

UNIVERZITET U BEOGRADU

Slavica V. Arsić

**Analiza tehno-ekonomske
opravdanosti iskorišćenja
surutke u Srbiji**

-doktorska disertacija-

Beograd, 2018

UNIVERSITY OF BELGRADE

Slavica V. Arsić

**Techno-economic analysis
of the possibility of whey
utilization in Serbia**

-Doctoral Dissertation-

Belgrade, 2018

Podaci o mentorima i članovima komisije

Mentori :

dr Marica Rakin, redovni profesor

Univerzitet u Beogradu,
Tehnološko-metalurški fakultet

dr Gordana Kokeza, redovni profesor

Univerzitet u Beogradu,
Tehnološko-metalurški fakultet

Članovi komisije:

dr Jonel Subić, viši naučni saradnik

Institut za ekonomiku poljoprivrede,
Beograd

dr Zorica Radulović, redovni profesor

Univerzitet u Beogradu,
Poljoprivredni fakultet

Datum odbrane: _____

ANALIZA TEHNO-EKONOMSKE OPRAVDANOSTI ISKORIŠĆENJA SURUTKE U SRBIJI

SADRŽAJ

Surutka je glavni sporedni proizvod industrije mleka, koji nastaje pri enzimskom ili kiselinskom tretmanu mleka, tokom procesa proizvodnje sira. Zbog svog sastava surutka predstavlja dobar supstrat za primenu u različitim biotehnološkim procesima, koji podrazumevaju proizvodnju laktoze, proteinskih koncentrata i hidrolizata, funkcionalnih fermentisanih napitaka, enzima itd.

Shodno velikom potencijalu koji surutka poseduje osnovni ciljevi kojima pri njenoj preradi treba težiti su dodatno unapređenje sastava u funkcionalnom smislu kao i unapređenje senzornih svojstava radi lakšeg uključivanja surutke u ishranu ljudi.

Predmet ove disertacije je ispitivanje mogućnosti korišćenja surutke u različitim tehnološkim procesima i analiza profitabilnosti različitih procesa u kojima se iskorišćava surutka.

U radu je korišćen licencirani programski softver SuperPro Designer. Ovaj program daje mogućnosti za pronalaženje optimalnog postupka analiza profitabilnosti, skraćivanja vremena potrebnog za odvijanje celokupnog procesa ili pojedinih faza procesa i omogućava poređenje alternativnih procesa iskorišćenja surutke. Tako se može odrediti uticaj promenljivih parametara, kao što su troškovi sirovina, varijacije u sastavu proizvoda i ugradnje novih tehnologija, a time na jednostavan i brz način proceniti održivost proizvodnje.

U disertaciji su obuhvaćene tehno-ekonomske analize tri različita postupaka proizvodnje; proizvodnja laktoze i koncentrata proteina surutke, proizvodnja funkcionalnog napitka na bazi surutke i proizvodnja bioaktivnih hidrolizata proteina surutke.

Pokazano je da za **postrojenje za proizvodnju laktoze** sa osnovnim kapacitetom od 1.000 kg/h ukupne investicije kapitala iznose 20.985.000 \$, direktni troškovi fiksnog kapitala 19.634.000 \$, operativni troškovi 8.614.932 \$/godini, bruto marža iznosi 68.53 % i

povratak investicije je 62.70 %. Period otplate u ovom ispitivanju iznose 1.59 za godinu dana i da interna stopa povraćaja (IRR) nakon poreza iznosi 45.86 %.

Tehno-ekonomska analiza isplativosti postrojenja za **proizvodnju funkcionalnog napitkana** bazi surutke ukazuje da ova proizvodnja vodi ka značajnom unapređenju nutritivnog kvaliteta napitaka.

Integrirani proizvodni proces proizvodnje sira/napitak surutka i mrkva ima veću ekonomsku održivost nego osnovni proces proizvodnje sira. Zbog odličnih ekonomskih pokazatelja, integrirani proces proizvodnje sira/napitak surutka i mrkva omogućuje brži povraćaj kapitala od 0.15 godina (PP), sa višom NSV od 10464.04 \$ i IRR sa vrednostima od 384.61%.

Postrojenje koje istovremeno proizvodi sir i napitak od surutke i mrkve je ekonomski atraktivnije u poređenju sa postrojenjem koje proizvodi samo sir. Dobijeni napitak od surutke i mrkve imao je sledeće kvalitativne karakteristike: antioksidativna aktivnost 90.5%, broj živih ćelija 8.66 log (CFU/mL), pH vrednost 4.60, titracijska kiselost 20.0 °SH, sineresis 66.7%, viskoznost 2.693 cP i senzorna vrednost 8.97 sa velikom potencijalom za prihvatljivost kod potrošača.

Tehno-ekonomska analiza isplativosti **postrojenja za proizvodnju bioaktivnih hidrolizata proteina surutke** obuhvatila je dva moguća scenarija: *Scenario A* koji podrazumeva korišćenje surutke i *Scenario B* koji podrazumeva korišćenje koncentrata proteina surutke kao izvora proteina. Oba procesa podrazumevaju tri koraka obrade: predtretman, modifikaciju proteina surutke i izdvajanje proizvoda. Za fabriku sa osnovnim kapacitetom od 1.000 kg/h, ukupna kapitalna ulaganja iznose 22.940.000 \$ za *Scenario A* i 17.402.000 \$ za *Scenario B*. Pod pretpostavkom da je prodajna cena bioaktivnog hidrolizata proteina surutke 20 \$/kg, projekat ima internu stopu povraćaja (IRR) od 17,73% za *Scenario A* i 230,55% za *Scenario B*.

Neto sadašnja vrednost (NSV) iznosila je oko 25.38 miliona dolara za *Scenario A* i 1.635.600 \$ za *Scenario B* (uz diskontnu stopu od 7%). Na osnovu ovih rezultata, projekat koji pretpostavlja *Scenario B* predstavlja mnogo atraktivniju investiciju u odnosu na *Scenario A*, što ukazuje na to da enzimaska modifikacija proteina surutke predstavlja izuzetno profitabilan proces u proizvodnji bioaktivnoih hidrolizata proteina surutke.

Na osnovu rezultata izvršenog istraživanja može se zaključiti da enzimaska hidroliza predstavlja najpogodniji proces za proizvodnju bioaktivnih hidrolizata proteina surutke. Predpostavljeni industrijski pogon kapaciteta 1.000 kg/h, karakterišu sledeća ulaganja: ukupna kapitalna ulaganja 17.400.000 \$; direktni fiksni kapitalni troškovi 15.980.000 \$; godišnji operativni troškovi 9.140.000 US dolara. Vreme povraćaja uloženi sredstava iznosilo bi 0.09 godina. Proizvodnja bioaktivnih hidrolizata proteina surutke, sa predpostavljenom prodajnom cenom od 20 \$/kg, koja je znatno niža od tržišne cene, stoga se investiranje u ovakav način prerade surutke može smatrati veoma isplativim. Na osnovu izvršenih istraživanja i proračuna, može se zaključiti da bi predstavljeni proces omogućio ekološki prihvatljivo i ekonomski isplativo rešenje za iskorišćavanje surutke putem njene transformacije u proizvode druge generacije proizvoda na bazi proteina surutke.

Ključne reči: surutka, SuperPro Designer, tehno-ekonomska analiza, proizvodnja laktoze, koncentrata proteina surutke, funkcionalnog napitka na bazi surutke, bioaktivnih hidrolizata proteina surutke

Naučna oblast: Multidisciplinarne nauke

Uža naučna oblast: biotehnologija, ekonomija, prehrambena tehnologija

TECHNO-ECONOMIC ANALYSIS OF THE POSSIBILITY OF WHEY UTILIZATION IN SERBIA

SUMMARY

Whey is the main by-product of the milk industry, which occurs in the enzymatic or acid treatment of milk, during the process of cheese production. Due to its composition, whey is a good substrate for use in various biotechnological processes, which include the production of lactose, protein concentrates and hydrolysates, functional fermented beverages, enzymes, etc.

In accordance with the great potential that the whey possesses, the basic goals that need to be addressed in its processing are further improving the composition in a functional sense as well as improving the sensory properties for easier inclusion of whey in human nutrition.

The subject of this dissertation is testing the possibility of using whey in different technological processes and analyzing the profitability of various processes in which whey is used.

In this work, the licensed SuperPro Designer software was used. This program provides the opportunity to find an optimal method of analyzing profitability, shortening the time needed to complete the whole process or individual stages of the process, and allowing comparison of alternative processes of whey exploitation. This can determine the influence of variable parameters, such as raw material costs, variations in product composition and the installation of new technologies, thus assessing the sustainability of production in a simple and quick way.

The dissertation includes a techno-economic analysis of three different production processes; production of lactose and whey protein concentrate, production of functional beverage based on whey and production of bioactive hydrolysates of whey proteins.

It has been shown that for a **lactose production plant** with a basic capacity of 1,000 kg/h to total capital investments amounting to 20.985.000 \$, direct fixed capital costs amount to 19.634.000 \$, operating costs 8,614.932 \$per year, gross margin 68.53%, return investment

is 62.70%. The repayment period in this test is 1.59 for a year. The internal rate of return (IRR) tax rate is 45.86%.

The techno-economic analysis of the cost-effectiveness of the plant for **the production of a functional whey based beverage** suggests that this production leads to a significant improvement in the nutritional quality of the beverages. The integrated production process of cheese / beverage cheese and carrot has a higher economic sustainability than the basic process of cheese production. Due to excellent economic indicators, the integrated process of cheese / beverage production of whey and carrots allows for a faster return on capital of 0.15 years (PP), with higher NSV of 10.464.040 \$ and IRR with values of 384.61%. A plant that simultaneously produces cheese and whey and carrot beverages is economically more attractive compared to the plant that produces only cheese. The resulting beverage made from whey and carrot had the following qualitative characteristics: antioxidant activity 90.5%, number of living cells 8.66 log (CFU/mL), pH 4.60, titration acidity 20.0 °SH, sineresis 66.7 %, a viscosity of 2.693 cP and a sensory value of 8.97 with a high potential for consumer acceptability.

The techno-economic analysis of the cost-effectiveness of the plant for **the production of bioactive hydrolysates of whey proteins** included two possible scenarios: **Scenario A** which implies the use of whey and **Scenario B**, which implies the use of whey protein concentrates as a source of protein. Both processes involve three processing steps: pre-treatment, whey protein modification and product extraction. For a factory with a basic capacity of 1.000 kg/h, total capital investments amount to 22.940.000 \$ for Scenario A and 17.402.000\$for Scenario B. Assuming the sales price of bioactive protein hydrolyzate of whey protein 20 \$/kg, the project has an internal Return Rate (IRR) of 17.73% for Scenario A and 230.55% for Scenario B.

The net present value (NPV) was about 25.380.000 \$for Scenario A and 163.500.600 \$ for Scenario B (at a discount rate of 7%). Based on these results, the project that assumes Scenario B represents a much more attractive investment compared to Scenario A, which suggests that enzymatic modification of whey proteins is a highly profitable process in the production of bioactive hydrolysates of whey protein.

Based on the results of conducted research it could be concluded that enzymatic hydrolysis is the most suitable process for the production of bioactive proteins of whey proteins. Assumed

industrial capacity of 1.000 kg/h is characterized by the following investments: total capital investments - 17.400.000 \$; direct fixed capital costs - 15.980.000 \$; annual operating costs - 9.140.000 \$. Return period of invested assets will be 0.09 years. Production of bioactive hydrolysates of whey protein, with supposed sales price of 20 \$/kg, which is significantly lower than the average market price, will enable investing in this way of whey processing as very profitable. According to conducted research and calculations, it could be concluded that presented process allows an environmentally friendly and economically viable solution for using whey through its transformation into products of the second generation of whey protein products.

Key words: whey protein, softver SuperPro Designer, techno-economic analysis, production whey protein concentrate, lactose, production of functional beverage of whey, production of bioactive hydrolysates of whey proteins

Scientific discipline: multidisciplinary sciences

Scientific subdiscipline: biotechnology, economics, food technology

SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
2. TEORIJSKI DEO.....	4
2.1 Surutka i dobijanje surutke.....	4
2.2 Sastav surutke.....	5
2.3. Osnovne mogućnosti primene surutke.....	8
2.4. Stanje i perspektiva potpunog iskorišćavanja surutke.....	10
2.5. Proizvodi dobijeni tretiranjem ili transformisanjem surutke	13
2.6. Tehnološki postupci prerade surutke.....	16
2.6.1. Separacija masti i kazeinskih vlakana iz surutke	17
2.6.2. Koncentrovanje ukupnih čvrstih materija.....	17
2.6.3. Frakcionisanje ukupnih čvrstih materija.....	18
2.6.3.1. Izolovanje proteina surutke.....	19
2.6.3.2. Dobijanje bioaktivnih peptida.....	20
2.6.3.3. Izdvajanje proteina ultrafiltracijom (UF).....	21
2.6.3.4. Uklanjanje masti iz WPC-a.....	22
2.6.3.5. Izdvajanje denaturisanih proteina surutke	23
2.6.3.6. Hromatografsko izdvajanje laktoperoksidaze i laktoferina.....	24
2.6.3.7. Izolovanje laktoze.....	26
2.6.3.8. Kristalizacija.....	26
2.6.3.9. Separacija laktoze.....	27
2.6.3.10. Sušenje laktoze.....	28
2.6.3.11. Demineralizacija (desalinacija).....	28
2.6.3.12. Delimična demineralizacija procesom NF.....	29
2.6.3.13. Visokostepena demineralizacija.....	30
2.6.4. Konverzija laktoze	35
2.6.5. Hemijska sinteza laktozil uree i amonijum laktata.....	37
2.6.6. Proizvodnja fermentisanih napitaka na bazi surutke.....	37

3. OPŠTE POSTAVKE EKSPERIMENTALNIH ISPITIVANJA.....	41
3.1. PROGRAMSKI PAKET SUPERPRO DESIGNER.....	41
3.1.1. Uvod.....	41
3.1.2. Metodologija	42
3.1.3. Otvaranje programskog paketa SuperPro Designer.....	43
3.1.4. Specificiranje načina rada u programu SuperPro Designer.....	44
3.1.5. Šaržni proces	45
3.1.6. Kontinualni proces.....	45
3.1.7. Supstance i smeše.....	45
3.1.8. Tokovi ulaznih sirovina, međuproizvoda i finalnih proizvoda.....	47
3.1.9. Troškovi procesnih fluida i energije.....	48
3.1.10. Određivanje troškova	48
3.1.10.1. Kapitalni troškovi	49
3.1.10.2. Operativni troškovi	50
3.1.10.3. Troškovi amortizacije.....	50
3.1.11. Jedinične procedure i operacije	50
3.1.12. Vremensko planiranje procesa	51
3.1.13. Ekonomija i evaluacija potrošnje.....	53
3.1.14. Ekonomski indikatori	55
3.1.15. Tehno-ekonomska analiza i analiza isplativosti procesa.....	56
3.1.16. Analiza osetljivosti	57
3.2. TEHNO-EKONOMSKA ANALIZA ISPLATIVOSTI POSTROJENJA ZA PROIZVODNJU LAKTOZE I KONCENTRATA PROTEINA SURUTKE (EKSPERIMENT 1)	58
3.2.1. Uvod.....	58
3.2.2. Materijali i metode.....	59
3.2.2.1. Sirovine.....	59
3.2.2.2. Opis procesa.....	59
3.2.2.3. Troškovi sirovina	60
3.2.3. Rezultati i diskusija.....	60
3.2.3.1. Kapitalni troškovi	60
3.2.3.2. Operativni troškovi.....	62
3.2.3.3. Tehno-ekonomska i analiza isplativosti.....	63
3.2.3.4. Analiza osetljivosti	64
3.2.4. Zaključak	65

**3.3. TEHNO-EKONOMSKA ANALIZA ISPLATIVOSTI POSTROJENJA ZA
PROIZVODNJU FUNKCIONALNOG NAPITKA NA BAZI SURUTKE
(EKSPERIMENT 2) 66**

3.3.1. Uvod.....	66
3.3.2. Materijali i metode.....	67
3.3.2.1. Mikroorganizmi i hranjiva podloga.....	67
3.3.2.2. Eksperimentalni postupak.....	68
3.3.2.3. Hemijske analize.....	68
3.3.2.4. Mikrobiološke analize.....	69
3.3.2.5. Teksturalna analiza.....	69
3.3.2.5.1. Viskoznost.....	69
3.3.2.5.2. Sinerezis.....	69
3.3.2.6. Senzorna analiza.....	69
3.3.2.7. Antioksidativna aktivnost.....	70
3.3.2.8. Statistička analiza.....	70
3.3.3. Rezultati i diskusija.....	71
3.3.3.1. Tehnološki pristup.....	71
3.3.3.1.1. Simulacija-Proizvodnja surutka- mrkva napitka.....	71
3.3.3.2. Tehno-ekonomska analiza.....	73
3.3.3.3. Ekološka opravdanost korišćenja surutke.....	75
3.3.3.4. Kvalitativna ocena.....	76
3.3.3.4.1. Hemijska i sezorna ocena.....	76
3.3.3.5. Nutritivna ocena.....	78
3.3.3.5.1. Mikrobiološka analiza i antioksidativna aktivnost.....	78
3.3.6. Zaključak.....	79

**3.4. TEHNO-EKONOMSKA ANALIZA ISPLATIVOSTI POSTROJENJA ZA
PROIZVODNJU BIOAKTIVNIH HIDROLIZATA PROTEINA SURUTKE
(EKSPERIMENT 3) 80**

3.4.1. Uvod.....	80
3.4.2. Materijali i metode.....	82
3.4.2.1. Sirovine.....	82
3.4.2.2. Mikroorganizam i enzim.....	82
3.4.2.3. Opis procesnog modela.....	82
3.4.2.4. Opis procesa.....	87
3.4.3. Rezultati i diskusija.....	88
3.4.3.1. Kapitalni troškovi.....	88
3.4.3.2. Operativni troškovi.....	90
3.4.3.3. Tehno-ekonomska i analiza isplativosti.....	91

3.4.3.4. Analiza osetljivosti	93
3.4.4. Zaključak	96
4. ZAKLJUČCI	97
5. LITERATURA	100

1. UVOD

Jedan od najvećih problema sadašnjeg čovečanstva jeste nedostatak hrane. Problem se javlja zbog velikog porasta stanovništva i nedovoljne proizvodnje hrane u zemljama u kojima je i najveći porast stanovništva. U tom pogledu pored povećanja proizvodnje postavlja se i pitanje racionalnijeg iskorišćavanja sastojaka hrane koja je već jednom proizvedena za potrebe čoveka. Ako se sa tog aspekta posmatra proizvodnja i prerada mleka, surutka je svakako jedan od najzastupljenijih pratećih proizvoda s kojim se praktično gube najveće količine hranljivih sastojaka mleka.

Poslednjih godina čine se veliki napori koji su usmereni ka iskorišćenju sporednih proizvoda, pre svega prehrambene i agroindustrije, s ciljem smanjenja zagađenja životne sredine, a istovremeno i proizvodnjom kvalitetnih i unapređenih prehrambenih proizvoda.

Surutka je jedan od najmanje iskorišćenih sporednih proizvoda prehrambene industrije u Srbiji. Predstavlja tečnu fazu koja se dobija pri proizvodnji proteinskih mlečnih proizvoda (sira, kazeina). Kazein je tečnost koja se izdvaja iz gruša posle koagulacije mleka enzimima, kiselinama ili toplotom. Osnovni problem industrije mleka je što se svega 10-20% mleka iskoristi za dobijanje sira ili kazeina, dok 80-90% mleka odlazi na surutku, koja se ne iskorišćava. Usled nedovoljne iskorišćenosti, surutka postaje ozbiljan ekološki problem jer je veoma veliki zagađivač, što je u neskladu sa mogućnostima koje kao sirovina poseduje.

Surutka je jedan od najvećih rezervoara proteina, koji je van ljudske upotrebe ukoliko se ne iskorišćava. Pored toga što je prisutan deficit proteina u ishrani, surutka se u mnogim delovima sveta i dalje ne koristi u dovoljnoj meri s obzirom na potencijal koji poseduje.

Osnovni nedostaci korišćenja surutke kao sirovine u industriji je njena laka kvarljivost i nizak sadržaj suve materije. Zbog toga se surutka mora obraditi u što kraćem vremenskom periodu, jer njen sastav pogoduje razvoju štetnih bakterija. Ako obrada surutke nije moguća nakon proizvodnje sira, onda se hladi na 5°C da bi se privremeno zaustavio rast štetnih bakterija.

Smatra se, da se danas u prehrambenoj i industriji vrenja 50% otpadne surutke iskoristi, dok se ostatak ispušta uglavnom u vodotokove bez prethodne obrade, time se sa jedne strane, gubi nutritivno vredna sirovina, a sa druge strane, to dovodi do ozbiljnih ekoloških problema, s obzirom na visoke vrednosti hemijske potrošnje kiseonika (HPK) i biološke

potrošnja kiseonika (BPK). Odlaganje surutke kao otpada prouzrokuje niz problema, s obzirom da utiče na kvalitet fizičke i hemijske strukture zemljišta, dovodi do smanjenja prinosa useva, a ispuštanjem u vodotokove dolazi do velike potrošnje kiseonika u vodotokovima i smrti biljnog i životinjskog sveta.

Imajući u vidu da od ukupne količine proizvedene surutke 50% čini otpad, razvoj savremene industrije teži ka što boljem i efikasnijem iskorišćavanju surutke u cilju očuvanja životne sredine.

Iskorišćavanje surutke u procesima prerade, mogu nastati proizvodi sa dodatom vrednošću, čime se, ako ne u potpunosti, bar delimično mogu umanjiti troškovi njenog nekorisćenja. Danas, efikasno i jednostavno rešenje vezano za njeno potpuno iskorišćavanje je proizvodnja funkcionalnih fermentisanih napitaka na bazi surutke. Proizvodnjom ove vrste napitaka, procesom mlečno-kisele fermentacije, iskorišćavaju se svi nutritivni potencijali surutke kao sirovine, a iz životne sredine se uklanja materijal koji predstavlja biološki veoma opasan zagađivač, a nastaje proizvod, koji je jeftin, zdrav i potpuno prirodan.

Prerada surutke u napitke je počela još 70-tih godina prošlog veka, a do danas je razvijena čitava paleta napitaka, bilo da su proizvedeni od slatke ili kisele surutke, od deproteinizovane surutke, fermentisane surutke, pa sve do napitaka u prahu uz dodatak raznih aroma.

Mešanjem slatke surutke i dodataka poput voća, žitarica i njihovih prerađevina, izolata proteina biljnog porekla, čokolade, vanile i drugih aromatizovanih dodataka dobijaju se bezalkoholni napici na bazi surutke.

Iz ove grupe proizvoda posebna pažnja je posvećena razvoju proizvodnje fermentisanih napitaka. Fermentisani napici na bazi surutke se mogu podeliti u dve grupe: funkcionalne i probiotske. Obe grupe blagotvorno deluju na organizam korisnika, ali na dva različita načina. Kod probiotskih napitaka živi mikroorganizmi (probiotici) neposredno deluju na organizam korisnika, dok se funkcionalni napici odlikuju posrednim delovanjem putem metabolita koje ti mikroorganizmi proizvode tokom fermentacije, a koji se još nazivaju i biogeni.

Za fermentaciju surutke se uglavnom koriste starter kulture bakterija mlečne kiseline i probiotički sojevi koji se koriste za proizvodnju jogurta i drugih kiselomlečnih napitaka,

što je olakšava proizvodnju fermentisanih napitaka od tečne surutke poželjnih nutritivnih i senzornih karakteristika. Tako je ostvarena i mogućnost proizvodnje surutkinih napitaka senzornih karakteristika sličnih onima kod fermentisanih mlečnih proizvoda, uz primenu postupaka koji se koriste u industriji mleka. S obzirom na povoljno dejstvo probiotika na zdravlje ljudi poslednjih godina se posvećuje velika pažnja razvoju probiotičkih surutkinih napitaka.

U prehrambenoj industriji surutka se može na različite načine upotrebljavati. Najčešće se plasira kao surutka u prahu ili se proizvode koncentracije i izolati proteina surutke ili laktoze. Surutka je našla široku primenu u industriji hleba i peciva, konditorskih proizvoda, u industriji mesa i proizvodnji raznovrsnih kremova, supa, sosova i preliva, pri čemu se najčešće koristi kao koncentrovana surutka ili surutka u prahu.

Zbog velikog sadržaja laktoze i biološki vrednih proteina, na bazi surutke izrađuje se i široki asortiman dečije hrane kao i razne vrste dijetetskih proizvoda. Surutka je vrlo značajna i za farmaceutsku industriju, i to preko laktoze koja kao čist preparat služi u izradi tableta, najčešće kao inertni nosač za lekovite supstance.

2. TEORIJSKI DEO

2.1. Surutka i dobijanje surutke

Surutka nastaje kao tečni ostatak pri proizvodnji sira i kazeina tj. pri kiselinskom ili enzimskom tretmanu mleka. Procesom proizvodnje raznih vrsta sireva nastaje i više tipova surutke, kao što su: slatka surutka, kisela surutka, srednje kisela surutka, sveža surutka, demineralizovana surutka i surutka sa redukovanom laktozom.

Kiselinskim tretmanom mleka nastaju kazein i kazeinska ili kisela surutka. Zakišeljavanjem obranog mleka pod dejstvom bakterija mlečne kiseline na 25 °C ili upotrebom prehrambene hlorovodonične ili sumporne kiseline na 45 °C dobijaju se kazeinati i kazeinski gruša. Nastali kazein se taloži pri pH 4,5. Nakon toga, vrši se separacija kazeinskog gruša i kisele kazeinske surutke, centrifugiranjem ili dekantovanjem. Dobijena tečnost nakon separacije kazeinskog gruša je kisela kazeinska surutka koja se dalje po potrebi može prerađivati, [1].

Pri postupku enzimskog tretmana nastaju sir i sirna surutka (slatka surutka). Za većinu dobijenih sireva ovakav tretman je sličan, sa malim modifikacijama koje su vezane za tvrdoću sira. Nakon hlađenja mleka na temperaturu 30°C, vrši se zasejava nje starter kulturom (kultura bakterija mlečne kiseline) i enzimskom mešavinom-sirilom, koja sadrži enzime renin (homozin) i pepsin. Daljim procesiranjem, nakon formiranja gruša kao supernatant se izdvaja surutka čija je pH vrednost 5.9 – 6.6. Nastala kisela surutka je ukusnija i stabilnija, sadrži manje laktoze i mlečne masti. Postoji i tehnička surutka koja se dobija taloženjem proteina mleka s drugačijim agensima u odnosu na one koji se upotrebljavaju pri proizvodnji kisele i slatke surutke, [2].

Demineralizovana surutka ili surutka sa smanjenim sadržajem minerala se dobija tako što se određeni deo minerala uklanja iz pasterizovane sirove surutke. Postoje različite metode proizvodnje demineralizovane surutke, međutim uglavnom se proizvodi separacionim tehnikama kao što su izmena jona. Primarna upotreba ovakve surutke jeste u sistemima ishrane gde je koncentracija i sadržaj minerala od krucijalnog značaja. Važna upotreba surutke je u dijetalnoj ishrani, hrane za novorođenčad i određene suve smeše.

Mineralno koncentrisana surutka jeste poznata i kao surutka sa laktozom i ona doprinosi tamnoj boji kremastih obojenih proizvoda. Ovaj tip surutke dobija se sušenjem surutke u

kojoj je uklonjen određeni sadržaj laktoze, precipitacijom, dijalizom ili filtracijom. Sadržaj laktoze u ovom tipu surutke mora biti ispod 60%, [3].

Procena proizvodnje surutke u svetu se kreće od 180 do 190 miliona tona godišnje. Od ukupne godišnje količine proizvedene surutke, oko 6% dobija se pri proizvodnji kazeina iz obranog mleka, a ostatak (oko 94%) se dobija u obliku sirne surutke zaostale nakon proizvodnje različitih vrsta sireva. Količina surutke koja se dobije prilikom proizvodnje sira skoro je jednaka količini mleka koja je potrebna za njegovu proizvodnju. Što znači prilikom proizvodnje 1kg sira utroši se oko 10 litara mleka i prosečno nastaje 9kg, odnosno 8-12 l surutke u zavisnosti od vrste sira koji se proizvodi, [4].

2.2. Sastav surutke

Sastav i senzorna svojstva surutke zavise od vrste surutke (slatka ili kisela), odnosno načina koagulacije mleka pri proizvodnji sira, kvaliteta mleka i tehnologije proizvodnje sira, [4]. Prema prosečnom sastavu surutka sadrži oko 93% vode, a u nju prelazi i oko 50% suve materije mleka koja može da varira od 6-7%. Laktoza čini najveći deo surutke, dok oko 1% čine proteini surutke, a u manjim količinama prisutne su mineralne materije i vitamini rastvorljivi u vodi i mastima, [5].

Zbog različitih biohemijskih procesa koji se odvijaju tokom proizvodnje sira i načina koagulacije mleka, uglavnom može da varira količina mineralnih materija, što uslovljava razlike u količini kalcijuma, fosfata, mlečne kiseline i laktata kojih u kiseloj surutki ima više nego u slatkoj, tab.1.

Što se tiče sadržaja proteina, on je nešto je manji u surutki dobijenoj pri proizvodnji sira od ultrafiltriranog mleka. Sadržaj proteina u kiseloj i slatkoj surutki je veoma sličan i upravo su proteini, sastojci koji surutku stavljaju u središte pažnje što se tiče proizvodnje mlečnih proizvoda. Bez obzira na način koagulacije mleka, u tradicionalnoj proizvodnji sira, proteini surutke u celosti prelaze u surutku jer su neosetljivi na dejstvo kiselina i enzima što nije slučaj kod surutke dobijene u proizvodnji sira iz ultrafiltriranog ili termički tretiranog mleka, [6,7].

Tabela 1. Prosečan hemijski sastav slatke, sirne surutke i kisele, kazeinske surutke (1)

Sastojak	Slatka surutka (%)	Kisela surutka (%)
Ukupne čvrste materije	6,4	6,5
Voda	93,6	93,5
Masti	0,05	0,04
Pravi proteini	0,55	0,55
Neproteinski azot	0,18	0,18
Laktoza	4,8	4,9
Pepeo (minerali)	0,5	0,8
Kalcijum	0,043	0,12
Fosfor	0,040	0,065
Natrijum	0,050	0,050
Kalijum	0,16	0,16
Hlor	0,11	0,11
Mlečna kiselina	0,05	0,4

U svežem mleku, u pogledu sadržaja proteina, nalazi se oko 80% kazeina i oko 20% proteina surutke koji imaju različita svojstva. Proteinima surutke pripadaju različite termolabilne frakcije kao što su β -laktoglobulin, α -laktalbumin, albumin krvnog seruma, imunoglobulin i termostabilna frakcija proteoze-peptona, [8]. Osim proteina slatka surutka sadrži laktoferin i glikomakropeptid (GMP), koji nastaje pri enzimskoj hidrolizi κ -kazeina.

Zahvaljujući visokom učešću esencijalnih aminokiselina, prvashodno lizina, cisteina i metionina proteini surutke spadaju u nutritivno najvrednije proteine. Imaju mnogo veću biološku vrednost u upoređenju sa kazeinom, kao i drugim proteinima animalnog porekla, kao što su proteini jaja, govedine, krompira i dr. Iskoristljivost proteina surutke u organizmu usko je povezana i sa odnosom cistin/metionin koji je kod proteina surutke oko 10 puta veći nego kod kazeina. To se može potvrditi i činjenicom da se toplotno denaturisani laktalbumini skoro 100% resorbuju u probavnom sistemu, dok je taj procenat kod kazeina znatno manji i iznosi oko 75%. Treba pomenuti i da su surutkini proteini termolabilni i počinju da se denurišu već pri temperaturi od 60 °C, [9].

Pored nutritivne vrednosti, proteini surutke poseduju i odlična funkcionalna svojstva, kao što su: rastvorljivost, kapacitet i sposobnost stvaranja pene, sposobnost želiranja i emulgovanja, zbog čega se koncentri proteina surutke vrlo često koriste u prehrambenoj industriji. Zahvaljujući činjenici da su proteini surutke lakše svarljivi od kazeina, koriste se u

proizvodnji hrane za bebe, kao i radi povećanja hranljive vrednosti ne samo mlečnih, nego i brojnih drugih prehrambenih proizvoda (u konditorskim i mesnim proizvodima), [10, 11].

Tabela 2. Učešće aminokiselina u surutki (mg/l), [2]

Surutka	Slobodne aminokiseline		U proteinima	
	Ukupne	Esencijalne	Ukupne	Esencijalne
Slatka	132,7	51,00	6,490	3,326
Kisela	450,0	356,0	5,590	2,849

Sadržaj slobodnih aminokiselina, čije učešće u surutki može biti veoma različito, najviše zavisi od stepena hidrolize kazeina (usled delovanja enzima koji se dodaju i proteolitičkog sistema bakterija mlečne kiseline) pri tehnološkom postupku proizvodnje različitih vrsta sireva. Učešće slobodnih aminokiselina je stoga u slatkoj surutki oko 4 puta veće, dok u kiseloj surutki čak i do 10 puta veće nego u mleku, što je prikazano u tabeli 2.

Takođe, potrebno je spomenuti i imunoglobuline i druge glikoproteine kao što su laktoferin, transferin, zatim enzime lizozim i laktoperoksidaza, koji su veoma bitni sastojci imunoaktivnog sastava surutke. Istraživanja su potvrdila da ovi proteini poseduju i antimikrobna svojstva, [12, 13].

Laktoza čini najveći deo suve materije surutke, oko 70% koja je vrlo važan izvor energetske vrednosti surutke, a ona ima i višestruko povoljan uticaj na ljudski organizam. Laktoza ima blagotvorno dejstvo na peristaltiku creva, učestvuje u lakšem apsorbovanju kalcijuma i fosfora, kao i uspostavljanju blago kisele reakcije u crevima, čime se sprečava rast i razmnožavanje štetnih bakterija i poboljšava imuni odgovor organizma. Takođe, laktoza osigurava optimalni odnos magnezijuma, čime utiče na razgradnju mlečne masti i ostalih hranljivih sastojaka u ljudskom organizmu. Prilikom termičke obrade surutke dolazi do pretvaranja određenog procenta laktoze u laktulozu koja se ubraja u promotere rasta bifidobakterija, [13, 14, 15].

U surutki iz mleka prelaze i vitamini rastvorljivi u vodi, ali njihov sadržaj je veoma promenljiv jer zavisi od načina čuvanja surutke. Surutka u svom sastavu može imati veće količine vitamina B grupe, riboflavina, kobalamina i folne kiseline, koji su uglavnom vezani za proteine surutke, pa pri proizvodnji sira velikim delom prelaze u surutki. Interesantno je da surutka može da sadrži veće količine vitamina B₂ koje potiču od mleka, koji prilikom proizvodnje sira prelaze u surutki. Zahvaljujući relativno velikoj količini riboflavina surutka ima karakterističnu žuto-zelenu boju, [16, 17].

Kako u mikroflori mleka, tako i u surutki dominantne su bakterije mlečno-kiselinskog vrenja. U grupu bakterija mlečne kiseline ubrajaju se predstavnici više rodova; *Lactobacillus*, *Carnobacterium*, *Enterococcus*, *Leuconostoc*, *Oenococcus*, *Pediococcus*, *Tetragenococcus*, *Vagococcus*, *Lactococcus*, *Streptococcus* i *Weissella*. Vrste roda *Bifidobacterium* se takođe veoma često koriste pri fermentaciji surutke u cilju proizvodnje različitih fermentisanih napitaka. Vrste roda *Lactobacillus* se najčešće koriste kao industrijski proizvodni mikroorganizmi. Većina predstavnika ovog roda spada u probiotske bakterije jer preživljavaju kisele uslove u gastrointestinalnom traktu a poseduju i povoljno dejstvo na zdravlje ljudi i životinja, a sposobne su i za stereospecifičnu proizvodnju mlečne kiseline, [18, 19].

U svojoj materiji surutke najpromenljiviji je sastav mineralnih materija, koji varira od 7 do 12%, što zavisi od tehnološkog postupka proizvodnje sira, odnosno načina koagulacije.

Iz mleka u surutku prelaze i sve rastvorene soli i mikroelementi ali i soli dodate prilikom proizvodnje sira. S tim u vezi, udeo kalcijuma i fosfora je mnogo veći u kiseloj surutki, s obzirom da je pri većoj kiselosti sredine veća i rastvorljivost ovih mineralnih materija, [5].

Surutka se često razblažuje sa vodom. Dosada opisani sastav se odnosi na njeno prirodno stanje, uz napomenu da 30% azota koji je neproteinske prirode potiče od uree, dok je ostatak od aminokiselina i peptida.

Na osnovu svih navedenih sastojaka koji su prisutni u surutki, ona se može smatrati vrednim nusproizvodom mlecarske industrije, koji joj omogućava široku primenom u prehrambenoj i farmaceutskoj industriji.

2.3. Osnovne mogućnosti primene surutke

Na osnovu globalnog iskorišćenja surutke može se reći da mlečna industrija generiše veoma veliku količinu surutke po litri prerađenog mleka, u zavisnosti od primenjenog procesa i finalnog proizvoda. Od ukupne količine svetske surutke, 58% se dalje obrađuje i transformiše u različite prehrambene proizvode. Oko toga se 58% koristi u obliku surutke u prahu i laktoze, 35% u obliku koncentrata i izolata proteina surutke i 7% za druge industrijske proizvode, [18].

Surutka je veoma dobar supstrat za primenu u različitim biotehnološkim procesima, kao što su proizvodnja mikrobne biomase i mikrobnih metabolita zbog svog sastava. Bez obzira na to, još uvek sesamo nešto više od polovine svetske surutke iskorišćava u

prehrambenoj industriji i industriji vrenja, dok se ostatak ispušta u vodotokove bez prethodne obrade. Da bi se rešio problem odlaganja surutke za sada najbolja alternativa je iskorišćavanje surutke procesima prerade kojima može biti dobijen proizvod sa dodatom vrednošću, čime se u potpunosti ili delimično mogu umanjiti troškovi njenog odlaganja, [20].

Mogućnost iskorišćavanja surutke i njenih komponenata kao funkcionalnih ili nutritivnih suplemenata u prehrambenim proizvodima je veoma široka. Surutka kao i njeni konstituenti nalaze primenu u mlečnim, konditorskim, pekarskim, mesnim/ribljim proizvodima kao i u infant formulama, dijetetskim proizvodima, farmaceuticima i nutraceuticima. Najzastupljeniji sastojak surutke laktoza, kao i proteini surutke, doprinose boji, ukusu i teksturi brojnih konditorskih (naročito punjenih) i pekarskih proizvoda. Pokazano je da surutka i sastojci surutke, pored navedenih svojstava, doprinose u nekim slučajevima i produžavaju svežinu i trajnost pekarskih proizvoda. Primena demineralizovane surutke je preporučljiva zbog njenog blažeg ukusa koji je neophodan za primenu u proizvodnji mlečnih i ostalih proizvoda, [21, 22].

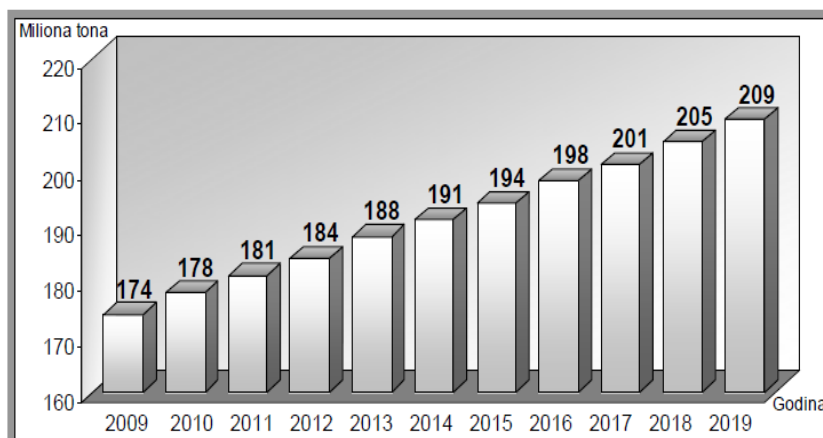
Frakcionisanjem proteina surutke se dobijaju proteinski koncentraci, koji poseduju funkcionalna svojstva, čija je primena naročito značajna u pekarskoj, konditorskoj, mesnoj i ribljoj industriji. Surutka iz koje je uklonjena laktoza nalazi primenu u infant formulama, dok izdvojena laktoza, sa druge strane nalazi veliku primenu u farmaceutskim proizvodima. Visokonutritivni izolati proteina surutke koji se hromatografski mogu izdvojiti nalaze primenu kao bioaktivna jedinjenja i koriste se kao suplementi, dok galaktooligosaharidi (koji predstavljaju prebiotike) koji utiču na aktivnost probiotskih bakterijskih kultura, mogu da se koriste u proizvodnji različitih vrsta funkcionalnih i probiotskih jogurta, [23].

Analizirano iskorišćenje surutke do sada se u velikom broju studija odnosilo na primenu laktoze, proteina, vitamina rastvorljivih u vodi, minerala sa ciljem da se proizvede koristan proizvod od industrijskog značaja. Svi ovi načini iskorišćavanja surutke podrazumevaju njenu prethodnu preradu kroz procese koji mogu biti veoma skupi, što opet celu priču delimično vraća na kolosek već poznatog neiskorišćavanja surutke. Međutim, ohrabrujuća je činjenica da je iskorišćavanje surutke u velikim količinama i na jeftin način moguće, primenom procesa fermentacije laktoze bakterijama mlečne kiseline.

Među brojnim procesima koji se mogu primeniti za valorizaciju surutke, biološka konverzija laktoze u mlečnu kiselinu primenom odgovarajućih vrsti roda *Lactobacillus* ima dvostruku prednost. Samo jednim procesom se rešava problem zagađenja i u isto vreme proizvodi komercijalni proizvod koji može da poseduje, pored nutritivnih i funkcionalna svojstva, važna za ljudski organizam, [24, 25].

2.4. Stanje i perspektiva potpunogiskorišćavanja surutke

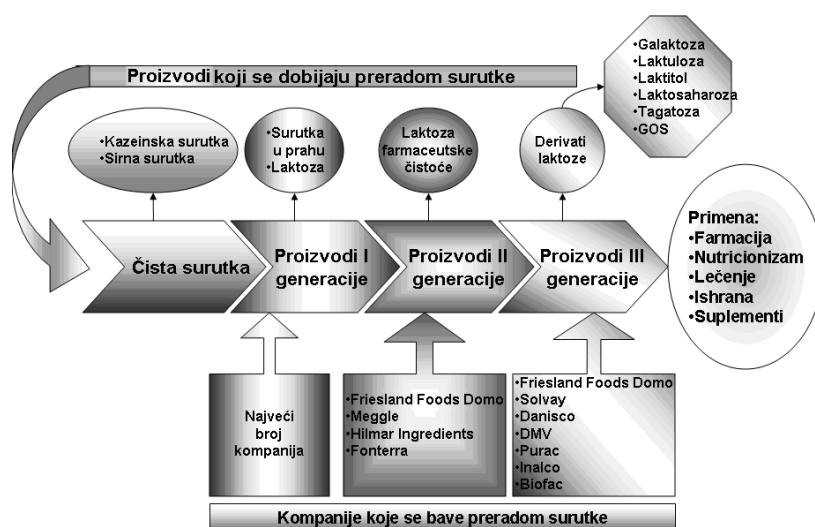
Naučnici na osnovu podataka o proizvodnji sira projektovanim do kraja 2019. godine smatraju da će svetska proizvodnja surutke beležiti stalni rast od oko 2,0% godišnje (slika 1.), [26]. Stoga je sve veći broj istraživanja usmeren na njeno maksimalno iskorišćavanje s obzirom na stalni rast proizvodnje, naročito izražen u poslednje 2 decenije i činjenicu da je surutka već prepoznata kao sirovina sa velikim potencijalom. Osnovni cilj kome se poslednjih godina ide je proizvodnja visokovrednih proizvoda kao što su mlečna kiselina, etanol, mikrobnii proteini, β -D – galaktozidaza, vitamini, kao i proizvodnja unapređenih prehrambenih proizvoda na bazi surutke. Ovi procesi uglavnom se baziraju na iskorišćavanje laktoze, dominantnog šećera u surutki i nutritivno vrednih proteina surutke, [4, 18, 24].



Slika 1. Perspektiva svetske proizvodnje surutke [29]

Međutim, veliki zahtevi i troškovi odnose se na tehnološku opremu i osmišljavanje prihvatljivih tehnoloških rešenja, što čini ove procese i dalje veoma skupim za realizaciju, pa se većina fabrika ograničava samo na prvu generaciju proizvoda, koji se odnose na surutku u prahu i izdvajanje laktoze (slika 2).

Znači, svetska prerada surutke danas je bazirana je uglavnom na njenom iskorišćavanju u proizvodnji proizvoda koji ne zahtevaju skupe tehnološke procese, [19].

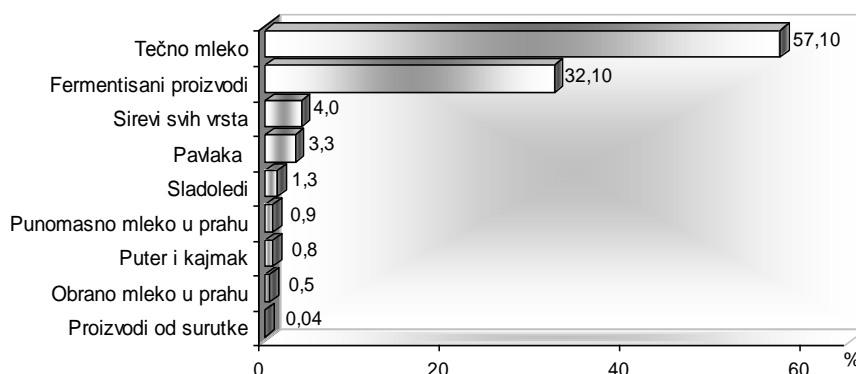


Slika 2. Proces i proizvodi prerade surutke [30]

Kao mogući pravac iskorišćenja surutke je i proizvodnja zaštitnog filma (folije) na bazi proteina surutke za pakovanje prehrambenih proizvoda, koji bi zamenjivao delove ambalaže koji se teško recikliraju. U nemačkom istraživačkom centru TTZ u Bremerhafenu intenzivno se ispituje takozvana "folija" od proteina surutke, koja bi mogla da se koristi kao dodatni sloj prehrambene ambalaže, [27].

Stanje na srpskom tržištu trenutno je takvo da su proizvodnja i izvoz surutke nezatni. Iz Srbije se godišnje izveze surutke u vrednosti od nekoliko desetina hiljada dolara, dok je uvoz značajniji i kreće se od 1,9 do 4,7 miliona dolara. Najviše se uvozi iz Hrvatske, Belgije, Holandije i Mađarske, [28]. Struktura mlečne proizvodnje u Srbiji je takva da se skoro 90,0% proizvoda proizvedenih svake godine spadaju u grupu fermentisanih proizvoda i različitih vrsta mleka, [29].

Proizvodnja i prerada mleka u Srbiji uglavnom je usmerena na proizvode koji ne zahtevaju puno vremena, i za koje tehnološki procesi proizvodnje nisu složeni i dugotrajni. Takvi proizvodi imaju kratko vreme trajanja, ali se najviše koriste na tržištu, slika 3. U odnosu na fermentisane proizvode količina proizvoda od surutke je veoma mala, što navodi na zaključak da bi se fermentacijom surutke mogli dobiti proizvodi koji bi zauzeli značajnije mesto u paleti mlečnih proizvoda namenjenih širokoj potrošnji. Podsticanje prerade surutke u Srbiji uštedelo bi ogroman novac koji se trenutno usmerava na njen uvoz. U pogledu perspektive iskorišćavanja surutke kao sirovine i u skladu sa postojećim stanjem opreme u Srbiji, osnovni cilj bi trebalo da bude podsticanje iskorišćenja surutke u prehrambenoj industriji, [30].

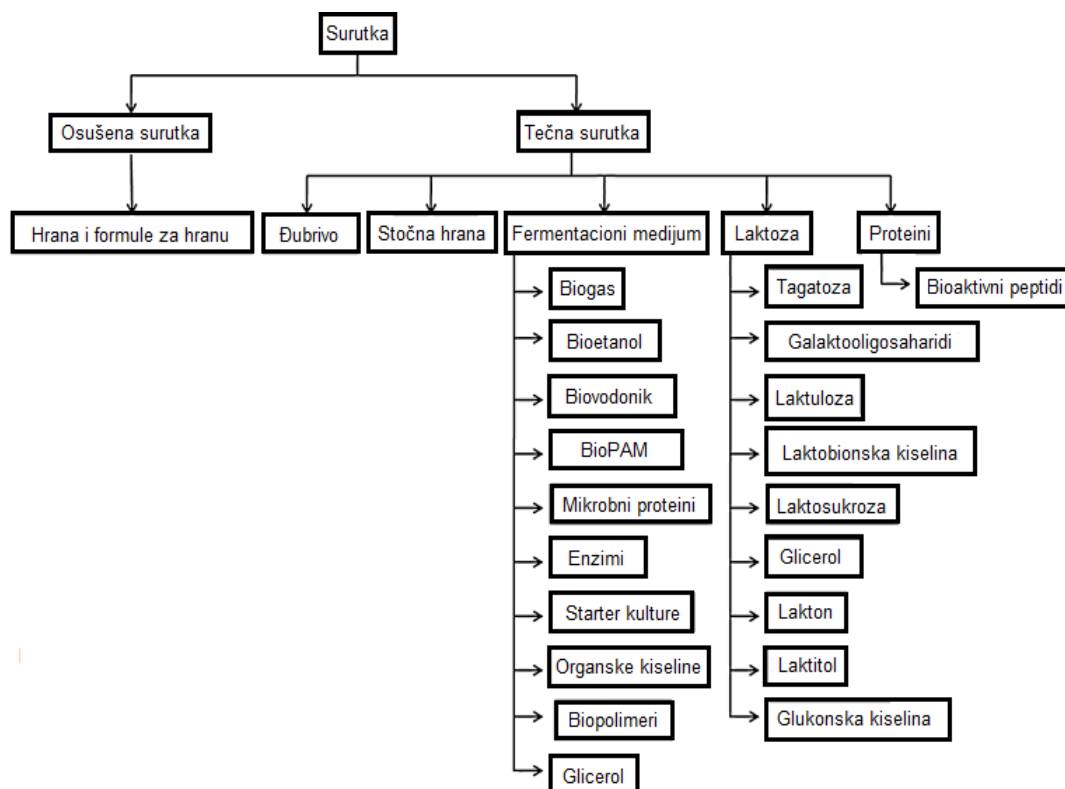


Slika 3. Zastupljenost proizvoda na tržištu mlečnih proizvoda u Srbiji [26]

Integracija procesa prerade surutke u prehrambenu industriju ne mora obavezno da podrazumeva i velika ulaganja, a s obzirom da bi u suprotnom surutka bila bačena, nije teško zaključiti da ovakav vid njenog iskorišćavanja predstavlja direktnu korist, kako u materijalnom, tako i u funkcionalnom odnosno nutritivnom smislu, [30].

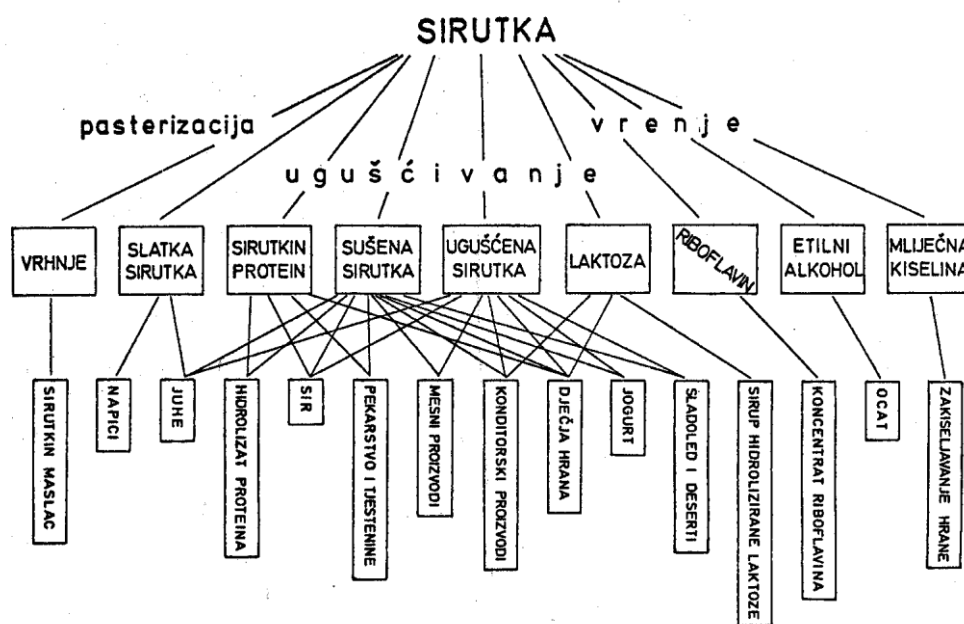
2.5. Proizvodi dobijeni tretiranjem i transformisanjem surutke

U bilo kojoj mlečnoj industriji, cilj dobijanja proizvoda od surutke jeste postizanje potpunog iskorišćenja surutke i samim tim postizanje nule njenog ispuštanja kao otpadne materije (slika 4.).



Slika 4. Različiti načini iskorišćenja surutke [31]

Zbog sve veće raspoložive količine surutke i njenih vrednih sastojaka u prehrambenoj industriji ulažu se sve veći naponi da se što racionalnije iskoristi u ishrani stanovništva. Prema literaturi [21] prikazane su brojne mogućnosti korišćenja surutke i njenih proizvoda u mnogim granama prehrambene industrije (slika 5.)



Slika 5. Mogućnost korišćenja surutke u prehrambenoj industriji [21]

Kod nas i u svetu do pre nekoliko godina industrija mleka postupala je sa surutkom kao otpadnim proizvodom dobijenim u procesu izrade sireva. Danas imajući u vidu da je surutka bogata sadržajem laktoze, proteinima (posebno laktoalbuminima i globulinima) mineralima i vitaminima, sve više se teži da se ovaj proizvod što ekonomičnije iskoristi, bilo kompletno ili u vidu pojedinačnih komponenti, [32]. Najpoznatiji proizvodi surutke koji se koriste su slatka i kisela surutka u prahu, kondenzovana surutka i modifikovana surutka u prahu, [29]. Kako bi se poboljšala struktura i viskoznost mnogim životnim namirnicama, korišćenje preparata surutke u tu svrhu je jedan od najekonomičnijih i najefikasnijih postupaka.

Preparati surutke imaju široku primenu kao aditivi u prehrambenoj industriji gde se njihovom upotrebom dobijaju vredni prehrambeni proizvodi koji se odlikuju poboljšanim organoleptičkim svojstvima, povećanom održivošću i većim sadržajem hranljivih materija. Pekarska industrija je najveći potrošač suve surutke za ljudsku ishranu. S obzirom da se velika količina obranog mleka u prahu upotrebljava u pekarskoj i mlekarskoj industriji, to se mleko može zameniti sa suvom surutkom. Surutka ima slične osobine kao mleko u prahu koje su poželjne za pekarsku upotrebu, a takođe postoje i jaki ekonomski razlozi da se

skuplje obrano mleko u proizvodnji zameni sa jeftinijom surutkom bilo da je u prahu ili kondenzovana, [21].

Drugo važno područje gde se koriste velike količine surutke je mlekarska industrija i to u proizvodnji sladoleda i sličnih smrznutih proizvoda. Takođe, koristi se u proizvodnji topljenih sireva, naročito je surutka poželjan sastojak kod proizvodnje mekih i mazivih topljenih sireva i sličnih proizvoda. Pogodna je i za proizvodnju raznih preliva, daje dobru teksturu i pojačava ukus na sir. Koristi se i u drugim prehrambenim proizvodima u manjoj količini kao što su smeše za kolače, razne sosove, začine i slično. Upotreba surutke se stalno povećava u konditorskoj industriji a našla je primenu i u industriji mesnih proizvoda. Zbog velikog sadržaja laktoze i biološki vrednih proteina, izrađuje se na bazi surutke i široki asortiman dečije hrane kao i razne vrste dijetetskih proizvoda. Surutka je vrlo značajna i za farmaceutsku industriju, i to preko laktoze koja kao čist preparat služi u izradi tableta i drugih preparata, najčešće kao inertni nosač za lekovite supstance.

U nizu mogućnosti prerade surutke, značajno mesto zauzimaju alkoholni i bezalkoholni napici. Upotreba surutke u proizvodnji napitaka počela je još u 70-tim godinama prošlog veka, a danas je razvijena velika grupa surutkinih napitaka.

Najveći deo suve materije surutke čini laktoza (oko 70%) što joj omogućava da je dobra sirovina za proizvodnju alkoholnih napitaka. Tako su razvijene tehnologije proizvodnje napitaka sa malom količinom alkohola (10-11%), kao što su pivo i vino. U ovu grupu napitaka spada tzv. „Milone” , koji je dobijen fermentacijom pomoću kefirne kulture i surutkino vino „Serwovit”, proizvedeno u Poljskoj, aromatizovano voćnim aromama i namenjeno je mlađim potrošačima,[12].

Ispitivanja proizvodnje bezalkoholnih napitaka na bazi surutke, u odnosu na alkoholne napitke, dala su do sada u raznim oblastima u svetu mnogo povoljnije rezultate.

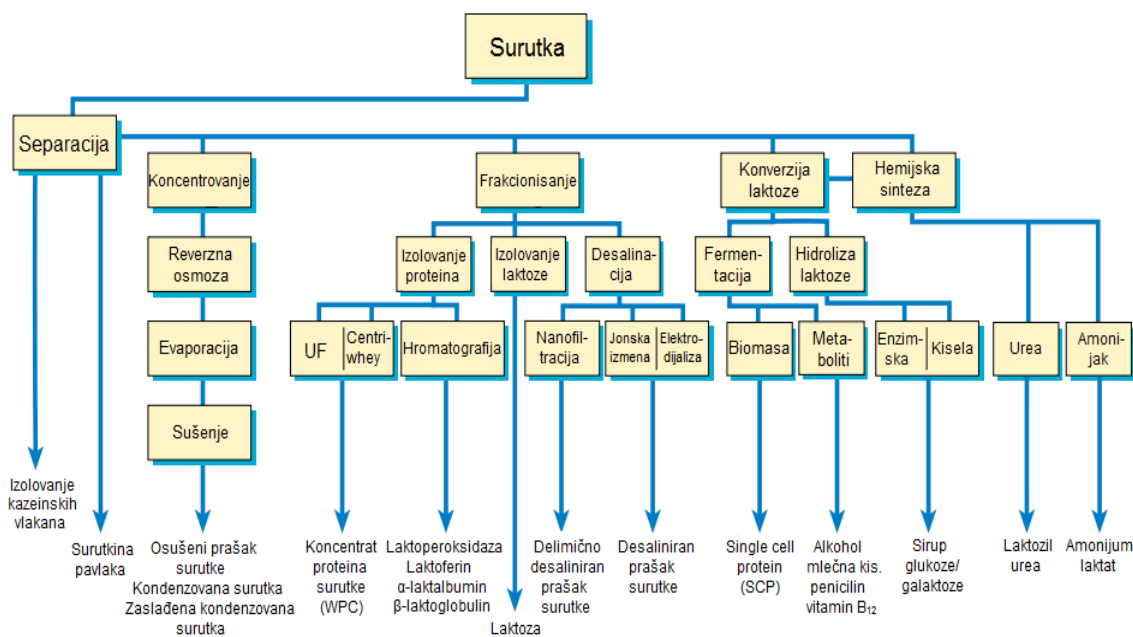
Veliku grupu bezalkoholnih napitaka od surutke čini grupa proizvoda dobijenih uglavnom mešanjem native slatke, ređe i kisele surutke, surutke s različitim dodacima, poput tropskog voća ali i ostalog voća, kao na primer jabuke kruške, jagodasto i bobičavo voće, žitarica i njihovih prerađevina (najčešće mekinja), izolata proteina biljnog porekla i CO₂, čokolade, kakao praha, vanile i drugih aromatizovanih dodataka, [17]. U ovoj grupu proizvoda posebna pažnja je posvećena razvoju proizvodnje fermentisanih napitaka pomoću probiotičkih sojeva, gde je najvažnije odabrati adekvatnu kulturu bakterija, kako bi

se dobio visokovredan funkcionalan proizvod prihvatljivih senzornih svojstava. U bezalkoholne napitke od surutke spadaju i dijetetski napici, napici s hidroliziranom laktozom, kao i napici slični mleku i napici u prahu, [30, 33, 34].

Mogućnosti korišćenja surutke u ljudskoj ishrani ima mnogo, ali ipak je potrebno dobro istražiti tehnološke postupke u vezi sa preradom surutke u različite i sasvim nove proizvode, koji ne postavljaju zahteve velikih investicija, što je u današnjoj privrednoj situaciji i te kako značajno.

2.6. Tehnološki postupci prerade surutke

Tehnološki postupci koji se koriste u cilju dobijanja određenih proizvoda od surutke prikazani su na slici 6, [1].

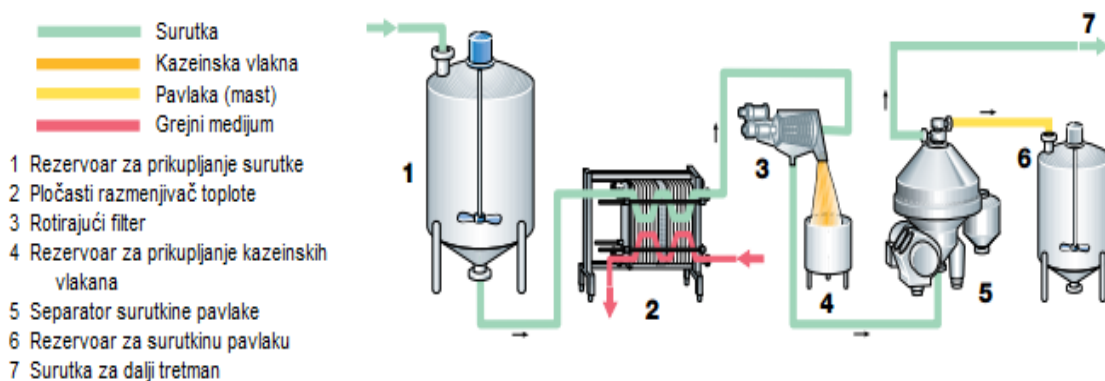


Slika 6. Blok dijagram različitih tehnoloških procesa koji se koriste u preradi surutke

Blok dijagram na slici 6. pokazuje različite tehnološke procese koji se koriste u preradi surutke kako bi se dobili željeni proizvodi. Sa slike se vidi da bez obzira koji se proizvod dobija, prva faza kroz koju surutka mora proći je separacija masti i kazeinskih vlakana. Nakon toga, može se izvesti koncentrovanje/frakcionisanje/prevođenje laktoze iz surutke/hemijska sinteza proizvoda.

2.6.1. Separacija masti i kazeinskih vlakana iz surutke

U surutki su uvek prisutna kazeinska vlakna. Njih je potrebno prvo ukloniti, pošto imaju nepovoljan efekat na izdvajanje masti. To uklanjanje se postiže korišćenjem različitih separacionih uređaja poput ciklona, centrifugalnih separatora ili rotirajućih filtera (slika 7.).



Slika 7. Separacija kazeinskih vlakana i masti iz surutke [1]

Kazeinska vlakna se izdvajaju pomoću rotirajućeg filtera u rezervoar koji ih prikuplja, a masti odmah nakon vlakana, pomoću centrifugalnog separatora. Nakon separatora, nastali krem od masti (pavlaka) se može prikupljati u rezervoar za prikupljanje ili se može dalje prerađivati tokom proizvodnje, do nastanka željenog proizvoda. Tako na primer pavlaka, koja obično ima oko 25-30% masti, može se ponovo koristiti u proizvodnji sira.

Hlađenje i pasterizacija -Surutka koja se prvo skladišti pre dalje prerade mora biti ili ohlađena ili pasterizovana, ubrzo nakon što se uklone masti. Za dugotrajno skladištenje potrebno je izvršiti pasterizaciju, dok je za kratkotrajno (10-15 h) obično dovoljno samo da se ohladi kako bi se sprečio bakterijski rast.

2.6.2. Koncentrovanje ukupnih čvrstih materija

Proces koncentrovanja čvrstih materija podrazumeva prvo smanjenje količine prisutne vode u surutki. Nastala surutka mora sadržati najmanje 5.5% suve materije.

Koncentrisanjem, sa dodatkom ili bez dodatka mleka, pavlake ili drugih proizvoda od mleka može se dobiti sir od surutke, polučvrst ili čvrst, svež ili zreo,[35].

Koncentrovanje same surutke - Koncentrovanje surutke tradicionalno se odvija pod vakuumom u isparivaču (evaporatoru) sa dve ili više etapa. Od sredine sedamdesetih godina su se koristili isparivači sa više etapa, kako bi se nadoknadilo povećanje potrošnje energije. Kako bi se još više smanjili troškovi procesa isparavanja, u evaporatore je uveden sistem mehaničkog potiskivanja i potiskivanja pomoću zagrejane pare.

Nakon isparavanja procenat ukupnih materija iznosi 45-65%, a koncentrat se brzo hladi na 30°C u pločastom razmenjivaču toplote i odvodi na dalje hlađenje u trostruko obloženi rezervoar, uz konstantno mešanje, do temperature 15-20°C. Hlađenje može trajati i do 6-8 sati, kako bi se dobili najmanji mogući kristali koji će posle dati proizvod koji nije higroskopan.

Ovako koncentrovana surutka predstavlja prezasićeni rastvor laktoze. Pod određenim uslovima, kao što su temperatura i koncentracija, laktoza počinje da se kristalizuje i pre nego što surutka napusti evaporator. Sa udelom od preko 65% suve materije, proizvod čak može postati toliko viskozan da ne može više da teče.

Sušenje surutke - Surutka se suši na isti način kao i mleko, u sušnicama sa valjcima ili u sprej sušnicama. Kod sušenja u sušnicama sa valjcima mogu se javiti neki problemi, kao što su poteškoće pri uklanjanju sloja stvrdnute surutke sa površine valjaka. Zbog toga se pre sušenja, surutka meša sa punjenjem tj. pšenicom ili ražanim mekinjama, kako bi se gotov, osušeni proizvod lakše sastrugao. Danas se najviše primenjuje sušenje raspršivanjem. Kisela surutka se teško suši zbog visokog sadržaja mlečne kiseline. Surutka skuplja i formira grudvice u sprej sušnicama. Sušenje se može olakšati neutralizacijom i dodatkom aditiva, kao što su obrano mleko i žitarice.

2.6.3. Frakcionisanje ukupnih čvrstih materija

Proces frakcionisanja ukupnih čvrstih materija predstavlja razdvajanje komponenata surutke na tzv. frakcije. Frakcionisanje se zasniva na različitim fizičkim i hemijskim karakteristikama pojedinih komponenata surutke.

2.6.3.1. Izolovanje proteina surutke

Surutka, kao što je rečeno, predstavlja heterogenu smešu različitih tipova proteina, kao što su imunoglobulini, α -laktalbumin, β -laktoglobulin, bovin serum albumin, laktoferin i glikomakropeptide, [36]. Koncentracije i farmaceutski značaj različitih proteina surutke su prikazani u tabeli 3, [37].

Tabela 3. Farmaceutski značaj različitih proteina surutke [37]

Biomolekuli	Koncentracija ($\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$)	Farmaceutski značaj
IgG	0.2	Antipatogeni agens
IgA	0.3	Antipatogeni agens
IgM	0.1	Antipatogeni agens
β -laktoglobulin	3.5	Potencijalni izvor esencijalnih aminokiselina; transporter za vit. D, holesterol i retinol; nosilac pasivnog imuniteta kod novorođenčadi; pojačivač aktivnosti esteraze
α -laktalbumin	1.4	Visok sadržaj triptofana; potencijalni kontraceptivni agens; sastojak mlečne formule
Bovin serum albumina	0.4	Antimutagena funkcija i prevencija kancera
Laktoperoksidaza	0.06	Katalizuje oksidaciju tiocijanata, a međuproizvod ima antimikrobne osobine
Laktoferin	0.05	Široki antimikrobni spektar (antivirusne, antibakterijske i antiparazitske) aktivnosti; promotor transfera i apsorpcije gvožđa; prevencija kancera; prirodni bioaktivni sastojak mlečne formule, suplemenata, proizvoda za negu kože i oralnu higijenu
Glikomakropeptid	1.2-1.5	Sastojak mlečne formule, antibakterijsko i antikancerogeno dejstvo; smanjenje zubnog kamenca i karijesa

Postoje dva različita načina izolovanja proteina surutke, [38]:

- Separacija proteina kao glavne komponente:
 - izoelektričnom/toplotnom precipitacijom
 - membranskom tehnologijom
 - elektroforezom i
 - hromatografijom
- Separacija laktoze kao glavne komponente:
 - membranskom tehnologijom
 - kristalizacijom i
 - precipitacijom

2.6.3.2. Dobijanje bioaktivnih peptida

Osim industrijske proizvodnje čiste frakcije surutkinih proteina, moguće je i dobijanje bioaktivnih proteinskih materija hidrolizom surutkinih proteina. Enzimski kontrolisana hidroliza surutkinih proteina je jedan od bržih, bezbednijih i najlakše kontrolisanih tehnika za dobijanje bioaktivnih peptida, [39]. Ovaj vid dobijanja se može koristiti da poboljša funkcionalne i biološke osobine proteina, kao i da obezbedi visok stepen rastvorljivosti u vodi i modifikuje funkcionalne osobine bioaktivnih peptida.

Osim kisele i alkalne hidrolize, proteini surutke mogu biti hidrolizovani i pomoću želudačnih, pankreasnih i mikrobno sintetisanih proteolitičkih enzima (pepsin, tripsin).

Kao jedne od najčešće korišćenih metoda za prečišćavanje i identifikaciju dobijenih peptida koriste se hromatografske tehnike i to HPLC (high performance liquid chromatography) I UHPLC (ultra high pressure liquid chromatography). Osim hromatografije, za identifikaciju peptida može se koristiti i masena spektrometrija, [1].

Biološke osobine - Bioaktivni peptidi su se godinama proučavali kako bi se otkrili njihova potencijalna upotreba i efekti u ljudskom organizmu na pojedine sisteme organa (npr. kardiovaskularni, nervni, imuni i sistem za varenje). Otkriveno je da pojedini peptidi imaju biološku aktivnost koja je veoma korisna za ljudski organizam, kao što su antimikrobna, antioksidantna, antikancerogena, imunoregulatorna, antihipertenzivna, itd. Zbog toga se oni mogu upotrebljavati kao potencijalni sastojci hrane i dodaci hrani i kao pomoćna lekovi

sredstva, gde bi njihova bioaktivnost pomogla u prevenciji i kontroli određenih bolesti, [30].

Izdvajanje proteina - U današnje vreme za izolovanje proteina koriste se membranska separacija (frakcionisanje) i hromatografski procesi, uz precipitaciju i složenije tehnike. Najviše korišćen način za izolovanje proteina je toplotna denaturacija, [1].

Ovako formirani proteini su ili nerastvorni ili umereno rastvorni, u zavisnosti od uslova koji su preovladavali tokom denaturacije. Ovaj proces se naziva toplotna denaturacija proteina surutke (HPWP).

2.6.3.3. Izdvajanje proteina ultrafiltracijom (UF)

Koncentrat prirodnih proteina ima veoma dobar sastav amino kiselina, sa visokim odnosom lizina i cisteina. Koncentrat proteina surutke (WPC) je proizvod dobijen sušenjem retentata nakon ultrafiltracije surutke (slika 8.).

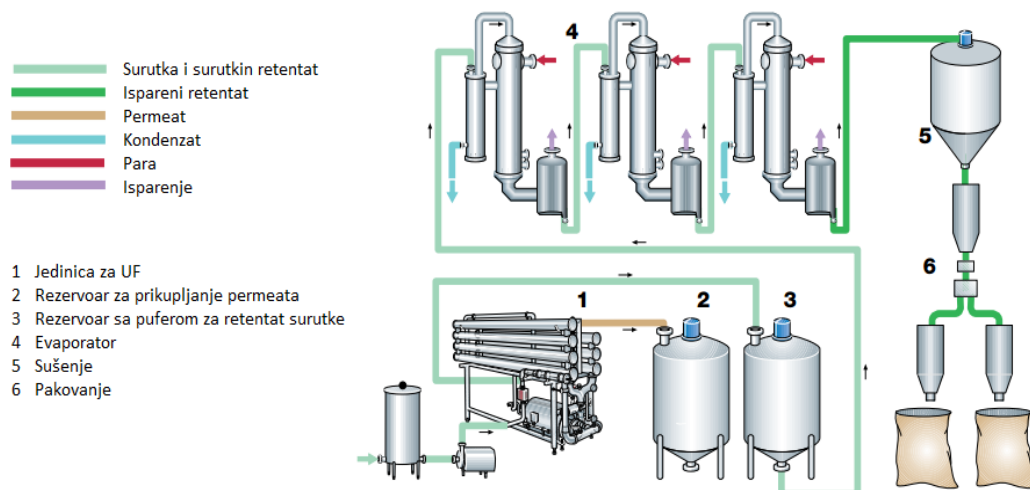
Tabela 4. Sastav surutke i dobijenih retentata i permeata [1]

Sastojak	Težina u 100 kg ne prerađene surutke		Težina u 17kg retentata		Težina u 83kg permeata	
	kg	%	kg	%	kg	%
Pravi protein	0,55	0,55	0,55	3,24	0	0
Laktoza	4,80	4,80	0,82	4,82	3,98	4,80
Pepeo	0,80	0,80	0,14	0,82	0,66	0,80
Neproteinski azot	0,18	0,18	0,03	0,18	0,15	0,18
Masti	0,03	0,03	0,03	0,18	0	0
Ukupno suve materije	6,36	6,36	1,57	9,24	4,79	5,78

Od surutke se dobija 17% retentata, a ostatak je permeat (tabela 4.). Osušeni retentat može sadržati 35-85% proteina u suvoj materiji.

Separacija je određena prema, [1];

- Tipu korišćene membrane;
- Fluksu;
- Osobini materijala koji se filtrira (previše razblažen sa vodom, previše koncentrovan posle demineralizacije itd.);



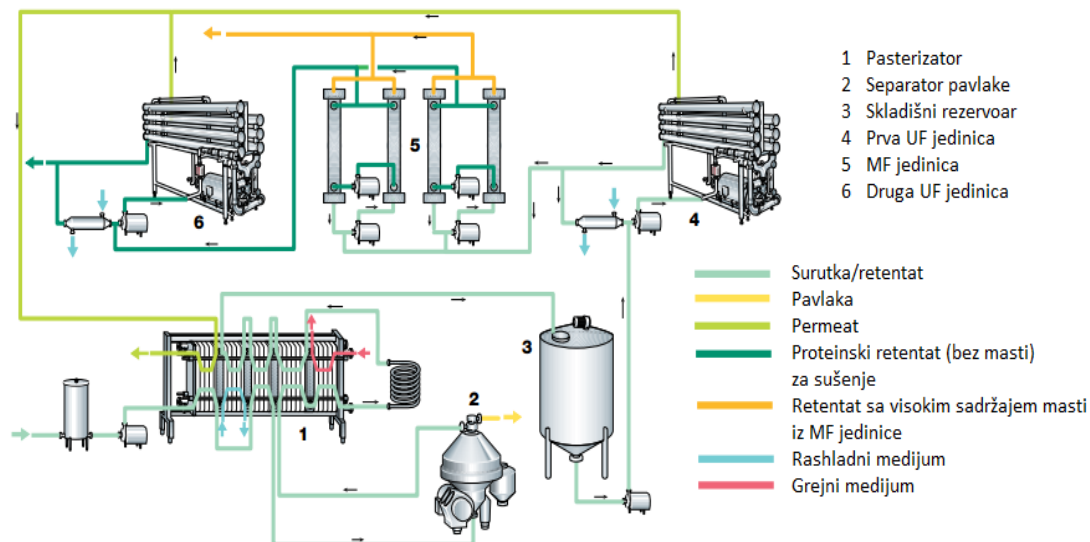
Slika 8. Proces izolovanja koncentrata suvih proteina korišćenjem UF [1]

Procesna linija za proizvodnju proteina u prahu korišćenjem UF prikazana je na slici 8. Dobijeni permeat čini 95% unete surutke a visoka koncentracija proteina, oko 80-85% (izračunato u odnosu na ukupan sadržaj suve materije), može biti prisutna u gotovom, suvom proizvodu.

2.6.3.4. Uklanjanje masti iz WPC-a

Prečišćavanje retentata surutke iz procesa UF, u procesu mikrofiltracije (MF) može smanjiti sadržaj masti kod dobijenog 80-85% WPC u prahu, sa 7,2% na manje od 0,4%. Permeat bez masti, nakon mikrofiltracije, odvođi se u postrojenje za ultrafiltraciju, radi daljeg koncentrisanja.

Na slici 9. može se videti da je surutka prethodno zagrejana i prečišćena, kako bi se dobilo što je više moguće masti, oko 25-30%. Nakon ovoga surutka se pasterizuje i hladi do oko 55-60°C, pre nego što se odvede u skladišni rezervoar. Posle određenog vremena, surutka se ispumpava u prvo postrojenje za UF, u kojem se trostruko koncentriše. Retentat se potom pumpa u postrojenje za MF, dok prethodno ohlađeni permeat ide u rezervoar za sakupljanje.



Slika 9. Proces uklanjanja masti iz proteinskog retentata surutke [1]

Retentat nakon mikrofiltracije, koji sadrži veći deo masti i bakterija, skuplja se zasebno, a obezmašćeni permeat ide na dalju UF. Dobijeni WPC koji sadrži oko 20-25% suve materije, suši se u sprej sušnici, kako bi se smanjio sadržaj vlage pre pakovanja, to na maksimalan sadržaj vlage od 4%, [1].

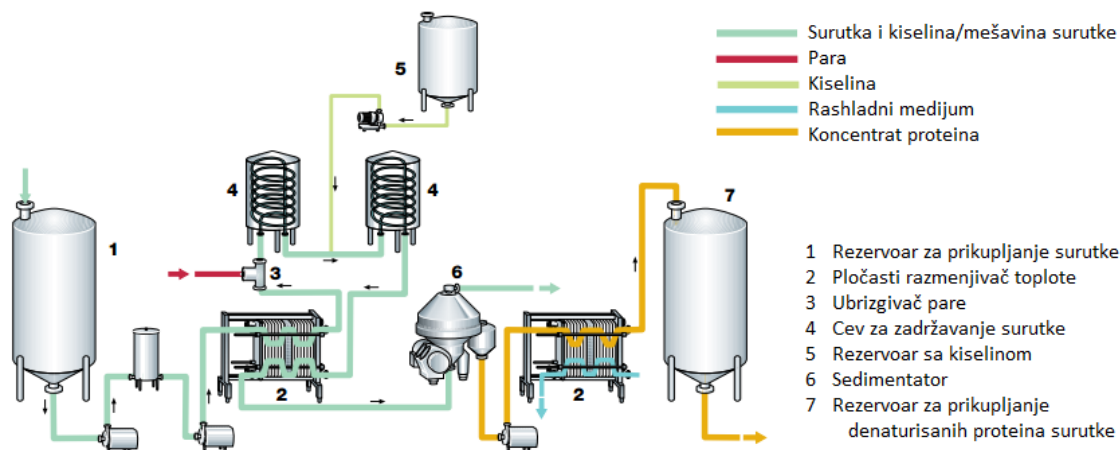
2.6.3.5. Izdvajanje denaturisanih proteina surutke

Precipitacija proteina surutke ne može se izvršiti pomoću sirila ili kiseline. Mada, moguće je to postići kiselinom, ako su proteini prethodno toplotno denaturisani. Proces se sastoji od dve faze prema, [1];

- Precipitacija (denaturacija) proteina kombinacijom toplotnog tretmana i podešavanja pH;
- Koncentrisanje proteina centrifugalnom separacijom;

Na slici 10. prikazana je procesna linija za preradu surutke za proizvodnju denaturisanih proteina surutke, nazvana *Centri-Whey*. Nakon podešavanja pH, surutka se iz prelaznog tanka pumpom odvodi u pločasti razmenjivač toplote, gde se hladi. Temperatura surutke raste do oko 90-95°C direktnim ubrizgavanjem pare, pre nego što prođe kroz cevni sistem sa zadržavanjem, sa vremenom zadržavanja od 3-4 minuta. Tokom ove faze, uvodi se

kiselina, koja smanjuje pH vrednost. U tu svrhu mogu se koristiti i organske i neorganske kiseline (npr. mlečna ili jestiva hlorovodonična kiselina).

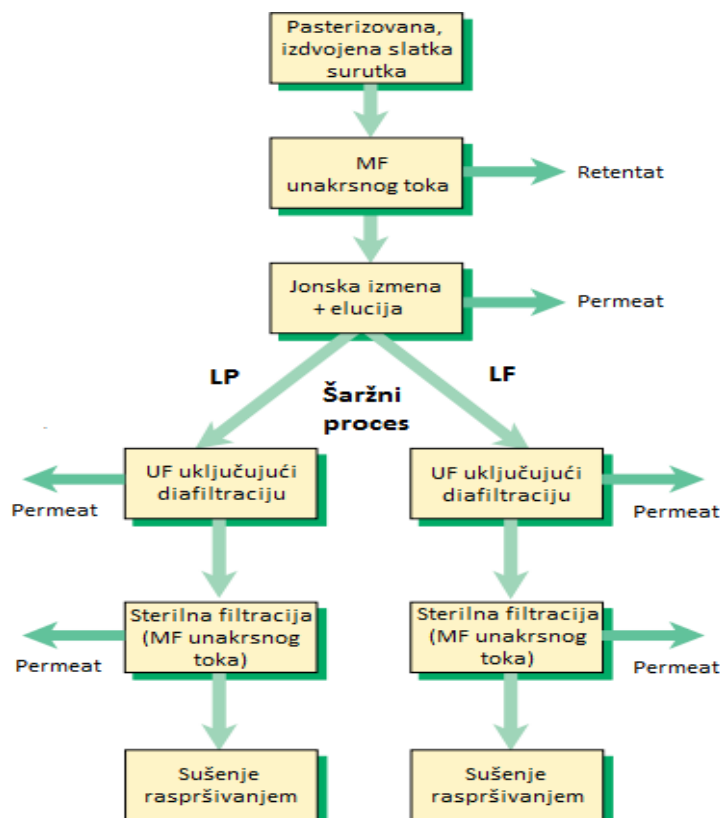


Slika 10. Izolovanje denaturisanih proteina surutke [1]

Proteini se još tokom prvih 60 sekundi provedenih u cevnom sistemu uz zadržavanje, modifikuju pod uticajem toplote. Nakon regenerativnog hlađenja do oko 40°C, precipitirani proteini se izdvajaju iz tečne faze pomoću sedimentatora koji otpušta čvrste materije. Sedimentator otpušta akumulirane proteine u intervalima od oko 3 minuta. Akumulirani proteini su u obliku 12 - 15% koncentrata, od čega je oko 8-10% čistih proteina. Ovom metodom postiže se izdvajanje 90-95% koaguliranih proteina.

2.6.3.6. Hromatografsko izdvajanje laktoperoksidaze i laktoferina

Bioaktivni proteini, kao što su laktoperoksidaza (LP) i laktoferin (LF), mogu se naći u maloj količini u surutki, obično 20mg laktoperoksidaze (LP) i 35mg laktoferina (LF) u 1l surutke. Udruženje švedskih mlekarica je patentiralo proces koji se zasniva na principu hromatografskog izolovanja ovih proteina iz surutke, na industrijskom nivou (slika 11.).



Slika 11. Blok dijagram izolovanja laktoperoksidaze (LP) i laktoferina (LF) iz surutke, [1].

Ova metoda se zasniva na činjenici da LP i LF imaju svoje izoelektrične tačke u alkalnom opsegu pH, 9,0-9,5. To znači da su ovi proteini pri normalnom vrednostima pH (6,2-6,6) kod slatke surutke pozitivno naelektrisani, dok su njeni ostali proteini, kao što su α -laktalbumin, β -laktoglobulin, goveđi serum albumin, negativno naelektrisani pri istoj pH vrednosti. Zbog tih osobina, izolovanje se može postići selektivnom adsorpcijom pomoću katjonskih jonoizmenjivačkih smola, [40]. Na taj način, LP i LF se zajedno vezuju na negativno naelektrisane delove katjonskog jonoizmenjivača, što dovodi do vezivanja za smole, dok drugi proteini surutke samo prolaze usled svog negativnog naelektrisanja.

Postoje određeni uslovi koje ovaj proces mora ispuniti kako bi se mogao primeniti i na industrijskom nivou. Jedan od njih jeste da surutka ne sadrži nikakve čestice, jer bi njihovo prisustvo onemogućilo održavanje velikog protoka tokom faze punjenja. Ovakav predtretman surutke izvodi se procesom MF sa unakrsnim tokom. Korišćene membrane

imaju pore veličine 1.4 μ m i MF se izvodi pod ujednačenim pritiskom. Pri definisanim uslovima ispiranja adsorbovanih bioaktivnih proteina sa zidova hromatografske kolone, mogu se dobiti veoma čiste frakcije proteina LP i LF. Za ovaj korak koriste se slani rastvori različitih jačina. Daljom preradom eluata, ultrafiltracijom i dijafiltracijom, dobijaju se veoma čisti proteinski proizvodi (skoro 95% čistoće). Na kraju, nakon sterilne MF sa unakrsnim tokom, koncentracije proteina se suše raspršivanjem, [1].

Dijafiltracija se kombinuje sa UF pri čemu se vrši odvajanje proteina surutke ispiranjem od laktoze i soli. Na ovaj način se koncentrat proteina prečišćava, u cilju smanjenja neproteinskih komponenata u retentatu i dobija se koncentrat proteina koji sadrži preko 90% proteina u suvoj materiji. Voda se može dodavati šaržno ili kontinualno, a najčešće je demineralizovana.

2.6.3.7. Izolovanje laktoze

U zavisnosti od osobina sirove surutke, postoje dva osnovna načina za izolovanje laktoze kao glavnog sastojaka:

- Kristalizacija laktoze iz koncentrovane, ali netretirane surutke
- Kristalizacija laktoze iz surutke, iz koje su proteini prethodno uklonjeni

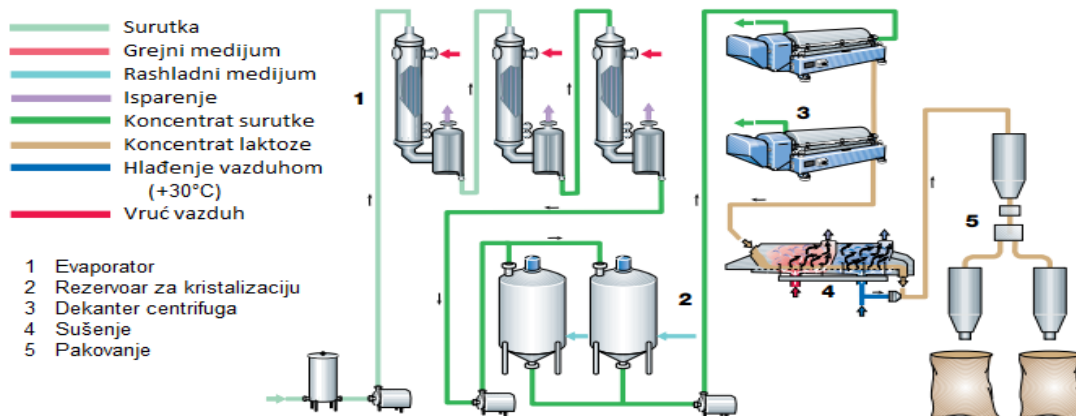
procesom UF ili nekom drugom metodom, a pre koncentrovanja

2.6.3.8. Kristalizacija

Proces kristalizacije određuju sledeći faktori:

- Površina kristala dostupna za rast
- Čistoća rastvora
- Step en zasićenosti
- Temperatura
- Viskoznost
- Pomeranje (agitacija) kristala u rastvoru

Na slici 12. vidi se da se surutka prvo koncentriše isparavanjem do sadržaja suve materije od 60-62%. Potom se odvodi u kristalizator tj. rezervoar gde su dodati kristali za započinjanje procesa kristalizacije.



Slika 12. Tok procesa proizvodnje laktoze [1]

Stepen kristalizacije je određen količinom β -laktoze koja se konvertovala u željeni α -laktozni oblik, a zbog toga se i hlađenje koncentrata mora pažljivo vršiti i optimizovati. Nakon kristalizacije, suspenzija (slika 13.) se odvođi u centrifugalni dekanter, radi separacije kristala. Kristali se potom suše do praškastog oblika i onda sledi mlevenje, obično u čekićastim mlinovima. Tako dobijena laktoza se proverava i konačno pakuje.

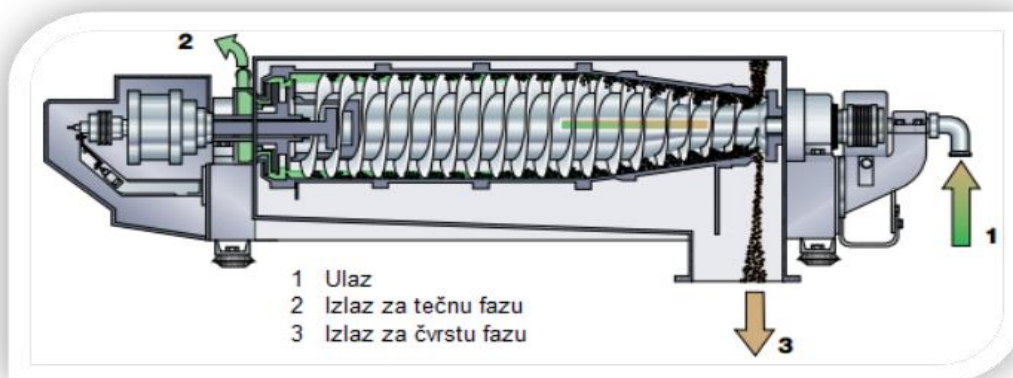


Slika 13. Suspenzija kristala laktoze [41]

2.6.3.9. Separacija laktoze

Za prikupljanje kristala laktoze može se koristiti više tipova centrifuga. Jedna od njih je horizontalna dekanter centrifuga (slika 14.). Ona radi kontinualno i poseduje zavojni transporter za istovar laktoze. Ove dve mašine su povezane u seriji, radi što bolje separacije

laktoze. Tokom ovog procesa uklanjaju se nečistoće iz laktoze, tako da je zadržan visok stepen čistoće.



Slika 14. Dekanter centrifuga [1]

2.6.3.10. Sušenje laktoze

U zavisnosti od dalje upotrebe proizvoda, laktoza se posle separacije suši do sadržaja preostale vlage od 0,1% do 0,5%, [1]. Temperatura tokom sušenja ne bi trebalo da prelazi 93°C, jer se na višim temperaturama formira β -laktoza.

Period sušenja je takođe važan, jer ukoliko proces kratko traje može doći do formiranja kristala α -hidrata što kasnije može rezultovati stvaranjem grudvica. Temperatura se obično održava na 92 °C, a vreme sušenja iznosi 15-20 min. Odmah nakon sušenja kristali se prevode u praškasti oblik i potom pakuju.

2.6.3.11. Demineralizacija (desalinacija)

Računato u odnosu na procenat suve materije, surutka ima prilično visok nivo soli, oko 8-12%, tako da je njena upotreba kao sastojka u ljudskoj ishrani veoma ograničena. S druge strane, delimično (25-30%) ili visoko demineralizovana surutka (90-95%) može imati šire polje upotrebe.

Demineralizacija uključuje uklanjanje neorganskih soli zajedno sa smanjenjem sadržaja nekih organskih jona, poput laktata i citrata.

Delimična demineralizacija je uglavnom zasnovana na upotrebi membrana unakrsnog toka, specijalno dizajniranih da propuštaju čestice prečnika reda veličine [nm]. Ovakav način filtracije naziva se nanofiltracija (NF).

Visokostepena desalinacija je bazirana na jednoj od dve tehnike, [1];

- Elektrodijaliza
- Jonska izmena

2.6.3.12. Delimična demineralizacija procesom NF

Korišćenjem specijalno dizajniranih membrana, male čestice, poput određenih monovalentnih jona, npr. natrijuma, kalijuma, hlora i malih organskih molekula kao što su urea i mlečna kiselina, mogu da prođu kroz membranu zajedno sa razvodnjenim permeatom. Ovaj proces poznat je kao ultraosmoza (UO), propuštajuća reverzna osmoza (RO) i nanofiltracija (NF). Danas se najviše koriste spiralne membrane (slika 15.) zbog svoje velike kompaktnosti, [41].



Slika 15. Membrana za RO [41]

Propuštanje laktoze mora biti svedeno na minimum ($< 0.1\%$) kako bi se izbegli problemi sa biološkom potrošnjom kiseonika u permeatu tj. otpadnoj vodi. Uvođenje opreme za NF u procesu prerade surutke treba razmotriti u nekim situacijama kao što su potreba za jeftinim smanjenjem slanog ukusa prisutnog kod osušene slatke surutke, kada postoji potreba za kompletnijom demineralizacijom surutke, elektrodijalizom i jonskom izmenom.

2.6.3.13. Visokostepena demineralizacija

Postupkom visokostepene demineralizacije postiže se uklanjanje velikih količina mineralnih materija iz surutke. Visokostepena demineralizacija može se vršiti jonskom izmenom ili metodom elektrodijalize, [1].

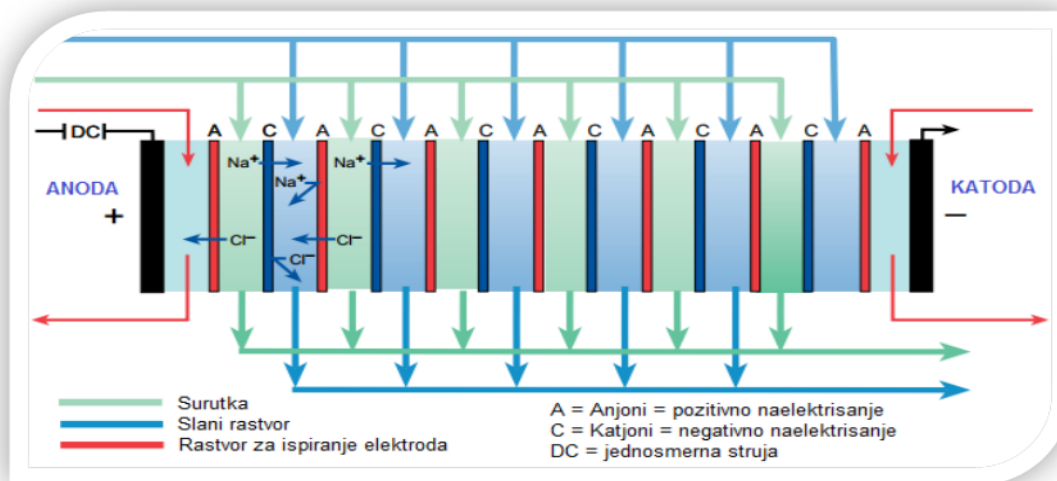
Elektrodijaliza - Elektrodijaliza je proces u kojem se vrši transport jona kroz neselektivnu semipermeabilnu membranu primenom električnog polja. Membrane mogu biti i katjonski i anjonski selektivne, što ovaj proces čini pogodnim za smanjenje mineralnog sadržaja surutke. Na slici 16. je prikazana ćelija za elektrodijalizu. Sastoji se od više odeljaka razdvojenih membranama za katjone i anjone, koji se nalaze na međusobnoj udaljenosti od 1mm ili manje. Na krajevima ćelije nalazi se par elektroda.

Elektrode na krajevima ćelije imaju zasebne kanale za ispiranje. Kroz njih prolazi kiseli rastvor čija je uloga da zaštiti elektrode od hemijskog uticaja.

Tokom tretmana surutke, slani rastvor i surutka prolaze kroz zasebne odeljke u ćeliji. Zbog načina na koji se prerađuje surutka u ovom procesu, konstrukcija ćelije za elektrodijalizu može podsećati na konstrukciju pločastog razmenjivača toplote.

Ćelija za elektrodijalizu može funkcionisati kontinualno ili šaržno. Šaržni sistem rada se često koristi kada je potrebno izvršiti preko 70% demineralizacije surutke, u suprotnom, najbolje je primeniti elektrodijalizu. Vreme zadržavanja šarže može trajati najduže oko 5-6 h, za postignuti stepen demineralizacije od 90%, pri temperaturi od 30-40 °C. U pogledu kapaciteta, oblast sa membranama je mnogo veća kod kontinualnih ćelija, nego kod šaržnih. U toku ovog procesa postoji potreba za održavanjem visoke temperature zbog toga što može doći do porasta bakterijskog rasta u proizvodu. U vezi sa tim, u surutku se često dodaje vodonik peroksid (kada je to dozvoljeno), jer on sprečava rast bakterija. Jačina struje koja se primenjuje u toku ovog procesa iznosi 0-185 A, a električni napon je u opsegu od 0-400 V.

Najveći problem koji se javlja pri upotrebi elektrodijalize u mlekerskoj industriji je trošak zamene membrana i elektroda, i taj trošak uglavnom čini 35-40% svih troškova koje jedno postrojenje ima, dok cena utrošene energije iznosi oko 10-15%, hemikalija manje od 5% i pare oko 10-15% ukupnih troškova prerade.



Slika 16. Ćelija za elektrodijalizu [1]

Membrane se moraju menjati posle određenog vremena, jer postaju veoma uprljane i više nisu toliko efikasne kao na početku. Zaprljanost, prema [1], nastaje usled;

- Precipitacije kalcijum fosfata na površinama membrana koje propuštaju katjone
- Taloženja proteina na površinama membrana koje propuštaju anjone je glavni problem

Jonska izmena - Bioseparaciona tehnika visoke rezolucije koja se zasniva na reverzibilnoj raspodeli molekula između tečne, mobilne faze i čvrste, stacionarne faze. Proces jonske izmene uključuje i upotrebu jonoizmenjivačkih smola tj. čestica koje adsorbuju minerale iz rastvora, a u zamenu za njih otpuštaju druge vrste jona. Te smole imaju ograničen kapacitet adsorpcije, tako da kada dodje do njihovog zasićenja, one se moraju ukloniti i regenerisati pre ponovne upotrebe. Uglavnom se koriste kolone sa pakovanim slojem, čiju stacionarnu fazu i čine te čestice.

Materijal od koga su izrađene čestice stacionarne faze mora biti inertan, porozan, mehanički i hemijski stabilan. Sa hemijske tačke gledišta, one se ponašaju kao nerastvorne kiseline ili baze koje ostaju nerastvorne čak i kada se prevedu u soli.

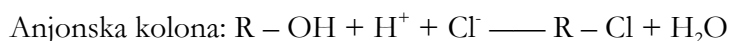
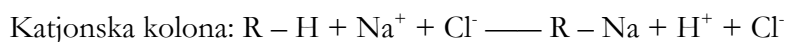
Katjoni koji su uglavnom prisutni u tokovima mleinarske industrije su (selektivnost im opada respektivno) $\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+ > \text{Na}^+$, a na isti način su klasifikovani i anjoni: $\text{citrat}^{3-} > \text{HPO}_4^{2-} > \text{NO}_3^- > \text{Cl}^-$. Poredak je ovakav zato što multivalentni joni imaju veću selektivnost od monovalentnih, kao što i joni većih dimenzija imaju veću selektivnost od manjih, kada im je valenca ista. Upravo količina katjona prisutnih u slatkoj i kiseljoj surutki predstavlja njihovu glavnu razliku. To se vidi i u tabele 5.

Tabela 5. Sastav katjona u slatkoj i kiseljoj surutki, [1].

Jon	Slatka surutka		Kisela surutka	
	kg	meq/l	kg	meq/l
Na	0,050	22,0	0,050	22,0
K	0,160	41,0	0,160	41,0
Ca	0,035	17,5	0,120	60,0
Mg	0,007	5,8	0,012	10,0
Ukupno		86,3		133,0

Jednostavno postrojenje za demineralizaciju je prikazano na slici 17. Surutka prvo prolazi kroz jonoizmenjivačku kolonu za katjone, a potom i kroz kolonu za izmenu anjona. Jonoizmenjivačke kolone (slika 18.) se zasebno ispiraju i regenerišu sa razblaženom hlorovodoničnom kiselinom i natrijum hidroksidom (amonijakom). One se, takođe, dezinfikuju jednom dnevno sa malom količinom aktivnog rastvora hlora. Sledeće neto reakcije prikazuju proces koji se odigrava tokom demineralizacije.

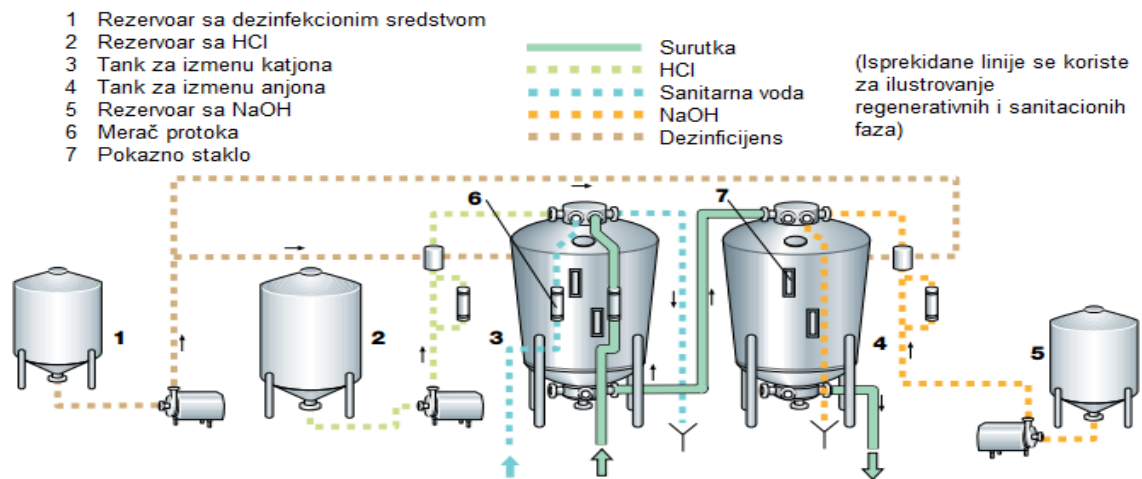
Kao primer za ilustraciju soli u surutki korišćen je NaCl, pri čemu R predstavlja nerastvorne čestice stacionarne faze):



Različiti tokovi prilikom procesa jonske izmene sadrže sledeće korake, [1];

- Iscrpljenje zapreminskih količina surutke 10-15% se može tretirati pre naredne regeneracije kolone. Taj broj svakako zavisi od karakteristika same kolone;
- Regeneracija;

- Uklanjanje surutke;
- Ponovno spiranje;
- Tretiranje sa regenerativnim rastvorom;
- Ispiranje vodom.



Slika 17. Postrojenje za demineralizaciju slatke surutke, primenom jonske izmene [1]

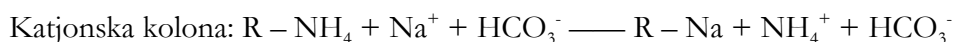
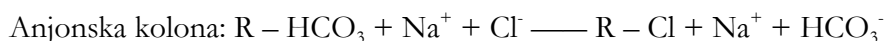
Jonoizmenjivačke kolone se često izrađuju od mekog čelika i iznutra su obložene gumom koja sprečava nastanak korozije kada je kolona u dodiru sa fluidom. Uglavnom su konusnog oblika.



Slika 18. Kolone za jonsku izmenu [41]

Surutka je tečnost koja, kao što je već rečeno, ima visok sadržaj soli što znači da su periodi između dve regeneracije kratki. To takođe znači i da postoji visoka potrošnja regenerativnih hemijskih sredstava i visok sadržaj soli u otpadnom materijalu (uklonjeni pepeo iz surutke i višak regenerativnih hemijskih sredstava). Dolazi i do velike potrošnje vode za ispiranje kolona. Celokupan ciklus procesa jonske izmene traje 6 sati, od čega 4h odlazi na regeneraciju.

Alternativni proces jonske izmene - Sa ciljem da se smanji potrošnja hemijskih sredstava za regeneraciju kolona i da bi se izbegla velika količina otpadnog materijala nakon procesa u udruženju švedskih mlekara razvijen je alternativni postupak nazvan SMR proces (Steam-Methane-Reforming), [1]. U tom procesu neto reakcije jonske izmene, pri čemu je NH_4HCO_3 termonestabilna so koja se razlaže na NH_3 , CO_2 i H_2O kada se zagreva, su sledećeg oblika:



Surutka prvo prolazi kroz kolonu za razmenu anjona, u kojoj su prisutni HCO_3^- joni, a posle i kroz kolonu za razmenu katjona, u kojoj su prisutni NH_4^+ joni. Obe kolone funkcionišu istovremeno, dok jedna radi, druga se regeneriše. Vreme trajanja jednog ciklusa iznosi 4 h.

Karakteristike SMR procesa, prema [1],su sledeće;

- Niski troškovi rada, zahvaljujući ponovnom dobijanju regenerativnih hemijskih sredstava, tokom procesa;
- Manji gubici suve materije iz surutke i samo polovina količina soli biva otpuštena, za razliku od klasičnog procesa jonske izmene;
- Manje varijacije pH vrednosti tokom procesa (6,5-8,2) što rezultuje manjim oštećenjem proteina surutke;
- Velika efikasnost demineralizacije, preko 90%;
- Niska operativna temperatura (5-6 °C), što povećava zastupljenost bakterija u konačnom proizvodu;
- Visok prinos suve materije iz surutke u poređenju sa klasičnom jonskom izmenom i elektrodijalizom;

- Optimalna potrošnja toplotne energije.

Mana SMR procesa je da je osetljiv na veću količinu Ca^{2+} jona, koji su prisutni u ulaznom toku, tako da se preporučuje podešavanje pH i temperature, kao deo predtretmana demineralizacije. Oprema za ovaj proces je složenija i brojnija nego kod klasičnog. Zbog toga su kapitalni troškovi viši, ali treba uzeti u obzir i da su troškovi tokom rada postrojenja niži, kao i da manje zagađuje okolinu.

2.6.4. Konverzija laktoze

Laktoza je disaharid koji se sastoji od dve različite monosaharidne jedinice, glukoze i galaktoze. Postoje dva izomera laktoze, a to su α -laktoza i β -laktoza. Međusobno se razlikuju u prostornom rasporedu hidroksilnih grupa i C atomu u glukoznom molekulu, a zbog toga i u sledećim osobinama, [1];

- Rastvorljivosti;
- Obliku kristala;
- Tački topljenja;
- Fiziološkom efektu.

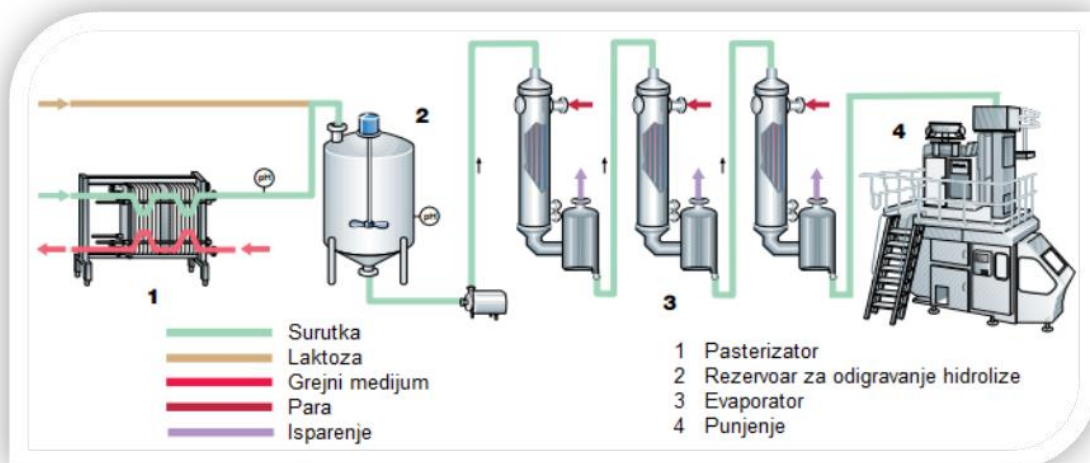
Neki ljudi u svom organizmu nemaju enzim koji razlaže laktozu i zbog toga ne bi smeli da unose veće količine mlečnih proizvoda. To se naziva netolerancija na laktozu.

Hidroliza laktoze - Laktoza se može razložiti hidrolizom, vezivanjem vode ili delovanjem enzima. Enzim koji razlaže laktozu zove se β -galaktozidaza i on pripada grupi hidrolaza. Laktoza nije ni približno slatka kao druge vrste šećera, ali nakon njene hidrolize nastaju slađi proizvodi, [37].

Enzimska hidroliza - Kao predtretman, može se izvršiti demineralizacija, jer poboljšava ukus konačnog proizvoda, mada nije neophodno. Nakon hidrolize surutka je isparila i dobijena je gusta tečnost (sirup) sa udelom suvih čvrstih materija od 70-75%. U sirupu 85% laktoze je hidrolizovano i može se koristiti kao zaslađivač u pekarskoj industriji i u proizvodnji sladoleda.

Tokom proizvodnje (slika 19.) enzim postaje neaktivan, usled toplotnog tretmana ili pH sredine. Zbog toga se u današnje vreme koriste imobilisani enzimi, koji se mogu primeniti i

u kontinualnoj hidrolizi laktoze. Takvi enzimi jesu skupi, ali ostaju aktivni tokom procesa i dovode do nastanka veće količine proizvoda.



Slika 19. Postrojenje za enzimsku hidrolizu laktoze iz surutke [1]

Hidroliza kiselinama - Laktoza se može razložiti i delovanjem kiselina zajedno sa toplotnim tretmanom ili propuštanjem kroz kolonu za izmenu katjona, na temperaturi oko 100°C [1]. Traženi stepen hidrolize se postiže podešavanjem pH vrednosti, temperature i vremena zadržavanja. Tokom hidrolize surutke potrebno je dodavati aktivni ugalj, koji će ukloniti nastalu obojenost (nastali sirup je braon boje).

2.6.5. Hemijska sinteza laktozil uree i amonijum laktata

Ustanovljeno je da neproteinski proizvodi sa azotom mogu biti delimična zamena za prirodne proteine u ishrani kod preživara, jer njihov želudac ima sposobnost da sintetizuje proteine iz uree i amonijaka [1]. Kako bi ta sinteza bila što bolja, ureu i amonijak je potrebno transformisati u pogodnije oblike, koji bi polako otpuštali azot. Laktozil urea i amonijum laktat su dva takva proizvoda dobijena iz surutke.

Proizvodnja laktozil uree - Nakon separacije, surutka se koncentriše do 75% suve materije, uglavnom u dva koraka. Nakon dodatka uree i jestive sulfatne kiseline, koncentrat surutke se drži na 70°C tokom 20h u rezervoaru sa omotačem i mešalicom. U ovim

uslovima dolazi do reagovanja uree sa laktozom i nastanka laktozil uree. Posle provedenih 20h u rezervoaru, proizvod se hladi i transportuje u fabriku koja proizvodi stočni koncentrat ili direktno dodaje farmerima.

Proizvodnja amonijum laktata - Proces uključuje fermentaciju laktoze iz surutke u mlečnu kiselinu, pH vrednost sredine se održava pomoću amonijaka. Reakcijom amonijaka sa mlečnom kiselinom nastaje amonijum laktat, koji nakon koncentrovanja sadrži 61.5% suve materije.

2.6.6. Proizvodnja fermentisanih napitaka na bazi surutke

Prema podacima u sektorskoj analizi tržišta otkupa sirovog mleka, proizvodnje i prerade mleka i mlečnih proizvoda od 2010 do 2012 godine naveden je podatak da je u Srbiji registrovano 201 mlekara, od kojih 60.9% čine velike mlekare, 20.8% mlekare srednjih kapaciteta i 18.3% mini mlekare. Prosečna iskorišćenost kapaciteta registrovanih mlekara u analiziranom periodu kretala se na nivou od 60%. Prema strukturi instalisanih kapaciteta sa stanovišta proizvodnog asortimana finalnih proizvoda, postoje nekoliko osnovnih različitih vrsta kapaciteta za preradu sirovog mleka. U zemlji postoje kapaciteti za proizvodnju pasterizovanog i sterilizovanog mleka (tzv. konzumno mleko), kapacitete za proizvodnju fermentisanih proizvoda (jogurt, pavlaka, kiselo mleko itd.), i kapaciteti za proizvodnju čvrstih mlečnih proizvoda (sireva, maslaca i mleka u prahu). Kod najvećeg broj mlekara proizvodni kapaciteti su pretežno orijentisani na proizvodnju fermentisanih mlečnih proizvoda i proizvodnju čvrstih mlečnih proizvoda, dok je proizvodnja tečnih mlečnih proizvoda, konzumnog mleka značajno manja, [42].

Prerađivači mleka su najveći proizvođači surutke koja u njihovim proizvodnim procesima nastaje u količini koja je praktično približna količini prerađenog mleka. Prerada surutke dovela bi do multipliciranja njene cene i rešavanja problema njenog iskorišćavanja čime bi prerađivači imali direktnu ekonomsku korist. Proizvodnjom fermentisanog napitka od surutke, ona se prerađuje u zdrav i ukusan proizvod sa produženim rokom čuvanja koji prema brojnim istraživanjima pozitivno utiče na više različitih funkcija u ljudskom organizmu. Sa druge strane gubitak koji nastaje neiskorišćavanjem surutke biva preobražen u 100%-tnu korist. Proširenje asortimana fermentisanih proizvoda od mleka u uslovima tržišne konkurencije ima izraženi komercijalni karakter i donosi veći profit prerađivačima. Osim zadovoljavanja ovog osnovnog cilja prerađivača, proizvodnja fermentisanih napitaka

od surutke ostvarila bi određeni uticaj, tj. doprinos razvoju nacionalne privrede. Iskorišćavanje surutke dovelo bi do otvaranja mogućnosti unapređenja proizvodnje kao i uvećanja prihoda, što bi omogućilo i povećanje broja zaposlenih u ovoj oblasti.

Jedan od jednostavnih i ekonomičnih načina iskorišćenja kompletne surutke je prerade surutke u napitak (probiotski ili funkcionalni). Funkcionalni napici na bazi surutke mogu prema svojim nutritivnim i biološkim svojstvima u potpunosti zameniti tradicionalne proizvode od mleka, koje će jednog dana postati i deficitarna sirovina, [30. 43].

Poslednjih 50 god. u svetu su razvijani biotehnoški postupci u kojima je surutka bila polazna sirovina za dobijanje biogasa, etanola, jednoćelijskih proteina, β -galaktozidaze i mnogih drugih proizvoda. Takođe, jedan deo surutke se koristi za dobijanje biološki vrednih proteina (koncentrat proteina surutke, tzv. WPC) i laktoze, a deo surutke nakon odvajanja se koristi za dobijanje osvežavajućih napitaka. Time, pored napitka od deproteinizovane surutke, dobijaju se i drugi vredni proizvodi, proteini i/ili bioaktivni peptidi dobijeni hidrolizom proteina surutke, što značajno doprinosi rentabilnosti ovih procesa, [44].

Napici na bazi surutke mogu se podeliti prema načinu proizvodnje u dve grupe: funkcionalni nefermentisani i funkcionalni fermentisani napici na bazi surutke.

U grupu nefermentisanih napitaka na bazi surutke spadaju:

- ***Napici slični mleku*** koji se dobijaju obogaćivanjem mleka ili mlečnih proizvoda kazeinatima, koncentratom proteina surutke (KPS) i izolatom proteina surutke (IPS) ili hidrolizatima proteina surutke, [45]. Napitak iz ove grupe koji je po izgledu sličan kravljem mleku je "Way-Mil", ima specifičan ukus i može se mešati s dodacima poput čokolade i voća, [7].
- ***Osvežavajući napici*** koji se dobijaju iz permeata surutke koji ne sadrže proteine surutke. Ova grupa napitaka smatra se funkcionalnim samo ukoliko sadrže neku naknadno dodatu funkcionalnu komponentu, kao što je švajcarska *Rivella-green*, formulisana uz dodatak ekstrakta zelenog čaja. Na tržištu postoji veoma mali broj ovih napitaka i trenutno se mogu naći u prodavnicama svega šest evropskih zemalja, [46]

- **Energetski napici** na bazi surutke su napici koji se dobijaju iz njenih komponenata, najčešće izolata proteina surutke (IPS), a sadrže neke dobro poznate visoko energetske komponente kao što su kofein, taurin ili vitamine B kompleksa. Iz ove grupe proizvoda najpoznatiji je američki napitak *Whey-UP* koji je zapravo pionirski brend tržišta visoko energetskih napitaka, [47].
- **Voćni napici na bazi surutke** koji osim surutke u svom sastavu imaju i voćnu komponentu. Ova vrsta proizvoda se često dodatno obogaćuje mineralima i vitaminima i kao takva nailazi na veoma dobar odziv kod potošača.

Posebno mesto u grupi napitaka koji se proizvode na surutki kao sirovini zauzimaju fermentisani napici na bazi surutke, koji se mogu podeliti u dve grupe: funkcionalni i probiotski. Obe grupe imaju blagotvorno delovanje na organizam domaćina, ali na dva različita načina.[30]. Probiotski napici odlikuju se neposrednim delovanjem živih mikroorganizama (probiotika), dok se funkcionalni napici odlikuju posebnim delovanjem putem metabolita, koje ti mikroorganizmi proizvode tokom fermentacije, a koji se još nazivaju i biogeni. Definisani su kao sastojci hrane nastali mikrobnom aktivnošću mikroorganizama koji doprinose zdravlju čovekovog organizma, a ne potiču od mikrobne populacije prirodno prisutne u gastrointestinalnom traktu čoveka, [38].

Surutka ima upola manje suve materije (6.0 – 7.0%) od mleka, zbog čega se njenom fermentacijom dobijaju napici koji imaju slabiju punoću ukusa od fermentiranih mleka. Upotrebom probiotičkih kultura koje proizvode egzopolisaharide ili dodatkom hidrokoloida moguće je rešiti problem slabije punoće ukusa. Dodati hidrokoloidi u relativno malim količinama povećavaju viskoznost proizvoda i sprečavaju pojavu taloženja, a izbor pogodne vrste i učešće ovih dodataka ključan je činilac za proizvodnju fermentisanih napitaka. Veoma je bitno da dodati hidrokoloidi ne prekrivaju željenu aromu proizvoda, kao i da su delotvorni pri pH vrednostima između 4.0-4.6 karakterističnim za ovu grupu proizvoda,[48].

Pri proizvodnji fermentisanih napitaka na bazi surutke neophodno je ispunjavanje nekoliko važnih kriterijuma, [30];

- Ekonomičnost procesa;
- Funkcionalnost proizvoda (broj ćelija, sadržaj mlečne kiseline i proteina);

- Zadovoljavajuća senzorna svojstva proizvoda;
- Stabilnost tokom dužeg perioda čuvanja proizvoda.

S obzirom da u osnovne parametre procesa proizvodnje fermentisanog napitka na bazi surutke spadaju: Ph vrednost, temperatura, vreme fermentacije, koncentracija inokuluma i broj ćelija, njihovim adekvatnim podešavanjem moguće je maksimalno optimizovati proces proizvodnje i ispuniti zadate kriterijume.

Savremeni tempo i način života, kao i sve zagađenije životno okruženje nameću potrebu proizvodnje prehrambenih proizvoda koji bi pomogli ljudskom organizmu u borbi protiv štetnih agenasa kojima je svakodnevno izložen. Uzimajući u obzir i dalje nedovoljno iskorišćen potencijal surutke kao sirovine i sve izraženiju nestašicu hrane na svetskom tržištu, nova tehničko-tehnološka rešenja usmerena su upravo na proizvodnju funkcionalnih fermentisanih napitaka na bazi surutke zadovoljavajućih senzornih svojstava sa ciljem da se ukaže na značaj surutke kao sirovine i proizvoda u ljudskoj ishrani, [43].

S obzirom na činjenicu da surutka predstavlja veoma štetan proizvod po životnu sredinu, vrše se analize opravdanosti korišćenja surutke uključujući i analizu rizika i prikaz smanjenog uticaja postrojenja za proizvodnju surutke na zagađenje životne sredine, [49,50]. Sve navedene analize moguće je ispitati korišćenjem kompjuterskih simulacija u različitim programskim paketima. U određenom softverskom paketu, postavlja se model koji poseduje osnovne karakteristike realnog sistema, a podešavanjem osnovnih parametara moguće je analizirati i predviđati troškove za mnoge industrijske procese. Za ovakve simulacije jedan od pouzdanih softvera predstavlja i programski paket SuperPro Designer, [51]. Ovakav programski paket pruža mogućnosti procene troškova i uticaja promenljivih procesa kao što su povećanje troškova sirovog materijala, komunalnog otpada, promene sastava proizvoda i uključivanje nove opreme veoma brzo i jednostavno, ukoliko realan sistem to zahteva, [52].

3. OPŠTE POSTAVKE EKSPERIMENTALNIH ISPITIVANJA

3.1. PROGRAMSKI PAKET SUPERPRO DESIGNER

3.1.1. Uvod

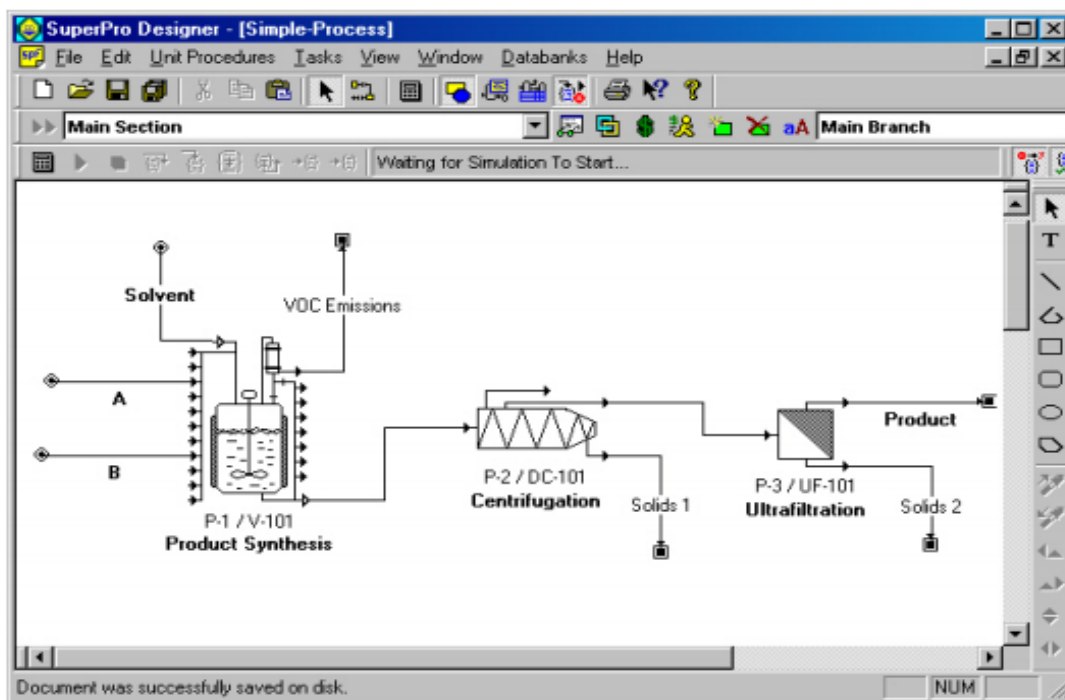
SuperPro Designer ima veliku primenu u farmaceutskoj, hemijskoj, prehrambenoj industriji, mikroelektronici, prečišćavanju i tretmanu otpadnih voda itd. Šematski prikaz jednog od modela odrađenog u programskom paketu SuperPro Designer dat je na sl. 20.

Kombinacija klasičnih i ekoloških procesa proizvodnje u istom paketu, omogućava korisniku da istovremeno projektuje proizvodnju, tretmane krajnjih proizvoda i pomaže mu da smanji količine otpada putem prevencije zagađenja i kontrole zagađenja.

Ovaj softver je dragoceno sredstvo za inženjere i naučnike kako u procesnom inženjerstvu, tako i u proizvodnji. Takođe je korisno sredstvo i za stručnjake koji se bave pitanjima zaštite životne sredine (npr. tretmanom i smanjenjem količine otpadnih voda, kontrolom zagađenja vazduha i uopšte sprečavanjem zagađenja).

Programski paket SuperProDesigneropremljen je brojnim mogućnostima koje zadovoljavaju potrebe i najkomplikovanijih simulacija kada su u pitanju preliminarni dizajn i evaluacija procesa [52]:

- Bilansi materijala i energije u integrisanim procesima;
- Dimenzionisanje opreme;
- Planiranje šaržnih procesa;
- Analiza troškova i ekonomska procena;
- Analiza protoka;
- Procena uticaja na okolinu



Slika 20. Šematski prikaz modela u programskom paketu SuperPro Designer [51]

Budući da je svaki realni proces sastavljen iz određenih delova, svaki od tih delova je moguće definisati u programskom paketu SuperPro Designer. Delovi svakog realnog procesa uključuju:

- Supstance i smeše;
- Tokovi ulaznih sirovina, međuproizvoda i finalnih proizvoda;
- Jedinična procedura i operacija;
- Planirano vreme trajanja procesa.

3.1.2. Metodologija

Osnovni koraci koje treba preduzeti da bi se napravio novi model u *SuperPro Designeru* su, [52]:

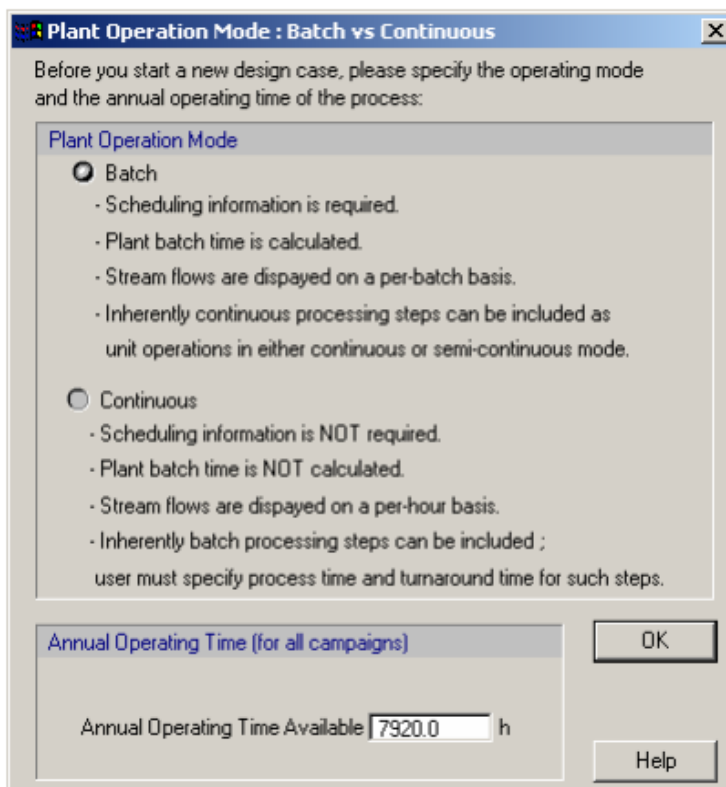
1. Specificiranje načina rada;
2. Postavljanje različitih fizičkih jedinica;
3. Registracija komponenata i smeša;
4. Dodavanje jediničnih procedura;

5. Dodavanje ulaznih i izlaznih tokova;
6. Određivanje operacija;
7. Određivanje vremenskog trajanja procesa:
8. Određivanje radnih obaveza;
9. Određivanje analize troškova;
10. Određivanje uticaja na životnu sredinu.

Za definisanje ovih koraka potrebno je dobro poznavanje programskog paketa SuperPro Designer.

3.1.3. Otvaranje programskog paketa SuperPro Designer

Programski paket *SuperPro Designer* može se otvoriti korišćenjem prečice kojoj odgovara ikona ovog programskog paketa, na početnom ekranu kompjutera. Kada je program izabran potrebno je opredeliti se za novi model (File>>New), nakon čega je potrebno opredeliti se za kontinualni ili šaržni proces, kao što je prikazano na slici 21.



Slika 21. Određivanje tipa operacije određenog postrojenja [51]

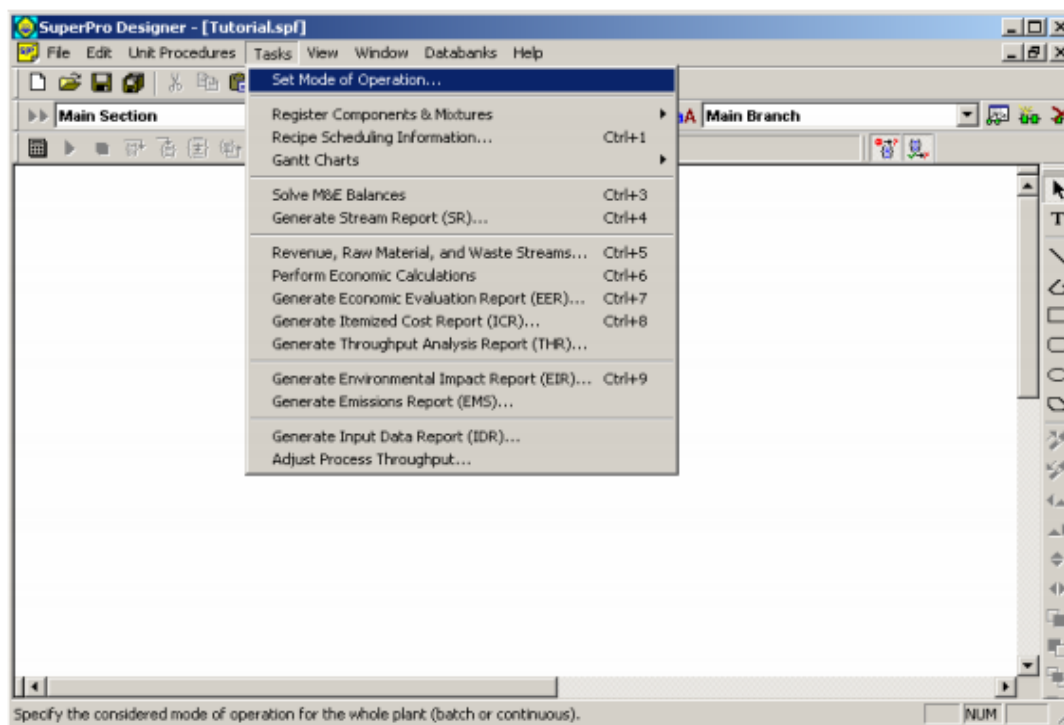
Naime, potrebno je pre postavljanja modela odlučiti se za tip operacije i godišnje vreme trajanja programa, a zatim pristupiti podešavanju ostalih parametara koje jedan model čine kompletnim.

3.1.4. Specificiranje načina rada u programu SuperPro Designer

Prilikom izbora načina rada SuperPro Designer pruža sledeće tri mogućnosti, [51]:

- Šaržne procese;
- Kontinualne procese;
- Mešane modele kontinualnih i šaržnih procesa.

Naime, da bi koristili opcije mešanog modela kontinualnih i šaržnih procesa neophodno je jednostavno uzeti bilo koju od predhodne dve mogućnosti, a zatim se može režim rada promeniti na način **Tasks>>Set Mode of Operation**. Na slici 22 prikazane su potrebne radnje da bi se promenio režim rada procesa, [52].



Slika 22. Promena načina režima rada u novom prozoru SuperPro Designera

3.1.5. Šaržni proces

Kada se projektuje šaržni proces, jedinična procedura se može jednostavno posmatrati kao skup sekvencijalnih operacija (npr. punjenje A, punjenje B, zagrevanje, mešanje, reakcija, pražnjenje). Jednom jediničnom procedurom moguće je obuhvatiti više operacija. Ako se tokom izvršavanja procesa, od početka do kraja, neprestano koristi jedna komponenta opreme (npr. neki tank), moguće je jednom jediničnom procedurom predstaviti sve procese koji se odvijaju u okviru te opreme. Broj operacija koje se mogu izvršavati u jednoj jediničnoj proceduri je neograničen. Ipak, lakše je i prirodnije rastaviti veliki skup operacija na manje skupove, pri čemu je na korisniku da odluči kako će to učiniti.

3.1.6. Kontinualni proces

Ono što je karakteristično za kontinualne procese je da zakazivanje informacija nije obavezno, kao i da nije potrebno računanje vremena trajanja jedne šarže. Tokovi ulaznih i izlaznih sirovina su prikazani na osnovu sata (*per-hour basics*). Inherentni šaržni koraci se mogu uključiti ukoliko korisnik navede vreme obrade i vreme trajanja ovih koraka, [51].

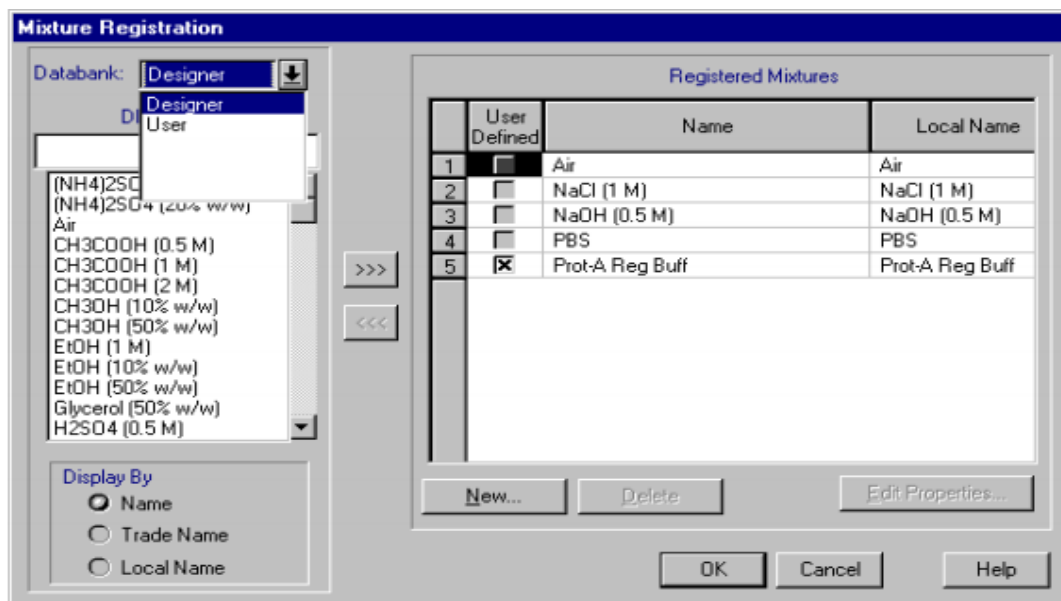
Kada se projektuje kontinualni proces (npr. tretman otpadnih voda u fabrici), kontinualna, jedinična procedura, može se posmatrati jednostavno kao jedna jedinična procedura. Suštinski, jedinične procedure u kontinualnom režimu su jednostavno sekvence operacija sa jednim i samo jednim članom. Kako se operacija izvršava sve vreme, za opremu koja je povezana sa tom jediničnom procedurom ne postoji slobodno vreme tokom kojeg bi ona obavljala i druge zadatke. Jasno je da kod kontinualne jedinične procedure ne postoji mogućnost da deli svoju opremu sa bilo kojom drugom jediničnom procedurom u okviru istog procesa.

3.1.7. Supstance i smeše

Hemijske supstance se koriste za predstavljanje protoka i sastava materijala u tokovima. Svaka supstanca je određena lokalnim imenom, koje definiše korisnik. Za potrebe simulacije, neophodno je definisati osnovna svojstva svake supstance (gustina, toplotni kapacitet, molekularna težina, tačka ključanja, faktor stišljivosti itd.). Sva ostala izvedena svojstva se računaju, kada je to potrebno za simulaciju, na osnovu vrednosti osnovnih svojstava. Vrednosti osnovnih svojstava značajno utiču na rezultate simulacije, te je

neophodno definisati što je tačnije moguće vrednosti. Osnovna svojstva su podeljena u šest grupa, [51]:

- Identifikacija (ime, tržišno ime, formula (hemijski serijski broj-CAS Number), ID broj proizvođača,
- Konstantna fizička svojstva (molekularna težina, standardna tačka ključanja i zamrzavanja, kritična temperatura i pritisak, faktor stišljivosti, veličina čestice itd.),
- Temperaturno-zavisna fizička svojstva (zapremina, toplotni kapacitet u svim agregatnim stanjima, pritisak pare, toplota isparavanja),
- Ekonomska svojstva poput prodajne i nabavne cene i tretmana otpadnih voda $\frac{s}{(kg)}$,
- Svojstva vode (npr. difuzija u vodi i vazduhu, ukupan organski ugljenik i fosfor, organski azot),
- Kategorizacija zagađenja (npr. da li je opasno po okolinu, prag rizika, da li je otpad ugasovitom, čvrstom ili tečnom obliku),
- Svojstva smeša (sastav, gustina i nabavna cena)



Slika 23. Prozor za registrovanje tržišnih smeša [51].

3.1.8. Tokovi ulaznih sirovina, međuproizvoda i finalnih proizvoda

Ukoliko razmatramo pojam tokova u programskom paketu SuperPro Designer možemo razlikovati materijalne i diskretne tokove. Tokovi predstavljaju protok grupe materijala od jedne procedure (procesnog koraka) do druge. Materijal može biti:

- u tečnom;
- gasovitom,
- čvrstom agregatnom stanju, ali se uzima da je uniforman.

Sa stanovišta simulacije, procesni tokovi dele se na tri vrste:

- ulazni,
- izlazni,
- međutokovi.

Svojstva ulaznih tokova (npr. temperatura, pritisak, sastav, protok, itd.) su određena od strane korisnika. Svojstva međutokova i izlaznih tokova (osim onih koji se odnose na gustinu) su rezultat proračuna simulacije i ne mogu se menjati.

Sa ekonomskog stanovišta i stanovišta potrošnje, tokovi se dele na, [51]:

- tokove sirovih materijala,
- korisne tokove,
- otpadne tokove (čvrsti ili tečni otpad ili emisija gasova).

Cena materijalnog toka - Cena mase toka sirovog materijala procenjuje se na osnovu nabavnih cena različitih sastojaka (supstanci i smeša) koji čine taj tok. I ulazni i izlazni tokovi mogu se definisati kao korisni tokovi. Koristan tok je svaki tok koji proizvodi dohodak. Praktično, koristan tok je izlazni tok čiji proizvod je moguće unovčiti, što nazivamo proizvodnim tokom. Profit koji je proizvod tretmana otpadnog materijala i linija za odlaganje baziran je na količini protoka ulaznih tokova. Iz tog razloga, ulazni tok je moguće klasifikovati kao koristan tok.

Prodajnu cenu mase tokova procenjuje sistem na osnovu prodajnih cena svake od komponenata i smeša, ili je određuje korisnik. Količina protoka glavnog korisnog toka predstavlja osnovu za određivanje cene proizvodnje.

Cena koja se odnosi na tretman otpada i odlaganja je vrtoglavo skočila poslednjih godina zahvaljujući strožim regulativama koje se odnose na okolinu. Takođe, nove odredbe

zahtevaju praćenje određenih hemikalija u svakom procesu, kao i izveštavanje o oslobađanju takvih hemikalija u okolinu. Softverski paket SuperPro Designer navodi inženjera na razmišljanje o ovim pitanjima tako što zahteva od njega da definiše koji se izlazni tokovi tretiraju kao otpadni, a koji kao emisioni. Kao otpad se, u ovom kontekstu, smatra svaki tok koji ima štetan efekat po okolinu i postoji mogućnost da njegov tretman ili odlaganje nosi određenu cenu. Emisija, sa druge strane, predstavlja svako oslobađanje u atmosferu, koje potencijalno može sadržati i opasne hemikalije. Kao što je objašnjeno, svaki tok označen kao otpadni može da podrazumeva i cenu tretmana/odlaganja otpada. Ovu cenu sistem preračunava na osnovu cene tretmana/odlaganja otpada svake od supstanci koja je prisutna u toku, [52].

Kategorizacija toka u domenu kategorija otpada (čvrsti, tečni otpad i emisija) ne utiče na ekonomski aspekt proizvodne linije. Utiče samo na izveštaj o hemikalijama oslobođenim u okolinu. Neke supstance mogu od strane korisnika biti označene kao rizične. Ako su ovakve supstance prisutne u izlaznom toku u koncentraciji većoj od određenog praga rizika, tok automatski biva označen kao rizičan. Ovo označavanje ne utiče na ekonomsku stranu projekta.

3.1.9. Troškovi procesnih fluida i energije

Rashladna voda ($T_{in} = 15\text{ °C}$, $T_{out} = 25\text{ °C}$), rashlađena voda ($T_{in} = 5\text{ °C}$, $T_{out} = 10\text{ °C}$), para ($T_{in} = T_{out} = 152\text{ °C}$) i električna energija spadaju u komunalne troškove predloženog procesa. Njihova cena podrazumeva vrednosti koje su definisane u samom softveru SuperPro Designer ($0,05\text{ USD MT}^{-1}$, $0,40\text{ USD MT}^{-1}$, $12,00\text{ USD MT}^{-1}$ i $0,10\text{ USD kWh}^{-1}$, respektivno). Zahtevani nivo komunalnih usluga za svaku pojedinačnu operaciju, kao i za ukupni proces je predložen od strane samog softvera.

3.1.10. Određivanje troškova

U nedostatku podataka o postojećim proizvodnim postrojenjima ovog tipa, određivanje ukupnih troškova mora se oslanjati na raspoložive empirijske podatke i alate procesnog simulatora SuperPro Designer, vrednog alata koji korisniku omogućava da istovremeno dizajnira i analizira proces proizvodnje i ekonomiku čitavog projekta. Za donošenje odluka u ekonomskoj analizi procesa neophodno je analizirati dve osnovne vrste troškova: ukupni kapitalni troškovi i operativni troškovi. Osnov za procenu ovih troškova su: kapital (fiksni, obrtni i ukupni), oprema, operativni i proizvodni (ukupni godišnji troškovi) troškovi. Kod

fabrika koje rade, novac koji je potreban za pokretanje ili nastavak rada predstavlja operativni trošak.

3.1.10.1. Kapitalni troškovi

Ukupna kapitalna ulaganja odnose se na troškove vezane za projekat. To je suma troškova u svim segmentima procesa: direktni fiksni kapitalni troškovi, obrtni kapital, troškovi pokretanja i validacije, troškovi istraživanja i razvoja, nadoknade za franšize ili licence. Direktni fiksni kapitalni troškovi (DFC) uključuju troškove koji se odnose na kapitalna ulaganja u fabriku. To je zbir direktnih troškova (oprema, cevovodi, instalacije, zgrada, postrojenja); indirektnih troškova (projektovanje i izgradnja); i razni troškovi (troškovi ugovarača i nepredviđeni troškovi). Fiksni kapitalni troškovi mogu se proceniti korištenjem različitih metoda kao što su metoda amplitudne analize, metoda preliminarne procene (faktorska metoda), metode definitivne procene i metoda detaljne procene (Green and Perri, 2008),[53]. Direktni fiksni kapitalni troškovi u ovoj studiji su procenjivani korišćenjem modula za nabavnu cenu opreme (PC) predefinisanim u okviru programa SuperPro Designer. Pretpostavlja se da nabavna cena opreme iznosi 0,10 x PC. Parametri i pretpostavke korišćene za procenu DFC su sumirane u Tabeli 6.

Tabela 6. Pretpostavke i parametri troškova kapitala i poslovanja za procenu DFC

Capital cost		Operating cost	
Items	Estimation assumption	Items	Estimation assumption
1. Direct cost (DC)	$DC = PC + \text{installation} + A + B + C + D + E + F + G$	Materials	From mass balance
Total equipment purchase cost (PC)	Listed equip. purchase cost + unlisted equip. purchase cost	Consumables	Shake flask
Installation	Installation cost of listed equip. + unlisted equip.	Maintenance	6% of DFC
A. Piping	0.35 x PC	Depreciation	Depreciated 10% of DFC
B. Instrumentation	0.40 x PC	Insurance	1% of DFC
C. Insulation	0.03 x PC	Local taxes	2% of DFC
D. Electrical facilities	0.10 x PC	Factory expenses	5% of DFC
E. Buildings	0.45 x PC	Labour	Sum (labour demand x Wage rate)
F. Yard improvement	0.15 x PC	Labour basic rate	\$17 h ⁻¹
G. Auxiliary facilities	0.40 x PC	Benefits factor	0.17
2. Indirect cost (IC)	$IC = H + I$	Operating supplies factor	0.1
H. Engineering	0.25 x DC	Supervision factor	0.2
I. Construction	0.35 x DC	Administration factor	0.5
3. Other cost (OC)		Lumped rate	\$20 h ⁻¹
Contractor's fee	0.05 x (DC + IC)	Direct time utilization	70%
Contingency	0.10 x (DC + IC)	Laboratory costs	15% of labour cost
4. Directed fixed capital (DFC)	$DFC = DC + IC + OC$	Utilities	Electricity unit cost \$0.09 kWh ⁻¹
5. Working capital	30 days of labour, raw materials, utilities, waste treatment		Chilled water unit cost \$0.40 MT ⁻¹
6. Start-up and validation cost	5% of DFC		Cooling water unit cost \$0.10 MT ⁻¹
7. Up front R&D	\$100,000		Steam unit cost \$4.20 MT ⁻¹
8. Up front royalties	0	R&D	Fixed \$200,000 year ⁻¹
		Advertising and selling	Fixed \$10,000 year ⁻¹
		Running royalty expense	0

3.1.10.2. Operativni troškovi

Operativni troškovi su troškovi proizvodnje proizvoda. Podrazumevaju troškove koji se odnose na: osnovni, pomoćni materijal, troškove rada, troškova komunalne usluge, tj. tretman otpada, troškove objekta, troškove laboratorije, prevoz, prateće operativne troškove, troškovi oglašavanja i prodaje, troškove odlaganja otpadnih proizvoda. Parametri i pretpostavke korišćene za procenu operativnih troškova takođe su sumirane u Tabeli 6.

3.1.10.3. Troškovi amortizacije

Amortizacija predstavlja godišnji odbitak poreza na dohodak koji ima za cilj da omogući kompaniji da povрати troškove imovine (npr. za fermentor kao najskuplju jedinicu) tokom određenog perioda (El-Halvagi i Mahmoud, 2012., [54]). Amortizacija se obično odbija od prihoda pre oporezivanja, tako da se troškovi opreme mogu nadoknaditi a da se upotreba imovine nastavi. Ulaganja u zemljište i obrtni kapital ne mogu se amortizirati jer se u načelu mogu nadoknaditi. Postoji nekoliko metoda za izračunavanje amortizacije: linearna metoda; degresivna metoda; progresivna metoda. Najjednostavniji i najčešće korišćena je linearna metoda. U ovom radu, linearna metoda korišćena je u SuperPro Designer-u.

3.1.11. Jedinične procedure i operacije

Operacija - Operacija predstavlja najjednostavniji korak fizičko-hemijske transformacije koji može biti kreiran u Pro-Designer-u. Operacija može da podrazumeva simulaciju veoma jednostavne jedinične operacije kao što je punjenje ili mešanje, ili mnogo komplikovanije jedinične operacije, kao što su destilacija. Operacije se ne mogu dodati direktno u proces, već kao elementi jedinične procedure, dok jedinične procedure zajedno čine čitav proces.

Oprema - Svaka jedinična procedura mora da se odvija u okviru jedne komponente opreme. Međutim, postoji mogućnost da dve ili jediničnih procedura dele istu opremu. U tom slučaju, treba obezbediti da raspored bude takav da je svakoj proceduri dodeljen poseban interval vremena.

Karakteristike koje su uvek definisane za korišćenu opremu su dimenzije, vrsta i opis opreme. Kada su u pitanu dimenzije, softver može sam da ih računa (na osnovu specifikacija performansi) ili da sam korisnik određuje dimenzije. Vrstu opreme program automatski određuje za svaku jedinični proces i ne može se menjati od strane korisnika.

Kod opreme se još razmatra i nabavna cena. Nju može određivati sam korisnik, može se koristiti model cene dostupan u programu ili se mogu definisati parametri modela koji će odrediti cenu opreme. Prilikom specifikacije modela cene, neophodno je navesti i kalendarsku godinu kako bi model bio precizan.

3.1.12. Vremensko planiranje procesa

Planiranje procesa je u vezi sa vremensko-zavisnim operacijama šaržnih procesa. U Pro-Designer-u su dostupni alati za planiranje procesa i identifikaciju uskih grla u rasporedu.

Napomena: U daljem tekstu korišćen je termin „planiranje” u kontekstu vremenskog planiranja.

Planiranje podataka se specificira [52]:

- Na operativnom nivou (npr. vreme izvršavanja, vreme podešavanja itd.);
- Na proceduralnom nivou (npr. broj ciklusa);
- Na nivou procesa (operativno vreme na godišnjem nivou)

Za svaku operaciju (uzimajući u obzir da je ukupan operacioni mod šaržni), moraju biti specificirane sledeće informacije [52]:

- Vreme podešavanja;
- Procesno vreme;
- Vreme zaokreta;
- Vreme početka izvršavanja;
- Vreme početka referentne operacije.

Jedina informacija koju na proceduralnom nivou određuje korisnik jeste broj ciklusa i, pod određenim okolnostima, vreme kašnjenja. Podešavanje broja ciklusa u proceduri na bilo koji broj drugačiji od 1 implicira sledeće [51]:

- Količina obrađenog materijala po šarži deli se jednako za svaki ciklus;
- Sekvenca operacija u toj proceduri ponavljaće se onoliko puta koliko ima ciklusa.

Što se tiče planiranja na nivou procesa, potrebno je specificirati:

- Operaciono vreme na godišnjem nivou;
- Broj kampanja;
- Jedno od sledećih:
- Broj šarži;

- Efektivno šaržno vreme;
- Efektivno vreme mirovanja.

Na osnovu nabrojanih informacija i informacija koje se tiču procesnih koraka, program kao rezultate planiranja daje:

- Šaržno vreme procesa;
- Minimalno efektivno šaržno vreme;
- Maksimalan broj šarži na godišnjem nivou;
- Najduža procedura u čitavom procesu;
- Usko grlo;
- Dva od sledećeg:
- Broj šarži;
- Efektivno šaržno vreme;
- Efektivno šaržno vreme mirovanja.

Na osnovu podataka za planiranje operacija (početna vremena i trajanja) i podataka za planiranje procedura (broj ciklusa), sistem računa vremena rada opreme, a na kraju i šaržno vreme (**BT** – Batch time) i minimalno efektivno šaržno vreme (**EBT_{min}** – Minimum effective batch time). Dalje, koristeći godišnje operaciono vreme (**AOT** – Annual operating time) i godišnji broj kampanja (**k**), sistem računa maksimalan broj šarži na godišnjem nivou (**NB_{max}**) koristeći sledeću relaciju:

$$\mathbf{AOT} = (\mathbf{NB}_{\mathbf{max}} - \mathbf{k})\mathbf{EBT}_{\mathbf{min}} + \mathbf{k} \mathbf{BT}$$

Planiranje procesa ima uticaj na dimenzionisanje opreme, i obrnuto. Duži ciklusi operacija, dovodeći do dužih ciklusa jediničnih procedura, povećavaju minimalno efektivno šaržno vreme. Zadavanje više procesnih ciklusa po šarži dovodi do manjih zahteva za kapacitete opreme (tj. do manjih kapitalnih investicija), ali istovremeno povećava i efektivno šaržno vreme. Povećanje efektivnog šaržnog vremena rezultuje smanjivanjem maksimalnog broja šarži na godišnjem nivou (tj. smanjivanjem godišnjeg protoka). Deljenje opreme od strane više procedura ima slične posledice. U najvećem broju slučajeva povećava šaržu (ponekada i efektivno šaržno vreme), ali smanjuje potrebe za kapitalnim investicijama. Pri projektovanju novih postrojenja, treba stremiti ka balansu između kapitalnih investicija, kapaciteta fabrike i fleksibilnosti u smislu proširivanja.

3.1.13. Ekonomija i evaluacija potrošnje

Softverski alati Pro-Designer programa omogućavaju procenu kapitalnih i operativnih troškova, preliminarnu ekonomsku procenu i analizu profitabilnosti proizvodnje, kao i kontrolu zagađenja. Inicijalizacija parametara tokova koji su u vezi sa potrošnjom, mora biti urađena pre ekonomske procene, tabrla 7.

U programu Pro-Designer dostupna su dva tipa izveštaja ekonomske analize:

- Standardnom „Izveštaju ekonomske procene“ sadrži informacije o fiksnim kapitalnim i operacionim troškovima, analizu profitabilnosti, kao i analizu novčanog toka (u programu su dostupne korelacije kapitalnih troškova za svu procesnu opremu, pri čemu i sam korisnik ima mogućnost da specificira vrednosti korelacija).
- Detaljan „izveštaj potrošnje“ sadrži informacije o različitim troškovima (tj. kapitalni, sirovine, osnovni materijal, servis, tretman/odlaganje otpada) koji su povezani sa svakim procesnim korakom.

Tabela 7. Struktura izveštaja ekonomske evaluacije [51]

1. Administrativni rezime
2. Kapitalni troškovi Troškovi nabavke opreme Direktan fiksni kapital Ukupni direktni troškovi <ul style="list-style-type: none">• Nabavka opreme• Instalacije• Procesni cevovod• Izolacija• Električna• Zgrade• Pomoćni objekti Ukupni indirektni troškovi <ul style="list-style-type: none">• Inženjering• Izgradnja• Izvođač radova• Nepredviđeni troškovi
3. Operativni troškovi Radni zahtevi i troškovi Sirovi materijali Različiti potrošni materijal Troškovi tretmana i odlaganja otpada Zahtevi i troškovi postrojenja Godišnji bilans operativnih troškova <ul style="list-style-type: none">• Sirovi materijali• Troškovi rada• Troškovi opreme• Laboratorija• Potrošni materijal• Tretman i odlaganje otpada• Postrojenja• Transport• Troškovi marketinga i prodaje• Tekući honorari• Ostalo
4. Analiza profitabilnosti
5. Analiza protoka novca

3.1.14. Ekonomski indikatori

Procena investicije kao i njenih alternativa bazirana je na ekonomskim indikatorima: Neto sadašnjoj vrednosti (NPV), internoj stopi rentabilnosti (IRR) i roku povraćaja investicionih ulaganja (PP). Navedeni indikatori omogućavaju upoređivanje investicionih projekata (investicija u određenu vrstu preradnog pogona) koje karakteriše različita vrednost. Takođe, oni se koriste i za poređenje proizvodnih procesa koji se razlikuju po prodajnoj ceni finalnog proizvoda ili nabavnoj ceni potrebnih sirovina. Pored toga, treba napomenuti da su ulaganja u poljoprivredu i prerađivačku industriju obično pod uticajem određenih specifičnosti poljoprivredne proizvodnje, poput: pritiska prirodnih i klimatskih uslova, problema vezanih za biološke procese i proizvodnju baziranu na živim organizmima, neusklađenostivremena proizvodnje i izvođenja radnih operacija, sezonskog karaktera proizvodnje, itd., [55].

Investiciona kalkulacija je analitička metoda koja će se koristiti za određivanje ekonomske efektivnosti investicija (procena ekonomskih efekata kompletnog proizvodnog procesa koji će se realizovati u toku životnog veka investicije) i predstavlja osnovu za donošenje odluka vezanih za mogućnost realizacije planirane investicije, [56].

Ukratko, neto sadašnja vrednost (NPV) je mera profitabilnosti koja se koristi za procenu održivosti investicije ili za upoređivanje profitabilnosti nekoliko različitih investicija. Ona predstavlja ukupnu vrednost budućih neto novčanih tokova realizovanih tokom perioda trajanja projekta, svedenih na sadašnju vrednost, tj. na vrednost u inicijalnom momentu realizacije projekta – nultom momentu, [57,58]. Indikator se može izračunati prema sledećoj formuli:

$$NPV = \sum_{k=1}^N \frac{NCF_k}{(1+i)^k}$$

Pri čemu je: i - kamatnastopa; NCF_k – neto novčani tok u godini k ; N – životni vek projekta (ugodinama).

Ukoliko je dobijena vrednost za NPV pozitivna, (ako je NSV veća od nule) investicija se može smatrati ekonomski opravdanom. Takođe, unutar grupe isključivih investicionih alternativa, opravdanom će se smatrati ona koja ima najvišu vrednost NPV.

Interna stopa rentabilnosti (IRR) se definiše kao kamatna stopa koja izjednačava sumu prihoda (stečenih tokom upotrebe investicije) i sumu troškova (nastalih tokom kupovine i upotrebe investicije) diskontovanih na prethodno određeni vremenski trenutak (obično inicijalni trenutak realizacije projekta). Metod je sličan metodu NPV, pri čemu se umesto izračunavanja NPV za određenu kamatnu stopu traži diskontna stopa koja će omogućiti da se NPV svih novčanih tokova određenog projekta izjednače sa nulom. Ona predstavlja prosečnu sposobnost zarađivanja neke investicije tokom perioda njene upotrebe, odnosno nivo efektivne kapitalizacije uložениh sredstava u određeni investicioni objekat prihvatljiv je projekat, [59,60].

Svaki investitor, bez obzira na prvobitno uložena sredstva, je više nego zainteresovan za informacije u kom periodu se može očekivati povrat investiranih sredstava. Rok povraćaja investicionih ulaganja (PP) predstavlja vremenski period potreban da se ukupna investicija pokrije akumuliranom neto dobiti. Ona predstavlja odnos ukupnih kapitalnih ulaganja usmerenih u određeni projekat i ostvarene neto godišnje dobiti od upotrebe investicije, [61, 62]. Matematički se izražava kao:

$$PP = \text{Ukupna vrednost investicije} / \text{Neto dobit}$$

Niža vrednost indikatora je direktno korelisana sa većom atraktivnošću investicije.

3.1.15. Tehno-ekonomska analiza i analiza isplativosti procesa

U ovom radu pretpostavlja se da je godina izgradnje 2016. godina; period izgradnje je tri godine; start-up period je godinu dana; životni vek projekta je 15 godina; inflacija (za povraćaj troškova opreme) je 4%; kamatna stopa je 10%, porez na dohodak je 40%. U finansiranju projekta, 30% vrednosti fiksnog kapitala se obezbeđuje u prvoj godini, 40% u drugoj godini, a 30% u trećoj godini. Što se tiče amortizacije, primenjena je linearna metoda, a ostatak vrednosti (salvage value) tj. unapred procenjena vrednost osnovnog sredstva na kraju svog korisničkog veka je 5% fiksnog kapitala. Nadalje, pretpostavlja se da je radno vreme 7920 sati godišnje (330 dana/godišnje). Troškovi materijala i opreme su definisani u okviru samog programa SuperPro Designer, dinamičkom i statičkom metodom.

Analiza profitabilnosti može se obaviti sa ili bez vremenske vrednosti novca. Kriterijum profitabilnosti analizirani bez vremenske vrednosti novca su (1) povraćaj investicije (ROI) i (2) period povraćaja investicije (PB). Kriterijima profitabilnosti sa vremenskom vrednošću

novca su (1) neto sadašnja vrednost (NPV); (2) diskontovani novčanih tok povraćaja investicije (DCF ROI); (3) diskontovani novčani tok perioda povraćaja investicije. Drugi način procene isplativosti je poređenje alternativa istog procesa kroz (1) NPV; (2) godišnji rashod/prihod; (3) ukupni godišnji troškovi; (4) inkrementalni povraćaj investicije. NPV je kumulativna vrednost (prihodi-troškovi) prilagođena referentnom vremenu. $NPV > 0$ znači da je investicija finansijski prihvatljiva; $NPV = 0$ znači da je investicija neutralna; $NPV < 0$ znači da investicija nije finansijski prihvatljiva. DCF ROI, takođe poznat kao interna stopa povraćaja (IRR), je vrednost diskontne stope koja čini da je $NPV = 0$ (mora biti veća od kamatne stope). Što je viša vrednost IRR projekat je prihvatljiviji (Edgar i Himmelblau, 2001), [63].

3.1.16. Analiza osetljivosti

Analiza osetljivosti podrazumeva određivanje uticaja cene proizvoda i kapaciteta procesa na indekse isplativosti kao što su vrednost kapitalne investicije, period povraćaja, neto sadašnja vrednost i novčani tok.

3.2. TEHNO-EKONOMSKA ANALIZA ISPLATIVOSTI POSTROJENJA ZA PROIZVODNJU LAKTOZE I KONCENTRATA PROTEINA SURUTKE (EKSPERIMENT 1)

3.2.1. Uvod

Zbog brojnih korisnih osobina surutka, iako predstavlja sporedni proizvod, teži se ka uspostavljanju novih procedura kako bi od nje nastali proizvodi koji bi imali primenu u svakodnevnim aktivnostima.

Kada se kreira novi proizvod, ne obraća se pažnja samo na plasiranje proizvoda i podsticanje zainteresovanosti kod potrošača i njegovog konzumiranja, već i na samu isplativost tj. održivost proizvodnje takvog proizvoda. Veoma veliku ulogu u analizi održivosti proizvodnje nekog proizvoda ima upravo ekonomski izveštaj koji obuhvata sva moguća ulaganja i troškove koji mogu nastati u toku same proizvodnje. Zbog toga je, kada je u pitanju iskorišćenje surutke, upravo ekonomski izveštaj taj koji pokazuje koliko je isplativo preradivati je i koristiti je u proizvodnji određenih proizvoda.

Prikazana istraživanja predlažu i modeliranje i analizu tehničko-ekonomske varijabilnosti, uključujući analizu rizika i analizu uticaja redukcije zagađenja kroz proizvodnu jedinicu za preradu surutke sa integrisanom proizvodnjom koncentrisanog proteina WPC 80 i laktoze u prahu LAC 80.

Kompijuterska simulacija se koristi za analizu i predviđanje proizvodnih troškova kod mnogih industrijskih procesa. Ona poseduje mogućnosti da na jednostavan, brz i jeftin način proceni troškove i efekte varijabli, poput rasta troškova sirovina, komunalnih usluga, promena u sastavu proizvoda i uvođenja novih tehnologija. Počevši sa inicijalnim scenarijom, kroz razvoj modela za simuliranje određenih uslova, moguće je kreirati različite scenarije bazirane na promenjivim informacijama, čime bi se izvršila provera osetljivosti zadatih parametra. Takođe, uz pomoć modeliranja moguće je doći do informacija o tome kako se proces odvija, što doprinosi boljem razumevanju procesa, [64, 65, 66].

U ovoj disertaciji korišćen je upravo softverski paket SuperPro Designer. Odabrani simulator za predstavljanje analiziranog procesa prethodno je uspešno korišćen u naučnim i tehničkim aktivnostima. He i saradnici (2013) [67] navode SuperPro Designer kao moćnu alatku za vršenje procesa ekonomske evaluacije, koja nudi mogućnost skraćivanja vremena

potrebnog za dizajniranje proizvodnog procesa, te omogućava poređenje alternativnih procesa na bazi konzistentnosti, tako da veliki broj dizajniranih procesa može biti sintetizovan i interaktivno analiziran u kratkom vremenskom roku.

Lima i saradnici (2008) [68] koristili su softverski paket SuperPro Designer tokom analize proizvodnih troškova aktivacije ugljenika iz otpadaka u proizvodnji živine.

3.2.2. Materijali i metode

3.2.2.1. Sirovine

Surutka koja ostaje nakon proizvodnje sira i sterilno obranog mleka sa 0.5% masnoće se dobija iz domaće mlečne industrije Imlek a.d. (Beograd, Srbija). Nakon sakupljanja, surutka se čuva na -18 °C do upotrebe (ne duže od nedelju dana). Hemiski sastav surutke je: suve materije 9.8%, proteina 2.6 ± 0.012 % (w/v); masnoće 1.05 ± 0.08 % (w/v) i laktoze 5.6 ± 0.114 % (w/v).

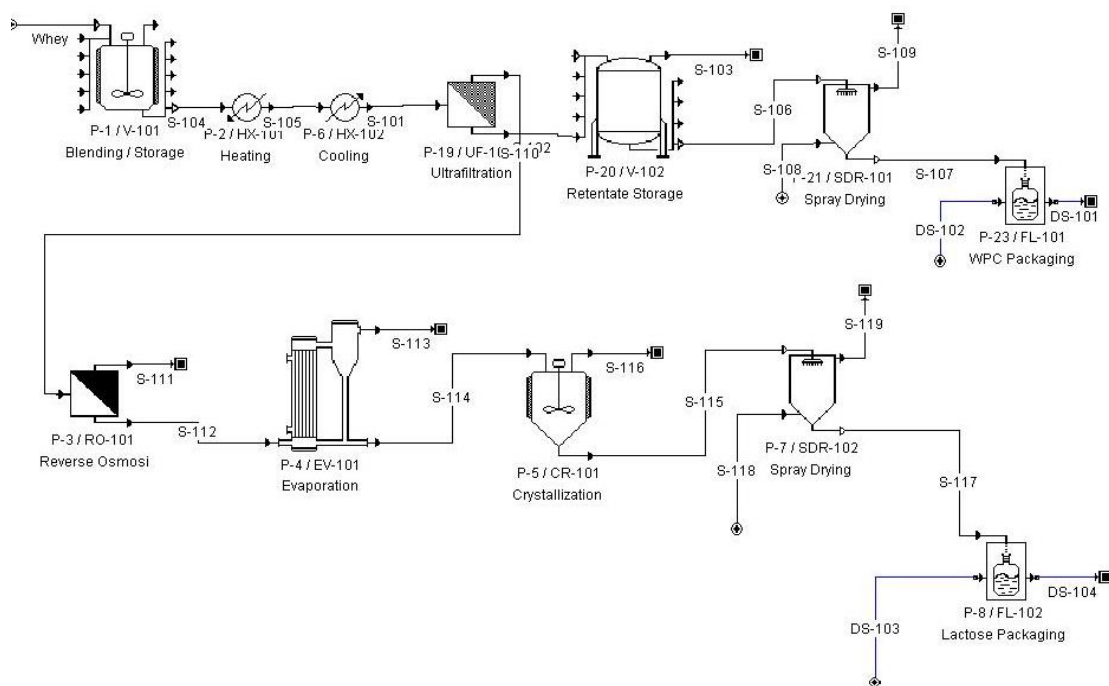
3.2.2.2. Opis procesa

Proces dobijanja koncentrata proteina surutke i laktoze počinju sa pred-obradom, što predstavlja pripremu sirovine za sledeću etapu modifikacije proteina. Isključene mogućnosti eksterne kontaminacije sirovine, izvršena je u izmenjivaču toplote u pod jedinici P-2/HX-101 pasterizacijom na 60 °C u trajanju od 60 minuta. Nakon pasterizacije mikstura je rashlađena na 37 °C preko izmenjivača toplote P-6/HX-102 i prelazi u fazu ultrafiltracije u pod jedinicu pod nazivom P-19/UF-1, posle koje je proizveden retentat u pod jedinici P-20/V-102. Sušenjem retentata u pod jedinici pod nazivom P-21/SDR-101 dobija se u sledećoj fazi u pod jedinicu P-23/FL-101 koncentrat proteina surutke.

Od surutke se dobija 17% retentata, a ostatak je permeat. Prašak može sadržati 35-85% proteina u suvoj materiji. Proces izolovanja koncentrata suvih proteina korišćenjem ultrafiltracije prikazano je na slici broj 24.

U istom procesu, izolovnje laktoze nastaje nakon ultrafiltracije preko reverzne osmoze (RO) u pod jedinici pod nazivom P-3/RO-101. Posle RO prelazi u evaporator u pod jedinicu pod nazivom P-4/EV101, potom se odvodi u rezervoar gde započinje proces kristalizacije u pod jedinicu pod nazivom P-5/CR-101. Nakon kristalizacije suspenzija prelazi u sprej sušnicu u pod jedinicu pod nazivom P-7/SDR-102 gde dolazi do sušenja

kristala na temperaturi od 92 °C, nakon toga (vreme sušenja je 15-20 minuta) prelazi u pod jedinicu P-8/FL-102, gde se izdvaja kao konačan proizvod laktoza u obliku praha. Koncentrat proteina surutke i dobijanje laktoze u prahu imaju prednost, jer su lakši (težina), lakši za prenos i mogu se skladištiti duži vremenski period.



Slika 24. Proces proizvodnje WPC i laktoze

3.2.2.3. Troškovi sirovina

Cena surutke koja se koristi kao sirovina za proizvodnju WPC 80 i LAC 80 može se smatrati zanemarljivom jer je to otpadni proizvod mlečne industrije.

3.2.3. Rezultati i diskusija

3.2.3.1. Kapitalni troškovi

Novac koji je potreban da bi se platila oprema i pomoćne jedinice, nabavka i priprema zemljišta, civilne strukture, objekti i kontrolni sistemi predstavlja ulaganje fiksnog kapitala. Na bazi ukupne prodajne cene opreme (PC) procenjen je osnovni kapital tj. fiksni kapital. Odnos kapacitet/veličina i ispravke koristeći indekse troškova, u postojećoj studiji, koriste se kao metod za procenu troškova kapitala koji su ugrađeni u softver SuperPro Designer.

Direktni fiksni kapital predstavlja investicije osnovnih sredstava i izračunavaju se na nivou faze procesa kao suma direktnih, indirektnih i ostalih troškova koji su povezani sa investicijom kapitala u postrojenje.

U tabeli 8. Prikazan je ukupni direktni trošak fiksnog kapitala (DFK) od 19.634.000 dolara i pojedinačne stavke troškova koje doprinose direktnom fiksnom kapitalu.

Tabela 8. Kapitalni troškovi fabričke proizvodnje LAC 80 i WPC 80

Stavke	Cena po jedinici (\$)	Troškovi (\$)
Direktni trošak fiksnog kapitala (DFK)		19.634.000
Troškovi nabavke opreme		3.093.000
Rezervoar za mešanje	755.000	755.000
Razmenjivač toplote	4.000	4000
Jedinica za ultrafiltraciju	149.000	745.000
Vertikalni rezervoar	30.000	30.000
Sprej-sušač, SDR-101	147.000	147.000
Jedinica za reversnu osmozu	52.000	52.000
Isparivač	128.000	128.000
Kristalizator	441.000	441.000
Sprej-sušač, SDR-102	174.000	174.000
Oprema koja nije na listi		619.000
Instalacija		1.762.000
Procesni cevovodi		1.083.000
Merna oprema		1.237.000
Izolacija		93.000
Električna oprema		309.000
Objekti		1.392.000
Uređenje zemljišta		464.000
Pomoćni objekti		1.237.000
Projektovanje		2.668.000
Izgradnja		3.735.000
Naknada za izvođenje radova		854.000
Troškovi nepredviđenih situacija		1.707.000
Obrtni kapital		370.000
Troškovi pokretanja i validacije		982.000
Sredstva opredeljena za istraživanje i razvoj		0
Sredstva opredeljena za licence i franšize		0
Ukupna kapitalna ulaganja		20.985.000

Ukupne investicije kapitala uključuju i obrtni kapital kao troškove pokretanja validacije koje u ukupnom zbiru troškova kapitalnih ulaganja fabrike za proizvodnju LAC 80 I WPC 80 iznose 20.985.000 dolara.

3.2.3.2. Operativni troškovi

U tabele 9., gde su prikazani osnovni operativni troškovi fabrike za proizvodnju LAC 80 i WPC80, vidi se da fabrika sa kapacitetom prerade 1000 kg h^{-1} pri korišćenju proizvodnje ima ukupni godišnji operativni trošak od 8.614.932 \$. Jedinični troškovi proizvodnje laktoze iznose 1.83 \$/kg, dok jedinični troškovi za proizvodnju koncentrata proteina surutke (WPC) iznose 15.84 \$/ kg .

Najveća stavka operativnih troškova kod laktoze i koncentrata proteina surutke su troškovi održavanja opreme koji iznose 42.75% i troškovi radne snage od 40.60%, kao i troškovi komunalnih usluga koji učestvuju sa 6,28% i troškovi laboratorijske opreme sa 6,10%.

Na osnovu obračunatih troškova pretpostavlja se da je najskuplja tačka u fabričkoj proizvodnji za proizvodni proces LAC 80 i WPC 80 su troškovi održavanja opreme i troškovi radne snage. Međutim, kada sagledamo ukupne ekonomske parametre fabrika za proizvodnju LAC 80 i WPC 80 (tabela 10.) očigledno je da sa periodom otplate od 1.59 godina predstavlja veoma povoljan projekat, jer za vrlo kratko vreme može da oslobodi novčana sredstva za druge namene.

Tabela 9. Osnovni operativni troškovi fabrike za proizvodnju LAC 80 i WPC 80

Stavke taroškova	Godišnji trošakovi, (\$/godina)	Jedinični trošakovi, (\$/kg laktoze)	Jedinični troškovi, (\$ kg ⁻¹ WPC-a)	Ukupni operativni troškova, (%)
Troškovi sirovina	32.000	0.011	0.058	0.37
Troškovi radne snage	3.497,000	0.156	6.429	40.60
Troškovi održavanja opreme	3.683.000	1.203	6.771	42.75
Troškovi laboratorijske opreme	525.000	0.174	0.965	6.10
Komunalne usluge	541.000	0.179	0.995	6.28
Para	106.402	0.035	0.196	1.23
Hladna voda	160.298	0.053	0.295	1.86
Glikol	70.232	0.023	0.129	0.81
Razno	0	0	0	
Reklamiranje/prodaja	0	0	0	
Ukupni operativni troškovi	8.614.932	1.83	15.84	100

3.2.3.3. Tehno-ekonomska i analiza isplativosti

Rezultate ekonomske procene fabrika za proizvodnju laktoze i koncentrata proteina surutke prikazani su u tabeli 10. Za postrojenje sa osnovnim kapacitetom 1.000 kg/hukupne kapitalne investicije su 20.985.000 \$ I za direktne troškove fiksnog kapitala 19.634.000 \$, operativne troškove 8.614.932 \$/godina i bruto marža 68.53(%) povratak investicije je 62.70 %. Period otplate meri vreme (broj godina) koje je potrebno da bi se povratila investiciona sredstva i u ovom ispitivanju iznose 1.59 za godinu. Što je kraći period otplate, projekat je prihvatljiviji. Maksimalni dozvoljen period otplate na koji se upoređuju sve investicije kompanija je 6 godina.

U postojećoj studiji je evidentirano da sa periodom otplate od 1.59 godina, predstavlja mnogo pogodniji projekat da bi se oslobodila novčana sredstva za druge svrhe. Interna stopa povraćaja (IRR) se upoređuje sa minimalnom prihvatljivom stopom povraćaja (MARR) ili sa troškovima kapitala kompanije. U ovom slučaju IRR, nakon poreza iznosi 45.86%, a kritrijumi pri donošenju odluke o prihvatanju projekta je da je IRR veći ili jednak minimalno prihvatljivom. Neto sadašnja vrednost sa 7% poreza iznosi 68.118.000 \$ $\cdot 10^6$ to je dodatna vrednost koja predstavlja pokazatelj kolika je vrednost investicija u industriji. U ovom slučaju NPV je pozitivna, što znači da bi investicija trebalo da ostvari dodatnu vrednost industriji i sam tim ukazuje na proizvodnju koja je ekonomski opravdana i može biti prihvaćena.

Tabela 10. Sažetak ekonomskih parametara fabrika za proizvodnju LAC 80 i WPC 80

Parametar	
Ukupna ulaganja (\$)	20.985.000
Direktni troškovi fiksnog kapitala (\$)	19.634.000
Operativni troškovi (\$/godina)	8.614.932
Bruto marža (%)	68.53
Povrat investicije (%)	62.70
Period otplate (godina)	1.59
IRR nakon poreza (%)	45.859
NPV na 7% ($\$ \cdot 10^6$)	68.118.000

3.2.3.4. Analiza osetljivosti

Zaproizvodnju laktoze LAC 80 i koncentrata proteina surutke WPC 80, korišćenjem programa SuperPro Desinger koji omogućava istovremeno projektovanje i procenu proizvodnje, prikazani su kapitalni i operativni troškovi fabričke proizvodnje, kako bi se uspešno plasirali kao komercijalni proizvodi i njihova upotreba u daljim istraživanjima.

Dva osnovna troška, koji su kriterijumi za donošenje odluka ekonomske opravdanosti procesa proizvodnje, su ukupni kapitalni troškovi i operativni troškovi. Osnova za procenu ovih troškova su: kapital (fiksni, radni i ukupni), oprema, troškovi rada i ukupni godišnji troškovi proizvodnje (Tabela 8.).

Svi troškovi koji su iz redovnih aktivnosti industrije (troškovi radne snage, komunalni troškovi, troškovi laboratorija, reklamiranja), osim troškova same proizvodnje i prodajnih cena proizvoda predstavljaju operativne troškove (Tabela 9.).

Kapitalni troškovi uključuju nabavku osnovnih sredstava ili troškove koji doprinose povećanju vrednosti osnovnih sredstava (troškovi nabavke novog fermentora, skladišnog rezervoara, pomoćne zgrade).

Operativni troškovi doprinose smanjenju osnovice za izračunavanje poreza na dobitak, dok kapitalni troškovi nemaju direktan uticaj na porez na prihod, koji fabrika treba da plati, ali i dalje indirektno utiču.

3.2.4. Zaključak

Rezultati ekonomske procene fabrika za proizvodnju laktoze i koncentrata proteina surutke, prikazani u Tabeli 10., ukazuju na proizvodnju koja je ekonomski opravdana i može biti prihvaćena.

3.3. TEHNO-EKONOMSKA ANALIZA ISPLATIVOSTI POSTROJENJA ZA PROIZVODNJU FUNKCIONALNOG NAPITKA NA BAZI SURUTKE

(EKSPERIMENT 2)

3.3.1. Uvod

Kao što je navedeno u prethodnim poglavljima, surutka se dobija iz mleka, tj. ona predstavlja ostatak posle koagulacije mlečnog proteina kazeina, u toku procesa proizvodnje sira i sadrži oko polovine mlečnih čvrstih materija. S obzirom na visoku biološku potrošnju kiseonika (BOD) (39.000-48.000 ppm), razvoj procesa njene ekonomske iskorišćenosti bi bila od velike koristi u mlečnoj industriji. U tom smislu, biodostupnost surutke bi trebalo da bude ispitana kroz diverzifikaciju proizvoda na bazi surutke, kroz ekonomski profitabilne procese (Dubey & al.), [69].

Tržišna tražnja za zdravim pićima je u porastu je širom sveta. U poslednjih nekoliko decenija, probiotski napici su se obično sretali na tržištu u formi fermentisanih mleka i jogurta. Poslednjih godina, u skladu sa rastućom tražnjom potrošača za zdravim proizvodima, istraživači su počeli da razvijaju nove probiotske proizvode na bazi surutke (Vasudha & al.), [70]. U svetu su preduzeti brojni pristupi u svrhu transformacije velike količine surutke u vredne proizvode pogodne za upotrebu u ishrani, [71, 72]. Surutka je bogat izvor visok-kvalitetnih proteina, minerala, vitamina i laktoze koji mogu biti iskorišćeni i transformisani u brojne vredne proizvode (laktoza, koncentracija proteina, laktalbumina, laktoglobulina, galaktoze, glukoze, itd.) kroz razne procese, kao što su koncentracija i/ili frakcionisanje, sušenje, fermentisanje ili hidroliza, [73]. Ipak, s obzirom da su ovi procesi skupi, zahtevaju napredne tehnologije i ne vode ka punoj eksploataciji sirovina, najekonomičniji način obrade surutke je proizvodnja funkcionalnih fermentisanih pića na bazi surutke.

Kako surutka ima neprijatan ukus, slabu teksturu, izaziva loš osećaj u ustima, ima relativno visok odnos laktoza-glukoza i preveliku kiselost, naročito ukoliko pripada grupi kiselih surutki, razvijene su brojne procedure kako bi se njene karakteristike poboljšale, u cilju komforne upotrebe u ljudskoj ishrani, [74]. Upotrebom probiotskih kultura ili

kombinacijom sa specijalno pravljenim mlečnim kulturama, može se značajno unaprediti kvalitet pića na bazi surutke (Bulatović & al.), [75]. Takođe, uključivanje sokova od voća ili povrća u pića vodi dodatnom razvoju formulisanja i kreiranja proizvoda koji su u skladu sa osetljivom tražnjom kupaca, a koja se odnosi na prijatan ukus proizvoda. Maskiranje je jedna od tehnika koja se koristi da smanji neprijatne mirise i ukuse u hrani i koristi se uspešno, kroz dodavanje raznih novih supstanci sa prihvatljivim ukusima, [76] i stoga se smatra da je moguće smanjenje negativnih čulnih atributa. Dodatak sokova od voća ili povrća može pozitivno da utiče na aromu i ukus finalnog proizvoda i mogu se izbeći neprijatni ukusi kod potrošača, [77].

Sa nutritivne tačke gledišta, surutka je prepoznata kako delotvorno gasi žeđ, osvežava, ona je zdravo i hranljivo piće, [78] Surutka i njene biološke komponente imaju pozitivne efekte u lečenju nekoliko hroničnih bolesti kao što su rak, kardio-vaskularne bolesti, sida (HIV) itd., kao i to da je mnogo zdravija u odnosu na druga pića, [79]. Što se tiče uloge u fermentacionom procesu, probiotske mlečne acidne bakterije su dijetetski izvori živih mikroorganizama predodređene da promovišu pozitivan uticaj na domaćina, poboljšanjem svojstava samonikle blagotvorne mikroflore, [80].

S druge strane, probiotske kulture su poznate po tome što poboljšavaju varenje laktoze kod onih koji loše vare laktozu, [81]. Obogaćivanje sa sokovima od povrća i voća stvara novu vrednost ovih proizvoda kroz inkorporaciju vrednih supstanci, kao što su bioaktivni peptidi, amino kiseline, oligosaharidi koji primenjuju razne biološke aktivnosti.

U nastavku kvalitativnog istraživanja, govori se i o simulaciji proizvodnog procesa i mogućnosti za inkluziju (uključivanje) u process proizvodnje sira, zajedno sa ekonomskom analizom. S obzirom da se radi o proizvodu koji treba da zadovolji istančan ukus potrošača, osim simulacije i tehno-ekonomske analize, ovaj deo studije obraća posebnu pažnju i na senzorni i nutritivni kavalitet napitka na bazi surutke, a posebna pažnja je takođe posvećena i analizi vezanoj za zastitu zivotne sredine.

3.3.2. Materijali i metode

3.3.2.1. Mikroorganizmi i hranljiva podloga

Komercijalna liofilizirana starter kultura 'Lactoferm ABY 6' korišćena u ovom radu, nabavljena je od proizvođača Biochem s.r.l. (Monterotondo, Roma, Italy). Starter kulturu čine: *Streptococcus salivarius* ssp. *thermophilus* (80%), *Lactobacillus acidophilus* (13%), *Bifidobacterium bifidum* (6%), *Lactobacillus delbrueckii* ssp. *bulgaricus* (1%). Ova kultura, koja se sastoji od 10 g liofiliziranog praha, je jedna od starter kultura koja se koristi u mlečnoj industriji. Prema proizvođačkoj specifikaciji, kultura se čuva na -18 °C, pre korišćenja ne duže od 20 meseci.

Za svaki eksperiment, 1% (w/v) starter kulture se pažljivo rastvori u sterilisanom obranom mleku (0.5% masti) i aktivira 30 min na 42 °C.

Hemijski sastav surutke je bio sledeći: proteini $2.6 \pm 0,012$ % (w/v); masti 1.05 ± 0.08 % (w/v) i laktoza 5.6 ± 0.114 % (w/v). Hemijski sastav mleka: proteini $3.1 \pm 0,012$ % (w/v); masti 0.5 ± 0.08 % (w/v) i laktoza 4.7 ± 0.114 % (w/v).

Sok mrkve (Foodland doo, Beograd, Serbia) koji se koristio u eksperimentima, je pasterizovani sok koji ima rok trajanja samo 3 dana nakon otvaranja. Hemijski sastav soka mrkve je bio sledeći: ugljeni hidrati 13.27 % (w/v); masti 0.03 % (w/v), proteini 0.12 (w/v).

3.3.2.2. Eksperimentalni postupak

Uzorci od 300 mL formulisanog napitka bili su pripremljeni za svaku analiziranu tačku. Surutka-mleko napitak - WMB (70% surutka, 30% mleka, v/v) i surutka - mrkva napitak - WCB (40% surutka, 30% mleko, 30% sok mrkve, v/v). Smeša je pasterizovana na 60 °C u trajanju od 60 min, ohlađena na temperaturu fermentacije 42 °C i inokulisana sa 6% (v/v) aktivirane kulture. Pre pasterizacije, pH vrednost napitka surutka - sok od mrkve podešena je na 6.50 sa 2.0% (w/v) vodenim rastvorom natrijum - bikarbonata (NaHCO₃, Sigma - Aldrich, Australia). Formulisani uzorci su zatim inkubirani na 42 °C u vodenom kupatilu. Tokom inkubiranja, uzimani su uzorci (2 ml) svakih 1h za određivanje pH vrednosti. Fermentacija je završena nakon 4h pri vrednosti pH = $4,60 \pm 0,20$. Nakon 4h, fermentacija je zaustavljena naglim hlađenjem. fermentisani napitak čuvan je na 4 °C 28 dana. Analiza titracijske kiselosti (TA, °SH), pH vrednosti, određivanja broja živih ćelija

(log (CFU mL⁻¹)), sinerezisa (%), viskoznosti (cP), antioksidativne aktivnosti (%) i senzornih svojstava izvedena je pre fermentacije, nakon fermentacije i 0, 14 i 28 dana čuvanja. Nakon izvođenja proizvodnog procesa, izbor opreme i analiza cene koštanja proizvodnog procesa izvedene su korišćenjem programa SuperPro Designer 5.1. Software (Intelligen, Inc.).

3.3.2.3. Hemijske analize

Titracijska kiselost je određena po metodi Soxhlet-Henkel-a, [82], a pH vrednost je merena korišćenjem pH metra (Inolab, WTW 82362, Wellheim, Germany).

3.3.2.4. Mikrobiološke analize

Količina od 1 ml fermentisanog uzorka razbažen je sa 9 mL NaCl (0.85%, w/v) i uniformno izmešan. Nakon toga, pripremljene su serije razblaženja, pri čemu je broj živih ćelija određen Kohovom metodom sa agarnim pločama. MRS agar sa maltozom (MRSM) i anaerobna inkubacija na 37 °C u trajanju od 48h. su korišćene za određivanje broja živih ćelija probiotskih bakterija (*L. acidophilus* and *B. bifidum*), [83].

3.3.2.5. Teksturalna analiza

3.3.2.5.1. Viskoznost

Viskoznost je određena na temperaturi od 8°C, prema modifikovanoj metodi (Aryana & al), [84]. pomoću Brookfield DV II+ Pro viskozimetra (Brookfield Engineering Lab Inc., Stoughton, MA), primenom spindle SP N°61 pri brzini 10 rpm. Viskoznost svakog uzorka je merena u trajanju od 30s što je bilo dovoljno za prikupljanje oko 70 vrednosti viskoznosti. Nakon toga je izračunata srednja vrednost viskoznosti svakog uzorka. Krajnja vrednost viskoznosti, izražena u cP, je izračunata kao srednja vrednost 3 ponavljanja za svaki uzorak.

3.3.2.5.2. Sineresis

Sineresis fermentisanih uzoraka određen je po metodi M.K. (Keogh et al),[85]. Fermentisani uzorci količine od po 20.0 mL su centrifugirani na 1000 rpm u trajanju od 10 min na temperaturi 4 ± 1 °C. Sakupljeni dekantovani supernatant je izmeren a sineresis je izračunat po jednačini:

$$\text{Sineresis (\%)} = \frac{\text{Masa supernatanta}}{\text{Masa fermentisanog uzorka}} \times 100\%$$

3.3.2.6. Senzorna analiza

Senzorna analiza fermentisanog napitka vršena je nakon 0,14 i 28 dana čuvanja prema modifikovanoj metodi (Hemsworth & al.), [86]. Na uzorku od 55 neobučanih panelista, 35 žena i 20 muškaraca, između 25 - 55 godina zaposlenih na fakultetu, uključujući profesore, studente i osoblje, koji su slučajno izabrani i pozvani da učestvuju u senzornoj oceni fermentisanih napitaka na bazi surutke. Na osnovu ukupne prihvatljivosti participanti su ocenjivali prihvatljivost dva fermentisana napitka: WM i WC. Svaki upitnik se sastojao od sledećih podataka: ime, starost, pol i opšta prihvatljivost za sva četiri proizvoda.

Uzorci su servirani na 4 ± 1 °C, i u pojedinačnim plastičnim čašama označenim sa 3 broja, a svaki panelista je ocenjavao uzorke od 20 mL. Participantima su data 2 uzorka u isto vreme, koja su bila na temperaturi 4 ± 1 °C, olovka, upitnik i čaša hladne vode da bi isprali ukus između dva uzorka.. Oni su zamoljeni da označe vrednost u upitniku na skali Skala je reprezentovala da li I koliko im se dopada ili ne dopada I svaki od četiri uzorka u pogledu opšte prihvatljivosti, koristeći skalu sa 9 tačaka, gde je 1 =ekstremno neprihvatljiv; 5 = ni dopada, ni ne dopada i 9 = ekstremno dopada. Senzorna analiza sastojala se od 110 upitnika podeljenih u 4 celine (4 perioda čuvanja). Pre služenja ovih uzoraka u cilju procene higijenskih i sanitarnih uslova proizvoda, određen je broj kvasaca, plesni i koliformnih bakterija u njima.

3.3.2.7. Antioksidativna aktivnost

Antioksidativna aktivnost fermentisanih napitaka na bazi surutke određena je sposobnošću inhibicije DPPH (1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl) radikala, koja je merena prema modifikovanoj metodi (Balakrishnan & al.), [87]. Osnovni rastvor 0.1 mM DPPH (Sigma-Aldrich, Australia) pripremljen je rastvaranjem u metanolu. Nakon 4h fermentacije, uzorci su macerirani u metanolu i centrifugirani na 8000 rpm u trajanju od 20 minuta na temperaturi od 4 °C. Metanolu (1.5 mL) i DPPH (1.0 mL) su dodati u supernatant (0.5 mL). Kontrolni uzorak je pripremljen mešanjem metanola (1.5 mL) i DPPH (1.5 mL), pri čemu je metanol korišćen kao slepa proba. Smeša je držana u mraku 30 min na sobnoj

temperaturi. Antioksidativna aktivnost ja određena na apsorbanci od 517 nm. Sposobnost inhibicije slobodnih radikala određuje se na sledeći način:

$$\text{DPPH aktivnost (\%)} = \left[\frac{A_c - A_a}{A_c} \right] \times 100$$

gde je: A_a i A_c apsorbance uzorka i kontrolnog uzorka.

3.3.2.8. Statistička analiza

Eksperimenti su izvedeni u triplikatu. Sve vrednosti su izražene sa \pm standardnom devijacijom. Za statističku analizu korišćen je program two-way ANOVA, a za poređenje rezultata korišćen je The Tukey post hoc test (Origin Pro 8 (1991-2007), Origin Lab Co., Northampton, USA). Razlike pri poređenju mogu se smatrati značajnim za $P < 0.05$.

3.3.3. Rezultati i diskusija

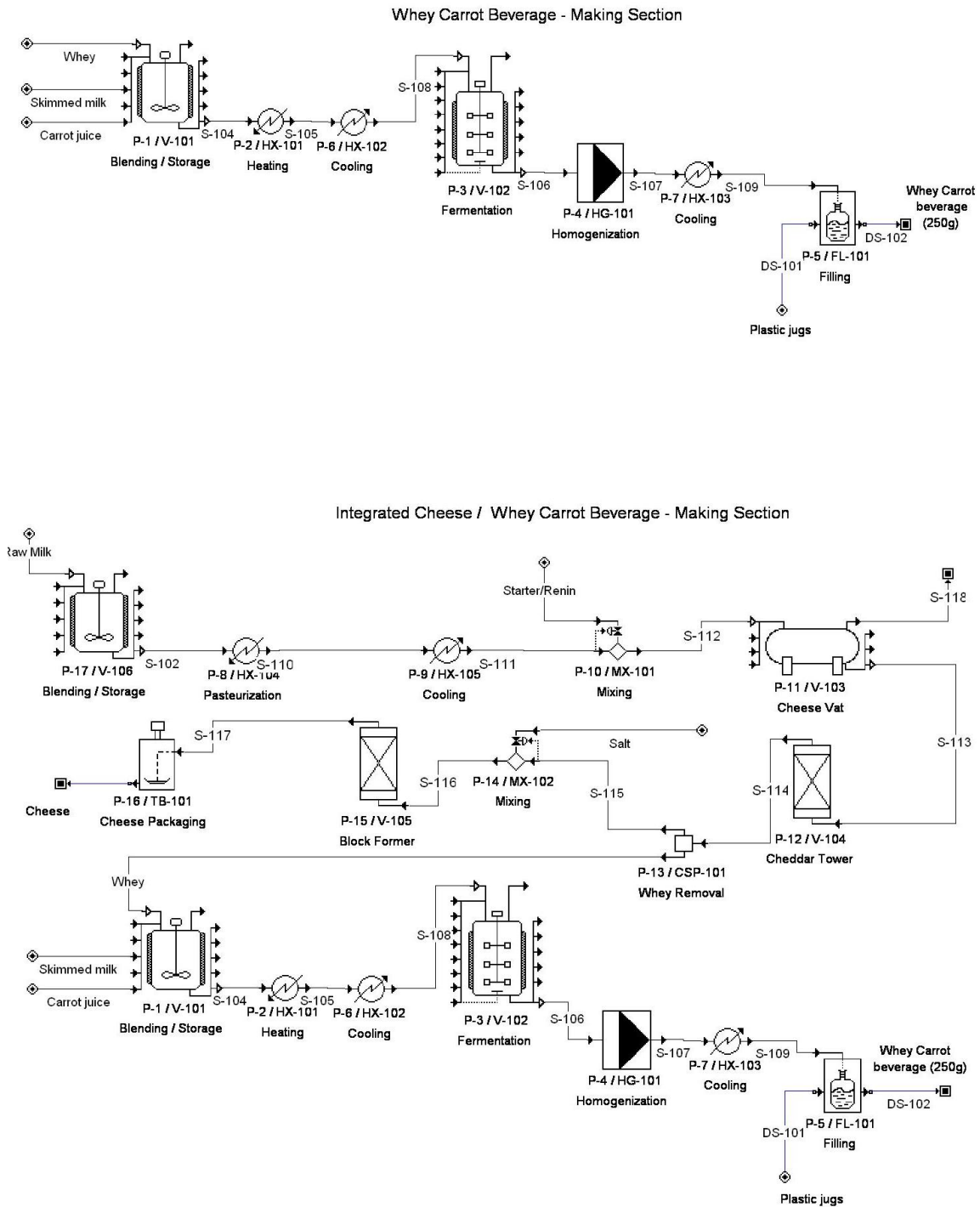
3.3.3.1. Tehnološki pristup

3.3.3.1.1. Simulacija – Proizvodnja surutka- mrkva napitka

Sastav surutke, mleka i soka mrkve korišćen u ovoj simulaciji je prethodno razmatran u poglavlju 3.3.2.1. Ovaj proizvod se može direktno primeniti u ljudskoj ishrani i celokupni proces proizvodnje nema štetnog uticaja na životnu sredinu. Glavne karakteristike pojedinačnih operacija uključene su u scenario za WCB gde predstavljaju sekcije za WCB i koje su navedene u tabeli 11, dok je pojednostavljeno predstavljanje preko dijagrama toka za WCB i integrisani proces proizvodnje sira i WCB prikazan na slici 25.

Tabela 11. Glavne karakteristika operacija uključenih u proces proizvodnje WCB.

Oznaka	Opis	Detalji
V-101	Mešanje/Rezervoar za skladištenje	Izlazna temperatura 4°C
HX-101	Grejanje/Pasterizacija	Izlazna temperatura 60 °C Vreme boravka 1h
HX-102	Hlađenje	Izlazna temperatura 42 °C
V-102	Fermentacija	Izlazna temperatura 42 °C Vreme boravka 2.5h
HG-101	Homogenizacija	Izlazna temperatura 42°C Vreme boravka 1h
HX-103	Hlađenje	Izlazna temperatura 10 °C
FL-101	Punjenje	25 kW Operativna snaga



Slika 25. Pojednostavljeni dijagram toka proizvodne linije napitka od surutke i mrkve i integrisana proizvodnja sira /napitka od surutke i mrkve

3.3.3.2. Tehno-ekonomska analiza

Ekonomska analiza proizvodne linije napitka od surutke i mrkve (WCB) razmatra se kroz pretpostavke vezane za cenu/ulazne troškove, kao i druge proizvodne troškove (Tabela 12. i 13.).

Table 12. Zbirna cena sirovina (u US\$/kg)

Sirovine	Cena(US\$/kg)
Surutka	0.00
Mleko	0.36
Sok mrkve	4.86

Izvor: Na osnovu trenutnih cena (u 2016.) u nacionalnim trgovinama.

Table 13. Zbirni godišnji operativni troškovi (u US\$/ godini)

Stavke troškova	US\$/godina	%
Sirovine	634.406.000,00	94.40
Rad	881.000,00	0.13
Troškovi objekta	17.903.000,00	2.66
Laboratorija	132.000,00	0.02
Potrošni material	15.840.000,00	2.36
Odlaganje otpadnog materijala	0.00	0.00
Komunalije	2.964.000,00	0.43
Ukupno	672.126.000,00	100.00

Izvor: Obračun na osnovu trenutnih cena u nacionalnim trgovinama

Nakon detaljnog istraživanja tržišta, očekivanje je da bi se napitak od surutke i mrkve (WCB) mogao pokrenuti kao proizvod u maloprodajnim objektima s prodajnom cenom od najmanje 1.35 US \$/bočice (250 ml boca). Prema obimu proizvodnje, uspostavljanje integrisanog postrojenja WBC (Slika 25.) omogućiće optimalan proizvodni kapacitet od 1.584.001.147 boca godišnje. Izgradnja i implementacija pomenutog objekta zahteva određena ulaganja, koja struktura se može videti u sledećoj tabeli (Tabela 14.).

Tabela 14. Struktura ulaganja u integrisani objekat WBC (u US \$)

Investicioni element	US\$
A. Ukupni fabrički direktni troškovi (TPDC = Σ 1 to 9)	75.096,000
1. Troškovi nabavke opreme	23.456.000
2. Instalacija	7.544.000
3. Procesni cevovodi	8,209.000
4. Merna oprema	9.382.000
5. Izolacija	704.000
6. Električna oprema	2.346.000
7. Objekti	10.555.000
8. Uređenje zemljišta	3.518.000
9. Pomoćni objekti	9,382,000
B. Ukupni indirektni troškov industrije (TPIC = 10+11)	45.058.000
10. Projektovanje	18.774.000
11. Izgradnja	26.284.000
C. Ukupni troškovi postrojenja (TPC = A+B)	120.154.000
D. Direktni fiksni kapital (DFC = C+12+13)	138.177.000
12. Naknada za izvođenje radova	6.008.000
13. Troškovi ne predviđenih situacija	12.015.000
E. Obrtni kapital	65.373.000
F. Početni kapital	6,958.000
G. Ukupna investicija (D+E+F)	210.508.000

Izvor: Na osnovu trenutnih cena na nacionalnom tržištu i računarske simulacije

Pregled ekonomskih pokazatelja koji se odnose na analizirane investicije u određenim objektima može se videti u tabeli 15. U svrhu analize kvalitativne vrednosti indikatora izvedenih iz evaluacije ekonomske održivosti procesa proizvodnje sira /piće od surutke i mrkve, njihovim upoređivanjem sa indikatorima procesa dobijenim za proizvodnju samo sira i proizvodnju samo soka od surutke i mrkve.

Tabela 15. Pregled ekonomskih parametara postrojenja za analizirane modele

Parametri	Sir	Surutka- mrkva sok	Itegrisanje Sir/Surutka- mrkva sok
Ukupna investicija (US\$ - 10 ⁶)	32.570	157.620	210.508
Period otplate- PP (godina)	1.67	0.18	0.15
Sadašnja neto vrednost- NPV (US\$ - 10 ⁶)	112.218	6,463.88	10.464.04
Interna stopa povraćaja- IRR (%)	53.36	312.89	384.61

Izvor: Rezultati dobijeni kompjuterskom simulacijom u programu SuperPro Desinger

Pored činjenice veoma pozitivnog ekonomskog uticaja novoosnovanog postrojenja za preradu (Slika 25.), može se videti (Tabela 15.) da su svi navedeni procesi ekonomski održivi. Drugim rečima, procena o postrojenju za integrisanu proizvodnju sira / WBC-a je mnogo atraktivnija od drugih alternativa, omogućavajući, pri tome, do deset puta kraći period vraćanja ili nekoliko puta viših NPV i IRR vrijednosti.

Uspostavljeni pogon za preradu je ekonomski atraktivniji od određenih primera opisanih u literaturi, [88]. Štaviše, proces proizvodnje WCB je sasvim isti procesu proizvodnje jogurta koji već postoji u mnogim mlekarskim objektima, tako da će njegova integracija praktično zahtevati zanemarljive investicije, što će dovesti do direktne ekonomske koristi.

3.3.3.3. Ekološka opravdanost korišćenja surutke

Do sada je surutka uglavnom ispuštana u kanalizaciju, što je obično vo dilo do ozbiljnih ekoloških problema, a jedan od njih je što je suva materija surutke sastavljena od visoko reaktivne, organske materije. Tačnije, glavne komponente surutke su lactoza (4.6%), rastvorni proteini (0.8%) i lipidi (0.6%). Neke procene pokazuju da mlekare koje prerade 100 t mleka po danu stvore i otpadne vode sa istom količinom organske materije, [89].

Prema pomenutom, usled svojih bioaktivnih karakteristika, neka istraživanja su fokusirana na izolaciju i korišćenje surutkinih proteina u ljudskoj ishrani. Osim toga, njihova primena u ne-prehrambenom sektoru je zanemarljiva. Međutim, laktoza može da se koristi u farmaceutskoj industriji, prehrambenoj industriji za bebe, u pekarskoj kao kolorant ili poboljšivač ukusa (butanol), ili kao izvora obnovljive energije (metan i etanol) hidrolizom i fermentacijom njenih monomera, [88, 90].

Na početku dvadesetog veka, mlečna industrija se srela sa velikim problemom koji se odnosio na adekvatan tretman surutke kao industrijskog otpada. Uzrokovano time, tokom dvadesetog veka, da bi se zaustavilo iracionalno korišćenje surutke, mnoga istraživanja su bila usmerena na prihvatanje surutke (prihvatanje iz ekonomskih, kao i socijalnih (rastući nedostatak hrane na globalnom nivou) i sa aspekta zaštite (veliki zagađivač). Osim toga, povećanje globalne populacije, kao i poboljšanje socijalno-ekonomskih uslova u narednom periodu će nastaviti smanjenje mlečnih proizvoda i mlečnih dodataka, [91].

Veliki potencijal surutke kao polutanata vidi se u hemijskoj potrošnji kiseonika (COD) i biohemijskoj potrošnji kiseonika (BOD). Ove vrednosti su samim tim navedeni indikatori za pouzdane mere nivoa zagađenja životne sredine. Njihove vrednosti za surutku, prema [89], mogu varirati u sledećim rasponima:

- Za BPK: 30,000 - 50,000 mg/l
- Za HPK: 60,000 - 80,000 mg/l

Vrednost BPK se može iskazati kao masa kiseonika (u kg) koja je potrebna bakterijama da razgrade prisutna organska jedinjenja. U ovom slučaju, za 1kg sira potrebno je 0.2kg BPK.

Biohemijska potrošnja kiseonika se nalazi u okviru vrednosti za HPK i zauzima 50% i više od celokupne vrednosti hemijske potrošnje, što se može zaključiti da se najviše kiseonika utroši upravo za biorazgradnju organskih materija i to najvećim delom proteina i laktoze. Zbog toga, tendencija korišćenja surutke u isto vreme je i tendencija za bolje korišćenje ovih ekoloških zagađujućih komponenti.

Upotreba surutke dobijene pri proizvodnji sira i kazeina, može se iskoristiti u proizvodnji funkcionalnih i hranjivih napitaka. Proteini i laktoza, koji bi inače bili tretirani kao komponente otpadnog materijala surutke i veoma opasni uzročnici kontaminacije, na ovaj način bi bili u potpunosti iskorišćeni, [89].

3.3.3.4. Kvalitativna ocena

3.3.3.4.1. Hemijska i senzorna ocena

Titracijska kiselost i pH vrednost su glavni parametri koji imaju presudan uticaj na prihvatljivost fermentisanih napitaka koji određuje da li napici zadovoljavaju neophodan kriterijum za proizvode iz ove grupe. Mlečna kiselina je glavna komponenta koja ima značajan uticaj na ukus fermentisanih mlečnih proizvoda.

Na osnovu podataka u literaturi [92, 93], titracijska kiselost iznad 53 °SH je označena kao kiselost koja uzrokuje nepoželjan i neprihvatljiv kiseo ukus proizvoda na bazi surutke. Kao što je pokazano u tabeli 1, nakon 4h fermentacije pH vrednost je $4.40 \pm 0,20$ u oba uzorka. Kao što je pokazano, uzorak sa sokom mrkve (WCB) imao je višu pH vrednost (4.60 ± 0.06), nakon fermentacije, kao i tokom celokupnog perioda čuvanja, dok je uzorak surutka i

mleko, WMB, imao pH vrednost 4.40 ± 0.04 . Ovi rezultati su u skladu sa nižom titracijskom kiselošću uočenom kod uzorka WCB ($20,0 \pm 0,1$ °SH) u odnosu na uzorak WMB ($23,2 \pm 0,2$ °SH) nakon fermentacije, kao i tokom celokupnog perioda čuvanja. To se može objasniti i razlikama u fermentativnoj aktivnosti ABY-6 kulture u supstratu, što je posledica različitog sadržaja ugljenih hidrata i proteina u njima.. Na osnovu tih zapažanja, može se zaključiti da metabolička aktivnost kulture ABY-6 više odnosi na produkciju vrednih metabolita, a manje na mlečnu kiselinu. Međutim, uočeno postepeno smanjenje pH vrednosti i titracijske kiselosti u svim uzorcima tokom perioda čuvanja ne dovodi do neočekivanih vrednosti ovih parametara.

Poređenjem parametara kvaliteta nakon fermentacije(0 dana), može se uočiti da uzorak WCB ima niži sinerezis i viskoznost ($64.7 \pm 0.40\%$, $2,693 \pm 0,014$ cP) u poređenju sa napitkom WMB ($67.5 \pm 0.70\%$, $2,702 \pm 0,012$).

Prikazani rezultati ukazuju da suplementacija sa sokom mrkve utiče na viskoznost i sinerezis proizvedenih napitaka, ali nema dramatičan negativni uticaj na strukturu napitka, odnosno krucijalan uticaj na teksturu proizvoda ima formiranje proteinskog matriksa. Sličan trend u parametrima kvaliteta uočen je i kod ukusa napitka WCB, tokom praćenog perioda čuvanja. Zato, tokom celokupnog perioda čuvanja, napitak WCB ispoljava i zadržava bolje parametre kvaliteta nego napitak WMB.

Pri tome, sinergističkim efektom, prijatnim ukusom soka od mrkve i nižom kiselošću kod uzorka WCB, postiže se viša senzorna ocena (tabela 16.) u svim tačkama analize. Može se reći da sok mrkve značajno doprinosi boljim senzornim utiscima proizvedenog napitka. Maksimalna senzorna ocena dobijena je za uzorak WCB je 8.97 ± 1.21 nakon fermentacije, a nakon 14 dana čuvanja je 8.51 ± 1.32 .

Poređenjem parametara kvaliteta napitka WCB (40% surutka, mleko 30.0% i 30.0% sok mrkve) i napitka WMB (70% surutka i mleko 30.0%) može se zaključiti da dodatak 30.0% soka mrkve značajno poboljšava senzorne kvalitete funkcionalnih fermentisanih napitaka na bazi surutke.

Table 16. Hemijski i senzorni parametri kvaliteta napitka surtka-mleko (WMB) i surutka-mrkva (WCB)

Parametri kvaliteta	Uzorak	Vreme čuvanja, dani			
		Pre fermentacije	0	14	28
pH vrednost	WMB	6,50 ± 0,01	4,40 ± 0,04	4,10 ± 0,01	3,88 ± 0,03
	WCB	6,50 ± 0,02	4,60 ± 0,06	4,49 ± 0,03	4,47 ± 0,05
Titracij. kiselost (°SH)	WMB	4,43 ± 0,06	23,2 ± 0,20	30,6 ± 0,30	31,2 ± 0,20
	WCB	4,80 ± 0,04	20,0 ± 0,10	22,6 ± 0,50	25,2 ± 0,10
Sineresis (%)	WMB	100,0 ± 0,00	67,5 ± 0,70	75,1 ± 0,75	78,3 ± 0,76
	WCB	90,0 ± 0,00	66,7 ± 0,70	72,1 ± 0,72	75,3 ± 0,68
Viskoznost (cP)	WMB	1,353 ± 0,022	2,702 ± 0,012	2,835 ± 0,023	2,953 ± 0,026
	WCB	1,553 ± 0,011	2,693 ± 0,014	2,793 ± 0,042	2,981 ± 0,019
Senzorna ocena	WMB	6,51 ± 1,01	8,52 ± 1,01	8,40 ± 1,15	8,12 ± 1,13
	WCB	7,41 ± 1,45	8,97 ± 1,21	8,51 ± 1,32	8,28 ± 1,41

3.3.3.5. Nutritivna ocena

3.3.3.5.1. Mikrobiološka analiza i antioksidativna aktivnost

U nutritivnom smislu, funkcionalni fermentisani napici na bazi surutke mogu biti okarakterisani na osnovu funkcionalnih konstituenata koji doprinose njegovom nutritivnom kvalitetu, tabela 17.

Na osnovu rezultata koji se odnose na parametre nutritivnog kvaliteta proizvoda nakon fermentacije (0 dana), uočava se da je antioksidativna aktivnost ($90.5 \pm 0.09\%$) WCB napitka značajno viša u odnosu na WMB napitak ($46.0 \pm 0.07\%$).

Dobijeni rezultati su u saglasnosti sa literaturom, i može se objasniti visokim antioksidativnim kapacitetom nutrijenata prisutnih u soku od mrkve, što takođe dovodi do veće proteolitičke aktivnosti ABY-6 kulture,[94, 95, 96]. Upravo isti trend razlika u vrednostima antioksidativnih aktivnosti, u korist napitka WCB, zabeležen je tokom celog perioda skladištenja. Dovoljno održiv broj ćelija (u opsegu 8.65-8.80 log (CFU/mL)) je postignuto u oba uzorka nakon fermentacije, kao i u toku celog perioda skladištenja. Ostvareni broj preživelih ćelija bio je veći od brojanja prijavljenih u prethodnim studijama, [97, 98] koji se odnose na rast bakterija u surutku, što se može objasniti obiljem hranljivih sastojaka u formulisanom supstratu koji potiče od soka od mrkve. Tako, tokom svih 28 dana skladištenja, napitak WCB pokazuje i održava vrhunski nutritivni kvalitet u poređenju

sa napitkom WMB. Iz gore navedenih nalaza može se zaključiti da dodavanje 30,0% soka sa mrkvom u formulaciji koja sadrži 40,0% surutke i 30% mleka dovodi do značajnog poboljšanja nutritivnog kvaliteta pića.

Table 17. Nutritivni parametri kvaliteta surutka-mleko (WMB) i napitka surutka-mrkva (WCB)

Parametri kvaliteta	Uzorak	Vreme čuvanja, dani			
		Pre fermentacije	0. dan	14. dan	28. dan
Antioksidativna aktivnost, (%)	WMB	15,0 ± 0,07	46,0 ± 0,07	38,1 ± 1,09	39,8 ± 0,08
	WCB	76,1 ± 0,05	90,5 ± 0,09	87,2 ± 1,03	94,6 ± 0,07
Broj živih ćelija, (log (CFU/mL))	WMB	6,61 ± 0,123	8,65 ± 0,132	8,46 ± 0,143	8,19 ± 0,116
	WCB	6,41 ± 0,154	8,66 ± 0,182	8,80 ± 0,187	8,20 ± 0,134

3.3.6. Zaključak

Integrirani proizvodni proces proizvodnje sira/napitak surutka i mrkva ima veću ekonomsku održivost nego osnovni proces proizvodnje sira. Zbog odličnih ekonomskih pokazatelja, integrirani proces proizvodnje sira/napitak surutka i mrkva omogućuje brži povraćaj kapitala od 0,15 godina (PP), sa višom NPV od 10.464.04\$ i IRR sa vrednostima od 384,61%.

Postrojenje koje istovremeno proizvodi sir i napitak od surutke i mrkve je ekonomski atraktivnije u poređenju sa postrojenjem koje proizvodi samo sir. Dobijeni napitak od surutke i mrkve imao je sledeće kvalitativne karakteristike: antioksidativna aktivnost 90.5%, broj živih ćelija 8.66 log (CFU/mL), pH vrednost 4.60, titracijska kiselost 20.0 °SH, sineresis 66.7%, viskoznost 2.693 cP i senzorna vrednost 8.97 sa velikom potencijalom za prihvatljivost kod potrošača. Integracijom linije za proizvodnju napitka u proizvodni proces dobijanja sira, nudi proizvod sa poboljšanim kvalitetom, koji uz to može zadovoljiti sofisticirani ukus potrošača i povećati profit mlečne industrije.

3.4. TEHNO-EKONOMSKA ANALIZA ISPLATIVOSTI POSTROJENJA ZA PROIZVODNJU BIOAKTIVNIH HIDROLIZATA PROTEINA SURUTKE

(EKSPERIMENT 3)

3.4.1. Uvod

Surutka koji nastaje u procesu proizvodnje sira je veoma značajan otpadni proizvod mlečne industrije, zbog veoma bogatog nutritivnog sastava, koji u procesima prerade mleka nastaje u veoma velikim količinama. Surutka sadrži više od polovine suve materije prisutne u mleku, uključujući proteine surutke (20% ukupnih proteina) kao najatraktivnijeg sastojka. Zbog širokog spektra bioaktivnosti (antioksidativne, antihipertenzivne, antitumorske, hipolipidemične, antivirusne i antibakterijske, [99] i odličnih funkcionalnih svojstava (npr. visoka rastvorljivost, apsorpcija vode, gelatinizacija i kapacitet emulgovanja), [100] surutka se može smatrati veoma vrednim nusproizvodom sa širokim mogućnostima primene u prehrambenoj i farmaceutskoj industriji, [101].

Sa stanovišta mogućnosti valorizacije mogu se razmotriti dve različite opcije u iskorišćavanju surutke: prva se zasniva na primeni enzimske tehnologije za iskorišćavanje veoma vrednih jedinjenja surutke kao što su proteini, dok se druga opcija zasniva na primeni fermentacionih procesa kako bi dobili proizvodi sa dodatom vrijednošću.

Trenutno, procesi prerade koji se primenjuju za valorizaciju surutke, a predstavljaju preferencijalnu opciju za tretiranje ovog nusproizvoda, nadograđeni su samo proizvodnjom surutke u prahu i koncentrata proteina surutke, [102]. Zbog činjenice da pojedinačni proteini surutke imaju svoje jedinstvene nutritivne, funkcionalne i biološke karakteristike [103], najnovija istraživanja u ovoj oblasti skreću pažnju na mogućnost sinteze širokog spektra bioaktivnih jedinjenja izvedenih iz proteina surutke, [104, 105].

Postoje različiti načini za oslobađanje bioaktivnih peptida iz proteina prekursora i matičnih proteina surutke. Pored kisele ili alkalne hidrolize, proteini surutke se mogu hidrolizovati pomoću želudačnih i pankreasnih enzima, kao i starter kultura (bakterija mlečne kiseline) koje su sposobne da sintetizuju najmanje 16 različitih bioaktivnih peptidaza, [106]. Kontrolisana hidroliza proteina surutke modifikuje funkcionalne karakteristike proteina surutke i obezbeđuje visoku rastvorljivost bioaktivnih peptida, [107].

Generalno, bioaktivni peptidi surutke mogu se sintetizovati u šaržnom, kontinualnom i membranskom bioreaktoru (pričvršćenom membranom na spoljnjem ili unutrašnjem kraju reaktora).

U procesu proizvodnje bioaktivnih peptida surutke u šaržnom reaktoru postoji nekoliko problema, vezanih uglavnom za inhibiciju supstratom ili proizvodom, kao i prečišćavanje bioaktivnih peptida iz fermentisane suspenzije [108], tako da kontinualni procesi predstavljaju mnogo poželjnije procese sa stanovišta industrijske upotrebe.

Osnovni cilj istraživanja vezanih za proizvodnju bioaktivnih peptida surutke primenom procesa hidrolize jeste njihova komercijalizacija, što predstavlja osnovni nedostatak dosadašnjih istraživanja i glavnu prepreku u razvoju ove oblasti. Zato su za komercijalizaciju bioaktivnih hidrolizata proteina surutke potrebna sveobuhvatna istraživanja poslovnih slučajeva, koji podrazumevaju jasno razumevanje tržišne situacije, razvoj tržišne strategije, analizu tehničkog plana rada, menadžmenta i osoblja, pravnih pitanja, pripremu plana finansiranja, akcionog plana, analizu rizika i izlaznih mogućnosti.

Osnovne informacije za bilo koji poslovni plan za proizvodnju industrijskog kapaciteta podrazumeva analizu ekonomske opravdanosti procesa. Kroz analizu ekonomske opravdanosti neophodno je predhodno analizirati uticaj ključnih parametara proizvodnje, kao što su proizvodni kapacitet, troškovi opreme, troškovi sirovina, operativni troškovi i prodajna cena proizvoda na ukupnu investiciju, vreme otplate i perioda povraćaja uložениh sredstava.

Postoje brojne tehnike koje se mogu primijeniti za procenu ekonomske isplativosti ciljanog procesa. Simulacijski softver, kao što je SuperPro Designer, opremljen širokim spektrom procesa, je moćan alat koji se može koristiti za matematičko procenjivanje ekonomskih performansi procesa. Ovaj simulator procesa skraćuje vreme potrebno za razvoj procesa, omogućava poređenje alternativnih procesa i daje priliku za interaktivnu analizu velikog broja procesa u kratkom vremenu, [109]. SuperPro Designer se široko koristi za simulaciju industrijske proizvodnje raznih bio-proizvoda i analizu ekonomske opravdanosti takvih procesa, [110,111,112,113]. Međutim, po našem saznanju, analiza ekonomske opravdanosti procesa industrijske proizvodnje bioaktivnih hidrolizata proteina surutke još uvek nije urađena. Ovaj nedostatak bi trebalo prevazići u cilju komercijalizacije bioaktivnih hidrolizata proteina surutke kao veoma vrednih proizvoda. SuperPro Designer se u tom

cilju može primeniti za sprovođenje analize ekonomske opravdanosti procesa proizvodnje bioaktivnih proteina surutke na industrijskom nivou i uspostavljanja fundamentalnih znanja koja se odnose na poslovni plan procesa proizvodnje bioaktivnih hidrolizata proteina surutke.

Cilj ovog istraživanja bio je predstavljanje ekonomskog potencijala za razvoj mlečne industrije koji je zasnovan na valorizaciji surutke putem procesa proizvodnje hidrolizata bogatih antioksidansima i očekuje se da bude vrlo koristan u razvoju procesa proizvodnje bioaktivnih hidrolizata proteina surutke na industrijskom nivou.

3.4.2. Materijali i metode

3.4.2.1. Sirovine

U radu je korišćen koncentrat surutke (WPC, whey protein concentrate) sa 80.0% (w/w) proteina (DMV International, 5462 GE Veghel, Holandija). Rastvor WPC-a je pripreman kao 5.0% (w/w) suspenzija WPC-a u vodi. U radu je takođe korišćena surutka zaostala nakon proizvodnje sira (Imlek a.d., Beograd). Hemijski sastav te surutke čini: suva materija $9.8 \pm 0.03\%$ (w/v); proteini $2.6 \pm 0.012\%$ (w/v); masti $1.05 \pm 0.08\%$ (w/v) i laktoza $5.6 \pm 0.114\%$ (w/v).

3.4.2.2. Mikroorganizam i enzim

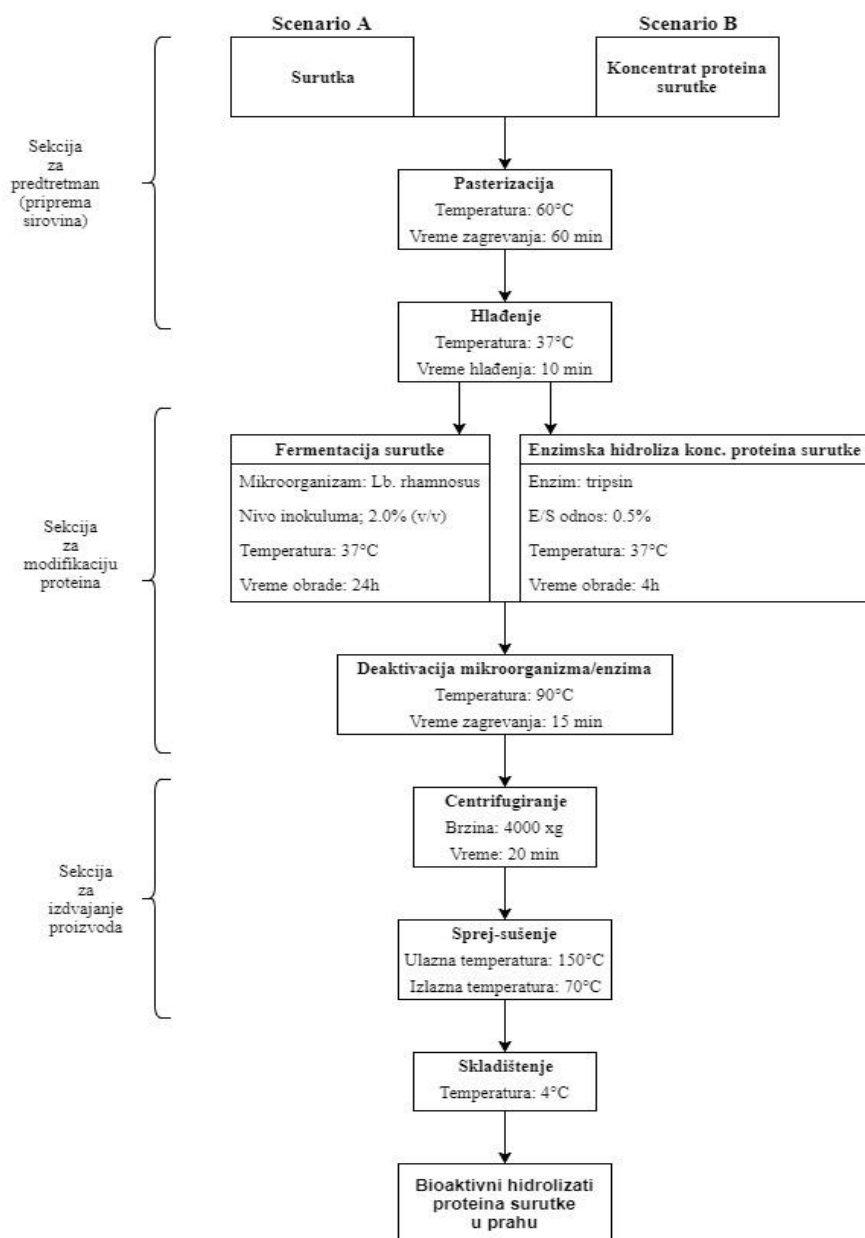
U radu je korišćen bakterijski soj *Lactobacillus rhamnosus* ATCC 7469 (Američka kolekcija kultura, ATCC, Rockville, SAD). Komercijalni enzim Tripsin (svinjski pankreas, EC 3.4.21.4) je nabavljen od Sigma-Aldrich Chemie GmbH (Steinheim, Nemačka).

3.3.2.3. Opis procesnog modela

U cilju prevođenja proteina surutke u proizvode sa dodatom vrednošću, za proizvodnju visoko kvalitetnih bioaktivnih hidrolizata proteina surutke (BHPS) koji ispoljavaju visoku antioksidativnu aktivnost korišćena je mikrobiološka i enzimaska transformacija proteina surutke.

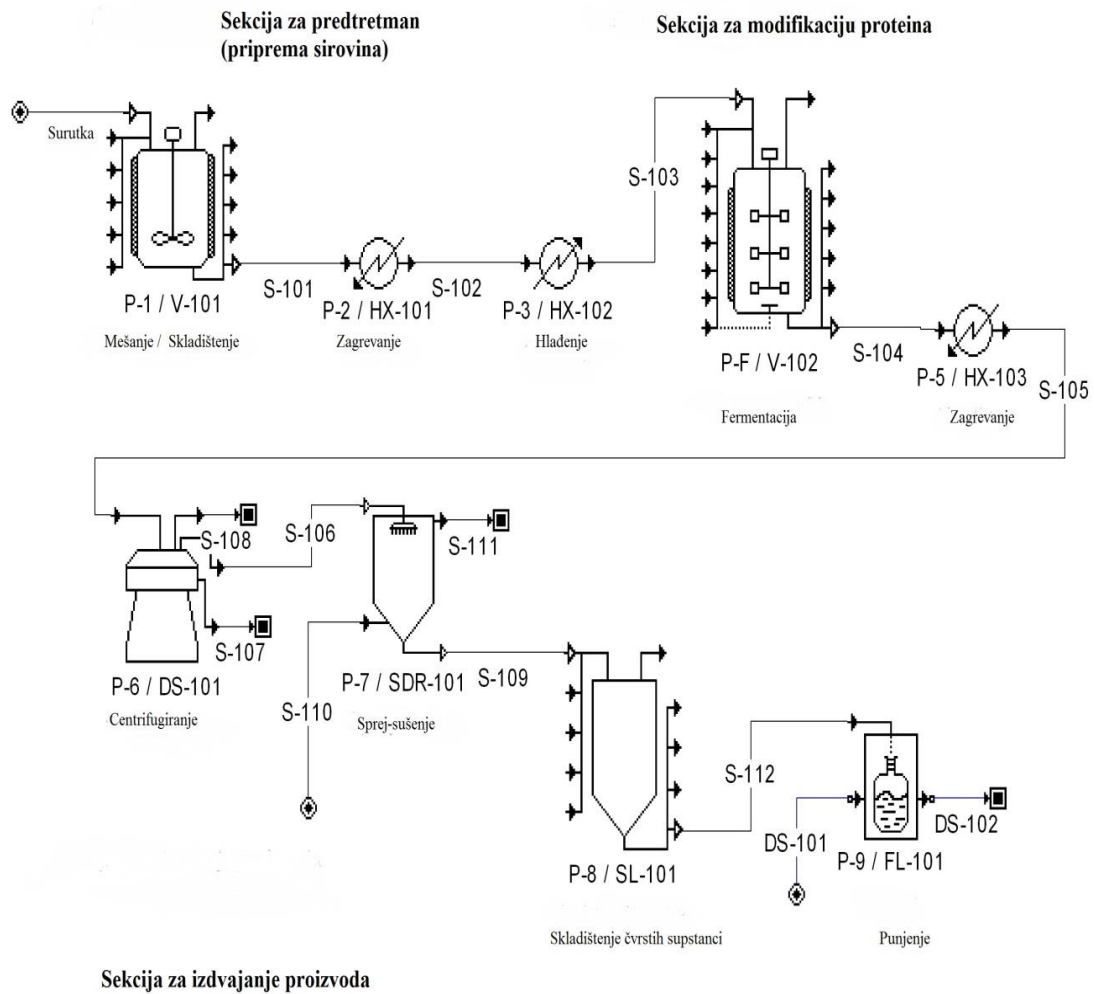
Istraživanje je fokusirano na enzimski i mikrobiološki proces modifikovanja proteina surutke. Proteini surutke se lako mogu modifikovati pri blagim uslovima temperature i pH vrednosti. Dostupnost različitih mikroorganizama i enzima iz različitih izvora omogućava proizvođaču da izabere najbolju opciju na osnovu željenog kvaliteta finalnog proizvoda. U

svrhu ovog istraživanja modelovana su dva moguća scenarija: *Scenario A*, koji podrazumeva korišćenje surutke i *Scenario B* koji podrazumeva korišćenje koncentrata proteina surutke kao izvora proteina. Oba procesa podrazumevaju tri koraka obrade: pred-tretman, modifikaciju proteina surutke i izdvajanje proizvoda. Svaki korak je optimizovan u prethodnom istraživanju autora, [114, 115]. Pojednostavljen dijagram toka za proces proizvodnje 96% (w/w) bioaktivnog hidrolizata proteina surutke prikazan je na slici 26.

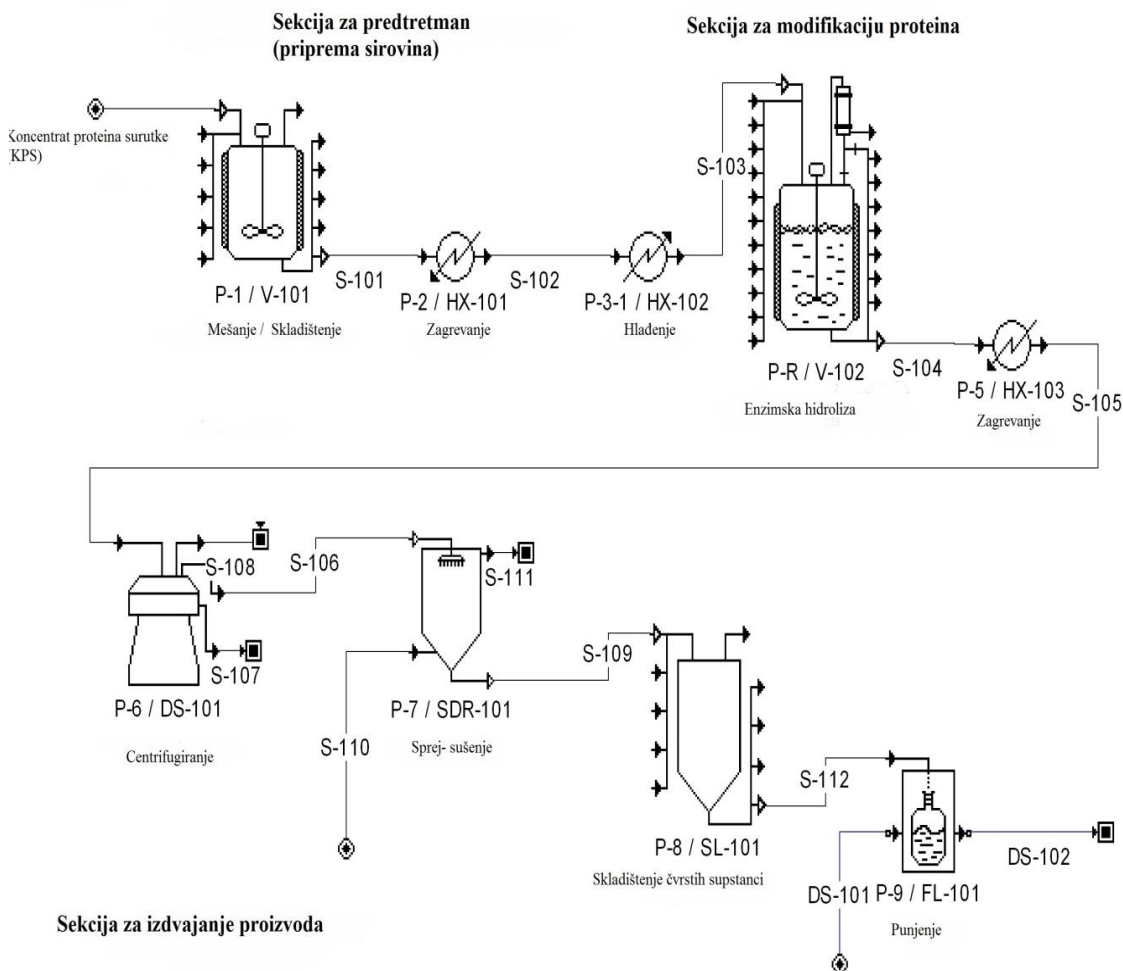


Slika 26. Pojednostavljen dijagram toka mikrobiološkog/enzimskog postupka obrade za proizvodnju bioaktivnih HPS.

Celokupni proces za oba scenarija, koji podrazumeva pred-tretman, modifikaciju proteina surutke i izdvajanje proizvoda, modelovan je primenom programa SuperPro Designer, i dijagram sa glavnim procesnim uređajima korišćenim u *Scenariju A* i *Scenariju B* prikazani su na slikama 27 i 28.



Slika 27. Šema procesa baziranog na korišćenju sirove surutke (scenario A)



Slika 28. Šema procesa bazirana na korišćenju koncentrata proteina surutke (scenarij B)

3.4.2.4. Opis procesa

Oba procesa počinju korakom koji podrazumeva pred-tretman sirovina. Svrha postupka pred-tretmana je priprema proteina surutke za naredni korak modifikacije. Da bi se isključila mogućnost spoljne kontaminacije, sirovina je pasterizovana na temperaturi od 60 °C tokom vremena od 60min primenom razmjenjivača toplote HX-101. Nakon pasterizacije, smeša je hlađena na temperaturi od 37 °C primenom razmjenjivača toplote HX-102, a zatim je transportovana u sekciju tj. jedinicu opreme u kojoj će se vršiti modifikacija proteina.

Proces modifikacije proteina u *Scenariju A* podrazumeva 24-časovni proces fermentacije koji se izvodi dodatkom 2.0% (v/v) inokuluma soja *Lb. rhamnosus* ATCC 7469 u jedinici

pod nazivom P-F/V-102 (Slika 26). Proces modifikacije proteina u *Scenariju B* podrazumeva 4-časovni proces enzimske hidrolize koja se izvodi primenom 0.5% (w/w) komercijalnog enzima Tripsin u jedinici pod nazivom P-R/V-102 (Slika 27). Oba procesa su izvedena na temperaturi od 37 °C, kao optimalnoj za aktivnost mikroorganizma i enzima. Oba procesa se prekidaju deaktiviranjem mikroorganizma ili enzima na temperaturi od 90 °C u toku 15 min, primenom razmjenjivača toplote HX-103. Nakon procesa modifikacije proteina smeša se transportuje u jedinicu za centrifugiranje (P-6/DS-101) da bi se podvrgla narednim koracima koji podrazumevaju izdvajanje proizvoda.

Tečni hidrolizat proteina surutke spada u veoma kvarljive proizvode zbog visokog sadržaja vode i proteina kao povoljnih supstrata za rast bakterija. Praškasta forma hidrolizata proteina surutke je mnogo povoljniji oblik ovog proizvoda koji prvenstveno lakši od tečnog oblika, što u mnogome olakšava njegov transport i omogućava duže vreme skladištenja. U jedinici u kojoj se vrši izdvajanje proizvoda bioaktivni hidrolizati proteina surutke su centrifugirani i suši u cilju proizvodnje BHPS u praškastom stanju.

Centrifugiranje je izvedeno na 4000 x g u trajanju od 20 minuta u jedinici pod nazivom P-6/DS-101, kako bi se hidrolizovana suspenzija razdvojila u dva sloja: rastvor hidrolizata proteina na vrhu i čvrsti sloj nehidrolizovanih proteina koji zaostaje na dnu. Nakon centrifugiranja, suspenzija hidrolizata proteina surutke je sušena u sprej sušaču tj. jedinici P-7/SDR-101 i skladištena na temperaturi od 4 °C (jedinica P-8/SL-101) do trenutka pakovanja. Krajnji proizvod bioaktivnih hidrolizata proteina surutke je prah kremasto-bele boje koji se odlikuje dobrom rastvorljivošću u vodi i željenim funkcionalnostima.

3.4.3. Rezultati i diskusija

3.4.3.1. Kapitalni troškovi

Ulaganje u fiksni kapital (FC) je novac potreban za plaćanje procesne opreme i pomoćnih jedinica, nabavku i pripremu zemljišta, civilne strukture, objekte i upravljačke sisteme. Sa druge strane, obrtni kapital (OK) je novac potreban za plaćanje operativnih troškova dok se proizvod ne proda, kao i novac potreban za skladištenje sirovina. U nastavku je prikazana procena troškova fiksnog kapitala. Fiksni kapital se procenjuje na osnovu ukupnih troškova nabavke opreme (PC). Metode koje se koriste za procenu troškova kapitala u ovim istraživanjima su odnos kapaciteta/veličine i ažuriranja korišćenjem indeksa troškova koji su definisani u programu SuperPro Designer.

Direktni fiksni kapitalni troškovi (DFC) odnose se na osnovna sredstva posmatrane investicije, kao što su postrojenja i oprema. Izračunava se na nivou odeljka procesa kao zbir direktnih, indirektnih i raznih troškova koji su povezani sa kapitalnim investicijama fabrike.

Direktni troškovi uključuju troškove koji su direktno povezani sa investicijom, kao što su troškovi opreme, procesne cevi, instrumenata, zgrade, postrojenja itd.

Indirektni troškovi uključuju troškove koji su indirektno povezani sa investicijom, kao što su troškovi inženjeringa i izgradnje.

Dodatni troškovi kao što su troškovi izvođača i nepredviđeni troškovi uključeni su u razne troškove. U ovim istraživanjima, opseg ukupnih DFC troškova iznosi 16-22 miliona dolara, u zavisnosti od scenarija koji se koristi i pojedinačnih troškovnih stavki koje su doprinele DFC troškovima, tabela 18.

Detalje o raspodeli kapitalnih troškova zajedno sa glavnim troškovima opreme izračunatim za osnovni kapacitet (1.000 kg/h) i prodajnu cenu proizvoda od 20 kg dati su u Tabeli 18.

Ukupni troškovi opreme za postrojenje za proizvodnju BHPS koji koristi *Scenario A* pri osnovnom kapacitetu od 1.000 kg/h iznose 3.6 miliona dolara.

Sa druge strane, ukupni troškovi opreme za postrojenje za proizvodnju BHPS koje koristi *Scenario B* pri osnovnom kapacitetu od 1.000 kg/h iznose 2,5 miliona dolara.

Približno 40% troškova opreme u *Scenariju A* je povezano sa fermentorskom jedinicom, dok je 20% troškova opreme za *Scenario B* povezano sa reaktorskom jedinicom.

Ukupni DFC troškovi za fabriku osnovnog kapaciteta (1.000 kg/h) iznose približno 21.6 miliona dolara za *Scenario A*, i 16.0 miliona dolara za *Scenario B*.

Ukupna kapitalna ulaganja, uključujući obrtni kapital, istraživanje i razvoj, troškove start-up-a i validacije su približno 22.9 miliona dolara za *Scenario A*, i 17.4 miliona dolara za *Scenario B*, što je približno 6.5 puta više od troškova nabavke opreme.

Tabela 18. Kapitalni troškovi fabričke proizvodnje bioaktivnih HPS u osnovnom slučaju

Stavke	Scenario A		Scenario B	
	Cena po jedinici (\$)	Troškovi (\$)	Cena po jedinici (\$)	Troškovi (\$)
Direktni trošak fiksnog kapitala (DFK)		21,608,000		15,981,000
Troškovi nabavke opreme		3.610.000		2,508,000
Rezervoar za mešanje	785.000	785.000	785.000	785.000
Razmenjivač toplote	1.000	3.000	1.000	3.000
Fermentor	1.383.000	1.383.000	0	0
Reakcioni sud	0	0	501.000	501.000
Disk-Stack Centrifuga	410.000	410.000	410.000	410.000
Sprej-sušnica	220.000	220.000	221.000	221.000
Skladišni rezervoar	86.000	86.000	86.000	86.000
Oprema koja nije na listi		722.000		502.000
Instalacija		1.347.000		1462.000
Procesni cevovodi		1.263.000		878.000
Instrumentacija		1.444.000		1,003.000
Izolacija		108.000		75.000
Električna oprema		361.000		251.000
Zgrade		1.624.000		1,129,000
Uređenje zemljišta		541.000		376,000
Pomoćni objekti		1.444.000		1,003,000
Projektovanje		2.936.000		2,177,000
Izgradnja		4,110,000		3,040,000
Naknada za izvođenje radova		939.000		695.000
Troškovi nepredviđenih situacija		1,879,000		1.390.000
Radni kapital		151,000		522.000
Troškovi pokretanja i validacije		1,080,000		799.000
Srestva namenjena za istraživanje i razvoj		100,000		100.000
Srestva namenjena za licence i franšize		0		0
Ukupna kapitalna ulaganja		22.940.000		17.402.000

3.4.3.2. Operativni troškovi

Sumirna distribucija operativnih troškova izračunatih za osnovni kapacitet od 1.000 kg/h i prodajnu cenu proizvoda od 20 \$/kg data je u Tabela 19. Troškovi postrojenja su najvažniji deo troškova i čine 71.05% od ukupnih operativnih troškova *Scenarija A*, dok u *Scenariju B* učestvuju sa 32.8% od ukupnih operativnih troškova.

Pri procesu projektovanja, gde nema prethodnog iskustva u korišćenju opreme, to se obično računa kao zbir troškova vezanih za održavanje opreme, smanjenje troškova osnovnog kapitala, troškovi kao što su osiguranje, lokalni porezi i eventualno drugi režijskih fabričkih troškova. Sirovine čine oko 0.1% i 45% ukupnih troškova za *Scenario A* i *Scenario B*, respektivno.

Troškovi rada zasnovani su na zbiru troškova rada za svaki pojedinačni postupak pomnoženih sa fiksnom cenom radne snage, koja je zasnovana na osnovnoj ceni rada, prilagođene za dodatnu vrednost, administraciju i drugo.

U razmatranim scenarijima učestvuju sa 14 -18%, kao što je prikazano u Tabeli 19. Prema distribuciji operativnih troškova, fabrika kapaciteta od 1.000 kg/h koja koristi *Scenario A* ima ukupne godišnje operativne troškove od 7.150.000 \$, uz troškove proizvodnje po jedinici proizvoda od 0.882 \$/god, dok fabrika koja koristi *Scenario B* ima ukupne godišnje operativne troškove od 9.140.000 \$, uz troškove proizvodnje po jedinici proizvoda od 0,055 \$/god.

Tabela 19. Osnovni operativni troškovi fabrike za proizvodnju bioaktivnih HPS

	Godišnji troškovi (\$ godina ⁻¹)		Jedinični troškovi (\$ g ⁻¹)		Procenat ukupnih operativnih troškova(%)	
	Scenario A	Scenario B	Scenario A	Scenario B	Scenario A	Scenario B
Sirovine	7,000	4,111,000	0.001	0.025	0.10	44.98
Radno zavisni	1,286,000	1,286,000	0.159	0.008	18.00	14.08
Održavanje postrojenja	5,078,000	2,997,000	0.626	0.018	71.05	32.80
Laboratorije	193,000	193,000	0.024	0.001	2.70	2.11
Komunalne usluge	372,000	342,000	0.046	0.002	5.21	3.74
Para	69,119	70,761				
Hladna voda	53,207	21,010				
Glikol	244,060	244,550				
Razno	200,000	200,000	0.025	0.001	2.80	2.19
Reklamiranje/Prodaja	10,000	10,000	0.001	0.000	0.14	0.10
Ukupni operativni troškovi	7,147,000	9,139,000	0.882	0.055	100	100

Troškovi sirovine su najvažnija tačka u *Scenariju B* i predstavljaju gotovo 45 % od ukupnih operativnih troškova. U *Scenariju A*, cena sirovine učestvuje sa samo 0.1 % jer surutka koja se koristi kao sirovina predstavlja glavni otpadni proizvod mlečne industrije sa cenom od 0.0 \$.

Troškovi postrojenja čine približno 71% ukupnih operativnih troškova u *Scenariju A* i približno 33% ukupnih operativnih troškova u *Scenariju B*. Troškovi laboratorijske opreme učestvuju sa 2.7 % i 2.11 % za *Scenario A* i *Scenario B*, respektivno.

Na osnovu obračunatih troškova može se pretpostaviti da je najskuplja tačka za *Scenario A* sam proizvodni proces (postrojenje), dok je za *Scenario B* to cena sirovine. Zbog gore opisane distribucije operativnih troškova može se reći da nulta cijena sirovina u *Scenariju A* potisnuta skupim postrojenjem potrebnim za obavljanje ciljanog proizvodnog procesa.

3.4.3.3. Tehno-ekonomska i analiza isplativosti

Osnovni kapacitet od 1.000 kg/h prerade surutke ili koncentrata proteina surutke rezultira proizvodnjom od 8.1 t/godini hidrolizata dobijenog fermentacijom surutke i 165.9 t/god. hidrolizata dobijenog hidrolizom koncentrata proteina surutke, sa sadržajem proteina od 96% (w/w). Dobijeni proizvodi se mogu smatrati bioaktivnim zbog visoke antioksidativne aktivnosti, čime se potvrđuje efikasnost proizvodnih procesa proučavanih u ovom radu.

Enzimaska modifikacija proteina surutke prema *Scenariju B* smanjuje ukupnu potrošnju energije proizvodnog procesa. Ukupna potrošnja energije u proizvodnim operacijama u *Scenariju A* iznosi 6.46 GW, dok je u *Scenariju B* ukupna potrošnja energije smanjena na 5,86 GW. Smanjenje od 9,1%, ukazuje na veću efikasnost *Scenarija B*. Energija je uglavnom smanjena zbog manje potrebe za električnom energijom u reaktorskoj jedinici (P-R) koja se koristi u delu za enzimsku modifikaciju proteina. S druge strane, upotreba enzima povećava količinu proizvedenog bioaktivnog hidrolizata proteina surutke sa 1.02 kg/h koliko se može dobiti primenom procesa fermentacije surutke, na 20.9 kg/h koliko se može dobiti primenom procesa enzimske hidroliza. Povećanjem za 95.1 % povećava se ekonomsku isplativost procesa proizvodnje bioaktivnog hidrolizata proteina surutke *Scenariju A* prema *Scenariju B*.

Rezultate ekonomske analize dati su u Tabela 20. Za fabriku sa osnovnim kapacitetom od 1.000 kg/h, ukupna kapitalna ulaganja iznose 22.940.000 \$ za *Scenario A* i 17.402.000 \$ za *Scenario B*. Pod pretpostavkom da je prodajna cena bioaktivnog hidrolizata proteina surutke 20 \$/kg, projekat ima internu stopu povraćaja (IRR) od 17.73 % za *Scenario A* i 230.55 % za *Scenario B*.

Tabela 20. Prikaz ekonomskih parametara fabrika za analizirane scenarie A i B

Parametar	Scenario A	Scenario B
Ukupna ulaganja (\$)	22,940,000	17,402,000
Direktni troškovi fiksnog kapitala (\$)	21,608,000	15,981,000
Operativni troškovi (\$/god.)	7,147,000	9,139,000
Bruto marža (%)	55,91	97,25
Povrat investicije (%)	32,66	1121,27
Period otplate (godina)	3,06	0,09
IRR nakon poreza (%)	17,73	230,55
NPV na 7% ($\$ \cdot 10^6$)	25,38	1635,5

Neto sadašnja vrednost (NPV) iznosila je oko 25.380.000 \$ za *Scenario A* i 1.635.600 \$ za *Scenario B* (uz diskontnu stopu od 7%). NPV je indikator isplativosti investicije tj. pokazatelj da li investicija može da donese profit. U ovom slučaju, NPV vrednost je pozitivna, što znači da investicija obezbeđuje priliv sredstava i stoga je projekat ekonomski isplativ i može biti prihvaćen i implementiran. Na osnovu ovih rezultata, projekat koji pretpostavlja *Scenario B* predstavlja mnogo atraktivniju investiciju u odnosu na *Scenario A*.

Analiza isplativosti je zasnovana na pretpostavkama da će fabrika sa projektovanim procesima biti izgrađena za 24 meseca, uz početak perioda gradnje od 4 meseca i životnom vekom projekta od 20 godina. Interna stopa povraćaja (IRR) se upoređuje sa minimalnom prihvatljivom stopom povraćaja (MARR). Kriterijum odluke za prihvatanje projekta jeste da IRR bude veća ili jednaka od minimalne prihvatljive stope povraćaja (MARR) od 12%, [116]. Kao što je prikazano u Tabeli 20 IRR vrednost za *Scenario B* (230.55%) je značajno veća nego za *Scenario A* (17.73%), što ukazuje na to da enzimaska modifikacija proteina surutke predstavlja izuzetno profitabilan proces u proizvodnji bioaktivnog hidrolizata proteina surutke.

Period povraćaja meri se vremenom (očekivani broj godina), koje je potrebno za povraćaj troškova investicije. Novčani tokovi se oduzimaju od troškova dok se ne dobije nulti ostatak. Što je kraći period povraćaja, projekat je atraktivniji.

Kompanije imaju neki maksimalni dozvoljeni period povraćaja u odnosu na koji se upoređuju sva ulaganja, a za nove proizvode ili tržišta ovaj period iznosi 6 godina, [116]. U ovim istraživanjima očigledno je da je *Scenario B* sa periodom otplate od 0.09 godina veoma povoljan projekat u poređenju sa *Scenarijem A* kod koga je potrebno najmanje 3 godine za oslobađanje novčanog ulaganja za druge namene.

Osim u finansijskom smislu, dobijeni rezultati su u skladu i sa navodima u literaturi koji ukazuju na enzimsku hidrolizu kao povoljniji proces transformacije protein proteina. Pankreasni enzim tripsin predstavlja enzim koji se može koristiti nekoliko puta (kroz recirkulaciju) za proizvodnju bioaktivnih peptida iz proteina surutke. Hidrolizat surutke dobijen primenom tripsina pokazuje 47.9 % veću antioksidativnu aktivnost u poređenju sa nehidrolizovanim proteinima surutke. Hidrolizat surutke dobijen primenom tripsina, koji se uglavnom sastoji od hidrofilnih (polarnih aprotičnih) antioksidativnih vrsta, ispoljava poboljšanu digestibilnost od 95.9 % i bioraspoloživost od 124.6 %, u poređenju sa nehidrolizovanim proteinima surutke. Pored toga, osim odličnih antioksidativnih svojstava, hidrolizat surutke dobijen primenom tripsina ima odlične funkcionalne osobine kao što su visoka sposobnost emulgovanja i stvaranja pene. Ova svojstva označavaju dobijeni hidrolizat surutke kao poželjnu sirovinu za prehrambenu industriju koja može zameniti proteine surutke kao tradicionalne aditive koji se koriste za obogaćivanje prehrambenih proizvoda, [115].

3.4.3.4. Analiza osetljivosti

Analiza osjetljivosti pruža investitorima, rukovodiocima fabrike a takođe i istraživačima uvid u vrednost kapitalne investicije postrojenja za proizvodnju bioaktivnog hidrolizata proteina surutke. Analiza je sprovedena programom SuperPro Designer u smislu proučavanja osetljivosti neto proizvodne vrednost (NPV) i period povraćaja investicije (PP) na promene u osnovnim parametrima kao što su: kapacitet proizvodnje 5 - 2.000 kg/h koristeći 1.000 kg/h kao osnovni kapacitet, prodajna cena 10 - 30 \$/kg bazirana na cenama pronađenim u literaturi) uz diskontnu stopu 7 - 15 %. Izračunate vrednosti NPV i PP sumirane su u Tabeli 21 za svaku specifičnu kombinaciju gore navedenih parametara koje

pružaju procenu profitabilnosti investicije, kao i da pri kapacitetu od 2.000 kg/h, oba scenarija generišu pozitivan NPV nezavisno od prodajne cene BHPs, izuzev *Scenarija A* pri ceni proizvoda od 10 \$/kg i diskontnoj stopi od 15 %.

Smanjenje kapaciteta od 1.000 kg/h generiše negativnu NPV vrednost za *Scenario A* pri prodajnoj ceni proizvoda od 10 \$/kg, dok NPV ostaje pozitivna za sve prodajne cene u *Scenariju B*, bez obzira na diskontnu stopu. Dalje smanjenje kapaciteta postrojenja na 500 kg/h generiše negativnu NPV vrednost za *Scenario A* za većinu prodajnih cena, osim za 30 \$/kg, bez obzira na diskontnu stopu. Pri tome NPV ostaje pozitivna za sve prodajne cene i diskontne stope u *Scenariju B*.

Table 21. Analiza osetljivosti za WPBH proizvodnih postrojenja za odgovarajući trošak kapitala, kapacitete i prodajne cene

Capacity, kg h ⁻¹	Sealing price, \$	Scenario A				Scenario B			
		Total Capital Investment, \$	NPV (\$'000) 7%	NPV (\$'000) 15%	PBP (years)	Total Capital Investment, \$	NPV (\$'000) 7%	NPV (\$'000) 15%	PBP (years)
5.0	\$10	9,436,174	-42,863	-27,344	10.000	7,768,152	-28,118	-18,633	10.000
	\$20		-42,517	-27,159	10.000		-21,044	-14,840	10.000
	\$30		-42,172	-26,976	10.000		-13,970	-11,047	69.34
10.0	\$10	10,100,455	-44,515	-28,511	10.000	7,966,990	-21,739	-15,294	10.000
	\$20		-43,823	-28,140	10.000		-7,689	-7,735	9.70
	\$30		-43,132	-27,769	10.000		2,185	-2,208	4.38
25.0	\$10	11,084,421	-46,459	-29,970	10.000	8,264,514	-3,121	-5,235	6.49
	\$20		-44,731	-29,043	10.000		17,930	6,016	2.20
	\$30		-43,003	-28,117	10.000		39,152	17,395	1.32
250	\$10	15,534,401	-44,887	-31,010	10.000	11,511,699	177,03	90,061	0.50
	\$20		-27,607	-21,744	68.33		389,25	203,850	0.24
	\$30		-11,312	-12,813	8.15		601,47	317,650	0.16
500	\$10	18,490,973	-37,212	-28,146	10.000	13,941,049	379,44	197,647	0.30
	\$20		-5,744	-10,807	6.30		803,88	425,230	0.14
	\$30		16,026	1,168	3.44		1,228,321	652,820	0.10
1000	\$10	22,940,305	-18,585	-19,826	8.73	17,402,068	786,68	414,670	0.18
	\$20		25,378	3,990	3.06		1,635,561	869,840	0.09
	\$30		66,851	26,228	1.86		2,484,442	1,325,000	0.06
1500	\$10	30,124,556	-10,291	-17,928	6.50	23,748,398	1,889,012	627,869	0.17
	\$20		51,444	15,072	2.53		2,462,211	1,310,600	0.08
	\$30		113,654	48,429	1.57		3,735,505	1,993,400	0.05
2000	\$10	33,546,302	3,218	-11,874	4.93	26,429,542	1,597,500	845,925	0.14
	\$20		85,084	31,731	2.03		3,295,300	1,756,300	0.07
	\$30		168,030	76,207	1.28		4,993,000	2,666,600	0.04

Smanjenje kapaciteta *Scenarija B* ispod 250 kg/h, značajno manje utiče na NPV koja ima pozitivnu vrednost čak i pri kapacitetu od 10.0 kg/h za prodajnu cenu proizvoda od 30 \$/kg i diskontnu stopu od 7%. Međutim, kapaciteti ispod 10 kg/h zahtevaju cenu

proizvoda veću od 30 \$/kg. Na osnovu ovih rezultata može se pretpostaviti da je *Scenario A* najpogodniji za velike pogone kapaciteta većeg od 1.000 kg/h, uz pretpostavku da je minimalna prodajna cena proizvoda 14.25 \$/kg za diskontnu stopu od 7% i 11.3 \$/kg za diskontnu stopu od 15%. S druge strane, *Scenario B* je primenljiv čak i za postrojenja malog kapaciteta od oko 25 kg/h, pod pretpostavkom minimalne prodajne cene proizvoda od 12.5 \$/kg i diskontnoj stopi od 7% odnosno 11.2 \$/kg pri diskontnoj stopi od 15%.

Pored toga, pri prodajnoj ceni od 30 \$/kg, postrojenje koje koristi *Scenario A* može postići pozitivnu NPV vrednost pri minimalnom kapacitetu od 500 kg/h koji odgovara periodu povraćaja od 3.44 godine. Smanjenje prodajne cene na 20 \$/kg zahteva povećanje kapaciteta na najmanje 1.000 kg/h, što s druge strane nema značajan uticaj na period povraćaja koji u tom slučaju iznosi 3.06 godina. Dodatno smanjenje prodajne cene proizvoda na 10 \$/kg zahteva kapacitet postrojenja od najmanje 2.000 kg/h pri čemu period povraćaja iznosi 4.93 godine. Prema tome, niska prodajna cena zahteva visok kapacitet i zahteva duži period povraćaja investicije. Kapaciteti ispod 500 kg/h zahtevaju prodajnu cenu proizvoda veću od 30 \$/kg. Povećavajući kapacitet postrojenja na 2.000 kg/h, pri prodajnoj ceni proizvoda od 30 \$/kg, period povraćaja se smanjuje na 1.28 godina. Na osnovu ovih rezultata, može se pretpostaviti da je *Scenario A* ekonomski isplativ samo za kapacitete postrojenja jednake ili veće od 1.000 kg/h pri prodajnoj ceni od najmanje 20 \$/kg.

Prodajna cena od 30 \$/kg u *Scenario B* stvara pozitivnu NPV vrednost čak i pri kapacitetu od 10 kg/h i diskontnoj stopi od 7%, dok diskontna stopa od 15% zahteva prodajnu cenu proizvoda veću od 30 \$/kg. Smanjivanjem prodajne cene na 20 \$/kg. i niže, *Scenario B* postaje ekonomski isplativ samo za kapacitete veće od 25 kg/h, bez obzira na diskontnu stopu. Zbog činjenice da povećanje kapaciteta na 250 kg/h i više, smanjuje period povraćaja na maksimalno 0.5 godina, *Scenario B* bi se mogao smatrati ekonomski isplativim za širok spektar kapaciteta.

Diskontna stopa je parametar koji ispoljava veliki uticaj na isplativost *Scenario A* pri kapacitetu od 2.000 kg/h koliko investitori planiraju nisku prodajnu cenu proizvoda od 10 \$/kg. Ova minimalna prodajna ceni i diskontna stopa od 7% ispoljavaju pozitivnu vrednost NPV (3,128,000 \$) dok diskontna stopa od 15% generiše negativnu vrednost NPV (-11,874,000 \$) i gura proces izvan granica isplativosti. Sa druge strane, diskontna stopa ispoljava veliki uticaj na isplativost *Scenario B* pri kapacitetu od 10 kg/h čak i ako investitori planiraju visoku prodajnu cenu proizvoda od 30 \$/kg. Ova prodajna cena i diskontna stopa

od 7% ispoljavaju pozitivnu vrednost NPV (2.185.000 \$) dok diskontna stopa od 15% generiše negativnu vrednost NPV (-2.208.000 \$) i gura proces izvan granica isplativosti.

Postoji generalno mali broj radova, [111,117] koji analiziraju ekonomsku isplativost procesa vezanih za preradu surutke. Usled nedostatka istraživanja koja procenjuju ekonomičnost proizvodnje bioaktivnih hidrolizata proteina surutke, bilo je neophodno izvršiti procenu realne finansijske isplativosti proizvodnje bioaktivnih hidrolizata proteina surutke u poređenju sa proizvodnjom koncentrata proteina surutke.

Na osnovu predstavljenih rezultata može se pretpostaviti da su oba scenarija proizvodnje bioaktivnih proteina proteina surutke (BHPS) isplativija od onih koje su u literaturi prikazali de Silva i sar. 2015. [111], a odnose se na proizvodne modele dizajnirane za transformaciju surutke u vredne proizvode kao što su koncentracije proteina surutke (WPC 34 i WPC 80), etanol i laktoza u prahu.

Prema navodima de Silva i sar. 2015, integracija etanola i laktoze u proces proizvodnje koncentrata proteina surutke (WPC 34 i WPC 80) dovodi do znatno veće isplativosti ovih procesa u poređenju sa samostalnom proizvodnjom WPC 80 i WPC 34.

Na osnovu rezultata prikazanih u ovim istraživanjima, proizvodnja bioaktivnog hidrolizata proteina surutke (BHPS) pomoću *Scenarija B* zahteva manju početnu investiciju (17.402.000 \$), kraći period povraćaja (0,09 godina), veću IRR vrednost (230,55) i mnogo veću NPV vrednost (1635.5) od onih navedenih u literaturi za integrirani proces proizvodnje WPC 80 i laktoze (51.568.000 \$, 0.64, 181.480, 346.033, respektivno).

3.4.4. Zaključak

Na osnovu rezultata prikazanih u ovom delu istraživanja enzimska hidroliza predstavlja najpogodniji proces za proizvodnju bioaktivnih hidrolizata proteina surutke. Industrijski pogon kapaciteta 1.000 kg/h, koji karakterišu sledeći ekonomski parametri: ukupna kapitalna ulaganja od 17.400.000\$; direktni fiksni kapitalni troškovi od 15.980.000 \$; godišnji operativni troškovi od 9.140.000\$ i vreme povraćaja od 0,09 godina, omogućavaju proizvodnju bioaktivnog hidrolizata proteina surutke koji bi mogao da ima prodajnu cenu od 20 \$/kg, što je znatno niže od tržišne cene, stoga se investiranje u ovakav način prerade surutke može smatrati veoma isplativim. Predstavljeni proces nudi ekološki prihvatljivo i

ekonomski isplativo rešenje za iskorišćavanje surutke putem njene transformacije u proizvode druge generacije proizvoda na bazi proteina surutke.

4. ZAKLJUČCI

Danas se otvaraju brojne mogućnosti iskorišćenja i primene surutke. Značajan iznos novca, koji se troši na odlaganje (odbacivanje) surutke, može se, umesto da bude trošak, pretvoriti u profit. To se može uraditi putem proizvodnje funkcionalnih proizvoda sa dodatom vrednošću, kao što su dobijanje, koncentrisanog proteina WPC 80 i laktoze u prahu LAC 80, mogućnost upotrebe soka od mrkve u proizvodnji funkcionalnih fermentisanih napitaka na bazi surutke i dobijanje bioaktivnih hidrolizata proteina surutke. Nadogradnja procesa transformacije surutke i razvoj ekonomičnih industrijskih procesa pogodnih za proizvodnju proizvoda na bazi proteina surutke, zahteva preciznu ekonomsku procenu na nivou industrije.

Radi ispitivanja mogućnosti iskorišćenja surutke u različitim tehnološkim procesima korišćen je licencirani programski softver SuperPro Designer.

Procena investicije kao i njenih alternativa bazirana je na ekonomskim indikatorima; neto sadašnjoj vrednosti (NPV), internoj stopi rentabilnosti (IRR) i roku povraćaja investicionih ulaganja (PP). Navedeni indikatori omogućavaju upoređivanje investicionih projekata (investicija u određenu vrstu preradnog pogona) koje karakteriše različita vrednost. Ovi indikatori se koriste i za poređenje proizvodnih procesa koji se razlikuju po prodajnoj ceni finalnog proizvoda ili nabavnoj ceni potrebnih sirovina.

Prikazani rezultati ekonomske procene fabrika za proizvodnju laktoze i koncentrata proteina surutke su:

- ukupna kapitalna ulaganja fabrike iznose 20.985.000 \$,
- direktni troškovi fiksnog kapitala 19.634.000 \$,
- operativni troškovi 8,614,932 \$/god,
- bruto marža iznosi 68,53 %,
- povratak investicije je 62,70 %,
- period otplate za godinu dana je 1,59,
- interna stopa povraćaja (IRR) nakon poreza iznosi 45.86 %,
- dok NPV (neto sadašnja vrednost) sa 7% poreza iznosi 68.118.000\$ -10⁶

što ukazuje na proizvodnju koja je ekonomski održiva i može biti prihvaćena.

Napici od surutke mogu se koristiti u svakodnevnoj ishrani i na taj način u potpunosti zameniti do sada korišćene mlečne proizvode.

Za proizvodnju napitaka na bazi surutke koristi se ista oprema kao u slučaju proizvodnje jogurta, koja već postoji, tako da nisu potrebna dodatna ulaganja u postrojenje.

Ispitivanje mogućnosti integrisanog procesa proizvodnje sira/napitka od surutke i mrkve pokazala su veću ekonomsku održivost nego osnovna proizvodnja sira. S obzirom na odlične ekonomske pokazatelje, a i to da integrisani proces proizvodnje sira/napitka od surutke i mrkve omogućava brži povraćaj kapitala (PP), za samo 0,15 godina (za proizvodnju sira potrebno je 1,67 godina), sa višim NPV od $10.464,04 \$ \cdot 10^6$ (za sir iznosi $112,218 \$ \cdot 10^6$) i stopom rentabilnosti (IRR) od 384,61% (za sir IRR iznosi 53,36 %), fabrike koje istovremeno proizvode sir i napitke od surutke i mrkve su ekonomski atraktivnije u odnosu na postrojenja koja proizvode samo sir.

Integracija procesa prerade, kao što je pokazano, ne zahteva velika ulaganja, a s obzirom da bi surutka svakako bila bačena, nije teško zaključiti da ovakav vid njenog iskorišćavanja predstavlja direktnu korist, kako u materijalnom tako i u funkcionalnom smislu. Integrisanje proizvodne linije napitaka u proces proizvodnje sira rezultira proizvodom unapređenog kvaliteta, koji može izaći u susret sofisticiranoj tražnji potrošača i može podići ukupan profit u mlečnoj industriji.

Istraživanje proizvodnje bioaktivnog hidrolizata proteina surutke usmereno je ka tehno-ekonomskom aspektu proizvodnje bioaktivnog hidrolizata proteina surutke.

Trenutno istraživanje skreće pažnju na enzimsku hidrolizu kao poželjan proces za proizvodnju bioaktivnih hidrolizata proteina surutke. Industrijsko postrojenje sa proizvodnim kapacitetom od 1.000 kg/h, sa sledećim ekonomskim parametrima:

- ukupne investicije kapitala 17.400.000 \$,
- direktni troškovi osnovnog kapitala 15.980.000 \$,
- godišnji operativni troškovi: 9.140.000 \$,
- period povraćaja od 0.09 godina,

može da isporuči bioaktivni hidrolizat proteina surutke uz minimalnu cenu od 20 \$/kg, koja je niža od tržišne cene.

Predloženi proces je jedinstven, jer omogućava korišćenje surutke kroz ekonomsku i ekološku održivost. Na osnovu svega prethodno rečenog, proces predstavlja dvostruko rešenje za upravljanje otpadom u mlečnoj industriji, kao i ekonomski potencijal za razvoj mlekare, koja se bazira na valorizaciji surutke i koji vodi ka proizvodnji hidrolizata proteina surutke sa različitim bioaktivnostima, pre svega, antioksidativnom aktivnošću, što može imati pozitivne efekte na zdravlje potrošača.

5. LITERATURA

- [1] Bylund G., Dairy processing handbook, Tetra Pak Processing Systems ABS-221 86 Lund, Sweden, 1995.
- [2] Tratnik LJ., Mlijeko-tehnologija, biokemija i mikrobiologija, Hrvatska mljekarska udruga, Zagreb, 1998.
- [3] Walstra P., Geurts T. J., Noomen A., Jellema A., Van Boekel M., Dairy Technology: Principles of Milk, Properties and Processes, Marcel Dekker Inc., New York, Basel, 1999.
- [4] Siso M. I. G., The biotechnological utilization of cheese whey – a review, BioresourceTechnology, Vol 57,pp, 1-11, 1996.
- [5] Popović-Vranješ A., I., Vujičić I., Tehnologija surutke, Poljoprivredni fakultet Novi Sad, Novi Sad, 1997.
- [6] Ghaley A. E., Kamal M.A. Submerged yeast fermentation of acid cheese whey for protein production and pollution potential reduction, Water Research, Vol. 38, pp. 631-644, 2004.
- [7] Savant, V.D. Torres J.A., Chitosan-based coagulating agents for treatment of cheddar cheese whey, Biotechnol. Prog. Vol. 16, pp. 1091-1097, 2000.
- [8] Jelen P., Whey Processing, in: H. Rginski, J.F. Fuquau, P.F. Fox (Eds.), Encyclopedia of Dairy Sciences, Vol. 4, Academic Press-An Imprint of Elsevier, Boston, London, 2740, 2003.
- [9] Beucler J., Drake M., Foegeding E. A., Design of a beverage from Whey permeate, Journal of Food Science, Vol. 70, pp. 277-285, 2005.
- [10] Bulatović M., Rakin M., Mojović Lj., Nikolić S., Vukašinović Sekulić M., Đukić Vuković A., Surutka kao sirovina za proizvodnju funkcionalnih napitaka, Hemijska industrija, 2012.
- [11] Tratnik Lj., Uloga sirutke u proizvodnji funkcionalne mliječne hrane, Mljekarstvo, Vol. 53, pp. 325-352, 2003.
- [12] Jeličić I. i saradnici, Napitci na bazi sirutke-nova generacija mliječnih proizvoda, Mljekarstvo 58 (3) 257-274, 2008.
- [13] Affersholt T., Market developments and industry challenges for lactose and lactose derivatives, IDF Symposium „Lactose & Its Derivates“, Moscow, 2007

- [14] Börgardts P., Krischke W., Trösch W., Brunner H., Integrated Bioprocess for the Simultaneous Production of Lactic Acid and Dairy Sewage Treatment, *Bioprocess Engineering*, Vol. 19, pp. 321-329, 1998.
- [15] Hofvendahl K., Hahn-Hägerdal B., Factors affecting the fermentative lactic acid production from renewable resources, *Enzyme Microb, Technol*, Vol.26,pp.87-107.
- [16] Varnam A. H., Sutherland J. P., *Milk and Milk products. Technology, Chemistry and Microbiology*, Ed. Chapman & Hall, London, 2000.
- [17] Jelen P. Whey-based functional beverages. In *Functional and Speciality Beverage Technology*, pp 259-296. Paquin P, ed. New York: CRC Press, 2009.
- [18] Panesar P. S., Kennedy J. F., Gandhi D. N., Bunko K. Bioutilisation of Whey for Lactic Acid Production, *Food Chemistry*, Vol. 105, pp.1-14, 2006.
- [19] Joglekar H. G., Rahman I., Babu S., Kulkarni B.D., Joshi, A., Comparative Assessment of Downstream Processing Options For Lactic Acid, *Separation and Purification Technology*, Vol 52, pp. 1-17,2006.
- [20] Klasnja M.T., Sciban M.B., Osnovi procesa anaerobnog prečišćavanja otpadnih voda prehrambene industrije i industrije pića, *Acta Periodica Technologica*, Vol. 31,pp. 1-748,2000.
- [21] Baković, D.,Tratnik, LJ., Mogućnost korištenja sirutke u prehrani, *Mljekarstvo*, Zagreb, Vol. 29, No. 2, pp. 36-40.
- [22] Baković, D.,Tratnik, LJ., Mogućnost korištenja sirutke u ishrani, *Hranai ishrana*, Zagreb, Vol. 21, No.9-12, pp. 271-273, 1980.
- [23] Tamime A.Y., Božanić R., Rogelj I., Probiotički fermentirani mliječni proizvodi, *Mljekarstvo*, Vol. 53, pp. 111-134, 2003.
- [24] Ferrari M. D., Bianco R., Froche C., Loperena M. L. Baker's yeast production from molasses/cheese whey mixtures, *Biotechnology Letters*, Vol 23, pp. 1-4, 2001.
- [25] Mrvcic J., Stehlik - Tomas V., Grba S., Incorporation of copper ions by yeast *Kluyveromyces marxianus* during cultivation on whey, *Acta Alimentaria*, Vol. 36, pp. 519-525, 2007.
- [26] OECD – FAO agricultural outlook 2010-2019, Highlights, pp. 83, http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/newsroom/docs/English_outlook.pdf, 2013.

- [27] Surutka nova ambalaža, Radio televizija Srbije,
(<http://www.rts.rs/page/stories/sr/story/14/Nauka/27120/>,
Surutka+nova+ambala%C5%BEa.html, (12.11.2008).
- [28] Obućina B., Bardić D., Dulić Marković I., Bernardoni I., Studija „Efekti liberalizacije carina na poljoprivredu Republike Srbije“, Konsultantska kuća SEEDEV (South East Europe Development) registrovana u Srbij, Hrvatskoj i Kavkazu specijalizovana za pružanje usluga u domenu poljoprivrede i ruralnog razvoja, str. 104-109, 2010.
- [29] Jelinić J., Đurović S. Poljoprivredna politika - sektor mlekarske proizvodnje, Fond za otvoreno društvo, centar za primenjene evropske studije, Beograd, str. 54-56.2009.
- [30] Maja LJ., Bulatović M., „Proizvodnja i karakteristike funkcionalnih fermentisanih napitaka na bazi surutke“, Doktorska disertacija, Univerzitet u Beogradu, TMF Beograd, 2015.
- [31] De Boer R. New application of membrane processes, International Dairy Federation, Brussels, Special Issue Nr. 9201, 1991.
- [32] Nath A., Mondal S., Kanjilal T., Sudip, Chakraborty, Stefano C., Bhattacharjee C., Synthesis and functionality of proteinacious nutraceuticals from casein whey – A clean and safe route of valorization of dairy waste, Department of Chemical Engineering, Jadavpur University, India, 2015.
- [33] Tamime A. Y., Robinson R. Yoghurt Science and Technology, 2nd edn., Woodhead Publishing Ltd., Cambridge, England, pp. 320 - 340, 1999.
- [34] Desai S. R., Toro V. A., Joshi S. V., Utilization of different fruits in the manufacture of yoghurt. Indian Journal of Dairy Science, 47, 870-874, 1994.
- [35] <http://www.tehnologijahrane.com/pravilnik/o-kvalitetu-i-drugim-zahtevima-za-mleko-i>
- [36] Ruann Janser Soares de Castro, Helia Harumi Sato, Biologically active peptides: Processes for their generation, purification and identification and applications as natural additives in the food and pharmaceutical industries, Department of Food Science, School of Food Engineering, University of Campinas, Brazil, 2015.
- [37] Tsakali E., Petrotos K., D'Allesandra A., Goulas P., A review on whey composition and the methods used for its utilization for food and pharmaceutical products,

- Department of Progettazione e Gestione dei Sistemi Agrozooteecnici e Forestali, Universita deli study di Bari, Italy, Dept. of Biosystems Engineering, Tech. Educational Institute of Larisa, Greece, Dept. of Animal Production, Tech. Educational Institute of Larisa Gr.
- [38] Tanja Ž. Krunić, Proizvodnja i primena bioaktivnih proteina i peptida surutke”, Doktorska disertacija, Beograd, Univerzitet u Beogradu TMF, 2017.
- [39]http://www.apv-tapflo.ro/userfiles/file/Dairy_Technology_900201072008_GB.pdf
- [40] <http://www.cmtmembrane.com/chemicals-cleaning-services/>
- [41]<http://www.sugar-ukr.com/pdf/Plants%20and%20units%20for%20diary%20industry.pdf>
- [42] Komisija za zaštitu konkurencije, Sektorska analiza tržišta otkupa sirovog mleka, proizvodnje i prerade mleka i mlečnih proizvoda”, Beograd, 2012.
- [43] Rakin M.a, Vukašinović-Sekulić M., ZarićD., MojovićLj., BulatovićM., Krunic T., Zorić I., StamenkovićM., Tehničko rešenje, Proizvodnja funkcionalnog napitka od surutke i mleka, Tehnološko-metalurški fakultet, Beograd, AD IMLEK a.d., Beograd, 2013.
- [44] Navarro de SilvaA., PerezR., Rodrigues MinimV. P., MartinsDanielle D. S.' A., MinimL. A., Whey Protein Concentrate and Lactose Derivates, what is the best combination?, Food Research International, Departamento de Enganharia de Producao e Mecanica, Universidade Federal de Vicosa, Departamento de Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal de Vicosa, Brazil, 2015.
- [45] Peter S., Rattray Wand Jelen P. Heat stability and sensory quality of protein-standardized 2% fat milk, Milchwissenschaft, Vol. 51, pp. 611-615, 1996.
- [46] Barth R. From the original idea of a product to the introduction into the market and finally to the creation of a real brand name. In The Importance of Whey and Whey Components in Food and Nutrition, Herbertz G, ed. Proceedings of the 3rd International Whey Conference, Munich: B.Behr's Verlag, pp 147-156. 2001.
- [47] Wright S., A protein punch, Beverage World, 126 – 135,2007.
- [48] Gallardo - Escamill F. J., Kelly A. J., Delahunty C. M. Mouthfeel and flavour of fermented whey with added hydrocolloids, International Dairy Journal, Vol17, pp. 308-315, 2007.
- [49] Bateman D., “Feasibility analysis”, Brigham Young University, 2004.

- [50] <http://www.olimpija.rs/biznis-planovi/studije-opravanosti>, 04.07.2016.
- [51] SuperPro Designer® - User's Guide, USA
- [52] SuperPro Designer, A Comprehensive Simulation Tool for the Design, Retrofit & Evaluation of Specialty Chemical, Biochemical, Pharmaceutical, Consumer Product, Food, Agricultural, Mineral Processing, Packaging AND Water Purification, Wastewater Treatment and Air Pollution Control Processes
- [53] Green, D.W., Perry, R.H., Perry's Chemical Engineering Handbook, eighth ed. the McGraw-Hill Companies Inc., New York, 2008.
- [54] El-Halwagi, M.M., Mahmoud, M., Sustainable Design through Process Integration: Fundamentals and Applications to Industrial Pollution Prevention, Resource Conservation, and Profitability Enhancement, first ed. Elsevier Inc., New York, 2012.
- [55] Matić M., Specifičnosti poljoprivrede i važnost agroekonomske struke u tržišnim uvjetima poljoprivredne proizvodnje, „Agronomski glasnik”, God. 66, Br. 6, str. 455-465, 2004.
- [56] Marko J., Jovanović M., Tica N., „Kalkulacije u poljoprivredi”, Novi Sad, Serbia, Futura publikacije, pp. 405, 1998.
- [57] Subić J. Specifičnosti procesa investiranja u poljoprivredi. Belgrade, Serbia: Institute of agricultural economics, pp. 192, 2010.
- [58] Gittinger P. J., Economic Analysis of Agricultural Projects. 2nd edition, EDI series in economic development, Baltimore, USA: Economic Development Institute of World Bank, Johns Hopkins University Press, pp. 507.
- [59] Cicea C., Subić J., Cvijanović D. Beyond agriculture and rural development: Investments, efficiency, econometrics. Belgrade, Serbia: Institute of agricultural economics, pp. 230, 2008.
- [60] El Tahir Y., El Otaibi D., Internal Rate of Return: A suggested Alternative Formula and its Macroeconomics Implications. J Am Sci Vol. 10, No.11, pp. 216-221, 2014.
- [61] Gitman L. J., Principles of Managerial Finance. 12th edition, NJ, USA: Prentice Hall Inc., pp. 1128. (2009).
- [62] Milić D., Sredojević Z., „Organizacija i ekonomika poslovanja”, Novi Sad, Serbia: Faculty of Agriculture, University in Novi Sad, p. 248. 2004.

- [63] Edgar, T.F., Himmelblau, D. M., Optimization of Chemical Processes, second ed. McGraw-Hill, New York, 2001.
- [64] McAloon, A., Taylor, F., Yee, W. (2000) Determining the Cost of Producing Ethanol from Corn Starch and Lignocellulosic Feedstocks, NREL Report TP-580-28893. *National Renewable Energy Laboratory*, Golden, CO.
- [65] Taylor, F.; Kurantz, M.J.; Goldberg, N.; McAloon, M.J.; Craig Jr., J.C., Dry grind process for fuel ethanol by continuous fermentation and stripping. *Biotechnology Progress*, 16, 541–547, 2000
- [66] Kwiatkowski, J.R.; McAloon, A.J; Taylor, F.; Johnston, D.B., Modeling the process and costs of fuel ethanol production by the corn dry-grind process. *Industrial Crops and Products*, Vol 23, No. 3, pp. 288-296, 2006.
- [67] He, R., Girgin, A.T., Malamo, S.A., Ju, X., Aluko, R.E., Antioxidant activities of enzymatic rapeseed protein hydrolysates and the membrane ultrafiltration fractions, *Journal of Functional Foods*, Vol. 5, pp. 219-227, 2013.
- [68] Lima, I.M.; McAloon, A.; Boateng, A.A., Activated carbon from broiler litter: Process description and cost of production. *Biomass and Bioenergy*. Vol. 32, pp. 568-572, 2008.
- [69] Dubey R.P., Dubey D., Dubey R., Effect of Different Treatments on the Physico-Chemical and Nutritional Characteristics of Whey-Guava Beverage, *Indian Res. J. Ext. Edu.*, Vol. 7, No.1, pp. 27-29, 2007.
- [70] Vasudha S., Mishra H.N., Non dairy probiotic beverages, *Int. Food Res. J.*, Vol. 20, No. 1, pp.7-15, 2013.
- [71] Girsh L.S. (1999) US Patent 5,912,040
- [72] Reust H. (2001) US Patent 6,277,426 B1
- [73] Carić M., Milanović S., Recent developments of byproducts utilization in dairy technology in eco-technology in food industry and biotechnology. TMF, Belgrade, 1995.
- [74] Djurić M., Carić M., Milanović S., Tekić M., Panić M., Development of whey-based beverages, *Eur. Food Res. Technol.*, Vol. 219, pp.321-328, 2004.
- [75] Bulatović M. Lj., Krunic T. Ž., M.S. Vukašinović-Sekulić, D.B., Zarić M.S., Rakin M.B., Quality attributes of a fermented whey-based beverage enriched with

- milk and a probiotic strain, RSC Advances, Vol.98, No. 4, pp. 55503–55510, 2014.
- [76] Reineccius G.A., Flavouring systems for functional foods, M.K. Schmidl, T.B. Labuza, eds., Essentials in functional foods, Aspen Publishing, inc., Gaithersburg, pp. 89–97, 2000.
- [77] Luckow T., Sheehan V., Fitzgerald G., Exposure, health information and flavour-masking strategies for improving the sensory quality of probiotic juice, Appetite, Vol. 47, pp. Vol. 315-23,2006.
- [78] Prendergast K., Whey drinks-Technology Processing and Marketing, J. Soc. Dairy Technol., Vol. 38 No. 4, pp.103-105, 1985.
- [79] Sarvana K. R., Whey beverage: A review, Beverage and Food World, Vol. 34, pp. 58-60, 2005.
- [80] Klaenhammer T.R., Functional activities of lactobacillus probiotics: Genetic mandate. Int. Dairy J., 8, 497-507 (1998).
- [81] Gilliland S.E., Health and nutritional benefits from lactic acid bacteria. FEMS Microbiology Rev., Vol. 87, pp. 175-188, 1990.
- [82] Varga L., Effect of acacia (*Robinia pseudo-acacia* L.) honey on the characteristic microflora of yogurt during refrigerated storage, Int. J. Food Microbiol., Vol. 108, pp. 272-275, 2006.
- [83] Dave R. I., Shah N. P., Evaluation of media for selective enumeration of *Streptococcus thermophilus*, *Lactobacillus delbrueckii* ssp.*bulgaricus*, *Lactobacillus acidophilus*, and bifidobacteria, Dairy J. Sci., Vol. 79, pp.1529-1536, 1996.
- [84] Aryana K.J., Mcgrewa P., Quality attributes of yogurt with *Lactobacillus casei* and various prebiotics, LWT - Food Sci. Technol., 40, 1808-1814 (2007).
- [85] Keogh M.K., O’Kennedy B.T., Rheology of stirred yoghurt as affected by added milk fat, protein and hydrocolloids, J. Food Sci., Vol. 63, pp. 108-112,1998.
- [86] Hemsworth J., Hekmat S., Reid G., The development of Micronutrient supplemented probiotic yogurt for people living with HIV: Laboratory testing and sensory evaluation, Innov. Food Sci. Emerg., Vol. 12, pp. 79-84, 2011.

- [87] Balakrishnan G., Agrawal, R. Antioxidant activity and fatty acid profile of fermented milk prepared by *Pediococcus pentosaceus.*, Food J. Sci. Technol., Vol. 51, No. 12, pp. 4138-42, 2014.
- [88] Da Silva A.N., Perez R., Minim V.P.R., Martins D.D.S., Minim L.A. (2015). Integrated production of Whey Protein Concentrate and Lactose Derivates: What is the best combination?. Food R. J.Int 73, pp. 62-74.
- [89] Klasnja M.T., Sciban M.B. Elements of anaerobic process for treatment of wastewaters from food and beverage industries. Acta Periodica Technologica 31:3-22. (article in Serbian with an abstract in English),2000 .
- [90] Rebouillat S., Ortega Requena S., Potential applications of milk fractions and valorization of dairy by-products: A review of the state-of-the-art available data, outlining the innovation potential from a bigger data standpoint. Journal of Biomaterials and Nanobiotechnology Vol. 6, pp. 176-203., 2015.
- [91] Lagrange V., Whitsett D., Burris C. Global market for dairy proteins. Food J., Sci. 80 (Suppl. 1), pp. 16-22, 2015.
- [92]Pinthong R., Macarae R., Rothwell J., The development of a soya-based yoghurt acid production by lactic acid bacteria., Int. Food J. Sci. Technol., Vol. 15, pp.647-52, 1980.
- [93]Kehagias C.H., Dalles T.N., Bacteriological and biochemical characteristics of various types of yogurt made from sheep's and cow's milk, J. Food Prot., Vol. 47, pp. 760–761,1984.
- [94]Krupa H., Jana Atanu H., Patel H.G., Synergy of dairy with non-dairy Ingredients or product: A review, African J. Food Sci., Vol. 16, No.5, pp. 817-832, 201).
- [95]Cagno D., Quintob M., Corsettic A., Minervinia F., Gobbettia M., Assessing the proteolytic and lipolytic activities of single strains of mesophilic lactobacilli as adjunct cultures using a Caciotta cheese model system, Int. Dairy J., Vol. 16, pp. 119-130, 2006.
- [96]Madhu A.N., Amrutha N., Prapulla S.G.,Characterization and antioxidant property of probiotic and synbiotic yogurts, *Probiotics Antimicrob. Proteins*, Vol. 4, pp. 90-97, 2012.

- [97] Bulatović M.Lj., Krunic T.Ž., Vukašinović-Sekulić D.B. Zarić M.S., Rakin M.B., Quality attributes of a fermented whey-based beverage enriched with milk and a probiotic strain, *RSC Advances*, Vol. 98, No. 4, pp. 55503–55510, 2014.
- [98] Bulatović M., Rakin M., Vukašinović-Sekulić M., Mojović Lj., Krunic T., Effect of nutrient supplements on growth and viability of *Lactobacillus johnsonii* NRRL B-2178 in whey, *Int. Dairy J.*, Vol. 34, pp. 109-115, 2014.
- [99] Marshall, K., 2004. Therapeutic Applications of Whey Protein, *Alternative medicine review, Journal of Clinical Therapeutic* 9 (2), 136-156
- [100] Embiriekah, S., Bulatović, M., Borić, M., Zarić, D., Rakin, M., Antioxidant activity, functional properties and bioaccessibility of whey protein hydrolysates. *Int. Dairy J. Tech.* Doi: 10.1111/1471-0307.12428. 2017.
- [101] Gunasekaran, S., Ko, S., Xiao, L., Use of whey proteins for encapsulation and controlled delivery applications. *J. Food Eng.* Vol. 83, pp. 31-40, 2007.
- [102] Prazeres, A.R., Carvalho, F., Rivas, J., Cheese whey management: A review. *J. Environ. Manage.* Vol. 110, pp. 48-68, 2012.
- [103] Lopez-Rubio i Lagaron, J.M., Whey protein capsules obtained through electrospraying for the encapsulation of bioactives. *Innov. Food J., Sci. Emerg. Technol.* 13, 200-206, 2012.
- [104] Murakami M., Tonouchi H., Takahash R., Kitazawa H., Kawai Y., Negishi H., Saito T., Structural analysis of a new anti-hypertensive peptide (beta-lactosin B) isolated from a commercial whey product, *Dairy J., Sci.* Vol. 87, pp.1967-1974, 2004.
- [105] Smithers, G.W., Whey and whey proteins-from gutter-to-gold. *Int. Dairy J.* Vol. 18, 695-704, 2008.
- [106] Madureira A.R., Tavares T., Gomes A.M.P., Pintado M.E., Malcata F.X., Physiological properties of bioactive peptides obtained from whey proteins. *Dairy J., Sci.* Vol. 93, 437–455, 2010.
- [107] Perea, A., Ugalde, U., 1996. Continuous hydrolysis of whey proteins in a membrane recycle reactor. *Enzyme. Microb. Technol.*, Vol. 18, pp. 29-34
- [108] Guadix, A., Guadix. E.M., Prieto, C.A., Protein hydrolysis with enzyme recycle by membrane ultrafiltration, in: Urwaye AP (Ed.), *New Food Engineering Research Trends*, Nova Science Publishers Inc., New York, pp. 169-194, 2008.

- [109] Rouf, S.A., Douglas, P.L., Moo-Young, M., Scharer, J.M., Computer simulation for large scale bioprocess design. *Biochem, Eng. J. Vpl.* 8, 229-234, 2001.
- [110] Chodori, M., It is noticed in the fine chemical industry in Europe and America. Production process, simulation of BETA. Galactosidases in Superpro Designer. *Chem. Eng. Vol.*48, pp. 962-958, 2003.
- [111] Silva, A.N., Perez, R., Minim, V.P.R., Martins, D.D.S.A., Minim, L.A., Intregrated Production of Whey Protein Concentrate and Lactose Derivatives: what is the best combination?. *Food Res. Int.* 73, 62-74, 2015.
- [112] Husin, M.S., Simulation study of monoclonal antibody production using superpro, upstream process. PhD thesis, University of Malaysia Pahang. <http://umpir.ump.edu.my/1148/>, (accessed May 14th 2017), 2017.
- [113] Michael, S., Modeling boiling house operations with Superpro Designer, Effects of final molasses recycle and double magma boling. <http://studylib.net/doc/8371683/modelling-boiling-house-operations-with.superpro-designer>. (accessed May 14th 2017),2017.
- [114] Embiriekah, S., Bulatović, M., Borić, M., Zarić, D., Arsić, S., Rakin, M., Selection of Lactobacillus strains for improvement of antioxidant activity of different soy, whey and milk protein substrates. *J. Hug.Eng. Design Vol.* 16, pp. 64-69, 2016.
- [115] Embiriekah, S., Bulatović, M., Borić, M., Zarić, D., Rakin, M., Antioxidant activity, functional properties and bioaccessibility of whey protein hidrolysates. *Int. J. Dairy Tech.* Doi: 10.1111/1471-0307.12428, 2017.
- [116] Scheepers, C., Capital Finance Decisions for project menagers- A reflections on current methods. *Acta Commer*, No 3, 23-28, 2003.
- [117] Peters, R. H., Economic aspects of cheese making as influenced by whey processing options, *International Dairy Journal Vol* 15, No. 6, pp. 537-545, 2005.

Biografija autora

Rođena 18. juna 1959. godine u Prištini, živi u Beogradu sa stalnim zaposlenjem u Institutu za ekonomiku poljoprivrede, Beograd, u sektoru za naučno-istraživački rad.

Osnovnu i srednju poljoprivrednu školu (opšti smer) završila je u rodnom mestu Prištini. Po završetku srednje poljoprivredne škole upisala se na Poljoprivredni fakultet Univerziteta u Prištini (opšti smer). Studije je završila 1986. godine i stekla zvanje diplomirani inženjer poljoprivrede.

Magistarske studije na odseku "Organizacija i ekonomika proizvodnje" upisala je školske 2005/06. godine na Poljoprivrednom fakultetu Univerziteta u Prištini, Zubin potok, Lešak. Dana, 11. marta 2010. godine uspešno je odbranila magistarsku tezu pod nazivom, "Značaj markentiškog pristupa u proizvodnji junećeg mesa i njegova ekonomska opravdanost" i stekla zvanje magistar biotehničkih nauka.

Nakon apsolviranja na fakultetu, školske 1985/86 godine radi kao profesor u srednjoj poljoprivrednoj školi u Prištini. Neposredno posle diplomiranja počinje da radi u PIK Kosovo Polje, gde u periodu od 1986 do 1996.godine prelazi put od inženjera pripravnika do šefa ratarske proizvodnje u Orloviću. Od 1996. do 2006.godine radi u JKP „Komunalac”, Priština, kao koordinator za gradsko zelenilo i hortikulturu.

Od 2006. godine radi u Institutu za ekonomiku poljoprivrede u Beogradu kao istraživač pripravnik i bavi se naučno - istraživačkim i stručnim radom. U zvanje istraživača saradnika izabrana je maja 2010. godine u Institutu za ekonomiku poljoprivrede, Beograd.

Učestvuje u realizaciji projektata, finansiranih od strane Ministarstva nauke i zaštitu životne sredine, danas Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja;

1. Projekat: BTN-351010B, "*Optimizacija i standardizacija autohtonih mlečnih proizvoda sa zaštitom oznake porekla*", Ministarstvo nauke i zaštite životne sredine Republike Srbije, kao član istraživačkog tima. 2006.
2. Projekat: 20111, "*Standardizacija tehnološkog postupka tradicionalne proizvodnje Golijskog sira primenom autohtonih bakterija mlečne kiseline u cilju zaštite geografskih oznaka porekla*" projektni period 2008-2011., za projektni period 2008-2011.
3. Projekat:III 46006, "*Održiva poljoprivreda i ruralni razvoj u funkciji ostvarivanja strateških ciljeva Republike Srbije u okviru Dunavskog regiona,*" finansiranog od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije, za projektni period 2011-2014.

4. Kao član istraživačkog tima u periodu 2009-2012 godine učestvuje na međunarodnom projektu: "*Trans national integrated management of water resources in agriculture for the European water emergency control*", EU WATER, /Trans nacionalni integrisani menadžment vodenim resursima u poljoprivredi za potrebe urgentne kontrole Evropskih voda, u okviru Programa saradnje za Jugoistočnu Evropu

Takođe, učestvuje u izradi Strategija za Opštine u Srbiji i Bosni i Hercegovini;

1. Program ekonomskog i socijalnog razvoja **MZ Glogonj**, Institut za ekonomiku poljoprivrede, 2006. Naručilac: MZ Glogonj. Član istraživačkog tima.
2. Strategija razvoja opštine **Mali Zvornik**, Institut za ekonomiku poljoprivrede, 2006. Naručilac: Opština Mali Zvornik. Član istraživačkog tima.
3. Strategija razvoja **opštine Mionica**, Institut za ekonomiku poljoprivrede, 2007. Naručilac: Opština Mionica. Član istraživačkog tima.
4. Strategija razvoja **opštine Beočin**, Institut za ekonomiku poljoprivrede, 2007. Naručilac: Opština Beočin. Član istraživačkog tima.
5. Strategija razvoja **opštine Brčko Distrikt BiH**. Institut za ekonomiku poljoprivrede, 2007. Naručilac: Opština Brčko Distrikt, BiH. Član istraživačkog tima.
6. Strategija razvoja poljoprivrede u **Tuzlanskom kantonu**, Institut za ekonomiku poljoprivrede, 2008. Naručilac: Tuzlanski kanton. Član istraživačkog tima.
7. Strategija razvoja poljoprivrede i agroindustrije na području **opštine Pančevo**, Institut za ekonomiku poljoprivrede, 2008. Naručilac: Opština Pančevo. Član istraživačkog tima.
8. Strategija razvoja poljoprivrede i agroindustrije na području **grada Beograda**, Institut za ekonomiku poljoprivrede, 2008. Naručilac: Opština Beograd. Član istraživačkog tima.
9. Strategija održivog ruralnog razvoja **GO Obrenovac** za period 2012-2023, u izradi Instituta za ekonomiku poljoprivrede, naručilac GO Obrenovac, član istraživačkog tima.
10. Strateško planiranje održivog poljoprivrednog ruralnog razvoja lokalnih zajednica, koje je finansirano putem šeme konkurentskih grantova u okviru **STAR projekta**, a koje je sprovedeno pod okriljem Ministarstva poljoprivrede, šumarstva i vodoprivrede Republike Srbije, projektni period od 2009-2012, član istraživačkog tima.
11. **Strategija razvoja poljoprivrede i ruralnog razvoja grada Novog Sada za period 2018 – 2022**. U izradi Instituta za ekonomiku poljoprivrede, Beograd, Instituta ekonomskih nauka, Beograd i konsultantne firme", "CMS Consulting Management Services", d.o.o, Novi Sad, 2017. Naručilac: grad Novi Sad, član istraživačkog tima.

Изјава о ауторству

Име и презиме аутора _____ Славица Арсић _____

Број индекса _____

Изјављујем

да је докторска дисертација под насловом

Анализа техно-економске оправданости искоришћења сурутке у Србији

- резултат сопственог истраживачког рада;
- да дисертација у целини ни у деловима није била предложена за стицање друге дипломе према студијским програмима других високошколских установа;
- да су резултати коректно наведени и
- да нисам кршио/ла ауторска права и користио/ла интелектуалну својину других лица.

Потпис аутора

У Београду, 10.09.2018.

Славица Арсић

Изјава о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада

Име и презиме аутора _____ Славица Арсић _____

Број индекса _____

Студијски програм _____ Биотехнологија _____

Наслов рада _____ Анализа техно-економске оправданости искоришћења
_____ сурутке у Србији _____

Ментор Проф. др Марица Ракин, редовни професор, Технолошко-металуршки
факултет Универзитета у Београду _____

Проф. др Гордана Кокеза, редовни професор, Технолошко-металуршки факултет
Универзитета у Београду

Изјављујем да је штампана верзија мог докторског рада истоветна електронској верзији коју сам предао/ла ради похрањена у **Дигиталном репозиторијуму Универзитета у Београду**.

Дозвољавам да се објаве моји лични подаци везани за добијање академског назива доктора наука, као што су име и презиме, година и место рођења и датум одбране рада.

Ови лични подаци могу се објавити на мрежним страницама дигиталне библиотеке, у електронском каталогу и у публикацијама Универзитета у Београду.

Потпис аутора

У Београду, _____ 10.09.2018. _____

_____ Славица Арсић _____

Изјава о коришћењу

Овлашћујем Универзитетску библиотеку „Светозар Марковић“ да у Дигитални репозиторијум Универзитета у Београду унесе моју докторску дисертацију под насловом:

Анализа техно-економске оправданости искоришћења сурутке у Србији

која је моје ауторско дело.

Дисертацију са свим прилозима предао/ла сам у електронском формату погодном за трајно архивирање.

Моју докторску дисертацију похрањену у Дигиталном репозиторијуму Универзитета у Београду и доступну у отвореном приступу могу да користе сви који поштују одредбе садржане у одабраном типу лиценце Креативне заједнице (Creative Commons) за коју сам се одлучио/ла.

1. Ауторство (CC BY)
2. Ауторство – некомерцијално (CC BY-NC)
3. Ауторство – некомерцијално – без прерада (CC BY-NC-ND)
4. Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима (CC BY-NC-SA)
5. Ауторство – без прерада (CC BY-ND)
6. Ауторство – делити под истим условима (CC BY-SA)

(Молимо да заокружите само једну од шест понуђених лиценци.
Кратак опис лиценци је саставни део ове изјаве).

Потпис аутора

У Београду, 10.09.2018.

Славица Арсић

1. **Ауторство.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце, чак и у комерцијалне сврхе. Ово је најслободнија од свих лиценци.

2. **Ауторство – некомерцијално.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела.

3. **Ауторство – некомерцијално – без прерада.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, без промена, преобликовања или употребе дела у свом делу, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела. У односу на све остале лиценце, овом лиценцом се ограничава највећи обим права коришћења дела.

4. **Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце и ако се прерада дистрибуира под истом или сличном лиценцом. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела и прерада.

5. **Ауторство – без прерада.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, без промена, преобликовања или употребе дела у свом делу, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца дозвољава комерцијалну употребу дела.

6. **Ауторство – делити под истим условима.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце и ако се прерада дистрибуира под истом или сличном лиценцом. Ова лиценца дозвољава комерцијалну употребу дела и прерада. Слична је софтверским лиценцама, односно лиценцама отвореног кода.