



Biogas

Dobijanje i primena

Miroslav Stanojević

Stojan Simić

Aleksandar Jovović

Dejan Radić

Marko Obradović

Dušan Todorović



UNIVERZITET U BEOGRADU
MAŠINSKI FAKULTET

Miroslav Stanojević, Stojan Simić, Aleksandar Jovović, Dejan Radić,
Marko Obradović, Dušan Todorović

BIOGAS
DOBIJANJE I PRIMENA

I izdanje

Beograd, 2014.

Miroslav Stanojević, redovni profesor, Univerzitet u Beogradu – Mašinski fakultet
Stojan Simić, vanredni profesor, Mašinski fakultet u Istočnom Sarajevu
Aleksandar Jovović, redovni profesor, Univerzitet u Beogradu – Mašinski fakultet
Dejan Radić, vanredni profesor, Univerzitet u Beogradu – Mašinski fakultet
Marko Obradović, asistent, Univerzitet u Beogradu – Mašinski fakultet
Dušan Todorović, istraživač saradnik, Univerzitet u Beogradu – Mašinski fakultet

BIOGAS

DOBIJANJE I PRIMENA

pomoćni udžbenik

I izdanje

Recenzenti

Prof. dr Goran Jankes, dipl. inž. maš.
Prof. dr Dušan Golubović, dipl. inž. maš.

Izdavač

UNIVERZITET U BEOGRADU
MAŠINSKI FAKULTET
Kraljice Marije br. 16, 11120 Beograd 35
Srbija

Za izdavača:

Dekan, prof. dr Milorad Milovančević

Urednik:

Prof. dr Aleksandar Obradović

Tehnički urednik:

Goran Janjić, dipl. inž. maš.

Dizajn korica:

Nemanja Dragojlović

Štampa i povez:

”Planet print”, Ruzveltova br. 10
11000 Beograd

Odobreno za štampu:

Odlukom dekana Mašinskog fakulteta u Beogradu
br. 286/14 od 13.11.2014.

Tiraž:

300 primeraka

ISBN 978-86-7083-796-6

Predgovor

U vremenu kada se rezerve fosilnih goriva smanjuju, potrebe za energijom konstantno rastu, a životnu sredinu ugrožava neadekvatno zbrinjavanje otpada, korišćenje organskih materijala koji nastaju pri obradi komunalnih otpadnih voda i biološkog otpada sve više dobija na značaju u procesu proizvodnje energije. Težnja za smanjenjem zavisnosti od fosilnih goriva i dobijanjem jeftine energije dovela je do značajnih ulaganja u razvoj tehničkih rešenja za iskorišćenje alternativnih izvora energije. U poslednje vreme sve više se razvija biogasna industrija gde se kao produkti anaerobne digestije dobijaju biogas koji se koristi kao energent u različitim oblastima čovekove delatnosti i prevreli supstrat (biođubrivo) za potrebe poljoprivrede.

Pored toga što je relativno jednostavan za skladištenje i što ima visoku toplotnu moć biogas je prihvatljiv kao gorivo sa aspekta emisije gasova koji izazivaju efekat staklene bašte. U zavisnosti od vrste primene potrebno je obezbediti odgovarajući kvalitet kao i pouzdano snabdevanje krajnjih korisnika biogasom.

Knjiga "Biogas - dobijanje i primena" je nastala kao rezultat višegodišnjeg rada autora u ovoj oblasti. U knjizi je obrađen proces anaerobne digestije sa posebnim osvrtom na dobijanje, svojstva i sastav biogasa u zavisnosti od vrste sirovine i parametara procesa.

Prezentovane su tehničke i eksploatacione karakteristike i primeri proračuna postrojenja za anaerobnu obradu otpadnih materijala različitog porekla.

Materija koja je obradjena u knjizi uključena je u programe više predmeta (Upravljanje otpadom i otpadnim vodama; Peći i kotlovi u industriji i Gorivi, tehnički i medicinski gasovi) na master studijama Modula za procesnu tehniku i zaštitu životne sredine na Mašinskom fakultetu Univerziteta u Beogradu.

Kako je u zemljama u regionu literatura iz ove oblasti oskudna, nadamo se da će ova knjiga biti od pomoći stručnjacima koji rade na poslovima projektovanja i eksploatacije biogasnih postrojenja kao i studentima tehničkih fakulteta u čijem nastavnom programu je ova oblast zastupljena.

Zahvaljujemo se svima onima koji su pomogli izdavanje ove knjige, kao i recenzentima koji su nizom korisnih sugestija doprineli da knjiga dobije konačnu formu.

Unapred se zahvaljujemo na svim konstruktivnim primedbama i sugestijama koje ćemo uzeti u obzir i ugraditi u eventualno buduće izdanje ili proširenje ove knjige.

Oktobar 2014. godine

Autori

SADRŽAJ

UVOD	9
1. ZNAČAJ PRIMENE OBNOVLJIVIH IZVORA ENERGIJE	11
1.1. Vrste energije	11
1.2. Energija biomase	18
1.3. Biogoriva	21
2. BIOGAS KAO PRODUKT ANAEROBNE OBRADU OTPADNIH MATERIJALA	25
2.1. Supstrat za anaerobnu digestiju	25
2.2. Karakteristike postupka anaerobne digestije	28
2.2.1. Mikrobiologija anaerobne digestije	29
2.3. Potrebni tehnološki uslovi za anaerobnu digestiju	33
2.4. Vrste anaerobne digestije u zavisnosti od broja faza procesa	44
2.4.1. Jednofazni procesi anaerobne digestije	44
2.4.2. Dvofazni procesi anaerobne digestije	48
2.5. Produkcija metana	49
3. TEHNIČKE I TEHNOLOŠKE KARAKTERISTIKE POSTROJENJA ZA ANAEROBNU OBRADU OTPADNIH MATERIJALA	51
3.1. Prinos biogasa iz različitih sirovina	53
3.2. Konstrukciona rešenja digestora	59
3.3. Uslovi za konstruisanje digestorskih postrojenja	67
3.4. Dimenzionisanje digestorskih postrojenja	68
3.4.1. Kriterijumi za određivanje veličine digestora	68
3.4.2. Određivanje potrebne veličine digestora	71
3.4.3. Određivanje debljine zida digestora	73
3.4.4. Dimenzionisanje pokretne kupole digestora	75
3.4.5. Dimenzionisanje cevovoda i izbor armature	77

3.4.6. Dimenzionisanje i izbor pumpe za transport supstrata.....	78
3.4.7. Grejanje i toplotna izolacija digestora.....	81
3.4.8. Energetski bilans digestora	95
3.4.9. Energija dobijena iz biogasa	96
3.4.10. Punjenje i pražnjenje digestora	97
3.4.11. Ostala oprema i uređaji biogasnih postrojenja	99
3.4.12. Skladištenje biogasa.....	101
3.5. Prečišćavanje biogasa.....	103
3.5.1. Prečišćavanje biogasa od ugljen-dioksida.....	105
3.5.2. Prečišćavanje biogasa od vodonik-sulfida	114
3.5.3. Izdvajanje vlage i elemenata u tragovima iz biogasa.....	122
3.5.4. Uporedni prikaz tehnologija za prečišćavanje biogasa	127
3.6. Praćenje i kontrola procesnih parametara biogasnog postrojenja	128
3.7. Mere sigurnosti biogasnih postrojenja	130
3.8. Biogasna postrojenja	131
3.8.1. Postrojenja za dobijanje biogasa iz poljoprivrednog otpada.....	131
3.8.2. Postrojenja za dobijanje biogasa iz industrijskog otpada.....	147
3.8.3. Postrojenja za dobijanje biogasa pri obradi otpadnih voda i stabilizaciji mulja.....	148
3.8.4. Postrojenja za dobijanje biogasa iz čvrstog komunalnog otpada	157
3.9. Iskustva industrijski razvijenih zemalja u oblasti biogasne tehnike.....	158
4. SVOJSTVA I KARAKTERISTIKE BIOGASA	163
4.1. Svojstva biogasa	164
4.2. Toplotna svojstva biogasa	166
4.3. Sastav biogasa	177
4.4. Primer proračuna parametara procesa sagorevanja biogasa.....	180
5. PRIMENE BIOGASA.....	187
5.1. Mogućnosti primene biogasa.....	187

5.1.1. Primena biogasa u kogeneracijskim postrojenjima za proizvodnju energije	188
5.1.2. Primena biogasa za pogon malih turbina	189
5.1.3. Primena biogasa za gorive ćelije.....	190
5.1.4. Primena biogasa za pogon motornih vozila i injektovanje u distributivnu gasnu mrežu.....	191
5.1.5. Primena metana i ugljen-dioksida iz biogasa u hemijskoj industriji	192
5.2. Prednosti primene biogasa.....	192
6. POSTUPAK PRORAČUNA BIOGASNIH POSTROJENJA	197
6.1. Primer postupka proračuna postrojenja za anaerobnu obradu otpadnog mulja iz postrojenja za prečišćavanje gradskih (sanitarnih) otpadnih voda	197
6.1.1. Materijalni bilans procesa	199
6.1.2. Dimenzionisanje glavnih cevovoda postrojenja.....	208
6.2. Primer postupka proračuna postrojenja za anaerobni tretman tečnog stajnjaka sa farme svinja	212
KORIŠĆENI TERMINI, SKRAĆENICE I OZNAKE	219
LITERATURA.....	227