kivaisi, A. K. (2009). Enhancement of anaerobic digestion of Nile perch fish processing wastewater. *African Journal of Biotechnology*, 8(2), 328-333
124. Gunness, P., Flanagan, B. M., & Gidley, M. J. (2010). Molecular interactions between cereal soluble dietary fibre polymers and a model bile salt deduced from <sup>13</sup>C NMR titration. *Journal of cereal science*, 52(3), 444-449.
125. Gustafson, M. (1959). *The durability test—a key to handling wafers and pellets*. ASAE Paper No. 59-621. St. Joseph, MI: ASABE.
126. Gutzwiller, A., Czeglédi, L., Stoll, P., & Bruckner, L. (2007). Effects of Fusarium toxins on growth, humoral immune response and internal organs in weaner pigs, and the efficacy of apple pomace as an antidote. *Journal of animal physiology and animal nutrition*, 91(9-10), 432-438.
127. Guyot, S., Marnet, N., Sanoner, P., & Drilleau, J.-F. (2003). Variability of the polyphenolic composition of cider apple (*Malus domestica*) fruits and juices. *Journal of agricultural and food chemistry*, 51(21), 6240-6247.
128. Habeanu, M., Lefter, N. A., Ropota, M., Chedea, V. S., Gheorghe, A., Toma, S. M., Dragomir, C. (2015). Dried grape pomace influenced fatty acids composition of Longissimus dorsi muscle and plasma polyphenols spectrum in finishing pigs. *The Indian Journal of Animal Sciences*, 85(7), 786-789.

129. Helkar PB, Sahoo AK, Patil NJ (2016) Review: Food Industry ByProducts used as a Functional Food Ingredients. *International Journal of Waste Resources*, 6: 248.  
doi:10.4172/2252-5211.1000248
130. Hendriks, W., Moughan, P., Boer, H., & Van der Poel, A. (1994). Effects of extrusion on the dye-binding, fluorodinitrobenzene-reactive and total lysine content of soyabean meal and peas. *Animal Feed Science and Technology*, 48(1), 99-109.
131. Hertog, M. G., Kromhout, D., Aravanis, C., Blackburn, H., Buzina, R., Fidanza, F, Nedeljkovic, S. (1995). Flavonoid intake and long-term risk of coronary heart disease and cancer in the seven countries study. *Archives of internal medicine*, 155(4), 381-386.
132. Horváth-Kerkai, E. (2006). Manufacturing Fruit Beverages. In U. Y. H. Hui (Ed.), *Handbook of Fruits and Fruit Processing*. Iowa, USA: Blackwell Publishing.
133. Hulgaard, T. & Vehlow, J. (2010) Incineration: Process and Technology, In T. H. Christensen (Ed.), *Solid Waste Technology & Management, Volume 1 & 2*, Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd.
134. Inserra, L., Priolo, A., Biondi, L., Lanza, M., Bognanno, M., Gravador, R., & Luciano, G. (2014). Dietary citrus pulp reduces lipid oxidation in lamb meat. *Meat Science*, 96(4), 1489-1493.
135. Irvine, G., Lamont, E., & Antizar-Ladislao, B. (2010). Energy from waste: reuse of compost heat as a source of renewable energy. *International Journal of Chemical Engineering*, 2010.
136. Israelsen, M., Busk, J., & Jensen, J. (1981). Pelleting properties of dairy compounds with molasses, alkali-treated straw and other byproducts. *Feedstuffs*, 7, 26-28.
137. Jahirul, M. I., Rasul, M. G., Chowdhury A. A & Ashwath N. (2012). Biofuels Production through Biomass Pyrolysis - A Technological Review. *Energies*, 5, 4952-5001.
138. Jiménez-Moreno, E., Frikha, M., de Coca-Sinova, A., García, J., & Mateos, G. (2013). Oat hulls and sugar beet pulp in diets for broilers 1. Effects on growth performance and nutrient digestibility. *Animal Feed Science and Technology*, 182(1), 33-43.
139. Johnston, S., Hines, R., Hancock, J., Behnke, K., Traylor, S., Chae, B., & Han, I. K. (1999). Effects of conditioners (standard, long-term and expander) on pellet quality and growth performance in nursery and finishing pigs. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 12(4), 558-564.

140. Jokić, Ž., Kovčín, S., Joksimović-Todorović, M. (2004). *Ishrana živine*. Beograd: Univerzitet u Beogradu, Poljoprivredni fakultet.
141. Joshi, V.K. & Attri, D. (2006). Solid state fermentation of apple pomace for the production of value added products. *Natural Product Radiance*, 5 (4), 289 – 296.
142. Joshi, V., Gupta, K., Devrajan, A., Lal, B., & Arya, S. (2000). Production and evaluation of fermented apple pomace in the feed of broilers. *Journal of Food Science and Technology*, 37(6), 609-612.
143. Jovanović, R., Dujić, D. & Glamočić, D. (2001). *Ishrana domaćih životinja, Drugo izdanje*. Novi Sad: Stylos.
144. Jovanović, R. (2007). *Svarljivost kao kriterijum nutritivne vrednosti kukuruzne silaže*. Doktorska disertacija. Univerzitet u Beogradu, Poljoprivredni fakultet, Beograd.
145. Jung, J., Cavender, G., & Zhao, Y. (2015). Impingement drying for preparing dried apple pomace flour and its fortification in bakery and meat products. *Journal of Food Science and Technology*, 52(9), 5568-5578.
146. Juskiwicz, J., Jankowski, J., Kosmala, M., Zdunczyk, Z., Slominski, B., & Zdunczyk, P. (2016). The effects of dietary dried fruit pomaces on growth performance and gastrointestinal biochemistry of turkey poults. *Journal of animal physiology and animal nutrition*, 100(5), 967-976.
147. Kaliyan, N. (2008). *Densification of biomass*: University of Minnesota.
148. Kaliyan, N., & Morey, R. V. (2009). Factors affecting strength and durability of densified biomass products. *Biomass and bioenergy*, 33(3), 337-359.
149. Kaliyan, N., & Morey, R. V. (2010). Natural binders and solid bridge type binding mechanisms in briquettes and pellets made from corn stover and switchgrass. *Bioresource technology*, 101(3), 1082-1090.
150. Kalyani, K. A., & Pandey, K. K. (2014). Waste to energy status in India: A short review. *Renewable and sustainable energy reviews*, 31, 113-120.
151. Kammerer, D. R., Kammerer, J., Valet, R., & Carle, R. (2014). Recovery of polyphenols from the by-products of plant food processing and application as valuable food ingredients. *Food Research International*, 65, 2-12.
152. Kasapidou, E., Mitlianga, P. & Sossidou, E. (2014). Agri-food co-products as alternative dietary supplements and farm animal product quality: opportunities, limitations and

- research gaps. In *Proceedings of the XVI International Symposium "Feed Technology"*, 28 – 30.10.2014 (pp 31-37). Novi Sad, Serbia.
- 153.Kersten, J., Rohde H. R., Nef, E. (2005). Principles of Mixed Feed production. Bergen/Dumme, Germany: Agrimedia.
- 154.Keserović, Z., Magazin, N., Kurjakov, A., Dorić, M., Gošić, J. (2014). *Voćarstvo*, Popis poljoprivrede 2012, Poljoprivreda u Republici Srbiji. Beograd: Republički zavod za statistiku.
- 155.Kim, S.-K., & Venkatesan, J. (2014). Introduction to seafood processing by-products *Seafood Processing By-Products, Trends and Applications* (pp. 1-9), New York: Springer.
- 156.Kim, Y., & Je, Y. (2016). Dietary fibre intake and mortality from cardiovascular disease and all cancers: A meta-analysis of prospective cohort studies. *Archives of cardiovascular diseases*, 109(1), 39-54.
- 157.Knežević, M., Perčulija, G., Bošnjak, K., Vranić, M., Leto, J., & Kutnjak, H. (2005). Utjecaj arome citrus-komorača na dnevnu konzumaciju jabučne komine u hranidbi krava u suhostaju u sustavu" krava-tele". *Stočarstvo: Časopis za unapređenje stočarstva*, 59(4), 243-252.
- 158.Koch, K. (2008). Pelleting: a review of the process and a new ingredient. Paper presented at the 16th Annual ASA-IM SEA. Feed Technology and Nutrition Workshop, pp 1-12.
- 159.Kolarski, D. (1995). *Osnovi ishrane domaćih životinja*. Beograd : Naučna knjiga.
- 160.Kołodziejczyk, K., Markowski, J., Kosmala, M., Król, B., & Plocharski, W. (2007). Apple pomace as a potential source of nutraceutical products. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 57(4 [B]), pp. 291-295.
- 161.Koszel, M., & Lorencowicz, E. (2015). Agricultural use of biogas digestate as a replacement fertilizers. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 7, 119-124.
- 162.Kuforiji, O. O., Kuboye, A. O., & Odunfa, S. A. (2010). Orange and pineapple wastes as potential substrates for citric acid production. *International Journal of Plant Biology*, 1(1), 4.

163. Kühnel, S., Schols, H. A., & Gruppen, H. (2011). Aiming for the complete utilization of sugar-beet pulp: examination of the effects of mild acid and hydrothermal pretreatment followed by enzymatic digestion. *Biotechnology for biofuels*, 4(1), 14.
164. Kytö, M., Äijälä, M. (1981) Use and conversion of wood energy. Part 3. Equipment technology for biomass pelletisation. Espoo: Technical Research Centre of Finland, Research Notes 46.
165. Larsson, K. (1980). Inhibition of Starch Gelatinization by Amylose-Lipid Complex Formation. Behinderung der Stärkeverkleisterung durch Bildung eines Amylose-Lipidkomplexes. *Starch-Stärke*, 32(4), 125-126.
166. Lattimer, J. M., & Haub, M. D. (2010). Effects of dietary fiber and its components on metabolic health. *Nutrients*, 2(12), 1266-1289.
167. Lavelli, V., & Corti, S. (2011). Phloridzin and other phytochemicals in apple pomace: stability evaluation upon dehydration and storage of dried product. *Food chemistry*, 129(4), 1578-1583.
168. Lazić, Ž. (2004). Design of Experiments in Chemical Engineering: A Practical Guide. Weinheim: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA.
169. Lea, A. G. H. (1999). Apple juice. In P. R. Ashurst (Ed). Production and Packaging of Non-Carbonated Fruit Juices and Fruit Beverages (pp. 153 - 196). New York: Springer Science + Business Media LLC.
170. Lee, C.Y. (2012). Common Nutrients and Nutraceutical Quality of Apples, *New York fruit quarterly* 20 (3). 3-8.
171. Leyva-Corral, J., Quintero-Ramos, A., Camacho-Dávila, A., de Jesús Zazueta-Morales, J., Aguilar-Palazuelos, E., Ruiz-Gutiérrez, M. G., . . . de Jesús Ruiz-Anchondo, T. (2016). Polyphenolic compound stability and antioxidant capacity of apple pomace in an extruded cereal. *LWT-Food Science and Technology*, 65, 228-236.
172. Li, B. W., Andrews, K. W., & Pehrsson, P. R. (2002). Individual sugars, soluble, and insoluble dietary fiber contents of 70 high consumption foods. *Journal of Food Composition and Analysis*, 15(6), 715-723.
173. Liang, S., McDonald, A. G., & Coats, E. R. (2014). Lactic acid production with undefined mixed culture fermentation of potato peel waste. *Waste management*, 34(11), 2022-2027.

- 174.Liew, S. Q., Chin, N. L., & Yusof, Y. A. (2014). Extraction and characterization of pectin from passion fruit peels. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 2, 231-236.
- 175.Liu, R. H. (2002). Health benefits of dietary flavonoids: Flavonols and flavones. *New York Fruit Quarterly*, 10, 21-23.
- 176.Lo, G. S. (1990). Physiological effects and physico-chemical properties of soy cotyledon fiber, *New developments in dietary fiber* (pp. 49-66): Springer.
- 177.Loar II, R., & Corzo, A. (2011). Effects of feed formulation on feed manufacturing and pellet quality characteristics of poultry diets. *World's poultry science journal*, 67(1), 19-28.
- 178.Lovrić, T., Tripalo, B., Hribar, J., & Pozderović, A. (2003). *Procesi u prehrambenoj industriji s osnovama prehrambenog inženjerstva*: Hinus, Zagreb
- 179.Löwe, R. (2005). Judging pellet stability as part of pellet quality. *Feed Technology*, 9(2), 15-19.
- 180.Lozano, J. (2003). Separation and clarification. *Encyclopedia of food science and nutrition*, 5187-5196.
- 181.Lozano J. E. (2006). *Fruit Manufacturing Scientific Basis, Engineering Properties, and Deteriorative Reactions of Technological Importance*. New York: Springer Science Business Media, LLC
- 182.Lu, Q., Liu, H., Wang, Q., & Liu, J. (2017). Sensory and physical quality characteristics of bread fortified with apple pomace using fuzzy mathematical model. *International Journal of Food Science & Technology*, 52(5), 1092-1100.
- 183.Lund, D., & Lorenz, K. J. (1984). Influence of time, temperature, moisture, ingredients, and processing conditions on starch gelatinization. *Critical Reviews in Food Science & Nutrition*, 20(4), 249-273.
- 184.Lundblad, K., Hancock, J., Behnke, K., Prestlökken, E., McKinney, L., & Sørensen, M. (2009). The effect of adding water into the mixer on pelleting efficiency and pellet quality in diets for finishing pigs without and with use of an expander. *Animal Feed Science and Technology*, 150(3), 295-302.

- 
185. Madrera, R. R., Bedriñana, R. P., & Valles, B. S. (2015). Production and characterization of aroma compounds from apple pomace by solid-state fermentation with selected yeasts. *LWT-Food Science and Technology*, *64*(2), 1342-1353.
186. Madrera, R. R., Bedriñana, R. P., & Valles, B. S. (2017). Enhancement of the nutritional properties of apple pomace by fermentation with autochthonous yeasts. *LWT-Food Science and Technology*, *79*, 27-33.
187. Maghsoud, B., Akbar, T., Hossein, J., & Ali, M. G. (2008). Evaluation of some by-products using in situ and in vitro gas production techniques. *American Journal of Animal and Veterinary Science*, *3*(1), 7-12.
188. Maier, D.E., Briggs, J., Watkins, B.A. (1999). Effects of ingredients and processing conditions on the pelleting of feeds. Completed research summary, US Poultry and Egg Association, Tucker, USA Project 305.
189. Mani, S., Tabil, L., & Sokhansanj, S. (2003). Compaction of biomass grinds-an overview of compaction of biomass grinds. *Powder Handling and Processing*, *15*(3), 160-168.
190. Mani S., Sokhansanj, S. (2008). Rotary drum dryers. In: Y. H. Hui, C. Clary, M. M. Farid, O. O. Fasina, A. Noomhorm & J. Wetti -Chanes (Eds.), *Food Drying Science and Technology: Microbiology, Chemistry, Applications* (p.p. 99–126), DEStech Publications Inc., USA.
191. Marchant, J., & Blanshard, J. (1980). Changes in the Bifringent Characteristics of Cereal Starch Granules at Different Temperatures and Water Activities. *Starch-Stärke*, *32*(7), 223-226.
192. Marcon, M. V., Vriesmann, L. C., Wosiacki, G., Beleski-Carneiro, E., & Petkowicz, C. L. (2005). Pectins from apple pomace. *Polímeros*, *15*(2), 127-129.
193. Masoodi, F., & Chauhan, G. (1998). Use of apple pomace as a source of dietary fiber in wheat bread. *Journal of Food Processing and Preservation*, *22*(4), 255-263.
194. Masoodi, F., Sharma, B., & Chauhan, G. (2002). Use of apple pomace as a source of dietary fiber in cakes. *Plant Foods for Human Nutrition (Formerly Qualitas Plantarum)*, *57*(2), 121-128.
195. Matoo, F., Beat, G., Banday, M., & Ganaie, T. (2001). Performance of broilers fed on apple pomace diets supplemented with enzyme (S). *Indian Journal of Animal Nutrition*, *18*(4), 349-352.



- 
196. Matoo, F., Beat, G., Banday, M., & Ganaie, T. (2001). Performance of broilers fed on apple pomace diets supplemented with enzyme (S). *Indian Journal of Animal Nutrition*, 18(4), 349-352.
197. McCann, M., Gill, C., O'Brien, G., Rao, J., McRoberts, W., Hughes, P., McEntee, R., Rowland, I. (2007). Anti-cancer properties of phenolics from apple waste on colon carcinogenesis in vitro. *Food and Chemical Toxicology*, 45(7), 1224-1230.
198. McDonald, P., Edwards, R.A., Greenhalgh, J.F.D., Morgan, C.A., Sinclair, L.A. & Wilkinson, R.G. (2011). *Animal nutrition, 7th Edition*. Harlow (UK): Prentice Hall.
199. McKinney, L., & Teeter, R. (2004). Predicting effective caloric value of nonnutritive factors: I. Pellet quality and II. Prediction of consequential formulation dead zones. *Poultry Science*, 83(7), 1165-1174.
200. McLellan, M. R. & Padilla-Zakour, O. I. (2005). Juice Processing. In D.M. Barrett, L.P. Somogyi & H. S. Ramaswamy (Eds.). *Processing Fruits, Science and Technology*, Second Edition, Boca Raton, Florida: CRC Press LLC.
201. Menkovska, M., Cilev, G. (2001). *Composition of nutritive and antinutritive components in some cereals grown in different agro-ecological regions in republic of Macedonia*. I symposium of livestock production with international participation, 23 – 25.05.2001. Struga, Jubilee yearbook.
202. Miladinović, D., & Svihus, B. (2005). Optimising press settings contributes to better pellet quality. *Feed Tech*, 9(5), 15-17.
203. Minson, D. (2012). *Forage in ruminant nutrition*: Elsevier.
204. Miranda, T., Montero, I., Sepúlveda, F. J., Arranz, J. I., Rojas, C. V., & Nogales, S. (2015). A review of pellets from different sources. *Materials*, 8(4), 1413-1427.
205. Mišić, P. D. (2004). *Jabuka*. Beograd: Nolit.
206. Mirzaei-Aghsaghali, A., Maheri-Sis, N., Mansouri, H., Razeghi, M. E., Shayegh, J., & Aghajanzadeh-Golshani, A. (2011). Evaluating nutritional value of apple pomace for ruminants using in vitro gas production technique. *Ann. Biol. Res*, 2, 100-106.
207. Mitchell, D., Kriger, N., & Berovic, M. (2006). *Solid-State Fermentation Bioreactors- Fundamentals of Design and Operation*. Mitchell DA: Berlin-Heidelberg-New York: Springer.

- 
208. Moate, P., Williams, S., Torok, V., Hannah, M., Ribaux, B., Tavendale, M., . . . Wales, W. (2014). Grape marc reduces methane emissions when fed to dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 97(8), 5073-5087.
209. Mohsenin, N., & Zasko, J. (1976). Stress relaxation and energy requirements in compaction of unconsolidated materials. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 21(2), 193-205.
210. Moran, E. (1989). Effect of pellet quality on the performance of meat birds. *Recent Advances in Animal Nutrition*, 87-108.
211. Moritz, J., Beyer, R., Wilson, K., Cramer, K., McKinney, L., & Fairchild, F. (2001). Effect of moisture addition at the mixer to a corn-soybean-based diet on broiler performance. *Journal of Applied Poultry Research*, 10(4), 347-353.
212. Moritz, J., Cramer, K., Wilson, K., & Beyer, R. (2003). Feed manufacture and feeding of rations with graded levels of added moisture formulated to different energy densities. *Journal of Applied Poultry Research*, 12(3), 371-381.
213. Mrudula, S., & Anitharaj, R. (2011). Pectinase production in solid state fermentation by *Aspergillus niger* using orange peel as substrate. *Global Journal of Biotechnology and Biochemistry*, 6(2), 64-71.
214. Mudaliyar, P., Sharma, L., & Kulkarni, C. (2012). Food waste management-lactic acid production by *Lactobacillus* species. *International Journal of Advanced Biological Research*, 2(1), 34-38.
215. Mujumdar, A.S. (2006). *Handbook of Industrial Drying*, 3ed, New York: Marcel Dekker, Inc.
216. Mukhiddinov, Z., Khalikov, D. K., Abdusamiev, F., & Avloev, C. C. (2000). Isolation and structural characterization of a pectin homo and ramnogalacturonan. *Talanta*, 53(1), 171-176.
217. Mulimani, V., & Patil, G. (2000).  $\alpha$ -Amylase production by solid state fermentation: a new practical approach to biotechnology courses. *Biochemistry and Molecular Biology Education*, 28(3), 161-163.
218. Mullen, A., Álvarez, C., Pojić, M., Dapčević Hadnađev, T., & Papageorgiou, M. (2015). Classification and target compounds. In C. M. Galanaks (Ed.), *Food Waste Recovery:*

- Processing Technologies and Industrial Techniques*. Amsterdam: Elsevier, Academic Press.
219. Münnich, M., Khiaosa-ard, R., Klevenhusen, F., Hilpold, A. Khol-Parisini, A., & Zebeli Q. (2017). A meta-analysis of feeding sugar beet pulp in dairy cows: Effects on feed intake, ruminal fermentation, performance, and net food production. *Animal Feed Science and Technology* 224, 78–89
220. Muñoz, R., Meier, L., Diaz, I., & Jeison, D. (2015). A review on the state-of-the-art of physical/chemical and biological technologies for biogas upgrading. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 14(4), 727-759.
221. Muresan, A., Musts, S., Borsa, A., Vlaic, R. A., & Muresan, V. (2014). Evaluation of physical-chemical indexes, sugars, pigments and phenolic compounds of fruits from three apple varieties at the end of storage period. *Bulletin UASVM Food Science and Technology*, 71(1), 45-50.
222. Murugan, K., Chandrasekaran, S., Karthikeyan, P., & Al-Sohaibani, S. (2013). *Current state of the art of food processing by products*: CRC Press: Boca Raton, FL.
223. Nacrt Pravilnika o kvalitetu zaklanih svinja i kategorizaciji svinjskog mesa (2009)
224. Nathier-Dufour, N., Angue, Y., Devaux, M.-F., Bertrand, D., & de Monredon, F. L. D. (1995). Influence of wheat meal variability upon compacting behaviour during pelleting. *Animal Feed Science and Technology*, 51(3-4), 255-268.
225. Nawirska, A., & Kwaśniewska, M. (2005). Dietary fibre fractions from fruit and vegetable processing waste. *Food chemistry*, 91(2), 221-225.
226. Nemecek, J., Fruge, E., Hansen, E., Tokach, M. D., Goodband, R. D., DeRouchey, J. M., Dritz, S. S., Nelssen, J. L. (2012). Effects of diet form and feeder adjustment on growth performance of growing-finishing pigs. Swine Day Report 2012. Kansas State University Agricultural Experiment Station and Cooperative Extension Service. Progress Report 1074. P. 290.
227. Nikolić D. & Fotirić, M. (2009). Oplemenjivanje jabuke u svetu, *Zbornik radova II Savetovanja „Inovacije u voćarstvu“*, 11 – 12. februar 2009 (pp. 5 - 23), Poljoprivredni fakultet, Univerzitet u Beogradu.
228. NRC (2001). *Nutrient requirements of dairy cattle. 7th Revised Edition*, Washington DC, National Academy Press.

- 229.NRC (1998).
- 230.Oechsner de Coninck, K. and Bouvier, J.M. (1995). Preconditioning in the extrusion-cooking process. In *Grain Processing Asia '95* (pp. 109-119). Singapore.
- 231.Omer, H.A.A. & Abdel-Magid, S.S. (2015). Incorporation of Dried Tomato Pomace in Growing Sheep Rations. *Global Veterinaria 14* (1), 1-16.
- 232.Oreopoulou, V., & Tzia, C. (2007). Utilization of plant by-products for the recovery of proteins, dietary fibers, antioxidants, and colorants. *Utilization of by-products and treatment of waste in the food industry*, 209-232.
- 233.O'Shea, N., Arendt, E. K., & Gallagher, E. (2012). Dietary fibre and phytochemical characteristics of fruit and vegetable by-products and their recent applications as novel ingredients in food products. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 16, 1-10.
- 234.Otles, S., Despoudi, S., Bucatariu, C., Kartal, C. (2015). Food waste management, Valorization and Sustainability in the food industry In C. M. Galanaks (Ed.), *Food Waste Recovery: Processing Technologies & Techniques* (pp. 3-24). Elsevier Academic Press.
- 235.Panda, S. K., Mishra, S. S., Kayitesi, E., & Ray, R. C. (2016). Microbial-processing of fruit and vegetable wastes for production of vital enzymes and organic acids: Biotechnology and scopes. *Environmental research*, 146, 161-172.
- 236.Pantelić, M. M., Zagorac, D. Č. D., Ćirić, I. Ž., Pergal, M. V., Relić, D. J., Todić, S. R., & Natić, M. M. (2017). Phenolic profiles, antioxidant activity and minerals in leaves of different grapevine varieties grown in Serbia. *Journal of Food Composition and Analysis*, 62, 76-83.
- 237.Parmar, I., & Rupasinghe, H. V. (2013). Bio-conversion of apple pomace into ethanol and acetic acid: enzymatic hydrolysis and fermentation. *Bioresource technology*, 130, 613-620.
- 238.Paunović, D. M., Zlatković, B. P., & Mirković, D. D. (2010). Kinetics of drying and quality of the apple cultivars Granny Smith, Idared and Jonagold. *Journal of Agricultural Sciences, Belgrade*, 55(3), 261-272.
- 239.Pavličević, A., Zeremski, D., Grubić, G., Jokić, Ž. (1988). Mogućnost siliranja groždane i jabučne komine u kombinaciji sa zelenom lucerkom, pivskim tropom i svežim rezancima šećerne repe. *VI jugoslovenski simpozijum o krmnom bilju*. Osijek

240. Payne, J.D. (1978). Improving quality of pellet feeds. *Milling Feed and Fertilizer*, 162, 34-41.
241. Peters, U., Sinha, R., Chatterjee, N., Subar, A. F., Ziegler, R. G., Kulldorff, M., . . . Schatzkin, A. (2003). Dietary fibre and colorectal adenoma in a colorectal cancer early detection programme. *The Lancet*, 361(9368), 1491-1495.
242. Pfof, H. B. (1971). Equipment and techniques in starch gelatinization. *Feedstuffs*, 43(9), 24-&.
243. Pieszka, M., Gogol, P., Pietras, M., & Pieszka, M. (2015). Valuable components of dried pomaces of chokeberry, black currant, strawberry, apple and carrot as a source of natural antioxidants and nutraceuticals in the animal diet. *Annals of Animal Science*, 15(2), 475-491.
244. Pieszka, M., Szczurek, P., Bederska-Łojewska, D., Migdał, W., Pieszka, M., Gogol, P., & Jagusiak, W. (2017). The effect of dietary supplementation with dried fruit and vegetable pomaces on production parameters and meat quality in fattening pigs. *Meat Science*, 126, 1-10.
245. Pietsch, W. (1997). Size enlargement by agglomeration. In M.E. Fayed & L. Otten (Eds.), *Handbook of Powder Science & Technology* (pp. 202-377): Springer.
246. Pietsch, W. (2002). Agglomeration processes—phenomena, technologies, equipment, Weinheim, Wiley-VCH.
247. Pirmohammadi, R., Rouzbehan, Y., Rezayazdi, K., & Zahedifar, M. (2006). Chemical composition, digestibility and in situ degradability of dried and ensiled apple pomace and maize silage. *Small ruminant research*, 66(1), 150-155.
248. Poorkasegaran, S., & Yansari, A. T. (2014). Effects of different sources of carbohydrates on intake, digestibility, chewing, and performance of Holstein dairy cows. *Journal of animal science and biotechnology*, 5(1), 6.
249. Pravilnik o kvalitetu hrane za životinje, Službeni glasnik Republike Srbije, broj 27/2014 od 07/03/2014.
250. Prior, R. L., Wu, X., & Schaich, K. (2005). Standardized methods for the determination of antioxidant capacity and phenolics in foods and dietary supplements. *Journal of agricultural and food chemistry*, 53(10), 4290-4302.
251. Peixoto, T. E. L., M. Morenz, J. F., Da Fonseca, C. E.M., Santos Moura, E.

- Da Lima, K. R., Ferraz Lopes, F. C., Da Silva Cabral, L. (2015). Citrus pulp in lamb diets: intake, digestibility, and ruminal parameters. *Semina: Ciências Agrárias, Londrina*, 36(5), 3421-3430.
252. Payne, J. (2001). The pelleting handbook : a guide for production staff in the compound feed industry, <https://www.scribd.com/document/311659444/Pelleting-Handbook> (pristupljeno 15.06.2016.)
253. Queji, M. D., Wosiacki, G., Cordeiro, G. A., Peralta-Zamora, P. G., & Nagata, N. (2010). Determination of simple sugars, malic acid and total phenolic compounds in apple pomace by infrared spectroscopy and PLSR. *International Journal of Food Science & Technology*, 45(3), 602-609.
254. Rahman, M. S. (2007). *Handbook of food preservation*: CRC press.
255. Rana, S., Gupta, S., Rana, A., & Bhushan, S. (2015). Functional properties, phenolic constituents and antioxidant potential of industrial apple pomace for utilization as active food ingredient. *Food Science and Human Wellness*, 4(4), 180-187.
256. Rawal, R., & Masih, D. (2014). Study of the Effect on the Quality Attributes of Apple Pomace Powder Prepared by Two Different Dryers. *IOSR Journal of Agriculture and Veterinary Science*, 7(8), 54-61.
257. Reimer, L. (1992). Conditioning. In *Proceedings of Northern crops institute feed mill management and feed manufacturing technology Short course*, 7, CPM Crawfordsville, USA.
258. Reis, S.F., Rai, D.K. & Abu-Ghannam, N. (2012). Apple pomace as a potential ingredient for the development of new functional foods. *International Conference on Food Safety, Quality and Nutrition (ICFSQN), 11-13 April 2012* (pp. 61–66), Manchester, UK.
259. Rodrigues, M., Guedes, C., Rodrigues, A., Cone, J., Van Gelder, A., & Ferreira, L. (2008). Evaluation of the nutritive value of apple pulp mixed with different amounts of wheat straw. *Livestock Research for Rural Development*, 20(1), Article #6
260. Root, W. H. & Barrett, D. M. (2005). Apples and apple processing. In D.M. Barrett, L.P. Somogyi & H. S. Ramaswamy (Eds.). *Processing Fruits, Science and Technology*, 2nd Edition. Boca Raton, Florida: CRC Press LLC.

261. Rumpf, H. (1958). Grundlagen und methoden des granulierens. *Chemie Ingenieur Technik*, 30(3), 144-158.
262. Rumpf, H. (1962). *The strength of granules and agglomerates*. Paper presented at the Agglomeration-Proceedings of the First International Symposium on Agglomeration, Philadelphia, 1962.
263. Russ, W., & Meyer-Pittroff, R. (2004). Utilizing waste products from the food production and processing industries. *Critical reviews in food science and nutrition*, 44(1), 57-62.
264. Russ, W., & Schnappinger, M. (2007). Waste related to the food industry: a challenge in material loops. In V. Oreopoulou, W. Russ (Eds.) *Utilization of by-products and treatment of waste in the food industry* (pp. 1-13), New York: Springer Science+Business Media, LLC.
265. Russo, M., Bonaccorsi, I., Torre, G., Sarò, M., Dugo, P., & Mondello, L. (2014). Underestimated sources of flavonoids, limonoids and dietary fibre: Availability in lemon's by-products. *Journal of Functional Foods*, 9, 18-26.
266. Saravacos, G. & Kostaropoulos, A. E. (2016). *Handbook of Food Processing Equipment, 2nd Edition*. Springer International Publishing AG Switzerland.
267. Sato, M. F., Vieira, R. G., Zardo, D. M., Falcão, L. D., Nogueira, A., & Wosiacki, G. (2010). Apple pomace from eleven cultivars: an approach to identify sources of bioactive compounds. *Acta Scientiarum. Agronomy*, 32(1), 29-35.
268. Saveyn, H., & Eder, P. (2014). End-of-waste criteria for biodegradable waste subjected to biological treatment (compost & digestate): technical proposals. *Publications Office of the European Union, Luxembourg*.
269. Schieber, A., Hilt, P., Streker, P., Endreß, H.-U., Rentschler, C., & Carle, R. (2003). A new process for the combined recovery of pectin and phenolic compounds from apple pomace. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 4(1), 99-107.
270. Schneeman, B. O. (1998). Dietary fiber and gastrointestinal function. *Nutrition Research*, 18(4), 625-632.
271. Schoeff, R.W. (1994). History of the formula feed industry. In: R.R. McElhiney, Ed. *Feed, Manufacturing Technology IV*. Arlington, Virginia: American Feed Industry Association.

272. Sehm, J., Lindermayer, H., Dummer, C., Treutter, D., & Pfaffl, M. (2007). The influence of polyphenol rich apple pomace or red-wine pomace diet on the gut morphology in weaning piglets. *Journal of animal physiology and animal nutrition*, 91(7-8), 289-296.
273. Serrano, C., Monedero, E., Lapuerta, M., Portero, H. (2011). Effect of moisture content, particle size and pine addition on quality parameters of barley straw pellets. *Fuel Processing Technology*, 92, 699–706.
274. Serena, A., & Knudsen, K. B. (2007). Chemical and physicochemical characterisation of co-products from the vegetable food and agro industries. *Animal Feed Science and Technology*, 139(1), 109-124.
275. Shalini, R., & Gupta, D. (2010). Utilization of pomace from apple processing industries: a review. *Journal of Food Science and Technology*, 47(4), 365-371.
276. Shdaifat, M., Al-Barakah, F., Kanan, A., & Obeidat, B. (2013). The effect of feeding agricultural by-products on performance of lactating Awassi ewes. *Small ruminant research*, 113(1), 11-14.
277. Shojaosadati, S., & Babaeipour, V. (2002). Citric acid production from apple pomace in multi-layer packed bed solid-state bioreactor. *Process Biochemistry*, 37(8), 909-914.
278. Skoch, E., Behnke, K., Deyoe, C., & Binder, S. (1981). The effect of steam-conditioning rate on the pelleting process. *Animal Feed Science and Technology*, 6(1), 83-
279. Sredanović, S., Lević, J. (2000). Conditioning: An important step in feed production, *Journal of Processing and Energy in Agriculture* 4(3–4), 82-84.
280. Sretenović, Lj., Adamović, M., Stoićević, Lj., Jovanović, R., Milenković, I., Pavlović, Z. (1994). Softverski paket OPTIMIX ver.1.01.
281. Sriamornsak, P. (2003). Chemistry of pectin and its pharmaceutical uses: A review. *Silpakorn University International Journal*, 3(1-2), 206-228.
282. Stark, C. (2009). *Effect of die thickness and pellet mill throughput on pellet quality*.
283. Stark, C., Behnke, K., Hancock, J., & Hines, R. (1994). High quality pellets support pig efficiency. *Feed Management*, 45(6).
284. Statistički godišnjak Srbije (2010), Republički zavod za statistiku, Beograd.
285. Statistički godišnjak Republike Srbije (2014), Republički zavod za statistiku, Beograd.
286. Statistički godišnjak Republike Srbije (2015), Republički zavod za statistiku, Beograd.
287. Statistički godišnjak Republike Srbije (2016), Republički zavod za statistiku, Beograd.



288. Suárez, B., Álvarez, Á. L., García, Y. D., del Barrio, G., Lobo, A. P., & Parra, F. (2010). Phenolic profiles, antioxidant activity and in vitro antiviral properties of apple pomace. *Food chemistry*, *120*(1), 339-342.
289. Sudha, M., Baskaran, V., & Leelavathi, K. (2007). Apple pomace as a source of dietary fiber and polyphenols and its effect on the rheological characteristics and cake making. *Food chemistry*, *104*(2), 686-692.
290. Svihus, B., Kløvstad, K., Perez, V., Zimonja, O., Sahlström, S., Schüller, R., . . . Prestløkken, E. (2004). Physical and nutritional effects of pelleting of broiler chicken diets made from wheat ground to different coarsenesses by the use of roller mill and hammer mill. *Animal Feed Science and Technology*, *117*(3), 281-293.
291. Szucsne P. (2000). Apple pomace in sheep-feeding. Concentrate replacement by apple pomace silage in the feeding of ewes and lambs. (*Allattenyestés és Takarmányozás*)(Hungary) *49*(1), 87-94.
292. Taasoli, G., & Kafilzadeh, F. (2008). Effects of dried and ensiled apple pomace from puree making on performance of finishing lambs. *Pakistan Journal of Biological Science*, *11*(2), 294-297.
293. Tabeidian, S. A., Toghyani, M., Toghyani, M., & Shahidpour, A. (2011). Effect of incremental levels of dried tomato pomace with and without dietary enzyme supplementation on growth performance, carcass traits and ileal protein digestibility of broiler chicks. *Journal of Animal and Veterinary Advances*, *10*(4), 443-448.
294. Thomas, M., & Van der Poel, A. (1996). Physical quality of pelleted animal feed 1. Criteria for pellet quality. *Animal Feed Science and Technology*, *61*(1-4), 89-112.
295. Thomas, M., Van Vliet, T., & Van der Poel, A. (1998). Physical quality of pelleted animal feed 3. Contribution of feedstuff components. *Animal Feed Science and Technology*, *70*(1-2), 59-78.
296. Thomas, M., Van Zuilichem, D., & Van der Poel, A. (1997). Physical quality of pelleted animal feed. 2. Contribution of processes and its conditions. *Animal Feed Science and Technology*, *64*(2-4), 173-192.
297. Tiwari, S., Narang, M., & Dubey, M. (2008). Effect of feeding apple pomace on milk yield and milk composition in crossbred (Red Sindhi x Jersey) cow. *Livestock Research for Rural Development*, *20*(4), 293-297.

298. Toyokawa, K., Saito, Z., Inoue, T., Mikami, S., Takayasu, I., & Tsubomatsu, K. (1984). The effects of apple pomace silage on the milk production and the reduction of the feed cost for lactating cows. *Bulletin of the Faculty of Agriculture-Hirosaki University (Japan)*, 41, 89-112.
299. Tsao, R., Yang, R., Xie, S., Sockovie, E., & Khanizadeh, S. (2005). Which polyphenolic compounds contribute to the total antioxidant activities of apple? *Journal of agricultural and food chemistry*, 53(12), 4989-4995.
300. Tu, S. H., Chen, L. C., Ho, Y. S. (2017). An apple a day to prevent cancer formation: Reducing cancer risk with flavonoids. *Journal of Food and Drug Analysis*, 25, 119–124.
301. Turner, R. (1995). Bottomline in feed processing: achieving optimum pellet quality. *Feed Management*, 46, 30-33.
302. UN (2013). World Population Prospects—The 2012 Revision, Department of Economic and Social Affairs, Population Division, United Nations, New York.
303. USDA (United States Department of Agriculture) Food Composition Databases, dostupno na <https://ndb.nal.usda.gov/ndb/>, pristupljeno 19.12.2016.
304. Van Barneveld, R. J. (1994). *Effect of heating proteins on the digestibility, availability, and utilization of lysine by growing pigs*, PhD Dissertation, University of Queensland, Australia.
305. Van Vliet, H., 1981. Pelletieren, matrozenform und zerkrillmeln. *Mihle Mischfuttertechnik* 118(91), 117-119.
306. Vendruscolo, F., Albuquerque, P. M., Streit, F., Esposito, E., & Ninow, J. L. (2008). Apple pomace: a versatile substrate for biotechnological applications. *Critical reviews in biotechnology*, 28(1), 1-12.
307. Vest, L. (1993). Southeastern survey: factors which influence pellet production and quality. *Feed Management*, 44, 60-68.
308. Villas-Bôas, S. G., Esposito, E., & de Mendonca, M. M. (2003). Bioconversion of apple pomace into a nutritionally enriched substrate by *Candida utilis* and *Pleurotus ostreatus*. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 19(5), 461-467.
309. Voicu, D., Habenu, M., Uță, R., Voicu, I., & Gras, M. (2014). Effect of the dietary dry grape pomace on the performance and health state of fattening steers. *Scientific Papers:*

---

*Series D, Animal Science-The International Session of Scientific Communications of the Faculty of Animal Science 42.*

310. Voragen, A.G.J., Gruppen, H., Marsman, G.J.P., Mul, A.J. (1995). Effect of some manufacturing technologies on chemical, physical and nutritional properties of feed. In P.C. Garnsworthy & D.J.A. Cole (Eds.), *Recent Advances in Animal Nutrition* (pp. 93-126). University of Nottingham, Feed Manufacturers Conference 1994:Nottingham University Press.
311. Vukmirović Đ. (2015). *Uticaj parametara mlevenja i peletiranja na granulaciju i fizičke karakteristike peletirane hrane za životinje*. Doktorska disertacija. Univerzitet u Novom Sadu, Tehnološki fakultet, Novi Sad.
312. Vukmirović, Đ., Ivanov, D., Čolović, R., Kokić, B., Lević, J., Đuragić, O., & Sredanović, S. (2010). Effect of steam conditioning on physical properties of pellets and energy consumption in pelleting process. *Journal on Processing and Energy in Agriculture*, 14(2), 106-108.
313. Waldron, K. (2007). Waste minimization, management and co-product recovery in food processing: an introduction. In K. Waldron (Ed.), *Handbook of waste management and co-product recovery in food processing* (pp. 3–19). Boca Raton, FL: CRC Press
314. Walker, P. (2000). The use of food waste as a feedstuff for ruminants. In M.L. Westendorf (Ed.), *Food Waste to Animal Feed* (p.p.185-226). Ames, USA: Iowa State University Press.
315. Walter, M. (1990). The inclusion of liquids in compound feeds. *Advances in Feed Technology*, 2(4), 36-48.
316. Wang, Z., Sun, J., Liao, X., Chen, F., Zhao, G., Wu, J., & Hu, X. (2007). Mathematical modeling on hot air drying of thin layer apple pomace. *Food Research International*, 40(1), 39-46.
317. Weiss, W., Frobose, D., & Koch, M. (1997). Wet Tomato Pomace Ensiled with Corn Plants for Dairy Cows1. *Journal of Dairy Science*, 80(11), 2896-2900.
318. Wijngaard, H. H., Rößle, C., & Brunton, N. (2009). A survey of Irish fruit and vegetable waste and by-products as a source of polyphenolic antioxidants. *Food chemistry*, 116(1), 202-207.

319. Winowiski, T. (1985). Optimizing pelleting temperature. *Feed Management*, 36(7), 28-33.
320. Winowiski, T. (1988). Wheat and pellet quality. *Feed Management*, 39(9), 58-64.
321. Winowiski, T. S. (1995). Pellet quality in animal feeds. Technical bulletin, American Soybean Association, FT21-1995, pp. 1-5, dostupno na [http://www.aktiveter.com/ftp\\_public/articulo1476.pdf](http://www.aktiveter.com/ftp_public/articulo1476.pdf) (datum pristupa 21.10.2016)
322. Wojdalski, J., Grochowicz, J., Ekielski, A., Radecka, K., Stępnia, S., Orłowski, A., Kosmala, G. (2016). Production and Properties of Apple Pomace Pellets and their Suitability for Energy Generation Purposes. *Rocznik Ochrona Srodowiska*, 18, 89-111.
323. Wood, J. F. (1987). The functional properties of feed raw materials and their effect on the production and quality of feed pellets. *Animal Feed Science and Technology*, 18(1), 1-17.
324. Xie, G., & West, T. (2006). Citric acid production by *Aspergillus niger* on wet corn distillers grains. *Letters in applied microbiology*, 43(3), 269-273.
325. Tian, X. (2016). Food Processing By-Products as Natural Sources of Antioxidants: A Mini Review. *Advances in food technology and nutritional sciences*, SE(2): S7-S17.
326. Yamamoto, A., Satoh, Y., Nakamura, K., Itoh, M., & Furuya, S. (2003). Effects of feeding a lower protein diet supplemented with the apple pomace on growth performance, nitrogen excretion and backfat thickness in finishing pigs. *Japanese Journal of Swine Science (Japan)*, 40(3), 129-134.
327. Yamamoto, A., Umemoto, E., Itoh, M., Matsui, M., Fujimura, N., & Furuya, S. (2002). Reduction of ammonia emission from growing pig rooms by feeding a lower protein diet supplemented with apple pomace. *Animal Science Journal*, 73(6), 505-508.
328. Yan, H. (2012). *Vacuum belt dried apple pomace powder as a value-added food ingredient*. Master thesis. University of Georgia, Athens, Georgia.
329. Yapo, B. M., Robert, C., Etienne, I., Wathelet, B., & Paquot, M. (2007). Effect of extraction conditions on the yield, purity and surface properties of sugar beet pulp pectin extracts. *Food chemistry*, 100(4), 1356-1364.
330. Yildiz, G., Dikicioğlu, T. (1999). The effect of dried apple pomace and Grindazym added to the layer rations on egg production and egg quality. *VIV. Poultry YUTAV*, 3-6 June 1999 İstanbul, pp. 388-395.

- 331.Zafar, F., Idrees, M., & Ahmed, Z. (2005). Use of apple by-products in poultry rations of broiler chicks in Karachi. *Pakistan Journal of Physiology*, 1(1-2), 32-34.
- 332.Zhang, H., & Tsao, R. (2016). Dietary polyphenols, oxidative stress and antioxidant and anti-inflammatory effects. *Current Opinion in Food Science*, 8, 33-42.
- 333.Zhang, T., Wei, X., Miao, Z., Hassan, H., Song, Y., & Fan, M. (2016). Screening for antioxidant and antibacterial activities of phenolics from Golden Delicious apple pomace. *Chemistry Central Journal*, 10(1), 47.
- 334.Zhang, T., Wei, X., Miao, Z., Hassan, H., Song, Y., & Fan, M. (2016). Screening for antioxidant and antibacterial activities of phenolics from Golden Delicious apple pomace. *Chemistry Central Journal*, 10(1), 47.
- 335.Zhong-Tao, S., Lin-Mao, T., Cheng, L., & Jin-Hua, D. (2009). Bioconversion of apple pomace into a multienzyme bio-feed by two mixed strains of *Aspergillus niger* in solid state fermentation. *Electronic Journal of Biotechnology*, 12(1), 2-3.
- 336.Ziari, H., Ashtiani, F. Z., & Mohtashamy, M. (2010). Comparing the effectiveness of processing parameters in pectin extraction from apple pomace. *Afinidad*, 67(549), 374-379
- 337.Zielinski, A. A. F., Alberti, A., Braga, C. M., da Silva, K. M., Canteri, M. H. G., Mafra, L. I., Wosiacki, G. (2014). Effect of mash maceration and ripening stage of apples on phenolic compounds and antioxidant power of cloudy juices: A study using chemometrics. *LWT-Food Science and Technology*, 57(1), 223-229.
- 338.Zilic, S., Delic, N., Basic, Z., Ignjatović-Micic, D., Jankovic, M., & Vancetovic, J. (2015). Effects of alkaline cooking and sprouting on bioactive compounds, their bioavailability and relation to antioxidant capacity of maize flour. *Journal of Food and Nutrition Research*, 54(2), 155-164.
- 339.Zimonja, O., Hetland, H., Lazarevic, N., Edvardsen, D., & Svihus, B. (2008). Effects of fibre content in pelleted wheat and oats diets on technical pellet quality and nutritional value for broiler chickens. *Canadian Journal of Animal Science*, 88(4), 613-622.
- 340.Zimonja, O., & Svihus, B. (2009). Effects of processing of wheat or oats starch on physical pellet quality and nutritional value for broilers. *Animal Feed Science and Technology*, 149(3), 287-297.

341. Zlatanović, I. (2012). Tipovi, klasifikacija i selekcija sušara u agroindustriji/Types, classification and selection of dryers in agroindustry. *Пољопривредна техника/Agricultural Engineering* 2, 1-13.
342. Žilić, S., Basić, Z., Hadži-Tašković Šukalović, V., Maksimović, V., Janković, M., & Filipović, M. (2014). Can the sprouting process applied to wheat improve the contents of vitamins and phenolic compounds and antioxidant capacity of the flour? *International Journal of Food Science & Technology*, 49(4), 1040-1047.