

Univerzitet u Novom Sadu
TEHNIČKI FAKULTET „MIHAJLO PUPIN”
Zrenjanin

Prof. dr Miroslav Lambić

ENERGETIKA
ENERGETICS

Zrenjanin
2007.

- Saradnik:* Jasmina Pekez
- Recezent:* Prof. dr Tomislav Pavlović
Prof. dr Miladin Brkić
- Izdavač:* Tehnički fakultet „Mihajlo Pupin“ - Zrenjanin
- Za izdavača:* Prof. dr Momčilo Bjelica, dekan
- Urednik:* Prof. dr Miroslav Lambić
- Prevod na engleski:* Prof. Srđan Šerer
Prof. dr Erika Tobolka
Dragica Ivin
- Obrada teksta na računaru:* Milan Zabrdac
- Dizajn korica:* Dejan Pekez
- Štampa:* Ruski Krstur: Ruske slovo



НИБ. Бр. 0000000 2397

CIP – Каталогизација у публикацији
Библиотека Матице српске, Нови Сад

620.9 (075.8)

LAMBIĆ, Miroslav

Energetika ≡ Energetics / Miroslav Lambić. –
Zrenjanin: Tehnički fakultet "Mihajlo Pupin", 2007.
(Ruski Krstur: Ruske slovo). - 277 str.; 24 cm.

Tiraž 300. – Bibliografija.

ISBN 978 – 86 – 7672 – 077 – 4

a) Energetika

COBISS. SR – ID 221259015

Rukopis je odobren za štampu kao stalni udžbenik odlukom Nastavno – naučnog veća Tehničkog fakulteta "Mihajlo Pupin" u Zrenjaninu od 01. 02. 2006.
Štampanje ovog udžbenika finansirao je Tehnički fakultet "Mihajlo Pupin", Zrenjanin

PREDGOVOR PREFACE

Knjiga "ENERGETIKA" je napisana kao udžbenik za istoimeni predmet koji autor predaje studentima Tehničkog fakulteta "Mihajlo Pupin", Univerziteta u Novom Sadu. Međutim, želja autora je da knjiga posluži kao neophodno štivo i stručnjacima različitih zanimanja, projektantima i dr. - posebno u izučavanju potencijala, perspektive primene i razvoja novih i obnovljivih izvora energije, odnosno odgovarajućih energetske tehnologije.

U energetici sveta današnjice dominiraju konvencionalni obnovljivi izvori energije fosilnog karaktera, kao što su nafta, ugalj, zemni gas; obnovljivi izvori energije kao što su energija hidro tokova i energija koja se dobija sagorevanjem drveta i različitih vrsta biomase. Još uvek u manje razvijenim zemljama ili pojedinim područjima drugih zemalja drvo ima značajno mesto u energetici brojnih domaćinstava, dok geotermalna energija (tope podzemne vode), energija sunčevog zračenja u obliku toplotnog i fotoelektričnog dejstva, kao i energija vetra, te drugih obnovljivih izvora energije imaju još neopravdano malu i nezadovoljavajuću primenu.

Svetska energetska kriza sedamdesetih godina, nastala pre svega zbog politike cena zemalja "proizvođača" nafte, imala je osim primarnog šoka i veoma pozitivno dejstvo. Jedno od tih je i "buđenje iz energetskog sna", po kojem iskoristive, lako dostupne - pa time i jeftine energije na Zemlji ima u neograničenim količinama. Apsurdnost takvog odnosa čovečanstva prema prirodnim energetske potencijalima bazirala je na nezainteresovanosti ljudi za pitanja ovog resursa i na činjenici da je problem snabdevanja tržišta energijom rešavao manji broj usko ljudi, kompanija i zemalja pretežno na čisto profitnim i strateškim osnovama. Pri tome ukupna ograničenost svega što čini Zemlju, njene materije i njenu prirodnu ravnotežu, nije u dovoljnoj meri i na dovoljno alarmantan način opiralo do svesti većine ljudi, što bi omogućilo kvalitativnu promenu ukupnog odnosa na relaciji: potrošnja - resursi. U tom svetlu treba posmatrati i problem zagađenja planete, kojem nije posvećena potrebna pažnja, a kao posledica toga uvedena je Zemlja na ivicu potpunog ekološkog kolapsa, odnosno ukidanja uslova neophodnih za opstanak života na njoj. Inicirana krizom, istraživanja globalnog energetske resursa i potencijala Zemlje postala su strateška potreba i putokaz u razvoju energetike i energetske tehnologije, a sa tim u vezi procene mogućnosti daljeg razvoja ljudskog društva uopšte. Brojna istraživanja širom sveta i različite metode, aparature i sl. kojima se vrši dokazivanje i procena određenih, danas poznatih energetske potencijala, rezultovala su nizom podataka koji sabrani daju globalno, dokazano stanje i procene stanja energetske resursa Zemlje. Imajući u vidu nesavršenost i nepreciznost takvih istraživanja i različitih gledišta o budućem razvoju čovečanstva, ne čudi što se procene resursa kreću od pesimističkih do optimističkih. Pri tome se, u zavisnosti od izvora podataka, oni vrednosno značajno razlikuju.

U Zrenjaninu, 2007. god.

Autor

SADRŽAJ

1. KRATAK ISTORIJSKI PREGLED ENERGETIKE <i>SHORT HISTORICAL REVIEW OF ENERGETICS</i>	7
2. ENERGIJA I DRUŠTVENI RAZVOJ <i>ENERGY AND SOCIAL DEVELOPMENT</i>	11
3. KONVENCIONALNA ENERGIJA - RESURSI <i>CONVENTIONAL ENERGY - RESOURCES</i>	14
3.1. Ugalj <i>Coal</i>	14
3.1.1. Termotehnički uređaji i sistemi sa čvrstim gorivom <i>Termotechnical apparatus and systems with solid fuels</i>	15
<i>Peći</i> <i>Furnaces</i>	15
<i>Kotlovi</i> <i>Boilers</i>	16
3.2. Nafta i zemni gas <i>Oil and natural gas</i>	29
3.2.1. Nafta <i>Oil</i>	29
3.2.2. Zemni - prirodni gas <i>Natural gas</i>	30
3.3. Uljni škriljci i bituminozni pesak <i>Oil slates and bitumen sand</i>	31
3.3.1. Uljni škriljci <i>Oil slates</i>	31
3.3.2. Bituminozni pesak <i>Bitumen sand</i>	33
3.4. Drvo <i>Wood</i>	33
3.5. Hidromehanički energetska potencijal <i>Hydro mechanical energetic potential</i>	35
3.5.1. Energetska potencijal rečnih tokova <i>Energy potential of river streams</i>	35
<i>Vodne turbine</i> <i>Hydro turbines</i>	37
3.6. Jednačni rad i snaga turbine <i>Specific mechanical work and turbine power</i>	42
<i>Hidraulička snaga turbine</i> <i>Hydraulic turbine power</i>	44
3.7. Radno kolo turbinskog postrojenja <i>Work Wheel of turbine plant</i>	45
<i>Peltonove turbine</i> <i>Peltone turbine</i>	49
<i>Fransisova turbina</i> <i>Francis turbine</i>	52
<i>Kaplanova turbina</i> <i>Caplan's turbine</i>	54
4. SUNČEVA ENERGIJA <i>SOLAR ENERGY</i>	56

4.1.1. Globalno, direktno, difuzno i reflektovano zračenje <i>Global, direct, diffuse and reflected radiation</i>	60
4.1.2. Površinska raspodela energije Sunčevog zračenja <i>Surface distribution of solar radiation energy</i>	63
<i>Optimalni nagib i orijentacija površine za prijem globalnog zračenja</i> <i>Optimal inclination and area orientation for global radiation acception</i> ...	65
4.2. Prijemnici sunčeve energije (PSE) <i>Solar energy collectors (SEC)</i>	72
4.2.1. Vrste prijemnika <i>Types of collectors</i>	72
<i>Klasifikacija prijemnika prema vrsti i principu transformacije energije</i> <i>Classification of collectors according to the principle of energy transformation</i>	72
4.2.2. Toplotni prijemnici sunčevog zračenja <i>Thermal solar energy collectors</i>	73
4.2.3. Prijemnici sa koncentrisanjem (fokusiranjem) sunčevih zraka - koncentratori <i>Solar energy collectors with concentration (focusing) of sunrays - concentrators</i>	75
<i>Vrste i podela</i> <i>Types and division</i>	75
4.2.4. Helistatorski makrokoncentrator <i>Heliostat macroconcentrator</i>	76
4.2.5. Koncentratori sa krivim ogledalima <i>Concentrators with curved mirrors</i>	81
4.2.5. Parabolocilindrični koncentrator (PCK) <i>Parabolac ylindrical concentrator (PCC)</i>	82
<i>Energetski bilans</i> <i>Energy balance</i>	82
<i>Optički gubici ρ, τ, α i γ</i> <i>Optical losses ρ, τ, α and γ</i>	83
4.2.6. Toplotna efikasnost koncentrišućih sistema <i>Heat efficiency of concentrating systems</i>	84
<i>Parabolocilindrični koncentrator sa cevastim psorberom a bez prozračnog pokrivača</i> <i>Parabolacylindrical concentrator with absorber tube without transparent cover</i>	84
<i>Koncentratorski sistemi sa ravnomernim (usaglašenim) okretanjem ka Suncu</i> <i>Concentrating systems with regular turning toward the Sun</i>	85
<i>Optička analiza parabolocilindričnog koncentratora</i> <i>Optical analysis of parabolacy lindrical concentrator</i>	85
<i>Toplotna analiza koncentrišućeg sistema (parabolocilindrični koncentrator)</i> <i>Thermal analysis of concentratin system (parabolac ylindrical concentrator)</i>	88
<i>Izgled i konstrukcija različitih tipova koncentratora</i> <i>Construction of different types of concentrators</i>	90
4.2.7. Ravni - pločasti prijemnici sunčeve energije (PSE) <i>Flat - plate solar energy collectors (SEC)</i>	95
4.2.8. Toplotni bilans ravnih prijemnika <i>Heat balance of SEC</i>	96

<i>Toplotni gubici PSE</i> <i>Heat loss SEC</i>	96
4.2.9. Efikasnost prenosa toplote od apsorbera na radnu tečnost (efektivnost apsorbera) <i>Efficiency of heat transfer from absorbers into working liquid (absorber effectiveness)</i>	97
4.2.10. Energetska efikasnost PSE <i>Energetic efficiency of SEC</i>	98
4.2.11. Degradacija energetske karakteristike PSE <i>Degradation of SEC energetic characteristics</i>	101
<i>Transparentna pokrivka</i> <i>Transparent cover</i>	102
<i>Apsorber</i> <i>Apsorber</i>	104
<i>Termička izolacija</i> <i>Thermal insulation</i>	104
4.2.11. Bazni parametri rada <i>Basic parameters of work</i>	104
4.2.12. Konstrukcija ravnih PSE i sistema za korišćenje sunčeve energije <i>The design of flat SEC and systems for solar energy use</i>	111
4.2.13. Pasivno solarno grejanje <i>Passive solar heating</i>	122
5. KONVERZIJA SUNČEVOG ZRAČENJA U ELEKTRIČNU ENERGIJU <i>PHOTOVALTAIC - ENERGY CONCERSION</i>	124
5.1. Solarna ćelija <i>The solar cell</i>	124
5.2. Efikasnost solarne ćelije <i>Solar cell efficiency</i>	126
6. ENERGIJA VETRA <i>WIND ENERGY</i>	130
6.1. Potencijal <i>Potential</i>	130
6.2. Vrste vetrenjača <i>Types of wind turbines</i>	141
6.3. Faktori za proračun vetroturbinskog postrojenja <i>Calculation factors for wind turbine plant</i>	143
6.3.1. Srednja brzina vetra <i>Medium speed of wind</i>	143
6.3.2. Topografski uticaji <i>Topographical influences</i>	144
6.3.3. Koeficijent apsorbovane snage <i>Coefficient of absorbed power</i>	144
6.3.4. Aerodinamička sila <i>Aerodynamical strenght</i>	145
6.4. Kontrola rada vetroturbina <i>Control of wind turbines work</i>	146
7. GEOTERMALNA ENERGIJA <i>GEOTHERMAL ENERGY</i>	149
7.1. Pojam, nastanak i karakteristike <i>Conception, beginning and characteristics</i>	149

7.2. Energetski potencijal geotermalne energije <i>Energy potential of geothermal energy</i>	153
7.3. Dejstva termalnih voda <i>Effects of thermal waters</i>	155
7.4. Postrojenja za korišćenje termalnih voda <i>Plants for thermal water use</i>	157
7.5. Energetske karakteristike termalnih voda <i>Energetic characteristics of thermal waters</i>	164
7.6. Proizvodnja električne iz geotermalne energije <i>Electrical energy production from geothermal energy</i>	166
8. BIOMASA <i>BIOMASS</i>	169
8.1. Sagorevanje biomase <i>Biomass combustion</i>	169
8.1.1. Energija biomase <i>Biomass energy</i>	169
8.1.2. Tehnologija pripreme i sagorevanja biomase <i>Technology of preparation and combustion of biomass</i>	174
8.2. Sistemi za pripremu i sagorevanje biomase <i>Technology of preparation and combustion of biomass</i>	176
8.3. Gasifikacija biomase <i>Biomass gasification</i>	180
9. ENERGIJA BIOGASA <i>BIOGAS ENERGY</i>	183
9.1. Anaerobno vrenje <i>Fermentation without oxygen</i>	185
9.2. Osnovne karakteristike biogasa <i>Basic biogas characteristics</i>	189
9.3. Energija i snaga postrojenja za proizvodnju i korišćenje biogasa <i>Energy and power of the plant for manufacturine and using biogas</i>	192
9.4. Postrojenje za proizvodnju biogasa <i>Plant for biogas production</i>	193
9.4.1. Digestori Reactors (digesters)	201
9.4.2. Skladištenje biogasa <i>Biogas storing</i>	201
9.4.3. Prečišćavanje biogasa <i>Biogas purification</i>	203
9.4.4. Sigurnosna oprema <i>Safety equipment</i>	204
10. TOPLLOTNE PUMPE <i>HEAT PUMPS</i>	205
10.1. Ukupan koeficijent korisnosti toplotne pumpe <i>Total coefficient of heat pump efficiency</i>	209
10.2. Temperature kondenzacije i isparavanja <i>Condensation and evaporation temperatures</i>	210
10.3. Toplotni izvori <i>Heat resources</i>	212
10.3.1. Voda <i>Water</i>	212

10.3.2. Podzemne vode <i>Underground waters</i>	213
10.3.3. Vazduh <i>Air</i>	213
11. EFIKASNO KORIŠĆENJE TOPLLOTNE ENERGIJE <i>THE EFFICIAL USING OF HEAT ENERGY</i>	214
11.1. Grejni sistemi <i>Heat systems</i>	214
11.2. Kotlovi <i>Boilers</i>	222
11.3. Karakteristike prirodnog gasa <i>Natural gas characteristics</i>	223
11.4. Sagorevanje prirodnog gasa <i>The combustion of natural gas</i>	224
11.5. Agresivne materije <i>Aggressive matters</i>	229
11.6. Kondenzat <i>Condensate</i>	230
11.7. Temperature dimnih gasova <i>The combustion products temperature</i>	231
11.8. Gasni kotlovi <i>Condensation boilers</i>	233
11.9. Kondenzacioni kotlovi <i>Condensing boilers</i>	234
11.10. Razmenjivači toplote <i>Heat exchangers</i>	237
<i>Razmenjivač toplote -monotermik</i> <i>The heat exchanger -monothermyc</i>	238
<i>Razmenjivač toplote - bitermik</i> <i>The heat exchanger - bithermyc</i>	239
11.11. Korišćenje otpadne toplote <i>Using of the wasted heat</i>	241
11.12. Gasni kotao sa rekuperacijom toplote iz dimnih gasova <i>Gas boiler with heat recuperation from combustion gases</i>	242
11.13. Gasni kotlovi za rekuperaciju toplote izlaznih gasova na principu kondenzacije <i>Gas boilers for heat recuperation of the exit gases on the condensation principle</i>	243
11.14. Analiza mogućnosti rekuperacije otpadne toplote <i>The possibility analysis of the wasted heat recuperation</i>	246
11.15. Razmatranjenje problematike rekuperacije toplote iz dimnih gasova gasnih kotlova <i>The consideration of the problems of heat recuperation from exit gases of gas boilers</i>	246
11.16. Razvoj rešenja za rekuperaciju otpadne toplote izlaznih gasova <i>The solution development for the recuperation of the wasted heat of the exit gases</i>	248
<i>Rezultati istraživanja i analiza</i> <i>The research results and analyses</i>	249