

# Primjena koncepta biorafinerije za povećanje učinkovitosti i isplativosti rada tvornice za proizvodnju šećera

---

Šutalo, Zvonimir

Master's thesis / Diplomski rad

2017

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:235:337139>

*Rights / Prava:* [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom](#).

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-01-30**

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# **DIPLOMSKI RAD**

**Zvonimir Šutalo**

Zagreb, 2017.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# DIPLOMSKI RAD

Mentori:

Prof. dr. sc. Neven Duić, dipl. ing.

Student:

Zvonimir Šutalo

Zagreb, 2017.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći znanja stečena tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem se svom mentoru, profesoru Nevenu Duiću na pruženoj prilici za izradu ovog diplomskog rada. Također veliko hvala asistentu Borisu Čosiću na strpljenju i svesrdnoj pomoći, te na trudu koji je uložio kako bi ovaj rad bio uspješno završen.

Zahvaljujem se na podacima ustupljenim od strane SDEWES Centre, koji su prikupljeni u sklopu projekta AgroCycle ([www.agrocycle.eu](http://www.agrocycle.eu)) financiranog iz programa Obzor 2020 pod ugovorom br. 690142.

Dodatne zahvale idu svim prijateljima sa kojima sam proveo svoje studentske dane, naročito Niki i Ani koji su me uvijek gurali naprijed.

Hvala mojoj Katarini na neprestanom bodrenju i pomaganju prilikom pisanja ovog rada.

I za kraj, najviše hvala mojoj obitelji, roditeljima Idi i Zlatku, sestri Ivani i braći Krešimiru i Mislavu koji su uvijek bili tu za mene.

Zvonimir Šutalo



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
**FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE**



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite  
 Povjerenstvo za diplomske ispite studija strojarstva za smjerove:  
 procesno-energetski, konstrukcijski, brodstrojarski i inženjersko modeliranje i računalne simulacije

Sveučilište u Zagrebu	
Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa:	
Ur. broj:	

## DIPLOMSKI ZADATAK

Student: **Zvonimir Šutalo** Mat. br.: 0035183713

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Primjena koncepta biorafinerije za povećanje učinkovitosti i isplativosti rada tvornice za proizvodnju šećera**

Naslov rada na engleskom jeziku: **The application of the biorefinery concept to increase the efficiency and economic viability of the sugar factory**

Opis zadatka:

Reformom tržišta šećera iz 2006. godine smanjena je proizvodnja šećera iz šećerne repe u Europi za otprilike 40% u usporedbi sa 2005. godinom, kao baznom godinom. Posljedica smanjene proizvodnje šećera iz šećerne repe su viškovi repe na tržištu te se traže novi načini kako iskoristiti repu, kao energetski bogatu sirovinu. Tvornice šećera predstavljaju energetski vrlo intenzivnu industriju pa njihova nadogradnja u biorafinerije povećava fleksibilnost rada tvornice na slobodnom tržištu te omogućava veću iskoristivost sirovine i nusproizvoda koji nastaju u procesu proizvodnje šećera. Kako bi se detaljno istražila prednost primjene koncepta biorafinerije u šećernoj industriji na iskoristivost sirovine i isplativost rada tvornice, u radu je potrebno:

1. Napraviti pregled literature o tehnologiji za proizvodnju šećera iz šećerne repe, sirovinama koje se koriste za proizvodnju šećera te o nusproizvodima koji nastaju prilikom proizvodnje šećera.
2. Napraviti opsežan pregled literature o primjeni koncepta biorafinerije u šećernoj industriji te opisati način rada ovih postrojenja na slobodnom tržištu prilikom promjene cijene ulazne sirovine i gotovih proizvoda.
3. Napraviti matematički model biorafinerije temeljen na bioplinskom postrojenju izgrađenom u sklopu tvornice šećera s energetskim i masenim bilancama.
4. Izračunati neto sadašnju vrijednost projekta, uz zadanu cijenu investicije, troška ulazne sirovine i tržišnu cijenu plina i šećera.
5. Napraviti analizu utjecaja promjene vrijednosti nabavne cijene ulazne sirovine, troškova plina, investicijskih troškova u bioplinsko postrojenje i cijene gotovih proizvoda na neto sadašnju vrijednost projekta temeljenom na konceptu biorafinerije.

Potrebni podaci i literatura se mogu dobiti kod mentora. U radu je potrebno navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:

28. rujna 2017.

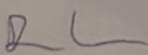
Datum predaje rada:

30. studenog 2017.

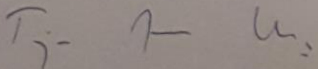
Predviđeni datum obrane:

6., 7. i 8. prosinca 2017.

Zadatak zadao:

  
 Prof. dr. sc. Neven Duić

Predsjednica Povjerenstva:

  
 Prof. dr. sc. Tanja Jurčević Lulić

## SADRŽAJ

SADRŽAJ .....	II
POPIS SLIKA .....	IV
POPIS TABLICA.....	V
POPIS OZNAKA .....	VI
SAŽETAK.....	VII
SUMMARY .....	VIII
1. UVOD.....	1
2. OSNOVE TEHNOLOGIJE ŠEĆERA.....	2
2.1. Uloga šećera u ljudskoj prehrani.....	2
2.2. Sirovine za proizvodnju bijelog kristalnog šećera .....	4
2.2.1. Šećerna trska .....	4
2.2.2. Šećerna repa .....	5
2.2.2.1. Proizvodnja šećerne repe .....	6
2.3. Osnove tehnološkog postupka prerade šećerne repe.....	10
2.3.1. Priprema šećerne repe za ekstrakciju .....	10
2.3.2. Ekstrakcija šećera iz repinih reznaca difuzijom.....	13
2.3.3. Čišćenje difuznog soka defekacijom i saturacijom.....	15
2.3.4. Ugušćivanje šećernog soka uparavanjem .....	17
2.3.5. Kristalizacija šećera .....	18
2.4. Maseni i energetske tokovi .....	20
2.4.1. Maseni tokovi.....	20
2.4.2. Energetske tokovi .....	21
2.5. Razvoj šećerne industrije u 20-tom stoljeću .....	23
2.6. Potrošnja šećera.....	24
3. TROŠKOVI PROIZVODNJE ŠEĆERA.....	26
3.1. Trošak sirovine.....	27
3.2. Procesni trošak .....	28
3.3. Kapitalni trošak .....	28
3.4. Trošak djelatnika.....	28
3.5. Trošak goriva .....	29
3.6. Trošak goriva za vaprnu peč.....	29
3.7. Trošak održavanja .....	29
4. KONCEPT BIORAFINERIJE .....	30
5. STUDIJA SLUČAJA – PROIZVODNJA ŠEĆERA IZ ŠEĆERNE REPE .....	34
5.1. Referentni scenarij .....	36
5.1.1. Proračun referentnog scenarija .....	36
5.2. Scenarij A – Proizvodnja bioplina iz prešanih reznaca, repinih korjenčića i ulomaka šećerne repe.....	42
5.2.1. Proračun scenarija A .....	42
5.2.2. Analiza osjetljivosti investicije scenarija A .....	48

---

5.3. Scenarij B – Proizvodnja bioplina iz šećerne repe, prešanog rezanca, repinih korjenčića i ulomaka šećerne repe .....	49
5.3.1. Proračun scenarija B .....	49
5.3.2. Analiza osjetljivosti investicije scenarija B .....	54
5.4. Scenarij C – Proizvodnja bioplina korištenjem repinih korjenčića, ulomaka šećerne repe, prešanog rezanca i kukuruzne silaže .....	55
5.4.1. Proračun scenarija C .....	55
5.4.2. Analiza osjetljivosti investicije scenarija C .....	60
6. ZAKLJUČAK.....	61
LITERATURA.....	62
PRILOZI.....	64

**POPIS SLIKA**

Slika 1.	Šećerna trska [5].....	4
Slika 2.	Polje zasijano šećernom repom [10] .....	5
Slika 3.	Sijanje šećerne repe [10] .....	7
Slika 4.	Otežano vađenje šećerne repe u zimskim uvjetima [10].....	8
Slika 5.	Shematski prikaz istovara i pripreme šećerne repe za ekstrakciju [11] .....	10
Slika 6.	Manipulacija šećernom repom u tvornici [10] .....	11
Slika 7.	Hidraulički transport šećerne repe [10].....	12
Slika 8.	Hvatači trave [10].....	12
Slika 9.	Shematski prikaz ekstrakcije šećera i rezanaca iz šećerne repe [11] .....	13
Slika 10.	Vertikalni difuzni toranj [10] .....	14
Slika 11.	Prešani rezanac [10] .....	14
Slika 12.	Shematski prikaz čišćenja ekstrakcijskog soka [11] .....	15
Slika 13.	Koks za loženje u vapnenoj peći [10] .....	16
Slika 14.	Vapnena peć [10].....	16
Slika 15.	Shematski prikaz ugušćivanja šećernog soka uparavanjem [11] .....	17
Slika 16.	Robertov uparivač [10].....	18
Slika 17.	Shematski prikaz kristalizacije šećera [11] .....	18
Slika 18.	Centrifuge šećera [10] .....	19
Slika 19.	Kuhanje šećera [10].....	20
Slika 20.	Gorionici u energani tvornice šećera [10] .....	22
Slika 21.	Parna turbina u energani tvornice šećera [10] .....	22
Slika 22.	Potrošnja šećera po stanovniku Velike Britanije [18] .....	25
Slika 23.	Klasična tvornica šećera [16] .....	33
Slika 24.	Tvornica šećera kao biorafinerija [16] .....	33
Slika 25.	Ilustracija scenarija A .....	42
Slika 26.	Analiza osjetljivosti scenarija A .....	48
Slika 27.	Ilustracija scenarija B .....	49
Slika 28.	Analiza osjetljivosti scenarija B .....	54
Slika 29.	Ilustracija scenarija C .....	55
Slika 30.	Analiza osjetljivosti scenarija C .....	60



**POPIS TABLICA**

Tablica 1. Slatkoće različitih vrsta šećera u usporedbi sa saharozom [3] .....	3
Tablica 2. Pregled količina proizvoda pri preradi 100kg šećerne repe [3].....	21
Tablica 3. Potrošnja energije u tvornici šećera [12].....	21
Tablica 4. Rezultati izračuna masa proizvoda i nusproizvoda baznog scenarija .....	37
Tablica 5. Rezultati izračuna energije potrebne za proizvodnju šećera i sušenje briketiranog rezanca baznog scenarija .....	38
Tablica 6. Prosječne cijene sirovine i proizvoda tvornice šećera [21] .....	39
Tablica 7. Prihodi i rashodi tvornice šećera .....	40
Tablica 8. Novčani tok baznog scenarija .....	41
Tablica 9. Rezultati izračuna masa proizvoda i nusproizvoda scenarija A .....	43
Tablica 10. Rezultati izračuna energije potrebne za proizvodnju šećera i proizvedene energije iz bioplina scenarija A .....	44
Tablica 11. Prihodi i rashodi tvornice šećera u scenariju A.....	45
Tablica 12. Novčani tok scenarija A .....	46
Tablica 13. Rezultati proračuna scenarija A .....	46
Tablica 14. Rezultati izračuna masa proizvoda i nusproizvoda scenarija B .....	50
Tablica 15. Rezultati izračuna energije potrebne za proizvodnju šećera i proizvedene energije iz bioplina scenarija B .....	51
Tablica 16. Prihodi i rashodi scenarija B .....	52
Tablica 17. Novčani tok scenarija B .....	53
Tablica 18. Rezultati proračuna scenarija B.....	53
Tablica 19. Rezultati izračuna masa proizvoda i nusproizvoda scenarija C .....	56
Tablica 20. Rezultati izračuna energije potrebne za proizvodnju šećera i proizvedene energije iz bioplina scenarija C .....	57
Tablica 21. Prihodi i rashodi scenarija C .....	58
Tablica 22. Novčani tok scenarija C .....	58
Tablica 23. Rezultati proračuna scenarija C.....	59

**POPIS OZNAKA**

<b>Oznaka</b>	<b>Jedinica</b>	<b>Opis</b>
S	tona	Masa proizvedenog šećera
M	tona	Masa šećerne repe
m_s	-	Postotak proizvedenog šećera na masu šećerne repe
KiU	tona	Masa repinih korjenčića i ulomaka šećerne repe
SM	tona	Masa šećerne melase
m_sm	-	Postotak proizvedene šećerne melase na masu šećerne repe
P	tona	Masa prešanog rezanca
m_p	-	Postotak proizvedenog prešanog rezanca na masu šećerne repe
B	tona	Masa briketiranog rezanca
m_b	-	Postotak briketiranog rezanca na masu šećerne repe
EP	kWh	Energija potrebna za proizvodnju šećera
m_ep	kWh/tona	Energija za proizvodnju šećera svedena na masu šećerne repe
EB	kWh	Energija potrebna za sušenje briketiranog rezanca
m_eb	kWh/tona	Energija potrebna za sušenje briketiranog rezanca svedena na masu šećerne repe
BP_P	kWh	Energija bioplina proizvedenog iz prešanog rezanca
bp_p	kWh/tona	Prinos bioplina sveden na masu prešanog rezanca
BP_KiU	kWh	Energija bioplina proizvedenog iz repinih korjenčića i ulomaka šećerne repe
bp_kiu	m <sup>3</sup> /tona	Prinos bioplina sveden na masu repinih korjenčića i ulomaka šećerne repe
BP_M	tona	Masa dodatne šećerne repe za proizvodnju bioplina
bp_m	m <sup>3</sup> /tona	Prinos bioplina na masu šećerne repe
BP_KS	tona	Masa kukuruzne silaže za proizvodnju bioplina

## SAŽETAK

Unatoč činjenici da se broj tvornica šećera u Europi u zadnjih 15 godina značajno smanjio i dalje postoji višak šećera na Europskom tržištu. Višak šećera je uzrokovan dijelom zbog smanjene potrošnje kao posljedice ekonomske krize te je na njega također veliki utjecaj imala reforma tržišta šećera iz 2006. godine. Reformom tržišta šećera Europa je postala uvoznik nerafiniranog šećera iz šećerne trske koji potječe iz Afričkih, Karipskih i Pacifičkih zemalja, te se može slobodno uvoziti na tržište Europske Unije bez ograničenja i posebnih nameta. Glavni razlog provođenja reforme tržišta šećera iz 2006. godine je bio smanjenje cijene šećera za 36% (sa 631,9 €/tona 2006/2007 godine na 404,4 €/tona 2009/2010 godine) mehanizmom uvođenja proizvodnih kvota za šećer koje su umanjile Europsku proizvodnju šećera za 6 milijuna tona u 2006. godini. Nakon uvedenog ograničenja proizvodnje šećera iz šećerne repe u Europi je bilo dozvoljeno proizvoditi 13,3 milijuna tona šećera. Reformom tržišta 2006. godine je također ukinuta institucija minimalne zagarantirane cijene šećera [1]. Ove mjere su nastupile kako bi ohrabrile manje efikasne tvornice šećera da prestanu sa svojim radom ili da ulože u poboljšanje efikasnosti svojih postrojenja. Zbog redukcije proizvodnje šećera iz šećerne repe značajno su smanjene površine kultivirane tom kulturom i budućnost poljoprivrednika koji su sijali repu je postala neizvjesna te su zbog toga uloženi naponi kako iskoristiti šećernu repu u druge namjene. Jedna od tih mogućnosti koja otvara nova radna mjesta, smanjuje uvoz električne energije i prirodnog plina, te reducira emisije stakleničkih plinova u okoliš je korištenje šećerne repe kao kvalitetnog energetskog usjeva za biorafinerije. U ovom radu se istražuju načini kako pretvoriti neprofitabilne tvornice šećera u profitabilne tvornice šećera ili kako povećati prihod već profitabilnih tvornica šećera uvođenjem proizvodnje bioplina iz nusproizvoda proizvodnje šećera te ulomaka šećerne repe u krugu tvornice šećera. Kapitalna investicija se sastoji u novoj opremi za proizvodnju bioplina uz proizvodnju šećera. Ulazna sirovina u tvornicu šećera kao biorafineriju je šećerna repa, a mogući proizvodi su šećer, bioplin, te ostali nusproizvodi koji se pojavljuju tokom proizvodnog procesa, a imaju određenu tržišnu vrijednost. Promjenom količina proizvedenog šećera i ostalih proizvoda iz ograničene količine šećerne repe predlaže se način kako maksimizirati profit, uzimajući u obzir tržišne cijene.

Ključne riječi: Industrija šećera, Koncept biorafinerije, Šećerna repa, Bioplin

## **SUMMARY**

Excess of sugar in Europe exists, despite the fact that there was a drastic decrease in the number of sugar factories in Europe in the last 15 years. That excess of sugar is partially caused by lower consumption of sugar because of economic crises and the reform of the sugar market regime from 2006, because of which the EU has become a net importer of mainly cane sugar for refining from the African, Caribbean and Pacific states and Least Developed Countries which benefit from quota-free, duty free access to European Market. The main reason the sugar market regime reform from 2006 occurred was 36% cut in the reference sugar price (from €631.9/ton 2006/2007 to €404.4/ton 2009/2010) by the mechanism of reduction in quota sugar production for 6 million tons in 2006, which leaves remaining sugar quota production of approximately 13.3 million tons, and by the removal of the intervention mechanism that guaranteed a minimum sugar price [1]. Earlier mentioned measures were taken to encourage less competitive sugar producers to leave the industry or to invest in efficiency of their facilities. Due to the reduction in production of white sugar from sugar beet, efforts have been made to find new ways of using sugar beet outside food industry. Sugar beet cultivated area and yields have fallen due to the 2006 sugar regime reform and there is uncertainty about the future for the sugar beet farmers. Using sugar beet as a raw material for biorefinery can reduce greenhouse gases emissions, decrease dependence on import (electrical energy or natural gas) and create new jobs. In this paper, we are searching for new ways to make non-profitable sugar factories profitable or to increase income of profitable sugar factories by biogas coproduction in them. Capital investment is made into new equipment for biogas production (biorefinery) with sugar. Input in sugar factory as biorefinery is sugar beet and possible output products are white sugar and biogas, and other coproducts incurred in production chain, which also have some market value. By changing quantities of produced sugar and other products from limited quantity of sugar beet, we are suggesting a way to maximize profit, thereby taking into account the conditions prevailing on the market.

Key words:

Sugar industry, Bio-refinery concept, Sugar beet, Biogas

## 1. UVOD

Šećerna industrija spada u energetske intenzivnu industriju jer koristi velike količine prvenstveno toplinske, a zatim i električne energije za proizvodnju šećera. Toplinska energija se proizvodi izgaranjem goriva, najčešće prirodnog plina u parnim kotlovima tvornice te se na protutlačnoj turbini formira tehnološka para i generira električna energija potrebna za proizvodnju šećera. Prirodni plin se kupuje iz mreže, dok se električna energija dijelom pokriva iz vlastite proizvodnje, a dio se električne energije kupuje iz elektroenergetskog sustava. Cijene tih energenata čine uz cijenu šećerne repe najveći dio troška proizvodnje šećera iz šećerne repe. Šećerna repa je energetske bogata sirovina koja se primarno koristi za proizvodnju šećera, međutim tokom proizvodnje šećera pojavljuju se nusproizvodi koji su također energetske bogati te se mogu iskoristiti za proizvodnju energije. Glavni nusproizvodi proizvodnje šećera koji su interesantni za proizvodnju energije su izluženi rezanci i šećerna melasa, uz ulomke šećerne repe koji nastaju u njenom transportu i skladištenju. Izluženi rezanci se u sadašnjoj praksi najvećim dijelom prešaju i suše te se briketiraju i prodaju na tržištu kao stočna hrana. Šećerna melasa se koristi kao sirovina za proizvodnju alkohola i kao takva ima svoju tržišnu vrijednost. Ulomci šećerne repe se odvoze iz kruga tvornice šećera i koriste kao sirovina za proizvodnju bioplina, te kao takvi također imaju tržišnu vrijednost. Ukoliko se nusproizvodi proizvodnje šećera iskoriste za proizvodnju energije potrebne za proizvodnju šećera, zatvara se energetske ciklus unutar kruga tvornice i smanjuje se ovisnost tvornice šećera o uvjetima na tržištu plina i električne energije. Investicijom u pogone za proizvodnju bioplina šećerana se pretvara u biorafineriju, što znači da može ovisno o uvjetima na tržištu reagirati i usmjeriti svoje sirovinske tokove u proizvodnju proizvoda gdje će ostvariti maksimalno mogući profit. Kako bi mogli pretvoriti tvornicu šećera u biorafineriju, potrebno se na početku upoznati sa osnovnim tehnologijama proizvodnje šećera, a zatim i sa samim konceptom biorafinerije koji je novost u svijetu industrije. Za kvalitetnu analizu isplativosti nadogradnje tvornice šećera u biorafineriju potrebno je proučiti tržišta energenata u smislu sigurnosti opskrbe i njihovih cijena, te je također potrebno napraviti pregled kretanja cijena proizvoda i nusproizvoda proizvodnje šećera na tržištu kako bi se utvrdio period povrata investicije. U realnom sektoru uvijek postoje nepredviđene situacije, tako da je na kraju rada predstavljena analiza osjetljivosti investicije kako bi se utvrdilo vrijeme povrata u raznim scenarijima.

## 2. OSNOVE TEHNOLOGIJE ŠEĆERA

### 2.1. Uloga šećera u ljudskoj prehrani

Šećer (saharoza) ima važnu ulogu u ljudskoj prehrani i sastojak je velikog broja različitih namirnica. Nutricionistički rečeno, šećer proizvodi energiju i predstavlja najefikasniju namirnicu gledano sa obzirom na prinos kalorija po hektaru zasijane površine [2]. Tokom jednog dana čovjek putem ishrane unese u tijelo 2.500 do 3.500 kalorija što je u prosjeku dovoljno za vršenje životnih funkcija [3]. Glavni energetskelementi u ljudskoj ishrani su ugljikohidrati, bjelančevine i masti. Najveći udio energije u svakodnevnoj prehrani, gotovo dvije trećine, dobivamo iz ugljikohidrata, zbog te činjenice ugljikohidrati imaju veliki prehrambeni značaj. Glavni izvor ugljikohidrata predstavljaju škrobne sirovine (brašno), odnosno proizvodi iz škrobnih sirovina (kruh). Ovi ugljikohidrati nisu potpuno razgradivi u ljudskom organizmu.

Razgradivi ugljikohidrati su:

- Glukoza
- Fruktioza
- Saharoza
- Maltoza

Među njima posebno mjesto zauzima saharoza koja je vrlo rasprostranjena u prirodi, a nalazi se u znatnoj količini u šećernoj repi i u šećernoj trsci. Od svih vrsta razgradivih ugljikohidrata saharoza (šećer) se proizvodi u najvećoj količini. Saharoza je lako probavljiva i njezina apsorpcija počinje u želucu već nekoliko minuta nakon konzumacije što omogućuje da se brzo nadoknadi izgubljena energija. Saharoza je nakon fruktoze najslađi šećer [3]. Na subjektivno svojstvo slatkoće koje se određuje organoleptički utječu temperatura i koncentracija. Iako je fruktoza slađa od saharoze, njezina upotreba je manja jer je proces proizvodnje složeniji, a njezino skladištenje otežano jer su kristali fruktoze vrlo higroskopni te se tope u vlazi koju upiju iz zraka [3].

Ako slatkoću saharoze označimo sa 100, onda ostali šećeri imaju koeficijente prikazane u Tablici 1.

**Tablica 1. Slatkoće različitih vrsta šećera u usporedbi sa saharozom [3]**

Šećer	Slatkoća
Fruktoza	173
Glukoza	53
Arabinoza	35
Maltoza	33
Galaktoza	32
Rafinoza	22

Najvažnija svojstva saharoze [3]:

- Velika hranjivost
- Brza i laka apsorpcija
- Potpuna apsorpcija u organizmu
- Ugodan sladak okus
- Visoka postojanost

Upravo zbog ovih svojstava, saharoza se duboko ukorijenila u svakodnevnu ljudsku prehranu i samim time potražnja za proizvodima koji u sebi sadrže saharozu, kao što je bijeli kristalni šećer, je porasla.

## 2.2. Sirovine za proizvodnju bijelog kristalnog šećera

Od svih poznatih vrsta šećera, saharoza se danas najviše koristi za ljudsku prehranu i to u obliku kristala šećera, tekućem obliku ili ugrađena u prehrambene proizvode. Kao sirovine za proizvodnju proizvoda koji sadrže veliki udio saharoze koriste se šećerna trska i šećerna repa.

### 2.2.1. Šećerna trska

Šećerna trska je tropska i suptropska biljka, koja se upotrebljava za proizvodnju šećera i etanola u Brazilu, Indiji i Kolumbiji [4]. Šećernu trsku su iz Indije u Europu prenijeli vojnici Aleksandra Velikog u vrijeme pohoda na Indiju. U srednjem vijeku kultura šećerne trske se također proširila iz Indije u Saudijsku Arabiju, Siriju, Egipat i na Cipar. U to vrijeme Egipat je bio glavni proizvođač šećera iz šećerne trske za Europu. Kolumbo je proširio kulturu šećerne trske u Ameriku, koja je tamo dobro uspijevala radi povoljnih klimatskih uvjeta. Kuba je dugo vremena imala najveću ulogu u proizvodnji i opskrbi sirovim šećerom proizvedenim iz šećerne trske u svijetu. Kao sirovina za proizvodnju šećera, šećerna trska se danas najviše uzgaja u tropskom pojasu. Pojedine vrste šećerne trske sadrže 15-20 % saharoze [3]. Slika 1. prikazuje šećernu trsku.



Slika 1. Šećerna trska [5]



### 2.2.2. Šećerna repa

Proizvodnja šećera iz šećerne repe je novijeg datuma. Njemački znanstvenik A. S. Marggraf je 1747. godine otkrio da se tršćani šećer također nalazi i u raznim vrstama šećerne repe i da se on može dobiti u znatnim količinama iz bijele repe koja potječe iz primorskih krajeva (Beta maritima). Marggraf nije uspio razraditi industrijsko dobivanje šećera iz šećerne repe, što je uspjelo njegovom učeniku F. K. Archad-u koji je 1802. godine otvorio prvu tvornicu šećera iz šećerne repe. Već 1813. godine u Europi je radilo preko 300 malih tvornica šećera, a kapacitet pojedine tvornice se kretao između 50-100 tona dnevno prerađene repe [6]. Kako su se povećavali kapaciteti tvornica za proizvodnju šećera, tako se povećavala i veličina zemljišta zasijana tom kulturom. Prosječni prinos korijena šećerne repe po hektaru 2010. godine je iznosio 89,6 tona [7]. Slika 2. prikazuje polje zasijano šećernom repom.



Slika 2. Polje zasijano šećernom repom [10]

### 2.2.2.1. *Proizvodnja šećerne repe*

Šećer se stvara na polju u šećernoj repi, tako da je kvaliteta repe presudna za visoke proizvodne rezultate tvornice šećera, naravno uz dobru tehničku opremljenost i kvalitetno vođenje tehnoloških procesa. Uz više prinose šećerne repe po hektaru, povećava se i količina nusproizvoda koji imaju vrijednost kao hrana za stoku ili kao sirovina za proizvodnju energije [8]. Upravo to čini šećernu repu zanimljivom kulturom za poljoprivrednike jer im omogućuje različite izvore prihoda od šećerne repe do njezinih nusproizvoda [8].

Kvaliteta repe ovisi o mnogo čimbenika, a najvažniji među njima su [3]:

- Sorta repe
- Klimatski uvjeti
- Osobine zemljišta
- Nivo primijenjene agrotehnike
- Kvaliteta sjemena

Šećerna repa je biljka koja najbolje uspijeva, tj. daje najveće prinose u umjereno vlažnim i umjereno toplim krajevima. Dobro podnosi visoke i niste temperature, te nije naročito osjetljiva prema kasnim proljetnim i ranim jesenskim mrazovima. Potrebe šećerne repe za vlagom su umjerene, ali je važno da padaline tokom vegetacije budu što ujednačenije raspoređene. Sunčeva svjetlost ima veliki utjecaj na prinos šećerne repe, a naročito je važna u posljednjoj trećini perioda vegetacije kada je fotosinteza šećera najintenzivnija. Prosječni vegetacijski period za šećernu repu traje 140-180 dana te zavisi od klimatskih uvjeta [9]. Sjetva šećerne repe se najvećim dijelom obavlja u periodu od 15. ožujka do 15. travnja, a u praksi se obično troši 20-40 kg sjemena na 1 ha zemljišta. [3] Važno je posijanu repu zaštititi od bolesti i štetočina jer oni napadaju korijen repe koji tada obolijeva, deformira se, zakržljava ili sasvim propadne, uslijed čega nastaju veće ili manje prazne površine na polju, što smanjuje prosječan prinos repe [3]. Slika 3. prikazuje sijanje šećerne repe.



**Slika 3. Sijanje šećerne repe [10]**

Osnovni principi u zaštiti repe zasnivaju se na [3]:

- Pravilnom plodoredu po kojem se šećerna repa ponovno sije na istoj zemlji svakih 4-5 godina
- Ranom i gustom sisanju repe
- Čestom provjeravanju repe kako bi se što prije uočila pojava bolesti ili insekata
- Redovitom godišnjem uništavanju insekata
- Pravilnoj i racionalnoj uporabi sredstava za zaštitu repe od štetočina

Osnovno pravilo u zaštiti šećerne repe je primjena čitavog niza zaštitnih mjera. Počinje sa sjemenom, koje treba zaprašiti, nakon čega je bitna dobra priprema zemlje i obilno gnojenje uz dodatak potrebnih mikroelemenata, nakon čega slijedi pravovremena sjetva i kvalitetna obrada šećerne repe.

Šećerna repa se vadi iz zemlje u ovisnosti o ekonomskim uvjetima koji odgovaraju tvornici šećera i proizvođaču repe. Ukoliko tvornica šećera očekuje velike količine ugovorene repe, biti će joj isplativije započeti kampanju prerade šećerne repe što ranije kako bi spriječila produljenje kampanje na sijechanj, kada nastaju problemi u vađenju, transportu i preradi repe, te je smanjen kapacitet tvornice radi potencijalno niskih temperatura. Problemi pri vađenju repe uzrokovani niskim temperaturama mogu smanjiti proizvodni kapacitet tvornice šećera jer neće biti moguće opskrbiti pogon dovoljnim količinama, što dovodi do direktnih gubitaka za tvornicu. Također, prilikom otežanog vađenja šećerne repe iz smrznute zemlje, uništava se zemljište za buduće kulture i oštećuju se kombajni za vađenje repe. Kombajn koji se prevrnuo prilikom vađenja repe u zimskim uvjetima prikazan je na Slici 4.



**Slika 4. Otežano vađenje šećerne repe u zimskim uvjetima [10]**

Proizvođačima je također u cilju šećernu repu što prije izvaditi sa svojih polja kako bi preduhitрили kišne periode, te kako bi oslobodili polja za druge usjeve. Optimalni trenutak za vađenje repe, gledano sa tehnološke strane je onaj kada repa sazre, tj. kada prestaje pohranjivati šećer u korijenu nego počinje rasti na njegov račun [3]. Na našem podneblju, šećerna repa najčešće dozrijeva u prvoj polovini rujna. Izvađena repa se u najkraćem mogućem roku prevozi u krug tvornice šećera, što u većini slučajeva iznosi do dva dana. Na stanici za preuzimanje šećerna repa se važe te se uzorkuje i određuje postotak nečistoće. Temeljem tih podataka šećerna repa se plaća proizvođaču prema masi, bez obzira na udio šećera ili čišće po sadržaju šećera u šećernoj repi. U većini slučajeva se ugovori bazna digestija, tj. bazni postotak šećera u šećernoj repi temeljem kojeg se vrši plaćanje ovisno o stvarnom postotku šećera u dovezenoj repi u krug tvornice. Plaćanje po digestiji jedini je pravedan način plaćanja šećerne repe kako za proizvođača tako i za tvornicu šećera. Pošto količina i kvaliteta šećerne repe u velikoj mjeri zavise od klimatskih uvjeta u periodu vegetacije na koje se gotovo ne može utjecati, pošteno je da rizik u proizvodnji snose oba partnera u proizvodnji šećera podjednako. U isto vrijeme, ovakav način plaćanja stimulira s jedne strane poljoprivrednike da proizvedu šećernu repu optimalnih bioloških i tehnoloških osobina, dok s druge strane stimulira tvornice šećera da od dovezene sirovine proizvedu kvalitetan šećer uz što manje gubitaka. Proizvodnja šećera ne spada u one industrijske grane koje rade tokom cijele godine, već prerada šećerne repe traje u prosjeku 80 do 100 dana neprekidnog danonoćnog rada [3]. Nastoji se produžiti trajanje kampanje prerade šećerne repe jer svako stajanje tvornice predstavlja trošak i neiskorišteni potencijal. Upravo zbog toga se istražuju načini kako skladištiti šećernu repu uz minimalne gubitke šećera. Poslije vađenja repe prestaju procesi rasta biljke i primanja vode, međutim time ne prestaje život biljke jer ona i dalje „diše“ pri čemu se proizvodi energija i oslobađa toplina. Pod disanjem se podrazumijeva proces sagorijevanja saharoze uz sudjelovanje kisika iz okoliša. Bez obzira na način čuvanja šećerne repe, uvijek dolazi do gubitaka šećera. Osim gubitaka šećera disanjem, prisutni su i gubitci izazvani radom mikroorganizama, tj. plijesni i bakterija, naročito u slučajevima kada je šećerna repa oštećena prilikom vađenja ili transporta. Jednom zamrznuta repa ne može se više skladištiti, jer kada se odmrzne postaje osjetljiva na mikroorganizme [3]. Kvalitetno čuvanje šećerne repe prije prerade je vrlo bitno i treba mu posvetiti posebnu pozornost jer se time mogu postići velike uštede, odnosno prouzročiti veliki gubitci nekvalitetnim čuvanjem. Pretpostavlja se da prosječni gubitci šećera u šećernoj repi od vađenja do prerade iznose oko 1% [3].

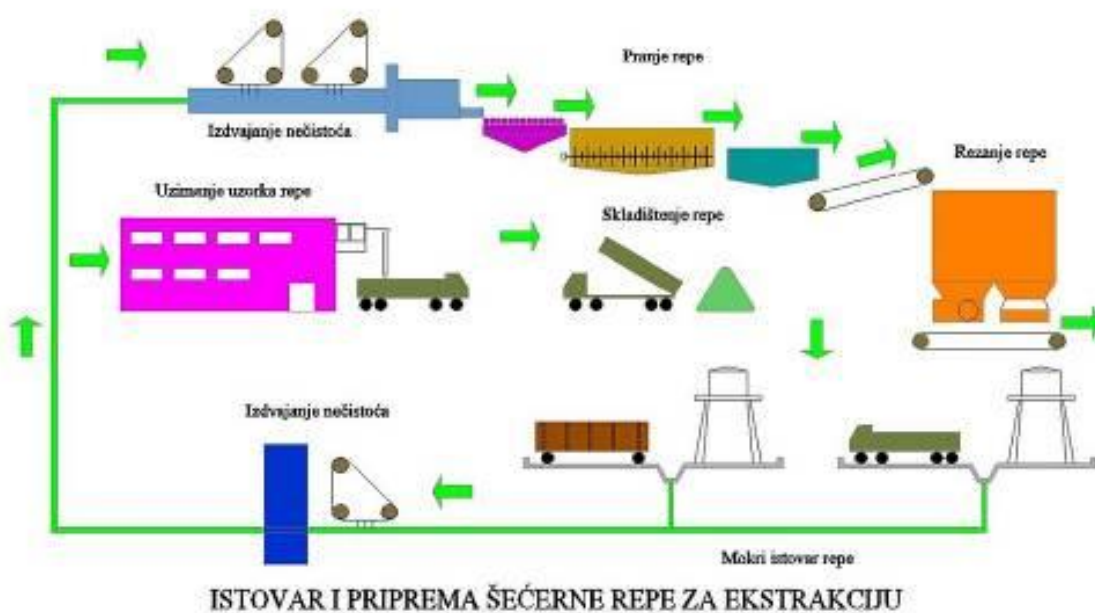
### 2.3. Osnove tehnološkog postupka prerade šećerne repe

Tehnološki postupak prerade šećerne repe može se podijeliti u pet osnovnih faza:

- Priprema repe za ekstrakciju
- Ekstrakcija šećera iz repinih rezanaca difuzijom
- Čišćenje difuznog soka defekacijom i saturacijom
- Ugušivanje šećernog soka uparavanjem
- Kristalizacija šećera [6]

#### 2.3.1. Priprema šećerne repe za ekstrakciju

Prvi korak u proizvodnji šećera je istovar i priprema šećerne repe za ekstrakciju, a on je shematski prikazan na Slici 5.



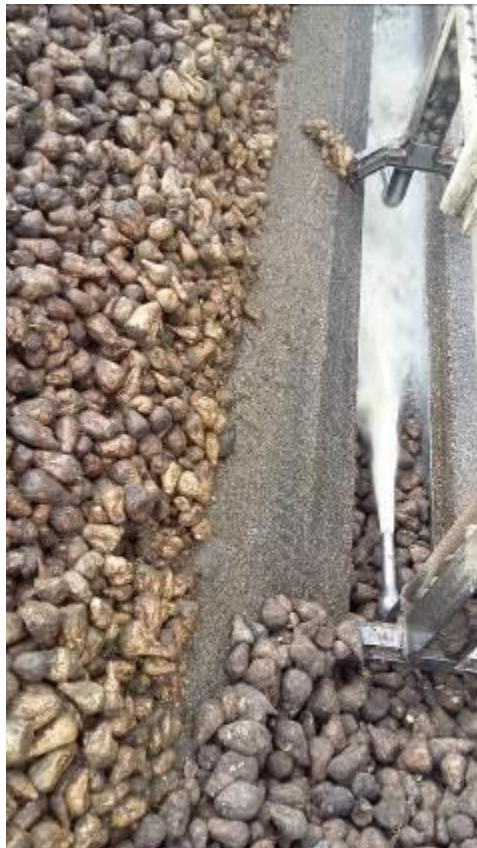
Slika 5. Shematski prikaz istovara i pripreme šećerne repe za ekstrakciju [11]

Iz sheme se može vidjeti da se šećerna repa dovozi u tvornicu gdje se najprije važe, uzrokujući te se iz uzorka u repnom laboratoriju određuje nečistoća i digestija, tj. sadržaj šećera u repi.

Nakon uzorkovanja šećerna repa se istovara na repne piste, tj. betonska skladišta na otvorenom kroz koja prolaze kanali tzv. kinete. Kroz te kanale šećerna repa se hidrauličkim, tj. vodenim putem transportira na daljnju preradu. Za hidraulički transport se obično upotrebljava kondenzat koji je nastao u procesu proizvodnje šećera (dovezena šećerna repa sadrži cca 75% vode)[3]. U hidrauličkom transportu nalazi se prljava repa sa primjesom raznih nečistoća, od kojih se grube nečistoće uklanjaju već tokom transporta pomoću posebnih uređaja, takozvani hvatači kamena i trave. Na tim uređajima se uklanjaju kamen, slama, blato, drvo i trava, te slične nečistoće koje dolaze sa šećernom repom u krug tvornice. Na kraju kinete nalazi se repna pumpa ili trakasti transporter koji podiže šećernu repu u pogonsku zgradu gdje se obavlja završno pranje repe. Uređaj za pranje šećerne repe tzv. rotirajuća pralica repe, nakon pranja izbacuje repu na rešetke gdje se ona odvaja od vode koja sadrži sitne nečistoće kao pijesak, zemlja, ulomci repe i sl. Nakon pranja, šećerna repa trakastim transporterom odlazi prema rezalicama gdje se reže na rezanac koji odlazi dalje na difuziju. Slika 6. prikazuje manipulaciju šećernom repom u krugu tvornice. Na Slici 7. može se vidjeti hidraulički transport šećerne repe od skladišta na otvorenom do pogona, dok Slika 8. prikazuje hvatače trave u hidrauličkom transportu kako bi se repa očistila.



**Slika 6. Manipulacija šećernom repom u tvornici [10]**



**Slika 7. Hidraulički transport šećerne repe [10]**

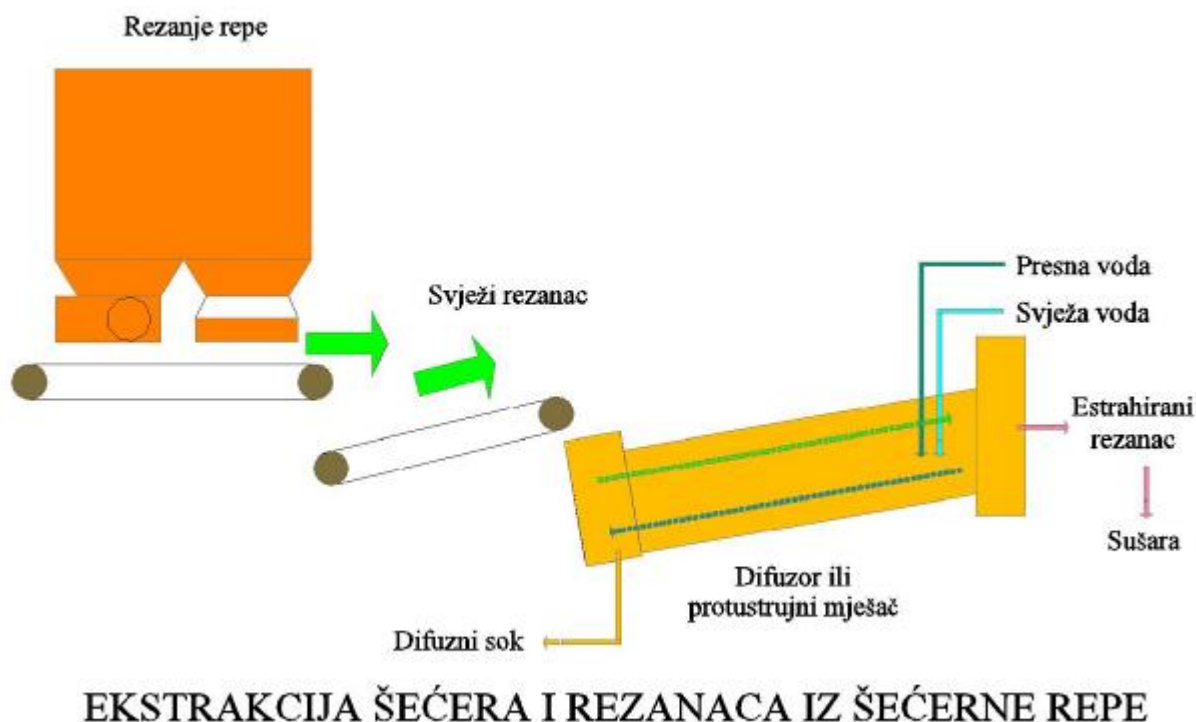


**Slika 8. Hvatači trave [10]**



### 2.3.2. Ekstrakcija šećera iz repinih rezanaca difuzijom

Idući korak u proizvodnji šećera iz šećerne repe shematski je prikazan na Slici 9.



**Slika 9. Shematski prikaz ekstrakcije šećera i rezanaca iz šećerne repe [11]**

Ekstrakcija šećera iz repinih rezanaca je kontinuirani proces, a odvija se u tzv. difuznom tornju. Za optimalni učinak difuzije potrebno je zagrijati repine rezance na temperaturu 68-72°C, ovisno o stanju repe [3]. U difuznom tornju postupkom difuzije dobiva se sirovi ili difuzni sok u koji prelazi većina saharoze i jedan dio nešećera iz šećerne repe. Po završetku ekstrakcije u difuznom tornju, dobiva se difuzni sok i izluženi rezanac. Izluženi rezanac sa 10-12% suhe tvari odlazi na preše te se preša na sadržaj suhe tvari 25-30%, te nakon toga može ići u sušaru rezanca gdje se suši na 12-13% vlage i briketira, te se kao takav koristi za stočnu hranu [6]. Prešani rezanac se može koristiti i svjež za silažu također za stočnu hranu, te se može koristiti i za proizvodnju bioplina. Prešanog rezanca ima na masu repe oko 20% ovisno o suhoj tvari prešanog rezanca [3].

Na slici 10. prikazan je difuzni toranj, dok Slika 11. prikazuje skladištenje prešanog rezanca.



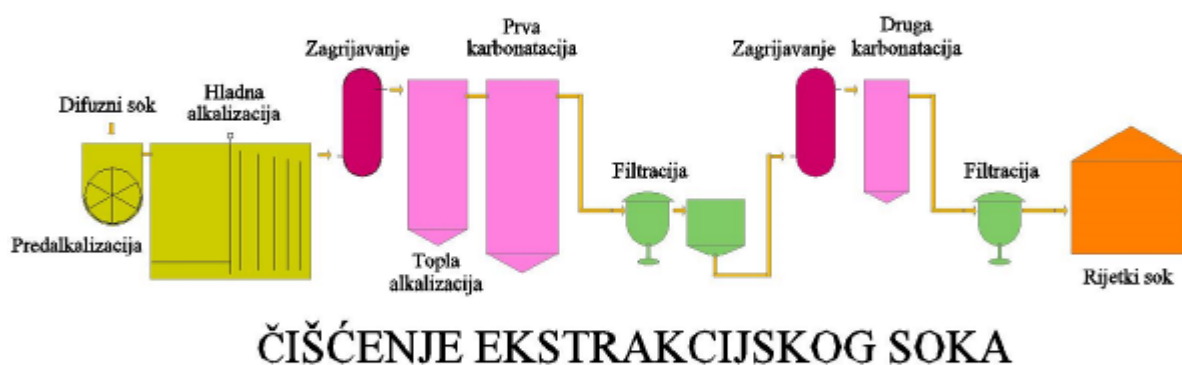
**Slika 10. Vertikalni difuzni toranj [10]**



**Slika 11. Prešani rezanac [10]**

### 2.3.3. Čišćenje difuznog soka defekacijom i saturacijom

Shematski prikaz čišćenja ekstrakcijskog soka shematski je prikazan na Slici 12.



Slika 12. Shematski prikaz čišćenja ekstrakcijskog soka [11]

Difuzni ili ekstrakcijski sok na izlasku iz difuznog tornja pored saharoze sadrži i nešećere u koloidnom i neotopljenom stanju, te mrve od rezanaca kao mehaničke nečistoće. Koloidi ometaju kristalizaciju šećera dok otopljeni nešećeri povećavaju razgradivost saharoze u vodi i uzrokuju povećanu količinu melase. Upravo iz tih razloga, difuzni sok se najprije mehanički, a zatim i kemijski čisti od navedenih elemenata [3]. Radi odvajanja grubih nečistoća i komadića rezanaca difuzni sok se pušta preko sita, a zatim odlazi na čišćenje sa  $\text{Ca(OH)}_2$  i  $\text{CO}_2$  plinom. Čišćenje soka se sastoji od dvije faze: u prvoj fazi nazvanoj defekacija soka postepeno se dodaje  $\text{CaO}$  u obliku vapnenog mlijeka u difuzni sok, dok se u drugoj fazi nazvanoj saturacija, u smjesu difuznog soka i vapnenog mlijeka dodaje ugljikov dioksid, koji u spoju sa vapnenim mlijekom daje  $\text{CaCO}_3$ .

Idući tehnološki korak je uklanjanje izdvojenog taloga sa koloidima i nataloženim nešećerima na uređajima zvanim filter-preša ili na vakuum-filterima [3]. Slika 13. prikazuje skladištenje koksa za korištenje u vapnenoj peći. Na Slici 14. je prikazana vapnena peć.



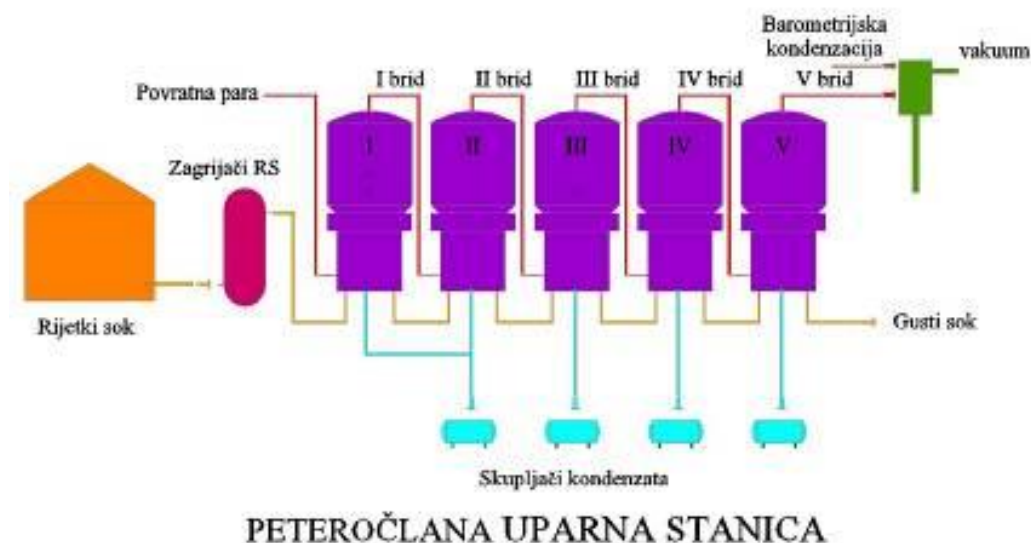
**Slika 13. Koks za loženje u vapnenoj peći [10]**



**Slika 14. Vapnena peć [10]**

### 2.3.4. Ugušćivanje šećernog soka uparavanjem

Shematski prikaz uparavanja šećernog soka prikazan je na Slici 15.



**Slika 15. Shematski prikaz ugušćivanja šećernog soka uparavanjem [11]**

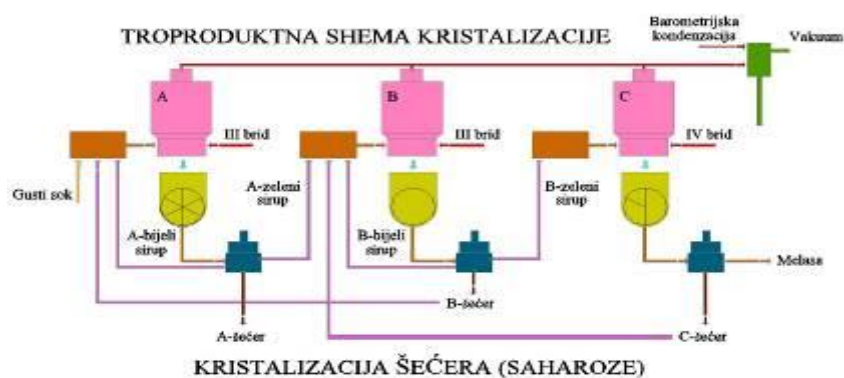
Rijetki sok koncentracije 15-17 °Bx se uparavanjem ugušćuje do gustoće 60-65 °Bx [3]. Uparavanje se odvija u otparnim stanicama koje se sastoje od više tzv. tijela (Robertov uparivač), na način da se tlak od prvog do zadnjeg tijela otparne stanice postepeno snižava tako da se parom (bridom) dobivenom uparavanjem soka u prethodnom tijelu, grije sljedeće tijelo otparne stanice. Jedan kilogram dovedene pare, tj. returne pare koja je prošla kroz turbinu u prvo tijelo otparne stanice, ispari 2-2,5 kg vode iz rijetkog soka [3]. Sok koji izlazi iz posljednjeg tijela otparne stanice ima koncentraciju 60-65 °Bx i naziva se gusti sok [6]. Dobiveni gusti sok se filtrira i sakuplja u sabirnim rezervoarima na stanici za kristalizaciju radi daljnje prerade u šećer. Slika 16. prikazuje Robertov uparivač koji služi za uparavanje šećernog soka.



Slika 16. Robertov uparivač [10]

### 2.3.5. Kristalizacija šećera

Shematski prikaz kuhanja, tj. kristalizacije šećera prikazuje Slika 17.



Slika 17. Shematski prikaz kristalizacije šećera [11]

Proizvedeni gusti sok se koncentrira daljnjim uparavanjem sve dok ne započne proces kristalizacije šećera. Kako bi se izbjegla karamelizacija i gubitci šećera pri kristalizaciji, kuhanje šećera se vrši pod vakuumom i pri nižim temperaturama cca 70°C [3]. Za ovu fazu tehnološkog procesa proizvodnje šećera postavlja se shema kuhanja kojom se određuje u koliko će se stupnjeva vršiti kristalizacija šećera kuhanjem gustog soka. Shema kristalizacije treba biti što jednostavnija kako bi se sok što manje vraćao u prethodni stupanj kuhanja jer se time smanjuje potrošnja toplinske energije i gubitci šećera. Šećer se najčešće kuha u tri stupnja kristalizacije, pri čemu se dobivaju tri šećerovine (A, B i C). Na centrifugama C šećerovine se izdvaja posljednji matični sirup, tzv. melasa koja se koristi kao sirovina za druge industrije. Melasa u sebi sadrži šećer cca 50% koji se više ne može dobiti redovitom kristalizacijom [3]. Slika 18. prikazuje centrifuge šećera, dok se na Slici 19. može vidjeti kuhanje šećera.



**Slika 18. Centrifuge šećera [10]**



Slika 19. Kuhanje šećera [10]

## 2.4. Maseni i energetske tokovi

Za izradu analize isplativosti ulaganja u proizvodnju bioplina u tvornici šećera potrebno je razmotriti masene i energetske tokove kako bi se vidjelo kojom sirovinom se raspolaže i koje su to proizvedene količine bioplina iz date sirovine. Također je bitno proračunati količinu energije potrebnu za proizvodnju.

### 2.4.1. Maseni tokovi

U tvornicu šećera dovozi se šećerna repa koja služi kao sirovina za proizvodnju šećera uz koji se proizvode i neki nusproizvodi. Tablica 2. prikazuje pregled količina svih proizvoda pri preradi 100 kg šećerne repe sa 17% šećera i 24,45% suhe tvari. [3]



**Tablica 2. Pregled količina proizvoda pri preradi 100kg šećerne repe [3]**

<b>Proizvod</b>	<b>kg na 100 kg šećerne repe</b>
Bijeli kristalni šećer	14,23
Prešani izluženi rezanac	20
Šećerna melasa	4,25
Briketirani rezanac	4,80
Ulomci i korjenčići šećerne repe	1,67

Briketirani rezanac je krajnji proizvod koji se dobije sušenjem i briketiranjem prešanog repinog rezanca. U Tablici 2. su prikazane količine prešanog izluženog rezanca i briketiranog rezanca uz napomenu da jedan proizvod isključuje drugi. Uz nastale proizvode, pri manipulaciji i pranju šećerne repe, dolazi do pojave ulomaka koji nisu iskoristivi za proizvodnju šećera, a imaju energetska vrijednost koja se može iskoristiti kroz proizvodnju bioplina. Približna količina ulomaka i korjenčića šećerne repe na masu repe dobivena je u razgovoru sa djelatnicima tvornice šećera, a prikazana je u Tablici 2.

#### **2.4.2. Energetski tokovi**

Tvornica šećera troši približno 175 kWh energije na tonu šećerne repe za proizvodnju šećera i 75 kWh energije na tonu šećerne repe za sušenje prešanog rezanca [12]. Što znači da se otprilike 75% energije troši na proizvodnju šećera, dok 25% energije odlazi na sušenje rezanca. Potrošnja energije u energani tvornice šećera prikazana je u Tablici 3.

**Tablica 3. Potrošnja energije u tvornici šećera [12]**

<b>Proces</b>	<b>Utrošak energije [kWh/1000kg šećerne repe]</b>
Proizvodnja šećera	175
Sušenje rezanca	75

Prirodni plin ili neko drugo gorivo se dovodi u energanu tvornice šećera gdje se spaljuje na gorionicima i u generatoru pare se proizvodi pregrijana para tlaka 49 bara i temperature 450 °C. Takva pregrijana para odlazi na parnu turbinu gdje ekspandira na tlak 2 bara i temperaturu 120 °C. Nakon toga para odlazi u proces proizvodnje šećera i vraća se nazad u kotao na ponovno pregrijanje. Slika 20. prikazuje gorionike u energani tvornice šećera, dok Slika 21. prikazuje parnu turbinu u energani tvornice šećera.



**Slika 20. Gorionici u energani tvornice šećera [10]**



**Slika 21. Parna turbina u energani tvornice šećera [10]**

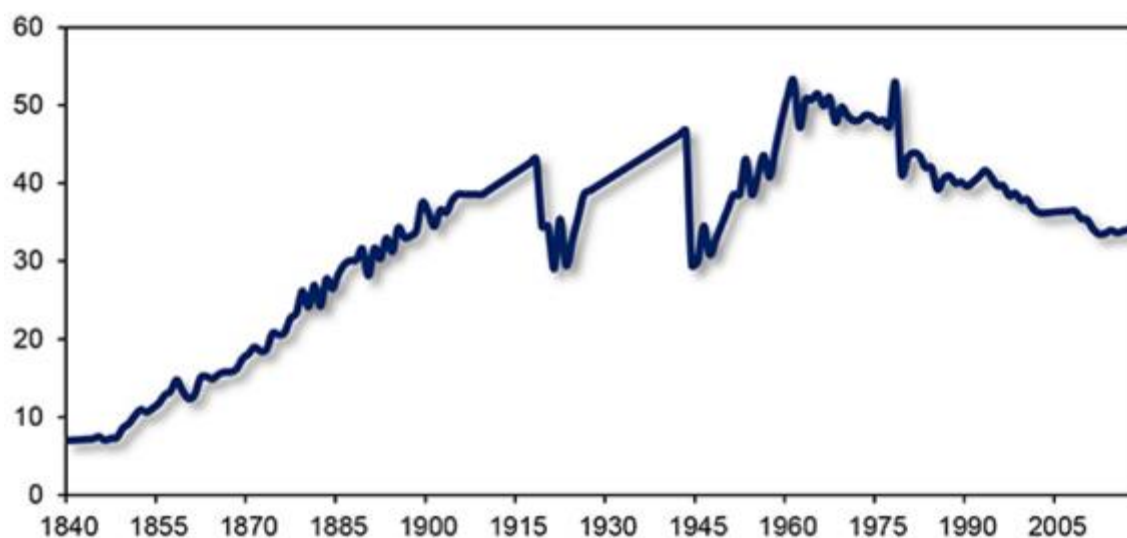
## 2.5. Razvoj šećerne industrije u 20-tom stoljeću

Krajem 19.-tog stoljeća uloženi su naponi za uvođenje međunarodnog sporazuma o proizvodnji i trgovini šećerom kako bi se smanjila razlika u profitabilnosti između šećera proizvedenog iz šećerne repe i onog proizvedenog iz šećerne trske. Nijedan od tih pokušaja nije bio uspješan sve do Britanske inicijative koja je donijela Brussels Convention 1902. godine [6]. Ovaj sporazum je značio uvođenje ograničenja izvoza šećera za zemlje koje su proizvodile šećer iz šećerne repe, dok je dao vjetar u leđa zemljama koje su proizvodile šećer iz šećerne trske kroz povećanje njihove kompetitivnosti. Sljedeće godine su donijele veliki rast proizvodnje šećera iz šećerne trske u tropskim i suptropskim područjima, gdje su građene nove tvornice i povećana su područja gdje je šećerna trska kultivirana. Dva Svjetska rata i s njima povezane ekonomske krize u 20.-tom stoljeću su odigrale svoju ulogu kroz smanjenje rasta proizvodnje šećera iz šećerne repe u Europi, dok je proizvodnja iz šećerne trske i dalje naglo rasla. Ukupno, količina centrifugalno proizvedenog šećera je porasla sa 10,3 milijuna tona 1900.-te godine na 123 milijuna tona 1996.-te godine [6]. U proteklih par desetljeća ukupna proizvodnja šećera povećava se oko 2% godišnje, s omjerom 2:1 u korist šećerne trske kao sirovine [6]. Kako bi motivirali proizvođače šećerne repe za ulaganja u njihovu proizvodnju, tvornice šećera su započele plaćanje šećerne repe prema sadržaju šećera, tzv. digestiji šećerne repe još 50-tih godina prošlog stoljeća. Šećer se proizvodi na poljima, dok tvornice šećera imaju svrhu samo ekstrakcije tog u polju proizvedenog šećera u oblik primjenjiviji za ljudsku prehranu. Tvornice šećera koje koriste šećernu trsku za svoju primarnu sirovinu za proizvodnju šećera, plaćaju šećernu trsku prema prosječnom prinosu proizvedenog šećera ili se cijena šećerne trske formira prema cijeni sirovog šećera na tržištu. Proizvod tvornica šećera iz šećerne trske je uglavnom industrijski ili nerafinirani šećer koji se prodaje na tržištu i dalje rafinira u krajnji proizvod, tj. bijeli šećer kakvoga možemo kupiti u policama trgovina na mjestu potrošnje. Takva praksa je bila uobičajena do 1980.-tih godina, kada se dio tvornica šećera iz šećerne trske opredijelio za proizvodnju i pripremu bijelog šećera direktno za prodaju i izvoz u samoj tvornici [6]. Nasuprot tome, gotovo sve tvornice šećera iz šećerne repe proizvode bijeli šećer za prodaju ili daljnji izvoz. Iako se u prošlosti tržište šećera odnosilo u najvećem dijelu na prodaju i kupovinu nerafiniranog šećera kao poluproizvoda, trgovanje bijelim šećerom je naglo poraslo od 1970.-tih godina te je do 1990.-te godine doseglo gotovo 40% ukupnog tržišnog volumena [6].

Funkcioniranje šećerne industrije je uvelike podložno reguliranju uvoznim/izvoznim i proizvodnim kvotama, te cijenama i tarifama koji su sadržani u propisima o trgovanju šećerom. 90-tih godina prošlog stoljeća neke su zemlje ipak odlučile smanjiti svoj utjecaj ili su u potpunosti odustale od reguliranja tržišta šećera jer se došlo do zaključka da nije moguće regulirati svjetsko tržište šećera dugoročno. Razlog tome je višak šećera na svjetskom tržištu zbog čega dolazi do naglih promjena cijena šećera koje je teško kontrolirati i predvidjeti [1].

## 2.6. Potrošnja šećera

Smatra se da je u prošlosti med bio lijek i osvježavajuće sredstvo Grcima, dok su Arapi u tu svrhu koristili šećer. Tokom srednjeg vijeka šećer se mogao kupiti u tadašnjim apotekama i postoje tekstovi o njegovom ljekovitom djelovanju. Konstantan rast proizvodnje uz koji se veže i pad cijene šećera donio je njegovo upotrebu gotovo u svako kućanstvo. Veliki utjecaj na rast potrošnje šećera imala je pojava kave, čaja i kakaa tokom 17.-tog stoljeća. Zaslađena pića donijela su brzu apsorpciju energije u organizam, te je u industrijaliziranim zemljama šećer postao svakodnevna hrana za radnike. U Velikoj Britaniji tokom 18.-tog stoljeća potrošnja šećera je porasla sa 1,8 na 8,2 kg po stanovniku godišnje. U 19.-tom stoljeću prosječna potrošnja šećera po stanovniku Velike Britanije je iznosila 38,8 kg [6], a napredujuća industrijalizacija ubrzo je dovela i ostale zemlje u okruženju na sličnu razinu potrošnje šećera. Sve do druge polovice 20.-tog stoljeća tvornice su isporučivale šećer u obliku pakovanja od 50 i 100 kg u jutenim vrećama, koje su u tom razdoblju zamijenjene papirnatim vrećama. Tokom 20.-tog stoljeća dio potrošnje šećera se prenio iz sektora domaćinstva u sektor industrije, tako da je npr. u Njemačkoj udio potrošnje šećera u domaćinstvima od 1930. do 1990. godine pao sa 61% na 23% dok je istovremeno porast potrošnje šećera u prehrambenoj industriji porastao sa 39% na 77% [6]. Prehrambena industrija pretežito kupuje šećer u tekućem obliku kako bi ga lakše mogla transportirati i dalje koristiti u svojoj proizvodnji. U ukupnom volumenu prodanog šećera u svijetu tek oko 55% čini potrošnja šećera u domaćinstvima [6]. Na Slici 22. prikazan je graf potrošnje šećera po stanovniku Velike Britanije u razdoblju od sredine 19. do početka 21. stoljeća.



**Slika 22. Potrošnja šećera po stanovniku Velike Britanije [18]**

Iz grafa se može vidjeti trend rasta potrošnje do Prvog Svjetskog rata, kada je uslijedio značajni pad u potrošnji šećera. Nakon toga se rast nastavio do Drugog Svjetskog rata kada je opet došlo do značajnog pada u potrošnji šećera. Tržište se oporavilo nakon ratova i nastavilo sa rastom sve do druge polovice 20. stoljeća od kada je trend pada potrošnje šećera po stanovniku Velike Britanije [13].

### 3. TROŠKOVI PROIZVODNJE ŠEĆERA

Trošak proizvodnje šećera razlikuje se od zemlje do zemlje i ovisi o mnogo faktora. Na svjetskoj ekonomiji 123 zemlje su registrirane kao proizvođači šećera, od kojih 80% proizvodi šećer iz šećerne trske, dok preostalih 20% koristi šećernu repu za proizvodnju šećera [14]. Gotovo polovina svjetske proizvodnje šećera dolazi iz Brazila, Indije i Kine [14].

U mikroekonomiji trošak predstavlja cjenovno denominiranu potrošnju dobara vezanu za krajnji proizvod. Proizvodni trošak stoga predstavlja tu potrošnju dobara koja se moraju potrošiti kako bi se proizveo neki krajnji proizvod. Posljedično vezano, što je viši nivo proizvedene robe (u ovom slučaju šećera), to je veća potrošnja dobara potrebna za njegovu proizvodnju. Trošak proizvodnje je između ostalog, reguliran i vanjskim utjecajima te se može podijeliti na fiksni i varijabilni trošak [6].

- a) Fiksni trošak je onaj trošak koji nije vezan na tehnologiju ili količinu proizvodnje. Primjeri fiksnog troška su deprecijacija i diskontna stopa kapitala uloženog u proizvodnju.
- b) Varijabilni trošak je svaki onaj trošak koji je vezan na proizvedenu količinu. Primjeri varijabilnog troška su trošak energije i trošak plaća radnika, tj. troškovi direktno vezani na proizvedenu količinu. Varijabilni trošak se dalje raščlanjuje na: proporcionalan, silazni, progresivan i regresivan varijabilni trošak.

Ovi troškovi su obuhvaćeni u:

- Veličini i kapacitetu postrojenja
- Kvaliteti proizvoda
- Paleti proizvoda
- Iskoristivosti kapaciteta
- Vanjskim uvjetima (npr. pravni zahtjevi) [6]

Troškovi proizvodnje šećera iz šećerne repe su podijeljeni na:

- a) Trošak sirovine koji možemo okarakterizirati kao poljoprivredne troškove i troškove transporta sirovine.
- b) Procesni troškovi koje u osnovi čine ljudstvo, popravci i održavanje opreme, porezi i osiguranja, te trošak kapitala. Proporcionalni varijabilni procesni troškovi su radna snaga, gorivo, vapnenac i koks, te ostali aditivi potrebni za proizvodnju šećera. [4]

### 3.1. Trošak sirovine

Kao što je ranije naglašeno, većina šećera na globalnoj razini se proizvodi iz šećerne trske, dok se u Europi šećer proizvodi iz šećerne repe. Cijena šećerne repe se ugovara između proizvođača šećerne repe i tvornice šećera [14]. Ugovorena cijena se temelji na masi predane sirovine ili prema sadržaju šećera u šećernoj repi i ovisi o cijeni šećera. U mnogim zemljama cijena sirovine je određena regulativama (EU) ili je indirektno vezana na cijenu šećera na tržištu (Sjedinjene Američke Države, Brazil, Ukrajina, itd.). Cijena sirovine treba biti dovoljno visoka kako bi pokrila poljoprivredne proizvodne troškove i donijela izvjestan profit poljoprivrednicima, dok s druge strane mora biti dovoljno niska kako njezin udio u cijeni šećera ne bi bio previsok i time ugrozio tržišnu poziciju tvornica šećera u odnosu na druge sladore. Upravo je to razlog međusobne suradnje proizvođača šećerne repe i tvornica šećera, te se u praksi mogu sresti uspješni primjeri gdje su proizvođači šećerne repe ujedno i vlasnici tvornice šećera.

Trošak proizvodnje šećerne repe (sadržaj šećera 16%) u Europi iznosi od 20 do 40 eura po toni [14], a on je funkcija:

- Korisnog vegetacijskog perioda
- Izboru sjemena (cijena sjemena)
- Načina obrađivanja, gnojenja i zaštite polja
- Načina vađenja šećerne repe
- Veličini poljoprivrednog gospodarstva [6]

### 3.2. Procesni trošak

Trošak prerade šećerne repe u tvornici uključuje razne faktore koji su neovisni o trošku šećerne repe, a ovisi o sljedećem:

- Trajanje kampanje prerade šećerne repe
- Proizvodni program i tehnike
- Kapacitet tvornice
- Standard tvornice šećera sa naglaskom na trošak djelatnika
- Stupanj automatizacije sa naglaskom na trošak djelatnika
- Starost opreme sa naglaskom na troškove popravaka i deprecijaciju opreme
- Lokacija tvornice (ruralno ili urbano područje)
- Zahtjevi za zaštitu okoliša [6]

### 3.3. Kapitalni trošak

Kapitalne investicije u tvornicama šećera se generalno razmatraju u vremenskom razdoblju do 20 godina. Knjigovodstveni životni vijek opreme i objekta se uvelike razlikuje od tvornice do tvornice. U Njemačkoj on na primjer iznosi 15 godina za kotlove, 10-12 godina za isparivače, 20 godina za izmjenjivače topline, 10-12 godina za uparivače i 50 godina za objekte [6]. Kapitalni izdaci su u najvećoj mjeri definirani kapacitetom rezanja repe i trajanjem kampanje prerade šećerne repe. Tvornice koje imaju veći kapacitet rezanja i u kojima kampanja traje duži vremenski period zahtijevaju i veće kapitalne investicije.

### 3.4. Trošak djelatnika

Trošak djelatnika utječe na proizvodne troškove u tvornicama šećera, te on treba biti uvršten u fiksni i varijabilni trošak. Potrebe za djelatnicima u tvornici šećera djelomično ovise o veličini postrojenja dok puno veći utjecaj na broj djelatnika ima stupanj automatizacije postrojenja. 90-tih godina prošlog stoljeća većina je tvornica šećera za vrijeme trajanja kampanje prerade šećerne repe radila u tri smjene po osam sati. Međutim, postoje i tvornice koje rade u dvije ili četiri smjene.



Tvornice koje zapošljavaju mali broj djelatnika, uglavnom zapošljavaju djelatnike za stalno, tj. tokom cijele godine, dok je u tvornicama sa većim brojem djelatnika dio njih zaposlen samo sezonski, kada postoji potreba za većim brojem djelatnika radi kampanje prerade šećerne repe [6].

### **3.5. Trošak goriva**

Potrošnja energije u obliku tehnološke pare potrebne za proizvodnju šećera se konstantno smanjuje od Drugog Svjetskog Rata. 1970-tih godina, tvornica bijelog šećera sa prosječnom opremom je zahtijevala 36-40 kg pare na 100 kg šećerne repe, dok je ta potrošnja iznosila 17 kg pare na 100 kg šećerne repe 1997. godine [6]. Energetska kriza koja je podigla svijest o potrošnji energije i povisila cijene energenata motivirala je tvornice šećera za ulaganja u smanjenje potrošnje tehnološke pare i s time pripadajućeg troška za energente. Najviše se ulagalo u poboljšanje efikasnosti uređaja koji koriste tehnološku paru (npr. Robertov isparivač).

### **3.6. Trošak goriva za vapnenu peć**

Živo vapno (CaO) i koks se koriste kao izvor energije za vapnenu peć. Uz napredovanje tehnologije i kvalitete sirovine, potrošnja CaO se drastično smanjila zadnjih godina (sa 4,5-7 kg CaO prema 3-3,5 kg CaO na 100 kg šećerne repe) [6].

### **3.7. Trošak održavanja**

Troškovi održavanja su uvelike ovisni o kvaliteti materijala strojeva i opreme uključenih u proizvodnju šećera. Upotreba kvalitetnijih materijala te praćenje trošenja strojeva i opreme omogućili su smanjenje troška njihovog održavanja kroz rano prepoznavanje kvara.

#### 4. KONCEPT BIORAFINERIJE

Koncept biorafinerije temelji se na naftnim rafinerijama, gdje se od jedne sirovine mogu proizvesti razni proizvodi, ovisno o zahtjevima tržišta ili nekim drugim zahtjevima. Sličnost biorafinerije i rafinerije nafte nije samo u osnovnom konceptu, nego i u metodama koje se koriste, npr. prilikom prerade biomase u proizvod dodatne vrijednosti mogu se koristiti slične metode kao u klasičnim naftnim rafinerijama (destilacija, obrada materijala, sortiranje proizvoda) [15]. Proizvodi iz biorafinerija koriste se za iste namjene kao i proizvodi iz klasičnih naftnih rafinerija (bioplin umjesto prirodnog plina, etanol umjesto dizela), tako da oni međusobno konkuriraju na tržištu [16]. Biorafinerije imaju mogućnost usmjeriti sirovinske tokove za proizvodnju jednog proizvoda (šećerna repa za proizvodnju etanola), te mogu istovremeno usmjeriti sirovinske tokove za proizvodnju više proizvoda (korištenje uljnih sjemenki za proizvodnju biodizela, hrane za životinje i bioplina). Razlika između biorafinerija i klasičnih naftnih rafinerija leži u tome da biorafinerije imaju veći izbor sirovina za proizvodnju (gotovo sva organska tvar iz raznih industrija i društva poput nusproizvoda poljoprivredne proizvodnje, komunalnog otpada i otpada iz klaonica), dok klasične naftne rafinerije za svoju proizvodnju koriste fosilna goriva. Upravo ta razlika daje prednost biorafinerijama u smislu održivosti procesa i očuvanja okoliša [17].

Najčešći proizvodi biorafinerija:

- Biodizel
- Etanol
- Bioplin
- Razna ulja
- Sastojci za hranu [17]

U klasičnim rafinerijama nafte tok sirovine je jednosmjernan, tj. radi se o otvorenom ciklusu. Iz ograničenih količina nafte proizvode se razni proizvodi i goriva koji na kraju svog životnog ciklusa generiraju otpad i ispuštaju CO<sub>2</sub> u okoliš.

U slučaju biorafinerije govori se o zatvorenom ciklusu gdje se gotovo sav otpad nastao u proizvodnji ponovno koristi u razne svrhe, a CO<sub>2</sub> nastao tokom proizvodnog ciklusa se poništava kroz rast biljaka korištenih u proizvodnom ciklusu u biorafineriji. U smislu održivosti procesa, biorafinerije omogućuju tzv. princip zelene kemije gdje se u kemijskim procesima generiraju samo korisne kemikalije, bez nevrijednih nusproizvoda [16].

Princip „zelene kemije“ je novi princip u kemiji koji radi na molekularnom nivou kako bi postigao održivost kemijskih reakcija. Ovaj princip se počeo razvijati još početkom 90-tih godina prošlog stoljeća, a interes za njega se povećava jer se uz otkrivanje novih vrsta kemijskih reakcija u cilju očuvanja okoliša može ostvariti i dodatni profit. Zelena kemija se temelji na principu projektiranja kemijskih proizvoda i procesa bez korištenja i produciranja nepotrebnih nusproizvoda [18].

Tradicionalne tvornice koje nisu u sebi integrirale koncept biorafinerije, a posjeduju značajne količine proizvoda i nusproizvoda organskog porijekla, mogu ostvariti dodatne koristi korištenjem principa zelene kemije, tj. integriranjem sustava u biorafineriju na način da otpad koriste kao sirovinu za druge procese i time ostvaruju dodatnu vrijednost. Povećava se profit tvornice zbog uštede na zbrinjavanju otpada i dodatnog profita ostvarenog prodajom novog proizvoda [16].

Ulaganje u nadogradnju postojeće tvornice u biorafineriju može biti visoko rizično zbog promjena cijena na tržištu te je potrebno napraviti kvalitetnu i detaljnu analizu prije investiranja u postrojenje kako bi se njegova investicija isplatila u za to prihvatljivom razdoblju. Neki koncepti daju mogućnost brzog povrata investicije, te su oni dakako poželjniji investitorima. Bitni parametri prilikom izrade analize isplativosti ulaganja u proširenje tvornice na način da ona postaje biorafinerija su sigurnost dugoročne opskrbe sirovinom i dobra procjena kretanja tržišnih cijena proizvoda u budućnosti [19].

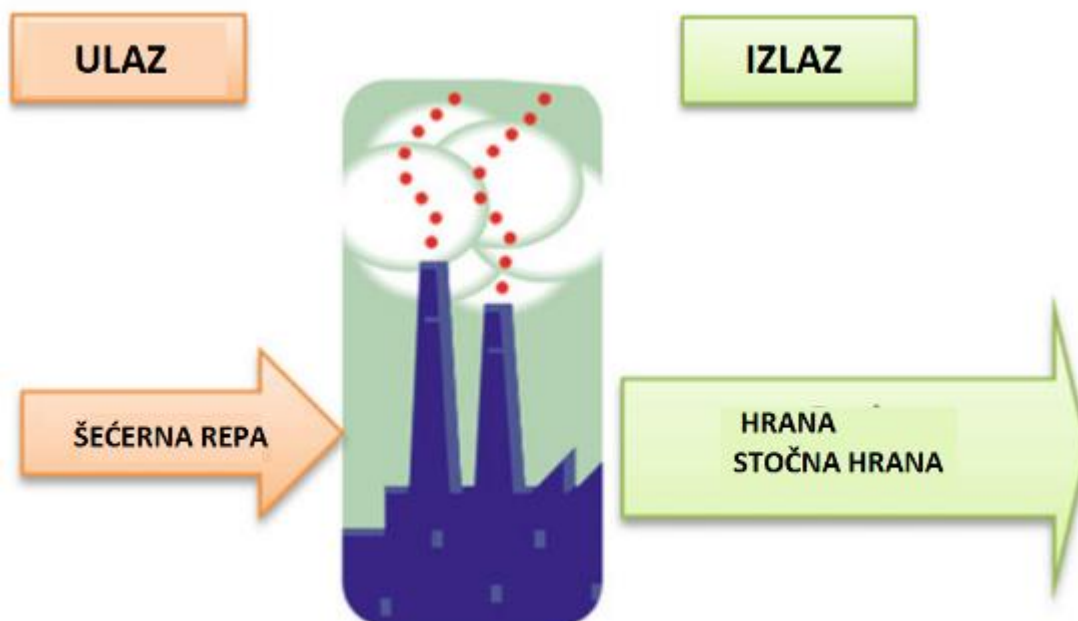
Najviše su isplativa postrojenja u koja se ulaže, a nalaze se u sklopu neke tvornice, jer tamo postoji potreba za energijama i raznim sirovinama, a izbjegnut je trošak transporta. Primjer bi bio kada se biorafinerija izgradi u sklopu tvornice koja generira otpad koji se može koristiti u biorafineriji, ali u svojem radu zahtjeva toplinu ili bioplin. Tada biorafinerija i tvornica međusobno izmjenjuju proizvode. To znači da se „zelena kemija“ može dodatno optimirati, ovisno o stanju tržišta i lokalnim potrebama.

Ako se predviđanja o padu broja novih nalazišta nafte ostvare, bez da potražnja prestane rasti, cijene goriva će značajno rasti. Ukoliko se to dogodi, izvori goriva poput biorafinerija će biti neophodni za normalno funkcioniranje industrije [16].

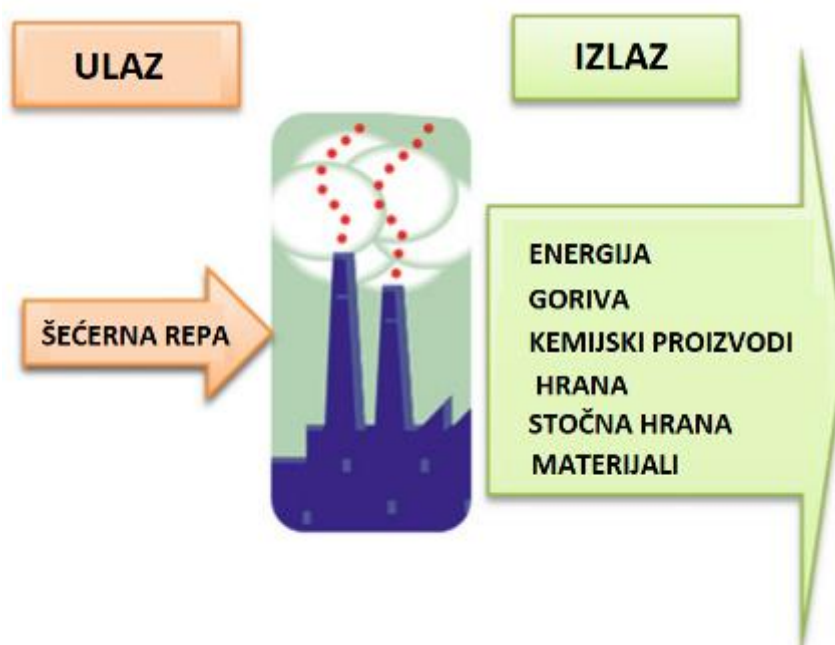
U Brazilu se već 30-tak godina koristi model biorafinerije u tvornicama koje kao sirovinu koriste šećernu trsku iz čijeg šećera proizvode etanol i šećer, a ostaci trske se koriste za proizvodnju toplinske i električne energije. Portfelji proizvoda takve biorafinerije sastoji se od šećera, etanola i obično suviška energije. Glavna karakteristika etanola i šećera su nekontrolirane fluktuacije cijena uzrokovane velikim promjenama u ponudi i potražnji koje ovise o vremenskim uvjetima, uvjetima na globalnom financijskom tržištu, količini vozila na alternativna goriva i mehanizmima skladištenja i trgovanja [10].

Ekonomске analize su pokazale da integracija proizvodnje šećera i etanola iz šećerne trske (što je slučaj u 70% rafinerija za preradu šećerne trske u Brazilu), te mogućnost da proizvedu više šećera ili više etanola, ima pozitivan učinak. Nadalje, istaknuto je da će daljnje proširenje palete proizvoda iz šećerne trske u biorafinerijama učvrstiti njihovu poziciju na tržištu i povećati upotrebu šećerne trske. Jedan od tih proizvoda je butanol koji se koristi kao motorno gorivo i u kemijskoj industriji. U Europi se šećer proizvodi iz šećerne repe, te se pokušava primijeniti princip biorafinerije sličan onome primijenjenom sa šećernom trskom, na Europske tvornice šećera. Ulazna sirovina u tvornice šećera je šećerna repa, dok su proizvodi hrana za ljude i hrana za stoku. Ukoliko se primjeni koncept biorafinerije, ulazna sirovina i dalje ostaje šećerna repa, dok se paleta proizvoda proširila na energiju, gorivo, kemijske proizvode, hranu za ljude, hranu za stoku i proizvodnju raznih materijala [16].

Slika 23. prikazuje shematski prikaz klasične tvornice šećera, dok se na Slici 24. može vidjeti shematski prikaz tvornice šećera kao biorafinerije.



Slika 23. Klasična tvornica šećera [16]



Slika 24. Tvornica šećera kao biorafinerija [16]

## 5. STUDIJA SLUČAJA – PROIZVODNJA ŠEĆERA IZ ŠEĆERNE REPE

Kao što je pokazano u prethodnom poglavlju, tvornice šećera iz šećerne repe primjenjuju koncept biorafinerije prema uzoru na rafinerije šećera iz šećerne trske. Investicije se uglavnom odnose na ulaganja u proizvodnju bioplina i bioetanola. U ovom radu su promatrana tri scenarija nadogradnje tvornice šećera u biorafineriju kroz izgradnju bioplinskog postrojenja u krugu tvornice, tj. proizvodnju bioplina u krugu tvornice. Scenariji se sastoje od promjene sirovine koja se koristi u fermentorima, te ispitivanje njihove isplativosti. Cilj je maksimalno iskoristiti nusproizvode proizvodnje šećera za dobivanje bioplina potrebnog za proizvodnju šećera kako bi se ostvarile uštede i smanjila ovisnost o promjeni cijene plina na tržištu. Kapacitet tvornice promatrane za proračun je 6.000 tona dnevno prerađene šećerne repe po trakastoj vagi. Podaci o parametrima proizvodnje šećera potrebni za proračun povrata investicije u bioplinsko postrojenje dijelom su preuzeti iz literature, dok je dio njih iskustven, tj. dobiven kroz razgovor prilikom posjete tvornici šećera. Svi ti parametri mogu varirati ovisno o stupnju tehnologije opreme koja je ugrađena u tvornicu šećera, tj. ne moraju biti jednaki za svaku tvornicu.

U ovom radu će se ispitati da li će zamjena prirodnog plina bioplinom, smanjiti rashode tvornice i vezano na to povećati dobit. Investicija se sastoji od izgradnje 3 fermentora različitih kapaciteta (ovisno o sirovini koja se koristi za proizvodnju bioplina), te kupovine 2 nova gorionika koji će zamijeniti postojeće gorionike u energani tvornice. Gorionici moraju imati mogućnost spaljivati prirodni plin i bioplin, kako bi osigurali dobavu energije za energanu u slučaju ispada bioplinskog postrojenja. Gorionici su dimenzionirani prema potrebama generatora pare i količinama plina. Uspoređena je dobit prije investicije, tj. dobit referentnog scenarija i dobit nakon investicije, odnosno dobit scenarija A, B i C. Kapaciteti postrojenja izgrađenog u scenarijima A, B i C mogu se koristiti za proizvodnju bioplina i iz ostalih sirovina koje nisu razmatrane u ovom radu. Na primjer ukoliko postoji odvojeno sakupljanje otpada u blizini tvornice šećera te se može iskoristiti biorazgradiva komponenta za proizvodnju bioplina ili se mogu dovoziti otpaci iz ostalih prehrambenih industrija u blizini. Isto tako, bioplinsko postrojenje može se snabdijevati gnojovkom iz obližnjih farmi.

Također, u ovom radu je razmatrano korištenje postrojenja samo za potrebe tvornice šećera u vrijeme kampanje prerade šećerne repe, dok nije razmatran utjecaj na investiciju ukoliko postrojenje radi tokom cijele godine i proizvodi energiju za ostale potrošače u blizini tvornice. Na primjer, proizvedeni bioplin može se koristiti za zagrijavanje objekata u blizini tvornice šećera tokom sezone grijanja. U tom slučaju povećava se prihod postrojenja i skraćuje vrijeme povrata investicije. Nadalje, u prihodovnu stranu nije uzet u obzir prihod od digestata koji je nastao po završetku fermentacije u fermentorima jer trenutačno ne postoji regulirano tržište za prodaju digestata. Tvornice šećera su uključene u sustav trgovanja emisijskim jedinicama stakleničkih plinova, te su dužne pratiti emisije i izvještavati ovlaštena tijela o njihovim vrijednostima. Tako da će zamjena prirodnog plina proizvedenim bioplinom značajno smanjiti emisije stakleničkih plinova u okoliš i smanjiti davanja tvornice za njegovo ispuštanje. Uzevši u obzir prethodne činjenice razrađena su tri scenarija za proizvodnju bioplina u krugu tvornice.

Opis scenarija:

- a) SCENARIJ A - Prešani rezanac i repini korjenčići sa ulomcima šećerne repe koriste se za proizvodnju bioplina u fermentoru, a razlika plina se podmiruje kupovinom prirodnog plina iz mreže
- b) SCENARIJ B - Prešani rezanac, repini korjenčići sa ulomcima šećerne repe i dodatno kupljena šećerna repa koriste se za proizvodnju bioplina u fermentoru, te zamjenjuju kompletne potrebe tvornice za prirodnim plinom
- c) SCENARIJ C - Prešani rezanac, repini korjenčići sa ulomcima šećerne repe i kukuruzna silaža koriste se za proizvodnju bioplina u fermentoru, te zamjenjuju kompletne potrebe tvornice za prirodnim plinom

## 5.1. Referentni scenarij

U referentnom scenariju energetske potrebe tvornice podmiruju se kupovinom prirodnog plina iz mreže. Repini korjenčići i ulomci šećerne repe, šećerna melasa, prešani i briketirani rezanac, te bijeli kristalni šećer se prodaju na tržištu. Važno je naglasiti da se prije investicije u proizvodnju bioplina 70% prešanog rezanca briketira, za što se troši oko 25% ukupne količine energije tvornice. Ostatak od 30% prešanog rezanca se prodaje u tom obliku. Razlog tomu je neisplativost prodaje većih količina prešanog rezanca na veće udaljenosti radi troška transporta.

### 5.1.1. Proračun referentnog scenarija

Za određivanje dobiti tvornice potrebno je izračunati mase proizvoda i nusproizvoda proizvodnje šećera.

Masa proizvedenog šećera  $S$  se računa prema jednadžbi (5.1)

$$S = M * m_s \quad (5.1)$$

gdje  $M$  predstavlja masu šećerne repe, a  $m_s$  postotak šećera na masu šećerne repe.

Prema [3]  $m_s$  iznosi 15%.

Masa korjenčića i ulomaka šećerne repe  $KiU$  se računa prema jednadžbi (5.2)

$$KiU = M * m_{kiu} \quad (5.2)$$

gdje  $M$  predstavlja masu šećerne repe, a  $m_{kiu}$  postotak korjenčića i ulomaka šećerne repe na masu šećerne repe. Prema [21]  $m_{kiu}$  iznosi 1,6%.

Masa šećerne melase  $SM$  se računa prema jednadžbi (5.3)

$$SM = M * m_{sm} \quad (5.3)$$

gdje  $M$  predstavlja masu šećerne repe, a  $m_{sm}$  postotak šećerne melase na masu šećerne repe.

Prema [3]  $m_{sm}$  iznosi 4,25%.



Iz ukupne količine izluženog rezanca koji je nastao u proizvodnji šećera 30% se preša i skladišti u tom obliku, a preostalih 70% se nakon prešanja dodatno suši u sušari rezanca i briketira.

Masa prešanog rezanca  $P$  se računa prema jednadžbi (5.4)

$$P = M * 30\% * m_p \quad (5.4)$$

gdje  $M$  predstavlja masu šećerne repe, a  $m_p$  postotak prešanog rezanca na masu šećerne repe. Prema [3]  $m_p$  iznosi 20%.

Masa briketiranog rezanca  $B$  se računa prema jednadžbi (5.5)

$$B = M * 70\% * m_b \quad (5.5)$$

gdje  $M$  predstavlja masu šećerne repe, a  $m_b$  postotak briketiranog rezanca na masu šećerne repe. Prema [3]  $m_b$  iznosi 4,8%.

Mase proizvoda i nusproizvoda prema jednadžbama 5.1 do 5.5. prikazane su u Tablici 4.

**Tablica 4. Rezultati izračuna masa proizvoda i nusproizvoda baznog scenarija**

MASA PROIZVODA I NUSPROIZVODA U JEDNOM DANU		
Masa šećerne repe prerađene po trakastoj vagi:	6000	t
Masa šećera:	900	t
Masa ulomaka i korjenčića šećerne repe:	100	t
Masa šećerne melase:	255	t
Maseni udio prešanog rezanca:	30%	-
Masa prešanog rezanca:	360	t
Maseni udio briketiranog rezanca:	70%	-
Masa briketiranog rezanca:	202	t

Također, za izračun dobiti tvornice potrebno je izračunati utrošak energije.

Količina energije potrebna za proizvodnju šećera EP računa se prema jednadžbi (5.6)

$$EP = M * m_{ep} \quad (5.6)$$

gdje M predstavlja masu šećerne repe, a  $m_{ep}$  energiju potrebnu za proizvodnju šećera svedenu na masu šećerne repe. Prema [12]  $m_{ep}$  iznosi 175 kWh/t.

Količina energije potrebna za sušenje briketiranog rezanca EB računa se prema jednadžbi (5.6)

$$EP = M * m_{eb} \quad (5.7)$$

gdje M predstavlja masu šećerne repe, a  $m_{eb}$  energiju potrebnu za sušenje prešanog rezanca svedenu na masu šećerne repe. Prema [12]  $m_{eb}$  iznosi 75 kWh/t.

Izračun energije potrebne za proizvodnju šećera i sušenje prešanog rezanca prema jednadžbama 5.6 i 5.7. prikazan je u Tablici 5.

**Tablica 5. Rezultati izračuna energije potrebne za proizvodnju šećera i sušenje briketiranog rezanca baznog scenarija**

KOLIČINA ENERGIJE U JEDNOM DANU		
Toplinska energija potrebna za proizvodnju šećera na masu repe:	175	kWh/t
Ukupno utrošeno toplinske energije za proizvodnju šećera:	1.050.000	kWh
Toplinska energija potrebna za sušenje rezanca na masu repe:	75	kWh/t
Ukupno utrošeno toplinske energije na sušenje rezanca:	315.000	kWh
Ukupno potrebno energije:	1.365.000	kWh

U Tablici 4. može se vidjeti da iz 6.000 tona šećerne repe tvornica šećera proizvede otprilike 900 tona šećera, 255 tona šećerne melase, 360 tona prešanog rezanca i 202 tone briketiranog rezanca. Prilikom tog procesa dobije se i oko 100 tona repinih korjenčića sa ulomcima šećerne repe.

Tablica 5. prikazuje energetske potrebe za proizvodnju gore navedenih proizvoda, a one iznose ukupno 1.365.000 kWh, odnosno oko 150.000 nm<sup>3</sup> prirodnog plina. Količine navedene u Tablicama 4. i 5. ovise o kvaliteti šećerne repe koja je dovezena u tvornicu na način da se povećanjem kvalitete šećerne repe (veći sadržaj šećera, tj. digestija) smanjuje potrebna količina energije za proizvodnju iste količine šećera. Iz toga se da zaključiti, da je isplativo ulagati u proizvodnju šećerne repe u vidu poboljšanja kvalitete, tj. uložiti u kvalitetnije sjeme, razne aditive i kvalitetno gnojenje kako bi se dobili bolji prinosi sa većim udjelom šećera.

U Tablicama 4. i 5. prikazani su rezultati izračuna mase i energije na bazi jednog dana, dok se za proračun isplativosti investicije vrijednosti iz tablice množe sa trajanjem kampanje prerade šećerne repe, koje u prosjeku iznosi 100 dana.

Cijene kupljene sirovine, te prodanih proizvoda i nusproizvoda određene su prema njihovim vrijednostima u razdoblju od 2012. do 2017. godine [21]. Za izračun dobiti tvornice uzeta je prosječna vrijednost cijena u danom razdoblju prikazana u Tablici 6. Trošak prirodnog plina dobiven je prema proračunatoj potrebnoj količini plina iz Tablice 5. i cijeni prirodnog plina od 0,03 €/kWh [21].

**Tablica 6. Prosječne cijene sirovine i proizvoda tvornice šećera [21]**

Godina	2012.	2013.	2014.	2015.	2016.	2017.	Prosjek	Jedinica
Šećerna repa	40	45	40	31	33	36	<b>38</b>	€/t
Repni korjenčići sa ulomcima šećerne repe	4	4	5	5	5	5	<b>4</b>	€/t
Prešani rezanac	25	17	10	10	13	16	<b>15</b>	€/t
Suhi briketirani rezanac	58	160	170	103	100	130	<b>120</b>	€/t
Melasa	106	110	103	105	103	82	<b>102</b>	€/t
Bijeli kristalni šećer	711	700	529	419	449	498	<b>551</b>	€/t

Iz Tablice 6. se može vidjeti da cijena šećerne repe ima trend pada, dok su cijene repnih korjenčića sa ulomcima šećerne repe i šećerne melase približno konstantne. Cijene prešanog rezanca i suhog briketiranog rezanca se značajno razlikuju od godine do godine, ovisno o zahtjevima tržišta.

Cijena bijelog kristalnog šećera u konstantnom je padu radi raznih faktora kao što su reforma tržišta šećera iz 2006. godine, povećanog uvoza šećera dobivenog iz šećerne trske i smanjene potrošnje šećera radi ekonomske krize.

Iznosi prihoda i rashoda tvornice šećera na bazi proizvedenih količina iz Tablice 4., utrošene energije iz Tablice 5. i cijena iz Tablice 6., a svedeni na trajanje kampanje prerade šećerne repe od 100 dana, prikazani su u Tablici 7.

**Tablica 7. Prihodi i rashodi tvornice šećera**

<b>PRIHODI</b>				
Bijeli kristalni šećer:	551	€/t	49.595.288	€
Prešani rezanac:	15	€/t	540.000	€
Briketirani rezanac:	120	€/t	2.422.560	€
Šećerna melasa:	102	€/t	2.588.250	€
Ulomci šećerne repe i repini korjenčići:	4	€/t	44.444	€
<b>RASHODI</b>				
Šećerna repa:	38	€/t	22.533.333	€
Prirodni plin:	0,03	€/kWh	4.095.000	€

Važno je naglasiti da u ovoj analizi nisu uzeti u obzir troškovi repromaterijala za proizvodnju šećera i plaća djelatnika tvornice jer ova investicija ne utječe na njih. Tako da dobit predstavljena u ovoj analizi ne predstavlja stvarnu dobit tvornice, već stvarnu dobit uvećanu za trošak repromaterijala i plaća djelatnika tvornice. Kao što se može vidjeti u Tablici 7., prirodni plin predstavlja značajan rashod u procesu proizvodnje šećera i sušenja briketiranog rezanca. Bruto dobit tvornice predstavljaju prihodi umanjeni za rashode. Novčani tok čini bruto dobit umanjena za vrijednost poreza na dobit, koji je računat prema poreznoj stopi od 18%. Novčani tok tvornice šećera u baznom scenariju prikazan je u Tablici 8.

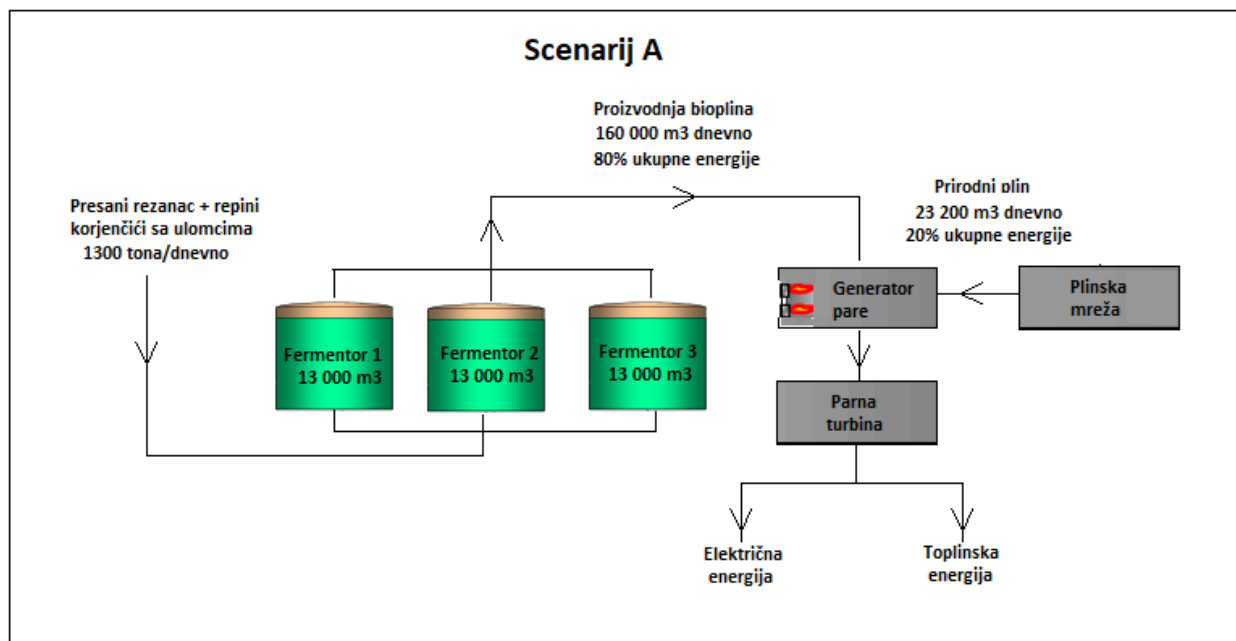
Tablica 8. Novčani tok baznog scenarija

Godina	Prihodi	Rashodi	Bruto dobit	Porez na dobit	Novčani tok
0					
1	55.202.542 €	26.628.333 €	28.574.209 €	5.143.357 €	23.430.851 €
2	55.202.542 €	26.628.333 €	28.574.209 €	5.143.357 €	23.430.851 €
3	55.202.542 €	26.628.333 €	28.574.209 €	5.143.357 €	23.430.851 €
4	55.202.542 €	26.628.333 €	28.574.209 €	5.143.357 €	23.430.851 €
5	55.202.542 €	26.628.333 €	28.574.209 €	5.143.357 €	23.430.851 €
6	55.202.542 €	26.628.333 €	28.574.209 €	5.143.357 €	23.430.851 €
7	55.202.542 €	26.628.333 €	28.574.209 €	5.143.357 €	23.430.851 €

Iz Tablice 8. može se očitati da dobit tvornice šećera na bazi trajanja kampanje prerade šećerne repe od 100 dana i uzimajući u obzir samo trošak prirodnog plina i šećerne repe, a isključujući ostale troškove iznosi oko 23.43 milijuna eura.

## 5.2. Scenarij A – Produkcija bioplina iz prešanih rezanaca, repinih korjenčića i ulomaka šećerne repe

Scenarij A predstavlja korištenje prešanog rezanca i repinih korjenčića sa ulomcima šećerne repe za proizvodnju bioplina. Proizvedena količina bioplina nije dostatna za pokrivanje energetske potrebe za proizvodnju šećera, tako da se razlika do ukupne količine energije podmiruje iz prirodnog plina. Prirodni plin se kupuje iz plinske mreže, kao što je slučaj i u baznom scenariju. Slika 25. prikazuje shematski prikaz postrojenja nakon investicije.



Slika 25. Ilustracija scenarija A

### 5.2.1. Proračun scenarija A

Za određivanje dobiti tvornice u scenariju A potrebno je izračunati mase proizvoda i nusproizvoda proizvodnje šećera, kao i u baznom scenariju. Za izračun mase šećera, ulomaka šećerne repe sa korjenčićima i šećerne melase korištene su jednadžbe 5.1 do 5.3. U ovom scenariju sav proizvedeni rezanac se preša i koristi kao takav za proizvodnju bioplina.

Masa prešanog rezanca P se računa prema jednadžbi (5.8)

$$P = M * m_p \quad (5.8)$$

gdje M predstavlja masu šećerne repe, a  $m_p$  postotak prešanog rezanca na masu šećerne repe. Prema [3]  $m_p$  iznosi 20%.

Briketirani rezanac se ne proizvodi.

Mase proizvoda i nusproizvoda scenarija A prema jednadžbama 5.1, 5.2, 5.3, 5.5. i 5.8 prikazane su u Tablici 9.

**Tablica 9. Rezultati izračuna masa proizvoda i nusproizvoda scenarija A**

MASA PROIZVODA I NUSPROIZVODA U JEDNOM DANU		
Masa prerađene šećerne repe prema trakastoj vagi:	6.000	t
Masa proizvedenog šećera:	900	t
Masa repinih korjenčića sa ulomcima šećerne repe:	100	t
Masa proizvedene šećerne melase:	255	t
Maseni udio prešanog rezanca:	100%	-
Masa proizvedenog prešanog rezanca:	1.200	t
Maseni udio briketiranog rezanca:	0%	-
Masa proizvedenog briketiranog rezanca:	0	t

Iz Tablice 9. može se vidjeti da se u jednom danu iz 6.000 tona šećerne repe proizvede 900 tona bijelog kristalnog šećera, 255 tona šećerne melase i 1.200 tona prešanog rezanca. Također kao nusproizvod se generira 100 tona repinih korjenčića i ulomaka šećerne repe. Proizvedeni prešani rezanac sa ulomcima šećerne repe i repinim korjenčićima, odnosno ukupno 1.300 tona sirovine se koristi za proizvodnju bioplina. Sirovina se dozira u 3 fermentora od kojih je svaki kapaciteta 13.000 m<sup>3</sup>. Također, za izračun dobiti tvornice potrebno je izračunati utrošak energije scenarija A. Utrošak energije je manji za količinu energije potrebnu za sušenje briketiranog rezanca.

Energija bioplina iz prešanog rezanca BP\_P računa se prema jednadžbi (5.9)

$$BP\_P = P * bp\_p * 5,18 \quad (5.9)$$

gdje P predstavlja masu prešanog rezanca, a bp\_p prinos bioplina na masu prešanog rezanca. Prema [22] bp\_p iznosi 125 nm<sup>3</sup>/t, a ogrjevna vrijednost proizvedenog bioplina iznosi 5,18 kWh/m<sup>3</sup> [23].

Energija bioplina proizvedenog iz repinih korjenčića i ulomaka šećerne repe BP\_KiU računa se prema jednadžbi (5.10)

$$BP\_KiU = KiU * bp\_kiu * 5,18 \quad (5.10)$$

gdje KiU predstavlja masu repinih korjenčića i ulomaka šećerne repe, a bp\_kiu prinos bioplina na masu repinih korjenčića i ulomaka šećerne repe. Prema [21] bp\_kiu iznosi 95 nm<sup>3</sup>/t. Ogrjevna vrijednost proizvedenog bioplina je 5,18 kWh/m<sup>3</sup> [22].

Izračun energije potrebne za proizvodnju šećera prikazan je u Tablici 10.

**Tablica 10. Rezultati izračuna energije potrebne za proizvodnju šećera i proizvedene energije iz bioplina scenarija A**

KOLIČINA ENERGIJE U JEDNOM DANU		
Energija za proizvodnju šećera na masu repe:	175	kWh/t
Energija za proizvodnju šećera:	1.050.000	kWh
Prinos bioplina po masi prešanog rezanca:	125	m <sup>3</sup> /t
Proizvedeno energije iz prešanog rezanca:	777.000	kWh
Prinos bioplina po masi repinih korjenčića i ulomaka šećerne repe:	95	m <sup>3</sup> /t
Proizvedeno energije iz repinih korjenčića i ulomaka šećerne repe:	49.210	kWh
Energija za sušenje rezanca na masu šećerne repe:	75	kWh/t
Energija za sušenje rezanca:	0	kWh
Ukupno proizvedeno energije:	826.210	kWh
Ukupno potrebno energije:	1.050.000	kWh
Energetska bilanca:	-223.790	kWh



Iz Tablice 10. može se vidjeti da je za proizvodnju šećera potrebno 1.050.000 kWh. Prinos bioplina iz prešanog rezanca iznosi 125 m<sup>3</sup>/t, dok prinos bioplina iz repinih korjenčića sa ulomcima šećerne repe iznosi 95 m<sup>3</sup>/t [22]. Ogrjevna vrijednost proizvedenog bioplina je 5,18 kWh/m<sup>3</sup> [23]. Bioplin iz raspoložive sirovine će proizvesti 826.210 kWh, odnosno pokriti oko 80% potreba tvornice šećera za energijom. Ostatak od 223.790 kWh će se podmiriti kupovinom prirodnog plina iz plinske mreže.

Investicija se sastoji od izgradnje 3 fermentora kapaciteta 13.000 m<sup>3</sup> i kupovine dva nova gorionika koje se ugrađuje u postojeći generator pare energane u tvornici šećera. Procijenjena vrijednost investicije je 1.000.000€, a servis i održavanje postrojenja iznosi 3% ukupne investicije, tj. 30.000€ godišnje [24]. Cijena dodatnog prirodnog plina iznosi 0,03 €/kWh.

Iznosi prihoda i rashoda tvornice šećera na bazi proizvedenih količina iz Tablice 9., utrošene energije iz Tablice 10. i cijena iz Tablice 6., a svedeni na trajanje kampanje prerade šećerne repe od 100 dana, prikazani su u Tablici 11.

**Tablica 11. Prihodi i rashodi tvornice šećera u scenariju A**

<b>PRIHODI</b>				
Bijeli kristalni šećer:	551	€/t	49.595.288	€
Šećerna melasa:	102	€/t	2.588.250	€
<b>RASHODI</b>				
Šećerna repa:	38	€/t	22.533.333	€
Dodatni prirodni plin:	0,03	€/kWh	671.370	€

Iz Tablice 11. može se vidjeti da su prihodi od prodaje šećera i šećerne melase jednaki kao i u baznom scenariju. Međutim, u ovom scenariju se ne ostvaruje prihod od prodaje prešanog rezanca, repinih korjenčića sa ulomcima šećerne repe i briketiranog rezanca, već je ta sirovina iskorištena za proizvodnju bioplina. Trošak za šećernu repu jednak je kao i u baznom scenariju, a trošak za prirodni plin se značajno smanjio. Bruto dobit tvornice predstavljaju prihodi umanjeni za rashode.

Investicija je amortizirana u deset jednakih rata metodom linearne deprecijacije, a diskontna stopa pri izračunu neto sadašnje vrijednosti projekta iznosi 12%. Porezna osnovica za izračun poreza na dobit je bruto dobit umanjena za vrijednost rate amortizacije, a porez je računat po stopi od 18%. Novčani tok scenarija A prikazan je u Tablici 12.

**Tablica 12. Novčani tok scenarija A**

Godina	Prihodi	Rashodi	Bruto dobit	Amortizacija	Porez na dobit	Cashflow
0						-1,000,000.00 €
1	€ 52,183,538.46	€ 23,234,703.33	€ 28,948,835.13	€ 100,000.00	€ 5,192,790.32	€ 23,756,044.81
2	€ 52,183,538.46	€ 23,234,703.33	€ 28,948,835.13	€ 100,000.00	€ 5,192,790.32	€ 23,756,044.81
3	€ 52,183,538.46	€ 23,234,703.33	€ 28,948,835.13	€ 100,000.00	€ 5,192,790.32	€ 23,756,044.81
4	€ 52,183,538.46	€ 23,234,703.33	€ 28,948,835.13	€ 100,000.00	€ 5,192,790.32	€ 23,756,044.81
5	€ 52,183,538.46	€ 23,234,703.33	€ 28,948,835.13	€ 100,000.00	€ 5,192,790.32	€ 23,756,044.81
6	€ 52,183,538.46	€ 23,234,703.33	€ 28,948,835.13	€ 100,000.00	€ 5,192,790.32	€ 23,756,044.81
7	€ 52,183,538.46	€ 23,234,703.33	€ 28,948,835.13	€ 100,000.00	€ 5,192,790.32	€ 23,756,044.81

Iz Tablice 12. može se očitati da dobit tvornice šećera sa bioplinskim postrojenjem u scenariju A na bazi trajanja kampanje prerade šećerne repe od 100 dana i uzimajući u obzir samo trošak prirodnog plina i šećerne repe, a isključujući troškove repromaterijala za proizvodnju šećera i troškove djelatnika šećerane iznosi oko 23,76 milijuna eura.

Za izračun unutarnje stope povrata investicije i neto sadašnje vrijednosti projekta uspoređene su dobiti baznog scenarija i scenarija A. Rezultati usporedbe su prikazani u Tablici 13.

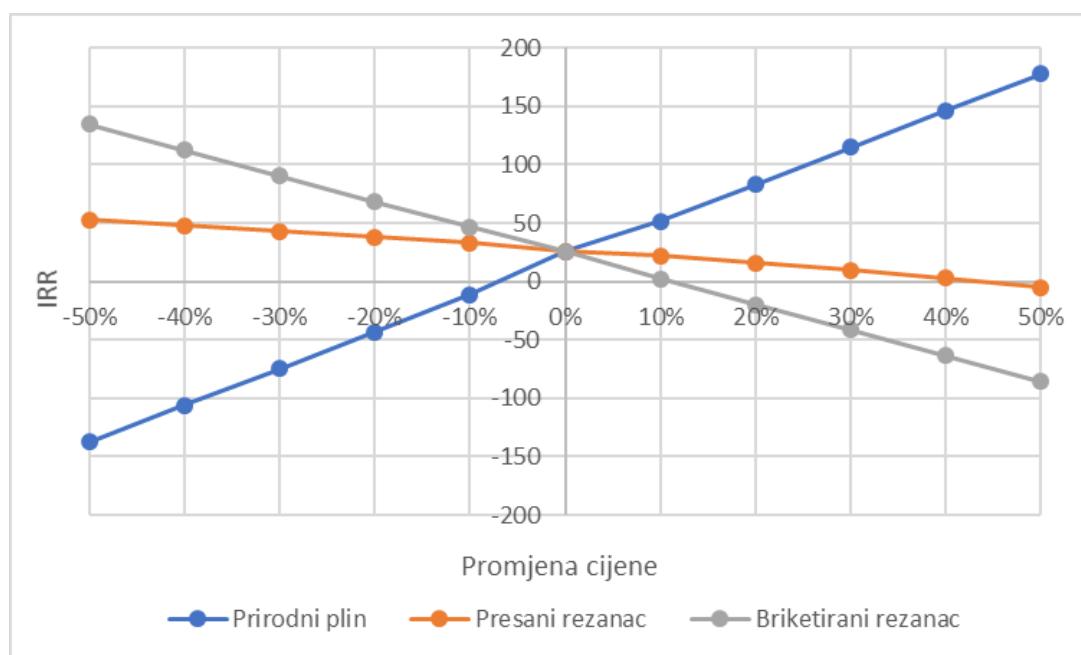
**Tablica 13. Rezultati proračuna scenarija A**

Godina	Dobit prije investicije	Dobit nakon investicije	Bilanca
0			-1.000.000.00 €
1	23.430.851.85 €	23.756.044.81 €	325.192.96 €
2	23.430.851.85 €	23.756.044.81 €	325.192.96 €
3	23.430.851.85 €	23.756.044.81 €	325.192.96 €
4	23.430.851.85 €	23.756.044.81 €	325.192.96 €
5	23.430.851.85 €	23.756.044.81 €	325.192.96 €
6	23.430.851.85 €	23.756.044.81 €	325.192.96 €
7	23.430.851.85 €	23.756.044.81 €	325.192.96 €
NPV:	432.233.46 €		
IRR:	26%		

Proračunom je pokazano da je scenarij A isplativ. Nakon izgradnje bioplinskog postrojenja u krugu tvornice šećera, gdje će se koristiti ulomci šećerne repe sa repnim korjenčićima i sav proizvedeni prešani rezanac za proizvodnju bioplina, dobit tvornice šećera se povećala. Rashodi su umanjeni za veći dio troška prirodnog plina, dok je prihodovna strana umanjena za prihode od prodaje nusproizvoda proizvodnje šećerne repe. Rezultat takve investicije je neto sadašnja vrijednost projekta 1.293.245 € i unutrašnja stopa povrata od 26%.

### 5.2.2. Analiza osjetljivosti investicije scenarija A

Promatra se osjetljivost investicije na promjenu cijene prirodnog plina, prešanog rezanca i briketiranog rezanca. Grafikon prikazuje promjenu unutrašnje stope povrata investicije na promjenu cijena od  $\pm 50\%$ .

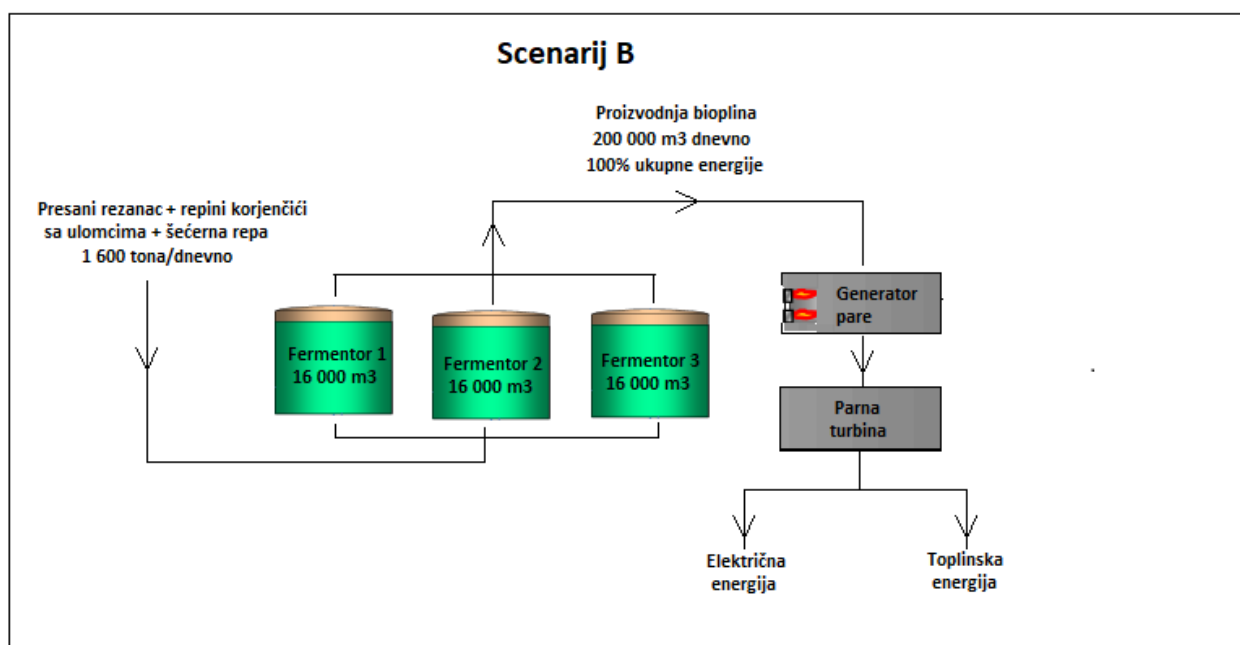


**Slika 26. Analiza osjetljivosti scenarija A**

Može se vidjeti da najveći utjecaj na vrijeme povrata investiranog novca ima promjena cijene prirodnog plina. Ukoliko cijena prirodnog plina poraste za 50%, tj. dostigne vrijednost od 0,045 €/kWh, IRR će biti gotovo 180%. S druge strane, ukoliko cijena prirodnog plina padne za otprilike 10%, tj. na vrijednost od 0,027 €/kWh, investicija će postati neisplativa. Iz grafa se također može vidjeti da pad cijene prešanog i briketiranog rezanca pozitivno utječe na vrijeme povrata investicije. S tim da je veći utjecaj promjene cijene briketiranog rezanca jer se radi o većim proizvedenim količinama.

### 5.3. Scenarij B – Proizvodnja bioplina iz šećerne repe, prešanog rezanca, repinih korjenčića i ulomaka šećerne repe

Scenarij B predstavlja korištenje prešanog rezanca, repinih korjenčića sa ulomcima šećerne repe i dodatne šećerne repe za proizvodnju bioplina. Razmatra se utjecaj investicije u postrojenje koje koristi šećernu repu kao sirovinu za proizvodnju bioplina na dobit tvornice šećera. Masa dodatne šećerne repe određena je potrebama tvornice šećera za energijom te prinosom bioplina iz šećerne repe. Postrojenje je dimenzionirano na način da se prirodni plin u potpunosti zamijeni bioplinom. Slika 27. prikazuje shematski prikaz postrojenja nakon investicije.



Slika 27. Ilustracija scenarija B

#### 5.3.1. Proračun scenarija B

Za određivanje dobiti tvornice u scenariju B potrebno je izračunati mase proizvoda i nusproizvoda proizvodnje šećera, kao i masu dodatno potrebne količine šećerne repe za bioplin. Za izračun mase šećera, ulomaka šećerne repe sa korjenčićima i šećerne melase korištene su jednadžbe 5.1 do 5.3. U ovom scenariju se sav proizvedeni rezanac preša i koristi za bioplin, kao i u scenariju A. Razlika je u tome da se umjesto kupovine prirodnog plina, za pokrivanje deficita energije koristi bioplin iz dodatne količine šećerne repe.

Masa dodatne šećerne repe za proizvodnju bioplina  $BP\_M$  se računa prema jednadžbi (5.11)

$$BP\_M = \frac{EP}{bp\_m * 5,18} \quad (5.11)$$

gdje EP predstavlja energiju potrebnu za proizvodnju šećera,  $bp\_m$  prinos bioplina na masu šećerne repe, a  $5,18 \text{ kWh/m}^3$  ogrjevnu vrijednost bioplina [23].

Mase proizvoda i nusproizvoda scenarija B prema jednadžbama 5.1, 5.2, 5.3, 5.5., 5.8 i 5.11. prikazane su u Tablici 14.

**Tablica 14. Rezultati izračuna masa proizvoda i nusproizvoda scenarija B**

MASA PROIZVODA I NUSPROIZVODA U JEDNOM DANU		
Masa prerađene šećerne repe prema trakastoj vagi:	6000	t
Masa šećerne repe za proizvodnju bioplina:	294	t
Masa šećera:	900	t
Masa repinih korjenčića sa ulomcima šećerne repe:	100	t
Masa šećerne melase:	255	t
Maseni udio prešanog rezanca:	100%	-
Masa prešanog rezanca:	1200	t
Maseni udio briketiranog rezanca:	0%	-
Masa briketiranog rezanca:	0	t

Iz Tablice 14. može se vidjeti da se u jednom danu iz 6.000 tona šećerne repe proizvede 900 tona bijelog kristalnog šećera, 255 tona šećerne melase i 1.200 tona prešanog rezanca. Također kao nusproizvod se generira 100 tona repinih korjenčića i ulomaka šećerne repe. Proizvedeni prešani rezanac sa ulomcima šećerne repe i repinim korjenčićima, te 294 tona dodatne šećerne repe, odnosno ukupno oko 1600 tona sirovine se koristi za proizvodnju bioplina. Sirovina se dozira u 3 fermentora od kojih je svaki kapaciteta  $16.000 \text{ m}^3$ .

Također, za izračun dobiti tvornice potrebno je izračunati utrošak energije scenarija B.

Utrošak energije je manji za količinu energije potrebnu za sušenje briketiranog rezanca. Količina energije potrebna za proizvodnju šećera EP računa se prema jednadžbi 5.6, energija bioplina iz prešanog rezanca BP\_P računa se prema jednadžbi 5.9, energija bioplina proizvedenog iz repinih korjenčića i ulomaka šećerne repe BP\_KiU računa se prema jednadžbi 5.10. Energija proizvedena iz dodatne količine šećerne repe odgovara razlici energije potrebne za proizvodnju šećera i one proizvedene iz repinih korjenčića sa ulomcima šećerne repe i prešanog rezanca.

Energetska bilanca pokazuje da je ukupno potrebno 1.050.000 kWh za proizvodnju šećera, dok je iz prešanog rezanca i repinih korjenčića sa ulomcima šećerne repe proizvedeno 826.210 kWh. Ostatak od 223.790 kWh pokriva se proizvodnjom bioplina iz dodatno kupljenih 294 tone šećerne repe. Energetska bilanca scenarija B prikazana je u Tablici 15.

**Tablica 15. Rezultati izračuna energije potrebne za proizvodnju šećera i proizvedene energije iz bioplina scenarija B**

<b>KOLIČINA ENERGIJE U JEDNOM DANU</b>		
Energija za proizvodnju šećera na masu repe:	170	kWh/t
Energija za proizvodnju šećera:	1.050.000	kWh
Prinos bioplina po masi prešanog rezanca:	125	m <sup>3</sup> /t
Energija iz prešanog rezanca:	777.000	kWh
Prinos bioplina po masi repinih korjenčića i ulomaka šećerne repe:	95	m <sup>3</sup> /t
Energija iz repinih korjenčića i ulomaka šećerne repe:	49.210	kWh
Prinos bioplina po masi dodatne šećerne repe:	147	m <sup>3</sup> /t
Energija proizvedena iz šećerne repe:	223.790	kWh
Toplinska energija za sušenje rezanca na masu repe:	75	kWh/t
Energija za sušenje rezanca:	0	kWh
Ukupno proizvedeno energije:	1.050.000	kWh
Ukupno potrebno energije:	1.050.000	kWh

Iz Tablice 15. može se vidjeti da je za proizvodnju šećera potrebno 1.050.000 kWh. Prinos bioplina iz prešanog rezanca iznosi 125 m<sup>3</sup>/t, dok prinos bioplina iz repinih korjenčića sa ulomcima šećerne repe iznosi 95 m<sup>3</sup>/t [22]. Ogrjevna vrijednost proizvedenog bioplina je 5,18 kWh/m<sup>3</sup> [23].

Bioplin iz raspoložive sirovine će proizvesti 826.210 kWh, odnosno pokriti oko 80% potreba energije tvornice šećera. Ostatak od 223.790 kWh se podmiruje bioplinom proizvedenim iz dodatne količine šećerne repe.

Investicija se sastoji od izgradnje 3 fermentora kapaciteta 16.000 m<sup>3</sup> i kupovine dva nova gorionika koje se ugrađuje u postojeći generator pare energane u tvornici šećera. Procijenjena vrijednost investicije je 1.200.000€, a servis i održavanje postrojenja iznosi 3% ukupne investicije, tj. 36.000 € godišnje [24]. Cijena dodatno kupljene šećerne repe ista je kao i cijena šećerne repe za proizvodnju šećera.

Iznosi prihoda i rashoda tvornice šećera na bazi proizvedenih količina iz Tablice 14., utrošene energije iz Tablice 15. i cijena iz Tablice 6., a svedeni na trajanje kampanje prerade šećerne repe od 100 dana, prikazani su u Tablici 16.

**Tablica 16. Prihodi i rashodi scenarija B**

<b>PRIHODI</b>				
Bijeli kristalni šećer:	551	€/t	49.595.288	€
Šećerna melasa:	102	€/t	2.588.250	€
<b>RASHODI</b>				
Šećerna repa:	38	€/t	22.533.333	€
Šećerna repa za bioplin:	38	€/t	2.763.641	€

Iz Tablice 16. može se vidjeti da su prihodi od prodaje šećera i šećerne melase jednaki kao i u prethodnim scenarijima. Međutim, u ovom scenariju se ne ostvaruje prihod od prodaje prešanog rezanca, repinih korjenčića sa ulomcima šećerne repe i briketiranog rezanca, već je ta sirovina iskorištena za proizvodnju bioplina, kao i u scenariju A. Trošak šećerne repe za proizvodnju šećera jednak je kao i u prethodnim scenarijima, a trošak prirodnog plina je zamijenjen troškom dodatne šećerne repe za proizvodnju bioplina. Bruto dobit tvornice predstavljaju prihodi umanjeni za rashode. Investicija je amortizirana u deset jednakih rata metodom linearne deprecijacije, a diskontna stopa pri izračunu neto sadašnje vrijednosti projekta iznosi 12%. Porezna osnovica za izračun poreza na dobit je bruto dobit umanjena za vrijednost rate amortizacije, a porez je računat po stopi od 18%. Novčani tok scenarija B prikazan je u Tablici 17.



Tablica 17. Novčani tok scenarija B

Godina	Prihodi	Rashodi	Bruto dobit	Amortizacija	Porez na dobit	Novčani tok
0						-1,200,000.00 €
1	€ 52,183,538.46	€ 23,673,075.85	€ 28,510,462.61	€ 120,000.00	€ 5,110,283.27	€ 23,400,179.34
2	€ 52,183,538.46	€ 23,673,075.85	€ 28,510,462.61	€ 120,000.00	€ 5,110,283.27	€ 23,400,179.34
3	€ 52,183,538.46	€ 23,673,075.85	€ 28,510,462.61	€ 120,000.00	€ 5,110,283.27	€ 23,400,179.34
4	€ 52,183,538.46	€ 23,673,075.85	€ 28,510,462.61	€ 120,000.00	€ 5,110,283.27	€ 23,400,179.34
5	€ 52,183,538.46	€ 23,673,075.85	€ 28,510,462.61	€ 120,000.00	€ 5,110,283.27	€ 23,400,179.34
6	€ 52,183,538.46	€ 23,673,075.85	€ 28,510,462.61	€ 120,000.00	€ 5,110,283.27	€ 23,400,179.34
7	€ 52,183,538.46	€ 23,673,075.85	€ 28,510,462.61	€ 120,000.00	€ 5,110,283.27	€ 23,400,179.34

Iz Tablice 17. može se očitati da dobit tvornice šećera sa bioplinskim postrojenjem u scenariju B na bazi trajanja kampanje prerade šećerne repe od 100 dana i uzimajući u obzir samo trošak šećerne repe za proizvodnju šećera i trošak šećerne repe za proizvodnju bioplina, a isključujući troškove repromaterijala za proizvodnju šećera i troškove djelatnika šećerane iznosi oko 23,4 milijuna eura.

Za izračun unutarnje stope povrata investicije i neto sadašnje vrijednosti projekta uspoređene su dobiti baznog scenarija i scenarija B. Rezultati usporedbe su prikazani u Tablici 18.

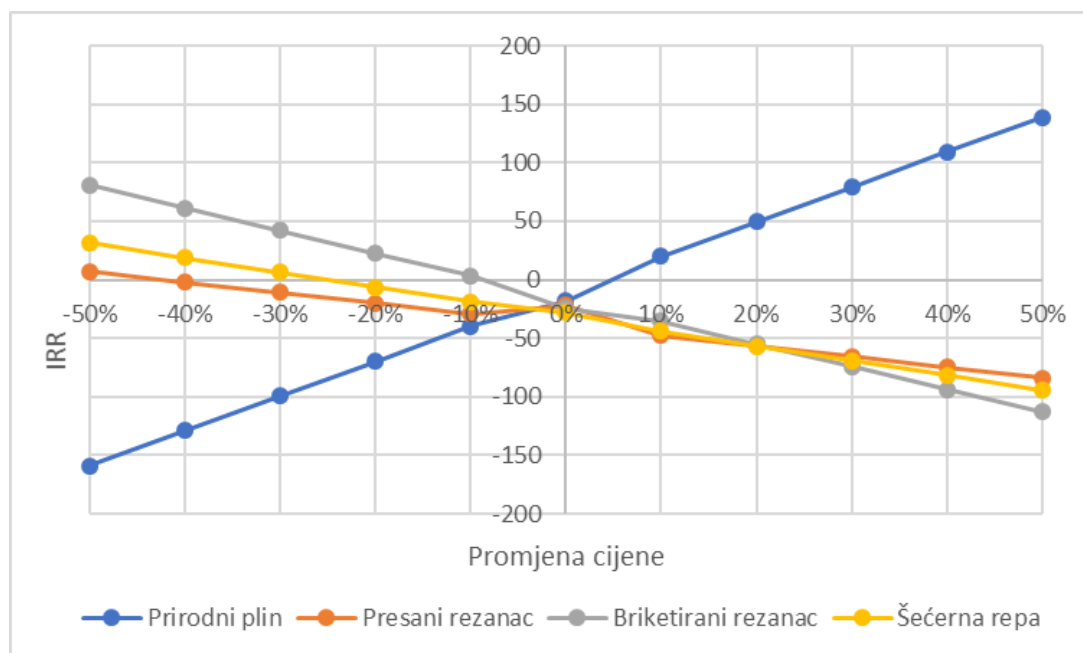
Tablica 18. Rezultati proračuna scenarija B

Godina	Dobit prije investicije	Dobit nakon investicije	Bilanca
0			-1.200.000.00 €
1	23.425.685.85 €	23.400.179.34 €	-25.506.51 €
2	23.425.685.85 €	23.400.179.34 €	-25.506.51 €
3	23.425.685.85 €	23.400.179.34 €	-25.506.51 €
4	23.425.685.85 €	23.400.179.34 €	-25.506.51 €
5	23.425.685.85 €	23.400.179.34 €	-25.506.51 €
6	23.425.685.85 €	23.400.179.34 €	-25.506.51 €
7	23.425.685.85 €	23.400.179.34 €	-25.506.51 €
NPV:	-1.175.362.05 €		
IRR:			

Analizom je pokazano da je dobit prije investicije veća od dobiti nakon investicije, tako da se prema prosječnim cijenama i pretpostavljenom vremenskom periodu za povrat investicije od 7 godina ne isplati investirati u scenarij B. Iz rezultata se može zaključiti da je šećerna repa preskupa kao sirovina za proizvodnju bioplina, tj. bolje se isplati koristiti je za proizvodnju šećera.

### 5.3.2. Analiza osjetljivosti investicije scenarija B

Promatra se osjetljivost investicije na promjenu cijene prirodnog plina, prešanog rezanca, šećerne repe i briketiranog rezanca. Grafikon na Slici 28. prikazuje promjenu unutrašnje stope povrata investicije na promjenu cijena od  $\pm 50\%$ .



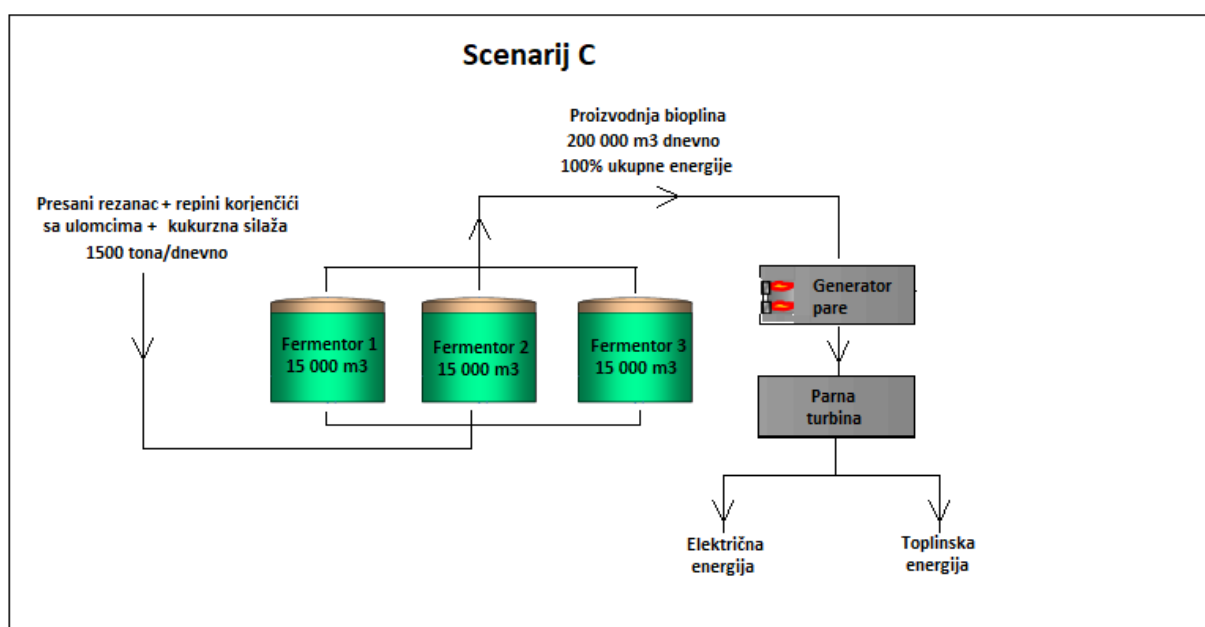
**Slika 28. Analiza osjetljivosti scenarija B**

Iz grafikona se može vidjeti da najveći utjecaj na vrijeme povrata investiranog novca ima promjena cijene prirodnog plina, kao u scenariju A. Ukoliko cijena prirodnog plina poraste za oko 10%, investicija postaje isplativa, a ukoliko cijena prirodnog plina dostigne vrijednost od 0,045 €/kWh, IRR će biti gotovo 120%. Prema sadašnjim cijenama prirodnog plina i svakim daljnjim padom cijene investicija je sve manje isplativa. Iz grafa se također može vidjeti da pad cijene šećerne repe pozitivno utječe na vrijeme povrata investicije. Ukoliko cijena šećerne repe padne za 40%, investicija postaje isplativa. Cijena briketiranog rezanca treba se smanjiti za otprilike 20% kako bi investicija u scenarij B postala isplativa.

#### 5.4. Scenarij C – Proizvodnja bioplina korištenjem repinih korjenčića, ulomaka šećerne repe, prešanog rezanca i kukuruzne silaže

Scenarij C predstavlja korištenje repinih korjenčića sa ulomcima šećerne repe, prešanog rezanca i kukuruzne silaže za proizvodnju bioplina. Proizvedena količina bioplina dostatna je za pokrivanje energetske potrebe tvornice šećera, te u potpunosti zamjenjuje prirodni plin. Tvornica šećera nalazi se u ruralnom području gdje postoje potencijali za proizvodnju potrebnih količina kukuruzne silaže za snabdijevanje bioplinskog postrojenja, a ta količina je određena potrebama tvornice za energijom i prinosom bioplina iz kukuruzne silaže.

Slika 25. prikazuje shematski prikaz postrojenja nakon investicije.



Slika 29. Ilustracija scenarija C

##### 5.4.1. Proračun scenarija C

Za određivanje dobiti tvornice u scenariju C potrebno je izračunati mase proizvoda i nusproizvoda proizvodnje šećera, kao i masu dodatno potrebne količine kukuruzne silaže za bioplin. Za izračun mase šećera, ulomaka šećerne repe sa korjenčićima i šećerne melase korištene su jednadžbe 5.1 do 5.3. U ovom scenariju se sav proizvedeni rezanac preša i koristi za bioplin, kao i u scenarijima A i B. Razlika je u tome da se umjesto kupovine prirodnog plina, za pokrivanje deficita energije koristi bioplin iz kukuruzne silaže.

Masa kukuruzne silaže za proizvodnju bioplina BP\_KS se računa prema jednadžbi (5.12)

$$BP\_KS = \frac{EP}{bp\_ks * 5,18} \quad (5.12)$$

gdje EP predstavlja energiju potrebnu za proizvodnju šećera, bp\_ks prinos bioplina na masu kukuruzne silaže [22], a 5,18 kWh/m<sup>3</sup> [23] ogrjevnu vrijednost bioplina.

Mase proizvoda i nusproizvoda scenarija B prema jednadžbama 5.1, 5.2, 5.3, 5.5., 5.8 i 5.12. prikazane su u Tablici 19.

**Tablica 19. Rezultati izračuna masa proizvoda i nusproizvoda scenarija C**

MASE PROIZVODA I NUSPROIZVODA U JEDNOM DANU		
Masa prerađene šećerne repe prema trakastoj vagi:	6.000	t
Masa kukuruzne silaže za proizvodnju bioplina:	234	t
Masa šećera:	900	t
Masa repinih korjenčića sa ulomcima šećerne repe:	100	t
Masa šećerne melase:	255	t
Maseni udio prešanog rezanca:	100%	-
Masa prešanog rezanca:	1.200	t
Maseni udio briketiranog rezanca:	0%	-
Masa briketiranog rezanca:	0	t

Iz Tablice 19. može se vidjeti da se u jednom danu iz 6.000 tona šećerne repe proizvede 900 tona bijelog kristalnog šećera, 255 tona šećerne melase i 1.200 tona prešanog rezanca. Također kao nusproizvod se generira 100 tona repinih korjenčića i ulomaka šećerne repe. Proizvedeni prešani rezanac sa ulomcima šećerne repe i repinim korjenčićima, te 234 tone kukuruzne silaže, odnosno ukupno oko 1.500 tona sirovine se koristi za proizvodnju bioplina. Sirovina se dozira u 3 fermentora od kojih je svaki kapaciteta 15.000 m<sup>3</sup>.

Također, za izračun dobiti tvornice potrebno je izračunati utrošak energije scenarija C.

Utrošak energije je manji za količinu energije potrebnu za sušenje briketiranog rezanca. Količina energije potrebna za proizvodnju šećera EP računa se prema jednadžbi 5.6, energija bioplina iz prešanog rezanca BP\_P računa se prema jednadžbi 5.9, energija bioplina proizvedenog iz repinih korjenčića i ulomaka šećerne repe BP\_KiU računa se prema jednadžbi 5.10. Energija proizvedena iz kukuruzne silaže odgovara razlici energije potrebne za proizvodnju šećera i one proizvedene iz repinih korjenčića sa ulomcima šećerne repe i prešanog rezanca. Energetska bilanca scenarija C prikazana je u Tablici 20.

**Tablica 20. Rezultati izračuna energije potrebne za proizvodnju šećera i proizvedene energije iz bioplina scenarija C**

<b>KOLIČINE ENERGIJE U JEDNOM DANU</b>		
Toplinska energija za proizvodnju šećera na masu repe:	175	kWh/t
Energija za proizvodnju šećera:	1.050.000	kWh
Prinos bioplina po masi prešanog rezanca:	125	m <sup>3</sup> /t
Energija iz prešanog rezanca:	777.000	kWh
Prinos bioplina po masi repinih korjenčića sa ulomcima šećerne repe:	95	m <sup>3</sup> /t
Energija iz repinih korjenčića sa ulomcima šećerne repe:	49.210	kWh
Prinos bioplina po masi kukuruzne silaže:	185	m <sup>3</sup> /t
Energija iz kukuruzne silaže:	223.790	kWh
Energija za sušenje rezanca na masu repe:	75	kWh/t
Energija za sušenje rezanca:	0	kWh
Ukupno potrebno energije:	1.050.000	kWh
Ukupno proizvedeno energije:	1.050.000	kWh

Iz Tablice 20. može se vidjeti da je za proizvodnju šećera potrebno 1.050.000 kWh. Prinos bioplina iz prešanog rezanca iznosi 125 m<sup>3</sup>/t, dok prinos bioplina iz repinih korjenčića sa ulomcima šećerne repe iznosi 95 m<sup>3</sup>/t. Ogrjevna vrijednost proizvedenog bioplina je 5,18 kWh/m<sup>3</sup>. Bioplin iz raspoloživih nusproizvoda proizvodnje šećera će proizvesti 826.210 kWh, odnosno pokriti oko 80% potreba energije tvornice šećera. Ostatak od 223.790 kWh se podmiruje bioplinom proizvedenim iz kukuruzne silaže.

Investicija se sastoji od izgradnje 3 fermentora kapaciteta 15.000 m<sup>3</sup> i kupovine dva nova gorionika koje se ugrađuje u postojeći generator pare energane u tvornici šećera. Procijenjena vrijednost investicije je 1.100.000 €, a servis i održavanje postrojenja iznosi 3% ukupne investicije, tj. 33.000 € godišnje. Cijena kukuruzne silaže iznosi 30 €/tona [25].

Iznosi prihoda i rashoda tvornice šećera na bazi proizvedenih količina iz Tablice 19., utrošene energije iz Tablice 20. i cijena iz Tablice 6., a svedeni na trajanje kampanje prerade šećerne repe od 100 dana, prikazani su u Tablici 21.

**Tablica 21. Prihodi i rashodi scenarija C**

<b>PRIHODI</b>				
Bijeli kristalni šećer:	551	€/t	49.595.288	€
Šećerna melasa:	102	€/t	2.588.250	€
<b>RASHODI</b>				
Šećerna repa:	38	€/t	22.533.333	€
Kukuruzna silaža:	30	€/t	700.584	€

Iz Tablice 21. može se vidjeti da su prihodi od prodaje šećera i šećerne melase jednaki kao i u prethodnim scenarijima. U ovom scenariju se također ne ostvaruje prihod od prodaje prešanog rezanca, repinih korjenčića sa ulomcima šećerne repe i briketiranog rezanca, već je ta sirovina iskorištena za proizvodnju bioplina. Trošak prirodnog plina iz baznog scenarija je zamijenjen troškom kukuruzne silaže za proizvodnju bioplina.

Bruto dobit tvornice predstavljaju prihodi umanjeni za rashode. Investicija je amortizirana u deset jednakih rata metodom linearne deprecijacije, a diskontna stopa pri izračunu neto sadašnje vrijednosti projekta iznosi 12%. Porezna osnovica za izračun poreza na dobit je bruto dobit umanjena za vrijednost rate amortizacije, a porez je računat po stopi od 18%. Novčani tok scenarija C prikazan je u Tablici 22.

**Tablica 22. Novčani tok scenarija C**

Godina	Prihodi	Rashodi	Bruto dobit	Amortizacija	Porez na dobit	Novčani tok
0						-1,100,000.00 €
1	€ 52,183,538.46	€ 23,266,917.70	€ 28,916,620.76	€ 110,000.00	€ 5,185,191.74	€ 23,731,429.02
2	€ 52,183,538.46	€ 23,266,917.70	€ 28,916,620.76	€ 110,000.00	€ 5,185,191.74	€ 23,731,429.02
3	€ 52,183,538.46	€ 23,266,917.70	€ 28,916,620.76	€ 110,000.00	€ 5,185,191.74	€ 23,731,429.02
4	€ 52,183,538.46	€ 23,266,917.70	€ 28,916,620.76	€ 110,000.00	€ 5,185,191.74	€ 23,731,429.02
5	€ 52,183,538.46	€ 23,266,917.70	€ 28,916,620.76	€ 110,000.00	€ 5,185,191.74	€ 23,731,429.02
6	€ 52,183,538.46	€ 23,266,917.70	€ 28,916,620.76	€ 110,000.00	€ 5,185,191.74	€ 23,731,429.02
7	€ 52,183,538.46	€ 23,266,917.70	€ 28,916,620.76	€ 110,000.00	€ 5,185,191.74	€ 23,731,429.02

Iz Tablice 22. može se očitati da dobit tvornice šećera sa bioplinskim postrojenjem u scenariju C na bazi trajanja kampanje prerade šećerne repe od 100 dana i uzimajući u obzir samo trošak kukuruzne silaže i šećerne repe, a isključujući troškove repromaterijala za proizvodnju šećera i troškove djelatnika šećerane iznosi oko 23,7 milijuna eura. Za izračun unutarnje stope povrata investicije i neto sadašnje vrijednosti projekta uspoređene su dobiti baznog scenarija i scenarija C. Rezultati usporedbe su prikazani u Tablici 23.

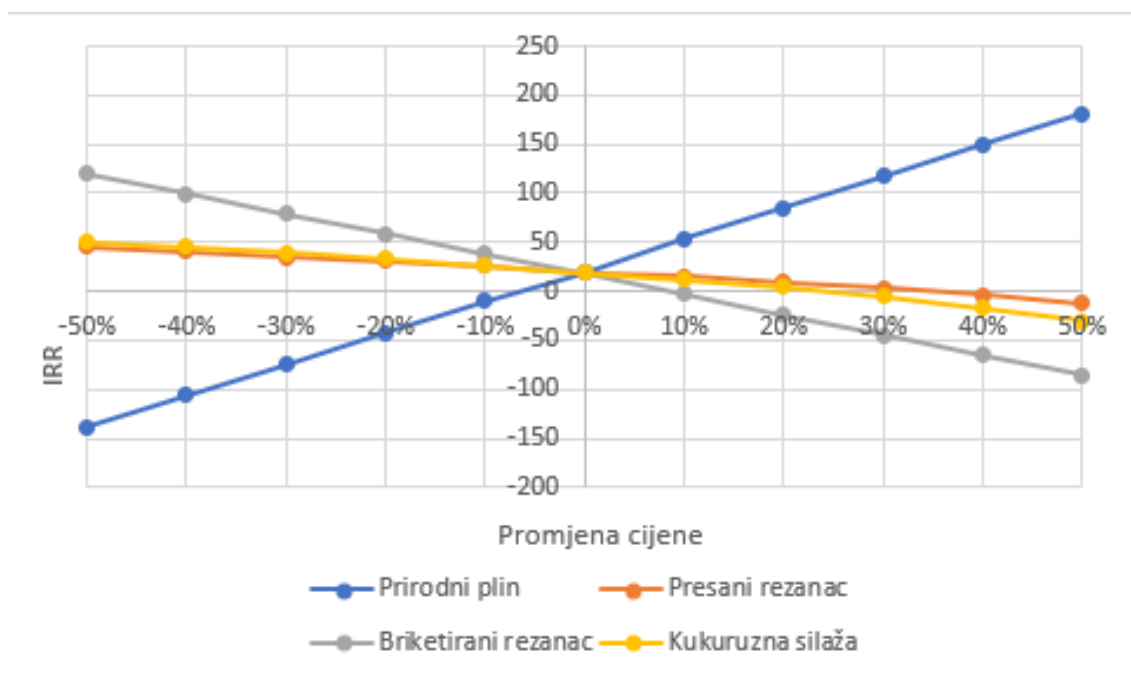
**Tablica 23. Rezultati proračuna scenarija C**

Godina	Dobit prije investicije	Dobit nakon investicije	Bilanca
0			-1,100,000.00 €
1	23,430,851.85 €	23,731,429.02 €	300,577.17 €
2	23,430,851.85 €	23,731,429.02 €	300,577.17 €
3	23,430,851.85 €	23,731,429.02 €	300,577.17 €
4	23,430,851.85 €	23,731,429.02 €	300,577.17 €
5	23,430,851.85 €	23,731,429.02 €	300,577.17 €
6	23,430,851.85 €	23,731,429.02 €	300,577.17 €
7	23,430,851.85 €	23,731,429.02 €	300,577.17 €
NPV:	242,643.79 €		
IRR:	19%		

Rezultati proračuna pokazuju da je investicija scenarija C isplativa, tj. da se povećala dobit tvornice šećera na način da se korištenje prirodnog plina zamijenilo korištenjem bioplina proizvedenog iz nusproizvoda proizvodnje šećera i dodatne količine kukuruzne silaže. Prihodovna strana tvornice umanjena je za prihode od prodaje nusproizvoda, dok je na rashodovnoj strani dodan trošak dodatne količine kukuruzne silaže, te u potpunosti ukinut trošak prirodnog plina. Neto sadašnja vrijednost projekta dobivena proračunom iznosi 242.644€, dok je unutarnja stopa povrata 19%.

### 5.4.2. Analiza osjetljivosti investicije scenarija C

Promatra se osjetljivost investicije na promjenu cijene prirodnog plina, prešanog rezanca, briketiranog rezanca i kukuruzne silaže. Grafikon prikazuje promjenu unutrašnje stope povrata investicije na promjenu cijena od 50%.



Slika 30. Analiza osjetljivosti scenarija C

Iz grafa se može vidjeti da najveći utjecaj na promjenu unutarne stope povrata investicije ima promjena cijene prirodnog plina, kao što je slučaj i u prethodna dva scenarija. Ukoliko cijena prirodnog plina poraste za 50% na vrijednost 0,045 €/kWh, vrijednost IRR-a dostiže gotovo 200%. Pad cijene prešanog i briketiranog rezanca, kao i pad cijene kukuruzne silaže, pozitivno utječu na promjenu unutarne stope povrata investicije.



## 6. ZAKLJUČAK

U ovom radu istraženi su načini kako povećati dobit tvornice šećera proizvodnjom bioplina iz nusproizvoda proizvodnje šećera i kupovinom dodatne sirovine za proizvodnju bioplina. Takav koncept nadogradnje tvornice šećera u postrojenje u kojem ona može iz nusproizvoda proizvodnje šećera proizvoditi energiju potrebnu za proizvodnju šećera i time smanjiti ovisnost o energentima odgovara konceptu biorafinerije. Razrađena su tri scenarija u kojima se mijenjala veličina bioplinskog postrojenja i sirovina koja snabdijeva to postrojenje. Rezultati proračuna su pokazali da je najisplativiji scenarij A, nakon njega slijedi scenarij C, dok su rezultati proračuna scenarija B pokazali da je on neisplativ u ovom trenutku. Investicijom u ove scenarije smanjila se emisija stakleničkih plinova nastalih spaljivanjem prirodnog plina za proizvodnju šećera u okoliš, što ovu investiciju čini ekološkom, dok su s druge strane korišteni nusproizvodi za proizvodnju bioplina koji inače služe kao hrana za stoku. U radu je pokazano da dobit tvornice šećera u značajnoj mjeri ovisi o cijeni prirodnog plina na tržištu te je investicija u proizvodnju vlastitog energenta zasigurno dobar potez radi osiguravanja opskrbe energijom i smanjivanja utjecaja promjene cijene prirodnog plina na tržištu na dobit tvornice. Ukidanjem proizvodnih i prodajnih kvota šećera 2017. godine, u potpunosti se otvorilo tržište šećera te je njegova cijena prepuštena zakonima tržišta. Šećerane će biti prisiljene tražiti načine kako proizvesti šećer sa što manje troška, tj. smanjiti proizvodnu cijenu šećera, kako bi opstale na tržištu. Proizvodnja bioplina iz nusproizvoda proizvodnje šećera koji se koristi za proizvodnju šećera upravo predstavlja jedan od načina kako smanjiti proizvodne troškove, kao što je pokazano u ovom radu.

## LITERATURA

- [1] Europska udruga proizvođača šećera, „Comite Europeen des Fabricants de Sucre“, 2010. Dostupno na: <http://www.comitesucre.org/userfiles/file/The%20European%20Sugar%20Sector%20-%20CEFS%20Brochure.pdf> [Pristupljeno: 09. studeni 2017.]
- [2] American Chemical Society: Use of Sugars and Other Carbohydrates in the Food Industry; Advances in Chemistry; Washington, DC, 1955.
- [3] S.K. Šušić, E.M. Guralj: Osnovi tehnologije šećera, Naučna knjiga, Beograd, 1965.
- [4] M. Ivančić Šantek, E. Miškulin, S. Beluhan i B. Šantek; Novi trendovi u proizvodnji etanola kao biogoriva; Zavod za biokemijsko inženjerstvo, Prehrambeno-biotehnološki fakultet, Sveučilište u Zagrebu, 2015.
- [5] Fotografija sa Wikimedije dostupna na: [https://en.wikipedia.org/wiki/Sugarcane#/media/File:CSIROScienceImage10529Sugarcane\\_and\\_bowl\\_of\\_sugar.jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/Sugarcane#/media/File:CSIROScienceImage10529Sugarcane_and_bowl_of_sugar.jpg) [Pristupljeno 28. studenog 2017.]
- [6] P.W. van der Poel, H. Schiweck, T. Schwartz: Sugar Technology, Bartens, Berlin, 1998.
- [7] Pospišil, M., Brčić, M., Pospišil, A., Butorac, J., Tot, I., Žeravica, A.: Prinos i kvaliteta korijena istraživanih hibrida šećerne repe u sjeverozapadnoj Hrvatskoj u razdoblju od 2010. do 2013. godine; Poljoprivredni fakultet u Osijeku, Poljoprivredni institut Osijek, 2016.
- [8] J. Kanisek, Jadranka Deže, Ljubica Ranogajec, Mirjana Miljević; Ekonomska analiza proizvodnje šećerne repe, 2008.
- [9] A. Kristek, Suzana Kristek, Renata Glavaš-Tokić, Manda Antunović: Prinos i kvaliteta korijena šećerne repe ovisno o roku vađenja i izboru sorte, 2007.
- [10] Tvornica šećera – vlastite fotografije
- [11] Fotografija sa Wikimedije dostupna na: <https://hr.wikipedia.org/wiki/Datoteka:Secerana> [Pristupljeno 29. studenog 2017.]
- [12] Dostupno na: <http://www.suedzucker.de/en/FAQ/Zuckergewinnung/Energie/> [Pristupljeno 28. studenog 2017.]
- [13] Czarnikow, F O Licht, ISO, Board of Trade Journal; Dostupno na: <http://www.comitesucre.org/site/the-inconvenient-truth-about-sugar-consumption-its-not-what-you-think/> [Pristupljeno 29. Studenog 2017.]

- [14] Agribusiness Handbook, Sugar Beet White Sugar; 2009. Dostupno na:  
[http://www.eastagri.org/publications/pub\\_docs/4\\_Sugar\\_web.pdf](http://www.eastagri.org/publications/pub_docs/4_Sugar_web.pdf)  
[Pristupljeno 29. studenog 2017.]
- [15] Schieb, P.-A., Lescieux-Katir, H., Thénot, M., Clément-Larosière, B.: Biorefinery 2030 Future Prospects for the Bioeconomy, 2015.
- [16] Keith Waldron: Advances in Biorefineries Biomass and Waste Supply Chain Exploitation, 2014.
- [17] L.A. Edye, W.O.S. Doherty, J.A. Blinco, G.E. Bullock: The Sugarcane Biorefinery: Energy Crops and Processes for the Production of Liquid Fuels and Renewable Commodity Chemicals, 2005.
- [18] Paul Anastas and Nicolas Eghbali: Green chemistry – Principles and Practice; Center for Green Chemistry and Green Engineering at Yale, Yale Chemistry Department, 225 Prospect Street, New Haven, CT, 06511, USA., 2009.
- [19] Dostupno na: <https://energy.gov/eere/bioenergy/integrated-biorefineries>  
[Pristupljeno: 28. studeni 2017.]
- [20] Adriano Pinto Mariano, Marina O. S. Dias, Tassia L. Junqueira, Marcelo P. Cunha, Antonio Bonomi Rubens Maciel Filho: Butanol production in a first-generation Brazilian sugarcane biorefinery: Technical aspects and economics of greenfield projects, 2013.
- [21] Tvornica šećera – interni izvještaji
- [22] Tablica o prinosima bioplina dobivena od proizvođača bioplinskih postrojenja
- [23] Basic data on biogas, Sweden, 2007.
- [24] Ramchandra Bhandari (TH Köln – University of Applied Sciences), Rebecca Besser (TH Köln – University of Applied Sciences), David Arndt (TH Köln – University of Applied Sciences), Günther Straub (TH Köln – University of Applied Sciences): Powering Agriculture Sustainable Energy for Food.
- [25] Podatak dobiven od dobavljača kukuruzne silaže

## **PRILOZI**

I. CD-R disc