Предговор првом издању

Овај уџбеник је намењен студентима Високе техничко-технолошке школе струковних студија у Крушевцу, студијског програма Заштита животне средине и заштита на раду, модула Заштита животне средине, који ће га слушати на трећој, последњој години својих студија. Ниво излагања захтева ниво знања математике и хемије који се стиче у основном образовању и познавање основа физике (покривених предметима Физика и Основи електротехнике) који се уче на првој години струковних студија на овој школи. Најпотребније је интересовање за средину у којој живимо.

Овај уџбеник може бити од користи и сваком другом заинтересованом појединцу да се информише о тренутном стању научног сазнања из ове области, и то на српском језику, на коме о овој теми не постоји ниједна књига.

Климатске промене су савремена и неоспорно актуелна мултидисциплинарна област истраживања, која је окупила научнике из области физике, хемије, метеорологије, географије, геологије, океанографије, астрономије, математике и других. Као ретко која област науке, и то егзактне науке, климатске промене су покренуле разнородне реакције јавности, од страхом покренуте решености да се предузимају кораци ка ублажавању климатских промена, до убеђења да су се научници уротили да слажу свет да се Земља загрева. Као и свака наука, чак и егзактна, и климатске промене су област истраживања која није сасвим комплетна, где се нова сазнања стичу свакодневно и где та нова сазнања учествују у преобликовању слике о променама климе коју имамо. Без обзира на то, постоје закључци у оквиру ове области који су независни од свих недостатака постојећих теорија, експеримената и модела. Циљ овог уџбеника је да научно стеченим чињеницама демонстрира ове закључке, од којих је главни – да се Земља под утицајем људске активности у последњих неколико деценија *аномално* загрејала.

Уџбеник садржи 11 поглавља. У првом, *Појам климе*, уводи се разлика између времена и климе и наводе физичке величине које су њихови основни показатељи и принципи њиховог мерења. Друго поглавље, *Размена енергије и материје*, анализира апсорбовање и емитовање енергије, као и кружење воде и угљеника у природи. У том поглављу се објашњава ефекат стаклене баште, да би у наредном поглављу, *Атмосферски гасови*, било детаљније изнесено који су то гасови најзначајнији за климатске промене, не само по уделу у атмосфери, већ и по учешћу у глобалном загревању кроз овај ефекат. Да би се стекла ваљана слика данашњих климатских промена, у поглављу *Природне промене климе* износе се сви фактори природне климатске варијабилности и њихови ефекти видљиви у палеоклиматском запису. Овим поглављем се завршава анализа природних утицаја, присутних од памтивека, и у поглављу *Контроверза*

хокејашке палице уводи први научни доказ да су глобалне температуре последњих пар деценија аномално високе. Поглавље *Антропогени фактор* покрива све људске активности које доприносе гомилању гасова стаклене баште у атмосфери, те доводе до глобалног загревања. Наредна два поглавља, *Показатељи климатских промена* и *Климатски екстреми*, дају исцрпну евиденцију свих показатеља климатских промена, како глобалних, тако и регионалних. Изучавање климатских промена, поред теорије и експеримента, подразумева примену климатских модела, који су веома детаљно приказани у поглављу *Моделирање климе*. Да последице климатских промена захватају све домене живота на Земљи показује се у поглављу *Утицаји климатских промена на природу и друштво*, док се активности око ублажења климатских промена на свим нивоима – од планетарног до појединачног – разматрају у последњем поглављу, *Ангажовања у вези са климатским променама*.

Овај уџбеник је написан с надом да ће представљати свеобухватну синтезу свих расположивих знања о климатским променама, презентовану логичким следом и на разумљив начин. Користим ову прилику да се захвалим рецензентима Ирис Борјановић, Лази Манојловићу и Душку Латасу на веома корисним педагошким и стручним сугестијама, ефикасно урађеној рецензији и великој колегијалној помоћи; лектору Радици Поповић на дуготрајном ангажовању које је резултовало многоструким кориговањем текста; Братислави Поповић на саветима током прикупљања материјала и писања уџбеника; Растку Скнепнеку и Владимиру Јуричићу на многим корисним дискусијама на ову тему и техничкој подршци у свако доба; Ани Вуковић на експертским примедбама; Комисији за издавачку делатност школе, а посебно Драгану Миленковићу, на важним корекцијама; Високој техничко-технолошкој школи у Крушевцу, а највише њеном директору Драгану Николићу, за све доприносе реализацији. Надам се да ће онај ко уџбеник прочита схватити да је важно да се човек бави питањима средине у којој живи и да је потребно да се ангажује на њеном очувању.

Крушевац, 8. 9. 2016.

Аутор (Д. П.)

САДРЖАЈ

1 Појам климе 1

1.1 Температура 1

1.2 Атмосферски притисак 2

1.3 Ефекат лептира 2

1.4 Време и клима 3

2 Размена енергије и материје 5

2.1 Температура планете 5

2.2 Ефекат стаклене баште 7

2.3 Облик Земље и упадни угао зрачења 8

2.4 Енергетска размена 8

2.5 Хидролошки циклус 9

2.6 Угљенични циклус 9

3 Атмосферски гасови с ефектом стаклене баште 11

3.1 Угљен-диоксид 11

3.2 Килингова крива 11

3.3 Метан 14

3.4 Азот-субоксид 15

3.5 Озон 15

3.6 Потенцијал за глобално загревање 19

3.7 Водена пара 20

3.8 Повратне спреге 20

3.9 Аеросоли 21

4 Природне промене климе 23

4.1 Годишњи циклус 23

4.2 Земљина ротација и кретања Земљине осе 24

4.3 Миланковићеви циклуси 25

4.4 Промене Сунца 29

4.5 Стохастичка резонанца и ледена доба 30

4.6 Узрочно-последичне везе у климатском систему 31

4.7 Други природни механизми климе 35

5 Контроверза хокејашке палице 38
5.1 Корелације и/или узроци 41
6 Антропогени фактор 44
6.1 Нуклеарна зима 44
6.2 Антропогена емисија гасова стаклене баште 45
6.3 Радијативни утицаји антропогених и природних фактора 47
6.4 Процена емисије гасова стаклене баште 51
6.5 Хемијска анализа и идентификација извора 51
6.6 Емисије у 21. веку 52
6.7 Антропогена емисија угљен-диоксида и глобално загревање 53
7 Показатељи климатских промена 56
7.1 Насина документација о глобалним климатским променама 56
7.2 Регионалне последице климатских промена 60
8 Климатски екстреми 64
8.1 Глобално загревање као узрок климатских екстрема 65
8.2 Документација климатских екстрема 66
8.3 Научне анализе климатских екстрема 67
8.4 Предвиђања за 21. век 69
8.5 Климатски екстреми и угљенични циклус 69
8.6 Утицаји климатских екстрема на природу и друштво 71
8.7 Поплаве на Балкану 2014. године 72
9 Моделирање климе 74
9.1 Опис климатских процеса 74
9.2 Климатски модели 76
9.3 Листа приоритета 77
9.4 Тестирање модела 77
9.5 Ограничења климатских модела 78
9.6 Процена поузданости 79
9.7 Развој нумеричких глобалних и регионалних климатских модела 81
9.8 Регионалне предикције климатских модела 82
10 Утицаји климатских промена на природу и друштво 84

10.1 Комбиновани ефекат с променом концентрације озона и стопа смртности ... 84
10.2 Биодиверзитет ... 84
10.3 Инфективне болести ... 87
10.4 Расположивост хране ... 89
10.5 Комбиновани ефекти ... 91
10.6 Благостање ... 91
10.7 Нестанак приобалних подручја ... 92
11 Ангажовања у вези с климатским променама ... 93
11.1 Организације ... 93
11.2 Протокол из Кјота ... 94
11.3 Климагејт афера ... 95
11.4 Канкунски договор ... 96
11.5 Споразум из Париза ... 96
11.6 Енергетско-климатска стратегија ЕУ ... 98
11.7 Извештаји IPCC ... 98
11.8 Пети извештај: чињенично стање ... 99
11.9 Утицаји, адаптација, рањивост ... 101
11.10 Митигација ... 102
12 Климатске промене у Србији ... 106
12.1 Географски и климатски подаци ... 106
12.2 Гасови стаклене баште и осмотрене климатске промене ... 107
12.3 Будуће климатске промене ... 109
12.4 Утицаји климатских промена ... 111
12.5 Мере митигације и адаптације ... 113
12.6 Националне иницијативе ... 114
13 Како може појединац да помогне? ... 116
Библиографија ... 118

1 ПОЈАМ КЛИМЕ

Појам времена је у широкој употреби и од великог значаја у свакодневном животу, а изражава се кроз вредности физичких величина као што су температура, атмосферски притисак, влажност ваздуха, правац и брзина ветра, количина падавина, радијација и облачност. Оне утичу једне на другу и подложне су промени, а њихове вредности се утврђују осматрањем (мерењем) и називају осмотрене вредности. Атмосфера је гасовити омотач Земље, са 99% своје масе у првих 30 km, а набројане величине описују њено тренутно стање.

1.1 Температура

Температура је физичка величина која је одређена средњом брзином хаотичног кретања градивних честица (атома, молекула) датог тела или система.

Основна јединица мере SI система за температуру је келвин (K), који представља степен апсолутне температурне скале. У свакодневној употреби у Европи је степен Целзијусове скале (°C), на којој је за тачку мржњења воде узето 0 °C, а за тачку кључања 100 °C, при нормалном атмосферском притиску. На Келвинову (апсолутну) скалу се прелази додавањем 273.15 вредности температуре изражене у степенима Целзијусове скале, тако да је 0 K заправо -273.15 °C, а 0 °C је 273.15 K. У САД се користи Фаренхајтова (°F) скала. Вода мрзне на 32 °F, а кључа на 212 °F. Температурна разлика од једног степена Целзијусове или Келвинове скале одговара температурној разлици од 1.8 степени Фаренхајтове скале.

Температура се мери термометром. Живин термометар функционише на основу топлотног ширења живе кроз танку капилару уз коју се налази калибрисана скала. Реаговање овог инструмента је доста споро, али та брзина је довољна за мерења температуре ваздуха; а сва очитавања се морају вршити ручно. Савременије решење за осматрање температуре је отпорни термометар, код кога се детектује промена електричне отпорности метала (најчешће платина или никл) настала при промени температуре. Предност овог уређаја је већа прецизност, краће време реаговања на промене и могућност компјутерског очитавања и праћења резултата осматрања. Најпрецизнији инструменти који постоје за осматрање температуре јесу термометри са пуњеним термалним системом, код којих се посуда напуни течношћу или гасом (најчешће жива, азот или хелијум) којима се одржава константна запремина, а мери се промена притиска коју изазива промена температуре.

На метеоролошким станицама се термометри за тренутну, дневну максималну и минималну температуру постављају у метеоролошки заклон,

тако да се стандардно мери температура у хладу на 2 m висине изнад травнате подлоге. Осмотрена температура је температура ваздуха.

1.2 Атмосферски притисак

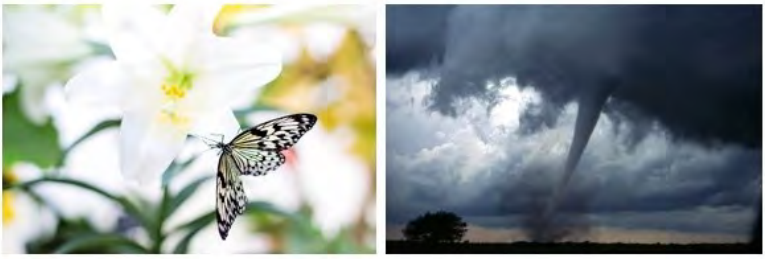
Атмосфера својом тежином врши притисак, који се, као и у свим гасовима и течностима, простире у свим правцима. Тежина ваздушног стуба изнад јединичне површине представља атмосферски притисак.

Основна јединица SI система за притисак је паскал (Pa), а у употреби је и бар (bar, 1 bar = 100 000 Pa), односно његов хиљадити део милибар (mbar или mb), који се најчешће користи у метеорологији. Један милибар је једнак једном хектопаскалу (hPa).

Италијански физичар Еванђелиста Торичели је 1643. године одредио бројну вредност атмосферског притиска, тако што је узану цев дужине једног метра напунио живом и изврнуо је у плитак суд у коме је такође било мало живе. Ниво живе у цеви се полако спуштао, све док није достигао 760 mm. У том тренутку је хидростатички притисак живиног стуба у цеви изједначио атмосферски притисак на слободну површину живе у суду, те је израчунавањем хидростатичког притиска живе био одређен и атмосферски притисак. Његова средња вредност на нивоу мора је 1013 mb. Ова експериментална поставка је уједно био и први инструмент за осматрање притиска – барометар, у коме је осциловање нивоа живе у стубу омогућавало праћење промена вредности атмосферског притиска. Живин барометар захтева посебне мере предострожности због токсичности живе и робустан је за руковање. У употреби су и анероидни барометри. У њима на промену атмосферског притиска реагује евакуисана капсула сачињена од легуре бакра и берилијума и то механичким скупљањем или ширењем. Постоје и дигитални барометри тј. трансдуктори, код којих промена притиска узрокује механичке деформације дијафрагме, што доводи до промене електричне отпорности.

1.3 Ефекат лептира

Као и већина других научних подухвата, и испитивање времена се врши углавном са циљем предвиђања његовог понашања у будућности. Иза сваке временске прогнозе стоји компјутерска симулација заснована на физичко-математичком моделу атмосферских појава. Као што из тачности временских прогноза које свакодневно слушамо можемо лаички да закључимо – проучавање временских прилика показује се као изузетно захтеван посао. Оно што атмосферу чини незахвалним системом за проучавање јесте њена комплексност, која се пре свега испољава кроз велику међузависност свих параметара који служе за њено описивање.



Слика 1. Ефекат лептира фигуративно осликава такву осетљивост климатског система да замах крила лептира на једном може узроковати торнадо на другом крају света.

Амерички математичар и метеоролог Едвард Нортон Лоренц је 1960. године, радећи на симулацији атмосферских прилика, установио да мале грешке у почетним (осмотреним) параметрима изазивају огромне последице у предвиђеним временским приликама. Закључак до ког је он дошао познат је данас под називом ефекат лептира, по чланку објављеном у тадашњој штампи под насловом *Да ли замах крила једног лептира у Бразилу покреће торнадо у Тексасу?* (слика 1). Ефекат лептира заправо указује на велику осетљивост атмосферског система на мале промене било које величине која га описује, што за научнике значи две ствари: (1) све физичке величине које се уносе у модел (температура, ваздушни притисак, брзина ветра...) морају са великом прецизношћу да се осмотре и (2) упркос свим напорима, свака предикција на дуже стазе неумитно ће садржати грешке.

1.4 Време и клима

Када говоримо о клими, разматрамо исте физичке величине, дакле температуру, падавине, атмосферски притисак..., али посматрамо њихово понашање током дужих временских периода, не мањих од 30 година. При томе се не узимају у обзир само просечне вредности карактеристичних величина, већ и њихова варијабилност и екстреми. Посматра се углавном тропосфера, део атмосфере који је најближи Земљи и дебљине је око 10 km. Као што временске прилике пролазе кроз константне промене, тако се и клима мења, али на дужим временским скалама.

Наука о атмосфери, која се бави утврђивањем закона којима се повинују атмосферске промене применом физичких и математичких метода, зове се метеорологија. Наука о клими, која се бави проучавањем локалних и/или глобалних вишегодишњих климатских режима у прошлости и садашњости и њихових утицаја на природу и друштво, са циљем предвиђања климатских промена у будућности, зове се климатологија и она данас има много различитих грана које климу Земље изучавају са различитих аспеката и применом адекватних метода.

Реч клима потиче из Старе Грчке, где је означавала *нагиб*, који се односио на угао под којим су Сунчеви зраци падали на Земљу. Топлотна енергија коју Земља добија од Сунца и јесте најзначајнији спољашњи фактор који обликује њену климу. У унутрашње факторе спада топлотна енергија из Земљине унутрашњости, која узрокује кретања Земљине коре и вулкане, а за метеорологију и климатологију је од мањег значаја.

Фактори који имају највећи утицај на климу на Земљи су:

1. Јачина долазног зрачења Сунца
2. Ротација и револуција Земље и положај њене осе
3. Облик Земље
4. Ефекат стаклене баште
5. Кружење енергије, воде и угљеника
6. Распоред копна и мора.

На локалне климатске карактеристике утичу и географски елементи, као што су географска ширина и дужина, надморска висина, врста подлоге, карактеристике рељефа и биљног покривача.

2 РАЗМЕНА ЕНЕРГИЈЕ И МАТЕРИЈЕ

2.1 Температура планете

Температуру прве четири планете Сунчевог система, које се зову терестричне, највећим делом одређује прилив енергије од Сунчевог зрачења. Топлотна енергија Сунца је производ нуклеарне фузије која се непрестано одвија у њему. Поједностављено се температура планета, па и Земље, теоријски одређује на следећи начин. Топлотно зрачење Сунца се емитује равномерно у свим правцима око његове сферне површине и преноси се на растојање на ком се налази дата планета. Део тог зрачења пада на планету. Његов интензитет се процењује на основу познатих растојања од Сунца до планете и полупречника планете. Планета упија краткоталасно долазно зрачење од Сунца, али не у потпуности, већ један део рефлектује, што се процентуално изражава кроз рефлективност за Сунчево зрачење – албедо. Планета истовремено и ослобађа енергију, емитујући дуготаласно инфрацрвено зрачење, које се назива одлазно зрачење. Већа таласна дужина одлазног зрачења Земље у односу на таласну дужину долазног Сунчевог зрачења објашњава се Виновим законом, по коме је таласна дужина топлотног зрачења тела обрнуто сразмерна његовој температури. У прорачунима се претпоставља да се зрачење Сунца и планете може описати законом радијације апсолутно црног тела, по коме је израчена енергија пропорционална четвртом степену апсолутне температуре тела. Енергетска равнотежа настаје када је снага долазног зрачења по јединичној површини, са урачунатим албедом, једнака снази одлазног зрачења по јединичној површини. То омогућава да се из услова енергетске равнотеже процени температура планете.

Зрачење Сунца се може одлично апроксимирати зрачењем апсолутно црног тела чија је температура једнака температури Сунчеве видљиве површине – фотосфере, T_S = 5778 K. Апсолутно црно тело је појам у физици којим се описује тело које апсорбује целокупно зрачење које на њега пада. Емисиона моћ је енергија коју тело дате температуре емитује у јединици времена са јединице површине, а емисиона моћ апсолутно црног тела (E) је, према Штефан-Болцмановом закону, сразмерна четвртом степену његове температуре (T):

$$E = \sigma T_S^{\,4},$$

где је σ = $5.67 \cdot 10^{-8}$ W/(m^{2}K^4) – Штефан-Болцманова константа. Јединица за емисиону моћ је W/m^2 = J/(s·m^2), што је јединица за енергију (џул) у јединици времена (секунда) по јединичној површини (метар квадратни).