



Nove bioobnovljive sirovine i tehnologije za proizvodnju motornih goriva I hemikalija

Prof. dr Borivoj Adnađević

Fakultet za fizičku hemiju, Univerzitet u Beogradu



Zašto????

Rezerve nafte

Povećane potrebe

Cena nafte

Geopolitički interesi

Zaštita životne sredine (emisija CO₂, biorazgradljivost)

Zakonska regulativa

Nove tehnologije i trka za profitom



Razvoj biogoriva

Prva generacija: biodizel (uljana repica, soja)

bioetanol (zrno kukuruza, šećerna trska)

biogas

Druga generacija: biodizel (palmino ulje, jatrofa)

bioetanol (LCM)

Treća generacija: bioulja (alge, bakterije, kvasci)

Četvrta generacija: gasovi sagorevanja CO₂



Potrebe

Derivat	2011 (1000t/god)	2015 (1000t/god)
Tečni naftni gas	108	200
Primarni benzin	611	700
Motorni benzin	1360	1500
Mlazno gorivo	89	150
Dizel gorivo	1922	2500
Loživo ulje	616	500
Ostali	276	450
	4928	6000



Poljoprivredni proizvodi (bioetanol)

Hrana ili proizvodi- zrno kukuruza → etanol

Prinos: 4- 6 t/ha

Količina u Vojvodini: 6×10^6 t

Količina goriva: 2×10^6 t/god. bioetanola $\approx 1 \times 10^6$ t MG



BOM (kukurzovina, slama, rezanci šećerne repe)

Količina: $4.2 - 7.0 \times 10^6$ t/god., $2 - 4 \times 10^6$ t/god.

Količina goriva: 1×10^6 t/god., 0.5×10^6 t/god., 0.2×10^6 t/god

Slatki sirak



Gasovi sagorevanja – fotokatalitička CH_3OH

Količina: 1.4 kg CO_2 / 1 kWh

Količina goriva: 10×10^6 t\god



Alge- biodizel, bioetanol

Proteini, lipidi i ugljeni hidrati

Biodizel: 1.3 t\ha.... 150 t\ha



Ugalj

Rezerve: 20×10^9 t

Ekvivalenti: 4.3×10^9 t\nafte



Uljni škriljci

4.7×10^9 t (23 basena)

2.5×10^9 t (Aleksinac)



1. Sagorevanje BOM (kogeneracija)
2. Biodizel
3. Energija vetra –vetrenjače
4. Biogas
5. Solarni paneli



Sadržaj izlaganja

Biohemijska konverzija soka slatkog sirka u bioetanol

Transesterifikacija svinjske masti u biodizel

Biohemijska konverzija LCM u bioetanol

Transesterifikacija alginog ulja u biodizel

Katalitički kreking pirolitičkog ulja uljnog škriljca u motorni benzin



Sadržaj izlaganja

Hidrotermalna likvefakcija alginog ulja i stajnjaka u bioulja

Fotokatalitička konverzija CO_2 u CH_3OH i motorna goriva

Tehnoekonomski pokazatelji proizvodnje bioobnovljivih motornih goriva i aditiva

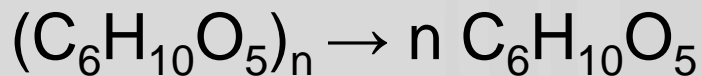
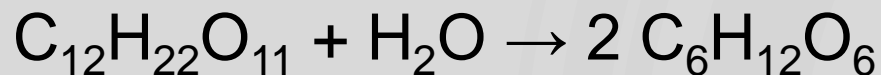
Zaključci i preporuke



Osnovni problemi u proizvodnji bioetanola

Dostupna, visoko prinosna, lako preradiva sirovina

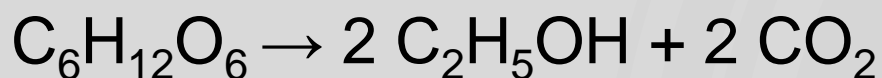
Jednostavna, brza i jeftina tehnologija hidrolize skroba, celuloze i hemiceluloze u monosaharide





Osnovni problemi u proizvodnji bioetanola

Jednostavna, brza i jeftina tehnologija fermentacije monosaharida u etilalkohol



Koncentrovanje razblaženih rastvora etanola



Osnovne karakteristike sirovina za proizvodnju bioetanola

Sirovina	Prinos t/ha	Sadržaj konv. sup. %	Spec. cena sirovine €/t	Prinos etanola l/ha
			210	
Zrno kukuruza	6	61-78	150	2564
			70	
<u>Sok slatkog sirka</u>	60	17	8	6528
Kukuruzovina	6			
	4	80	10	2100
	5			
Pšenična slama	3	67	10	2144
<u>Stabljika slatkog sirka</u>	25.5	70-75	5	12 240



Hibrid NS šećerca

Keller

Prinos zelene mase	87.2 t/ha	140 t/ha
Prinos očišćene stabljike	62.4 t/ha	101 t/ha
Prinos soka	47.4 t/ha	84 t/ha
Sadržaj šećera	20 %	24 %
Sadržaj LCM		
Celuloza	30 %	15- 25 %
Hemiceluloza	45 %	35- 50 %
Lignin	25 %	23- 30 %



Dobijanje bioetanola biohemijskom konverzijom soka slatkog sirka

Ceđenje soka

Prečišćavanje soka

Kontinualna enzimaska hidroliza

Neutralizacija

Kontinualna fermentacija

Koncentrovanje rastvora etanola



Optimalni tehnološki parametar

Vrednost

Koncentracija monosaharida u hidrolizovanom
soku slatkog sirka

6.7 %

Temperatura

35°C

Vreme kontakta

1h

Stepen popunjenosti bioreaktora

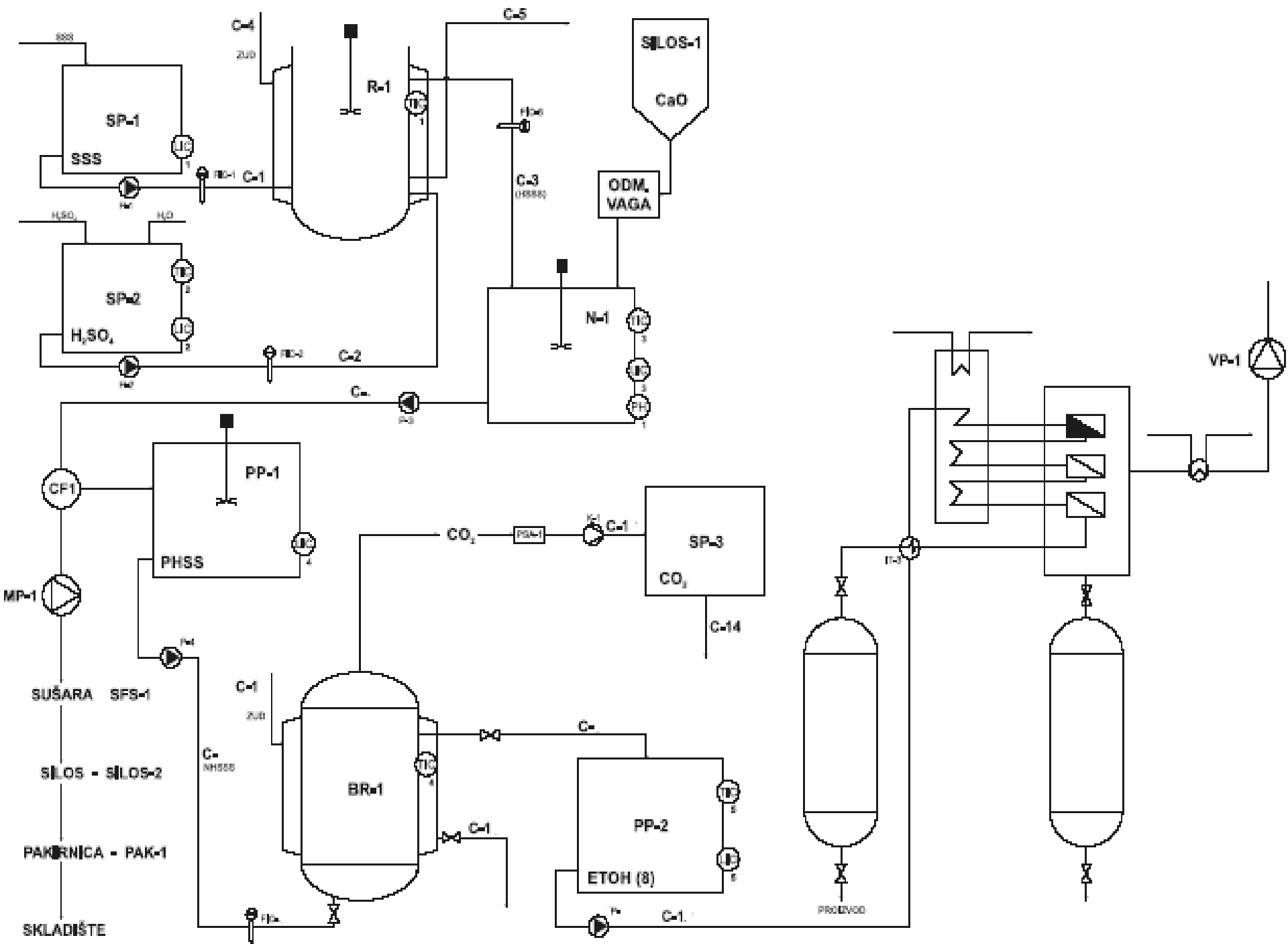
80 %



Optimalni tehnološki parametar	Vrednost
Koncentracija šećera u soku slatkog sirka	17 %
Ekvivalentan odnos kiselina/šećer	5
Temperatura	40°C
Vreme kontakta	1h
Kiselina	H_2SO_4 (25%, 3M)
Sredstvo za neutralizaciju	$\text{Ca}(\text{OH})_2$ u prahu



Tehnološko svojstvo	Vrednost
Tip zeolita	USY, CMS
Tip matrice	PDMS
Koncentracija zeolita u membrani	50 mas%
Debljina membrane	100 μm
Propustljivost membrane	min 15.8 $\text{dm}^3/\text{m}^2\text{h}$
Selektivnost membrane	min 15





Osnovne prednosti nove tehnologije dobijanja bioetanola

Mogućnost rada sa različitim sirovinama na istom postrojenju

Značajna redukcija dimenzija i mase opreme

Novi proces koncentrovanja rastvora bioetanola

Novi proces prečišćavanja CO₂

Novi proces sušenja čvrstog ostatka



Osnovna dostignuća na unapređenju proizvodnje biodizela

Korišćenje novih sirovina (veća produktivnost, niža cena)

Usavršavanje tehnologije:

- katalizator
- transesterifikacija
- rekuperacija metanola
- separacija estarske od glicerinske faze
- iskorišćenje glicerinske faze
- esterifikacija
- zimski biodizel



Fizičko-hemijska svojstva biljnih masti i ulja

Svojstvo	Ulje uljane repice	Ricinusovo ulje	Palmino ulje	Svinjska mast	Algino ulje
Gustina, $T=25^{\circ}\text{C}$, kg/m^3	915	952	923		915
Kinetička viskoznost, $T=25^{\circ}\text{C}$, mm^2/s	37.2	29.7	24.1		57.02
SMK %	0.1	1.0	0.1	5.0	1.21
Jodni broj, g/100g	94-106	81-90	52-57	46-70	123
Saponifikacioni broj, mgKOH/g	167-181	176-187	196-210	193-203	202
Tačka topljenja, $^{\circ}\text{C}$	-10	-18	35	42	-40
Prinos m^3/ha	1.19	1.43	5.95		136.9
Oksidaciona stabilnost na 110°C , h					4.2
C10				0.1	
C12			2.5	0.1	
C14	0.5		0.5-5.9	1.4	0.1
C16	5.0	0.8-1.8	32-47	25.5	8.2
C18	2.0	0.8-2.0	2-8	15.8	2.5
C18:1	61	82-95	34-44	47.1	39.9
C18:2	20	3.5-6.8	7-12	8.9	39.0
C18:3	9			0.1	7.3
C18:4					0.1
C20	0.5				0.4
C20:1					0.8
C20:2					0.4



Kavitacioni reaktor

Tipovi kavitacije:

Ultrazvučna
(energetska efikasnost 5-46%)

Standardna hidrodinamska
(homogenizator visoke brzine, Venturi
i Laplasova cev, 40-60%)

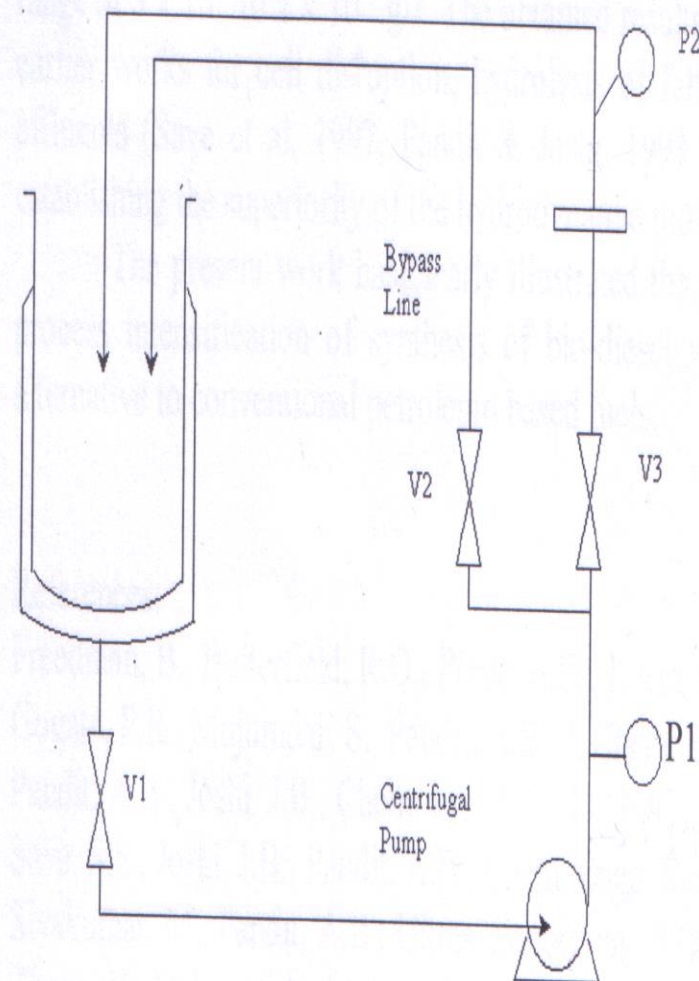
Magnetna (54-60)

Nova razvijena HDK 65-85 %

$$dk = 4.7 \cdot \gamma / p v^2$$

$$P_c = C_1 \{ R_o - 1.24 \cdot P^{12.2} \cdot (d/d_c) - 0.47 \}$$

$$T_c = C_2 \{ R_o - 0.29 \cdot P^{10.36} \cdot (d/d_c) - 0.47 \}$$





Brzina reakcije povećana 90-100 puta ($t_r \sim 1'$)

Molski odnos ROH/TG=3, nema viška CH_3OH

Brzina razdvajanja povećana 100-200 puta, $t_r \sim 2'$, Nepotpuna centrifuga

Smanjen sadržaj glicerina i sapuna u sirovom biodizelu

Olakšano prečišćavanje sirovog glicerina

Umanjena dimenzija i cena postrojenja

Povećanje energetske efikasnosti postrojenja

Kavitacioni reaktor



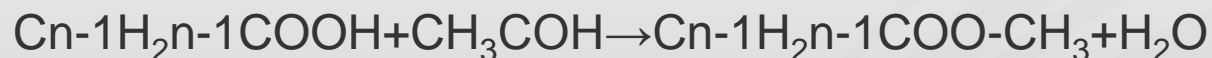


Fizičko-hemijska svojstva biodizela

Svojstvo	Ulje uljane repice	Ricinusovo ulje	Palmino ulje	Svinjska mast	Algino ulje	EN 14214
Sadržaj estara %	99	99.5	99.5	99.5	98.3	96.5 min
Sadržaj MG %	0.1	0.1	0.1	0.1	0.6	0.8 max
Gustina, T=15°C, kg/m ³	875	861	867	877	840	860-900
Tačka paljenja, °C	180	170	161	158	180	120 min
Kinetička viskoznost, cSt na 40°C	4.6	4.45	3.9	4.1	4.02	3.5-5.0
Temperatura očvršćavanja, °C	-9.0	-12	6.0	12	-30	
Kalorična vrednost, kJ/kg	41.55	41.45	41.3	41.34	41.25	
Kiselinski broj	0.12	0.1	0.2	0.1	0.3	0.5 max
Sadržaj CH ₃ OH %	0.05	0.1	0.1	0.15	0.1	0.2 max
Sadržaj GL tot %	0.12	0.05	0.1	0.08	0.2	0.25 max
Cetanski broj	54.4	58	62	58	60	51 min



Esterifikacija SMK sa CH_3OH



Uslovi:

- $T=20\text{-}200^\circ\text{C}$, $\text{CH}_3\text{OH}/\text{SMK}=5\text{-}20$, $C_{\text{kat}}=1\text{-}5\%$,
- $p=1\text{-}10\text{ atm}$

Rezultat

- $\text{SK}=90\text{-}95\%$, $t=2\text{-}70\text{h}$, rešen problem H_2O

HDK-tehnologija

- Uslovi: $T=60^\circ\text{C}$, $M=10$, $C_{\text{kat}}=2\%$, $p=1\text{ atm}$, $t=5'$, $\text{SK}=99,2\%$, $C_{\text{smk}}=12\%$



Dobijanje bioetanola biohemijskom konverzijom otpadnog lignoceluloznog materijala

Sitnjenje materijala

Diskontinualna kiselinska hidroliza celuloze i hemiceluloze

Odvajanje lignina

Kontinualna separacija monosaharida od kiseline

Neutralizacija rastvora monosaharida

Kontinualna fermentacija monosaharida do bioetanola

Kontinualno koncentrovanje bioetanolskog rastvora



Tehnološki uslovi

Proizvodnja etanola iz otpadnog ligno celuloznog materijala realizuje se kroz 5 međusobno povezanih procesa:

Priprema materijala (prijem, sitnjenje, mlevenje, skladištenje)

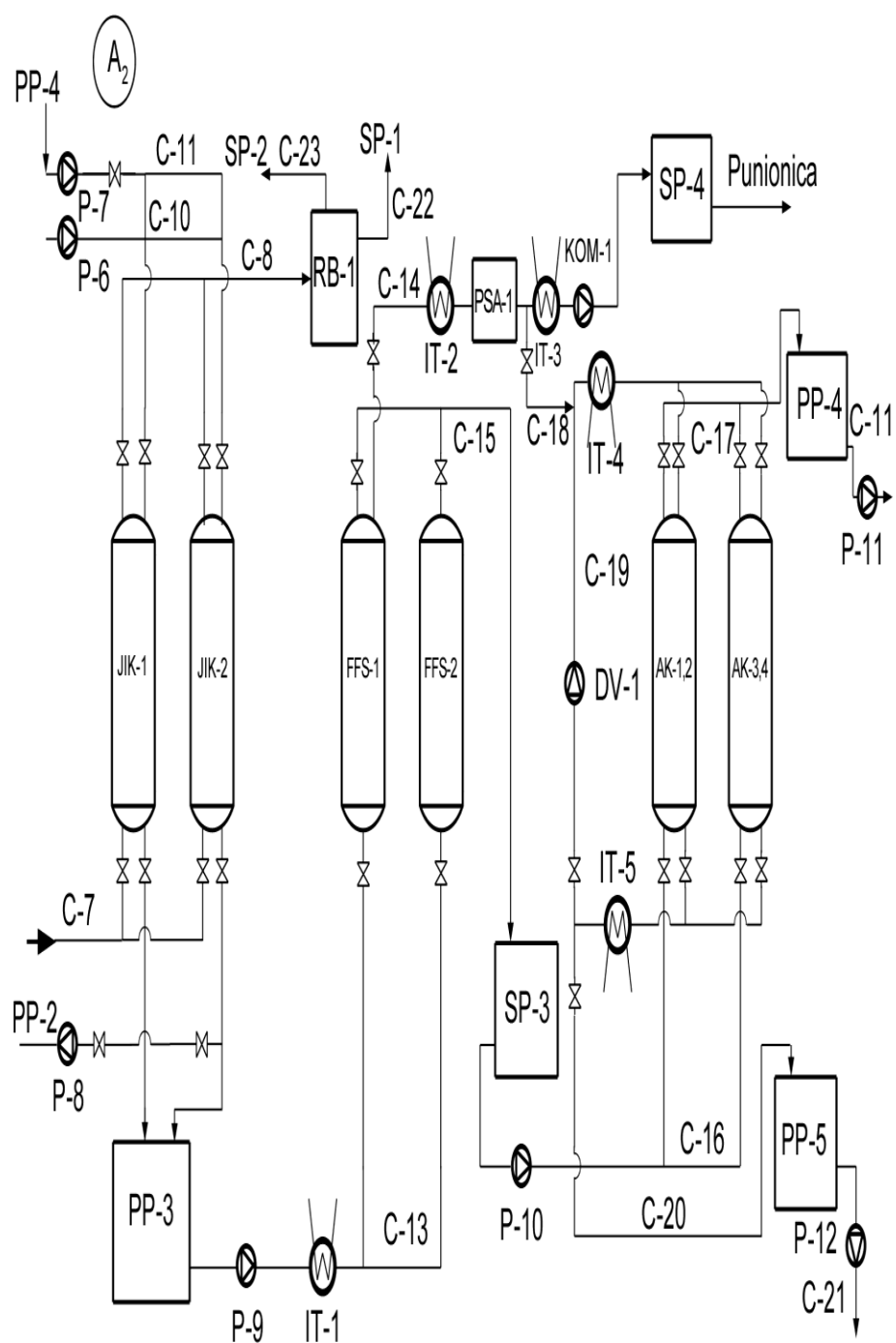
Kiselinom hidrolizovana razgradnja celuloze i hemiceluloze do monosaharida (KHLKM)

Odvajanje kiseline od monosaharida (SMSK)

Fermentacija monosaharida do etanola (FMS)

Adsorpciono koncentrovanje vodenih rastvora etanola (AKE).

Tehnološki parametar	Vrednost
Tip procesa	dvofazni
Kiselina	H ₂ SO ₄
Koncentracija kiseline u I fazi	70 %
Koncentracija čvrste materije u polaznoj suspenziji I faze	10 %
Temperatura I faze	50° C
Vreme interakcije I faze	20 min
C _{kis} III faze	33 %
C _č II faze	4.7 %
Temperatura II faze	70° C
Vreme interakcije II faze	40 min





Osnovne prednosti nove tehnologije dobijanja bioetanola

Kontinualni proces hidrolize skroba i lignoceluloznog materijala

Kontinualni proces fermentacije

Znatno skraćanje vremena procesa

Veći stepen konverzije sirovine

Mogućnost istovremene konverzije pentoza i heksoza



Usavršavanje proizvodnje bioetanola

Hidrodinamična kavitaciona kiselinna hidroliza:
celuloze, hemiceluloze i skroba u monosaharide

Uslovi:

- $T = 25^{\circ}\text{C}$
- $p = 2\text{-}8 \text{ bar}$
- $t = 1\text{-}5 \text{ min}$
- Stepen konverzije = 99%



Nove sirovine u proizvodnji bioetanola

Kanalizacioni mulj

Rezanci šećerne repe

Algin ostatak



Hemijski sastav ispitivanih sirovina (suva osnova)

Sirovine	Celuloza (%)	Hemiceluloza (%)	Lignin (%)	Pepeo
Kanalizacioni mulj	58	17	18	7
Ostaci šećerne repe (baggase)	38.9	26.1	23	1.1



Prosečan sastav čvrstog komunalnog otpada

Komponenta	BG (%)	USA (%)
Organska	30	74
Papir i karton	27	
Drvo	3	
Tekstil	4	
Plastika	6	5
Staklo	8	10
Metalna	4	7.5
Inertna	3	15
Ostalo	15	
Produktivnost	386 kg/č,god.	

Celuloza- 55%, Hemiceluloza- 9%, Lignin- 19%, Pepeo- 18%



Uporedni pregled hemijskog sastava namirnica i algi (% suve materije)

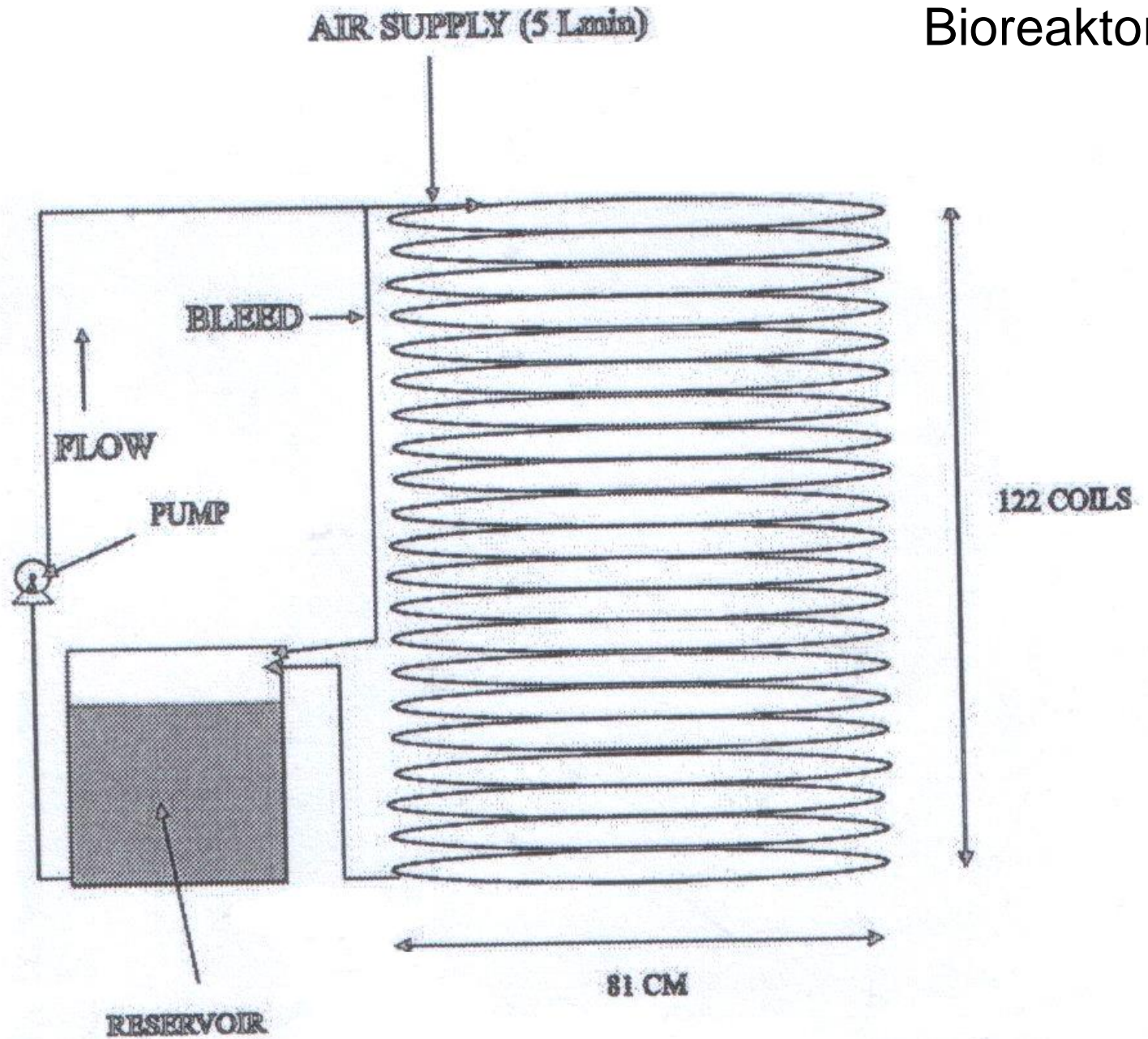
	Proteini	Ugljeni hidrati	Masti
Meso	43	1	34
Mleko	26	38	28
Pirinač	8	77	2
Soja	37	30	20
Kvasac (p)	39	38	1
<i>Chlorella vulgaris</i>	51-58	12-17	14-22
<i>Porphyridium cruentus</i>	28-39	40-57	9-14
<i>Spirulina maxima</i>	60-71	13-16	6-7



Uporedni pregled sadržaja masti u mikroorganizmima

Mikroorganizam	Sadržaj masti (% suve materije)
Mikroalge	
<i>Nitzschia sp</i>	45- 47
<i>Schizochytrium sp</i>	50- 77
Kvasci	
<i>Rhodotorula glutinia</i>	72
<i>Candida albicans</i>	58
Gljive	
<i>Mortierella isabellina</i>	86
<i>Humicola lamuginosa</i>	75

Bioreaktor





Fizičko-hemijska svojstva biljnih masti i ulja

Svojstvo	Ulje uljane repice	Ricinusovo ulje	Palmino ulje	Svinjska mast	Algino ulje
Gustina, $T=25^{\circ}\text{C}$, kg/m^3	915	952	923		915
Kinetička viskoznost, $T=25^{\circ}\text{C}$, mm^2/s	37.2	29.7	24.1		57.02
SMK %	0.1	1.0	0.1	5.0	1.21
Jodni broj, g/100g	94-106	81-90	52-57	46-70	123
Saponifikacioni broj, mgKOH/g	167-181	176-187	196-210	193-203	202
Tačka topljenja, $^{\circ}\text{C}$	-10	-18	35	42	-40
Prinos m^3/ha	1.19	1.43	5.95		136.9
Oksidaciona stabilnost na 110°C , h					4.2
C10				0.1	
C12			2.5	0.1	
C14	0.5		0.5-5.9	1.4	0.1
C16	5.0	0.8-1.8	32-47	25.5	8.2
C18	2.0	0.8-2.0	2-8	15.8	2.5
C18:1	61	82-95	34-44	47.1	39.9
C18:2	20	3.5-6.8	7-12	8.9	39.0
C18:3	9			0.1	7.3
C18:4					0.1
C20	0.5				0.4
C20:1					0.8
C20:2					0.4



Fizičko-hemijska svojstva biodizela

Svojstvo	Ulje uljane repice	Ricinusovo ulje	Palmino ulje	Svinjska mast	Algino ulje	EN 14214
Sadržaj estara %	99	99.5	99.5	99.5	98.3	96.5 min
Sadržaj MG %	0.1	0.1	0.1	0.1	0.6	0.8 max
Gustina, T=15°C, kg/m ³	875	861	867	877	840	860-900
Tačka paljenja, °C	180	170	161	158	180	120 min
Kinetička viskoznost, cSt na 40°C	4.6	4.45	3.9	4.1	4.02	3.5-5.0
Temperatura očvršćavanja, °C	-9.0	-12	6.0	12	-30	
Kalorična vrednost, kJ/kg	41.55	41.45	41.3	41.34	41.25	
Kiselinski broj	0.12	0.1	0.2	0.1	0.3	0.5 max
Sadržaj CH ₃ OH %	0.05	0.1	0.1	0.15	0.1	0.2 max
Sadržaj GL tot %	0.12	0.05	0.1	0.08	0.2	0.25 max
Cetanski broj	54.4	58	62	58	60	51 min



Uljni škriljci - sedimentne stene sastavljene od finih zrnaca:

- neorganskog materijala: 67%
- organskog materijala : 30%
- bitumena: 3%



Pirolitičko ulje – sirovina za dobijanje nafte ili proizvodnju toplotne ili električne energije (Estonija, Kina, Brazil)

Mikrotalasna piroliza uljanih škriljaca

Katalitička konverzija pirolitičkog ulja u VOB



Problem: visok sadržaj S i N u pirolitičkom ulju!

Faze prerade	S mas%	N mas%	Konradson koks %
Pirolitičko ulje	2.97	2.83	2.31
Izdvajanje koksa i pepela	0.19	1.85	0.2
Izdvajanje koksa i hidroobrada	0.001	0.1	0.01

Hidroobrada: $T=400^{\circ}\text{C}$, $p=100\text{ atm}$, $ZB=0.8\text{ h}^{-1}$, $\text{Hz/sirovina } 200$,
Zeolitski katalizator



Katalitički kreking u fluidnom sloju pirolitičkog ulja

Faza obrade	Stepen konverzije (%)	Prinos benzinske frakcije (%)	Prinos koksa (%)
Pirolitičko ulje	25	30	12
Izdvajanje pepela i koksa	38	41	7
Izdvajanje pepela, koksa i hidroobrada	78	70	3
Gasno ulje	75	68	3.5

MAT-test: $T=510^{\circ}\text{C}$, $p=1\text{atm}$, zapreminska brzina= 14h^{-1}



Hidrotermalna likvefakcija mikroalge *Botryococcus braunii* uzgajanje, separacija, sušenje, destrukcija

Fizičko-hemijska svojstva *B. braunii*:

Vlažnost:	89 mas%
Sadržaj organskih materija u suvom ostatku:	98 mas%
Pepeo:	2 mas%

Elementarna analiza:

Ugljenik	65%
Vodonik	12 %
Azot	3%
Kiseonik	20%



Tehnološki parametri:

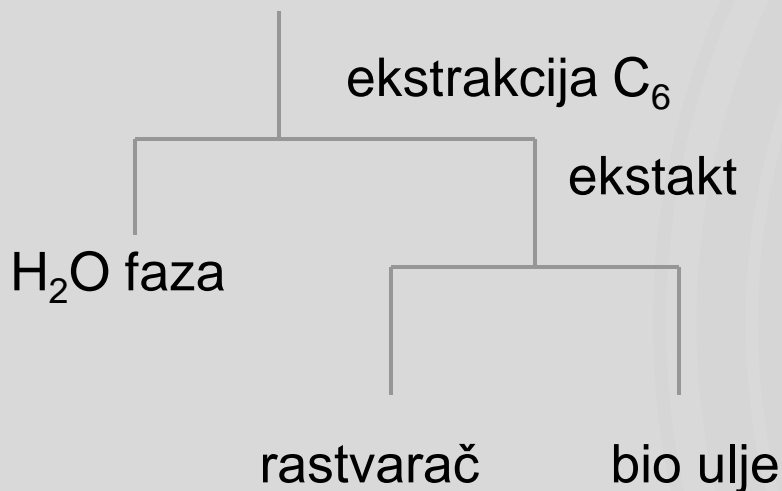
T (200-350°C), p (10- 30MPa), CKAT (0-5%)

Faze procesa:

Likvefakcija (gas, tečnost, čvrsto)

Filtracija (odstraniti čvrsti deo)

Rastvoreni deo



(10) Pressure regulator

(5) Magnetic drive stirrer

(4) Pressure gauge

(9) Pressure release valve

(8) Pressure relief valve

(11) Isolation valve

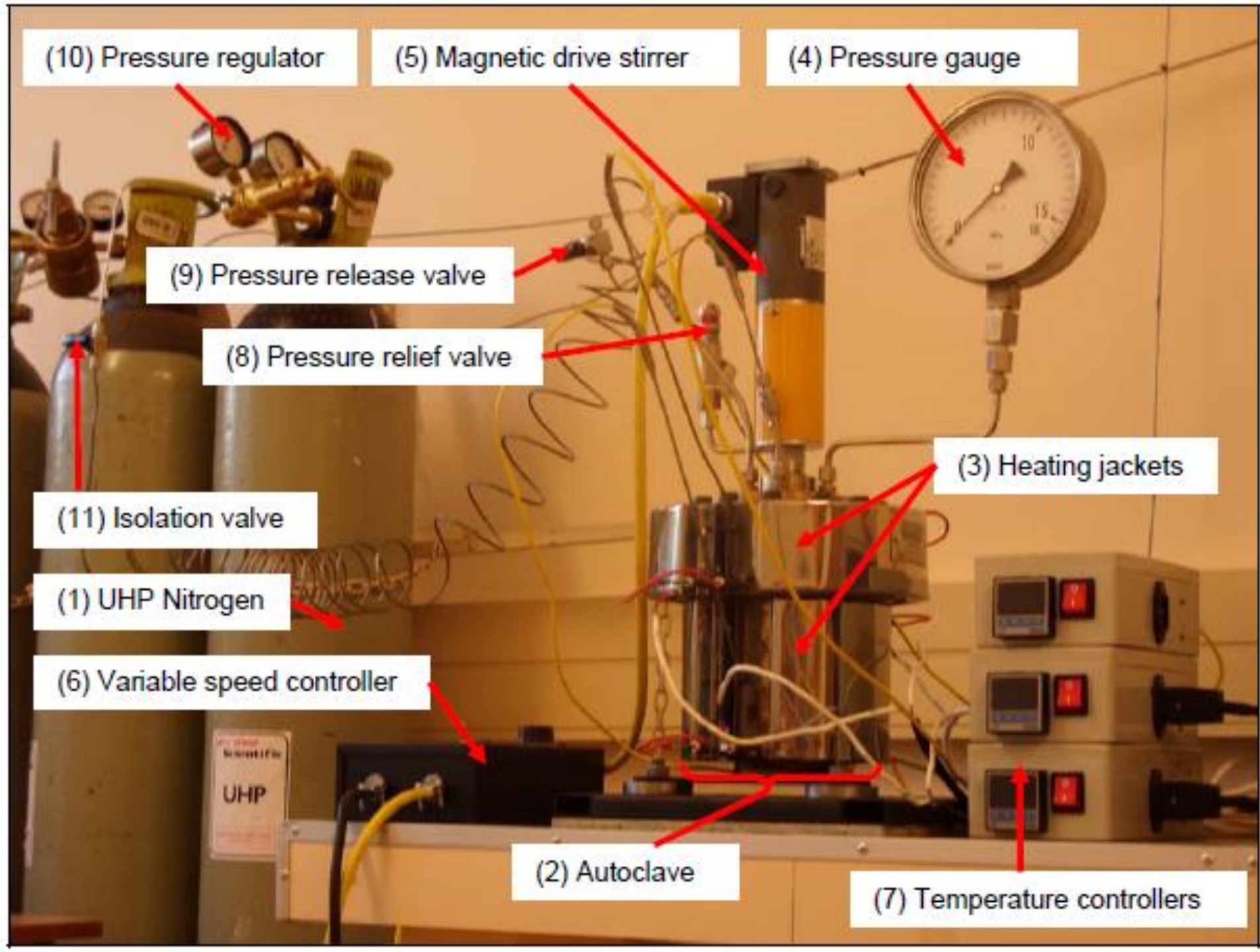
(1) UHP Nitrogen

(6) Variable speed controller

(3) Heating jackets

(2) Autoclave

(7) Temperature controllers







Uticaj temperature na prinos i fizičko-hemijska svojstva bioulja (p= 18MPa)

Svojstva	200°C	250°C	300°C	320°C	350°C	* 5% KAT
Konverzija	65	83	95	89	60	97
C (%)	77	80	85	82	83	86
H (%)	15	15	14	14	14	13.9
N (%)	0	0.5	1.0	2.5	1.5	0.1
O (%)	8.0	4.0	0	1.5	1.5	0
Kalorijska moć (MJ/kg)	46.3	48.1	49.1	47.8	48.12	49.3
Koeficijent viskoznosti, 50°C, (mPas)	230	78	75	76	77	65



Hidrotermalna likvefakcija svinjskog stajnjaka

Količina \approx 3 kg/dan svinje u tovu (11%)

Fizičkochemijska svojstva stajnjaka

Neposredna analiza

Isparljivo	78%
Pepeo	22%
Vlaga	12%

Elementarna analiza

C	33.5%
H	6.2%
N	2.8%
O	57.7%

Hemijski sastav

Celuloza	15.1%
Hemiceluloza	20%
Lignin	0.9%
Proteini	5.0%
Masti	17.0%
Kalor. moć	7.89MJ/kg



HTLSS reakcioni uslovi

$T = 200 - 400^{\circ}\text{C}$, $p = 10 - 30 \text{ MPa}$, $t = 5 - 120 \text{ '}$, $C_{\dot{\text{C}}\text{M}} = 5 - 30\%$

Proizvod: Gas, ulje i čvrsti ostatak

Uticaj vremena kontakta na prinos biouljne frakcije

(400°C , $C_{\dot{\text{C}}\text{M}} = 20\%$, $p = 10 \text{ MPa}$)

Vreme kontakta (min)	Prinos (%)
5	14
10	20
15	30
30	28
45	28
60	20



HTLSS reakcioni uslovi

$T = 200 - 400^{\circ}\text{C}$, $p = 10 - 30 \text{ MPa}$, $t = 5 - 120 \text{ '}$, $C_{\text{CM}} = 5 - 30\%$

Proizvod: Gas, ulje i čvrsti ostatak

Uticaj temperature na prinos biouljne frakcije

($t = 15 \text{ '}$, $C_{\text{CM}} = 20\%$, $p = 15 \text{ MPa}$)

T (°C)	Prinos bioulja (%)
250	14
270	19
300	22
320	24
350	28



Uporedna analiza fizičko-hemijskih svojstava bioulja, mazuta i motornog benzina

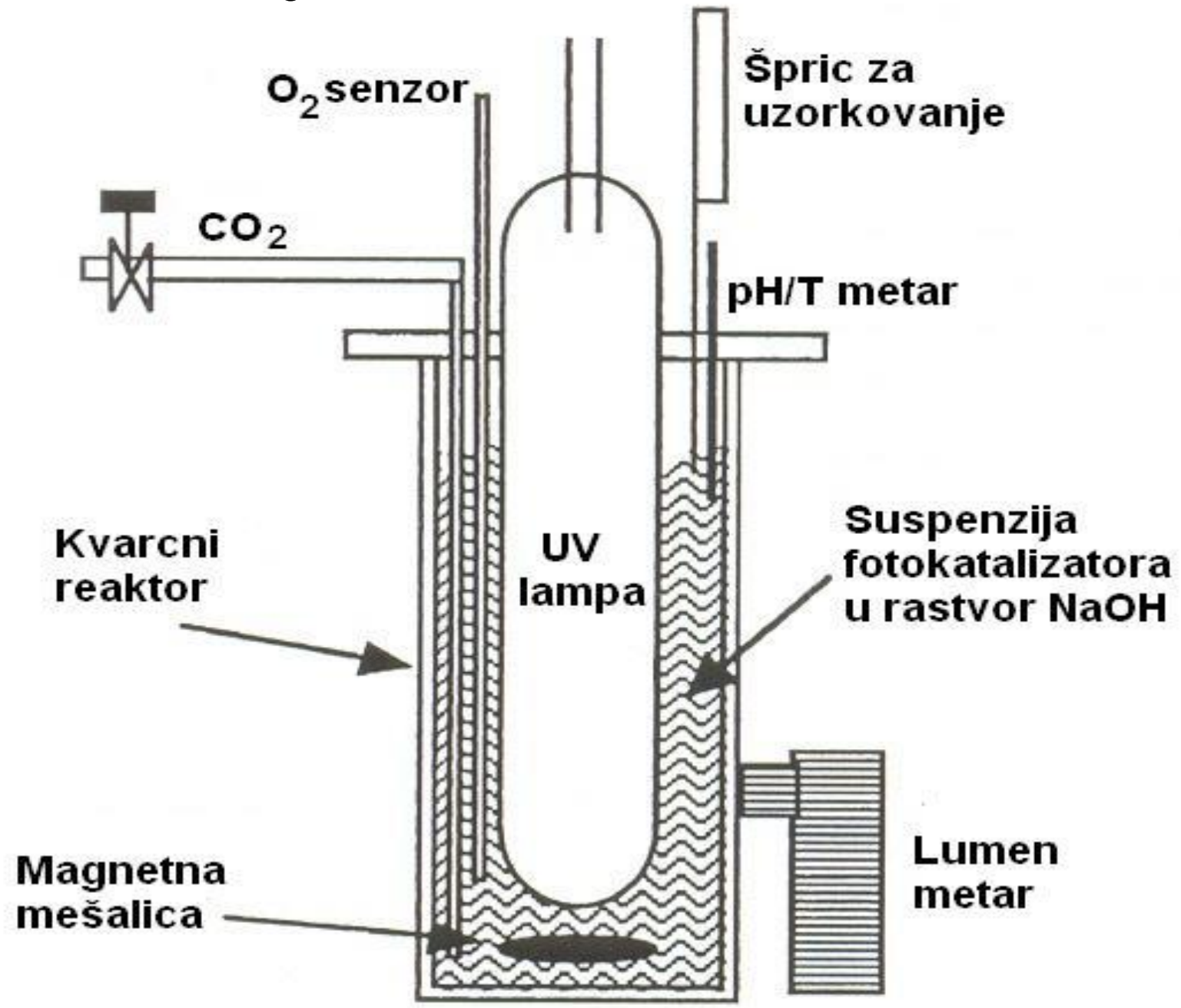
Svojstvo	Bioulje	MOB	Mazut
Elementarna analiza			
C	72.6	87	85
H	9.8	13.5	11
N	4.5	0	0.3
O	13.2	0	1.0
Pepeo	0.13	0	0.1
Koeficijent viskoznosti 50°C (CP)	840	0.4	400
Kalorijska moć (MJ/kg)	36.1	45.1	40.0



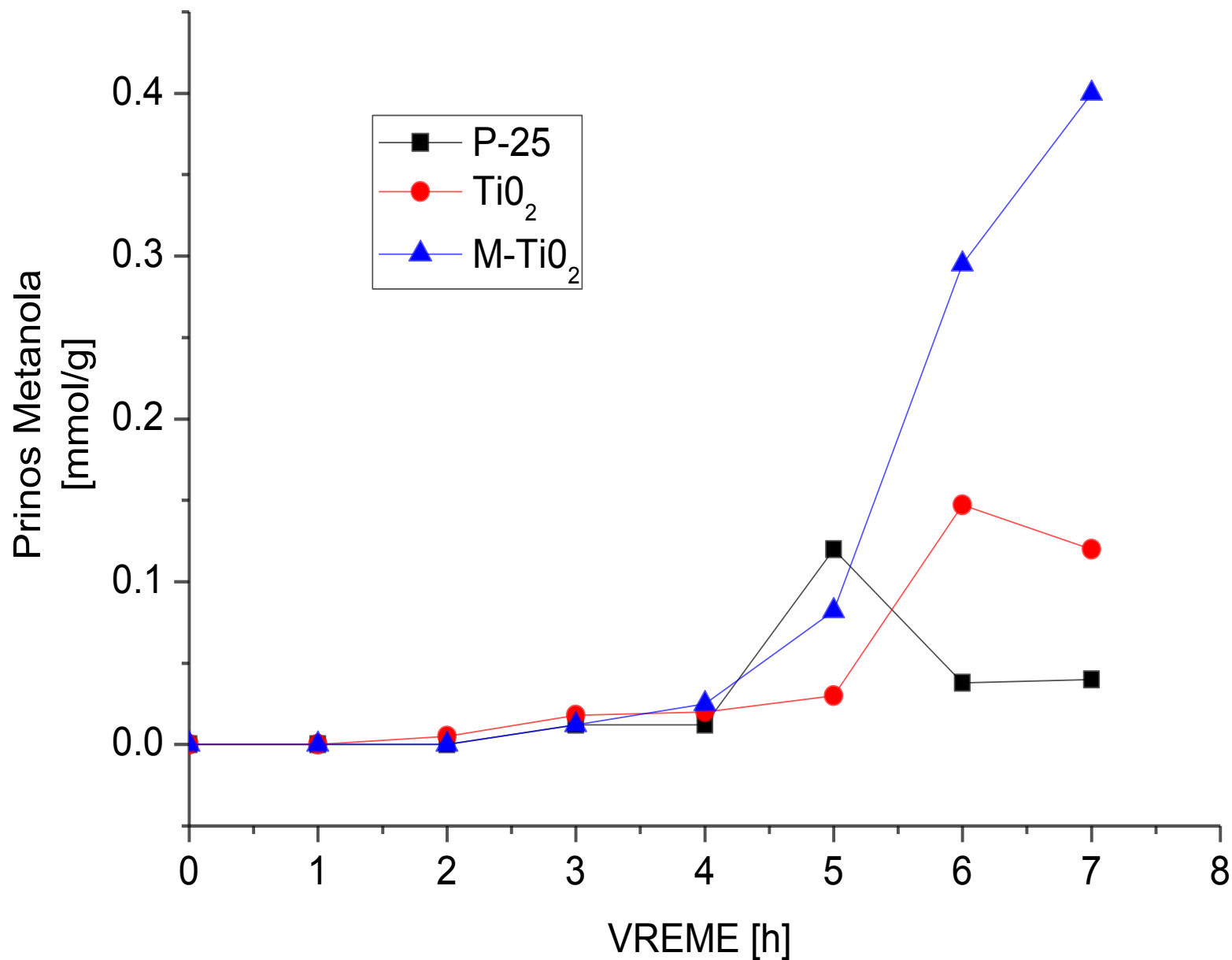
Osnovna fizičko-hemijska svojstva ispitivanih fotokatalizatora

Svojstvo	P-25	TiO ₂	M/ TiO ₂	Metoda ispitivanja
Sadržaj rutila, %	20	-	-	Rendgenostrukturalna analiza X-Ray diffraction, Siemens
Sadržaj anatasa, %	80	100	100	
Sadržaj metala, %	-	-	0,05 - 15	AAS
Dimenzije kristalita, nm	30	16	16	Debaj-Scherrova metoda
Specifična površina, m ² /g	50	65	64	Niskotemperaturna adsorpcija N ₂ (BET) Micromeritics ASAP 2000
Energetski procep, eV	3,47	3,23	3,20	Difuzna refraktivna UV-VIS spektrofotometrija [11] ¹ , Hitachi U-3410

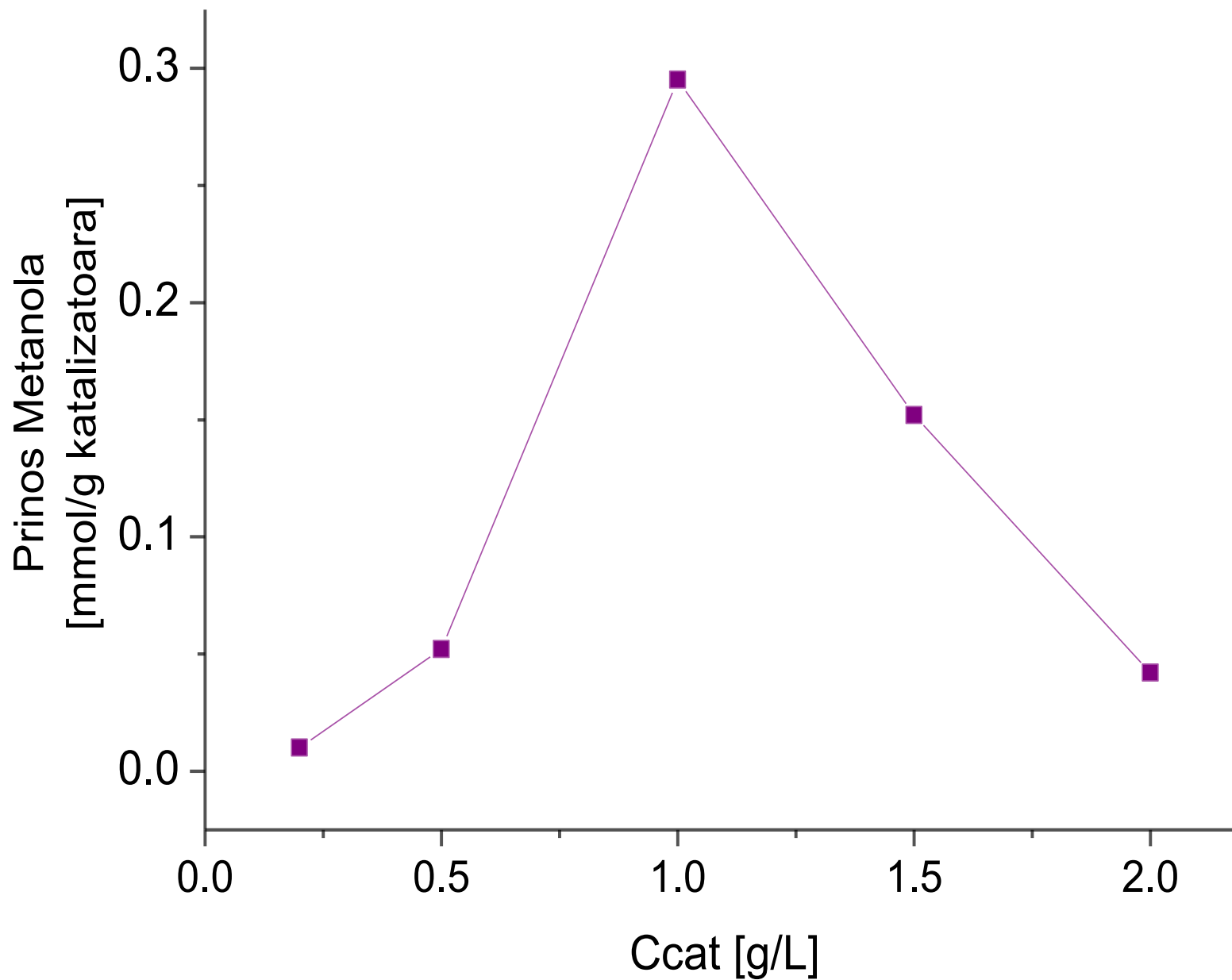
Shema fotokatalitičkog reaktora



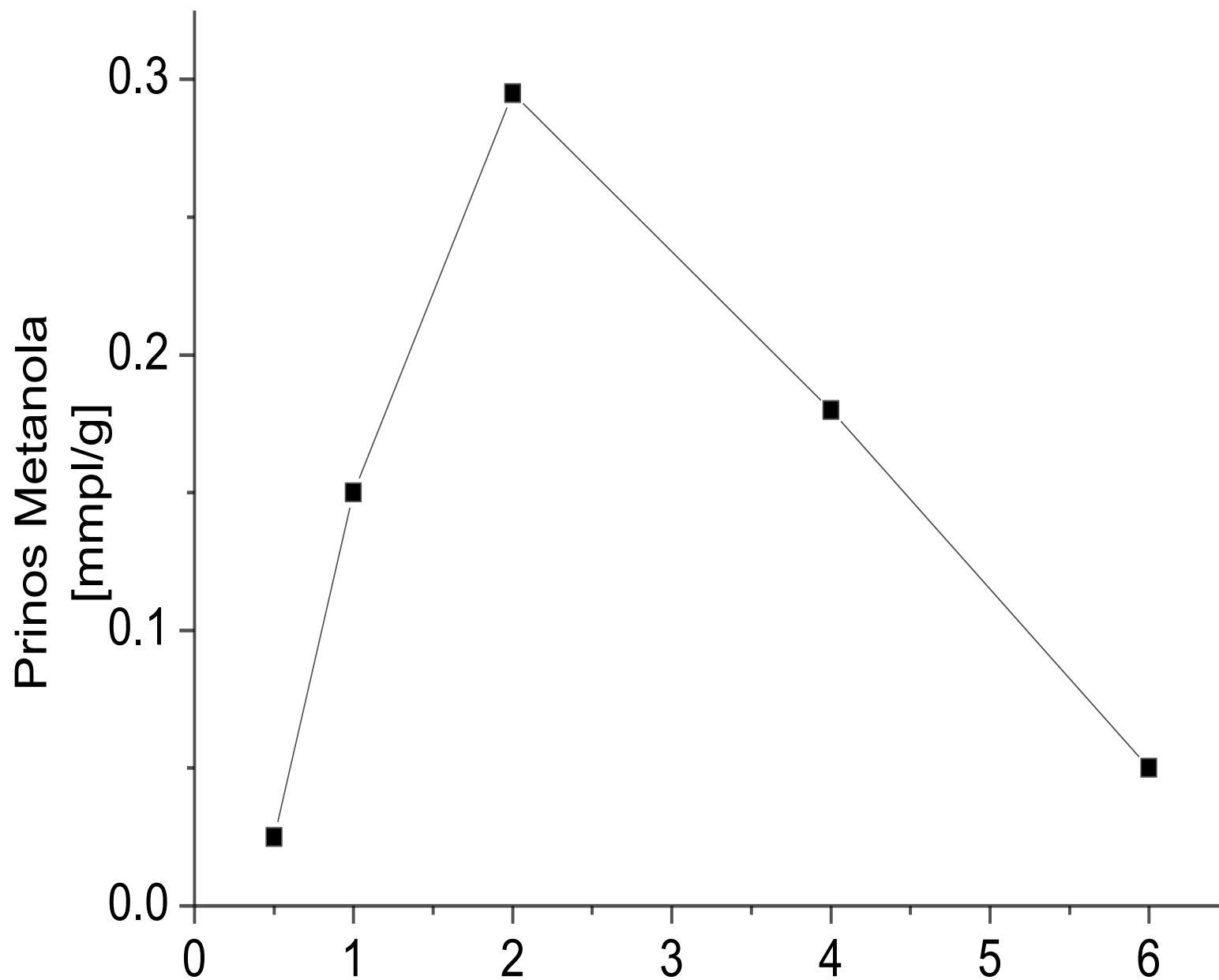
Uticaj vremena ozračivanja na prinos metanola



Utica j koncentracije M/TiO₂ fotokatalizatora na prinos metanola



Uticaj koncentracije metanola u katalizatoru na prinos metanola





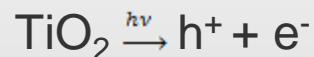
Energetska i kvantna efikasnost ispitivanih fotokatalizatora

Fotokatalizator	Φ_Q (%)	Φ_E (%)
P-25	0,81	3,41
TiO ₂	0,90	5,41
M/TiO ₂	6,25	21,7

Ckat =1%; PCO₂=125kPa; CM=2%)

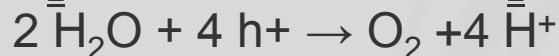
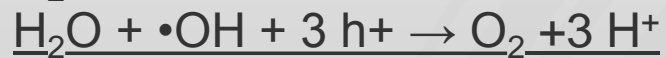
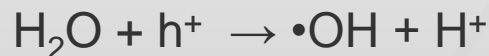


Fotoaktivacija TiO_2



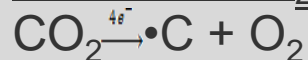
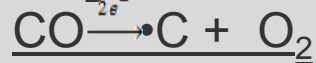
gde je: h^+ - šupljina, e^- - oslobođeni elektron

Oksidacija vode

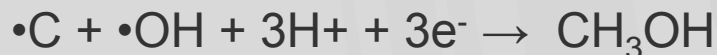


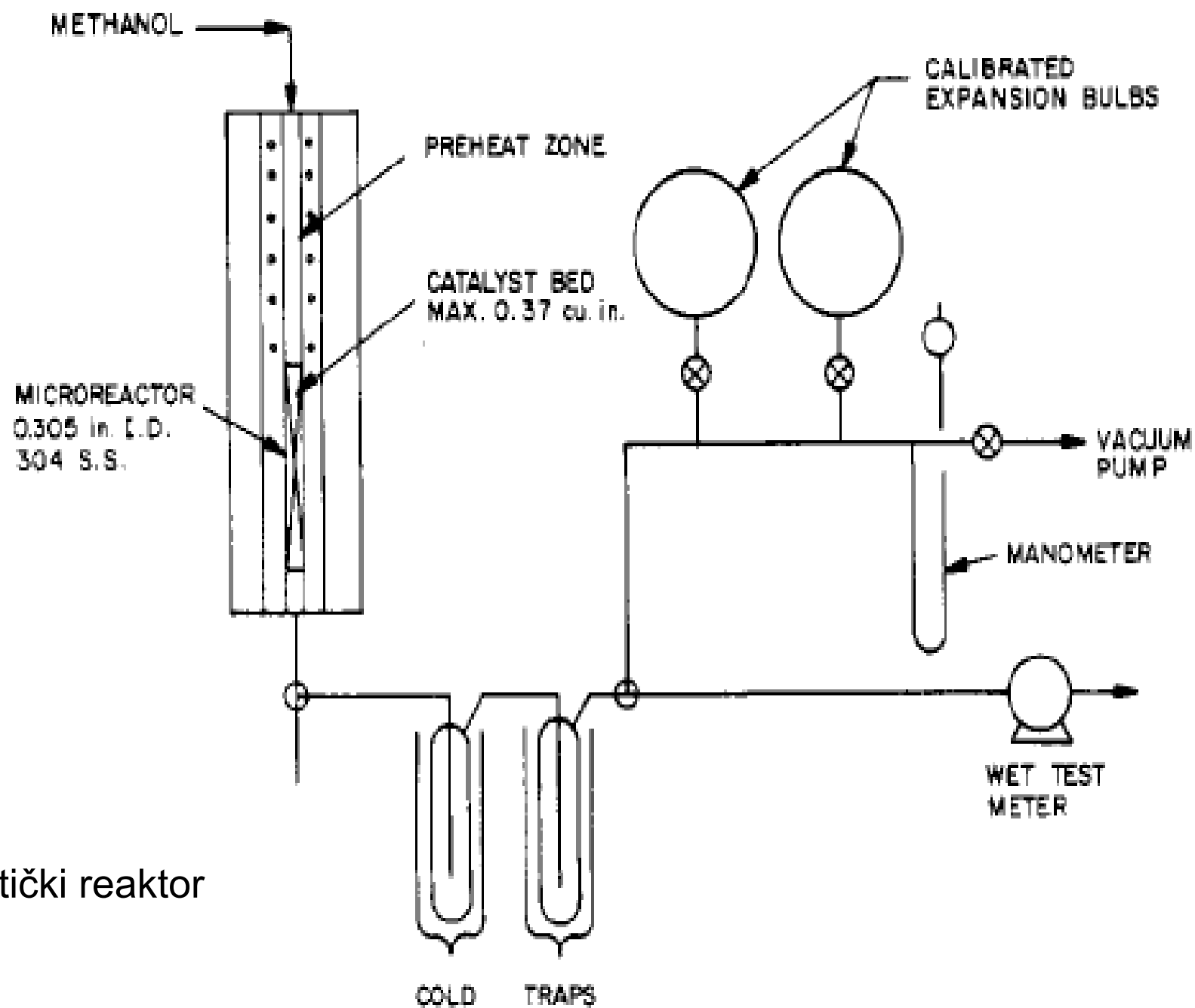
gde je: $\bullet\text{OH}$ - slobodni OH radikal

Redukcija ugljendioksida



Formiranje metanola





Katalitički reaktor



Svojstvo	Vrednost
Stepen kristaliničnosti HZSM-5, %	100
Molarni odnos $\text{SiO}_2/\text{AlO}_3$	132
Srednji dijametar kristalita, [μm]	0,9
Sadržaj HZSM-5 u KAG-300, %	75
Specifična površina KAG-300, [m^2/g]	300
Specifična zapremina pora [cm^3/g]	0,35
Srednji dijametar čestica [cm]	0,15
Nasipna težina [kg/m^3]	650

Osnovna fizičko-hemijska svojstva zeolita HZSM-5 u katalizatoru KAG-300



Eksperimentalni uslovi

Fiksni sloj katalizatora

Masa katalizatora $m = 5 \text{ g}$

Vreme reakcije : $t = 1 \text{ h}$

Prinos gasne frakcije – volumetrijska metoda

Sadržaj C_1 - C_4 ugljovodonika – Gasna hromatografija

Prinos H_2O i tečnih ugljovodonika –gravimetrijska analiza

Sadržaj benzinske frakcije – ASTM-D 3710-83

Sadržaj koksa- ASTM- D- 524



Uticaj temperature na stepen konverzije metanola i raspodelu produkata kataliticke konverzije ($P=2\text{MPa}$; $ZB=2\text{ h}^{-1}$)

T, K	623	653	673	693	723
SK, %	88	97	100	100	100
GF, mas%	16.0	18.5	19.6	21.2	26.0
BF, mas %	66.5	73.5	78.0	76.0	68.0
LCO, mas %	2.1	2.9	1.6	1.9	40
koks	0.5	0.6	0.8	1.0	2.0



Uticaj pritiska na stepen konverzije metanola i raspodelu produkata katalitičke konverzije ($T=693K$; $ZB=2\text{ h}^{-1}$)

P, MPa	0.5	1	3
SK, %	98.5	99.8	100
GF, mas%	30.5	17.5	17.0
BF, mas %	67.0	78.0	69
LCO, mas %	0.2	3.3	11.5
koks	0.8	0.9	2.5



Katalitička konverzija C_3+C_4 frakcije u dizel gorivo

(Fiksni sloj katalizatora , $m_{\text{kat}}= 5\text{g}$; $T=425\text{ K}$; $P=0.41\text{ MPa}$; $ZB= 0.5\text{ h}^{-1}$)

Prinos	Procentat (%)
SK	99.2
C1-C2	0.1
C3	0.3
C4	0.6
C5	0.3
BF	13.7
DF	43.1
>343	41.1



Hidrogenizacija ugljendioksida sa vodonikom



Katalizatori: Cu-ZnO-Al₂O₃, CuO-ZnO-ZrO₂, Cu-ZnO

Cu,Zn,Ga-SiO₂ (200 m²/g, 620 cm³/g)

Uslovi: M=3, p=20 at, ZV=18 m³/kgh

T (K)	Aktivnost (mmol/kgh)	Selektivnost (CH ₃ OH)	CO (%)
523	6 200	99.8	0
533	8 700	99.3	0
543	11 500	99.1	0



Ekonomski pokazatelji proizvodnje bioetanola

Kapacitet 20 000 m³/god.

Cena bioetanola 12 % ↓ od proizvodne cene motornog benzina u NIS-u

Svetske cene: hemikalija, energenata i pomoćnih fluida

Lokalne cene: radne snage, građevinskog zemljišta i objekta

Kredit: u visini investicije, 10% kamata, 5 godina, 1 godina grace period



Ekonomski pokazatelji proizvodnje bioetanola

Cena nafte \$/barel	Cena nafte €/l	Min cena benzina €/l	Min cena benzina NIS €/l
50	0.218	0.315	0.340
70	0.306	0.443	0.480
90	0.393	0.569	0.593
100	0.437	0.633	0.659



Ekonomski pokazatelji proizvodnje bioetanola

Sirovina	Mat. troškovi €/m ³	Investicija € · 10 ⁶	Radna snaga	Građ. objekat m ²
	197.8			
Zrno	440	6.9	27	1400
kukuruz	559			2000
Sok	233.2	5.5	31	1400
slatkog				2000
sirka				
Pšenična	99.1	8.90	69	2400
slama				2000



Ekonomski pokazatelji proizvodnje bioetanola

Sirovina	Vreme povraćaja god.	Novostvorena vrednost € · 10 ⁶	Interna stopa rentabilnosti %	Akumulacija
Zrno	1.7	51	25.9	4.9
kukuruza	4.6	15	25.9	2.0
Sok slatkog sirka	1.8	31.2	20.9	4.65
Pšenična slama	1.7	52	26.8	5.41



Neki elementi strategije razvoja i uvođenja bioetanola

Izgradnja postrojenja na licu mesta:

300 000m³/god., 15 postrojenja

Razvoj modularnih postrojenja:

5, 10, 20, 50 000m³/god.

Kukuruz, sok slatkog sirka, lignocelulozni materijal



Neki elementi strategije razvoja i uvođenja bioetanola

Postepena supstitucija benzina sa bioetanolom u toku
5 godina - 20, 40, 60, 80, 100 000 m³/god.

Razvoj novih tehnologija, proizvodnji i proizvoda

Upošljavanje i razvoj niza industrija



Neki elementi strategije razvoja i uvođenja bioetanola

Plasman znanja i opreme na treća tržišta

Smanjenje energetske zavisnosti zemlje
kroz korišćenje obnovljivih izvora energije

Izrazito ekonomske i političko jačanje zemlje



- Osloboditi se zaostalih koncepata i tehnologija
- Koncentrisati istraživanja, sredstva na preradu otpadnih lignoceluloznih materijala u cilju dobijanja goriva i hemikalija
- Intenzivno započeti hidrotermalnu likefakciju otpadnih materijala
- Razviti koncept "lokalnog" snabdevanja energentima
- Intenzivno započeti fotolitičku konverziju CO_2 u CH_3OH
- Nova poljoprivreda i industrija hrane na bazi algi, kvasaca i bakterija