

SADRŽAJ

1. UVOD	1
2. DUGOROČNI RAZVOJ ENERGETIKE I ELEKTROENERGETIKE	5
2.1. Uvod	5
2.2. Podloge za prognoziranje razvoja energetike	6
2.3. Prognoza buduće potrošnje energije	16
2.4. Potrošnja električne energije	22
2.5. Prognoza dugoročnog razvoja energetike u Hrvatskoj	26
3. KARAKTERISTIKE ENERGENATA	31
3.1. Uvod	31
3.2. Zalihe fosilnih energenata	32
3.3. Potrošnja energenata	32
3.4. Karakteristike energenata	34
3.4.1. Ugljen	35
3.4.2. Prirodni plin	41
3.4.3. Tekuća goriva	47
3.4.4. Nuklearno gorivo	49
3.5. Prognoza udjela energenata u budućoj proizvodnji električne energije	61
3.5.1. Prognoze o dugoročnom korištenju energenata u elektroenergetici	63
4. TEHNOLOGIJE ZA PROIZVODNJU ELEKTRIČNE ENERGIJE U BUDUĆNOSTI	70
4.1. Uvod	70
4.2. Napredne tehnologije za uporabu ugljena u elektroenergetici	71
4.2.1. Izgaranje ugljena u fluidiziranom sloju	72
4.2.2. Termoelektrane s rasplinjavanjem ugljena u ložištu uz primjenu kombiniranog plinsko-parnog toplinskog ciklusa	75
4.3. Korištenje prirodnog plina u elektroenergetici	79
4.3.1. Uvod	79
4.3.2. Termoelektrane s kombiniranim toplinskim ciklusom plinske i parne turbine	80
4.4. Napredni tipovi nuklearnih elektrana	89
4.4.1. Uvod	89

4.4.2.	Poboljšane izvedbe nuklearnih elektrana s tlakovodnim reaktorima	93
4.4.3.	Napredne izvedbe nuklearnih elektrana s kipućim reaktorom ABWR	99
4.4.4.	Nuklearne elektrane s poboljšanim teškovodnim reaktorom tipa CANDU	100
4.4.5.	Napredne nuklearne elektrane s pasivnom sigurnošću	101
4.4.6.	Nuklearne elektrane s visokotemperaturnim plinom hlađenim reaktorom	110
4.4.7.	Idejna rješenja potencijalno naprednih ali pogonski neproverjenih tipova nuklearnih elektrana	113
4.4.8.	Nuklearne elektrane s brzim oplodnim reaktorima	114
4.4.9.	Nuklearna fuzija	118
4.5.	Aditivni izvori energije u elektroenergetici	122
4.5.1.	Uvod	122
4.5.2.	Sunčeva energija u elektroenergetici	123
4.5.3.	Korištenje energije vjetra u elektroenergetici	139
4.5.4.	Primjena biomasa u elektroenergetici	154
4.5.5.	Korištenje geotermalne energije	165
4.6.	Gorive ćelije	175
5.	UTJECAJ EMISIJA ENERGETSKIH POSTROJENJA NA FIZIKALNE I KEMIJSKE PROCESSE U ATMOSFERI	181
5.1.	Sastav Zemljine atmosfere	181
5.2.	Mjere za koncentraciju plinova u atmosferi	182
5.3.	Ovisnost atmosferskog tlaka o nadmorskoj visini	184
5.4.	Rezidentno vrijeme plinova emitiranih u atmosferu	186
5.5.	Taloženje krutih čestica, aerosola i plinova	189
5.6.	Fizikalno kemijski procesi koji izazivaju promjene u Zemljinoj atmosferi	192
5.6.1.	Zračenje energije Sunca	192
5.6.2.	Zračenje toplinske energije s površine Zemlje u atmosferu	198
5.7.	Razvoj Zemljine atmosfere	203
5.8.	Površinske temperature planeta	204
5.9.	Djelovanje sumpornih i dušičnih oksida u atmosferi	206
5.9.1.	Sumporni dioksid (SO ₂)	206
5.9.2.	Dušični oksidi (NO _x) i ozon (O ₃)	209
6.	ATMOSFERSKE EMISIJE IZ ENERGETSKIH POSTROJENJA	213
6.1.	Proizvodi izgaranja fosilnih goriva	213
6.2.	Kemijske reakcije izgaranja	214
6.3.	Količina zraka potrebnog za izgaranje	217
6.4.	Količina dimnih plinova nakon izgaranja	219

6.5. Temperatura izgaranja	223
6.6. Nastajanje dušičnih oksida u ložištu	223
7. MATEMATIČKI MODELI ZA ŠIRENJE EFLUENATA U ATMOSFERI	225
7.1. Uvod	225
7.2. Eulerov jednovolumni model atmosfere	226
7.3. Lagrangeov jednovolumni model atmosfere	229
7.4. Viševolumni modeli atmosfere	232
7.4.1. Jednodimenzionalni (1D) model	232
7.4.2. Dvodimenzionalni model (2D) model	233
7.4.3. Trodimenzionalni (3D) model	233
7.5. Matematički model za širenje efluenata iz točkastog izvora	234
7.5.1. Stanja atmosfere	235
7.5.2. Disperzija polutanata u atmosferi	237
7.5.3. Širenje efluenata oko izvora emisije	238
8. EMISIJE STAKLENIČKIH PLINOVA ZBOG GRADNJE I POGONA ELEKTROENERGETSKIH OBJEKATA I POJAVA GLOBALNOG ZAGRIJAVANJA ATMOSFERE	250
8.1. Emisija ugljičnog dioksida u atmosferu i njezine posljedice	251
8.2. Emisija CO ₂ iz elektroenergetskih postrojenja i njihovih tehnoloških lanaca	265
8.3. Metan (CH ₄)	271
9. SIGURNOST NUKLEARNIH ELEKTRANA I NJIHOV UTJECAJ NA OKOLIŠ	273
9.1. Principi sigurnosnih mjera u nuklearnim elektranama	273
9.1.1. Fizičke barijere	275
9.2. Kvantificiranje opasnosti od rada nuklearne elektrane	281
9.2.1. Sigurnosne analize	283
9.3. Primjeri značajnijih izrađenih studija o procjeni rizika u okolišu zbog nuklearnih postrojenja	287
9.3.1. Studija WASH 1 400	287
9.3.2. Njemačka studija rizika	292
9.3.3. Dokument američke regulatorne komisije NUREG 1 150 o rizicima nuklearnih elektrana	294
9.4. Veliki kvarovi nuklearnih energetskih reaktora i utjecaj na okoliš	295
9.4.1. Kvar na nuklearnoj elektrani Otok tri milje	295
9.4.2. Udes na nuklearnoj elektrani Černobilj	295
9.4.3. Zaključak o rizicima zbog velikih kvarova na nuklearnim elektranama	297

9.5. Međunarodna ljestvica za klasificiranje kvarova na nuklearnim postrojenjima i njihovih posljedica	298
9.6. Usporedba rizika u okolišu zbog gradnje i pogona nuklearnih elektrana u odnosu na druge elektroenergetske objekte	300
10. ZAKONODAVSTVO U ZAŠTITI OKOLIŠA	303
10.1. Zakoni i propisi u Republici Hrvatskoj	304
10.1.1. Opća pitanja zaštite okoliša	304
10.2. Zaštita zraka i elektrane na fosilna goriva	306
10.2.1. Propisi Europske Unije	307
10.2.2. Sljedeća ograničenja Europske komisije za SO₂ i NO_x	310
10.2.3. Propisi u ostalim državama	310
10.2.4. Propisi u Hrvatskoj	312
10.2.5. Tržište bazirano na graničnim vrijednostima emisija	321
10.3. Zaštita voda i mora	322
10.4. Zaštita tla	322
10.5. Gospodarenje otpadom	322
10.6. Opasne tvari u uporabi i prometu	323
10.7. Prijevoz	323
10.8. Buka i vibracije	323
10.9. Međunarodni pravni dokumenti u području zaštite okoliša	324
10.9.1. Konvencija o prekograničnom onečišćenju zraka na velikim udaljenostima	324
10.9.2. Protokoli uz Konvenciju o prekograničnom onečišćenju zraka na velikim udaljenostima	324
10.9.3. Konvencija o procjeni utjecaja na okoliš u prekograničnom kontekstu	327
10.9.4. Okvirna konvencija UN o promjeni klime — United Nations Framework Convention on Climate Change — UNFCCC	327
10.9.5. Kyoto protokol na Okvirnu konvenciju UN o promjeni klime	327
10.9.6. Konvencije u pripremi	328
10.10. Nuklearno zakonodavstvo i zaštita okoliša	328
10.10.1. Uvod	328
10.10.2. Nuklearna sigurnost i zaštita okoliša	329
10.10.3. Standardi zaštite okoliša	331
10.10.4. Međunarodne konvencije	335
10.11. Lociranje elektroenergetskih objekata i odlagališta otpada	337
10.11.1. Općenito o izboru i određivanju lokacija elektroenergetskih objekata i odlagališta otpada	337
10.11.2. Krireriji za lociranje nuklearnih elektrana	341

10.11.3.	Kriteriji za lociranje termoelektrane	344
10.11.4.	Kriteriji za lociranje odlagališta radioaktivnog otpada	348
10.11.5.	Kriteriji za lociranje odlagališta (neradioaktivnog) otpada iz elektroenergetskih objekata	350
11.	TEHNOLOGIJE ZA SMANJENJE EMISIJA	
	IZ TERMoeLEKTRANA	353
11.1.	Uvod	353
11.2.	Tehnologije za smanjenje emisija sumpor dioksida	354
11.2.1.	Smanjenje emisije SO ₂ odsumporavanjem dimnih plinova	357
11.2.2.	Ubrizgavanje upijača	358
11.2.3.	Ubrizgavanje dimnih plinova u kanalu	360
11.2.4.	Mokro odsumporavanje dimnih plinova	362
11.2.5.	Suho odsumporavanje dimnih plinova	366
11.2.6.	Analiza troškova kontrolnih tehnologija	367
11.3.	Tehnologije za smanjenje emisije NO _x	370
11.3.1.	Primarne mjere	372
11.3.2.	Selektivna nekatalitička redukcija (SNCR)	375
11.3.3.	Selektivna katalitička redukcija	376
11.4.	Kontrolne mjere za uklanjanje čestica	379
11.4.1.	Elektrostatski taložnici	380
11.4.2.	Vrećasti filtri	384
11.4.3.	Čišćenje vrućih plinova	385
11.4.4.	Mehanički kolektori	387
11.4.5.	Analiza troškova kontrolnih tehnologija za čestice	387
11.5.	Kombinirano uklanjanje SO _x i NO _x	389
11.5.1.	Tehnologija kombiniranog uklanjanja SO _x i NO _x	392
11.5.2.	Smanjenje emisija SO ₂ i NO _x pomoću novih tehnologija izgaranja	393
11.6.	Pregled tehnologija za kontrolu dimnih plinova	393
12.	KRUTI I TEKUĆI OTPAD IZ ELEKTRANA	396
12.1.	Kruti i tekući otpad iz termoelektrana	396
12.1.1.	Vrste i količine otpada iz termoelektrana	398
12.1.2.	Utjecaj na zdravlje krutog i tekućeg otpada iz termoelektrana	398
12.1.3.	Utjecaj na okoliš krutog i tekućeg otpada iz termoelektrana	401
12.1.4.	Zbrinjavanje krutog i tekućeg otpada iz termoelektrana	404
12.1.5.	Specifični aspekti zbrinjavanja šljake	415
12.2.	Radioaktivni otpad	417
12.2.1.	Klasifikacija radioaktivnog otpada	417

12.2.2. Nuklearni gorivni ciklus i proizvodnja radioaktivnog otpada	419
12.2.3. Gospodarenje radioaktivnim otpadom	422
12.2.4. Pogonski otpad niske i srednje aktivnosti	422
12.2.5. Istrošeno nuklearno gorivo	434
12.2.6. Dekomisijski otpad	446
13. VREDNOVANJE ŠTETA ZA ZDRAVLJE LJUDI I PRIRODNI OKOLIŠ (EKSTERNI TROŠKOVI)	449
13.1. Uzroci šteta u okolišu zbog gradnje i pogona elektrana	449
13.2. Postupci za utvrđivanje šteta zbog emisija u okoliš	453
13.3. Emisije u okoliš od elemenata energijskih lanaca elektrana	454
13.4. Rasprostiranje efluenata u atmosferi	460
13.5. Utjecaj polutanata na zdravlje i ekosustav	462
13.5.1. Zdravstvene posljedice zagađenja zraka radom termoenergetskih postrojenja	462
13.5.2. Zdravstvene posljedice radioaktivnog zračenja	465
13.5.3. Utjecaj polutanata emitiranih iz termoenergetskih postrojenja na ekosustav	469
13.5.4. Utjecaj na okoliš polutanata koji potječu iz kvarova elektroenergetskih postrojenja i pripadajućih energetskih lanaca	470
13.5.5. Utjecaj odlagališta radioaktivnih otpadaka na okoliš	473
13.6. Posljedice emisija stakleničkih plinova	474
13.7. Kvantifikacija šteta u okolišu zbog gradnje i pogona elektroenergetskih objekata	475
13.8. Rezultati proračuna eksternih troškova energijskih lanaca elektrana na fosilna i nuklearna goriva	478
13.9. Eksterni troškovi obnovljivih izvora energije	483
13.9.1. Sunčeva elektrana	483
13.9.2. Vjetrena elektrana	484
13.9.3. Hidroelektrane	485
13.10. Usporedba eksternih troškova energijskih tehnologija	486
13.11. Eksterni troškovi zbog pomanjkanja isporuke električne energije	488
13.12. Štete u okolišu i tržišne mjere za zaštitu okoliša	489
13.12.1. Emisijske pristojbe i porezi	490
13.12.2. Trgovanje emisijskim dozvolama	492
13.13. Primjeri pokrivanja ekoloških šteta u svijetu	492
13.13.1. Iskustva u SAD	492
13.13.2. Primjer uspješnih ekoloških poreza u nekim zemljama Europske Unije	494
13.14. Multikriterijske metode za usporedbu djelovanja elektroenergetskih postrojenja na okoliš	494

14. ZDRAVSTVENI UČINCI ELEKTROMAGNETSKOG ZRAČENJA IZ ENERGETSKIH POSTROJENJA	500
14.1. Uvod	500
14.2. Propisi za granične vrijednosti induciranih struja u organizmu i odgovarajuće granične jakosti električnih i magnetskih polja	502
14.3. Djelovanje elektromagnetskih polja niskog intenziteta na ljudsko zdravlje	504
DODACI	508
D1. Primjer analize dugoročne uporabe urana i plutonija u elektroenergetici	513
D1.1. Energetska strategija i radioaktivni otpad	513
D1.2. Potrošnja urana bez gradnje brzih oplodnih reaktora	514
D1.3. Zaključna razmatranja	516
D2. Proračun ekonomske opravdanosti korištenja Sunčeve energije u Hrvatskoj	517
D2.1. Vrijeme trajanja dnevnog Sunčevog zračenja	518
D2.2. Indeks prozračnosti	518
D2.3. Prosječna godišnja količina proizvedene energije u sunčevoj elektrani	520
D2.4. Odnos prosječnog dnevnog i prosječnog satnog intenziteta Sunčevog zračenja	520
D2.5. Dobivena električna snaga u fotoelektričnim panelima	521
D2.6. Ekonomska konkurentnost sunčeve elektrane	521
D3. Analiza ekonomske opravdanosti gradnje vjetrane elektrane u Hrvatskoj	523
D3.1. Granica konkurentnosti vjetrenih elektrana na razmatranim lokacijama	527
D3.2. Zaključna razmatranja	528
D4. Osnovni pojmovi o učincima i dozama radioaktivnog zračenja	529
D4.1. Opće razmatranje o biološkom djelovanju radioaktivnog zračenja	529
D4.2. Ekspozicija i apsorbirana doza zračenja	530
D4.3. Relativna biološka efektivnost zračenja	532
D4.4. Posljedice zračenja za organizam	533
D4.5. Naknadne posljedice primljenih velikih doza zračenja	534
D4.6. Posljedice malih kroničnih doza zračenja	536
D4.7. Potrebna veličina uzorka za utvrđivanje promjene temeljne raspodjele	539
D4.8. Prirodno zračenje okoliša	540
D5. Računalni paket EcoSense	543
D5.1. Struktura programa EcoSense	543
D5.2. Opis receptora i funkcija izloženost – učinak	546

D5.3. Primjer rezultata za lokalnu analizu	548
D6. Pregled odlagališta radioaktivnog otpada u svijetu	550
D7. Pregled trajno obustavljenih reaktora u svijetu	553
D8. Čistija proizvodnja	556
D8.1. Čistija proizvodnja u Hrvatskoj	557
D8.2. Elektrane i čistija proizvodnja	558
D8.3. Sustav upravljanja okolišem (EMS) i čistija proizvodnja	558
D9. Aktivnosti međunarodne zajednice za ograničenje promjene klime	560
D9.1. Konvencija o promjeni klime	561
D9.2. Konferencija stranaka (COP)	563
D9.3. Kyoto protokol	564
D10. Emisije i otpad iz termoelektrana Hrvatske elektroprivrede	567
D10.1. Emisije u zrak iz termoelektrana Hrvatske elektroprivrede	567
D10.2. Otpadne vode iz termoelektrana Hrvatske elektroprivrede	569
D10.3. Otpad iz termoelektrana Hrvatske elektroprivrede	570
Kazalo	573