

# Основе енергетике

Марија Живковић, Дејан Ивезић



Дигитални репозиторијум Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду

**[ДР РГФ]**

Основе енергетике | Марија Живковић, Дејан Ивезић | | 2019 | |

<http://dr.rgf.bg.ac.rs/s/repo/item/0006159>

Универзитет у Београду  
Рударско-геолошки факултет

Марија Живковић / Дејан Ивезић

# ОСНОВЕ ЕНЕРГЕТИКЕ



Београд, 2019.

# ПРЕДГОВОР

---

Предмет "Основе енергетике" се у наставном плану свих студијских програма на Рударском одсеку Рударско-геолошког факултета налази од 2013. године и то као изборни предмет на III години. Константно повећање броја студената који слушају овај предмет је условило потребу да се наставни материјал доступан студентима систематизује у уџбеник. Због тога је књига написана тако да прати наставни програм предмета, а по угледу на савремене уџбенике из ове области. Циљ нам је да књига помогне будућим инжењерима рударства и заштите животне средине да усвоје основне енергетске појмове и дефиниције, да схвате енергетске аспекте производње, трансформације и коришћења фосилних горива (угаљ, нафта, природни гас и др.) и нуклеарних минералних сировина, као и да у потпуности разумеју све аспекте коришћења обновљивих извора енергије (хидроенергија, биомаса, соларна енергија, енергија ветра, геотермална енергија и др.). Посебна пажња је посвећена врло актуелним темама енергетске ефикасности и утицаја енергетике на животну средину, без којих је немогуће разумети процесе у који се дешавају у савременој енергетској пракси.

Међутим, током писања књиге имали смо на уму и ширу, стручну и не само стручну јавност. Енергетика је тема која је често присутна у медијима и свакодневной комуникацији, о њој се пуно говори, али често са делимичним и непотпуним сазнањима. Због тога би циљ писања ове књиге био у потпуности испуњен уколико би она нашла свој пут до ширег круга читаоца и послужила им као извор основних сазнања о темама и појмовима везаним за енергетику.

Користимо и ову прилику да се најтоплије захвалимо др Ненату Ђајићу, редовном професору Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду у пензији и рецензенту овог уџбеника, што нас је увео у свет енергетике и кроз вишегодишњи заједнички рад, разговоре и савете помогао да стекнемо знање и искуство потребне за бављење енергетиком. Проф. др Душану Гордићу редовном професору Факултета инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу се захваљујемо на уложеном труду при прегледу текста и корисним сугестијама и коментарима. Такође, захваљујемо се Милану Луковићу, дипл. инж. рударства на изузетном труду на техничкој припреми текста.

У Београду, марта 2019. године

*Аутори*

# САДРЖАЈ:

---

<b>1. Уводна разматрања</b> .....	10
1.1. Коришћење енергије кроз историју .....	11
<b>2. Облици енергије</b> .....	18
2.1. Примарни облици енергије .....	18
2.2. Секундарни облици енергије и енергетске трансформације .....	19
2.3. Корисни облици енергије .....	23
2.4. Мерне јединице за енергију и снагу .....	24
2.5. Енергетски биланс .....	27
<b>3. Необновљиви извори енергије</b> .....	35
3.1. Увод .....	35
3.2. Угаљ .....	41
3.2.1. Поступци прераде угља .....	46
3.3. Нафта .....	60
3.3.1. Прерада нафте .....	62
3.3.2. Референтне нафте .....	65
3.4. Природни гас .....	69
3.4.1. Транспорт и дистрибуција природног гаса .....	72
3.5. Уљни шкриљци и битуминозни пескови .....	78
3.5.1. Уљни шкриљци .....	78
3.5.2. Битуминозни пескови .....	81
3.6. Нуклеарне минералне сировине .....	84

<b>4. Обновљиви извори енергије</b> .....	90
4.1. Увод .....	90
4.2. Хидроенергија .....	97
4.2.1. Хидроелектране .....	98
4.3. Биомаса .....	104
4.3.1. Пољопривредна биомаса .....	106
4.3.2. Дрвна биомаса.....	107
4.3.3. Коришћење чврсте биомасе .....	112
4.3.4. Течна биогорива - биодизел и биоетанол .....	114
4.3.5. Гасовито биогориво - биогаз.....	115
4.3.6. Биоразградиви индустријски и комунални отпад (градски отпад).....	116
4.4. Енергија Сунца - соларна енергија.....	121
4.4.1. Коришћење за топлотне потребе .....	123
4.4.2. Коришћење за производњу електричне енергије ....	130
4.5. Енергија ветра .....	137
4.6. Геотермална енергија.....	145
4.6.1. Коришћење за топлотне потребе .....	148
4.6.2. Коришћење за производњу електричне енергије ....	151
4.7. Енергија плиме и осеке.....	155
4.8. Енергија таласа .....	159
4.9. Топлотна енергија мора и океана.....	163
<b>5. Енергетска ефикасност</b> .....	165
5.1. Топлотни мотори и когенерација .....	168
5.2. Топлотне пумпе .....	174
5.3. Кондензациони котлови.....	176
<b>6. Енергетика и заштита животне средине</b> .....	179
6.1. Утицај производње примарне енергије на животну средину .....	179
6.2. Утицај енергетских трансформација и производње секундарне енергије на животну средину .....	181
6.3. Утицај потрошње енергије на животну средину .....	189
6.4. Емисија гасова са ефектом стаклене баште и климатске промене .....	191

# 1. УВОДНА РАЗМАТРАЊА

---

Енергетика је познат и општеприхваћен појам који се може дефинисати на више начина<sup>1</sup>. Ако се разматра као “наука о енергији и техничком коришћењу извора енергије”, онда је то мултидисциплинарни приступ који представља спој теоријских сазнања природних наука, пре свега физике и хемије, са практичним, инжењерским поступцима и решењима. Рударство, хемијска технологија, термоенергетика, хидроенергетика, електротехника, термотехника су само неке од инжењерских дисциплина које се баве изучавањем одговарајућих техничких поступака, машина и уређаја који омогућују да се енергија трансформише из једног облика у други, односно искористи за задовољење различитих потреба потрошача.

Задовољење практичних потреба за енергијом појединца, односно друштвене заједнице је у основи дефиниција које енергетику дефинишу као “област привреде која се бави производњом, преносом и дистрибуцијом енергената и енергије”, односно инфраструктурну грану привреде која омогућава снабдевање потрошача неопходном енергијом. Ова дефиниција указује на чињеницу да је енергија неопходна за функционисање друштва и да представља средишњи део њених привредних активности. Практично не постоји привредна (а генерално посматрано, ни људска активност за чије функционисање није потребно обезбедити одређену количину енергије. На овај начин посматрано, енергетика представља комплексан скуп привредних активности које обухватају истраживање и експлоатацију извора

---

1 Н. Ђајић, Енергија за одрживи свет, РГФ, 2002.

“Сматра се да су се фосилна горива први пут значајније користила у Вавилону, у периоду од 2000. до 539. године п.н.е.”

енергије који постоје у природи (енергија Сунца, ветар, угаљ, нафта, природни гас, нуклеарне минералне сировине и др.), а потом и њихову трансформацију (у електричну енергију, топлотну енергију, горива и др.), пренос и дистрибуцију до потрошача. Енергетика разматра и најрационалније начине коришћења енергије (у облику топлотне, механичке, хемијске или светлосне енергије) код потрошача за задовољење конкретних потреба (за грејање, припрему хране, у транспорту, индустрији и др.).

Холистички приступ енергетику дефинише као “поглед на свет који све што постоји и све што се збива своди на енергију, чак и материју и дух, који у ствари нису ништа друго до облици у којима се енергија појављује”. Ова дефиниција појмовима енергије и енергетике приступа метафизички и њено научно утемељење је дискутабилно, али покушај да се појмовима “енергија” и “енергетика” додели универзални карактер, говори о њиховом значају.

### 1.1. Коришћење енергије кроз историју

Један од кључних догађаја у еволуцији човека је откриће ватре. Ватра је омогућила припрему хране и грејање, представљала је неку врсту заштите од предатора, а обезбеђивала је и светлост, па је тако продужила време индивидуалног деловања и друштвеног окупљања и на период након заласка Сунца.

Логично је претпоставити да је дрво било први енергент који се користио за паљење и одржавање ватре. Дрво је лако доступно и присутно у свим деловима света. Његово коришћење за потребе грејања и припрему хране се задржало и до данашњих дана. Међутим, дрво није било погодно за топљење и обраду метала. За те намене, у зависности од расположивости, још пре 6.000 година су се користили дрвени угаљ, битумен или угаљ.

Сматра се да је прво значајније коришћење фосилних горива у људској историји везано за период Вавилонског царства (од око 2000. до 539 године п.н.е.) као коришћење битумена и сирове нафте за печење цигле и производњу креча. На то указују археолошки остаци малтера из тог периода, који поред креча садрже и битумен.



Угаљ се у рано историјско доба (око 1100. године п.н.е.), користи у већој мери само у технолошки напредној Кини за производњу метала, папира, шећера и барута, док се у Европи у значајнијој мери користи у време римске империје.

Кинези користе и цеви од бамбуса да спроведу природни гас до храмова и палата, где га користе за осветљење (провинције Си-Чуан, Јунан и Шанси), а користе га и у производњи соли.

Након дрвених бакљи, за осветљење се користе животињске и биљне масти, а Феничани израђују прве воштане свеће пре око 3.000 година.

Потребна механичка енергија (за изградњу кућа, утврђења, путева, транспорт, обраду земље и др.) се доминантно обезбеђивала радом људи и животиња. Пре око 5.000 година се граде први једрењаци (бродови који користе енергију ветра за кретање), а пре око 2.500 година започиње коришћење снаге воде и ветра у млиновима (ветрењаче и воденице).

Међутим, дрво остаје доминантан извор енергије практично све до друге половине 18. века. Његова потрошња, посебно у близини већих људских насеобина је била велика и неретко је доводила до потпуног уништења шума.

Добар пример еколошких проблема насталих због прекомерне експлоатације шума је Ускршње острво. Ускршње острво се налази у Тихом океану (Пацифику), око 3.200 km западно од Јужне Америке. Први досељеници који су населили острво пре отприлике 15 векова били су Полинежани. Ово је једно од најизолованијих насељених подручја на свету и за своје првобитне становнике било је једино насељено парче земље на свету.

Острво има полусуве климатске услове које је знатно ублажавала густа шума која је упијала и задржавала воду. Његових 7.000 становника узгајало је житарице и живину, ловило рибу и живело у малим селима. Култура овог народа је позната по масивним, осам метара високим статуама од опсидијана, које су вукли преко целог острва уз помоћ посечених стабала која су користили као балване.

Пропаст овог друштва покренуло је смањење њихових ионако ограничених ресурса. Како се популација острва повећавала, његови становници су секли шуме и претварали све више и више површина у обрадиво земљиште. Стабла су коришћена за грејање, за градњу кућа и бродова и у религиозне сврхе (за израду и транспорт Моаи статуа).



Слика 1.1:  
Моаи статуе на  
Ускршњем острву

Једног дана је нестало и последње дрво на острву. Више није било грађе за бродове, па је и количина доступне хране била смањена. Уништавање шуме довело је до ерозије земљишта и до нестацице хране. Људи су се постепено селили у пећине. Уследили су оружани сукоби, оживео је робовласнички систем, а јавили су се и случајеви канибализма, којем су људи прибегавали како би преживели.

До тренутка када су европски насељеници ступили на Ускршње острво у 17. веку, ове камене статуе, познате као Моаи, биле су једини остатак некада импресивне цивилизације – цивилизације која је пропала и нестала за само неколико деценија.

Коришћење фосилних горива у периоду до средине 18. века је било скромно. Коришћење угља у отвореним ложиштима је изазивало проблеме, посебно у градовима. Због тога је енглески краљ Едвард I 1273. године увео ограничење коришћења угља у Лондону, а 1306. године и забрану његовог коришћења под претњом смртне казне (једна је чак и извршена). Забрана коришћења угља у неким европским градовима била на снази све до 17. века. У Француској су ковачи морали да обезбеде посебне дозволе за коришћење угља. Међутим, већ крајем 16. и почетком 17. века у Енглеској, а потом и Француској почиње производња кокса и његово коришћење за топљење метала. Крајем 17. века је забележена и прва примена коксног гаса за осветљење (у Ирској), мада до шире примене за ту сврху долази век касније.

Проналазак и примена парне машине крајем 18. века, означавају и почетак индустријске револуције. Уобичајено је да се шкотски инжењер James Watt сматра проналазачем парне машине, мада је коректније рећи да је заправо његова заслуга у фундаменталним побољшањима уређаја који су се већ користили (Прву парну индустријску машину која је радила у пракси конструисао је Thomas Newcomen 1712. године у Енглеској и коришћена је за одводњавање рудника). Међутим, несумњиво је да је тек Ватова парна машина нашла широку примену и омогућила ефикасну трансформацију хемијске енергије горива у механичку енергију. Ово је омогућило развој индустрије и осталих привредних грана независно од места појаве примарног облика механичке енергије (речни токови) или њеног интензитета (протоци водотокова, брзина ветра).

“Циљ изградње првих рафинерија била је производња петролеја за осветљење.”

Иако су прве парне машине као гориво користиле дрво и дрвени угаљ, угаљ је био њихово основно погонско гориво. Све веће коришћење парне машине у индустрији и саобраћају (прва парна локомотива је изграђена 1803. године, а пароброд 1807. године) захтевало је интензивнију производњу угља. Током 19. века производња угља је повећана са око 12 милиона тона 1800. године, на око 81,4 милиона тона 1850. године, да би 1889. године већ достигла 500 милиона тона. Интензиван раст производње угља се наставио и у 20. веку, са 1.100 милиона тона 1907. године до 1.582 милиона тона 1938. године. И након Другог светског рата производња угља расте, али не тако интензивно. Основни разлог за то је чињеница да средином 20. века нафта преузима примат као основни енергент у индустрији и саобраћају, док се коришћење угља углавном ограничава на производњу електричне енергије.

Темељи савремене експлоатације нафте и производње нафтних деривата су постављени у САД-у. У Пенсилванији 1859. године пуковник Edwin Drake буши прву дубоку бушотину и производи око 28 барела (бурета) нафте дневно. Његову целокупну производњу откупљује Samuel Kier који у Питсбургу гради прву рафинерију за прераду нафте, са основним циљем да производи петролеј за потребе осветљења. Нафта се у то време користила и као лек, за потребе грејања, а прављене су и експлозивне направе од смоле и нафте. Међутим, за развој експлоатације и коришћења нафте и њених деривата од кључног значаја је проналазак мотора са

унутрашњим сагоревањем (1860. Године Lenoir, 1877. Otto, 1897. Diesel), који постепено истискују парну машину као основни уређај за производњу механичке енергије у транспорту и индустрији. Већ 1900. године у свету се производи 20 милиона тона нафте, највећим делом у Русији (Баку поља у Азербејџану) и у САД -у, (1921. године око 100 милиона тона, а пред Други светски рат 1939. године 280 милиона тона). Међутим, највећи пораст производње је остварен у периоду након Другог светског рата када је нафта преузела примат у структури укупне потрошње енергије, највећим делом због коришћења у друмском саобраћају.

Значајније коришћење природног гаса се везује за изградњу првог гасовода који је изграђен у САД-у 1884. године. Дужина овог гасовода је била 23 km, повезивао је гасно поље и Питсбург, а гас је коришћен за грејање, кување и осветљење. Развоју коришћења природног гаса, допринела је изградња магистралних гасовода у САД и Европи, посебно у другој половини 20. века, којима се омогућило транспортовање већих количина овог енергента. Ово је за последицу имало интензивније коришћење природног гаса за производњу електричне енергије и грејања, али и као индустријске сировине.

“Електрична енергија се може произвести коришћењем свих ивора енергије.”

Проналазак и коришћење електричне енергије, представља битну прекретницу у историји енергетике, али и у индустријском развоју уопште. Електрична енергија се може произвести коришћењем свих видова енергије (види слику 2.2), релативно лако се претвара у механичку енергију (коришћењем електромотора) и користи за погон различитих уређаја. На месту коришћења је еколошки потпуно прихватљива. Електричну енергију је могуће без већих губитака транспортовати на велике удаљености, а међусобна повезаност електроенергетских система обезбеђује сигурност снабдевања. Међутим, пут до садашњег, свеприсутног коришћења електричне енергије је био релативно дуг. Још 1799. године је (Alessandro Volta) направљена прва електрична батерија, 1834. године је конструисан и примењен први електромотор једносмерне струје (Moritz von Jacobi), а 1866., односно 1867. године су направљени први електрични генератори (Charles Wheatstone, Werner von Siemens, Samuel Alfred Varley), а прве тестове са сијалицом са угљеном нити, Thomas Alva Edison врши 1879. године. Међутим, тек открићем трофазне струје и обртног магнетног поља (Никола Тесла, 1887. године) остварује се

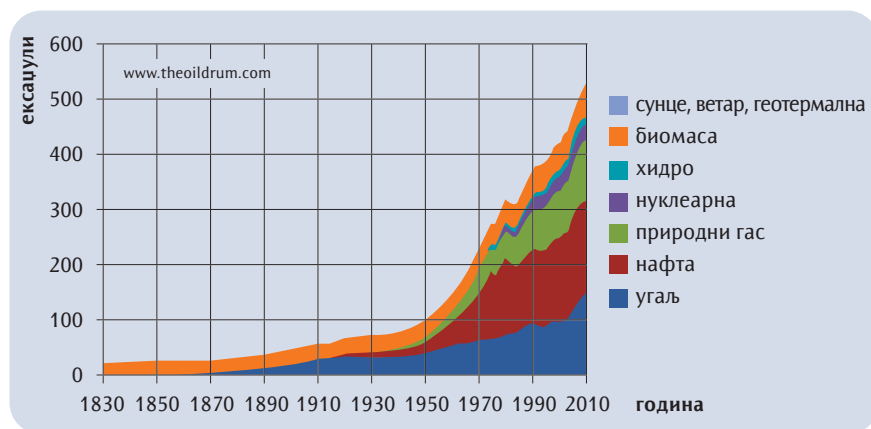
једноставна могућност претварања електричне енергије у механичку енергију. На електротехничкој изложби у Франфурту на Мајни 1891. године, електрична енергија се први пут преноси на већу удаљеност. Проналазак водних турбина веће снаге у 19. веку (Francis, 1847. и Pelton, 1878. године), односно парних турбина (De Laval, 1883. и Parsons, 1884. године) омогућује производњу електричне енергије у већем обиму.

Коришћење нуклеарне енергије за производњу електричне енергије је започело 40-их година 20. века у САД-у. Прва изграђена нуклеарна електрана која је произведену електричну енергију испоручивала у електроенергетску мрежу је почела са радом у совјетском граду Обнинску 1954. године, док је прва нуклеарна електрана веће снаге пуштена у рад 1956. године у месту Calder Hall у Великој Британији. Први брод на нуклеарни погон (ледоломац "Лењин") поринут је 1959. године. Иако се у то време сматрало да је нуклеарна енергија решење енергетских проблема човечанства, проблеми са одлагањем радиоактивног отпада и нуклеарне несреће које су се догађале, довеле су у питање даљи развој и примену нуклеарне енергије. Несрећа која се десила у електрани "Острво три миље" (САД, 1979.), мада није изазвала људске жртве, допринела је измени многих прописа везаних за њихову безбедност и значајном поскупљењу нуклеарних електрана. Несрећа у Чернобилу (Украјина, СССР) 1986. године, која је директно однела 56 живота, довела до тешког обољења 4.000 људи, евакуације 300.000 људи и дисперзије радиоактивног материјала широм Европе, као и несрећа у јапанској електрани у Фукушими (2011. године) довеле су до преиспитивања нуклеарне политике у многим земљама, па чак и до потпуног одустајања од градњи нових електрана и постепеног заустављања рада постојећих.

Обновљиви извори енергије (ОИЕ), мада су познати и користе се вековима, тек задњих деценија добијају поново на значају. На то су кључни утицај имале најпре енергетске кризе 70-их и 80-их година 20. века и аерозагађење великих урбаних средина, а потом и крајем 20. века уочени феномени климатских промена и глобалног загревања насталих као последица антропогеног утицаја у коме један од најзначајнијих сегмената представља сагоревање фосилних горива. Због тога многи енергетичари сматрају да се тренутно налазимо у "прелазном периоду", од досадашње епохе коришћења фосилних горива ка будућој епохи коришћења обновљивих извора енергије.

"На веће коришћење ОИЕ у 20. веку највећи утицај су имале енергетске кризе и климатске промене."

Међутим, расположиви подаци о производњи енергије, још увек не дају наговештај о стварној енергетској транзицији. Дијаграм на слици 1.2, приказује промене у укупној светској потрошњи примарне енергије у периоду од прве половине 19. века, па до почетка 21. века. Уочава се да је у разматраних 180 година, глобална потрошња енергије увећана више од 25 пута, да је раст производње од средине 20. века изразито експоненцијалан, а да је учешће фосилних горива (угаљ, нафта и гас) непрестано изнад 80%.



Слика 1.2:  
Укупна потрошња  
примарне  
енергије у свету  
1830.-2010. год.

**Кључне речи:** енергетика, историјски развој, индустријска револуција

#### Питања:

1. Објаснити појам енергетике.
2. Описати развој енергетике у периоду до Индустријске револуције.
3. Објаснити значај Индустријске револуције за развој енергетике.
4. Шта се очекује од будућег развоја енергетике?

#### Литература:

- Аксин, В. Геологија нафте, НП "Дневник", Нови Сад, 1967.
- Bithas K., Kalimeris P. A Brief History of Energy Use in Human Societies. In: Revisiting the Energy-Development Link, Springer Briefs in Economics. Springer, Cham, 2016.
- Ђајић, Н. Енергија за одрживи свет, Рударско-геолошки факултет, Београд, 2002.
- Пожар, Х. Извори енергије, СНЛ, Загреб, 1980.