



ПРИРОДНИ ХАЗАРД

Маја Вујчић Тркуља
Мирослав Поповић



УНИВЕРЗИТЕТ СИНГИДУМУ
ЖИВОТНА СРЕДИНА И ОДРЖИВИ РАЗВОЈ

Маја Вујчић Тркуља
Мирослав Поповић

ПРИРОДНИ ХАЗАРД

Прво издање

Београд, 2024.

ПРИРОДНИ ХАЗАРД

Аутори:

Проф. др Маја Вујчић Тркуља

Проф. др Мирослав Поповић

Рецезенти:

Проф. др Лидија Амицић

Проф. др Мирјана Перишић

Издавач:

УНИВЕРЗИТЕТ СИНГИДУНУМ

Београд, Данијелова 32

www.singidunum.ac.rs

За издавача:

Проф. др Милован Станишић

Припрема за штампу:

Милош Вишњић

Дизајн корица:

Александар Михајловић, МА

Година издања:

2024.

ISBN: 978-86-7912-812-6

Copyright:

© 2024 Univerzitet Singidunum

Izdavač zadržava sva prava.

Reprodukcija pojedinih delova ili celine ove publikacije nije dozvoljena.

Садржај:



1. Уводна разматрања	1
1.1. Дефиниција природног хазарда	5
1.2. Општи појмови у изучавању природног хазарда	6
1.3. Управљање ризиком природног хазарда	8
1.3.1. Карактеризација природног хазарда	8
1.3.2. Отпорност и адаптација животне средине	9
1.4. Подела природног хазарда	10
2. Космички хазард	17
2.1. Основни појмови у изучавању космичког хазарда	17
2.2. Удари небеских тела у земљу	23
2.2.1. Удар астероида или комете у Земљу	23
2.2.2. Удар астероида – вероватноћа и ризик	32
2.2.3. Анализа ризика: процена вероватноће и разорности	35
2.2.4. Мониторинг, превентива и одбрана од космичког хазарда	38
2.3. Космичко зрачење	40
2.3.1. Извори γ - („гама“) зрачења	40
2.3.2. Детекција γ -зрачења	43
2.3.3. Развој гама-астрономије	43
2.3.4. Бљесак гама-зрачења као природни хазард	46
2.3.4.1. Супернова SN 2006gy	47
2.3.4.2. Ета Карине – извор опасности у ближој будућности?	48
2.4. Сунчева (соларна) активност	50
2.4.1. Основне карактеристике Сунца	50
2.4.2. Старост и животни циклус Сунца	51
2.4.3. Структура Сунца	51
2.4.4. Сунчево зрачење	55
2.4.4.1. Мерење и регистровање Сунчевог зрачења	55
2.4.4.2. Карактеристике Сунчевог спектра	57
2.4.4.3. Штетно дејство UV зрачења на људско здравље	58
2.4.5. Магнетно поље Сунца (Соларна активност и соларни циклус)	60
2.4.6. Сунчева активност. Сунчев циклус	62
2.4.7. Соларни феномени	63

2.4.7.1. Сунчеве пеге и сунчев ветар	64
2.4.8. Коронално избацавање масе (Масивни избачаји Сунчевог ветра)	68
2.4.9. Манифестација соларног хазарда (Соларне геомагнетске буре, магнетосферски поремећаји)	69
3. Литосферски хазард	81
3.1. Сеизмички хазард – Земљотреси	83
3.1.1. Теорија еластичног одраза (H.F. Reid)	83
3.1.2. Подела потреса	84
3.1.3. Подела сеизмичких таласа	86
3.1.4. Мерење јачине потреса	87
3.1.5. Сеизмички ризик	87
3.1.6. Сеизмичка рејонизација	89
3.1.7. Сеизмолошки мониторинг	91
3.1.8. Прорачун сеизмичког хазарда	93
3.1.9. Процена здравствено-безбедносног ризика од96 земљотреса	96
3.2. Вулкански хазард	98
3.2.1. Манифестација вулканског хазарда и његови типови	100
3.2.2. Мониторинг вулканске активности	105
3.2.3. Утицај вулканских ерупција на околину и здравље и безбедност људи	110
4. Педолошки хазард	117
4.1. Идентификација ерозије	177
4.1.1. Методе мапирања и категоризације ерозионих процеса	118
4.1.2. Уређење бујица и заштита од ерозије	120
4.2. Клизишта	123
4.2.1. Настанак клизишта и елементи клизишта	124
4.2.2. Примери клизишта као природног хазадра	126
4.2.3. Концепт санације, рестаурације и заштите од клизишта	129
4.3. Процена ризика и мониторинг педолошког хазарда	137
4.4. Ефекти педолошког хазарда на здравље и безбедност људи	132

5. Хидролошки хазард	139
5.1. Узроци и врсте поплава	139
5.2. Објекти заштите од хидролошког хазарда – одбрана од поплава	141
5.2.1. Активна одбрана од поплава	142
5.2.2. Пасивне мере одбране од поплава	143
5.2.3. Систем заштите од хидролошког хазарда у Републици Србији	145
5.3. Развој интегралног модела заштите од поплава	147
5.3.1. Систем мера одбране од поплава	150
5.3.2. Хидролошко прогнозирање и моделовање	150
5.4. Процена ризика од поплава	152
5.4.1. Хидросферски ризик	152
5.5. Управљање здравствено-безбедносним ризиком од хидролошког хазарда	155
6. Климатски хазард	161
6.1. Основни појмови	161
6.1.1. Метеорологија	161
6.1.2. Клима	164
6.1.3. Земљина атмосфера	167
6.1.3.1. Карактеристике Земљине атмосфере	167
6.1.3.2. Састав Земљине атмосфере	168
6.1.3.3. Карактеристике ваздуха	172
6.2. Кретање ваздушних маса (струјање ваздуха)	177
6.2.1. Ветар	178
6.2.1.1. Глобални ветрови	179
6.2.2. Ураган	181
6.2.3. Торнадо	185
6.2.3.1. Карактеристике торнада	185
6.2.3.2. Предвиђање торнада	188
6.2.3.3. Локални и непосредни индикатори торнада	189
6.2.4. „Ел Нињо“ и „Ла Ниња“	189
6.3. Падавине и муње	191
6.3.1. Атмосферске падавине – опште карактеристике	191
6.3.1.1. Ниске падавине	192
6.3.1.2. Високе падавине (киша, снег, град)	192
6.3.1.3. Фактори који утичу на атмосферске падавине	196
6.3.1.4. Мерење атмосферских падавина	197

6.3.2. Муње	198
6.4. Глобалне промене температуре на земљи	202
6.4.1. Глобално загревање	202
6.4.2. Ледено доба	204
6.4.2.1. Теорије о настанку ледених доба	205
6.4.3. Климатске промене у Србији	207
6.5. Специфичан облик метеоролошког хазарда – Снежне лавине	209
6.5.1. Типови лавина	210
6.5.2. Превенција и безбедност у областима угроженим од лавина	211
7. Специфични облици природног хазарда – шумски пожари	217
7.1. Природа и врсте шумских пожара	218
7.1.1. Карактеристике и развој шумских пожара	219
7.2. Шумски пожари као глобални феномен	222
7.3. Мониторинг и мере заштите од шумских пожара	226
7.3.1. Процена ризика од шумских пожара у Србији	228
7.4. Утицај шумских пожара на здравље и безбедност људи	232
8. Биолошки хазард	241
8.1. Основни појмови и карактеристике ендемија, епидемија и пандемија	241
8.1.1. Епидемиолошки модели	241
8.1.2. Типови епидемија	244
8.1.3. Резервоари и извори инфекција	244
8.2. Вируси – основна грађа и функција	247
8.2.1. Вирусне епидемије и пандемије	249
8.3. Бактерије – основне карактеристике и подела	256
8.3.1. Облик и грађа бактерија	256
8.3.2. Размножавање и метаболизам бактерија	259
8.3.3. Бактеријске пандемије	262
8.4. Изазови истраживања епидемиологије животне средине	266
8.4.1. Епидемиолошке методе и њихова примена у истраживањима	267
Биографије аутора	272





1. УВОДНА РАЗМАТРАЊА

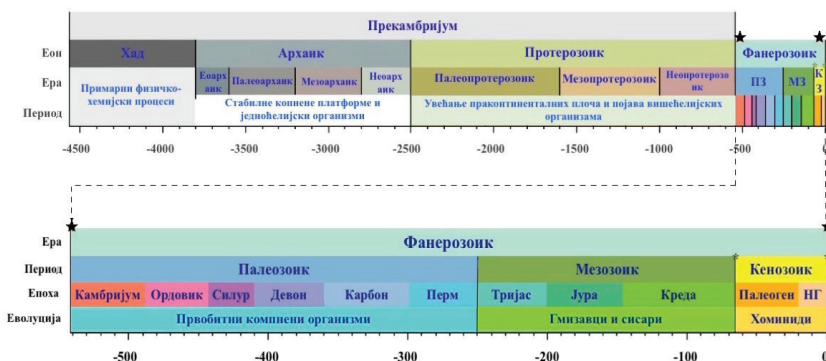
1. УВОДНА РАЗМАТРАЊА

Живот на Земљи настао је пре више од 3,7 милијарди година. Примарне облике живота чинили су једноћелијски организми, а њихов опстанак је зависио од јединственог процеса кружења материје и енергије. Еволутивни развој организама на Земљи пролазио је кроз различите геолошко-палеонтолошке епохе, а само организми који су развили способност оригиналне адаптације, успели су да се прилагоде променама еколошких услова и тако опстану у свом животном окружењу. Међутим, уколико би сагледали примарно животно окружење са животном средином којој данас припадамо, могли би да разумемо сву сложеност еволутивних процеса живих организама, као и изложеност природним појавама које су угрожавале њихов опстанак на земљи. Природне појаве о којима ће се говорити у овој књизи, дешавале су се раније, а дешаваће се и у будућности, јер представљају нераскидиву везу свих развојних процеса живих организама и њихове непосредне околине.

Како би могли да разумемо динамику живота на земљи, као међусобну интеракцију органског и неорганског света, потребно је пре свега да разумемо и појам времена. Чувени биолог и хуманиста, Едвард О. Вилсон (Wilson, 1984) говорио је о појму времена као једној специфичној категорији у историји биолошке еволуције живих организама, указујући да један секунд космичког поимања времена, представља читаву геолошку епоху од неколико милиона година на земљи. Према (U.S. Geological Survey Geologic Names Committee, 2007), целокупно геолошко време планете Земље подељено је у четири еона, од којих: 1) **Хад** обухвата раздобље од пре 4,6 до 3,8 милијарди година, када су на планети Земљи одвијали примарни физичко-хемијски процеси, важни за формирање екосфере; 2) **Архаик** је раздобље између 3,8 и 2,5 милијарди година у ком је дошло до формирања примарне стабилне праконтиненталне платформе, а појавили су се и први једноћелијски организми (прокариоти), претежно хетеротрофног начина исхране; 3) **Протерозоик** је трајао од пре 2,5 милијарди година до 542 милиона година и у овом еону површина праконтиненталних плоча се значајно увећавала, док је живи свет достигао више лествице свог еволутивног развоја, посебно појавом еукариота и вишећелијских организама; 4) **Фанерозоик** (гр. φανερός – видљив) или раздобље „видљивог живота” започело је пре 542 милиона година, у ком су сачувани многобројни фосилни остаци и које је на основу иницијалних геотектонских и климатских фактора, као и доминирајућих животних форми подељено у три ере: а) палеозоик, б) мезозоик и в) кенозоик.

Природни хазард

Слика 1. Графички приказ геолошке временске линије са еоном, ером, периодом, епохом и еволуцијом



Према научним сазнањима прва три еона спадају у временске оквири криптозоика или прекамбријума (гр. *κρυπτος* - скривен), геолошко време „*скривеног живота*“ из кога нема евидентираних фосилних остатака (Gradstein et al., 2012; Syvitski et al., 2020). Са друге стране, еонско раздобље Фанерозоика, као геолошко видљив део наше еволутивне историје, потхрањује научне базе података, на основу којих је могуће разумети развој живог света кроз историјске епохе. Према евиденцији и анализи фосилних остатака организама, процењује се да се само у задњих 540 милиона година догодило више масовних изумирања, у зависности који се критеријуми узимају да би се једно изумирање назвало „масовним“. Поједине врсте су изумирале готово неприметно услед постепених промена еколошких фактора, док су поједине врсте нестајале нагло, услед различитих хазардних појава, тако да се изумирање врста јављало у неједнаким интервалима. Научници који су осмислили Теорију о масовном изумирању били су John Sepkoski, Jr. (1948-1999) и David M. Raup (1933-2015). Масовно изумирање је појам за нагло смањење броја живих врста (сисари, птице, гмизавци, водоземци, рибе, бескичмењаци, биљке) у релативно кратком временском периоду. Према наведеној теорији најзначајнија масовна изумирања везују за: крај Ордовицијума, касни Девон, крај Перма, крај Тријаса и крај Креде. Највеће изумирање у историји догодило се пре 251 милион година када је према проценама донетих на основу фосилних доказа, у мору изумрло око 96 %, а на копну 75 % тадашњих врста. Узрок овог масовног изумирања вероватно није био везан искључиво за догађај на копну. Једно од великих масовних ишчезнућа догодило се и на прелазу из Креде у Терцијар, пре 65 милиона година, када је са лица земље нестало око 50 % врста, а међу њима и

диносауруси. Морски фосили се већином користе како би се измерила стопа изумирања јер су свестранији и покривају већи временски размак од фосила копнених организама. Наведена масовна изумирања детаљно су описана у књигама: Очување биодиверзитета (Л. Амиџић, 2020) и Геодиверзитет (Б. Вакањац и остали, 2020).

Научници који су осмислили Теорију о масовном изумирању:

Слика 2. John Sepkoski, Jr. (1948-1999)



Слика 3. David M. Raup (1933-2015)

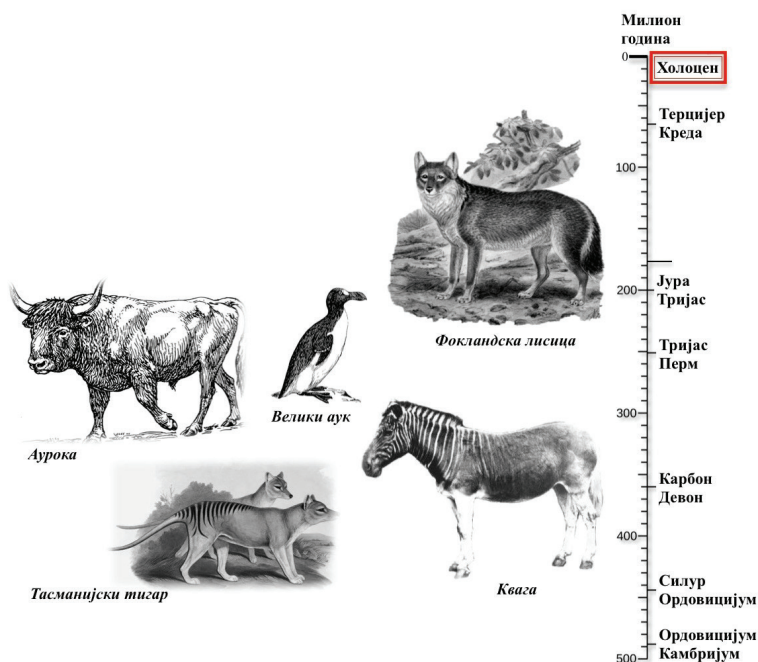


Масовно изумирање ће се дешавати и у будућности, а дешава се и данас у Холоцену, на жалост, под утицајем човека. Посматрајући историјске факторе који су утицали на масовна изумирања, попут удара астероида или великих пандемија, сасвим је извесно да се након таквих катастрофа живот или друштвено-економски односи развијају на нов начин који није могуће у потпуности контролисати или анализирати познатим методама. Према општој дефиницији, Холоценско масовно изумирање је глобални догађај изумирања који се одвија у тренутном периоду Холоцена и укључује нестанак великих сисара, познатих под називом мегафауна, обухватајући период од пре 10000 година. Таква изумирања су приписивана утицају климатских промена или антропогеног фактора (Gradstein et al., 2012). Брзина изумирања се драстично повећава од педесетих година XX века. За разлику од претходних пет масовних изумирања, ово је посебно окарактерисано људским утицајем, које убрзава читав процес до тачке где за кратко време (период који се мери десетинама година) хиљаде врста годишње нестану са лица земље. Најновија климатска истраживања доказују да је тренутна холоценска епоха ништа више до најновији интервал у серији интергласијала.

Природни хазард

Већина истраживача верује да смо на почетку изузетно убрзаног антропогеног масовног изумирања и да при тренутној стопи изумирања, половина свих живих врста може нестати до 2100. године (Wilson, 2016). Докази за сва претходна масовна ишчезнућа поседују геолошки аспект сагледавања, где и најмање величине за мерење геолошког времена су у опсегу од неколико стотина хиљада до неколико милиона година. Узимајући у обзир примере изумирања која су изазвана непредвидивим силама – попут удара астероида – последице таквих догађаја могуће је постепено откривати кроз период од неколико хиљада година, управо због комплексности геолошких процеса и депоновања фосилних остатака.

Слика 4. Холоценско масовно изумирање мегафауне



Поред тога, у последњих 11000 година стопа изумирања је константна. Ако посматрамо људски утицај на масовна изумирања, њихов број се повећава сразмерно са порастом људске популације. Важно је рећи да је број изумирања данас 100 до 1000 пута већи од претходних пет периода изумирања у геолошкој историји Земље. Изумирање мега фауне се наставља и у XXI веку.

1.1. ДЕФИНИЦИЈА ПРИРОДНОГ ХАЗАРДА

Природни хазард су оне природне појаве које могу да својим деловањем (догађањем) доведу до смрти и/или повреда људи, уништења и оштећења материјалних добара, загађења или онемогућавања коришћења извора хране, воде и ваздуха, и на крају ако су екстремно интензивне, доведу до угрожавања или престанка постојања цивилизације у већој или мањој мери, бар у оном облику како је данас познајемо. *Појам природног хазарда се може сагледати и као интеракција људске изложености и вулнерабилности према природним догађајима, најчешће екстремним, која креира потенцијалне губитке у еколошком, социјалном, економском и другим аспектима.* Природни догађаји који су интензивни и могу индуковати природни хазард јесу често елементарне непогоде. Под елементарним и другим већим непогодама подразумевају се: земљотреси, поплаве, бујице, атмосферске непогоде, суше, снежни наноси и лавине, клизање земљишта, пожари и експлозије. Такође, под веће непогоде се могу класификовати неконтролисано ослобађање, изливање или растурање штетних гасовитих, течних или чврстих хемијских и радиоактивних материја. Све наведене појаве могу угрозити здравље и безбедност људи, проузроковати материјалну штету већег обима и крајње се негативно одразити на животну средину. Настанак, обим и време трајања природних непогода у већини случајева се не може унапред предвидети, али се за извесне појаве, на основу искустава, статистичких података и метода моделовања, у складу са местом појаве, може претпоставити да ће до њих доћи.

Савремена цивилизација и њено оптимално функционисање суштински зависи од експлоатације природних ресурса у виду електричне енергије (индустрија и домаћинства), протока информација (рачунарска технологија и сателити) и транспорта (углавном нафта). Масивни избачај сунчевог ветра, као облик космичког хазарда, на пример, вероватно не би угрозили опстанак људи и живог света око њих, али би могли да доведу до прекида комуникација, самим тим и преноса информација и прекида протока електричне енергије на одређено време. Оно што се може разматрати јесу последице уколико би такво стање потрајало само недељу дана или месец дана.

Уколико узмемо у обзир још једну област везану за проучавање Природног хазарда, могли би појам хазарда сагледати са аспекта организације живота и стварања материјалних добара на местима где је дошло до хазардне појаве (нпр. изгарања кућа, путева и мостова у појединим деловима света где се често догађају земљотреси – сеизмички „hot spots”). Код таквих ситуација проучавање природног хазарда добија сасвим другу димензију – „одрживог”

и „адаптабилног“ развоја. Опет с друге стране, људска природа има своје специфичности. Град Напуљ, смештен у југозападном делу Италије, простире се већим делом дуж вулкански активне регије Монте Сомма – Сомма Везувио (ит. *Monte Somma - Somma-Vesuvio*). Чувени стратовулкан Везув, један је од два активна вулкана у континенталној Европи, који је при ерупцији у августу 79. године наше ере уништио градове Помпеју, Херкуланум и Стабију, а последња ерупција је била 1944. године, што је са аспекта геолошког времена мање од пола секунде људског живота. Међутим, упркос чињеници да се налазе на вулканско-сеизмолошки незавидној локацији и поред тога што су свесни потенцијалне опасности од поновне ерупције вулкана, у Напуљу и околним насељима нормално живи 4,5 милиона људи. У ствари, област Везува има изузетно велику густину насељености и процењује се да је број потенцијално угрожених становника око 700.000.

Дакле, узимајући у обзир само неке од наведених примера, сасвим је извесно да је проучавање „природног хазарда“ мултидисциплинарно и сложено. За препознавање, праћење, предвиђање последица и евентуалну превенцију различитих облика природног хазарда, потребан је тимски рад експерата из различитих области науке и истраживања.

1.2. ОПШТИ ПОЈМОВИ У ИЗУЧАВАЊУ ПРИРОДНОГ ХАЗАРДА

Појам природног хазарда уско је повезан са појмом безбедности, али са аспекта разраде проблема који су иницирани од стране природних процеса. Ако разматрамо појам „еколошке кризе“ за њен настанак може бити одговоран човек, али може представљати и последицу природних процеса. Дакле, појмови који се користе у проучавању природног хазарда могу имати вишеструки аспект сагледавања. Наиме, подаци су објашњења како се процес који доводи до „хазарда“ одвија, како се прати (мониторинг), како се моделује и како се предвиђају последице процеса његовог деловања, узимајући у обзир разраду додатних социјално-економских и здравствених последица и ризика по друштво. Најчешће коришћени појмови се односе на:

1. **Природне катастрофе** настају деловањем природних сила, а манифестују се као земљотреси, пожари (укључујући и шумске пожаре), поплаве, суше, снежне лавине, олујна невремена, одрони и клизања тла, оркански ветрови, вулканске ерупције и др. Једна од заједничких карактеристика природних угрожавања која се односи на већину њих је изненадност настанка (нпр. земљотреси, одрони и клизање тла,

пожари отвореног простора и др.), иако се кроз научна достигнућа и модерну технологију, данас већ може предвидети настанак неког од природних угрожавања по месту и времену (нпр. поплаве, урагани, ниске температуре, суша и сл.).

2. **Еколошка катастрофа** је нарушено стање равнотеже у природи изазване људском делатношћу и природним силама. Такође, еколошка криза се може дефинисати и као нарушавање функционалног јединства између подсистема друштво и подсистема природа. Може да поседује глобални или локални карактер.
3. **Ризик** се може дефинисати као:
 - а) могућност настанка природне катастрофе
 - б) неизвестност да ли ће до догађаја доћи или неће
 - в) могућност да се догоди било који исход (који може бити и очекиван)

Оно што је заједничко свим дефиницијама ризика је неизвесност и губитак (лош исход). Неизвесност постоји када се не може са сигурношћу знати исход одређеног догађаја. Када ризик постоји, морају постојати бар два могућа исхода (уколико сигурно знамо да ће се губитак догодити, тада ризик не постоји). Најмање један од могућих исхода мора да буде непожељан. Обично се квантификује као мали, низак, умерен и висок. Такође, може да буде предвидив или непредвидив.

4. **Мониторинг** је непрекидно надгледање и процењивање развоја неког догађаја, појаве или промена које се догађају у времену, а везане су за неки ентитет.
5. **Предвиђање** је претпоставка о могућем исходу и развоју неке појаве у будућности, а на основу познатих података о развоју конкретне појаве у прошлости и узимањем у обзир свих доступних научних информација које се тичу конкретне појаве.
6. **Моделовање** је виртуелна анализа и реконструкција неког догађаја са делом познатих и делом непознатих параметара чији је циљ да се да предвиђање развоја испитиване појаве (прогноза).

1.3. УПРАВЉАЊЕ РИЗИКОМ ПРИРОДНОГ ХАЗАРДА

Према (WMO, 2015), у процесу управљања ризиком од природног хазарда, од посебне је важности његово правовремено препознавање и идентификација. Следећи корак је његова процена, а затим и контрола. Да би се појава на време идентификовала, потребан је успостављени систем праћења стања животне средине (мониторинг) који ће нам омогућити основне параметре за његову процену. Путем одређених софтверских решења и математичких програма и статистике, могуће је развити моделе који би омогућили процену тренда развоја појаве у будућности (како у простору, тако и у времену). Тиме се омогућује и адекватна контрола ризика кроз превентивне и санационе мере заштите.

Слика 5. Шематски приказ процеса управљања ризиком природног хазарда

ПРОЦЕС УПРАВЉАЊА РИЗИКОМ ПРИРОДНОГ ХАЗАРДА



1.3.1. Карактеризација природног хазарда:

Постоји више начина да се појаве природног хазарда квантитативно и квалитативно опишу. Детерминација природног хазарда зависи од карактеристика појава које могу обухватати:

1. магнитуду (или интензитет): магнитуду земљотреса, брзину ветра, дубину снега и сл;
2. фреквенцију:
 - а. просту фреквенцију - колико често се дешава појава у датом временском периоду;
 - б. вероватноћу - шансе у % да се појава догоди у неком временском периоду;
 - в. повратно време - просечно време између две појаве;

3. време трајања;
4. просторно ширење појаве;
5. брзину простирања;
6. временски распоред (да ли се појава дешава неуједначено, циклично и сл.).

У процесу анализе утицаја хазарда на један систем, потребно је прво дефинисати ризик, односно вероватноћу дешавања датог догађаја и потенцијалних губитака (последица) од датог догађаја. Уколико је висока вероватноћа дешавања, могу се очекивати мале последице по систем. Код ниске вероватноћа дешавања последице могу бити велике по функционисање система.

1.3.2. Отпорност и адаптација животне средине

Отпорност животне средине која представља способност природе и људске популације за амортизацију и опоравак од датог хазарда, може бити индивидуална и колективна, а варира у зависности од благостања, припремљености и других фактора.

Након анализе могућег утицаја хазарда на један систем, развија се **концепт одговора** на хазард:

- припремљеност на ванредна стања: планирање, особље стручни тимови, процедуре и опрема за смањење губитака од потенцијалних догађаја;
- управљање догађајем у случају ванредног стања, односно, одговор током трајања догађаја;
- опоравак: краткорочно и дугорочно обнављање, економски и друге врсте опоравка;
- ублажавање: напори да се смањи вулнерабилност и да се повећа отпорност путем управљања пре и после хазардног догађаја.

Процес адаптације система се огледа у краткорочној и дугорочној адаптацији на хазардну ситуацију. Неки од **проблема у процесу одговора на хазард**:

- Ниска вероватноћа појаве хазарда/велике последице: ниска учесталост догађаја доводи до тога да многи људи игноришу ризик, али када се хазард догоди, губици су велики;

- Ризик *versus benefit*: људи ће преузети ризик у циљу одређеног бенефита (да живе на одређеном месту). У овом случају, свако има своју процену ризика и сноси сопствену одговорност (пример града Напуља и његовог положаја у вулканској регији Соме Везувијо)
- Питање колико људи или друштво може да инвестира у превенцију;
- Перцепција ризика: људи индивидуално процењују ризик, услед искуства, знања, старости, пола, итд.

1.4. ПОДЕЛА ПРИРОДНОГ ХАЗАРДА

Класификација природног хазарда усаглашена је са генезом природних процеса, сагледавајући појаве у већем систему као што је космос, а затим и у мањим системима као што је планета Земља. Са теоријског аспекта сагледавања настанка и диверзификације живота на земљи, пребиолошка односно хемијска еволуција, а затим и биолошка еволуција резултовале су стварањем првобитног облика животне средине тј. екосфере. Српски математичар и геофизичар Милутин Миланковић (1879-1958.) је у својој *Математичкој теорији термичких феномена узрокованих сунчевим зрачењима*, примарно указао на цикличне промене климе на планети Земљи које су последично повезане са њеним положајем у односу на Сунце. Ове цикличне промене су у светској науци познате као **Миланковићеве циклуси** и сматра се да су имале велики утицај на стање екосфере, а одговорне су и за данашње промене у свим њеним сегментима попут литосфере, хидросфере, атмосфере и биосфере (Миланковић, 1997). Сагласно поменутом принципу, облици природног хазарда сагледани су кроз све сфере животне средине и промене које се у њима дешавају под утицајем природних сила. Према томе, класификација природног хазарда представљена је у Табели 1.

Табела 1. Подела природног хазарда

I.	КОСМИЧКИ ХАЗАРД	• Удари небеских тела • Бљесак гама зрачења • Сунчев хазард
II.	ЛИТОСФЕРСКИ ХАЗАРД (геодинамични хазард)	• Померање тектонских плоча • Вулканизми • Земљотреси
III.	ПЕДОЛОШКИ ХАЗАРД (егзогени хазард)	• Клизишта • Ерозија
IV.	ХИДРОЛОШКИ ХАЗАРД (хидросферски хазард)	• Поплаве • Цунами
V.	КЛИМАТСКИ ХАЗАРД (атмосферско-метеоролошки хазард)	• Струјање ваздуха • Ураган, торнадо, Ел Нињо и Ла Нина • Падавине
VI.	СПЕЦИФИЧНИ ОБЛИЦИ ПРИРОДНОГ ХАЗАРДА	• Шумски пожари
VII.	БИОЛОШКИ ХАЗАРД	• Епидемије и пандемије • Вируси • Бактерије • Гљивице • Паразитни безкичмењаци

Списак литературе, табела и слика:



Литература:

- Амиџић, Л. 2020. Очување биодиверзитета. Универзитет Сингидунум, Београд.
- Вакањац, Б., Ристић Вакањац, В., Ђумић, Т. 2020. Геодиверзитет. Универзитет Сингидунум, Београд.
- Gradstein, F.M., Ogg, J.G., Schmitz, M.D., Ogg, G.M. (2012). *The Geologic Timescale 2012 (volume 1)*. Elsevier. стр. 301. ISBN 978-0-44-459390-0.
- Миланковић, М. 1997. Списи из историје науке. Завод за уџбенике и наставна средства. ISBN 86-17-05290-2.
- Syvitski, J., Waters, C.N., Day, J. et al. Extraordinary human energy consumption and resultant geological impacts beginning around 1950 CE initiated the proposed Anthropocene Epoch. *Commun Earth Environ* 1, 32 (2020). <https://doi.org/10.1038/s43247-020-00029-y>
- Wilson, E. 1984. *Biophilia: The Human Bond with Other Species*; Harvard University Press: Cambridge, MA, USA.
- Wilson, O. 2016. *Half-earth: our planet's fight for life*. Liveright Publishing Corporation, a division of W.W. Norton & Company, New York.
- World Meteorological Organization (WMO). 2015. Synthesis of the Status and Trends with the Development of Early Warning Systems. A Contribution to the Global Assessment Report 2015 (GAR15), Priority for Action (PFA) 2 – Core Indicator (CI) 3: Early Warning Systems are in Place for all Major Hazards with Outreach to Communities. Background Paper prepared for the Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction 2015. Geneva.

Табела:

Табела 1: Лична архива: М.В.Т., 2023.

Слика:

Слика 1: Модификовано: U.S. Geological Survey Geologic Names Committee, 2007, Divisions of geologic time - Major chronostratigraphic and geochronologic units: U.S. Geological Survey Fact Sheet 2007-3015, 2 p. <https://pubs.usgs.gov/fs/2007/3015/>

Слика 2: https://www.uv.es/pardomv/np/np33/np33_08.html

Слика 3: <https://www.nytimes.com/2015/07/16/us/david-m-raup-who-transformed-field-of-paleontology-dies-at-82.html>

Слика 4: Модификовано: <https://www.britannica.com/animal/quagga>

<https://www.zsl.org/illustrations-extinct-and-endangered-animals>

<https://www.biodiversitylibrary.org/page/17003005#page/101/mode/1up>

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:PSF_A-60002.png

Слика 5: Лична архива: М.В.Т., 2023.





2. КОСМИЧКИ ХАЗАРД

2. КОСМИЧКИ ХАЗАРД

2.1. ОСНОВНИ ПОЈМОВИ У ИЗУЧАВАЊУ КОСМИЧКОГ ХАЗАРДА

Космос (гр. *ὁ κόσμος*) је вишезначан појам. У изворној, старогрчкој терминологији означавао је све постојеће, било материјално или нематеријално. Почев од позне антике, у хришћанској терминологији, овај појам означава сав створени свет, и разликује га од нествореног, одн. Бога. Притом, садржи у себи и значење уређености (чак и значење «украс», «украшавање»), хармоније и реда, тј. уређености целокупне творевине или поретка у свету. Почев од позне ренесансе и Новог века, овај појам добија и уже значење: космос, или космички простор, представља сав простор изван граница Земље и Земљине атмосфере, укључујући сва небеска тела (планете, звезде, итд.) – дакле, оно што се још у српском језику именује појмом «свемир». И у овако уже схваћеном појму задржава се значење реда и поретка, одн. уређености система у свемиру/космосу. Дакле, космос сачињавају небеска тела организована у галаксије, и сви остали облици материје и енергије, као и простор (приближно вакуум) у ком се све поменуто налази. Космос је сачињен од галаксија, а свака галаксија је сачињена од звезда (Choudhuri, 2010; Carroll & Ostlie, 2006).

Галаксија је једна космичка целина и можемо је схватити као један део (делић) космоса. Она представља систем сачињен од звезда, звезданих остатака, међузвезданог гаса, космичке прашине и тамне материје, које све заједно на окупу држи сила гравитације. Реч „галаксија” потиче од старогрчког придева *γαλακτικός* који би дословно значио „млечан”, а који се првобитно придавао галаксији Млечни пут због њеног карактеристичног изгледа. У галаксији Млечни пут налази се и Сунчев систем. Галаксије се разликују по величини, односно броју звезда које садрже. На пример, галаксија „патуљака” садржи мање од 100 милиона звезда, док „суперџиновска” галаксија броји преко 10^{12} звезда у себи.

Звезда је астрономски објект сачињен највећим делом (99%) од водоника и хелијума који су у стању плазме (високо јонизован гас на екстремним температурама) те непрекидно емитује енергију - самим тим и масу - као електромагнетно зрачење. Енергија у средишту звезда се ствара термонуклеарним реакцијама, тј. фузијом, а звезда поприма облик светлеће сфере.

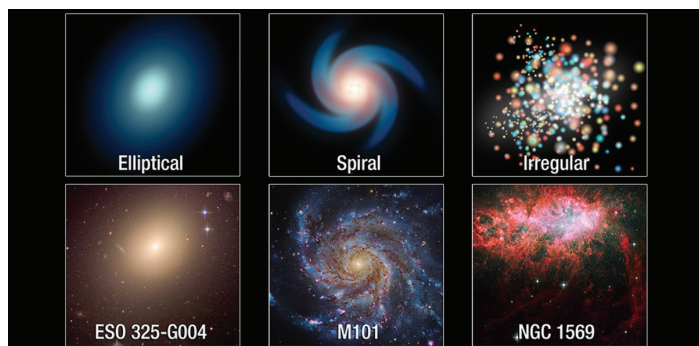
Природни hazard

Звездани остатак, што се још назива и „компактна звезда“, је термин који се односи заједнички на тзв. „беле патуљке“, неутронске звезде и „црне рупе“, а оно што је заједничко овим групама је управо њихова компактност тј. огромна густина (масена густина), која је далеко већа од стандардне материје изграђене од атома.

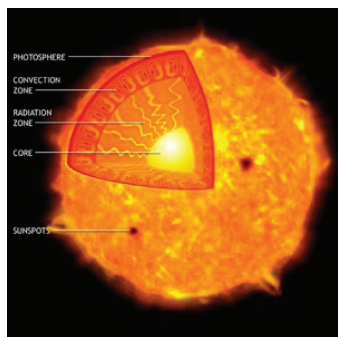
„**Бели патуљак**“ је сваки звездани остатак који представља својеврсни колапс звезде мале или средње масе односно објекат који настаје када оваква звезда „заврши“ свој живот. Након што јој понестане унутрашњег извора енергије, немогућношћу да произведе високе температуре чиме би одржавала реакцију термонуклеарне фузије у свом средишту, звезда се хлади (емитовањем енергије), дешава јој се гравитациони колапс, те постаје енормно велике густине (има нпр. масу Сунца, а запремину Земље).

Неутронске звезде настају у супернова-експлозијама тзв. суперциновских звезда праћеним гравитационим колапсом, имају масу од 10-25 Сунчевих маса, а сачињене су готово искључиво од неутрона.

Слика 6. а) различити типови галаксија, б) звезда (структура Сунца), в) црна рупа



а)



б)



в)

Црне рупе су простори у космосу у којима је гравитациона сила толико јака да ништа (укључујући и светлост) нема довољно енергије да их напусти. Светлост се од њих не може рефлектовати, нити могу светлост емитовати.

Планета је сваки астрономски објект (небеско тело) лоптастог облика који је нити звезда, нити звездани остатак. **Планетарни систем** је систем који садржи све незвездане облике који по орбитама круже око једне звезде.

На небеска тела делују друга небеска тела, гравитационом интеракцијом која се остварује између њих, те се доводе у стање кретања. Са становишта природног hazardа, најважнија су небеска тела мања од планета у које спадају: астероиди, метеори(ти) и комете - и то они (од све три групе) који се налазе у Сунчевом систему.

Комете су специфични астрономски објекти (небеска тела) која се налазе у Сунчевом систему, тј. круже око Сунца, а састоје се од: језгра, тзв. „коме“, „репа“, и водоничног омотача. Њихово име потиче од старогрчког придева κομήτης што би значило „дугокос“ (који има дугу косу), а први га је увео Аристотел (384 – 322 п.н.е.) описујући комете као „звезде са косом“ (OED, 2023). Астрономски симбол за комете је *disk сa реpом* (The Encyclopedia Americana, 1920). Језгро комете је изграђено од прашине, камена, леда и смрзнутих гасова (CO_2 , CO , CH_4 и NH_3) (Greenberg, 1998). „Кома“ је сачињена од млазова прашине и гасова (и доста леда, H_2O), те представља велику, али ретку атмосферу око комете (вишеструко већу од језгра). Услед дејства притиска Сунчевог зрачења и тзв. „соларних ветрова“ формира се „реп“ комете у смеру радијално (удаљавајући се) од Сунца (Clay & Koed, 2003). Реп вишеструко надмашује димензије језгра комете, а изграђен је такође од прашине, гасова и леда, те често дивергира у „реп гасова“ и „прашинасти реп“ (он остаје у кометиној орбити у облику закривљеног репа). Астрономски посебно импозантна појава је овај реп који је видљив на небу и увек окренут супротно од Сунца. Оба репа комете бивају осветљена Сунцем и могу се видети са Земље када комета прође кроз унутрашњи део Сунчевог система.

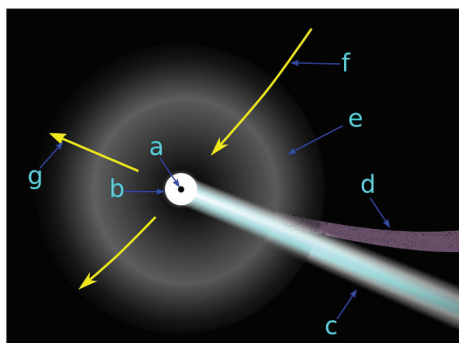
Орбите (путање) комета су непрестано подложне променама: изворно су доминантно биле у спољашњем делу Сунчевог система, а често трпе поремећаје при проласку поред (близу) великих планета. Каткад се дешава да се неке комете веома приближе Сунцу, те испаравају, а неке трајно напусте Сунчев систем. Својствено им је да се изненада појаве на небу.

Док је пречник језгра комете најчешће до 50 km, кома може достићи вишеструко већи пречник, док реп комете бива покатак дужи и од једне астрономске јединице (150 милиона km). Једна хипотеза о пореклу воде на Земљи наводи комете као могући извор.

Природни хазард

Већина комета емитује премалу количину енергије (сјај им је преслаб) да би се виделе голим оком, односно без телескопа. Ипак, неколико комета поседује довољно сјаја, чиме их је могуће видети сваке деценије и голим оком. Пре проналаска телескопа изгледало је да се комете појављују ниоткуда и нестају из вида. Из античких извора је познато да су биле примећиване миленијумима.

Слика 7. Структура комете (a - језгро, b - кома, c - реп гасова, d - прашинасти реп, e - водонични омотач, f - путања комете, g - смер ка центру Сунца)



Астероиди (грч. ἀστήριδής, *asteroides* = *звездолук*) или **планетоиди** су мала чврста (стеновита) тела у планетарним системима, много мања од планета и патуљастих планета (и најчешће неправилног тј. несферичног облика), али већа од метеороида (Bottke et al., 2005). Дефинишу се као астрономски објекти који немају потпуне особине ни планета ни комета. Настали су од остатака протопланетарне материје која се није припојила планетама за време формирања система из протопланетарног диска или касније, динамичком еволуцијом комета, или неких других објеката. Најчешће круже око матичне звезде властитом путањом или као сателити већих планета. Неке од њих налазимо везане гравитационим силама уз планете, у групама које орбитирају у путањи планета. Према открићу из 1993. године, уочено је да астероиди могу имати властите сателите (Kerrod, 2000).

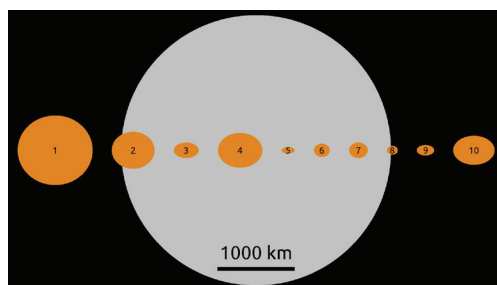
Већина астероида у Сунчевом систему налази се у астероидном појасу између Марса и Јупитера, тзв. **Кајперовом појасу** (Pitjeva, 2018). До сада их је откривено преко 170.000, а око 11.000 их је, поред каталогског броја, добило и властита имена. Процењује се да би их у Сунчевом систему могло бити и до неколико милиона (Kerrod, 2000).

У почетку су астероиди били подељени у три групе према саставу површинског материјала, односно према својствима површине: боји, албеду (коефицијенту рефлексије) и спектралном типу (Bottke et al., 2005). Број група у овој подели расте с открићима нових астероида и тренутно их има 14 (Kerrod, 2000).

Слика 8. (а) морфологија астероида *Веста* (лево) и *Церес* (у средини), и Месеца (Земљин сателит, десно); (б) поређење димензија Земљиног Месеца (сиво) и неколико астероида Сунчевог система (жуто): Церес, Палас, Јунона, Веста, Астреа, Хеба, Ирида (од 1 до 7).



а)



б)

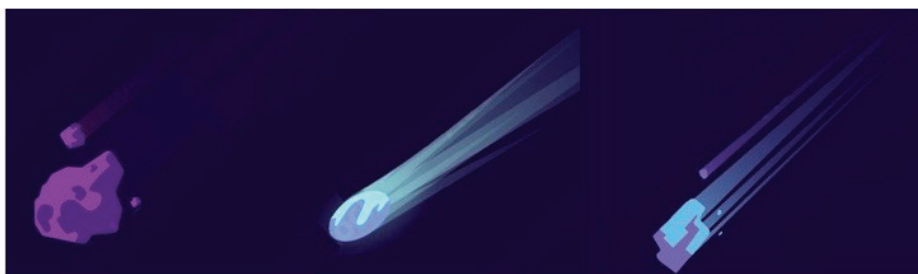
Понекад се астероид судари са другим астероидом или са неком планетом, што често доводи до откидања комада астероида. Ови комади се зову **метеороиди**. На исти овај начин метеороиди могу настати и из комета. Можемо рећи за метеороиде да су то мала небеска тела, мања од астероида (планетоида) тј. стеновити или метални фрагменти релативно малих димензија (варирају од димензија честице прашине до већих комада стена), а према класификацији усвојеној од Међународне астрономске уније, њихова маса варира од 10^{-9} kg до 10^7 kg (Rubin & Grossman, 2010).

Метеороид може бити део планетне стене или слични остатак из времена настајања Сунчевог система који кружи око Сунца. Метеороиди најмањих димензија се називају микрометеороиди. Ова тела настају и при сударима астероида (са другим астероидом или са планетом) или испаравањем материјала са комета (залеђени гас се топи под утицајем Сунчеве топлоте и ослобађа заробљене комаде стена и прашине) (Millman, 1961; Bronshten, 2012). Уколико метеороид улети великом брзином у атмосферу планете, загреје се и сагори, због огромне силе трења која делује на њега, може

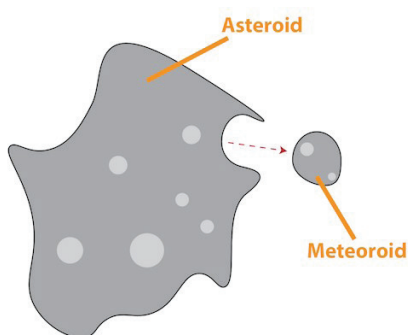
Природни хазард

оставити светли траг за собом. Ова појава се назива **метеор**. Довољно велики метеороиди не успевају цели да сагоре у атмосфери и један њихов део може пасти на Земљу. Такви камено-метални остаци зову се **метеорити**.

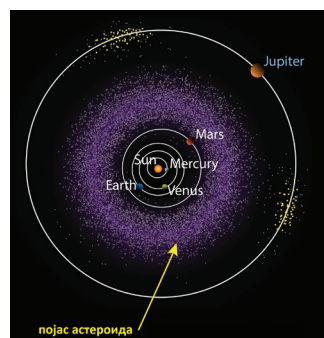
Слика 9. Илустрација астероида (планетоида), комете и метеороида (респективно, с лева на десно)



Слика 10. (а) разлика између астероида и метеороида, (б) појас астероида између Марсове и Јупитерове орбите, в) метеорска „киша”.



а)



б)



в)

Појас астероида представља космички простор (појас) у ком се налазе стеновити астрономски објекти (небеска тела) различите величине - астероиди, метеороиди - а чије орбите око Сунца (путање) се налазе већином између Марсове и Јупитерове орбите (Pitjeva, 2018). Небеска тела у овом појасу су на удаљености од Сунца између 1.5 и 5 AU (астрономска јединица = 1 AU (astronomical unit) = 149 597 871 km). Већина астероида унутар појаса имају орбиталне ексцентрицитете мање од 0.4 и инклинацију (релативни нагиб орбите) мању од 30° (Williams, 2010). Понекад се користи појам „главни појас“ који се односи на компактнији, централни део појаса, где је највећа концентрација тела (највећа густина њихових путања), а којима је растојање од Сунца између 2.1 и 3.3 AU. Већина метеороида који падну на Земљу долази баш из овог дела Сунчевог система.

2.2. УДАРИ НЕБЕСКИХ ТЕЛА У ЗЕМЉУ

Под појмом *космички судар* подразумевамо судар два астрономска објекта који за последицу има мерљиве (незанемарљиве) ефекте. Они се редовно дешавају у планетарним системима.

2.2.1. Удар астероида или комете у Земљу

Од античког времена до данас, у интервалима од неколико стотина година, Земљу је погађао тзв. NEO (Nonidentified Extraterrestrial Object = „неидентификовани ванземаљски објекат“) и најчешће довољно велик да може оставити изузетно разарајуће последице. Пребацујући се са скале векова на скалу миленијума, могуће је очекивати катастрофу упоредиву са онима највећим познатим у Земљиној историји (Pike, 1991). У домену природног хазарда, током нашег живота постоји шанса, иако мала (отприлике 1 : 10.000), да Земљу погоди астрономски објекат толико велики, који би на глобалном нивоу уништио изворе хране и изазвао крај данашње цивилизације (Shoemaker et al, 1990).

Мали објекти, какви су обично метеори, најчешће утроше своју кинетичку енергију у горњим слојевима атмосфере при чему немају више могућност да остваре директан утицај на Земљину површину, на коју доспевају, изузев у случају када је пречник пројектила већи од 10 m (чиме постаје претња за људе). Према величини и/или кинетичкој енергији коју поседују, астрономски објекти и њихови удари на Земљину површину могу се поделити у три категорије (Sharpton & Grieve, 1990; Covey et al., 1990):

Категорија 1: Објект (најчешће метеор) нестаје пре судара са Земљином површином, предавши своју енергију атмосфери, изазивајући само локалне ефекте.

Категорија 2: Тело доспева до Земљине површине имајући довољно кинетичке енергије да изазове кратер, такође изазивајући само локалне ефекте (мада азотни оксиди и прашина могу покрити велику површину), али и појаву *цунамија* (велики талас) уколико тело падне у море.

Категорија 3: Удар који би створио велики кратер произвео би количину прашине довољну да изазове краткотрајну глобалну промену климе праћену разарајућим ефектима у области самог удара.

Граничне вредности пречника и брзина падајућих објеката за сваку од наведених категорија пројектила зависе од њихове густине, снаге и брзине, као и од природе мете. Праг вредности довољан да изазове катастрофу глобалних размера на Земљи није прецизно одређен.

Категорија 1: тело пречника 10 – 100 m

Мали астрономски објекти, пречника приближно минималном наведеном и нешто већи (10-30 m) погађају Земљу сваке деценије, док они пречника 100 m и већи погађају Земљу у просеку неколико пута у миленијуму (Wheeler & Mathias, 2019). Величина ових објеката обрнуто је пропорционална учесталости њихових удара. Установљено је да је учесталост удара астрономских објеката у Земљу обрнуто пропорционална отприлике трећем степену пречника насталог кратера на Земљиној површини ($p \sim 1/d^3$, где је p учесталост, која се може изразити као вероватноћа, док је d пречник насталог кратера) (Arvidson et al., 1979). Величина насталог кратера директно је сразмерна величини тела (објекта) који удари у површину. Кинетичка енергија једног пројектила пречника око 10 m који крећући се у Земљиној атмосфери постиже типичну брзину од око 20 km/s еквивалентна је количини енергије која се ослободи експлозијом око **100 килотона TNT** ($1 \cdot 10^5$ t), што приближно даје разорну моћ неколико бомби бачених на Хирошиму. Кинетичка енергија небеског тела пречника ~ 100 m ударом у површину Земље постиже ефекат експлозије око **100 мегатона TNT** ($1 \cdot 10^8$ t), што одговара ефекту експлозије највећих водородних бомби (Melosh & Collins, 2005).

Само ретки 10–метарски пројектили, после пробијања кроз атмосферу поседују довољан део почетне енергије да би при удару у површину Земље начинили кратер (што подразумева значајнију геолошку промену на месту удара и ближејој околини), као што је нпр. то био случај у области **Сихоте–Алин**, у далекоисточној области Русије (тадашња СССР) 1947. године (Gallant, 1996).

У Тунгуској области 30. јуна 1908. године се тело пречника ~ 60 m разорило у атмосфери на висини између 6 и 10 km од Земљине површине – тзв. „тунгуска експлозија” (Shoemaker, 1983). Ослобођена енергија је износила између 10 и 15 мегатона TNT-а, како је утврђено према ударном таласу регистрованом у метеоролошким барографима чак у Енглеској или преко 20 мегатона TNT-а ако се узме у обзир пречник разарања (Wheeler & Mathias, 2019). Стабла сибирске шуме су била оборена у пречнику од око 20 km од замишљене крајње тачке путање пројектила (тачке где би пројектил ударио у тло), док су нека била ишчупана или оборена и на удаљености већој од 40 km. Сигурни докази сугеришу да је пожар избио у кругу од 15 km од центра удара и да је био изазван наглим ослобађањем огромне количине енергије (слично експлозији). Уочени ефекти били су јако слични онима који би се очекивали од нуклеарне експлозије изведене на истој висини, само без пратећих ефеката (трагова) емисије неутрона, гама-зрачења или неког другог облика зрачења (Jenniskens, 2019).

Посебан ризик појаве једног феномена, односно природног хазарда као што је тунгуски, лежи у могућности неспоразума и погрешне интерпретације да је дошло до употребе нуклеарног оружја, нарочито у турбулентним регионима и државама. Да би се избегле могућности аутоматског одговора, сама вероватноћа таквог неспоразума повећава потребу за подизањем опште јавне свести везане за праву природу могућих појава „необичних пламених лопти на небу” (Gritzner, 1997).

Астероид (99942) *Apophis* има пречник од око 300 m и очекује се да ће 13. априла 2029. проћи поред Земље на удаљености од око 31.000 km. Седам година касније ће опет проћи поред Земље, као и 2068. године, али ће и та оба пута промашити Земљу. До 2023. године откривено је преко 30.000 објеката са орбитама које их доводе близу Земље (Near-Earth objects, NEO), а око хиљаду њих су астероиди пречника једног или више километара. Укупно 2377 од познатих NEO су класификовани као потенцијално опасни астероиди (Potentially Hazardous Asteroids, PHAs).

Природни хазард

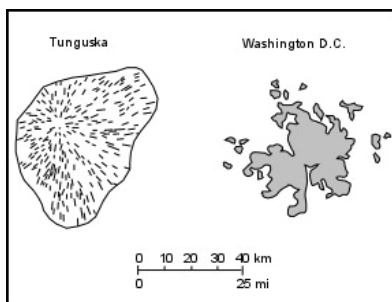
Слика 11. (а) Илустрација највероватније интерпретације „тунгуске експлозије” - експлозија метеорита над Земљином површином у Тунгуској области (Русија), 30. јуна 1908. године; (б) последице експлозије на локалну флору - радијално оборена стабла код места експлозије (фотографију начинио Л.А. Кулик током експедиције у Тунгуску област, 1927.); Величина територије захваћене експлозијом у Тунгуској области и величина града Вашингтона, USA.



а)

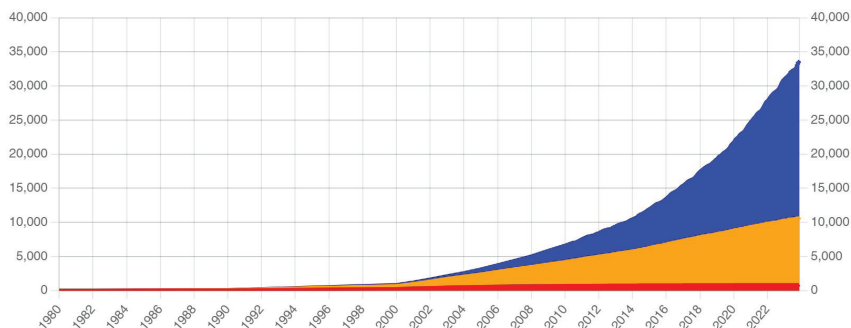


б)



в)

Слика 12. Укупан број откривених NEO (вертикална оса) по годинама (хоризонтална оса), у периоду од 1980. до 2023. године (црвено: пречник NEO ≥ 1 km, жуто: пречник NEO ≥ 140 m, плаво: пречник < 140 m).



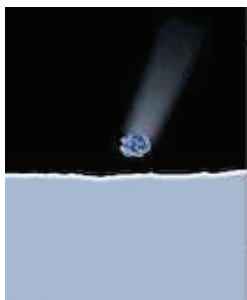
Категорија 2: тело пречника 100 – 1000 m

Долазећи метеорит (камени/метални) може се неоштећен пробити кроз Земљину атмосферу и створити кратер на њеној површини. Геолошки докази о постојећим кратерима, као и бројна теоријска разматрања, говоре нам да је у просеку величина каменог метеорита од **150 m** довољна да направи кратер на површини Земље (гранична вредност њихове величине неопходна за формирање кратера зависи од специфичне густине тела, као и од брзине и угла под којим улази у Земљину атмосферу) (Melosh, 1989). Они погађају земљу на сваких 5.000 година и – ако падну на копно – производе кратере величине око 3 km, док избачени материјал из таквих кратера покрива област пречника око 10 km (Paine & Peiser, 2002). Зона разарања се протеже далеко преко те области и у њој би куће биле срушене, делом услед ударног атмосферског таласа, а делом од избачених летећих остатака. Укупна површина разарања, додуше, није неопходно већа од штете изазване сударом са неким мањим објектом, пошто велики део енергије пројектила бива апсорбован од стране тла приликом стварања кратера (Bostrom, 2002). Према томе, створени ефекти су још увек првенствено локални.

Интерполације резултата при мањим вредностима сугеришу да су „локалне” зоне катастрофе услед удара тела од 1 km у стању да прекрију читаве државе, са десетинама милиона жртава у густо насељеним областима (Gritzner, 1997). На том нивоу почињу да се јављају глобални поремећаји, као што је нпр. промена хемијске структуре атмосфере и њено хлађење изазвано прашином – можда слично „години без лета” 1815-ој, када се догодила снажна ерупција вулкана **Gunung Tambora у Индонезији** (Stothers, 1984).

Комете се много лакше распадају на ситније делове од астероида (будући да су састављене углавном од воденог леда и других лако испарљивих једињења), а оне од њих величине 100-1000 m вероватно нису у стању да преживе пролазак кроз атмосферу, мада би створиле велики атмосферски удар довољно снажан да изазове локална разарања.

Слика 13. Фазе формирања ударног кратера: (а) долази до удара, (б) пројектил испарава и ударни талас се шири кроз подлогу, (в) стене у тлу се разарају и фрагменти се избацују, (г) већина избаченог материјала пада натраг и испуњава кратер, формирајући „ејектни покривач“.



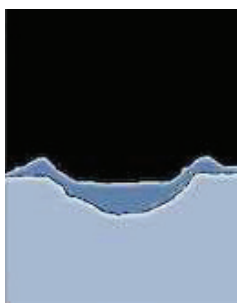
а)



б)



в)



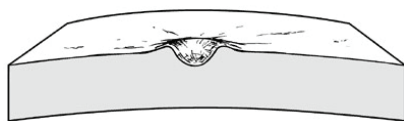
г)

Категорија 3: тело пречника 1 – 5 km

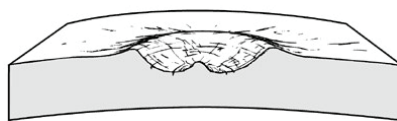
Кратер настао од удара небеског тела пречника **1 – 5 km** у површину Земље би имао димензије 10-15 пута веће од пречника тела (нпр. 10 – 15 km за астероид од 1 km (Kenkmann et al., 2005). У просеку, један такав кратер (један удар тела те величине) се на континентима јавља отприлике једном у **300.000 година** (Paine & Peiser, 2002). Главни ризик у случај пројектила већих од 1 km је везан за глобални облак прашине који би био избачен у стратосферу: суровост глобалних последица расте са повећањем величине ударног тела и количином избаченог материјала. Процењује се да су појектили дијаметра 5 km (и већи) у стању да изазову глобални пад средње годишње температуре за бар 0.3–0.5 °C, промену годишње динамике и количине падавина, изостанак жетви широм света (као последица претходног), те створе претњу опстанку целокупне цивилизације, самим тим и опстанку човека. (Rumpf et al., 2017). Судари са телима од 5 km и већим могући су једном на сваких **10-30 милиона година**.

У случају удара оваквог објекта у Земљу, најпре би се догодио заслепљујући светлосни феномен, затим чула заглашујућа експлозија (при којој би одмах испарио један део ударног тела и погођене мете), а ово би потом суочило биљни и животињски свет Земље са једним врелим ударним таласом у трајању од око 30 минута. Сеизмолошке станице широм света би вероватно биле у могућности детектовати овај ударни талас. Прашина избачена из огромног ударног кратера би одмах изазвала глобални мрак на Земљи у трајању од неколико месеци, а уследио би глобални пад температуре на Земљи. Азотна киселина створена сагоревањем атмосферског азота (услед високих температура у зони удара/експлозије) створила би кисела језера, блато и можда површински кисели слој на океанима (Rumpf et al., 2017). Месецима касније, са прочишћавањем атмосфере, огромна количина ослобођене водене паре и угљен-диоксида у стратосфери драстично би појачали ефекат „стаклене баште“, вероватно подижући глобалну температуру за $\sim 10^\circ\text{C}$ у односу на температуру пре катастрофе. Ово глобално отопљавање би могло трајати чак и деценијама потом. Загревање тла би доводило до повећања влажности тропосферског ваздуха, те даљег повећања ефекта „стаклене баште“, што би повећало такође и ослобађање угљен-диоксида са површина океана (који би се загрејали у површинским слојевима). Првобитни мрак и пад температуре, а затим њено дугогодишње повећавање, сигурно би изазвали стрес целокупног живог света и били узрок озбиљне редукције и копненог и морског живота (праћено изумирањем многих врста) (Morrison et al., 1994).

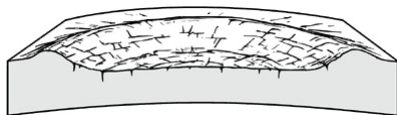
Слика 14. Ударни кратери на Земљиној површини: (а) мали кратери – пречник је до 25 km, (б) средњи кратери – пречник је 25-130 km, (в) велики кратери – пречник је ≥ 130 km, (г) Реакција Земљине коре на ударац астероида - формирање ударног кратера и последице (механика) удара.



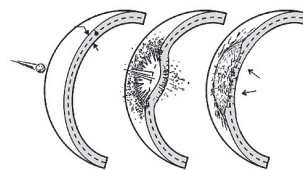
а)



б)



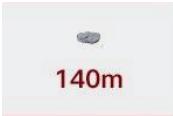
в)



г)

Природни хазард

Табела 2. Какви су изгледи да Земљу удари астероид? Бројност астрономских објеката појединих величина у близини Земље, учесталост њихових судара са Земљом и размере истих.

Величина астероида	Учесталост	Колико их има?	Врста штете
 25m	Једном у 100 година	5 милиона близу Земље (0.4% уочено)	Експлозија приликом пада – може изазвати повреде
 140m	Једном у 20 000 година	25 000 (39% уочено)	Кратер од 1-2 km – могућ велик број жртава
 1.000m	Једном у 500 000 година	900 ($\geq 95\%$ уочено)	Кратер од 10 km – глобална катастрофа
 10.000m	Једном у 100-200 милиона година	4 (100% уочено)	Кратер од 100 km – масовно изумирање

Распрострањење сила по ударцу у планету Земљу рачунарски је моделовано, да би се испитала теорија која претпоставља да је вулканско пуцање Сибирске платформе, и изливање базалта на њој, настало због удара великог астероида у Земљу – било у области Shaanxi у данашњој Кини, или у Wilkes Land у близини Јужног пола – од чега је као реакција пукла Земљина кора у простору данашњег региона „Сибирске трапе“. Поменуто изливање базалта које је започело пре око 260 милиона година и трајало око милион година, довело је до највећег масовног изумирања живог света у историји планете (већег чак и од оног од пре 65 милиона година, када је ударац астероида на прелазу из мезозоика у кенозоик односно из геолошког периода креде у геолошки период терцијар, довео до изумирања диносауруса) (Kenkmann & Hörz, 2005).

Табела 3. Преглед значајнијих кратера на Земљи

Име	Локација	Пречник (km)	Старост ($\times 10^6$ год.)	Координате
Vredefort	Free State, South Africa	170-300	2020	27°0'S 27°30'E
Sudbury	Ontario, Canada	130-250	1850	46°36'N 81°11'W
Chicxulub	Yucatán, Mexico	170-180	65	21°20'N 89°30'W
Manicouagan	Quebec, Canada	100	214	51°23'N 68°42'W
Popigai	Siberia, Russia	100	35.7	71°39'N 111°11'E
Chesapeake Bay	Virginia, United States	90	35.5	37°17'N 76°1'W
Acraman	South Australia, Australia	90	590	32°1'S 135°27'E
Puchezh-Katunki	Nizhny Novgorod Oblast, Russia	80	167	56°58'N 43°43'E
Morokweng	Kalahari Desert, South Africa	70	145	26°28'S 23°32'E
Kara	Nenetsia, Russia	65	70	69°6'N 64°9'E
Beaverhead	Idaho and Montana, United States	60	600	44°15'N 114°0'W
Tookoonooka	Queensland, Australia	55	128	27°7'S 142°50'E
Charlevoix	Quebec, Canada	54	342	47°32'N 70°18'W
Siljan	Dalarna, Sweden	52	377	61°2'N 14°52'E
Karakul	Pamir Mountains, Tajikistan	52	5	39°1'N 73°27'E
Montagnais	Nova Scotia, Canada	45	50	42°53'N 64°13'W
Araguainha	Central Brazil	40	244	16°47'S 52°59'W
Saint Martin	Manitoba, Canada	40	220	51°47'N 98°32'W
Mjølnir	Barents Sea, Norway	40	142	73°48'N 29°40'E
Woodleigh	Western Australia, Australia	40	364	26°3'S 114°40'E
Carswell	Saskatchewan, Canada	39	115	58°27'N 109°30'W
Clearwater	West Quebec, Canada	36	290	56°13'N 74°30'W
Manson	Iowa, United States	35	73.8	42°35'N 94°33'W
Yarrabubba	Western Australia, Australia	30	2000	27°10'S 118°50'E
Keurusselkä	Western Finland, Finland	30	1800	62°8'N 24°36'E
Shoemaker	Western Australia, Australia	30	1630	25°52'S 120°53'E
Slate Islands	Ontario, Canada	30	450	48°40'N 87°0'W

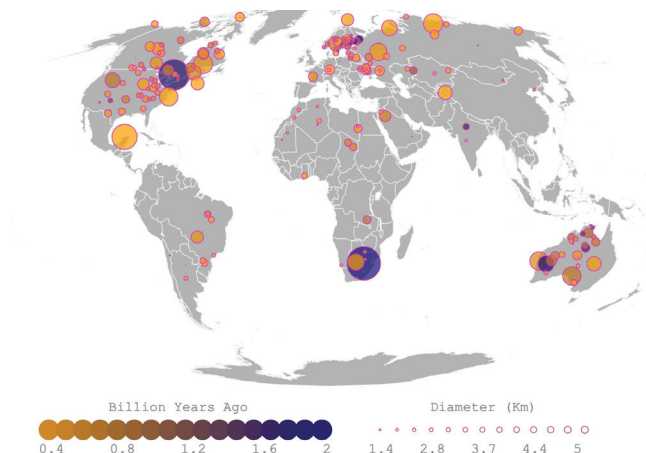
Природни хазард

Mistastin	Newfoundland & Labrador, Canada	28	36	55°53'N 63°18'W
Clearwater	East Quebec, Canada	26	290	56°04'N 74°06'W
Kamensk	Southern Federal District, Russia	25	646	48°21'N 40°30'E
Steen River	Alberta, Canada	25	91	59°30'N 117°38'W
Strangways	Northern Territory, Australia	25	646	15°12'S 133°35'E
Boltysh	Kirovohrad Oblast, Ukraine	24	65.17	48°54'N 32°15'E
Nördlinger Ries	Bavaria, Germany	24	14.8	48°53'N 10°34'E
Presqu'île	Quebec, Canada	24	500	49°43'N 74°48'W
Haughton	Nunavut, Canada	23	39	75°23'N 89°40'W
Lappajärvi	Finland	23	73.3 ± 5.3	63°12'N 23°42'E
Rochechouart	France	23	214 ± 8	45°49'27"N 0°46'54"E
Gosses Bluff	Northern Territory, Australia	22	142.5 ± 0.8	23°49'15"S 132°18'28"E
Amelia Creek	Northern Territory, Australia	20	1130 ± 530	20°55'S 134°50'E
Logancha	Siberia, Russia	20	40 ± 20	65°31'N 95°56'E
Obolon'	Poltava Oblast, Ukraine	20	169 ± 7	49°35'N 32°55'E

2.2.2. Удар астероида – вероватноћа и ризик

Гранична вредност пречника астероида који би изазвао горенаведене ефекте је позната и износи око 10 km, будући да геохемијско-палеонтолошки докази указују на то да је пре 65 милиона година ударац NEO приближно те величине (тзв. „К-Т судар“) ослободио енергију од ~ **100 megatona** и потом довео до истребљења скоро 50% живих врста на планети Земљи. Слично истребљење живог света дешавало се неколико пута током протеклих више стотина милиона година и верује се да су за многе од њих одговорни управо овакви судари (Shoemaker et al, 1990; Covey et al., 1990).

Слика 15. Позиције ударних кратера на земљи (кратери испод океана и мора изостављени)



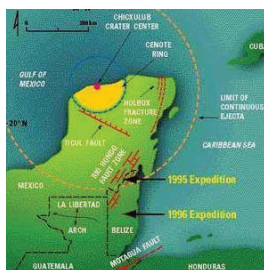
Слика 16. Изглед ударних кратера: (а) ударни кратер Aorounga, Чад (старост ~ 340 милиона год.) и (б) ударни кратер Manicouagan, Канада (старост ~ 214 милиона год.); (в) ударни кратер Chicxulub, старости око 65 милиона година изазван ударом астероида, за који се претпоставља да је резултовао глобалном катаклизмом на Земљи, што је довело и до масовног изумирања великог броја живих врста, између осталог и диносауруса.



а)



б)



в)

Ово би, са једне стране, довело до наглог пада фотосинтезе, огромног пропадања биљног света, изостанка жетви и биљних прехранбених производа, али с друге стране и до вероватног наглог потпуног уништења великог броја животињских врста, што би све резултовало и масовним помором од глади великог дела човечанства. Ипак, данас се још увек не зна довољно о зависности степена ове смртности од величине ударног тела. Свакако, остаје отворено питање колико су флексибилни наша пољопривреда, економија и друштвено организовање и колико би се могли суочити са катастрофом оваквих размера без преседана.

Ове непознанице се могу представити и као широк дијапазон потенцијалних последица у зависности од величине (или енергије) ударног тела, или као одређену скалу глобалне катастрофе изазване одређеном величином ударног тела. Други начин би био уколико бисмо изразили неодређености као граничне вредности величине пројектила који би могао изазвати општу катастрофу ових размера (укључујући неке или све од побројаних последица):

- уништење већине светских извора хране,
- смрт више од четвртине светске популације,
- глобални климатски ефекти (слични онима за које се претпоставља да би наступили у случају тзв. „нуклеарне зиме“),
- угрожена стабилност и будућност модерне цивилизације.

Катастрофа са макар једном (а поготово већим бројем) од ових последица засигурно би имала драстичне последице по човечанство. Да бисмо схватили стварне размере овакве катастрофе, изазване ударом огромног пројектила у Земљу треба за почетак разумети да те размере далеко превазилазе збирни ефекат свих ратова у историји човечанства, а резултат су ударне експлозије много веће од експлозије неколико десетина највећих до сада направљених термонуклеарних (хидрогенских) бомби истовремено детонираних. С друге стране, ефекти удара једног оваквог пројектила пречника 5 km (о којем дискутујемо) далеко су мањи од ефеката удара пројектила на прелазу из Креде у Терцијар („К–Т судар“) од пре 65 милиона година (тек нешто више од 1% енергије тог удара). Дакле, реч је о катастрофи која би могла бити претња цивилизацији у смислу огромне промене у њеном историјском току, али ипак не о размерама апокалипсе у смислу истребљења људске врсте. Колико минимално мора бити ударно тело да изазове глобалну катастрофу такве размере? Већина научника се саглашава са претпоставкама које је изнео **Brian Toon** (NASA AMES Research Center) на конференцији о NEO у San Juan Capistrano (CA, USA) 1991. године, да минимална величина пречника

ударног тела мора бити око 2 km да би изазвала на Земљи последице „епских размера“. Од бројних ефеката таквог удара на околину, вероватно најозбиљнији би био изазван субмикрометарском прашином која би доспела до стратосфере, будући да се ултрафина прашина задржава као суспензија у атмосфери много дуже него крупне честице, а модели глобалне температуре указују на могућност да ова прашина изазове приметан пад температуре и велике последице на светску пољопривреду. Количина овакве прашине потребна за глобалне климатске промене процењује се на око **10.000 тераграма (Tg)** тј. око 10^{13} kg ($1 \text{ Tg} = 10^{12} \text{ g} = 10^9 \text{ kg}$). Уколико се ударно тело креће брзином око 30 km/s, гранична величина таквог небеског тела могла би бити и мања, већ између 1 и 1,5 km у пречнику. Удари објеката величине 1-5 km у пречнику статистички се дешавају неколико пута у милион година.

2.2.3. Анализа ризика: процена вероватноће и разорности

Ако су изложена предвиђања о катастрофалном удару небеског тела тачна, онда су шансе за астероидну катастрофу у скорој будућности – мада мале – веће од многих претњи по људске животе које данашње друштво узима врло озбиљно. Проценићемо овде, ради разматрања, да се такви глобално катастрофални судари дешавају једном у 500,000 година, тј. два пута у милион година (треба имати у виду да учесталост можда може бити и већа од тога – мада вероватно не увећана више од два пута – али можда и умањена за *faktor deset*) (Paine & Peiser, 2002). Будући да је вероватноћа да се судар неког NEO-а са Земљом догоди у у блиској будућности веома мала (1: 200,000 до 1: 5,000,000), такав ризик је јединствен одн. непоновљив у нашем искуству (Bostrom, 2002). Скоро сви ризици са којима се суочавамо у животу дешавају се заправо некеме кога познајемо или за кога смо чули у медијима, будући да никада у читавој познатој људској историји није забележен неки тако јак удар великог космичког тела (ако се неки такав догађај десио у освит човечанства, пре око 10-20 хиљада година, о томе нема нити писаних/ усмених сведочанстава, нити материјалних доказа чврсто утемељених на фосилним остацима). Насупрот многим познатим катастрофама, предвиђени судар би довео до масовног страдања на глобалном нивоу (Barnes-Svarney, 1996; Rumpf et al., 2017). Природне катастрофе - укључујући торнада и циклоне, земљотресе, цунамије, вулкане и поплаве - обично убијају хиљаде људи, а врло ретко по неколико милиона људи, док би овако страхотни удар превазишао све наведене, и изазвао смрт можда и милијарду или више људи (отприлике у оном проценту смртности који је половином XIV века забележен у Европи током пандемије куге).

Преглед вероватноћа различитих аспеката удара и начина њихових израчунавања

Глобално катастрофичан удар:

- просечан интервал између удара: 500.000 година

Удар класе у Тунгуској области (100 m):

- просечан интервал између удара за читаву Земљу: 300 година
- просечан интервал између удара за насељени део: 3000 година
- просечан интервал између удара за урбана насеља: 100 000 година
- просечан интервал између удара само у урбани део Европе: 1 000 000 година.

Ове вероватноће израчунавамо множењем иницијалног интервала (300 година) коефицијентом који одговара количнику датог аспекта (нпр. површина насељеног дела Земље) и укупне површине Земље.

Годишња вероватноћа са смртним исходом је производ:

- a) вероватноће да се удар догоди и
- b) вероватноће да такав догађај доведе до смрти било које јединке.

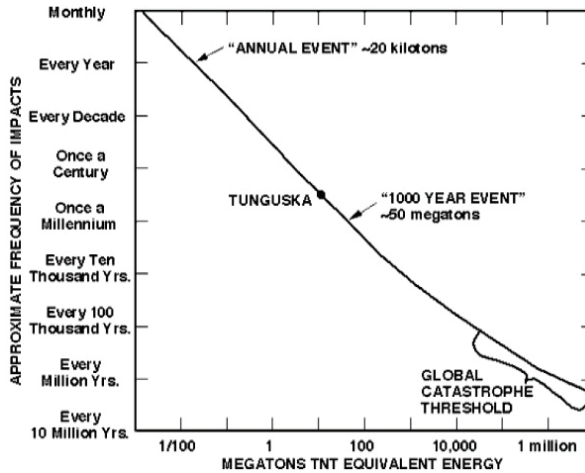
Стога, вероватноће за *глобално катастрофичан удар* су:

- просечан интервал између удара за целу Земљу: 500.000 godina
- годишња вероватноћа судара: 0,000002 (= 1/500.000)
- вероватна смртност услед удара: четвртина светске популације
- вероватноћа смрти појединца: $\frac{1}{4}$
- годишња вероватноћа смрти појединца: 1/2.000.000

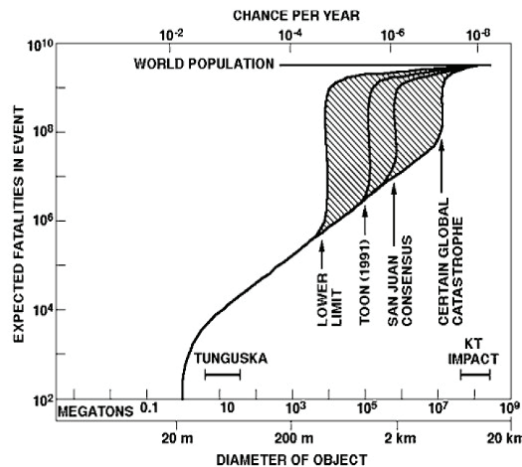
Вероватноћа за *удар класе Тунгуска област*:

- просечан интервал између удара за целу Земљу: 300 година
- вероватна површина разарања и тоталне смрти од удара: претпоставимо да је $\sim 5000 \text{ km}^2$ ($\approx 1/100.000$ Земљине површине)
- годишња вероватноћа смрти појединца: 1/30.000.000.

Слика 17. Очекивана учесталост удара у Земљу, са садашњом густином комета и астероида и упоређено са Месечевим кратерима. Приказан је еквивалент енергије у мегатонама TNT (предвиђања Shomaker-a из 1983. године).



Слика 18. По ризику очекиване смртности у функцији пречника (и енергије) доминира велики удар.



Будући да удар астероида пречника неколико km представља претњу изазивања глобалне еколошке катастрофе са могућим размерама људских жртава од преко милијарду, први корак у смањивању овог ризика је идентификовање астероида већих од 1 km у пречнику који имају потенцијал да се сударе са Земљом. Иако објекти величине између 100 m и 1 km

изазивају појединачно мање последице при удару у Земљу, и њих треба увести у редовито осматрање, због њихове веће фреквентности (што увећава последице збирно (кумулативно), самим тим и укупни ризик). Поред тога, треба много детаљније и пажљивије истражити и комете, и међу њима посебан фокус сместити на она за која се установи да имају потенцијал да се сударе са нашом планетом. Иако комете чине само 5–10 % ударних тела преко наведене критичне величине, због њихове велике брзине би стварали ударне кратере пречника преко 20 km са учесталошћу од бар 25% више него астероиди. Људи показују широк спектар разних начина реаговања на различите степене ризика. Мада се најчешће фокус ставља на могуће глобалне катастрофе због ужасних размера и садржаја, поједини геолози и астрономи сматрају да претња удара тела величине оног из Тунгуског догађаја (из 1908. године) ствара много више основа за бригу, иако представља појединачно мањи ризик по људске животе. Ради заштите од таквих догађаја (и слабљења њихових могућих ефеката), објекте од ~ 100 m треба лоцирати пре њиховог уништења, а свакако и правовремено евакуисати локално становништво. Широка мрежа за посматрање, дизајнирана за откривање и праћење већих астероида и комета, већ је открила десетине хиљада објеката величине од 100-1000 m који се могу опасно приближити Земљи (Barnes-Svarney, 1996).

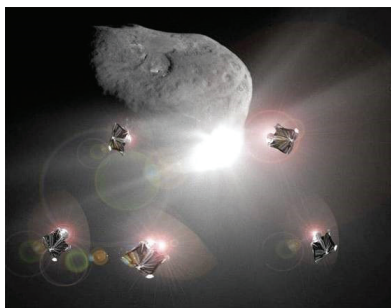
2.2.4. Мониторинг, превентива и одбрана од космичког хазарда

Државе које развијају водеће свемирске технологије данашњице (попут САД, Русије, Кине, итд.) интензивно прате кретања потенцијално опасних NEO (астероида, комета, метеороида).

За одбрану Земље од удара потенцијално опасних објеката развијају се различите технологије: микросателити, огледала, нуклеарно оружје (за нуклеарне ударе у космичке објекте), гравитациони трактори. Технологија микросателита није скупа, производи се у САД, Канади и Уједињеном Краљевству, али има недостатке: у случају ургентног стања приближавања неког објекта Земљи, било би потребно близу две године да се систем склопи и покрене. Сврха микросателита је да утиче на објект који иде према Земљи, да му измени путању, а не да га уништи. Раније технологије за мењање курса кретања астероида (тј. за скретање са путање) користиле су свемирске летелице које би физички одгурале објекат или га скренуле помоћу „соларних једара” која се покрећу помоћу снаге Сунчевог ветра. Гравитациони трактор је уређај који својим гравитационим пољем, иако малим, може пренети импулс астероиду и скренути му путању. Кад је већи објекат у питању, неизбежно је коришћење нуклеарног оружја.

Прорачунима NASA-е од пре неколико година процењено је да ће астероид „Апофис” (Aporhis) проћи на око 32.000 km од Земље 2029. године, а шансе да удари Земљу у поновном проласку поред ње 2036. године процењене су на око 1:45000 (у каснијим прорачунима је ово опало на 1:250.000). Настојања тимова за свемирски развој у водећим светским велесилама усмерена су на превентивни развој система за спречавање удара астероида било скретањем са путање или његовим разарањем. Било који план за скретање астероида са путање, ради онемогућавања судара са Земљом, захтева нужно међународну координацију и сарадњу.

Слика 19. (а) Соларна једра и (б) гравитациони трактор за дефлексију путање астероида



а)



б)

2.3. КОСМИЧКО ЗРАЧЕЊЕ

Земљина атмосфера је свакодневно изложена „бомбардовању” разним честицама: *протонима, неутринима, алфа-честицама* (језгра хелијума), *електронима*, као и пратећим фотонима (квантима електромагнетног зрачења) различитих таласних дужина – радио-таласима, микроталасном и инфрацрвеном зрачењу, као и *UV-, x- и γ -зрацима*. Све ове појаве заједно се називају космичким зрачењем, јер потичу из разних делова космоса (Sharma, 2008).

2.3.1. Извори γ - („гама“) зрачења

Порекло и механизам настанка космичког зрачења још увек нису довољно изучени. Укупна енергија космичког зрачења је приближно једнака енергији коју примамо у облику светлости која допире са свих звезда осим Сунца (Sharma, 2008). Извори овог зрачења су у:

- (1) областима космоса са јаким магнетним пољима, као што су брзо ротирајући пулсари, експлозије супернова (редовито праћене x - и γ -зрачењем), квазари, активна галактичка језгра;
- (2) неутронским звездама - услед њиховог брзог ротирања (прецесије) ствара се променљиво магнетно поље, то закривљује путање наелектрисаних честица које изграђују звезду и даје *синхротронско* зрачење (= ЕМ зрачење од ИС до x - области) што чини, заправо, највећи део космичког зрачења неутронских звезда
- (3) црним рупама, приликом трансфера материје у њима (при преласку материје у своју гравитациону енергију јавља се јако магнетно поље, настају електрони и позитрони приликом чије анихалације долази до зрачења γ -фотона).

Сви ови објекти су као нека врста космичких акцелератора честица тј. „свемирске лабораторије” у којима се производи неупоредиво више енергије него у земаљским циклотронима.

ПОЈМОВИ (подсетник)

Протони и неутрони (p^+ и n^0) су субатомске честице које сачињавају атомско језгро свих хемијских елемената. Димензије су им $\sim 10^{-15} \text{ m}$, а масе $\sim 10^{-27} \text{ kg}$, с тим што су протони позитивно наелектрисани, а неутрони нису наелектрисани (неутрални су). Приликом радиоактивног распада језгара, ове честице се могу ослободити и потом као самосталне наставити кретање у простору.

Електрони и позитрони (e^- и e^+) су субатомске честице значајно мањих маса ($\sim 10^{-31} \text{ kg}$) и димензија ($\sim 10^{-19} \text{ m}$) него протони и неутрони. Електрони улазе у састав електронског омотача сваког атома и стога њихов број и распоред у атому одређују хемијске особине сваког елемента. Позитрони представљају античестице електронима (тј. део су тзв. антиматерије, одн. представљају пар „честица–античестица“): имају приближно исте масе и димензије, само се разликују од њих по наелектрису - електрон има наелектрису -1 , а позитрон $+1$

α -честице (алфа-честице) су језгра хелијума (He), а представљају продукт или спонтаног радиоактивног распада (било тзв. „алфа-распад“, или спонтана фисија) језгара хемијских елемената чији је редни број најчешће $Z > 80$ (ретко мањи од тога), или индукованог распада језгара бомбардовањем другим честицама (најчешће неутронима). Будући да се језгро хелијума састоји од 2 протона и 2 неутрона, α -честице имају 4 пута већу масу од неутрона (или протона) одн. много пута већу масу од електрона, те веома јонизују средину кроз коју пролазе, али имају кратак домет.

Неутрино (ознака: ν) је ненаелектрисана елементарна честица, мања и од електрона, а настаје у радиоактивном распаду и нуклеарним реакцијама. Неутрина има највише од свих елементарних честица у универзуму.

Фотони су „честице таласа“, одн. кванти електромагнетног (даље: **ЕМ**) зрачења; могу се схватити као мале „порције“ енергије, а њихово постојање последица је фундаменталне чињенице тзв. таласно-честичног дуализма материје (све у природи се може посматрати и као честица и као талас): овај дуализам се нарочито испољава у микросвету - на атомском и субатомском нивоу.

UV-, x- и γ -зрачење представљају електромагнетно зрачење највећих енергија (најкраћих таласних дужина), далеко већих од енергије зрачења видљивог дела Сунчевог спектра. Од њих три, UV-зраци имају најмању енергију (највећу тал. дужину), следе затим x-зраци, а γ -зраци су највеће енергије тј. најмањих тал. дужина. Највећу продорност кроз материју има γ , па x, па UV. Ова зрачења врше интензивну јонизацију средине кроз коју пролазе, тим више што им је већа енергија одн. што им је краћа таласна дужина. γ -зрачење има највећу продорност, те су за заустављање овог зрачења потребни блокови олова дебљине каткад и по неколико метара.

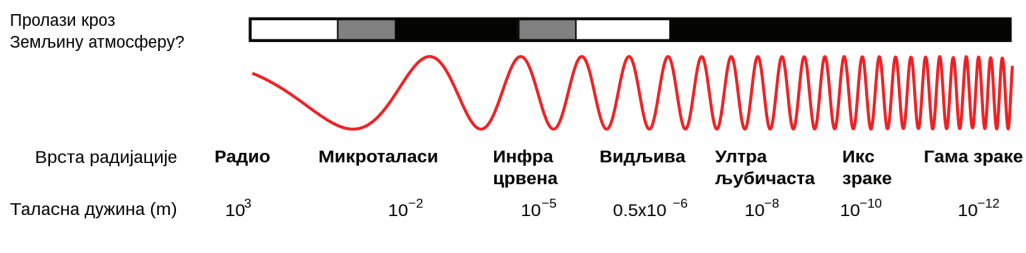
Закочно зрачење ("bremsstrahlung") је ЕМ зрачење које емитује наелектрисана честица када успорава своје кретање или закреће са праволинијске путање (ресејањем, сударима и сл.)

Синхротронско зрачење је ЕМ зрачење широког спектра које наелектрисане честице емитују кад се крећу по закривљеним путањама, што се најчешће постиже дејством променљивог магнетног поља (стога се синхротронско зрачење још назива и „magneto-bremsstrahlung“)

Циклотрон је уређај којим се наелектрисане честице убрзавају у константном магнетном и променљивом ел.пољу и крећу спиралном путањом. Примењује се у фундаменталним истраживањима материје, у терапији зрачењем, као и за производњу радиофармацеутика.

1 eV (електронволт) је јединица за енергију у микросвету: $1 \text{ eV} = 1.6 \times 10^{-19} \text{ J}$ (џул)

Слика 20. Спектар електромагнетног зрачења



2.3.2. Детекција γ -зрачења

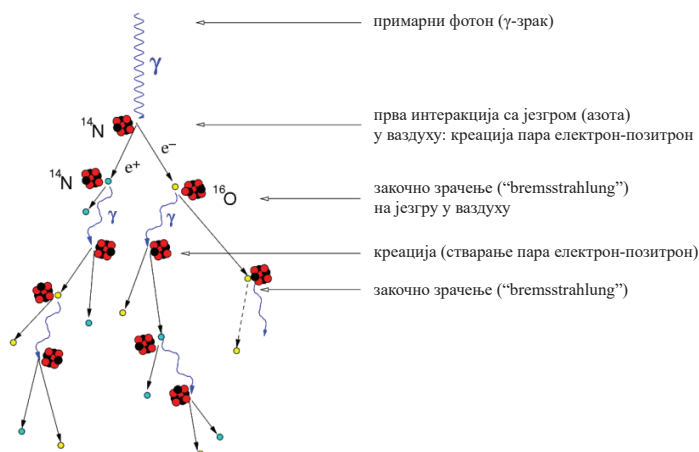
Галаксије и међугалактички простор имају своја магнетна поља. Дејство ових поља на све наелектрисане честице космичког зрачења доводи до искривљења њихових путања, те услед тога космичке зраке није лако детектовати. Међутим, γ -зраци немају наелектрисање, па то оставља могућност за детекцију њихових извора. γ -зраци су фотони (кванти енергије) веома кратких таласних дужина и огромних енергија реда величине 10^6 - 10^{12} eV (ради успоређе, зрачење у медицинским применама има енергију $\sim 10^4$ - 10^5 eV). Они се апсорбују у атмосфери већ на 40 km тако да већина онога што знамо о њима је откривено путем телескопа на свемирским летелицама од којих је CGRO (Compton Gamma-Ray Observatory) био најуспешнији. Такви инструменти детектују фотоне реда величине 100 keV - 100 MeV (10^5 - 10^{10} eV), а γ -зраци са већим енергијама ($\sim 10^{11}$ - 10^{12} eV) стижу у веома малом броју те се врло тешко класификују или остају непрепознати (Su et al., 2010). Они се индиректно детектују на земљи, и то помоћу светлости која настаје по њиховом уласку у атмосферу. Стварају се парови електрона и позитрона из Гама-зрачења (тзв. креација честица) уз пропратни њихов губитак дела енергије, при чему се високоенергетски Гама-зраци претварају у Гама-зраке нижих енергија. Ово се испољава као огромни „пљускови” енергетских честица, а што се више приближавају површини Земље то имају све мању енергију, односно све је више губе. При томе се јавља плава светлост позната као Черенковљево зрачење (названо по руском физичару Павелу Черенкову (1904-1990.) који је 30-их година описао и објаснио овај ефекат). Иако Гама-зраци као такви, услед поменутог, не могу доспети до површине Земље, Черенковљеви фотони могу, и они су први доведени у везу са космичким зрачењем.

2.3.3. Развој гама-астрономије

Педесетих година прошлог века, у Норвелу (Британија) су испитиване разлике у времену пристизања космичких зрака: детектовање је обављано Гајгеровим бројачима (стандардни уређаји за детекцију радиоактивности) постављеним широм испитиваног подручја, који су бележили Черенковљево зрачење емитовано у просторни угао 1 лучне минуте (и детектовали слаб, али константан ефекат). У вези са добијеним резултатима, научници су се питали да ли кратак бљесак плавичасте светлости (Черенковљевог зрачења) мора редовно пратити сваки „пљусак” γ -зрака. Да би ово проверили, монтирали су параболично огледало (пречника око 30 cm) у близину неколико распоређених Гајгерових бројача, а у фокусу огледала била је постављена цев фотомултипликатора (што је имитирало неки примаран дизајн телескопа).

Природни hazard

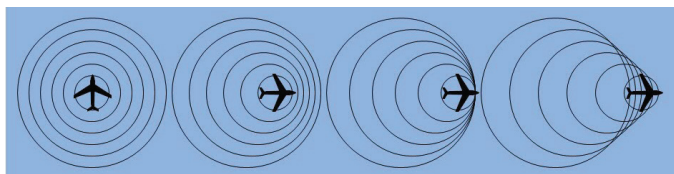
Слика 21. Настајање „пљускова“ γ -зрачења, тј. секундарног честичног и γ -зрачења из примарног γ -зрачења (љубазношћу г. Konrad Bernlöhr-a, Max Planck Institut für Kernphysik).



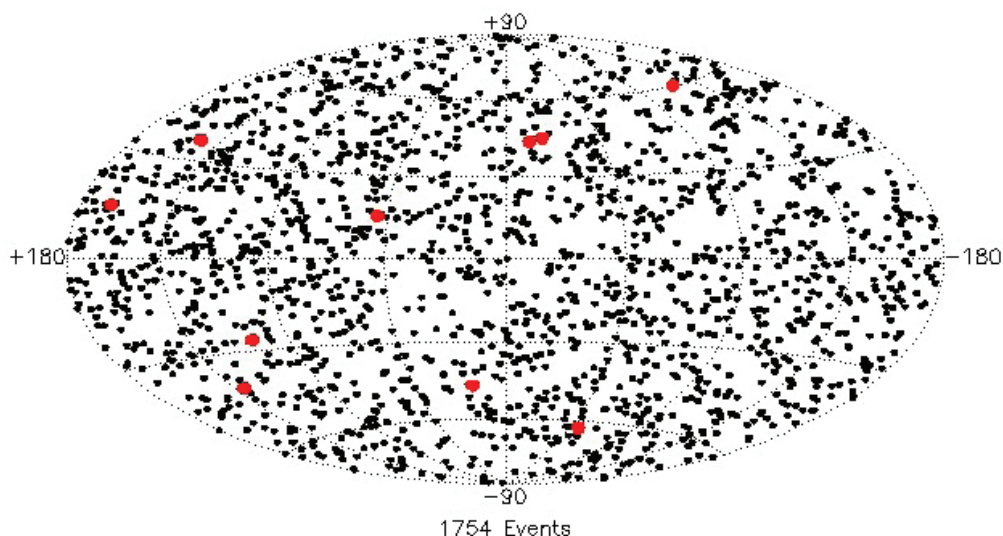
Током ноћи оваквим уређајем бележени су пулсеви учесталости приближно 0.5/min што се подударало са детекцијом на Гајгеровим бројачима, указујући да су уистину повезани са космичким зрачењем. Овако дизајниран „атмосферски“ детектор затварао је област од 200 m у пречнику што је скоро милион пута било више од фотометријског огледала у Норвелу и његове масе од око 500.000 тона. Током следећих деценију и по, Черенковљеви детектори су усавршени и раширени широм света, но ниједан извор није био нађен, што је имплицирало закључак да позадинско космичко зрачење бројношћу далеко надмашује догађаје γ -детекције (више од чак хиљаду пута). Овај утисак потиче једним делом од геометрије простирања γ -пљуска у односу на путању наелектрисаног електрона или позитрона, а другим делом из чињенице да се различити таласи другачије простиру у атмосфери. γ -зраци ће се почети расипати „раније“ тј. на већим висинама, али ће се мање расути од других космичких зрака и биће виђени под мањим углом. Да би се искористиле ове разлике, употребљени су оптички колектори великих пречника и са добром резолуцијом. Године 1968. изграђен је Whipple оптички рефлектор од 248 хексагоналних огледала пречника 10 m, који у једној ноћи може бити покренут 10 пута у секунди и снимити 500.000 појединачних слика, а са циљем да се може детектовати и идентификовати бар једна на хиљаду појава која потиче од γ -зрака. Помоћу овог телескопа успешно се одбацује 99% позадинског зрачења, а за половину остатка се може рећи да су сигурно γ -зраци (Klebesadel et al., 1973).

Први сателити који су открили тзв. „бљескове“ γ -зрачења (Gamma-Ray Bursts, GRB) били су из америчког тајног војног програма „Vela“ за откривање нуклеарних експлозија на земљиној површини. Године 1967. почели су да бележе изненадне бљескове Гама зрака који су допирали из космоса, а не са Земље (Klebesadel et al., 1973). Касније се у ту намену почињу користити и орбиталне станице, као и супермлазни авиони са детекторима различитог дизајна.

Слика 22. Механичка аналогија емитовања и простирања Черенковљевог зрачења при кретању наелектрисане честице: таласи притиска ваздуха, које авион ствара својим кретањем, зависно од брзине којом се креће (с лева на десно: мировање, брзина мања од брзине звука, брзина једнака брзини звука, надзвучна брзина).



Слика 23. Карта неба представљена у галактичким координатама, са приказаним активним изворима γ -бљескова (обележени црвеним тачкама).



Први лоцирани извор откривен је 1966. године, у небули *Crab, M1, NGC 1952* - остатку супернове, тако што је регистровано синхротронско зрачење услед кретања електрона око магнетног поља небуле. Мада су магнетна поља остатака супернова далеко слабија у односу на она која се генеришу у циклотронима на Земљи, пулсар у небули може бити извор електрона високих енергија који се расејавају на протонима и производе гама-зрачење. Касније се интересовање прабацило и на лоцирање и карактеризацију вангалактичких извора. Wipple телескопом детектован је са Земље снажан извор гама зрачења пореклом од језгра џиновске елиптичне галаксије Markarian 421, удаљене од Земље око 4×10^8 светлосних година. Markarian 421 је блазар, тј. активно галактичко језгро. Напаја се материјом која пада на масивну црну рупу која избацује млазеве релативистичких честица, а један од његових млазева је директно усмерен и на Соларни систем.

2.3.4. Бљесак гама-зрачења као природни хазард

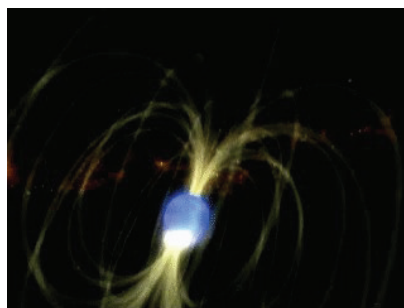
Бљесак гама-зрачења (енг. Gamma-Ray Burst, GRB) може значајно утицати на биосферу Земље уколико се догоди у довољној релативној близини Земље и при том буде уперен према њој. Апсорпција високоенергетског зрачења у атмосфери узроковала би настајање азотних оксида, а они би уништавали озон. GRB на удаљености од свега око једног килопарсека ($1 \text{ kpc} = 3.262 \text{ light years, ly}$) од Земље могао би уништити близу 50% озонског омотача Земље. Истањен озонски омотач пропуштао би космичко зрачење (укључујући и гама зрачење) скупа са Сунчевим UV зрачењем, те би драстично уништио ланце исхране што би довело до изумирања многих живих врста. Неки аутори сматрају да је истребљење органских врста на прелазу из геолошког периода Ордовицијум у геолошки период Силур (пре око 443 милиона година) изазвано јаким GRB-ом генерисаним у експлозији релативно близу Земље.

Неутронска звезда је остатак некадашње нормалне звезде (само нешто масивније од Сунца) која је истрошила своје гориво и потом експлодирала у виду супернове. Маса неутронских звезда је нешто већа од масе Сунца, но њихов пречник је много мањи (свега око 20 km, док је пречник Сунца $\sim 1.4 \times 10^6 \text{ km}$).

Бљесак експлозије једне неутронске звезде детектован је на Земљи 27. децембра 2004. године (од стране бројних сателита и земаљских радио-телескопа широм света). Претпоставља се да је до експлозије дошло на удаљености од 42 000 светлосних година од Земље, у неутронској звезди

која се налазила у сазвежђу Стрелца, а магнетар преостао од ње након експлозије означен је као SGR 1806-20. Експлозија је била толико снажна да је њен бљесак обасјао чак и горње слојеве атмосфере Земље, трајао свега једну десетину секunde, и одбио се притом и од Месеца (чија одбојна моћ је врло слаба). Магнетар је у том кратком временском интервалу експлозије емитовао већу количину енергије него што Сунце емитује у 150.000 година, што је највећа забележена експлозија до тада регистрована. Да се ова експлозија догодила на мање од 10 светлосних година удаљености од Земље, то би озбиљно оштетило озонски омотач и довело до масовног изумирања живих врста.

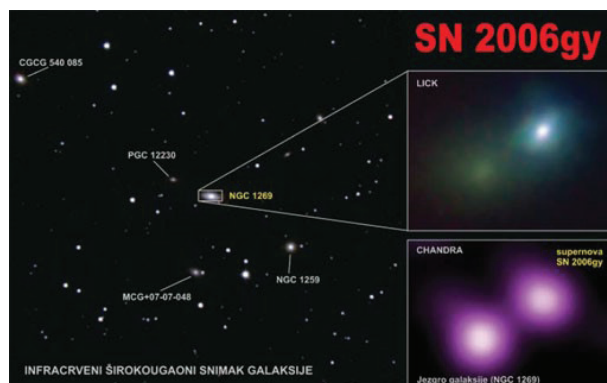
Слика 24. Илустрација бљеска гама-зрачења (лево) и магнетара преосталог након експлозије неутронске звезде SGR 1806-20 (десно).



2.3.4.1. Супернова SN 2006gy

Појмом супернова се означава светлосни ефекат који прати експлозију звезде при којој се емитује огромна количина енергије у веома кратком временском интервалу. Овај светлосни ефекат може трајати недељама и месецима. Пример једне супернове је SN 2006gy, која је настала експлозијом џиновске звезде (око 150 пута масивнија од Сунца). Услед огромне температуре у центру овакве супер-масивне звезде производе се гама-зраци екстремних енергија, што узрокује масовно креирање парова електрон-позитрон. Ови парови се брзо апсорбују сударањем са околном материјом, чиме даље повећавају температуру у средишту звезде (а тиме се даље повећава и емитовано гама-зрачење) и ствара се зачарани круг који се напослетку оконча експлозијом.

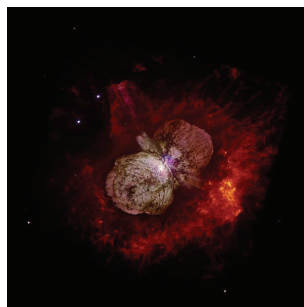
Слика 25. Снимак супернове SN 2006gy и језгра њене матичне галаксије, NGC 1260, након експлозије 2006. године.



2.3.4.2. Ета Карине – извор опасности у ближој будућности?

Огромна звезда Ета Карина је добила име по сазвезђу у коме се налази – Карина. Ова звезда и њена маглина су удаљени од Земље 7500-8000 светлосних година (ly). Маглина се може посматрати само са јужне земљине полулопте, због чега је тек 1752. године откривена, јер је на северној полулопти било много више опсерваторија. Откривено је такође да ова звезда има свог пратиоца, Ета Карине Б. У маглини Карина се стално дешавају промене, стварају и нестају звезде, с обзиром на велику количину материје сконцентрисану у њој и веома сложен садржај, још недовољно испитан. Астрономи стога поклањају велику пажњу посматрању ове маглине.

Слика 26. Маглина „Карина“ (Carina nebula) и џиновска звезда Ета Карине (Eta Carinae), снимљено помоћу Hubble телескопа.



Предвиђа се да могло доћи до експлозије Ета Карине у скоријој будућности, будући да је веома нестабилна, па се поставља и питање колико ће та експлозија имати утицај на живот на Земљи. Иако је веома млада (свега 2.5 милиона година), услед своје огромне масе (преко 100 пута већа од масе Сунца) и брзе ротације веома је нестабилна. Правило је да звезде са већом масом брже троше своје гориво и имају краћи век.

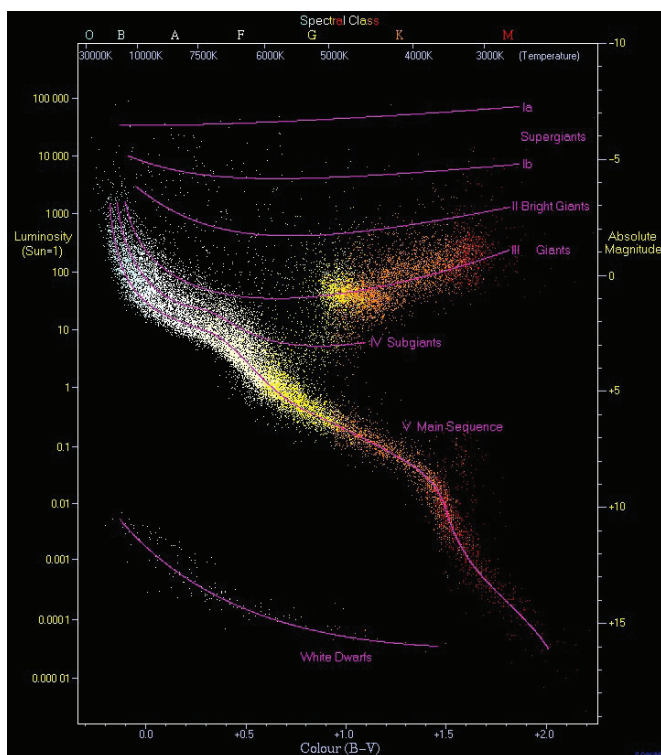
Ова звезда ће своје постојање окончати као супернова која ће се видети и на Земљи, а од ње ће остати само црна рупа. Иако ће у тренутку њене експлозије кренути ка Земљи огромна количина гама-зрачења, што би могло произвести катастрофу за Земљу и живи свет на њој, за сада још увек нема довољно индикација да би се то могло десити у ближој будућности (а нити да би главнина емитованог зрачења по експлозији била усмерена ка Земљи). Можда се то већ и десило, само је потребно да светлост из времена тог догађаја превали више хиљада светлосних година и стигне до наших очију, јер као што је познато, светлост има коначну брзину, а она је удаљена више хиљада светлосних година.

2.4. СУНЧЕВА (СОЛАРНА) АКТИВНОСТ

2.4.1. Основне карактеристике Сунца

Сунце је звезда главног низа (H-R дијаграм), спектралне класе G2 (тј. од G ка класи F), дакле нешто већа и топлија од просечне звезде, али недовољно велика да би припадала класи „дивова“ (животни век звезда овог типа је око 10 милијарди година). Према заступљености хемијских елемената у њему, у односу на остале звезде, Сунце спада у популацију I, што значи да је богато тешким елементима и металима (злато и уран), а изгледа да је до тога дошло због експлозије неке оближње супернове (Zombeck, 2006).

Слика 27. Hertzsprung-Russell-ов (H-R) дијаграм: приказује зависност снаге зрачења или величине звезда од њихове температуре /спектралне класе (или индекса боје). Дијагонала звана „главни низ“ иде од горе лево (вруће и светло) ка доле десно (хладније и тамније). Сунце је у њеном средишњем (жутом) делу. Доле лево су тзв. „бели патуљци“ (висока температура, али мала снага зрачења), а изнад главног низа су субгигантске, гигантске и супергигантске звезде.



Средиште Сунца представља својеврсни термонуклеарни реактор у ком се реакцијама нуклеарне фузије водоник претвара у хелијум уз ослобађање огромне количине енергије. Ово ствара огромне температуре у Сунцу, од неколико хиљада до неколико милиона Келвина. Ослобођена енергија бива израчена са сунчеве површине у облику електромагнетског зрачења и неутрина, те мањим делом као кинетичка и топлотна енергија, честица сунчевог ветра и енергија сунчевог магнетског поља. Услед екстремно високих температура, материја Сунца је у стању плазме („четврто агрегатно стање“, високотемпературни високојонизовани гас). Сунце врши ротацију, док кретање наелектрисаних честица плазме доводи до стварања магнетног поља Сунца.

2.4.2. Старост и животни циклус Сунца

Процена старости Сунца је добијена на два начина:

1. на основу материјала којим располаже за нуклеарну фузију процењено је да је Сунце отприлике на половини свог звезданог животног века;
2. пронађене најстарије стене из Сунчевог система третиране су радиоактивним материјалом (угљеник-14) и утврђено је да су старе 4.567 милијарди година.

Сунце је, дакле, старо нешто мање од 5 милијарди година, налази се отприлике на средини свог животног века, а та старост управо одговара његовом положају у главном низу Hertzsprung-Russell-овог дијаграма. Будући да је Сунце пречника око 1.4 милиона km и припада спектралној класи G2 („жути патуљак“), сматра се да није довољно велика звезда да би завршила као супернова, него да ће се на крају животног века претворити у „црвеног џина“.

2.4.3. Структура Сунца

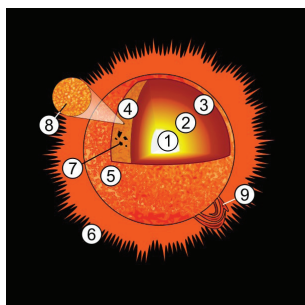
Структурне целине Сунца чине: језгро, зона радијације и зона конвекције (два слоја између језгра и привидне површине Сунца), фотосфера (привидна површина Сунца), а изнад фотосфере простиру се хромосфера и корона - нижи односно виши слој сунчеве атмосфере.

1) Сунчево језгро је средишњи део Сунца који се простире од центра до четвртине полупречника Сунца. То је подручје високе температуре (око 15 милиона Келвина, $\sim 1.5 \times 10^7$ K) и високог притиска (реда величине $\sim 10^{10}$ Pa). У таквим условима се одвијају реакције нуклеарне фузије језгара водоника

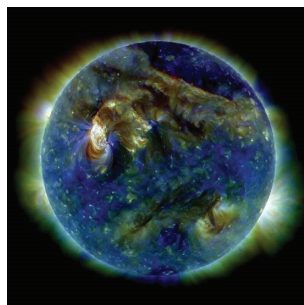
Природни хазард

у језгра хелијума. Спајањем 4 протона (језгра атома водоника) настаје једно језгро атома хелијума (2 протона и 2 неутрона), при чему се ослобађају субатомске честице и огромна енергија у облику гама-зрачења.

Слика 28. а) Структура Сунца: 1 - Сунчево језгро, 2 - Зона радијације, 3 - Зона конвекције, 4 - Фотосфера, 5 - Хромосфера, 6 - Корона, 7 - Сунчеве пеге, 8 - Грануле, 9 - Проминенције; б) Сунчева активност фотографисана кроз систем филтера (1. август, 2010. године)



а)



б)

Сваке секунде у овим нуклеарним реакцијама се утроши око 3.8×10^{38} водоникових језгара (приближно око 630 милиона тона водоника) претварајући се у хелијум, а ослобађа се енергија еквивалентна маси од око 4.3 милијарде килограма, тј. снага од око 3.8×10^{26} W. Кроз већину Сунчевог живота, ослобађање енергије нуклеарном фузијом се одвија кроз низ корака које називамо *низ протон-протон* (p-p низ), и то је главни процес којим од водоника настаје хелијум (док се мање од 2% хелијума ствара у Сунцу кроз низ угљеник-азот-кисеоник (тзв. „CNO низ“)).

99% енергије Сунца ствара се у његовом језгру (у реакцијама фузије), док се преосталих 1% створи изван језгра. Енергија која се створи у језгру (осим неутрина) мора да путује кроз више слојева, док не стигне до фотосфере и изађе у космички простор као Сунчева светлост (електромагнетни талас - фотони) или као кинетичка енергија честица.

Густина добијене енергије опада са удаљеношћу од центра Сунца. Процењује се да је густина енергије у центру око 276.5 W/m^3 . На удаљености 19 % од Сунчевог радијуса ($0.19 \cdot R$), температура опадне на 10.000.000 K, а густина енергије је око 6.9 W/m^3 и што значи да се 91% Сунчеве енергије се створи у том подручју (од центра до 19% радијуса). На удаљености преко 30% од радијуса Сунца ($> 0.3 \cdot R$), нуклеарна фузија готово престаје (Salaris & Cassisi, 2005).

2) **Зона зрачења** се налази изнад језгра, отприлике од 25 % до 70 % Сунчевог радијуса, од центра. У овој зони температура није довољна да се одржава нуклеарна фузија, те се топлота проноси зрачењем (радијацијом) даље ка спољашњим слојевима. У зони зрачења нема конвекције, нити мешања плазме, а температуре се крећу од 7.000.000 до 2.000.000 K на спољашњем делу ове зоне. Енергија се преноси зрачењем јона водоника и хелијума, који емитују фотоне. Фотони врло брзо пређу удаљеност до спољњег дела зоне зрачења, где их преузимају други јони у зони конвекције. Густина овог слоја се мења: од 20 g/cm^3 на граници са језгром, до 0.2 g/cm^3 на врху тог слоја (Aschwanden, 2014).

3) **Зона конвекције** се налази изнад зоне зрачења, отприлике на од 70 % Сунчевог радијуса па до фотосфере, што отприлике износи 200 000 km (преосталих $\approx 30\%$ радијуса). У овом слоју плазма није довољно топла нити густа да би преносила енергију зрачењем, него се појављују топлотни стубови који преносе високотемпературну плазму од зоне зрачења до фотосфере, и кад се плазма охлади, она се спушта натраг, стварајући тако један затворени круг. Температура у зони конвенције пада са 2.000.000 K (у близини зоне зрачења) на 5800-6000 K при површини Сунца, а густина се одржава на око $0,2 \text{ g/cm}^3$. Турбулентно кретање високонаелектрисане плазме (јонизовани гасови) кроз зону конвекције ствара на површини сваког топлотног стуба магнетно поље, које се затвара изнад површине Сунца.

4) **Фотосфера** је назив за привидну површину Сунца. На њој су температуре око 6000 K или мало испод. Врео гас избија из унутрашњости на површину, због чега се чини да површина има грануларну (зрнасту) структуру: топлотни стубови се на површини Сунца виде као грануле и супергрануле. Грануле имају пречник око 1000 km и оне су у сталном покрету (налик на кључање воде), док је време њиховог трајања свега неколико минута. Понекад настају тзв. супергрануле, пречника око 30 000 km и времена живота чак до 24h (Aschwanden, 2014).

5) **Хромосфера** је нижи слој сунчеве атмосфере који се протеже се изнад фотосфере до висине око 10 000 km од привидне површине Сунца. Знатно је ређа од фотосфере и неправилног је облика. Са Земље се примећује само за време потпуног помрачења Сунца. Порастом висине густина атмосфере опада, али се повећава температура. Ове промене густине и температуре изражене су у прелазном подручју између хромосфере и короне.

У хромосфери се догађају избачаји гаса - ефекти звани проминенције и Сунчеве бакље. Проминенције (протуберанце) су облаци или млазови усијаног гаса избаченог у вис. Могу се уздићи до висине 150 000 km изнад

фотосфере, кроз хромосферу и корону. Гушће су од околине и достижу температуру око 20 000 K, а испољавају се као Сунчеве бакље, Сунчев ветар и сл. Сунчеве бакље су млазови гаса који се брзо подижу унутар хромосфере и падају назад. Време трајања једне бакље је око 10 минута.

6) Корона представља више слојеве Сунчеве атмосфере. У њој температура наставља расти, до 1 000 000 K. Спољни делови короне стално губе масу у облику Сунчевог ветра. Сунчева корона (1 – 3 милиона Келвина) је топлија за око 200 пута од фотосфере (у просеку 5 800 K), а за $\sim 10^{12}$ пута ређа од ње, од које је одвојена релативно танким слојем хромосфере.

Прави механизам који доводи до толиког загревања короне није сасвим познат, али се сматра да највероватније настаје услед индуктивног деловања Сунчевог магнетског поља на плазму у корони (Лоренцова сила), уз стварање струјања гаса. Сматрало се да до загревања долази због притиска звучних таласа из унутрашњости Сунца, али се сад зна да и младе звезде (у којима је присутно јако магнетно поље) имају корону, па је та теорија доминантно напуштена. Спољни делови короне стално одлазе са Сунца, дуж линија силе магнетног поља, у облику Сунчевог ветра. Корона није увек униформно распоређена по површини Сунца. За време мирног раздобља, корона је више или мање распоређена по екваторијалном делу, са короналним шупљинама на половима. С друге стране, за време Сунчевог активног раздобља, корона је једнако распоређена и по екваторијалним и по поларним подручјима, иако је најиспупченија у подручју Сунчевих пега (Güdel, 2004).

Слика 29. Илустрација Сунчевих проминенција (протуберанци) и пега



2.4.4. Сунчево зрачење

Унутар Сунца ствара се и гама-зрачење (ЕМ зрачење највећих енергија, односно најкраћих таласних дужина) као резултат нуклеарне фузије у Сунчевом језгру. Ови високоенергетски фотони се претварају у фотоне ниже енергије пре него што стигну на Сунчеву површину или фотосферу. Сунце не емитује гама-зрачење са своје површине, али емитује сав преостали део ЕМ спектра (рендгенске, ултраљубичасте, видљиве, инфрацрвене и микроталасе, па чак и радиоталасе – мада у веома малом проценту). Рендгенско зрачење се такође „изгуби“, тј. конвертује у фотоне ниже енергије (у UV област), на свом путу од површине Сунца до Земљине атмосфере. Слична ситуација се односи и на микроталасно и радиофреквентно зрачење (којих заузимају мали проценат у ЕМ спектру Сунца) на уласку у атмосферу.

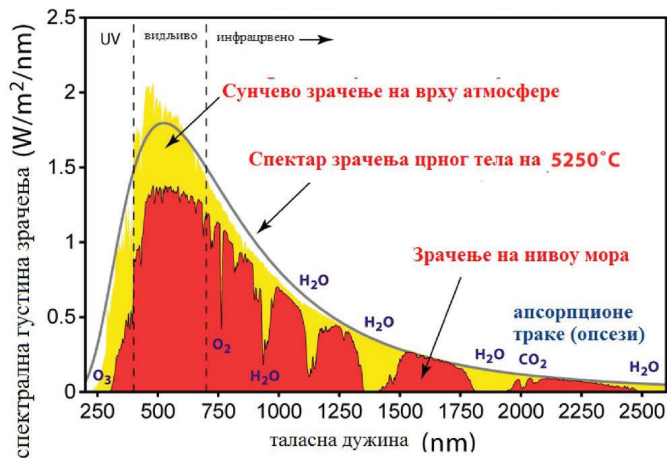
Сунчева светлост или соларно зрачење представља врло широк (тј. готово целокупан) спектар електромагнетног (ЕМ) зрачења које долази са Сунца, и готово је једнак спектру топлотног зрачења апсолутно црног тела температуре 5778 K (5505 °C). Сунчева светлост се пригушује и филтрира кроз Земљину атмосферу: она је највећа на горњој граници атмосфере, а слаби како се приближава тлу, због упијања и распршења на молекулима гасова и примеса у атмосфери. ЕМ зрачењу са Сунца треба око 8.3 минуте да стигне на Земљу. Када директно Сунчево зрачење није прикривено облацима, људска кожа доживљава сунчање, што је дејство три области ЕМ спектра (инфрацрвене, видљиве и UV) на пигменте коже. Када је Сунце прекривено облацима, долази додатно и до одбијања, преламања и распршивања (као и реемисије, након апсорпције) ЕМ зрачења на честицама аеросола.

2.4.4.1. Мерење и регистровање Сунчевог зрачења

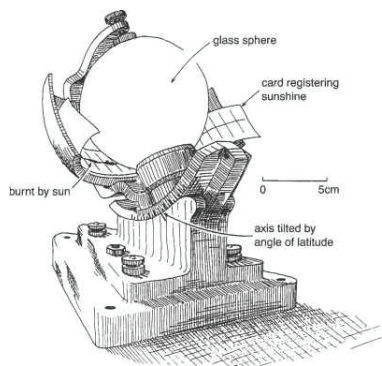
Светска метеоролошка организација дефинише сијање Сунца или осунчавање (инсолацију), као раздобље у којем је интензитет Сунчевог зрачења већи од 120 W/m^2 . Трајање сијања Сунца се мери у сатима. Соларна ирадијанса (снага зрачења по јединици површине, W/m^2) се може снимати Campbell-Stokes-овим хелиографом, пиранометром и пирхелиометром. Сунчево зрачење има луминозитетну ефикасност светлосног тока од 93 lm/W (лумен/ват), које укључује инфрацрвену, видљиву и ултраљубичасту светлост. Бљештава Сунчева светлост омогућује осветљење од $\sim 100\,000 \text{ lx}$ (лукс; $1 \text{ lx} = 1 \text{ lm/m}^2$) на Земљиној површини. Сунчева светлост има одлучујућу улогу за фотосинтезу, која је кључна за живот на Земљи.

Природни хазард

Слика 30. Спектар зрачења Сунца



Слика 31. а) Campbell-Stokes-ов хелиограф, б) пиранометар и в) пирхелиометар



а)



б)



в)

2.4.4.2. Карактеристике Сунчевог спектра

Спектар електромагнетског зрачења које улази у Земљину атмосферу, налази се у распону од 100 nm до око 1 mm таласне дужине (обухватајући UV, видљиву и инфрацрвену област). Око 42-43% енергије зрачења сунчевог спектра чини видљива светлост (380-720 nm), 52-54% је инфрацрвено (IR, > 720 nm), а 3-6% UV зрачење (< 380 nm). На темељу таласне дужине зрака, способности стварања еритема (црвенила) и пигментације (тамњења) коже, UV зрачење се дели на три врсте (три подручја) - UVA, UVB и UVC зрачење:

1. **Ултраљубичасто С (UVC)** зрачење, чији распон таласних дужина је 100 - 280 nm. Готово ништа од овог зрачења не стигне на површину Земље захваљујући озонском омотачу у стратосфери које га апсорбује (те готово уопште не доспева у тропосферу). UVC зрачење делује разорно на већину микроорганизама јер оштећује деоксирибонуклеинску киселину (ДНК) раскидајући хемијске везе у њој.
2. **Ултраљубичасто В (UVB)** зрачење, чији распон таласних дужина је 280 - 315 nm. Већи део тог зрачења из домена 280-295 nm бива апсорбован молекулима О₃ озонског омотача у стратосфери (а један део потом у тропосфери), те заједно са UVC зрачењем изазива фотохемијску реакцију којом се ствара озонски омотач. Оно чини око 5% UV зрачења које стиже до Земљине површине (литосфере). Представља највећу опасност за људе узрокујући дегенеративна и малигна оштећења коже.
3. **Ултраљубичасто А (UVA)** зрачење, распона 315 - 380 nm. Оно изазива спонтану и непосредну пигментацију коже (увећаном продукцијом меланина) или њено црвенило (при дефициту пигмента). Око 95% UV зрачења које стиже до површине Земље је UVA зрачење. Штетно делује на очи, а дубље продире у кожу него UVB зрачење.

Видљива светлост (тал. дужина 380 - 720 nm). Овај део спектра у процесу фотосинтезе биљке апсорбују, те се он још назива и *фотосинтетички активна светлост*. Штавише, овај део спектра је детектабилан/видљив органима (чулима) за примање светлосних дражи, као што је око код виших организама.

Инфрацрвено зрачење (Infrared Radiation, IR), чије таласне дужине су од 720 nm до 1 mm, је део зрачења који даје највећи удео у загревању Земље (~ 49 %). Може се поделити на следеће три области:

IRA: 700 nm–1400 nm

IRB: 1400 nm–3000 nm

IRC: 3000 nm–1 mm

2.4.4.3. Штетно дејство UV зрачења на људско здравље

За разлику од видљивог (којег опажамо чулом вида) и инфрацрвеног зрачења (којег опажамо као топлоту, рецепторима за топло-хладно у кожи), UV зрачење има таласне дужине мање од видљиве светлости и не можемо га опазити чулима. Мада је удео UV зрака у спектру мали, онај део ултраљубичастог зрачења који није апсорбован интеракцијом са молекулима атмосфере може потенцијално изазивати озбиљне последице по људско здравље, нарочито при прекомерном излагању без заштите.

Штетно дејство UV зрачења на организам има акумулативни ефекат: што је дужа изложеност, то је већа могућност његовог штетног дјеловања, те ће највероватније настати и тим више оштећења. Зрачење је током дана најјаче између 11 и 14 часова, јер је тада угао под којим сунчеви зраци падају на земљу најприближнији правом углу (при ком је најбоље апсорбовање зрачења), а на годишњем нивоу је најјаче у првој половини лета, кад је Земља најближе Сунцу.

UV индекс је параметар који показује ниво опасности од UV зрачења, а изражава се на скали од 0 (занемарљива опасност) до преко 11 (врло велика опасност). Ово су стандардизовале Светска здравствена организација (*World Health Organization, WHO*) и Светска метеоролошка организација (*World Meteorological Organization, WMO*), а потом је унапређивано од Међународне комисије за нејонизујуће зрачење (*International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, ICNIRP*) и Програма Уједињених Нација за животну средину (*United Nations Environment Programme, UNEP*). UV индекс је мера количине ултраљубичастог зрачења Сунца које људска кожа осунчаног тела прима, што је сразмерно ефектима опекотина које изазива на кожи. Израчунава се тако што се снага UV зрачења које доспева на јединицу површине тела (ирадијанса, изражена у mW/m^2) усредњава по свим таласним дужинама од 295 до 325 nm (већи део UVB спектра и краткоталасни део

UVA – пошто то чини спектар најопаснијих UV зрака), а потом подели са 25 mW/m² и добије вредност од 0 до 11+ (McKinlay & Diffey, 1987; Webb et al., 2011; Moshhammer et al., 2016).

Табела 4. Степен опасности од UV-зрачења (дато за ведар дан у средини лета)

Опасност од UV зрачења	UV index	Доба дана
велика	> 9.0	12–14 h
висока	7.0 – 8.9	10–12 и 14–16 h
умерена	4.0 – 6.9	8–10 и 16–18 h
мала	< 4.0	рано ујутро и касно после подне

Последице UV-зрачења на људској кожи:

1) Опекотине – Симптоми опекотина од UV-зрачења су исушена кожа, бол, оток, а могући су пораст телесне температуре и мучнина. Могу се ублажити влажним облогама, хладним купкама и неутралним ублажавајућим кремама. Услед кумулативног учинка, свака опекотина задобијена у дјетињству повећава ризик настанка карцинома коже у познијој животној доби.

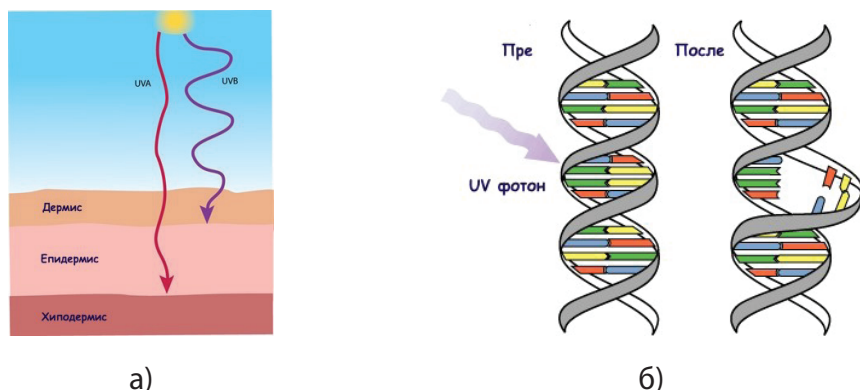
2) Препланула кожа – Иако је уврежено мишљење да препланулоост коже значи здрав и добар изглед, препланули тен за дерматологе је знак оштећења коже. Кожа „памти“ оштећења настала током живота, те се способност њеног обнављања смањује. Симптоме превременог старења коже имају људи који су дуго изложени осунчавању (превише сунчања мења структуру коже, појачавајући тзв. боре. Сунце изазива и црвене, жућкасте, сивкасте и браон пеге на лицу, а дегенеративна оштећења сунчањем могу се развити и у рак коже.

3) Рак коже – Може настати прекомерним и дуготрајним излагањем Сунчевом зрачењу, од задобијених опекотина као последице сунчања. Учесталост рака коже је у бржем порасту него учесталости других малигних обољења људи. Преко 90% случајева рака коже се испољава на изложеним деловима тела (лицу, врату, ушима, подлактици, раменима, ногама и рукама). Основ за настанак канцера је оштећење генетског материјала у ћелијама: UV-зрачење има довољно енергије да раскине хемијске везе унутар молекула ДНК, и поспеши фотохемијске модификације, које воде у мутације уколико се оштећења и измене не поправе ензимским системима поправке.

Природни hazard

4) Алергије – Неки људи имају алергијску реакцију на излагање Сунцу, а оне обично настају већ након врло кратког сунчања. На осунчаним деловима тела појављује се оток, осип, пликови, или црвене мрље. Код неких особа реакције преосетљивости коже на сунчање могу се изазвати или појачати узимањем лекова, козметичких препарата или парфема.

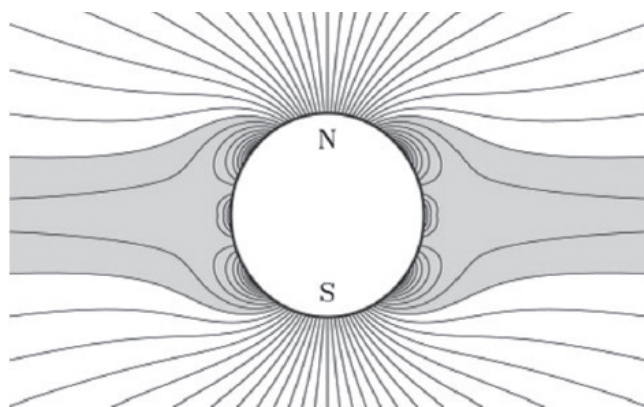
Слика 32. а) продирање UVA и UVB зрака у кожу, б) оштећење ДНК фотонима UV зрачења



2.4.5. Магнетно поље Сунца (Соларна активност и соларни циклус)

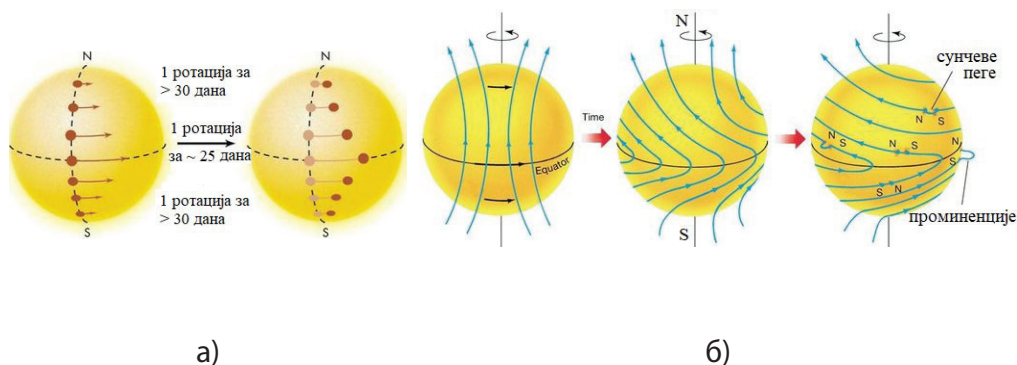
Сунце има промењиво, јако магнетно поље, које се мења у једанаестогодишњем Сунчевом циклусу. Ово поље контролише динамику и топологију свих соларних (короналних) феномена дуж линија сила Сунчевог магнетног поља. Постоје две магнетне зоне (области) у Сунчевој корони, са различитим својствима: тзв. *зоне отвореног* и *зоне затвореног* магнетног поља. Зоне отвореног поља постоје у поларним областима, понекад се прошире и ка екватору, а повезују Сунчеву површину са међупланетарним магнетним пољем и представљају извор брзих соларних ветрова (~ 800 km/s). Насупрот томе, зоне затвореног поља садрже већином затворене линије и стварају споре соларне ветрове (~ 400 km/s). Сунчево магнетно поље излази из самог простора Сунца, пошто намагнетисани Сунчев ветар носи део Сунчевог магнетског поља у Сунчев систем, стварајући тако међупланетарно магнетно поље. Док је јачина магнетног поља на Сунчевој фотосфери око $50 - 400 \mu\text{T}$, у близини Земље оно износи око $0,1 \text{ nT}$. Неке од манифестација утицаја Сунчевог магнетног поља на Земљу су нпр. Настанак поларне светлости, али такође и ометање радио комуникација и електричне мреже (Aschwanden, 2014).

Слика 33. Линеје сила Сунчевог магнетног поља у тзв. Зонама отвореног поља (бела подлога, горе и доле на слици) и зонама затвореног поља (сива подлога, средина лево/десно на слици).



Будући да је у стању плазме, Сунце не ротира као чврсто тело. Различити делови Сунца се окрећу са различитим угаоним брзинама, а брзина ротације је већа на екватору (око 25.6 дана за једну ротацију), него у близини полова (33.5 дана за једну ротацију) и та појава се назива диференцијална ротација. Разлика у брзини окретања екватора и полова узрокује и увијање магнетног поља, које ствара ерупцију лукова (петљи) на површини Сунца и покретање Сунчевих пега и проминенција.

Слика 34. (а) Диференцијална ротација Сунца и (б) њене последице на расподелу магнетног поља као и пега и проминенција



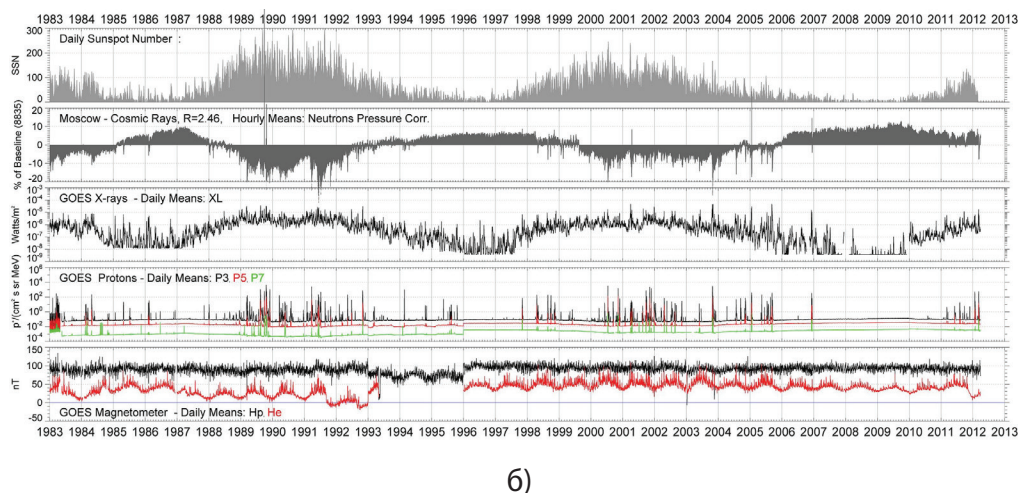
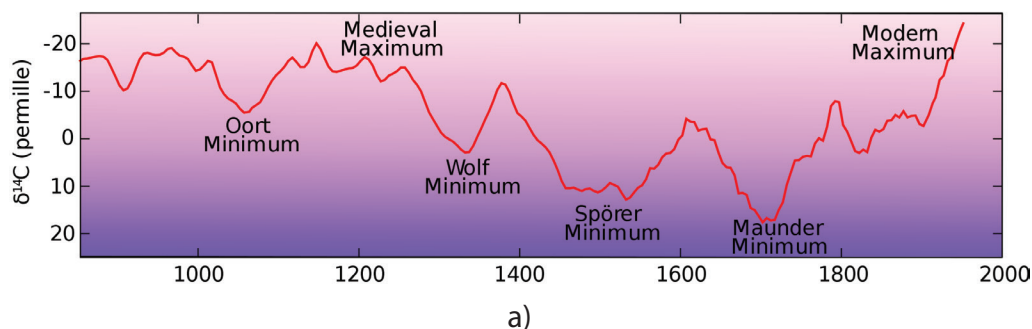
2.4.6. Сунчева активност. Сунчев циклус

Услед диференцијалне ротације Сунца долази до искривљења сила магнетског поља, ерупција гаса са сунчеве површине и стварања сунчевих пега и протуберанци. Све заједно ове појаве, тј. Промене које се опажају на Сунцу, се називају *сунчева активност*, а одвијају се периодично у циклусима просечне дужине 11 година. Циклуси варирају у дужини, између 8 и 15 година. Ове промене обухватају (Russell, 1974):

- количину израчене енергије,
- бројност и распоред пега,
- бројност сунчевих бакљи,
- облик и величину Сунчеве короне.

Постоји и корелација соларних циклуса са другим феноменима како у космичком простору тако и на Земљи (као нпр. интензитет космичког зрачења, магнетна поља). Временски период највеће активности назива се Сунчев максимум. Може трајати неколико година, зависно од активности (и укупног броја) пега и бакљи. Између једног минимума и узастопног следећег максимума Сунчево магнетно поље се стално увија због диференцијалне ротације. Сунчеве пеге су најактивније и најбројније у максимуму Сунчевог магнетног поља. Постоје и дужа периодична раздобља сунчеве активности. У историји је познат Маундеров минимум, раздобље у другој половини XVII века током којег је број сунчевих пега био изузетно мали. Ово раздобље се поклопило са периодом хладних година, названог мало ледено доба, међутим, није сасвим јасно да ли су климатске промене биле узроковане екстремно ниском сунчевом активношћу (Beckman & Mahoney, 1998; Owens et al., 2017).

Слика 35. (а) Сунчева активност мерена и изражена кроз активност изотопа ^{14}C током више од 11 векова (око 870.–2000. година), (б) веза између соларног циклуса, интензитета појединих сегмената космичког зрачења, и стања Земљиног окружења (укључујући Земљино магнетно поље) приказана кроз три соларна циклуса током периода 1983–2012. године.



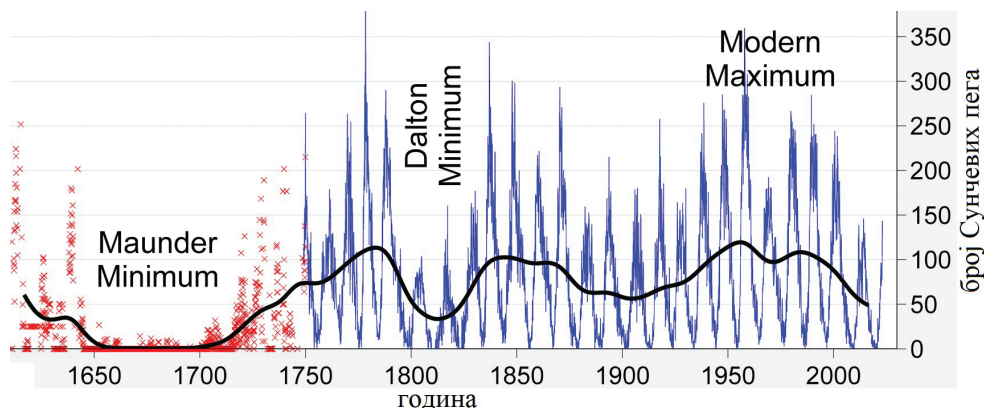
2.4.7. Соларни феномени

Сунчево промењиво магнетно поље изазива многе појаве, које се једним именом називају Сунчеве активности. На Сунцу постоје извори корпускуларног зрачења који су заправо центри соларне активности. На местима ових извора је структура магнетног поља компликованија, а они се налазе у различитим областима Сунчеве атмосфере. У Сунчеве активности се убрајају Сунчеве *пеге* на фотосфери, Сунчев *ветар* (који односи део плазме кроз Сунчев систем), Сунчеве бакље и коронални избачаји масе (Aschwanden, 2014).

2.4.7.1. Сунчеве пеге и сунчев ветар

Сунчеве пеге су области фотосфере (површинске зоне) Сунца у којима су вредности температуре, притиска и зрачења мање него у суседном простору (температура нижа за ~ 1700 К од околне фотосфере). Са ових површинских зона долази до избацавања Сунчеве плазме према Космосу. Са Сунчевим пегама су повезани и коронални лукови, који настају лучним уздицањем магнетског поља из Сунчеве унутрашњости. Магнетни ток гура топлију фотосферу у страну, откривајући „хладније“ и тамније делове – Сунчеве пеге – варијабилне по димензијама, а које се јављају периодично. Када се у једној години током више недеља не појави ни једна пеге, то се сматра минимумом Сунчеве активности, док је максимум Сунчеве активности у годинама када се број пеге повећа до 100 или више. Период између два минимума се зове *циклус сунчеве активности* и он траје око 11 година. Како тече Сунчев циклус, односно мења се поларност магнетног поља Сунца, тако се мења и број сунчевих пеге. Број пеге варира и у периодима Сунчевог максимума. Повремено их је може бити само по неколико десетина (Маундеров минимум), док у појединим максимумима досегну број и од преко 300.

Слика 36. Варијација у броју Сунчевих пеге у последњих четири века



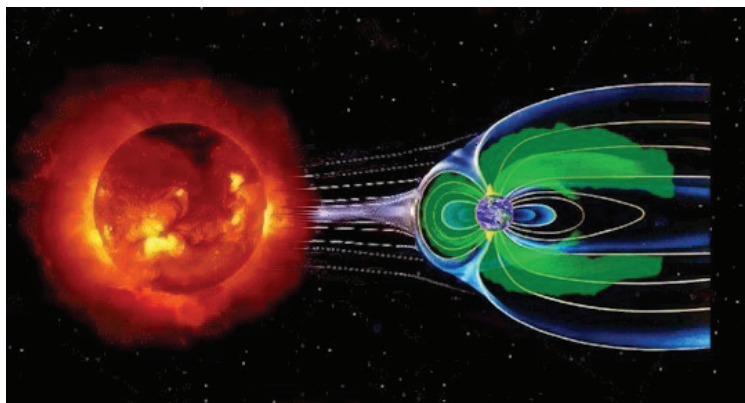
Сунчев (соларни) ветар представља плазму – струју честица избачених великом брзином (350 – 500 km/s) из горњих слојева сунчеве атмосфере, углавном протона, електрона и неутралних водоникових атома. Кроз ову струје честица се простире слабо магнетно поље интензитета око 5 nT („заробљено“ у току соларног ветра). Иако је губитак Сунчеве масе овим

феноменом готово безначајан и густина сунчевог ветра мала, честице се крећу огромним брзинама и изазивају извесне видљиве последице на телима у Сунчевом систему (Russell, 1974). Познатији учинци сунчевог ветра су поларна светлост (*Aurora*) и усмеравање репа комета супротно од Сунца.

Земљино магнетно поље у магнетосфери Земље заробљава честице сунчевог ветра и усмерава их ка магнетним половима. Пошто се честице сунчевог ветра крећу брзинама од више стотина km/s, при судару са честицама у земљиној атмосфери долази до јонизације гаса и појаве светлости. Ова се појава уочава у поларним подручјима, због чега је добила име поларна светлост: она која се испољава у поларној области северне полулопте назива се *Aurora Borealis*, а она на јужној полулопти назива се *Aurora Australis*. Када је сунчева активност већа, појачано дејство сунчевог ветра може довести до појаве поларне светлости и у умереном појасу (на мањим географским ширинама), при чему постоји могућност ометања (чак и оштећења) радио-комуникационих уређаја, како на Земљи тако и на вештачким сателитима (Aschwanden, 2014).

Комете се приликом доласка у близину Сунца загревају, а залеђена површина комета испарава и ослобађа облак гаса и честица прашине. Деловањем честица сунчевог ветра, облак се обликује у реп комета. Пошто сунчев ветар долази из смера Сунца, потискује реп комета у супротном смеру.

Слика 37. Дејство соларног ветра на Земљино магнетно поље (Земљину магнетосферу).



2.4.7.2. Сунчеве бакље

Сунчеве бакље (пламенови) су силовите експлозије (ерупције ЕМ зрачења) у Сунчевој атмосфери, са ослобађањем енергије која је еквивалентна милијардама мегатона TNT-а (тринитро-толуен). Њихова учесталост варира од неколико на дан до мање од једне седмично, и то онда је када је Сунце у мирнијем периоду. Први пут их је приметио британски астроном Ричард Карингтон 1859. године. Сличне звездане бакље примећене су и на другим звездама. Механички ударни талас експлозије се проноси брзином око 1×10^6 km/h, понекад и већим брзинама. Плазма се загрева до температура од преко 10×10^6 K и убрзавају се електрони, протони и тежи јони до брзина блиских брзини светлости. Они производе електромагнетно зрачење широког спектра таласних дужина, од радио-таласа до гама зрачења. Већина бакљи настаје око сунчевих пега, где је магнетно поље најјаче. Треба неколико сати или чак дана да се накупи енергија, која се онда ослобађа у виду соларне бакље, а то ослобађање се потом дешава у интервалу од 1–2 минуте.

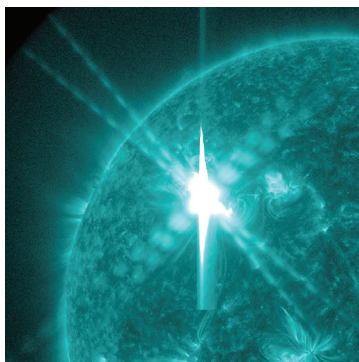
Од три до сад највећа забележена пламена, два су означена као X20 (интензитета око $0,002 \text{ W/m}^2$), а десила су се 16. августа 1989. и 2. априла 2001. године. Међутим, 4. новембра 2003. године је забележен пламен интензитета 0.0028 W/m^2 (означен као X28), но пошто су детектори били претходно засићени током тога догађаја, претпоставља се да је пламен био још већег интензитета (X40 до X45). Вероватно најснажнији пламен икада примећен у последњих 500 година се десио у септембру 1859. године (који је видео и документовао Р. Карингтон), али није било мерних уређаја да га измере и региструју.

Сунчеве бакље емитују енергију ЕМ таласа у области рендгенског зрачења, а мере се ГОЕС сателитом. Класификују се као А, В, С, М и Х, према вршном току енергије емитованог зрачења (чије таласне дужине су од 1 до $8 \text{ \AA}$, где је $1 \text{ \AA} = 1 \times 10^{-10} \text{ m}$) а изражавају се као снага по јединици површине у близини Земље (у ватима по квадратном метру, W/m^2). Свака класа је 10 пута снажнија од претходне, тако да су В пламенови 10 пута снажнији од А пламенова, а С пламенови 100 пута снажнија од А пламенова, итд. Х класа је одређена као 0.0001 W/m^2 .

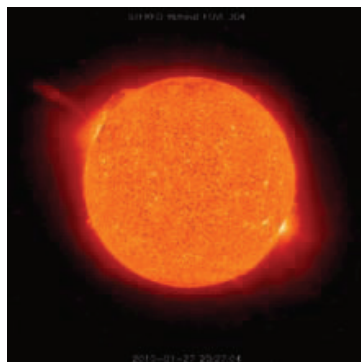
Соларне бакље често ослобађају протоне велике енергије, што представља тзв. Протонску олују (енг. *Solar Particle Event*, SPE). Већина протонских олуја путују до Земље два или више сати. Међутим, у јануару 2005. Године једна протонска олуја је стигла на Земљу свега 15 минута после детектовања. Протони при проласку кроз живи организам врше јонизацију и могу изазвати биохемијска оштећења.

Пламенови се повезују са короналним избацавањем масе, што много утиче на нашу климу. У њима се производе честице великих енергија (стварају сунчев ветар, који долази до Земљине магнетосфере). За време јаких Сунчевих бакљи астронаути могу бити озрачени масовном емисијом Х-зрачења. Ово зрачење такође повећава јонизацију јоноосфере и магнетосфере које интерагују са кратким радио-таласима, што доводи до ометања електромагнетног преноса у телекомуникационим уређајима. Могу такође допринети појачању поларне светлости.

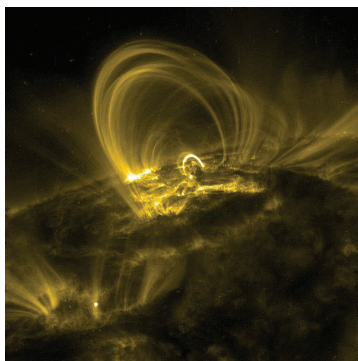
Слика 38. а) Соларна бакља, б) коронални избачај (CME) и в) Коронални лук (петља) на Сунцу



а)



б)



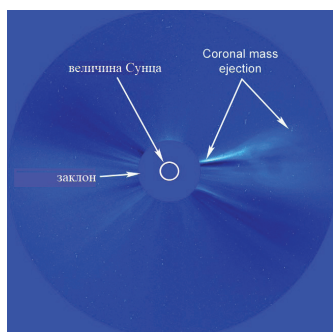
в)

2.4.8. Коронално избацавање масе (Масивни избачаји Сунчевог ветра)

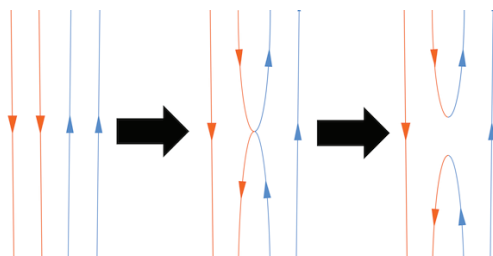
Коронално избацавање масе (енгл. *Coronal Mass Ejection* – CME) је масивни експлозивни догађај у којем отворена једнополна магнетска поља избацују плазму из короне у свемир и то је други вид избацавања плазме (пored Сунчевог ветра). Коронално избацавање масе је често повезано са осталим Сунчевим активностима, највише са Сунчевим бакљама. Већина их долази из активних подручја Сунчеве површине, где су Сунчеве пеге повезане са Сунчевим бакљама. Коронална избацавања масе се претежно испољавају за време Сунчевих максимума, али се појављују (иако ређе) и за време Сунчевих минимума (Aschwanden, 2014).

Коронални избачај масе ослобађа огромне количине честица и електромагнетног зрачења у простор изнад Сунчеве површине: или у корону, или у међупланетарни простор. Избачена маса је плазма која се састоји од електрона и протона (слично соларном ветру), али може да садржи и мање количине тежих елемената као што су хелијум, кисеоник и гвожђе. Ово избацавање повезано је са великим променама и поремећајима у короналном магнетном пољу, а обично се посматра коронографом (телескопски додатак који служи да уклони примарну светлост звезде, како би се посматрала секундарна светлост других извора, а ефекат који производи једнак је тоталном помрачењу Сунца).

Слика 39. (а) Коронални избачај масе (CME) виђен коронографом, (б) настанак магнетног повезивања.



а)



б)

Научници сматрају да коронално избацивање масе и Сунчеве бакље настају због појаве поновног магнетског повезивања (енг. *Magnetic reconnection*). То се дешава када се линије сила два магнетна поља супротног смера међусобно приближе и потом се повежу, те се магнетно поље локално промени. Та промена је повезана са ослобађањем енергије из основног магнетског поља у унутрашњости Сунца.

Коронално избацивање масе, као и соларни пламенови, може ометати телекомуникациони пренос и оштетити сателите, те као и електричне далеководе и остале електричне уређаје, што може довести до нестанка електричне струје на дуже време. Пилоти и астронаути могу бити изложени озбиљној радијацији, са потенцијално опасним последицама по здравље.

2.4.9. Манифестација соларног хазарда (Соларне геомагнетске буре, магнетосферски поремећаји)

Када је коронални избачај масе усмерен према Земљи и када досегне међупланетарни простор, електрони и протони велике енергије стварају ударни талас, чиме настаје геомагнетска бура (олуја), која може да омета Земљину магнетосферу, вршећи притисак на Сунчевој страни и издужујући магнетски реп на страни Земље која је у мраку (на којој је ноћ). Када се магнетосфера Земље поновно магнетски повеже на ноћној страни Земље, она ослобађа снагу од неколико *теравата* ($1 \text{ TW} = 10^{12} \text{ W}$) која повратно делује на горње слојеве Земљине атмосфере. Тај процес може узроковати настанак јаке поларне светлости.

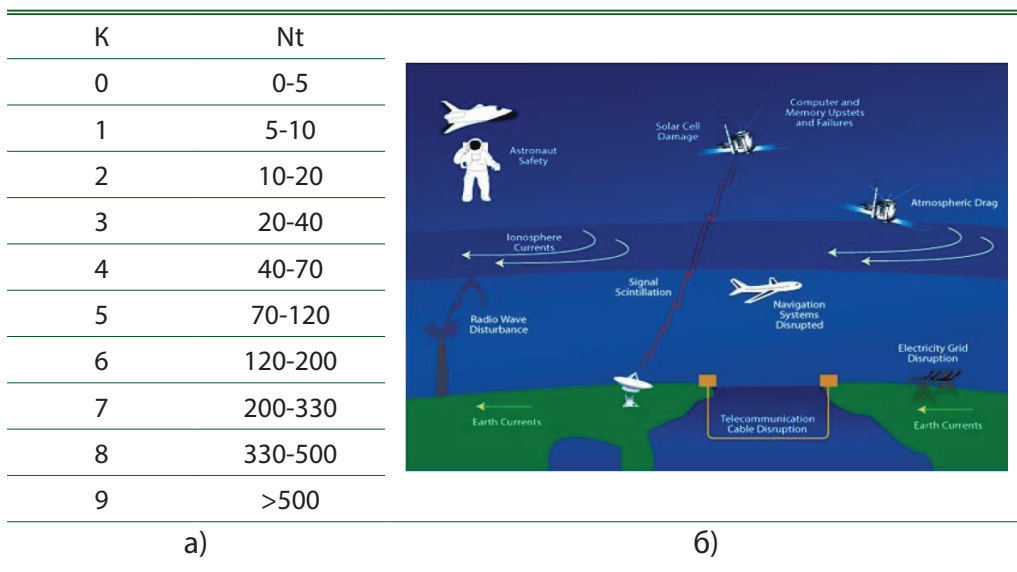
За Сунчево магнетно поље се везују појмови соларна бура и Сунчеве хромосферске ерупције. У центрима активности на Сунцу, у релативно кратком периоду генерише се огромна количина енергије. Соларне буре изазивају Сунчеве хромосферске ерупције у атмосфери Сунца, при чему долази до ослобађања велике количине водоника, хелијума и других елемената. Са друге стране, раст и опадање интензитета центара активности се преноси до Земље и доводи до стварања магнетосферских поремећаја. Они настају као прерасподела магнетних поља и утичу на ток соларног ветра у међупланетарном простору и последица су промена у „космичкој клими“, те се још називају ***Space Weather Hazards***. Геомагнетске буре (поремећаји у Земљиним магнетним пољима) почињу онда када ударни талас са Сунца, на исти начин као соларни ветар, дође на границу магнетосфере и долази до њеног компримовања. Овај ефекат се манифестује постепеним повећањем интензитета геомагнетног поља.

Природни хазард

После удара долази до привидног смиревања магнетосфере, која тад као да је смештена у пост-ударном Сунчевом центру. Овај период варира од неколико минута до више сати. Главна фаза буре почиње када ударно струјање плазме доспе у магнетосферу. Магнетосфера је тада изложена дејству великих флукуација плазме и поља соларног ветра (Aschwanden, 2014).

K-index је параметар који се везује за промене хоризонталне компоненте геомагнетног поља које могу бити опсервиране магнетометрима, на свака три сата. Скала је у распону од 0 до 9, а када је на горњем крају свог опсега (преко 500 nT), указује на појаву врло интензивних геомагнетских буре.

Слика 40. а) скала К-индекса, б) могући утицаји соларно-магнетних поремећаја.



Јаке соларне олује могу се испољити чак и када је циклус испод просека, као што је био случај 1859. године (када је соларна ерупција индуковала електричну струју велике јачине која је проузроковала пожар у телеграфским станицама и појаву поларног светла изнад Кубе). Док је олуја из 1859. године имала много мање последице с обзиром на много нижу тадашњу технолошку развијеност, соларна ерупција тих размера данас би била много озбиљнија. Оштећени би били многи трансформатори (мноштво људи би остало без струје), авиони и бродови се не би могли поуздати у GPS уређаје за навигацију, а банкарске мреже би се могле угасити, озбиљно нарушавајући глобалну трговину.

Припреме за соларну олују

Данас је могуће предвидети и пратити настанак и развој соларних олуја, чиме се ствара више времена за припрему и механизме одбране и заштите. Соларне олује могу се пратити у три димензије, као и олује на Земљи, у појединим центрима као што су лабораторије у NASA Goddard Center-у за свемирске летове. Овим се омогућавају правовремена упозорења о свемирским приликама које би могле сачувати енергетске мреже и високотехнолошку инфраструктуру у периодима екстремних Сунчевих активности. Уносе се подаци из великог броја летелица око Сунца, укључујући и сонде проучавање Меркура, у суперрачунаре. У време велике ерупције, рачунари генеришу тродиманзионални филм који предвиђа ка којој планети се усмерава олуја, а летелица може погодити и када ће се то догодити. Неки од компјутерских модела су толико софистицирани, да могу предвидети електричну струју која тече на Земљином тлу кад соларна олуја удари. Те струје су оно што учини највише штете на електричним трансформаторима, тако да добри модели могу помоћи да зауставе каскадно замрачење. Искључивање појединих трансформатора на неколико сати може спречити седмице губитка електричне енергије.

Списак литературе, табела и слика:



Литература:

- Arvidson, R.E., Boyce, J., Chapman, C., Cintala, M. Fulchignoni, M., Moore, H., Neukum, G., Schultz, P., Soderblom, L., Strom, R., Woronow, A., Young, R. 1979. "Standard Techniques for Presentation and Analysis of Crater Size-Frequency Data", *Icarus*, 37/2 (1979), 467–474.
- Aschwanden, M.J. 2014. "The Sun", in: *Encyclopedia of the Solar System* (3rd ed.), pp. 235-259. <https://www.sciencedirect.com/book/9780124158450/encyclopedia-of-the-solar-system>
- Barnes-Svarney, P.I. 1996. *Asteroid: Earth Destroyer or New frontier?*, Springer, New York, 1996. DOI 10.1007/978-1-4899-6148-8
- Beckman, J.E., Mahoney, T.J. 1998. *The Maunder Minimum and Climate Change: Have Historical Records Aided Current Research?*. Library and Information Services in Astronomy III. ASP Conference Series. Vol. 153. Instituto de Astrofísica de Canarias, Tenerife: Astronomical Society of the Pacific.
- Bronshten, V.A. 2012. *Physics of Meteoric Phenomena*, Science, Springer Science & Business Media (2012), p. 358, ISBN 978-94-009-7222-3
- Bostrom, N. 2002. "Existential Risks: Analyzing Human Extinction Scenarios and Related Hazards", *Journal of Evolution and Technology*, 9/1 (2002).
- Bottke, W. F. Jr., Durda, D. D., Nesvorny, D., Jedicke, R., Morbidelli, A., Vokrouhlicky, D., Levison, H. 2005. "The fossilized size distribution of the main asteroid belt", *Icarus*, 175/1 (2005), 111
- Choudhuri, A. R. 2010. *Astrophysics for Physicists*, Cambridge University Press, New York. (https://crossfield.ku.edu/A391_2020A/Choudhuri_Textbook.pdf, преузето 20. нов. 2023.)
- Carroll, B. W., Ostlie, D. A. 2006. *An Introduction to Modern Astrophysics* (2nd ed.) Benjamin Cummings, 2006.
- Clay, S. P., Koed, T. L. 2003. *A Complete Manual of Amateur Astronomy: Tools and Techniques for Astronomical Observations*, Courier Corporation, 2003, p. 66
- Covey, C., S. J. Ghan, S.J., Walton, J.J., Weissman, P.R. 1990. "Global environmental effects of impact-generated aerosols: Results from a general circulation model", in: *Global Catastrophes in Earth History* (ed. V. L. Sharpton and P. D. Ward), Geological Society of America Special Paper, 247 (1990), 263-270.

- The Encyclopedia Americana: A Library of Universal Knowledge*, Vol. 26 (1920), pp. 162-163. <https://archive.org/details/encyclopediaame01unkngoog/page/162/mode/2up?view=theater>
- Gallant, R. 1996. "Sikhote-Alin revisited", *Meteorite Magazine*, 2(1996), 8.
- Gritzner, C. 1997. "Human Casualties in Impact Events", *WGN*, 25 (1997), 222.
- Greenberg, J. M. 1998. "Making a comet nucleus", *Astronomy & Astrophysics*, 330 (1998), 375.
- Güdel, M. 2004. "X-ray astronomy of stellar coronae", *Astron. & Astrophys. Rev.* 12, 2–3, 71–237.
- Jenniskens, P. 2019. "Tunguska eyewitness accounts, injuries and casualties", *Icarus*, 327 (2019), 4–18.
- Kerrod, R. 2000. *Asteroids, Comets, and Meteors*, Lerner Publications Co., 2000. ISBN 978-0-585-31763-2
- Kenkmann, Th., Hörz, F., Deutsch, A. 2005. *Large Meteorite Impacts III*, Geological Society of America (2005), p. 34.
- Klebesadel, R.W., Strong, I.B., Olson, R.A. 1973. "Observations of Gamma-Ray Bursts of Cosmic Origin", *Astrophysical Journal Letters*. 182 (1973), 85-88 doi:10.1086/181225
- McKinlay, A.F., Diffey, B.L. 1987. "A reference action spectrum for ultraviolet induced erythema in human skin", *CIE Journal* 6/1, 17–22.
- Melosh, H.J., 1989, *Impact cratering: A geologic process*: New York, Oxford University Press, 245 p.
- Melosh, H.J., Collins, G.S. 2005. "Meteor Crater formed by low-velocity impact", *Nature*, 434 (2005), 157.
- Millman, P.M. 1961. "A report on meteor terminology", *Journal of the Royal Astronomical Society of Canada*, 55 (1961), 265–267
- Morrison, D., Chapman, C.R., Slovic, P. 1994. *The impact hazard*, 1994, University of Oregon, Scholars' Bank, <http://hdl.handle.net/1794/22416>
- Moshhammer, H., Simic, S., Haluza, D. 2016. "UV 'Indices'-What Do They Indicate?", *Int. J. Environ. Res. Publ. Health*, 13 /10, 1041. <https://doi.org/10.3390/ijerph13101041>
- Owens M.J. et al. 2017. "The Maunder Minimum and the Little Ice Age: An update from recent reconstructions and climate simulations". *Space Weather and Space Climate*. 7. A33. https://www.swsc-journal.org/articles/swsc/full_html/2017/01/swsc170014/swsc170014.html
- Online Etymology Dictionary (OED), 2023. D. Harper, "Comet (n.)", *Online Etymology Dictionary*. (приступљено 20. нов. 2023.)
- Paine, M., Peiser, B. 2002. "The Frequency and Consequences of Cosmic Impacts Since the Demise of the Dinosaurs". *Bioastronomy 2002: Life Among the Stars*, 2002.

- Pitjeva, E. V. 2018. "Masses of the Main Asteroid Belt and the Kuiper Belt from the Motions of Planets and Spacecraft", *Solar System Research*, 44 /8–9 (2018), 554–566.
- Pike, J. 1991. The sky is falling: The hazard of near-Earth asteroids, *The Planetary Report* 11 (1991), 16–19.
- Rubin, A.E. Grossman, J.N. 2010. „Meteorite and meteoroid: New comprehensive definitions“, *Meteoritics & Planetary Science*. 45/1 (2010), 114–122.
- Rumpf, C.M., Lewis, H.G., Atkinson, P.M. 2017. "Asteroid impact effects and their immediate hazards for human populations", *Geophysical Research Letters*, 44 /8 (2017), 3433–3440.
- Russell. C.T. 1974. „The Solar wind and magnetospheric dynamics“, *Correlated Interplanetary and Magnetospheric Observations* (ed. by D.E.Page), D. Reidel Publ. Co., Dordrecht, Holland, p.3.
- Salaris, M., Cassisi, S. 2005. *Evolution of Stars and Stellar Populations*, John Wiley & Sons, pp. 119–121.
- Sharma, S. 2008. *Atomic and Nuclear Physics*, Pearson Education India, 2008, p. 478. ISBN 978-81-317-1924-4.
- Shoemaker, E.M., Wolff, R.F., C. S. Shoemaker, C.S. 1990. "Asteroid and comet flux in the neighborhood of the Earth", in: *Global Catastrophes in Earth History* (ed. V. L. Sharpton and P. D. Ward), Geological Society of America Special Paper, 247 (1990), 155–170.
- Sharpton, V.L., R. A. F. Grieve, R.A. 1990. "Meteorite impact, cryptoexplosion and shock metamorphism: A perspective on the evidence at the K/T boundary", in: *Global Catastrophes in Earth History* (ed. V. L. Sharpton and P. D. Ward), Geological Society of America Special Paper, 247 (1990), 301–318.
- Shoemaker, E.M. 1983. "Asteroid and Comet Bombardment of the Earth", *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 11 / 1 (1983), 461–494.
- Stothers, R.B. 1984. "The Great Tambora Eruption in 1815 and Its Aftermath", *Science*, 224 (4654), 1191–1198.
- Su, M., Slatyer, T.R., Finkbeiner, D.P. 2010. "Giant Gamma-ray Bubbles from Fermi-LAT: Active Galactic Nucleus Activity or Bipolar Galactic Wind?". *The Astrophysical Journal*, 724 (2010), 1044–1082. doi:10.1088/0004-637X/724/2/1044
- Webb, A.R., Slaper, H., Koepke, P., Schmalwieser, A.W. 2011. "Know Your Standard: Clarifying the CIE Erythema Action Spectrum", *Photochemistry and Photobiology* 87 /2, 483–486. <https://doi.org/10.1111/j.1751-1097.2010.00871.x>
- Williams, G. 2010. "Distribution of the Minor Planets", *Minor Planets Center*, 2010. (преузето 20. нов. 2023. ca: <https://minorplanetcenter.net/iau/lists/MPDistribution.html>)
- Wheeler, L.F., Mathias, D.L. 2019. "Probabilistic assessment of Tunguska-scale asteroid impacts". *Icarus*, 327 (2019), 83–96.

Zombeck, M. V. 2006. Handbook of Astronomy and Astrophysics, Cambridge, UK: Cambridge University Press.

Табеле:

Табела 2. Модификовано: NASA & John Hopkins Applied Physics Laboratory <https://www.jhuapl.edu/>

Табела 3. Модификовано: https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_impact_craters_on_Earth

Табела 4. Модификовано: <https://web.archive.org/web/20121129162535/http://www.epa.gov/sunwise/uvicalc.html>

Слике:

Слика 6. Модификовано: https://chandra.harvard.edu/xray_sources/normal_stars.html

Слика 7. Модификовано: https://en.wikipedia.org/wiki/Comet#/media/File:Comet_Physical_Structure.svg

Слика 8. Модификовано: https://en.wikipedia.org/wiki/Asteroid#/media/File:Moon_and_Asteroids_1_to_10.svg

Слика 9. Модификовано: <https://www.shutterstock.com/image-vector/vector-cartoon-outer-space-objects-set-1087363949>

Слика 10. Модификовано: <https://spaceplace.nasa.gov/asteroid-or-meteor/en/>

Слика 11. Модификовано: <https://skyandtelescope.org/astronomy-news/tunguska-100-years-and-counting/>

<https://www.britannica.com/event/Tunguska-event>

<http://earthsci.org/space/space/tunguska/tunguska.html>

Слика 12. Модификовано: <https://cneos.jpl.nasa.gov/stats/totals.html>

<https://www.iau.org/public/themes/neo/>

Слика 13. Модификовано: <https://courses.lumenlearning.com/suny-astronomy/chapter/impact-craters/>

Слика 14. Модификовано: <https://www.britannica.com/science/meteorite-crater/The-impact-cratering-process>

Слика 15. Модификовано: <https://databayou.com/impact/craters.html>

Слика 16. Модификовано: <https://www.jpl.nasa.gov/images> <https://homepages.uc.edu/~hansonmm/ASTRO/LECTURENOTES/F03/Earth/Page30.html>

Слика 17 и 18. Модификовано: https://www.researchgate.net/publication/234148790_Asteroid_and_comet_bombardment_of_the_Earth_Ann_Rev_Earth_Planet_Sci

Природни хазард

Слика 19. Модификовано: www.newscientist.com/article/dn12761-are-mirrors-the-best-way-to-deflect-asteroids.html

www.newscientist.com/article/dn8291-gravity-tractor-to-deflect-earthbound-asteroids.html

Слика 20. лична архива М.П.

Слика 21. Модификовано: <https://www.mpi-hd.mpg.de/hfm/~bernlohr/index.html.en>

Слика 22. Модификовано: <https://physics.stackexchange.com/questions/282353/how-does-particle-speed-affect-cherenkov-radiation> , <https://i.stack.imgur.com/9qP9s.jpg>

Слика 23. Модификовано: <https://aether.lbl.gov/www/projects/neutrino/grb/grb-map.html>

Слика 24. Модификовано: https://heasarc.gsfc.nasa.gov/docs/xte/Greatest_Hits/sgr_bell.html

Слика 25. Модификовано: https://en.wikipedia.org/wiki/SN_2006gy

Слика 26. Модификовано: <https://svemir.blog/2010/09/19/carina-nebula-i-eta-carina/>

Слика 27. Модификовано: https://en.wikipedia.org/wiki/Hertzsprung%E2%80%93Russell_diagram

Слика 28. Модификовано: <https://en.wikipedia.org/wiki/Photosphere> <https://www.nasa.gov/image-article/great-ball-of-fire/>

Слика 29. Модификовано: <https://www.sciencedirect.com/book/9780124158450/encyclopedia-of-the-solar-system>

Слика 30. Модификовано: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/solar-spectrum>

Слика 31. Модификовано: <https://www.briangwilliams.us/climates-weather/satellite-observations.html> <https://circuitdigest.com/tutorial/solar-radiation-measurement-methods-using-pyrheliometer-and-pyranometer>

Слика 32. Модификовано: <https://www.avitalbeauty.com/BeautyBlog/blog/ArtMID/582/ArticleID/17/Beauty-is-More-Than-Skin-Deep>
<https://web.archive.org/web/20121129162535/http://www.epa.gov/sunwise/uv-calculator.html>

Слика 33. Модификовано: <https://www.sciencedirect.com/book/9780124158450/encyclopedia-of-the-solar-system>

Слика 34. Модификовано: https://cesar.esa.int/upload/201710/suns_differential_rotation_students_guide_intermediate_level_008.pdf

Слика 35 и 36. Модификовано: https://en.wikipedia.org/wiki/Solar_cycle

Слика 37. Модификовано: www.swpc.noaa.gov

Слика 38. Модификовано. www.swpc.noaa.gov; <https://trace.lmsal.com/POD/TRACEpodarchive24.html>

Слика 39. Модификовано: <https://www.sciencedirect.com/topics/earth-and-planetary-sciences/solar-magnetic-field>; <https://stereo.gsfc.nasa.gov/classroom/corona-graphs.shtml>

Слика 40. Модификовано: <https://www.nasa.gov/goddard/>





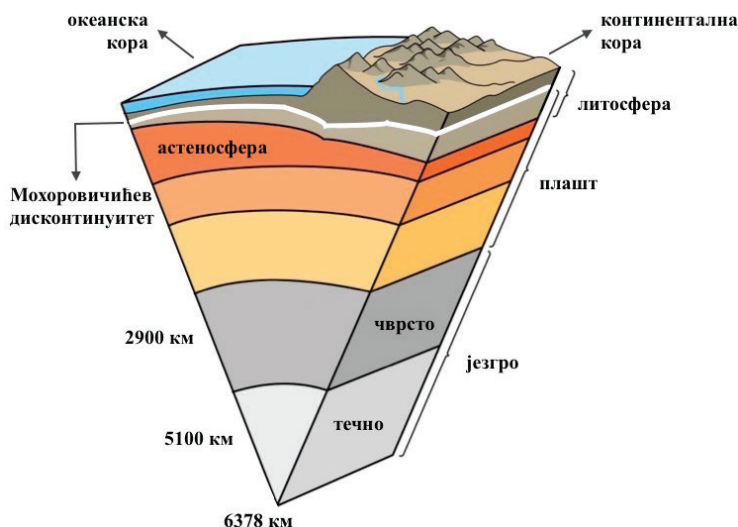
3. ЛИТОСФЕРСКИ ХАЗАРД

3. ЛИТОСФЕРСКИ ХАЗАРД (ГЕОДИНАМИЧНИ ХАЗАРД)

Када говоримо о литосферском хазарду, пре свега говоримо о природним појавама које се дешавају у појасу литосфере. Литосфера (гр. λίθος - стена) представља охлађен чврсти површински слој планете Земље који се састоји од различитих стенско-минералних формација. Земља има четири главна слоја: кору, земљин омотач (плашт), спољашње и унутрашње језгро. Кора и површински слој плашта чине **литосферу**.

Према орографским карактеристикама појас литосфере је изграђен од копненог и океанског типа коре, који се разликују по дебљини, минералном саставу и специфичној тежини. У склопу земљине коре налазе се лакши елементи, пре свега оксиди силицијума и алуминијума, а чине је магматске, седиментне и метаморфне стене. Линија разграничења између земљиног омотача и коре назива се Мохоровичићев дисконтинуитет или Мохо слој. Испод Мохо слоја налази се земљин омотач (плашт) у чијем склопу је смештена **астеносфера**. У самом центру налази се и земљино језгро, са температурама између 4.800°C и 6.900°C . Услед земљине ротације и услова високе температуре, долази до стварања електрицитета односно земљиног магнетног поља (Пешић, 2002а).

Слика 41. Структура Земље



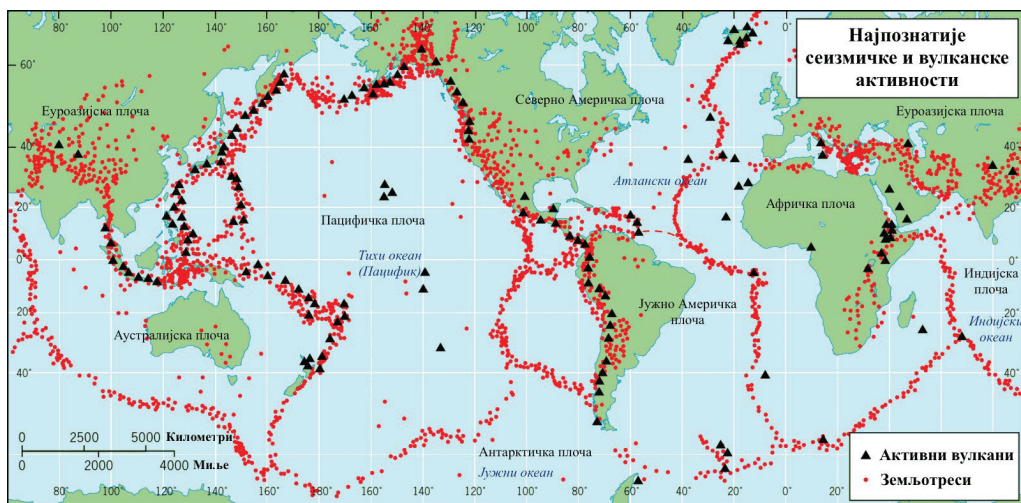
Природни хазард

Када се вратимо на површину земље, важно је напоменути да се литосфера, налик слагалици, састоји из великог броја фрагмената који континуирано настављају полако да се крећу, мимоилазе, сударају или подвлаче један испод другог. Ови делови слагалице представљају **тектонске плоче**. Приликом њиховог кретања формирају се раседи, односно пукотине настале померањем плоча, при чему долази до ослобађања акумулиране енергије која чини основу сваке сеизмичке активности - земљотреса. Такође, места где се тектонске плоче подвлаче једна испод друге чине такозване „вруће тачке” – „hot spots” у чијим активним зонама настају вулканизми (вулкани).

Под утицајем тектонских процеса, раздвајали су се и настајали данашњи континенти. Континенти су копнене литосферне масе које су дивергиране (подељене) у шест целина: Еуроазија, Африка, Северна Америка, Јужна Америка, Антарктик и Аустралија са Океанијом. Са друге стране, океани чине континуиране водене масе на океанској литосферној кори и чине их: Тихи океан (Пацифик), Атлански океан (Атлантук), Индијски океан, Јужни океан и Арктички (Северно ледени океан) (Пешић, 2002а).

Са аспекта природног хазарда и тектонике литосферних плоча, под литосферским хазардом подразумевамо: **сеизмичке активности – земљотресе и вулканизме – вулкани**.

Слика 42. Светска мапа литосферског хазарда



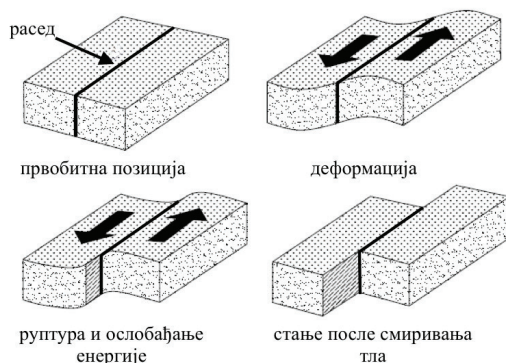
3.1. СЕИЗМИЧКИ ХАЗАРД – ЗЕМЉОТРЕСИ

Земљотреси су као природни феномени релативно честа појава и годишње се у свету у просеку региструје преко 100.000 потреса већег или мањег интензитета. Према статистичким подацима у XX веку од земљотреса и њихових последица животе је изгубило између 1,5 и 2 милиона људи. Земљотреси настају услед тектонских активности, а у зависности од интензитета активности, зависиће и јачина потреса на површини земље, односно последице тих потреса (цунами, разорни морски таласи и сл.). У Земљиној кори услед прерасподеле напонских стања долази до ослобађања огромне количине енергије путем сеизмичких таласа (Monroe & Wicander, 2011). Том приликом долази до формирања великих пукотина на површини Земље. Систем од два блока стена са заједничком додирном површином дуж које се могу кретати уз ослобађање сеизмичке енергије назива се расед.

3.1.1. Теорија еластичног одраза (H.F. Reid)

Према Теорији геофизичара Harry Fielding Reid-a (Reid, 1910), приликом тектонских процеса, стенске масе на једној страни раседа се могу релативно померати у односу на стене са друге стране раседа, што доводи до њиховог савијања и деформација. Када сила премашује чврстоћу стене (деформације превазилазе капацитете отпора), долази до наглих покрета стена на супротним странама и отпуштања велике количине акумулиране енергије у виду радијалних потресних таласа – при чему настаје **механизам потреса**.

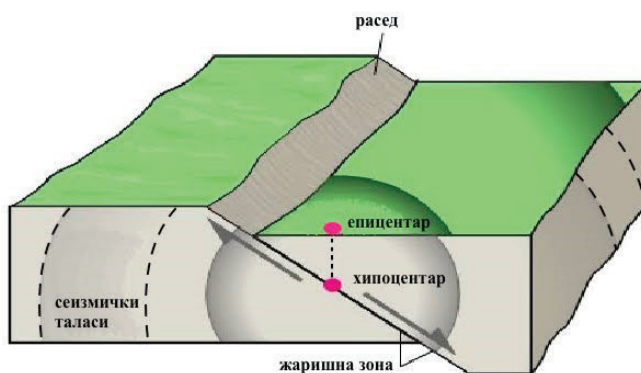
Слика 43. Кретање стенских блокова дуж раседне површине



Природни хазард

Када настане пукотина она се може померати дуж раседа брзином од неколико km/s (дужина раседа може бити од неколико метара до неколико стотина километара). Уколико је већа пукотина/расед - више времена је потребно да се сва ускладиштена енергија у стенама отпусти, што индукује и дуже вибрација тла. Зоне раседања у Земљиној кори где се стварају пукотине из којих се ослобађа енергија, називају се *жаришта*, док почетна тачка жаришта је **хипоцентар** (фокус). Тачка на површини Земље која чини вертикалну пројекцију средишта хипоцентра је **епицентар**.

Слика 44. Положај хипоцентра и епицентра земљотреса



3.1.2. Подела потреса

Потреси се могу поделити зависно од два критеријума: *а) положаја хипоцентра и б) начина настанка*.

У зависности **дубине хипоцентра**, потреси могу бити:

- 1) плитки (0-70 km);
- 2) средњи (70-350 km);
- 3) дубоки (350-700 km).

Најприсутнији су плитки потреси (85%), док средњих и дубоких потреса има око 15%, јер на тим дубинама већ доминира магматски растоп („пластични“ токови стена), који за разлику од чврстих стенских маса, није у стању да изненада отпусти енергију.

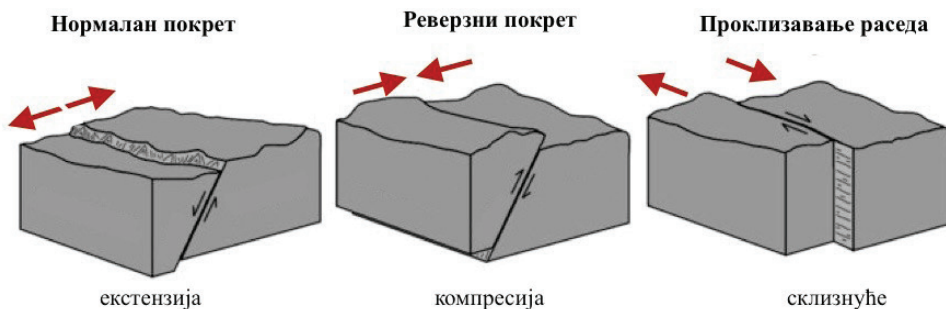
Према **начину настанка**, потреси се деле на:

- 1) тектонске – условљени тектоником плоча (Северна и Јужна Америка, Јапан, Индонезија);
- 2) вулканске – изазвани вулканском активношћу (пример: ерупција планине Св. Хелена (1980) изазвала је потрес $M=5.1$);
- 3) урвинске (колапсне) – настају при урушавању каверни (одрони пећина и јама);
- 4) вештачке – последице антропогеног деловања (минирање или нуклеарне експлозије).

Са развојем савремене технологије, посебно механичких сензора, могуће је још прецизније детектовати различите ендодинамичке процесе литосфере. Познато је да су површински слој Земље и њена унутрашњост у сталном покрету. Постоје три основне врсте тектонских покрета: **нормалан**, **реверзни** и **склизнуће**.

- **Нормалан покрет** – два блока се удаљавају један од другог, узрокујући да један од блокова раседа клизи навише, а други наниже у односу на раван раседа (стрма раседна површ).
- **Реверзни покрет** – два блока се крећу један према другом (место где се један блок издиже изнад или подвлачи испод супротног блока).
- **Проклизавање раседа** – супротни блокови земље се крећу хоризонтално један наспрам другог, без промене висине (вертикалног кретања).

Слика 45. Врсте тектонских покрета

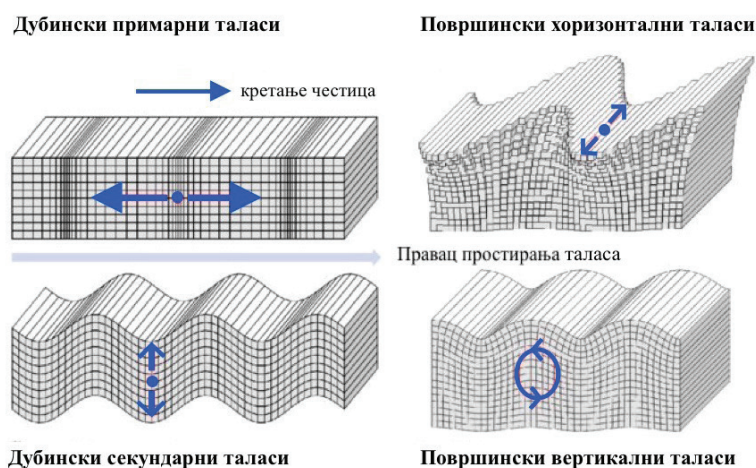


3.1.3. Подела сеизмичких таласа

Прерасподела напонских стања у Земљиној кори, као последица еластичног одраза стенске масе, изазива ослобађање енергије путем **сеизмичких таласа**. Према начину и дубини њиховог простирања, разликују се две врсте сеизмичких таласа:

- а) **дубински таласи (енг. body waves)** – сеизмички таласи који се простиру кроз Земљину унутрашњост, а могу бити *примарни таласи* (P - Waves) и *секундарни* или *трансферзални таласи* (S - Waves);
- б) **површински таласи (енг. surface waves)** – сеизмички таласи који се простиру по површини Земље, ниске фреквенције и високе амплитуде, са дугим периодом осциловања (најдеструктивнији тип таласа).

Слика 46. Типови сеизмичких таласа (Shearer, 2009)



3.1.4. Мерење јачине потреса

Јачину земљотреса могуће је измерити на два начина: *помоћу интензитета потреса и одређивања магнитуде потреса*.

- **Интензитет потреса** се мери помоћу Меркелијеве скале (Mercalli-Cancani-Sieberg), кроз приказ интензитета потреса путем величине и врсте штете, односно последица потреса на људе, објекте и тло.
- **Магнитуда потреса** представља укупну количину ослобођене енергије из хипоцентра и мери се помоћу Рихтерове скале (Charles-Francis-Richter), на основу Р и S амплитуда регистрованих на сеизмографу.

Слика 47. Мерење јачине земљотреса помоћу модификоване Меркалијеве скале

Модификована Меркалијева скала		Рихтерова скала
I	Региструју само инструменти	1.5
II	Вибрација само горњих спратова високих зграда	2
III	Благо подрхтавање тла	2.5
IV	Вибрација прозорних окна и стаклених предмета	3
V	Осећа се потрес; могуће ломљење стакала и посуђа	3.5
VI	Померање намештаја и падање предмета; паника код људи	4
VII	Пукотине по зидовима, падање црепова са кровова	4.5
VIII	Приметна оштећења на објектима; пуцање тла	5
IX	Тешка оштећења или рушење објеката; активација клизишта	5.5
X	Рушење мостова и брана; избијање подземних вода	6
XI	Рушење инфраструктуре већине објеката, појава великих одрона	6.5
XII	Тотално уништење инфраструктуре; мењање корита реке	7
		7.5
		8

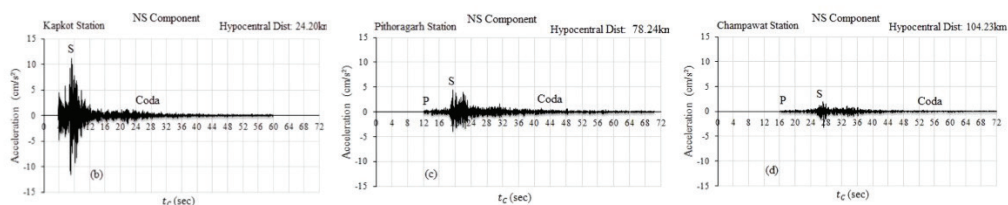
3.1.5. Сеизмички ризик

Ефекти потреса се могу оцењивати на два начина: **макросеизмички** и **микросеизмички**. Макросеизмичка метода се базира на процени крајњих последица на тлу и објектима, које за собом оставља потрес, као и визуелно чулних ефеката који се приписују датом потресу. Код микросеизмичких метода интензитет потреса се оцењује анализом инструменталних мерних података попут померања, брзине или убрзања тла.

Када је реч о сеизмичком ризику, потребно је споменути и **закон атенуације**, који је дат од стране експерата из различитих области и односи се на проналажење узајамне везе између интензитета потреса, дубине хипоцентра и магнитуде земљотреса. Свако сеизмогено подручје карактерише посебан извор енергије, механизам ослобађања енергије, индивидуална сеизмичка активност која се одражава на сеизмичке параметре и критеријуме за планирање и асеизмичко пројектовање. Периоди осциловања тла расту са повећањем магнитуде и повећањем епицентралног растојања. Интерполацијом и екстраполацијом земљотреса долази се до закључка да периоди осциловања тла у пречнику до 40 km од епицентра не зависе од растојања већ само од магнитуде потреса. Због тога се ово растојање сматра **радијусом епицентралне зоне земљотреса**. Што је већа удаљеност од епицентра, смањује се интензитет потреса, односно амплитуда осцилација сразмерно опада са повећањем удаљености. Простирање сеизмичких таласа из жаришта се може представити преко **сеизмичких зрака**.

Ефекти потреса који се манифестују на површини земље, зависе искључиво од излазног угла сеизмичких зрака и деле се на: **вертикалне** и **хоризонталне компоненте осциловања**. Вертикална компонента региструје се у близини епицентра, док је на већим растојањима од епицентра присутна хоризонтална компонента, која је уједно много ризичнија за инфраструктуру. Свака сеизмолошка станица поседује по три сеизмографа од којих један региструје вертикална осциловања површине, а друга два хоризонтална померања. У зависности од временског трајања потреса разликују се **земљотреси ударног типа** са кратким али интензивним потресима и **земљотреси продуженог трајања** које карактерише дуже трајање главног удара (неколико минута), након чега престаје главна сеизмичка активност.

Слика 48. Илустрација атенуације сеизмичких таласа

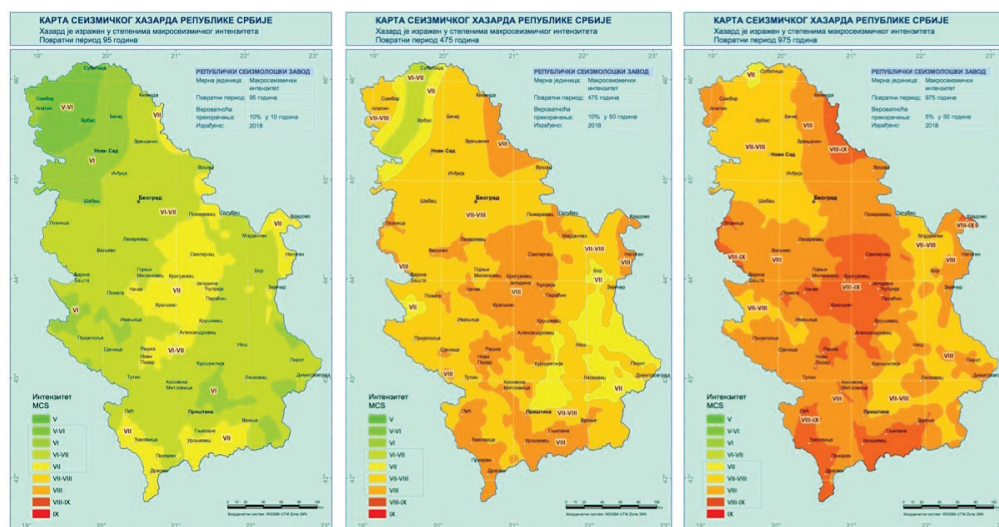


У случају земљотреса, ризик по безбедност становништва (смртност, повреде или материјалне штете) највише је изражен током првих 48 часова од главног удара, док се у поређењу са поплавама ризик по општу безбедност процењује у периоду од пет до седам дана. За процену сеизмичког ризика потребна је посебна пажња и ангажман стручних лица из различитих области, како би се правовремено последице свеле на што мању меру.

3.1.6. Сеизмичка рејонизација

Сеизмичка рејонизација обухвата процену сеизмичности терена на основу које се одређују потенцијална места појављивања и јачине будућих земљотреса. Процес рејонизације обухвата детаљно геолошко картирање, односно познавање сеизмичности на базној стени и геолошко-сеизмолошких особина површине терена. На основу добијених података, израђују се сеизмичке карте на којима су за одређивање земљотреса у употреби различите скале. Најзаступљенија је 12 – класна Меркалијева скала, помоћу које се дефинишу норме за сеизмички стабилно грађење објеката. Приликом кретања сеизмичких таласа кроз профил, од хипоцентра ка епицентру, настаје амплитудно-фреквентна трансформација таласа која се манифестује у виду локалног сеизмичког обележја на површини терена. За одређивање сеизмичности локације, користе се резултати моделовања у циљу што адекватније организације објеката при урбанистичком планирању и изградњи инфраструктуре. Сеизмичке карте представљају приказ резултата мониторинга сеизмолошких станица. У њима су приказане и обележене области са вредностима магнитуда и интензитета регистрованих потреса за одређени повратни период (95, 475 и 975 година) (Драгојевић, 2018).

Слика 49. Приказ карата сеизмичког hazarda макросеизмичког интензитета Републике Србије за повратни период од 95, 475 и 975 година



Проучавањем последица земљотреса може се закључити да степен оштећења објекта зависи од карактеристика подлоге на којој је објект саграђен. Анализом података, уочено је да се у оквиру истог подручја интензитет земљотреса може разликовати и до четири сеизмичка степена зависно од геолошких услова. Такође и конфигурација терена утиче на сеизмичност потреса, јер сеизмичка стабилност падина зависи од нивелације терена, геолошко-геомеханичких особина подлоге, експозиције, влажности и режима подземних вода. Са инжењерско-геолошког аспекта, поузданост сеизмичке микрорејонизације зависи од литолошке сложености терена, рељефа, хидрогеолошких услова итд. У циљу прецизније процене сеизмичности терена, неопходно је израдити детаљну инжењерско-геолошку карту, што ипак, даје само прелиминарни увид у оцени сеизмичности терена.

3.1.7. Сеизмолошки мониторинг

За процену ризика од земљотреса изузетно је важан сеизмолошки мониторинг. Савремену мрежу сеизмолошких станица Републике Србије данас чине 24 сеизмолошке станице са 87 дигиталних канала које су опремљене различитом сеизмолошком опремом. Систем ДАСА (Дигитална Аутоматска Сеизмолошка Аквизиција) је развијен у Републичком сеизмолошком заводу и у периоду 1991-2005. године је чинио основу сеизмолошке мреже.

У процесу сеизмолошког мониторинга разликују се:

- *сеизмичка макрорејонизација* која се ради за већа подручја (држава, република) и резултује картама које садрже поља основног степена сеизмичког интензитета тј. податке о релативном степену сеизмичке угрожености, где су издвојени простори на којима треба применити детаљне мере односно, где је могуће регистровати секундарне појаве у тлу при појави земљотреса.
- *детаљна сеизмичка рејонизација* представља основу за просторно планирање где се степен сеизмичке угрожености утврђује на основу сеизмогеолошких, сеизмотектонских и сеизмичких параметара узимајући у обзир одређена прогнозна стања максималних земљотреса.
- *сеизмичка микрорејонизација* која се ради за веће урбане целине (основа за ГУП) и обезбеђује карте са издвојеним површинама разних степена сеизмичке угрожености са параметрима за пројектовање и грађење објеката.
- *детаљна сеизмичка микрорејонизација* која се ради за објекте специјалне намене или конструкције, а карта која се добија садржи спектре сеизмичке угрожености објекта и параметре за пројектовање као и сеизмички ризик, а на основу конкретних изучавања и испитивања услова.

Сеизмолошки мониторинг у склопу метода сеизмичке микрорејонизације разликује појмове сеизмичког ризика који се односе на величину очекиваних штета на објекту и сеизмичког hazardа под којим се подразумева одређивање вероватноће потенцијалне сеизмичке опасности.

Сеизмички hazard представља вероватноћу појављивања земљотреса одговарајућих карактеристика (интензитет, убрзање осциловања тла,...) у одређеном временском периоду и на одређеном месту, који ће се на специфичан начин манифестовати на посматраној локацији. Према дефиницији, *сеизмички hazard* се може изразити као вероватноћа да

амплитуда одређеног параметра осциловања тла у условима дејства земљотреса достигне одређени ниво. Прорачун сеизмичког хазарда се може одредити на основу нумеричких параметара применом одговарајућих метода и статистичких модела, затим утврђивањем законитости атенуације сеизмичких параметара на регионалном нивоу и дефинисањем параметара сеизмичког режима датог подручја.

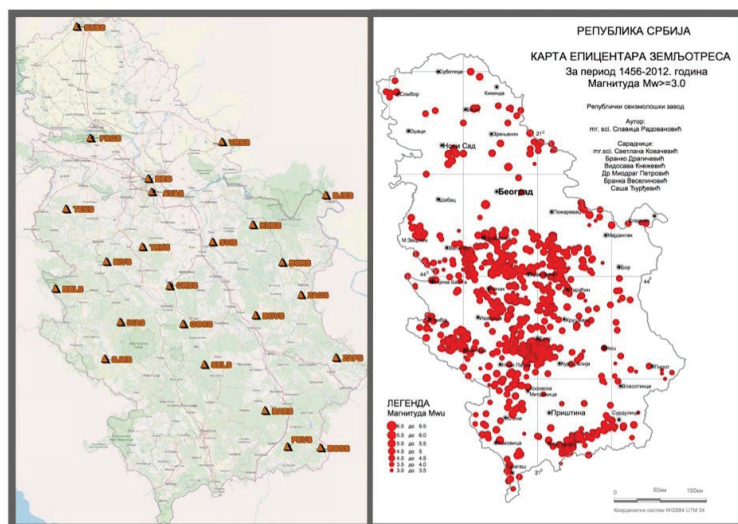
Сеизмички хазард се дефинише помоћу три параметра: величина параметра осциловања тла, повратни период и вероватноћа реализовања таквог догађаја. *Параметар осцилација* подразумева брзину, убрзање или амплитуду осцилирања тла за одређени повратни период и дефинисаном вероватноћом. Овај параметар се дефинише анализом протеклих догађаја. *Повратни период* се односи на фреквентну карактеристику (тј. поновљивост процеса разних магнитуда) за сваку жаришну зону. *Вероватноћа реализовања догађаја* базирана је на моделирању (анализа протеклих догађаја).

Процена сеизмичког хазарда представља сложен процес у који су укључена четири основна елемента:

1. *каталози земљотреса* – документи који садрже и податке о старим земљотресима и представљају најважнију информацију за процену сеизмичког хазарда;
2. *жаришта земљотреса* – геолошке структуре које су способне да генеришу земљотресе;
3. *ефекти земљотреса или инжењерски показатељи* – зависе од јачине земљотреса, растојања до жаришта земљотреса, карактеристика стена односно средине кроз коју се таласи простиру као и локалних услова фундирања чврстог или меког тла;
4. *прорачун сеизмичког хазарда* – анализа прикупљених података.

Сеизмички хазард прихваћен је у свим развијеним земљама и представља део препорука предстандарда Еврокода 8 који се односи на пројектовање сеизмички отпорних конструкција. У складу са захтевима Еврокода 8, територија Србије је подељена на зоне у којима је усвојено да је сеизмички хазард константан и приказан је једном (максималном) вредношћу убрзања за целу зону, односно једном бојом на карти (Драгојевић, 2018).

Слика 50. Карте сеизмолошких станица и епицентара земљотреса у Србији



3.1.8. Прорачун сеизмичког хазарда

За прорачун сеизмичког хазарда могу се применити две групе метода: *историјске* и *дедуктивне*.

Прва група обухвата *историјске методе* које се базирају на историјским подацима о већ реализованим земљотресима. У овом случају се не користе подаци о раседима, жариштима земљотреса или неким специфичним параметрима сеизмичности. Предност прве групе метода је то што нису неопходни сеизмички извори и параметри, док је недостатак ограничена интерпретација података, као и непоузданост прорачуна при мањим годишњим вероватноћама. Другу групу представљају *дедуктивне методе* при чијој се интерпретацији резултата користе подаци везани за узроке земљотреса (раседи, просторна жаришта) и њихове специфичне параметре.

Приликом прорачуна сеизмичког хазарда користе се *методе математичке статистике* и *теорије вероватноће*. Процес анализе сеизмичког хазарда подразумева разматрање бројних података и примену одређеног математичког поступка. Резултат прорачуна сеизмичког хазарда представља квантитативан показатељ сеизмичности, који обухвата:

- консултовање свих доступних историјских података о сеизмичности посматраног подручја, податке о геолошким, сеизмотектонским и геофизичким карактеристикама као и емпиријске податке;

- одређивање модела сеизмичности посматраног подручја на основу резултата о основним сеизмичким процесима и вредностима, затим прорачуна о поновљивости земљотреса и дефинисаним законитостима атенуације (слабљења посматраног параметра земљотреса у функцији од растојања до хипоцентра);
- дефинисање математичког модела настајања потреса на основу метода теорије вероватноће и математичке статистике.

Модел анализе сеизмичког ризика представља врло комплексан процес који даје могућност теоријске и квантитативне анализе карактеристика земљотреса за неко подручје у одређеном временском периоду. У модел је укључена и анализа понашања конструкције за време дејства земљотреса применом сеизмичких прописа и основних принципа асеизмичког пројектовања. Ниво прихватљивог ризика може се одредити комбиновањем параметара сеизмичког хазарда са параметрима конструкције дефинисаним асеизмичким пројектовањем и прописима за изградњу у турским подручјима.

Анализа сеизмичког ризика подразумева четири главна аспекта, који укључују:

- вероватноћу појаве и особине земљотреса, односно, сеизмички хазард;
- понашање конструкције под дејством земљотреса – сеизмичке прописе и асеизмичко пројектовање;
- процену очекиваних рушења и оштећења објекта за одређену вероватноћу појаве земљотреса;
- доношење одлука за ниво прихватљивог ризика у зависности од врсте конструкције и њеног експлоатационог периода.

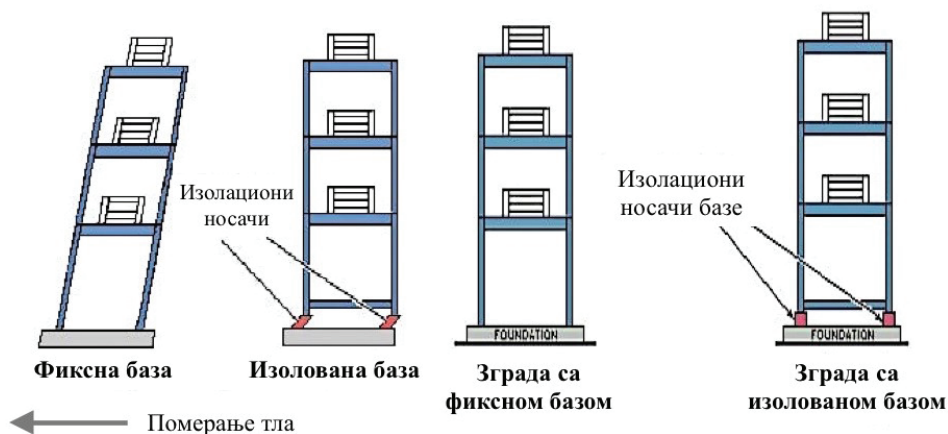
Приликом дефинисања и одређивања сеизмичког ризика неког подручја потребно је адекватно познавање и анализирање више фактора од којих су најважнији:

- модел сеизмичности подручја,
- ниво вероватноће појаве земљотреса,
- сеизмичка изложеност,
- експлоатациони период објекта,
- намена и важност конструкције,
- степен заштите односно ниво прихватљивог ризика.

Одређивање положаја сеизмогенних (жаришних) зона захтева податке (или подлоге) који се односе на тектонске, неотектонске и сеизмотектонске карактеристике анализираних подручја, као и каталожне податке о локацијама реализованих земљотреса. За сваку издвојену жаришну зону дефинише се законитост поновљивости земљотреса и максимална вредности магнитуде земљотреса за одабрани повратни период, уз претпоставку да је сеизмички режим подручја сталан а вероватноћа сеизмичности било које тачке жаришне зоне увек иста. На основу претходно поменутих података, за сваку жаришну зону мере се просечне дубине хипоцентра земљотреса помоћу којих се дефинише одређени број жаришних зона, релевантних за сеизмичност неког подручја. За сваку од дефинисаних зона формулише се одговарајући број елемената (зависи од величине жаришне зоне) са координатама центара у којима се симулира земљотрес.

Процена сеизмичког хазарда одређеног подручја од изузетног је значаја када се узме у обзир *рационално асеизмичко пројектовање*. Карте сеизмичког хазарда имају посебну вредност у домену практичне примене оваквог типа пројектовања. Међутим, посебно се мора водити рачуна о урбанистичким и инжењерским захтевима. У процесу урбанистичког управљања и планирања, сеизмичност одређеног подручја изражава се интензитетом земљотреса у степенима Меркалијеве скале. Савремен инжењерски приступ пројектовања, као меродаван показатељ сеизмичког хазарда одређеног подручја, консултује параметар убрзања осциловања честица тла за време потреса (сразмеран величинама сеизмичких сила).

Слика 51. Модел асеизмичког пројектовања објекта



3.1.9. Процена здравствено-безбедносног ризика од земљотреса

Према (РАНО, 2023), процена здравствено-безбедносног ризика од земљотреса заснована је на принципу одређивања заштитних мера од земљотреса, од којих разликујемо:

1. превентивне мере заштите (предвидљивост земљотреса);
2. мере током трајања потреса;
3. санационе мере (мере за ублажавање и отклањање последица).

1) *Превентивне мере* се морају заснивати на процени сеизмичког хазарда, примени сигурносних стандарда при асеизмичком пројектовању, као и информисању становништва о природним непогодама. Све ове мере се морају интензивно развијати уз константни мониторинг и развијање модела за могућу прогнозу земљотреса. Превентивне мере обухватају:

- вежбе симулације земљотреса у локалној заједници/радном месту/школи;
- одређивање најсигурнијих места у дому/радном месту/школи, као и путева за евакуацију;
- доступност контакт бројева служби за хитне случајеве (цивилна заштита, хитна помоћ, болнице, ватрогасци, полиција, итд.);
- обезбеђивање адекватних залиха за хитне случајеве (укључујући чисту воду, нектварљиву храну, лекове на рецепт, комплет прве помоћи, батерије, радио и храну за кућне љубимце);
- важне документе при руци (пасоши или лични документи);
- комплет за хитне случајеве збрињавања вулнерабилне (осетљиве) популације у случају евакуације подручја (деца, труднице).

2) *Током трајања земљотреса* примењују се у пракси мере превентиве. Основно начело се своди на одржавање мира и склањања на безбедно место. Такође, потребно је придржавати се упутстава службеника цивилне заштите и других органа.

3) *Санационе мере* се према степену приоритетности деле на:

- a) проверу безбедности боравишне локације;
- b) контактирање здравствених служби;
- c) проверу доступности залиха воде и хране;
- d) обезбеђивање вулнерабилне популације;
- e) спречавање несрећа.

Провера безбедности боравишне локације

Након земљотреса, потребно је спровести мере како би се ублажиле и правовремено отклониле последице потреса. Примарна мера се односи на проверу безбедности тренутне локације, електричних и вододводних инсталација, изворе хемијских опасности, као и контактирање надлежних служби уколико је потребна евакуациона подршка.

Здравствене услуге

Све повреде треба да буду темељно процењене од стране здравствених радника. Здравствене службе су такође можда претрпеле структурна оштећења и нису увек у могућности да виде пацијенте. Важно је сазнати који домови здравља и болнице функционишу. Услуге привремене здравствене заштите организују здравствени органи.

Провера доступности залиха воде и хране

После земљотреса постоји велика вероватноћа да ће доћи до несташице воде за пиће. Основна лична хигијена и прање руку су неопходни како би се спречило ширење болести. Ово је посебно важно у хитним случајевима. За пиће се искључиво препоручује флаширана вода. За одржавање јавне хигијене неопходно је обезбедити одговарајућу санитацију, одлагање отпада, хигијену хране и мере за спречавање размножавања комараца. Одржавње комуналне хигијене организује се у сарадњи са локалном заједницом.

Обезбеђивање вулнерабилне популације

У ванредним околностима збрињавање осетљиве популације (бебе, деца, труднице и дојиле, старије и слабопокретне особе) захтева контактирање најближе здравствене установе како би се обезбедио приступ раној нези. Особе са незаразним хроничним болестима (нпр. дијабетес, хипертензија или стање које захтева дијализу) потребно је да обавесте здравствене органе о својој болести и третману који следе, како би се наставило са лечењем у хитној ситуацији. Посебно је важно водити рачуна о менталном здрављу. Губитак и расељавање спадају у највеће стресоре који могу изазвати менталне поремећаје попут анксиозности и депресије. Стога је од великог значаја да особа буде спремна да се суочи са осећањима као што су страх, бол и неизвесност.

Спречавање несрећа

У постхазардним ситуацијама потребно је ризике од додатних акцидената свести на минимум. Пре свега, приликом рашчишћавања рушевина неопходно је обавестити органе цивилне заштите о оштећењима структуре. Провера електричне опреме и водова за пропан/природни гас спада у приоритете. Такође, коришћење заштитне опреме је неопходно како би се спречиле повреде и сачувала здравствена безбедност.

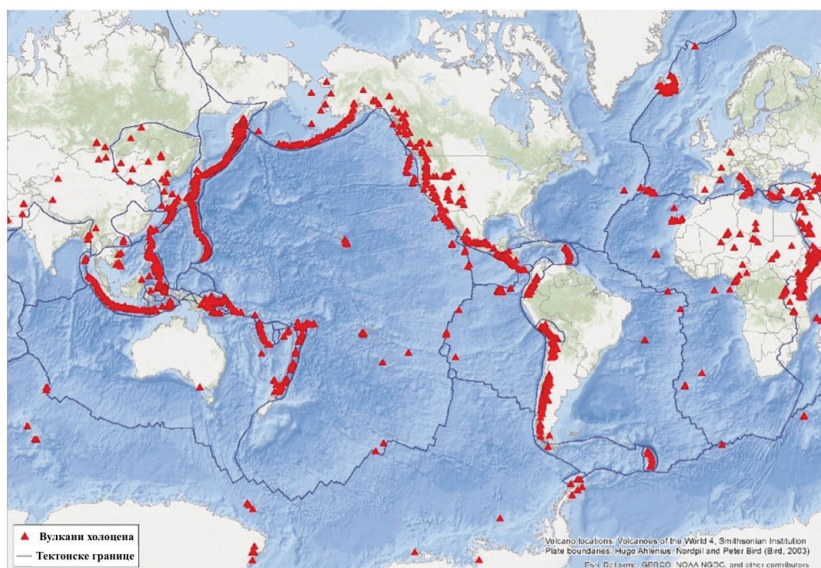
3.2. ВУЛКАНСКИ ХАЗАРД

Под појмом **вулканизам** подразумевају се сви процеси иницирани субдукцијом литосферних плоча, односно претапањем и кретањем ужареног растопа мешавине фрагмената континенталне или океанске коре и горњег омотача, као и његовим изливањем на површину Земље. Вулканизми се константно манифестују у активним зонама, тзв. „геолошким врућим тачкама“, које су већински распоређене дуж граница тектонских плоча.

Вулкан чини руптуру или отвор на Земљиној кори, кроз који се флуидна стенска маса (лава) и пирокластичан материјал ослобађа на површину, где настављају своје кретање и седиментирање. Према досадашњим истраживањима, регистровано је око 1 550 „активних“ копнених вулкана који су еруптирали у протеклих 10 000 година и због тога ће вероватно поново еруптирати у будућности. Глобално, у просеку око 70 вулкана еруптира сваке године. Неки вулкани често еруптирају (нпр. Stromboli и Etna), док други (нпр. Campi Flegrei) еруптирају ретко, са стотинама година између ерупција. У Европи вулканизам је узрокован конвергенцијом афричких и арапских литосферских плоча. На Исланду постоје чак 32 вулкана, док их је у континенталној Европи 47. Много више их је у Атлантику (Канарска Острва, Азори, Кабо Верде, Тристан да Куња, Острво Вазнесење), на Малим Антилима између Атлантика и Карипског мора (Монцерат, Гваделуп, Мартиник, Саба) и Индијском океану (Реунион). У склопу најстаријег националног парка Јелоустон у САД-у налази се вулкански активна регија *Long Valley* у Калифорнији, позната по највећем супервулкану који је до сада откривен. Такође, један од највећих и најактивнијих вулкана у Африци је вулкан Моунт Камерун са висином од 4095 метара, чија се последња ерупција догодила 2012. године.

Око 15 милиона људи у Европи живи на само 30 km од активног вулкана, од тога више од 2,2 милиона живи у кругу од 20 km од калдере Кампи Флегреи у Италији и више од 675 000 живи у кругу од 10 km од Везува (Loughlin et al., 2017).

Слика 52. Светска мапа активних вулкана последњих 10000 година



Вулканске ерупције су узроковане сложеним процесима укључујући прекомерни притисак магме. Већини ерупција претходи једна или више епизода „вулканских немира“ док се магма креће ка површини Земље. Кретање магме кроз кору и њена интеракција са хидротермалним системима, изазива промене притиска, што доводи до деформације тла и земљотреса. Епизода „вулканских немира“ може трајати од неколико дана до неколико година (у просеку око 500 дана), а разумевање процеса који доводе до немира и ерупције је суштински део ефикасног раног упозорења. Вулкани који ретко еруптирају (нпр. калдере) могу доживети многе епизоде немира.

Приликом ерупције, вулкани ослобађају велике количине сумпорних гасова као што су сумпор-оксид и сумпор-диоксид, које могу на дужи или краћи време утицати на промену климе. Оксиди сумпора лако реагују са воденом паром у ваздуху, при чему долази до формирања сумаглице коју стварају аеросоли сумпорне киселине. Због своје величине, капљице сумпорне сумаглице различитим интензитетом рефлектују сунчеву светлост,

тако да је током најјачих ерупција потребно време (месеци или чак године), да дође до већих климатских промена, односно значајнијег глобалног захлађења планете Земље. Такође, ерупције ослобађају велике количине воде и угљен-диоксида који када се нађу у атмосфери, апсорбују топлотно зрачење (инфрацрвени део светлосног спектра) и могу се посматрати као модификатори климе (Aiurpa et al., 2013; Flower et al., 2016).

3.2.1. Манифестација вулканског хазарда и његови типови

Супервулканизмом се конвенционално називају вулканске ерупције које могу да произведу више од 1000 кубних километара пирокластичног материјала. Супервулканске ерупције су способне да пласирају преко хиљаду мегатона аеросола димензија мањих од једног микрона, који се дуготрајно (више година) задржава у стратосфери у виду вулканског облака рефлектујући Сунчеву светлост. На овај начин, суперерупције јасно могу изазивати глобално захлађење, односно довести до светског еколошког поремећаја под називом „вулканска зима”.

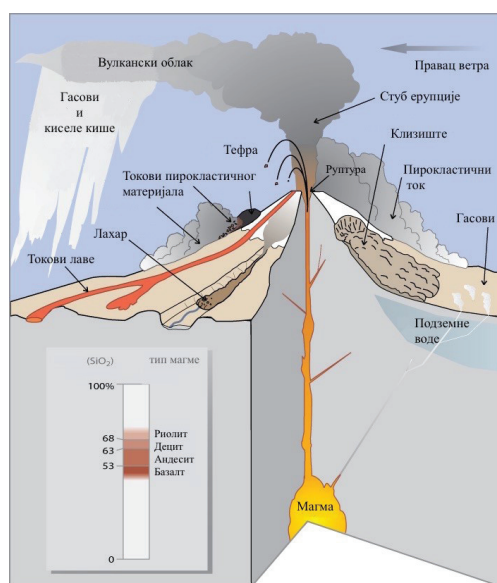
Савремена цивилизација претрпела би неповратне губитке уколико би се догодила суперерупција. Она би изазвала интензивне сеизмичке потресе тла и појаву олуја ураганских размера. Погубни ефекти би се огледали у вишегодишњем задржавању аеросола сумпорне киселине у атмосфери и формирању густог облака који би се простирао преко читаве планете. Историјски подаци сведоче о суперерупцији вулкана Тоба, који се налази на острву Суматра у Индонежанском архипелагу. У налазима леда узоркованог у тзв. „леденим језгрима” на Гренланду, регистрована је највећа вредност сумпорне киселине, која се подудара са периодом ерупције супервулкана Тоба. На основу налаза, могуће је закључити да се густ вулкански облак више година простирао већим делом земљине атмосфере, изазвавши смањење глобалне температуре у просеку између 5°C – 15°C. Овакви услови на земљи, значајно би довели до смањења биопродуктивности. Више од 25% вегетацијског покривича би било изгубљено, што би условило нагло смањење пољопривредних ресурса и изазвало читав низ хуманитарних катастрофа.

Према извештају U.S. Geological Survey (USGS), више од 50 вулкана у Сједињеним Америчким Државама еруптирало је једном или више пута у последњих 200 година. Стратовулкани су високи, конусног облика и често глацијални вулкани који имају тенденцију да експлозивно еруптирају. Вулкански најактивнији региони су на Аљасци, Хавајима, Калифорнији,

Орегону и Вашингтону. Велике експлозивне ерупције стварају широк спектар опасности и могу угрозити људе и имовину стотинама миља далеко, па чак и утицати на глобалну климу. Неки од вулканског хазарда, попут ерозије и клизишта, могу се појавити чак и када вулкан не еруптира (Myers et al., 2008; Stovall et al., 2019).

Манифестација вулканског хазарда се може сагледати кроз четири сегмента: интензитет саме ерупције, ерупција праћена потресом тла (синхроно), избацивање пирокластичног материјала и формирање токова.

Слика 53. Шематски приказ вулканске активности



Експлозивне ерупције представљају излив фрагмената стена и лаве који се покрећу под утицајем притиска ширења гасова на великим дубинама. Ове експлозије могу пласирати велике стенске блокове и до неколико миља. Међутим, већи ризик чини загрејани вулкански облак, који се може развијати брзином и до неколико стотина миља на сат. Његова деструктивна снага лежи у интензивним струјањима ваздушних маса (брзине ветра у нивоу урагана) и врло високих температура гасова унутар облака. Овакве експлозије имају изузетно разоран потенцијал – радијуса десетина миља од вулкана за неколико минута. Пример једне експлозивне ерупције догодио се на планини Света Хелена 1980. године, чија се разорна моћ простирала на више од 230 квадратних километара шумског покривача у неколико секунди.

Природни hazard

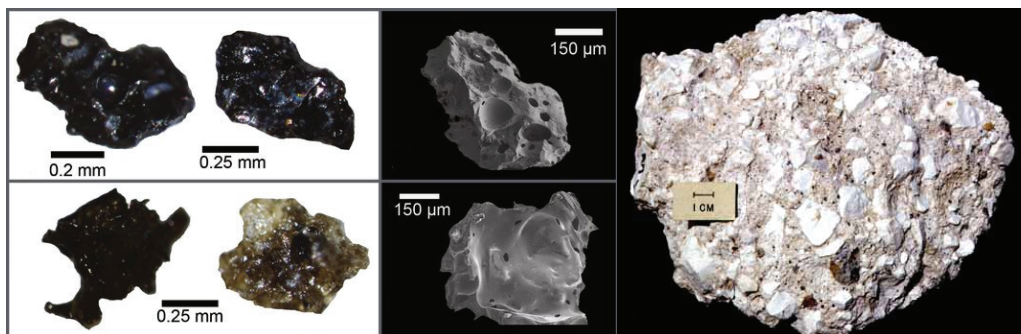
Потреси се манифестују у виду сеизмичких активности које су инициране транслокацијом магме унутар вулкана. Кретање магме од коморе ка гротлу вулкана обично је праћено великом количном сеизмичке енергије. Већина потреса су малог до средњег интензитета, а могу се јављати у великим скупинама у краћем временском интервалу и тада се називају *ројеви потреса*.

Већина вулканских ерупција праћена је пласирањем пирокластичног материјала, пре свега отривних гасова и вулканског пепела, који касније формирају токове различите форме.

Отровни гасови чине редовну појаву вулканске активности, који се могу задржати у околини и више година након вулканских ерупција. Поред водене паре и угљен-диоксида, у већини случајева могу се јавити оксиди сумпора (SO_2 и SO_3), хлороводонична киселина (HCl), угљеник-моноксид (CO), флуороводонична киселина (HF), борна киселина (H_3BO_3), итд.

Вулкански пепео (пирокластични материјал) чине ситни фрагменти силикатних стена, вулканског стакла и минералних честица које су углавном изграђене од силицијума, кисеоника и алуминијума, димензија до 2 mm. **Вулкански туф** представља литификовани пирокластични материјал који је претежно изграђен од минерала кварца и фелдспата, а у његовом саставу се могу наћи још и калцедон, калцит, доломит, епидоте, мусковит, хлорит, циркон, фрагменти базалтне и кварцитне стене. Велики ерупцијски облаци могу се претежно развијати стотинама километара под утицајем ветра, што доводи до дистрибуирања пепела на великим површинама. Пепео од ерупције планине Света Хелена у Вашингтону депонован је на површини од 22.000 квадратних миља, што је узроковало урушавање појединих објеката и велику штету на усевима.

Слика 54. Честице вулканског пепела и вулкански туф



Токове пепела чине густе мешавине гасова, лавина врелог пепела и мањих фрагмената стена које се великим брзинама крећу низ стрме падине вулкана. Ови пирокластични токови могу достизати температуру преко 800°C и протицати (до више стотина километара) брзином преко стотину километара на час. Због своје брзине и масе, токови пепела могу прекрити велике површине и трајно девастирати животну средину.

Киша пепела је мање деструктивна од пирокластичних токова, али такође може имати разарајући карактер. Настаје као сува депозиција из вулканског облака и манифестује се у виду сиво-беличастог „снежног” наноса, чија тежина може изазвати штету на крововима кућа, крошњама дрвећа и сл. Пепео представља велику сметњу за респираторне органе и може довести до озбиљних хроничних обољења. Појава облака пепела као последице вулканских ерупција, поред оштећења авиона и проблема у навигацији, може у великој мери уништити вегетацију. Пример, након ерупције стратовулкана Тамбора, 1815. године, избачено је више од 150 кубних километара пепела у атмосферу, што је значајно утицало на усеве и угрозило животе преко 80.000 људи.

Вулканска клизишта су брза гравитациона кретања стеновитог материјала, снега или леда. Клизишта могу имати распон од умереног кретања растреситог материјала на површини вулкана до масовног одроњавања целог система или стране вулкана. Клизишта на падинама вулкана покрећу снажне ерупције, интензивне атмосферске падавине или већи сеизмички потреси.

Лавина је маса хладних, сувих стена које су сломљене и слободно се обрушавају низ стране вулкана. Вулкани су подложни клизиштима јер имају стрме падине које се састоје од бројних преклапајућих слојева токова лаве, растреситог каменог крша и пепела. Вруће, киселе подземне воде могу да циркулишу и ослабе вулканске стене до те мере да се трансформишу у влажну и клизаву глиновиту масу. Ерупције, продори магме, велики локални земљотреси и интензивне падавине свеукупно могу допринети евентуалном колапсу вулканске падине. Покренута клизишта крећу се великом брзином низ падине, при чему могу разбијати крупније стенске масе, формирати лавине стена и довести до затрпавања речних долина.

Реке блата су флуидне масе блата које се крећу дуж падина вулкана под утицајем гравитације. Реке блата су карактеристичне код вулкана са већим снежним наслагама. Приликом ерупције и емисије високих температура, долази до топљења велике количине снега и леда који се меша са осталим пирокластичним материјалом, формирајући блато. Реке блата представљају

значајну опасност током ерупције, јер топлина из унутрашњости вулкана или наслаге пепела могу отапати велике количине леда и формирати токове брзине између 40-50 km/h. Међутим, реке блата могу се појавити и кад нема ерупције.

Глацијална изливања настају изненадним отпуштањем велике количине воде и леда из ледника. Настају као последица емисије топлоте из вулкана или потреса приликом ерупције. Глацијални испади се пре свега јављају у виду водених токова, али се могу трансформисати у реке блата уколико је тло богато растреситим материјалом и шљунком.

Тсунами таласи су водени таласи дивовских размера који се формирају када је интензивна вулканска активност у близини великих водених маса или на дну океанских басена. Таласи могу бити узроковани великим потресима услед ерупције вулкана или у појединим случајевима приликом настајања калдера (површинска депресија великих димензија настала урушавањем горњих слојева вулканске купе).

Приликом ерупције понекад је могуће да вулкан избаци читаве блокове стена у атмосферу. Овај материјал је познат као **тефра**. Комади тефра већи од 64 mm називају се блокови и бомбе. Под утицајем великог притиска и брзине, тефра комади бивају избачени из вулкана носећи са собом велику разорну моћ. Приликом ерупције стратовулкана Пинатубо, 1991. године, блокови и бомбе величине 8-30 тона су били избачени у радијусу од 1 km од њиховог извора. Тефра материјал мањих димензија може путовати између 20-80 km од места ерупције и достизати брзину од 75-200 m/s. Материјал избачен у атмосферу поседује и одређени енергетски потенцијал који може довести до ризичних енергетских пражњења у виду стварања мањих муња.

Лакхари су токови флуида блата и фрагмената стена (слична појава пирокластичним токовима) али са високим садржајем воде. Настају као последица покретања:

- вулканског материјала који садржи воду или лавине снега и леда који се меша са слободним материјалом,
- пирокластичних токова који се мешају са водом речних токова и спуштају низ велике нагибе,
- пирокластичног материјала и мешања са другим акумулацијама од брана и језера,
- кишних и снежних одрона.

У просеку, лахари садрже између 20-60% седимената и представљају врло турбулентне масе. Лахари који садрже више од 80 % седимента имају претежно ламинарни проток и могу достићи брзину до 40 m/s. Брзина протока зависи од ширине канала, нагиба терена, волумена, састава и величине зрна материјала. Радијус кретања може достићи удаљеност и до неколико стотинама километара од извора. Лахари настали од глацијалних вулкана представљају велику опасност због формирања кратерских језера или значајног отицања падавина. Током интензивних падавина, површинска вода избија неплодне вулканске насlage и формира лахаре који преносе неконсолидован материјал далеко низ речне долине. Вишак седимената испуњава речне канале при чему долази до плављења речних обала. Посебно су угрожена водена станишта, као и велике инфраструктуре, укључујући путеве и мостове.

3.2.2. Мониторинг вулканске активности

Фундаментална истраживања вулканских активности пре, током и након ерупције омогућавају научницима да разумеју понашање вулкана, као и да процене какве последице могу бити на локалне заједнице и екосистеме. У последњих неколико деценија научници спроводе опсежна истраживања на терену и велики напредак је настао у проучавању ерупција вулкана посебно у домену процене ризика. Мониторинг вулкана је неизоставан, посебно у пределима многих активних вулканских зона лоцираних у близини насељених подручја која нису довољно истраживана за процену ризика. Научници прате вулканску активност постављањем мрежа осетљивих инструмената који континуирано снимају земљотресе, кретање тла и хемијске промене, те на тај начин најављују почетак вулканских немира. У периодима „вулканске тишине” региструје се нормално понашање вулкана. Дакле, када се сигнали удаљавају од нормалних, могуће је прецизније детектовати знаке поновног буђења. Мониторинг подаци такође помажу у процени да ли се формира нова вулканска ерупција или је у питању смиривање, као и који степен јачине и опасности експлозије се може очекивати.

Активни вулкани су сложени природни системи чији динамички процеси потичу дубоко из Земљине коре, а карактерише их висока температура и испуштање гасова и водене паре. Разумевање вулканских активности захтева ангажовање експерата из више научних дисциплина. Они тумаче ове сигнале узимајући у обзир основне обрасце понашања вулкани, историју вулканске активности, као и геолошку структуру оближњих планина и тектонику плоча (Stovall, 2016).

Кораџи у праћењу вулканске активности:

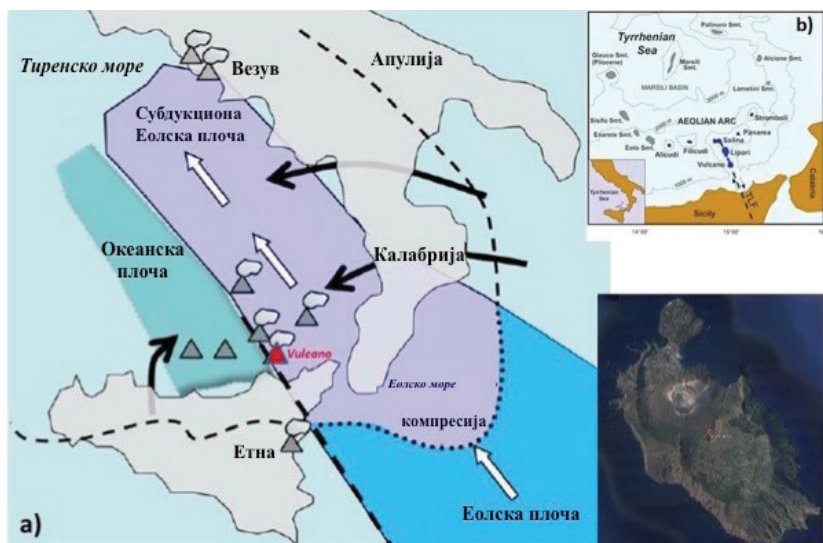
- *Геолошка структура.* На основу структуре и локације вулкана могуће је одредити његов тип. Основне врсте вулкана имају карактеристичне облике ерупције: експлозивне, умерене или комбиноване.
- *Димензије вулкана, његове стране, снежни и ледени покров.* Помажу у одређивању потенцијалне опасности за активирање клизишта, лавина и река блата.
- *Анализа вулканских наслага.* На основу старости, врсте и удаћености вулканских наслага око вулкана (токови лаве, реке блата или друга врста пирокластичног материјала), могуће је одредити колико је вулкан активан, односно, да ли је вулкан избацавао или производио реке блата у редовитим интервалима, да ли се може очекивати једна велика ерупција или више мањих;
- *Историјски рад вулкана.* Ретко се појављују две исте ерупције из једног вулкана – свака је случај за себе. Сваки вулкан има јединствене обрасце понашања, стога предвиђања у вези потенцијалних ерупција захтевају увек посебну пажњу. У циљу што прецизнијег мониторинга, знакове вулканске активности треба пратити у реалном времену.
- *Сеизмичка активност.* То је први доказ о потенцијалној ерупцији. Свака ерупција иницирана је транспортовањем магме из своје дубоке зоне формирања (резервоара) ка површини. Магма тим путем покреће масу стена и изазива специфичне вибрације тла које се манифестују у виду земљотреса.
- *Праћење повишених еманација гасова.* Свакој надлазећој ерупцији претходи јаче испаравање водене паре и гасова из вулканског гротла, посебно оксида сумпора.
- *Праћење других геофизичких појава.* Промене нивоа подземних водених токова, температуре, протока воде, хемизма и сл.

Мониторинг екстензивних параметара вулканске активности: студија случаја Вулканског острва (Италија)

Током последњих 130 година на Вулканском острву (ит. Isola di Vulcano) истраживачи су детектовали многе геохемијске активности из неколико активних калдера. Ове кризе су окарактерисане раним сигнализима наставка дегазације, односно мерљивим повећањем испарљивих материја (гасова и водене паре) и топлоте која се емитује из области активног конуса у фумаролној области на врху (отвори на земљиној кори који емитују испарења). Вулканско острво припада групацији Еолских острва која чине вулкански архипелаг у Тиренском мору.

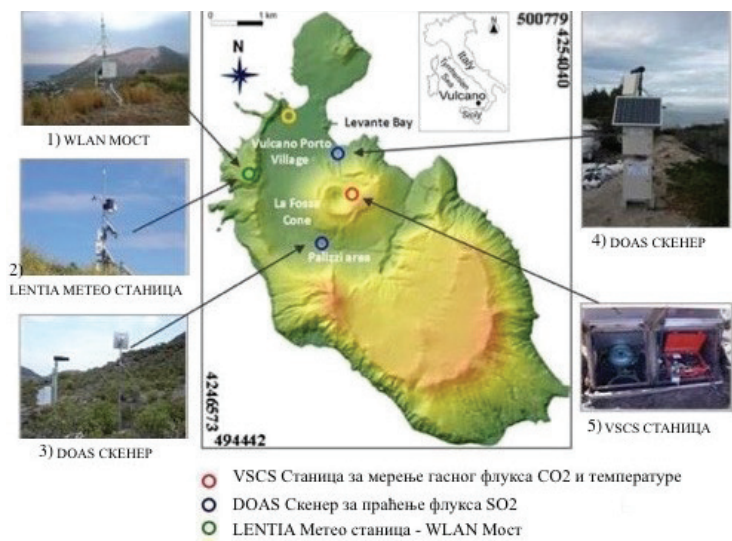
Праћење екстензивних параметара вулканске активности попут емисије гасова (CO_2 и SO_2) и температурног флукса, представља саставни део савременог мониторинга. Резултати дугорочног мониторинга (преко 13 година) приказала су опште повећање тренда код три параметра: флукса SO_2 праћеног у вулканском облаку, флукса CO_2 из земљишта и локалног топлотног флукса. Континуирани мониторинг активности овог вулканског система, као и резултати детаљних анализа *in situ* података, пружили су свеобухватнији оквир посматрања који је помогао у дефинисању модела за евентуално предвиђање потенцијалних криза од вулканских ерупција за овај и сличне регионе (Inguaggiato et al., 2022).

Слика 55. а) Приказ вулканског лука Еолског архипелага и б) Вулканско острво са сложеним геодинамичким окружењем

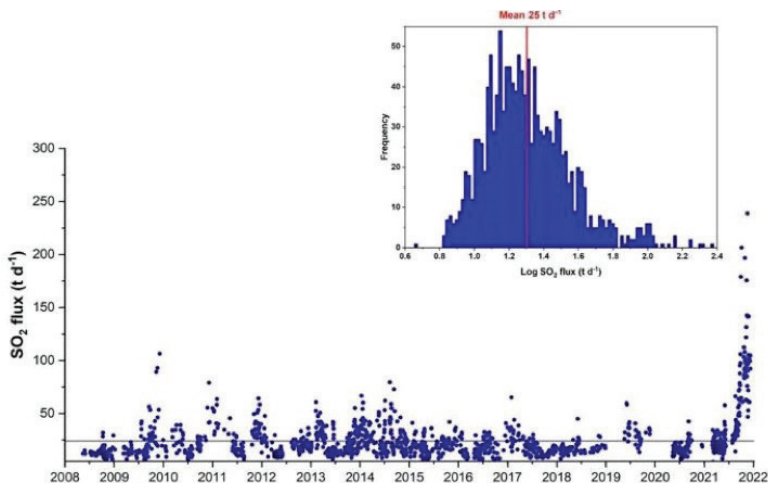


Природни хазард

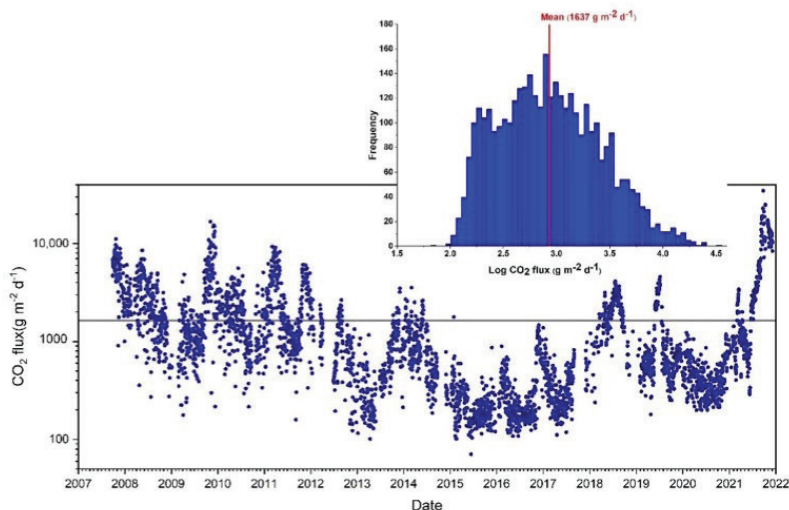
Слика 56. Мапа локација мониторинг станица за сваки систем мерења са CED опсерваторијом смештеном на северном делу Вулканског острва: 1) WLAN мост смештен код калдере Лентија; 2) Метео станица постављена код калдере Лентија; 3) и 4) DOAS станице за скенирање SO₂ гасног флукса постављене код Леванте залива и удолине Пализи; 5) VSCS станица за праћење CO₂ гасног флукса из земљишта и температуре код кратера Ла Фоса.



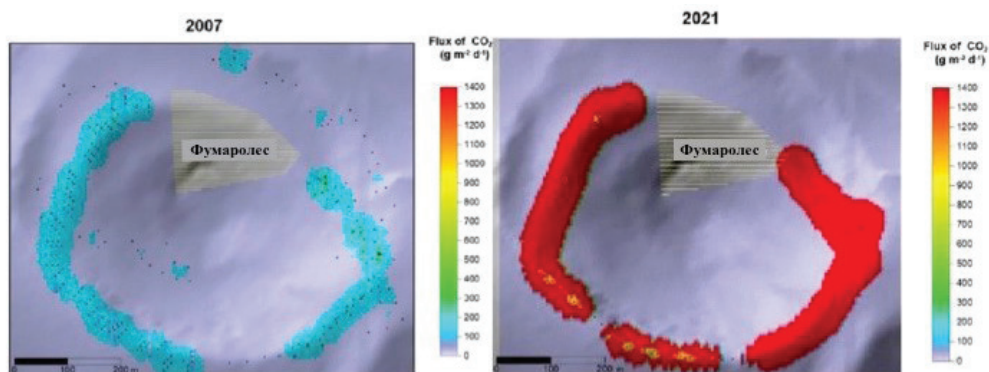
Слика 57. Мерењем дневних просека токова SO₂ из вулканског облака за период 2008–2021. године, регистровано је повећано испуштање гасова, које потиче из високотемпературног фумаролног поља конуса Ла Фоса.



Слика 58. Токови CO_2 из земљишта мерени на станици VSCS представљају временске варијације емисија дифузних гасова са врха активног конуса острва Вулкано у периоду 2007–2021. године. Мониторинг станица је показао повећања дифузних вредности токова вредности CO_2 за наведени период.



Слика 59. Мапе области дегазације тла на врху за период 2007-2021. године; тамна поља показују главно ослобађање фумарола и бележе континуирана јака повећања токова CO_2 ; дистрибуција флука CO_2 у области врха и процене укупног CO_2 испуштања су изведене секвенцијалном Гаусовом симулацијом (сГс).



3.2.3. Утицај вулканских ерупција на околину и здравље и безбедност људи

Вулканске ерупције представљају природне катастрофе које су најчешће узроковане константним обнављањем површинских слојева Земљине коре и променом морфологије терена. Ефекти оваквих активности непосредно се одражавају на околину, микроклиматске услове, здравље и безбедност људи и њихових материјалних добара, реметећи друштвене и економске услове живота. Зависно од удаљености самог вулкана, неповољни ефекти ерупција сврставају се у штетности које су ближе или даље од вулкана, док облик вулканске активности одређује природу последичних ефеката. Оштећења ближе вулкану обухватају реке блата, емисије гасова и водене паре, земљотресе, ударе ветра и цунамије. У удаљеним подручјима штетни ефекти се односе на токсичност вулканског пепела и здравствене проблеме везане за респираторни систем, очи, кожу, затим последице по физичко и ментално здравље, поремећаје у комуникацији и транспорту, проблеме одлагања комуналног отпада, рушење објеката, као и отежано водо и електро снабдевање домаћинстава (Žuškin i sar., 2007).

Под негативне ефекте вулканских ерупција спадају:

1. Трансформација рељефа
2. Загађење ваздуха, воде и земљишта
3. Промена микроклиматских услова средине
4. Специфични ефекти на здравље и безбедност људи

1. Трансформација рељефа

Снажне вулканске ерупције праћене потресима могу узроковати значајне промене на површини земљишта, па чак и у потпуности разорити природне форме предела или изграђену инфраструктуру. Избијањем магме на површину, долази до формирања пирокластичних токова, при чему се нарушава аутентична морфологија терена, стварањем пирокластичних акумулација или депресија. Снажна ерупција вулкана на острву Суматра пласирала је више од 2800 km^3 пирокластичног материјала, што је резултовало трајну модификацију рељефа и стварање језера Тоба.

2. Загађење ваздуха, воде и земљишта

Вулканске ерупције доприносе загађењу ваздуха у урбаним и руралним пределима. Услед ерупција долази до емитовања већих количина гасова водене паре (H_2O), угљен-доксида (CO_2) и сумпор-диоксида (SO_2), као и ситних

честица живе и олова. Повећане концентрације гасова у ваздуху доводе до формирања вулканског смога, који доприноси глобалном загревању и повећању ефеката стаклене баште. Такође, кретање магме утиче на контаминацију подземних вода и може довести до повећања температуре, узрокујући пораст или пад нивоа воде. Последице се сагледавају кроз оштећења инфраструктуре услед корозије металних предмета, уништавање пољопривредних усева и вегетације, што има индиректне последице на здравље људи. Према истраживањима, на годишњем нивоу вулкани емитују у просеку између 100-200 милиона тона CO_2 у атмосферу, што се бележи као релевантан допринос глобалном загревању.

3. Промена микроклиматских услова средине

Вулканске ерупције представљају природне механизме за регулисање температуре на површини Земље. Присуство вулканског смога у атмосфери значајно оштећује квалитет стратосферског озона и смањује продирање сунчевих зрака до површине Земље, што доприноси глобалном захлађењу и промени микроклиматских услова средине. Једна од највећих ерупција XX века била је ерупција вулкана Пинатубо на Филипинима 1991. године, приликом које је испуштено више од 17 милиона тона SO_2 у атмосферу, што је оборило просечну температуру Земљине површине за $1,3^\circ\text{C}$ у наредне три године.

4. Специфични ефекти на здравље и безбедност људи

У зависности од близине и дужине трајања вулканских ерупција, може доћи до формирања везе “доза-одговор” односно развоја акутних и хроничних симптома болести код људи. Вулканске ерупције праћене потресима изазивају негативна осећања као што су непријатност, осећај узнемирености и страха. Краткотрајно излагање може изазвати симптоме главобоље, вртоглавице и хипервентилације. Бележи се и пораст обољења изазваних стресом, болести кардиоваскуларног и нервног система, посебно код вулнерабилне популације. Експонираност гасовима и вулканском пепелу доводи до иритације ока, грла и горњих дисајних путева, отежава дисање, што може условити појаву астме или хроничног бронхитиса. Такође, регистрована је повећана стопа морбидитета везана за вулканске ерупције као последица директних и индиректних трауматских повреда, односно честих посета хитним службама и пријема у болнице. У вулканске ерупције које су кроз историју имале највећу стопу смртности убрајају се ерупције вулкана Тамбора 1815. године (92000 смртних сличајева) и вулкана Кракатау у Индонезији 1883. године (преко 36000 смртних случајева), затим вулкан Мон Пеле на острву Мартиник 1902. године који је усмртио више од 29000 људи и вулкан Руиз у Колумбији које је 1985. године однео 25000 живота.

Списак литературе, табела и слика:



Литература:

- Aiuppa, A., Tamburello, G., Di Napoli, R., Cardellini, C., Chiodini, G., Giudice, G., Grassa, F., Pedone, M., 2013. First observations of the fumarolic gas output from a restless caldera: Implications for the current period of unrest (2005–2013) at Campi Flegrei. *Geochemistry Geophysics Geosystems* 14, 4153–4169.
- Драгојевић, Д. 2018. Тумач допуњених карата сеизмичког хазарда. Републички Сеизмолошки завод Србије. https://www.seismo.gov.rs/Seizmicnost/Karta_hazarda-izvod_iz_tumaca_cyr.pdf
- Flower, V.J.B., Oommen, T., Carn, S.A., 2016. Improving global detection of volcanic eruptions using the Ozone Monitoring Instrument (OMI), *Atmospheric Measurement Techniques* 9, 5487–5498.
- Inguaggiato, S., Vita, F., Diliberto, I.S., Mazot, A., Calderone, L., Mastrolia, A., Corrao, M. 2022. The Extensive Parameters as a Tool to Monitoring the Volcanic Activity: The Case Study of Vulcano Island (Italy). *Remote Sensing*, 14, 1283.
- Loughlin, S., Barsotti, S., Bonadonna, C., Calder, E. 2017. Geophysical risk: volcanic activity (Chapter 3), *Understanding disaster risk: hazard related risk issues - Section I*. In book: *Science for Disaster Risk Management: knowing better and losing less*. Publisher: Publications office of the European Union, Luxemburg.
- Myers, B., Brantley, S.R., Stauffer, P.R., Hendley II., J.W. 2008. What are volcano hazards? (Fact Sheet 002-97). U.S. Geological Survey (USGS). <https://doi.org/10.3133/fs0029>
- Monroe J.S., Wicander R. 2011. *The Changing Earth: Exploring Geology and Evolution* (6 ed.). Cengage Learning. p. 203. ISBN 9780840062086.
- Пешић Л., 2002a: Општа геологија – Ендодинамика, Универзитет у Београду, РГФ, 1-204, Београд.
- Pan American Health Organisation (PAHO), 2023. What to do before, during and after an earthquake. Izvor: https://www.paho.org/en/health-emergencies/earthquakes?gclid=CjwKCAjw0N6hBhAUEiwAXab-TdlyVWW4dsJ4LxEaei2Dtu2ILLjMYmx2d2NpERBRJ4mzs57VtJqc9BoCoiUQAvD_BwE
- Reid, H.F. 1910. *The Mechanics of the Earthquake, The California Earthquake of April 18, 1906; Report of the State Investigation Commission, Vol.2*, Carnegie Institution of Washington, Washington, D.C.
- Stovall, W.K., Driedger, C.L., Westby, E.G., Faust, L.M. 2019. *Living With Volcano Hazards* (Fact Sheet 2018-3075). U.S. Geological Survey (USGS). <https://doi.org/10.3133/fs20183075>

Stovall, W.K., Wilkins, A., Mandeville, C.W., Driedger, C.L. 2016. U.S. Geological Survey Volcano Hazards Program—Assess, forecast, prepare, engage (Fact Sheet 2016-3040). U.S. Geological Survey (USGS). <https://doi.org/10.3133/fs20163040>

Žuškin, E., Mustajbegović, J., Doko Jelinić, J., Pucarín-Cvetković, J. i Milošević, M. (2007). Učinci vulkanskih erupcija na okoliš i zdravlje. Arhiv za higijenu rada i toksikologiju, 58 (4), 479-486. <https://doi.org/10.2478/v10004-007-0041-3>

Слика:

Слика 41: Модификовано: <https://images.nationalgeographic.org/image/upload/v1638890146/EducationHub/photos/cutaway-earth.jpg>

Слика 42: Модификовано: <https://www.internetgeography.net/igcse-geography/the-natural-environment-igcse-geography/distribution-of-earthquakes-and-volcanoes/>

Слика 43: Модификовано: https://uomustansiriyah.edu.iq/media/lectures/5/5_2022_02_24!10_48_42_AM.pdf

Слика 44. Модификовано: <https://www.semanticscholar.org/paper/Investigation-on-the-occurrence-of-Ground-ULF-and-Ya'acob-Yusof/a2f1634d12a809d0cdce2ac1ebcfb50ffa4513ed>

Слика 45. Модификовано: https://www.researchgate.net/publication/351063172_Pulse-Period--Moment-Magnitude_Relations_Derived_with_Wavelet_Analysis_and_their_Relevance_to_Estimate_Structural_Deformations/figures?lo=1

Слика 46. Модификовано: Shearer, P. M. (2009). Introduction to seismology. Cambridge University Press. <https://igppweb.ucsd.edu/~shearer/CIDER/notes.pdf>

Слика 47. Модификовано: <https://www.differencebetween.info/difference-between-richter-scale-and-mercalli-scale>

Слика 48. Модификовано: https://www.researchgate.net/publication/317200043_Determination_of_Seismic_Wave_Attenuation_for_the_Garhwal_Himalayas_India

Слика 49. Модификовано: https://www.seismo.gov.rs/Seizmicnost/Karte_hazarda.htm

Слика 50. Модификовано: https://www.seismo.gov.rs/Seizmicnost/Karte_hazarda.htm

Слика 51. Модификовано: <https://theconstructor.org/earthquake/earthquake-resistant-techniques/5607/>

Слика 52. Модификовано: https://drmkc.jrc.ec.europa.eu/portals/0/Knowledge/ScienceforDRM/ch03_s01/ch03_s01_subch0302.pdf

Слика 53. Модификовано: <https://pubs.usgs.gov/fs/fs002-97/old%20html%20files/>

Слика 54. Модификовано: https://www.researchgate.net/publication/303645477_Characterization_of_the_Ashes_from_the_2014-2015_Turrialba_Volcano_Eruptions_by_means_of_Scanning_Electron_Microscopy_and_Energy_Dispersive_X-Ray_Spectroscopy <https://pubs.usgs.gov/of/1998/ofr-98-0524/SPORMTN.HTM>

Слика 55,56,57,58 и 59. Модификовано: <https://www.mdpi.com/2072-4292/14/5/1283>





4. ПЕДОЛОШКИ ХАЗАРД

4. ПЕДОЛОШКИ ХАЗАРД (ЕГЗОГЕНИ ХАЗАРД)

Све геоморфолошке промене које су узроковане егзогеним силама, пре свега климатским и хидролошким факторима, а могу имати негативне последице по животну средину, класификују се као **педолошки хазард**. Егзогене силе делују на површинске слојеве Земљине коре – педосферу (гр. педон – тло, земља) и у зависности од физичко-хемијских, биолошких и морфолошких карактеристика земљишта, као и од интензитета њиховог деловања, могу значајно утицати на геоморфологију терена (Стефановић и сар., 2014).

Ерозија представља саставни део сваког геоморфолошког процеса чији су основни агенси вода, ветар, промене температуре, нивелација терена и сл. Већи нагиби падине условиће брже спирање стенске подлоге водом у односу на подручје са минималним падом терена. Истраживања су указала да нагиб терена од само 5 степени може на годишњем нивоу утицати на спирање више од 20 mm подлоге, док нагиби преко 30 степени могу однети више од 100 mm површинског материјала. Важно је истаћи да присуство вегетацијског покривача, посебно врста са развијеним коренским системом, утиче на стабилизацију подлоге и значајно успорава ерозивне процесе.

4.1. ИДЕНТИФИКАЦИЈА ЕРОЗИЈЕ

У крашким подручјима посебно је изражен проблем ерозије тла. Земљиште које је оштећено ерозивним процесом, врло је тешко поново култивисати. У светској и домаћој пракси проблем ерозије решавањем доношењем посебног закона о ерозији или појединим поглављима закона (о водама, шумама, земљишту...), као и одговарајућим подзаконским актима. Законска регулатива везана је за спровођење мера и радова за санацију ерозије, посебно кроз регулативе идентификовања и проглашења подручја за ерозивно подручје, попут подручја Грделичке клисуре и Врањске котлине.

Како би се анализирао проблем ерозије, важно је разумети и разликовати значење термина „*ерозиона подручја*” и „*ерозионе зоне*”. Површине захваћене различитим класама и типовима ерозије, категоризоване у складу са одговарајућим методама картирања ерозионих процеса називају се ерозионе зоне. Са друге стране, ерозиона подручја чине површине на којима не мора бити развијен видљив процес ерозије, али код којих постоји ризик од формирања жаришта ерозије услед промене неког фактора

значајног за развој ерозије, попут коришћења земљиша. Реч је о природној предиспозицији терена за развој ерозионих процеса на коју је немогуће утицати.

4.1.1. Методе мапирања и категоризације ерозионих процеса

Основ за дефинисање ерозионих подручја обухвата метод мапирања ерозионих процеса и процедуре обраде података. Примарне дефиниције ерозије базиране су на квалитативној категоризацији ерозије (јака, слаба, површинска, дубинска, итд.). Касније, савремене методологије везане су за истраживање интензитета ерозије и проноса еродираних наноса, а ослањају се на емпиријско искуство и процену стања од стране стручњака.

У домаћој пракси усвојене су две стандардизоване методологије везане за дугорочно утврђивање стања ерозије. Прва метода се назива **„Једначина земљишних губитака“ (Universal soil loss equation - USLE)**. Ова метода намењена је утврђивању уског спектра ерозионих процеса битних за пољопривредну производњу на земљишту нагиба испод 7 степени. За мапирање широког спектра ерозионих процеса и бујичности токова, са првенственом наменом за бројне водопривредне прорачуне (прорачуни засипања речних токова, каналске мреже и акумулација) користи се **„Метод потенцијала ерозије“**. Ова метода је израђена на Институту за водопривреду „Јарослав Черни“ и примењује се као стандардна метода за мапирање ерозије и дефинисање ерозионих подручја према одредбама Закона о водама Републике Србије.

Идентификација ерозионих подручја представља сложену аналитичку процедуру која превасходно обухвата мапирање ерозионих процеса на нивоу целе територије и обраду релевантних подлога (планова):

- метеоролошких и климатолошких подлога;
- анализе рељефа;
- површинске заступљености геолошкопедолошке подлоге;
- површинске заступљености начина коришћења површина;
- површинске заступљености уочених ерозионих процеса.

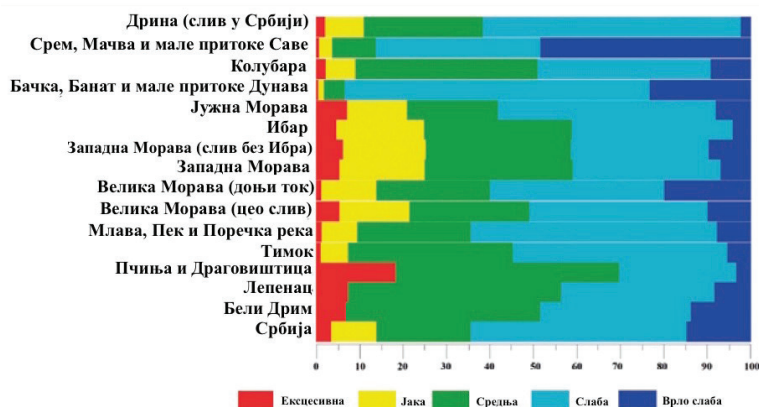
Метода потенцијала ерозије базира се на аналитичкој обради података везано за факторе који утичу на ерозију. Као просторна појава, ерозија се картографски приказује помоћу методе квантитавне класификације, односно, на основу израчунатог коефицијента ерозије (Z). Коефицијент ерозије одређује интензитет ерозије који зависи од карактеристика тла,

вегетационог покривача, рељефа и видљиве заступљености ерозије. Према коефицијенту (Z) постоји пет категорија ерозије помоћу којих је могуће картографски одредити површинску заступљеност ерозије, односно изградити „карту ерозије“. Квалитетна карта ерозије представља основу за даље прорачуне везане за процену ризика од бујица и поплава, а њени најважнији модули обухватају: класификацију бујица, оптимизацију потребних противерозионих радова и идентификацију ерозионих подручја.

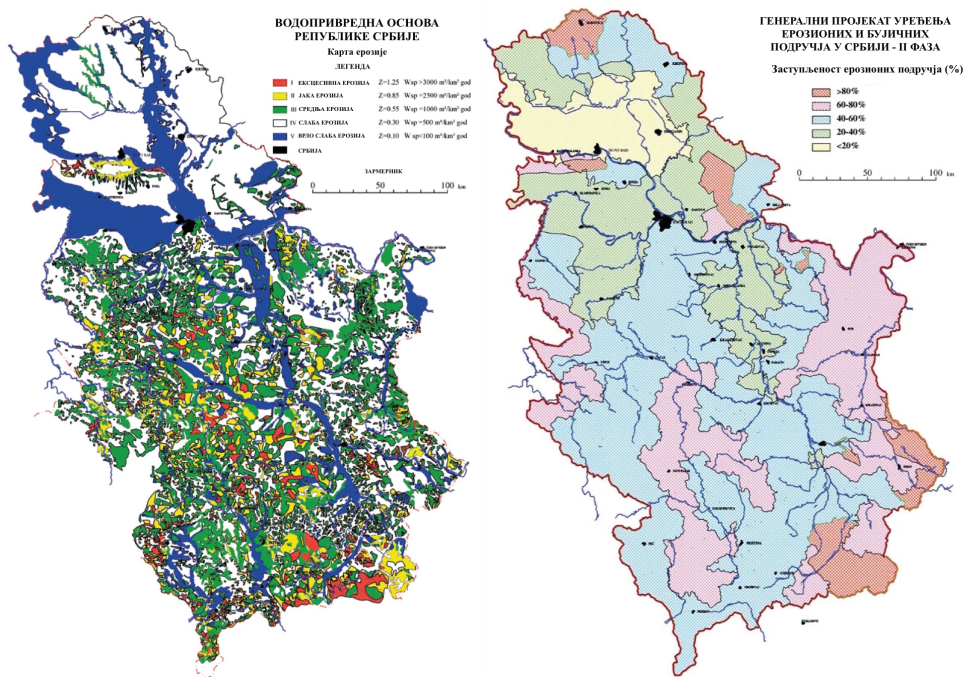
Табела 5. Категоризација ерозије према вредности коефицијента ерозије (Z)

Категорија ерозије	Распон вредности	Средња вредност	Квалитативни назив ерозије
I	$Z > 1,0$	$Z = 1,25$	Експесивна
II	$0,71 < Z < 1,0$	$Z = 0,85$	Јака
III	$0,41 < Z < 0,7$	$Z = 0,55$	Средња
IV	$0,20 < Z < 0,4$	$Z = 0,30$	Слаба
V	$< Z < 0,19$	$Z = 0,10$	Врло слаба

Слика 60. Процентуална заступљеност ерозије по категоријама у Србији



Слика 61. Карте ерозије и ерозионих подручја Републике Србије



4.1.2. Уређење бујица и заштита од ерозије

Проблем ерозија и бујичних поплава у Републици Србији присутан је на две трећине укупне територије. Њихово решавање захтева детаљан мониторинг и санацију ерозионих процеса и бујичних токова. Продукција ерозионих наноса подразумева покретање и одношење материјала под утицајем климатских фактора на површински слој земљишта (Стефановић и сар., 2014). Продуковане количине ерозионих наноса исказују се мерном запремином еродираниог и однетог материјала по квадратном километру површине на годишњем нивоу (m^3/km^2 годишње). На овај начин могуће је одредити интензитет ерозионих процеса без обзира на величину слива и вредновати стање пре и после планираних или изведених радова. На пример, уколико интензитет ерозије достигне $1000 m^3/km^2$ годишње, то одговара једном милиметру смањења дебљине плодног слоја земљишта што може уништити плодно земљиште за 200 до 250 година. Уз примену досадашњих противерозионих радова и административних противерозионих мера код нас, могуће је интензитет ерозије свести на око $250 m^3/km^2$ годишње, чиме би се трајност земљишта продужила на 1000 година.

Значајан обим противерозионих радова представља пошумљавање ерозионих подручја уз примену скупа техничких и биотехничких радова на терену, како би се предупредиле или санирале штете настале деловањем ерозионих процеса различитих интензитета. Са друге стране, применом административних (неинвестиционих) противерозионих мера, могуће је ублажити развој ерозивних процеса. Оне обухватају:

I Мере забране

- забрана кресања лисника (за сточну храну);
- забрана гајења окопавина на стрмим њивама;
- забрана орања по нагибу земљишта;
- забрана чисте сече шума на нагнутим теренима;
- забрана испаше на деградираним пашњацим.

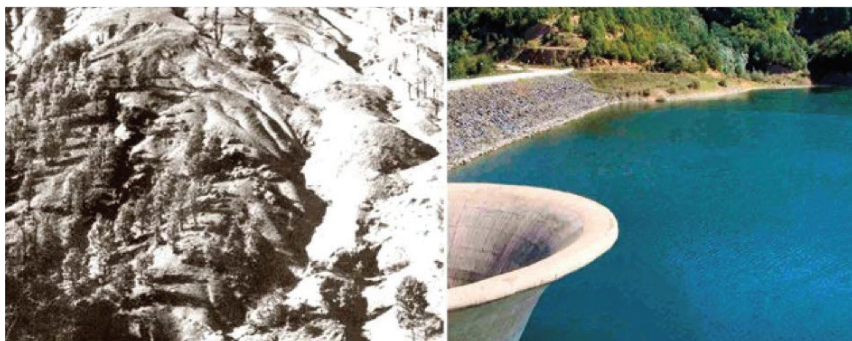
II Мере обавеза

- обавеза орања по изохипси (контури);
- обавеза претварања деградираних њива у ливаде;
- обавеза мелиорације деградираних пашњака;
- обавеза пошумљавања голети;
- обавеза конверзије једногодишњих у вишегодишње културе на деградираним површинама;
- обавеза антиерозионог газдовања земљиштем;
- обавеза антиерозионог газдовања шумама.

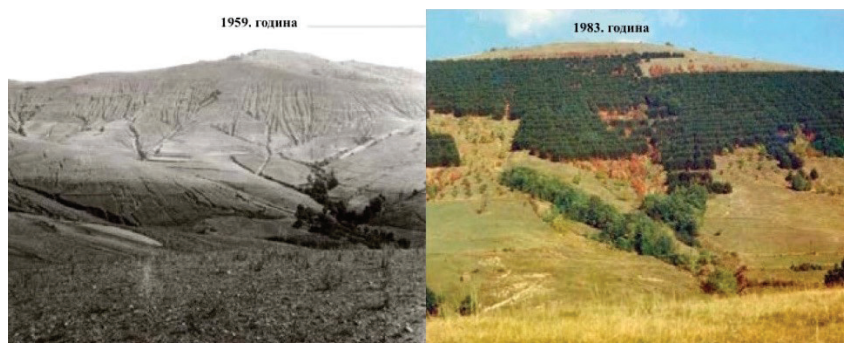
Природна склоност терена ерозији основа је за идентификацију ерозионог подручја. Сходно томе, примена научно-истраживачких метода, као и одабир адекватних противерозионих мера, одликује њихову највећу вредност. Савремена пракса данас то правило потврђује на примеру подручја на којима су спроведене административне противерозионе мере. Ова подручја су постала препознатљива по производњи лешника, јагодичастог воћа и лековитих врста биљака. Код тешко еродираниог терена употребна функција земљишта искључује се на дужи временски период, уз спровођење мера ревитализације вишегодишњом шумском вегетацијом.

Природни хазард

Слика 62. Уређење акумулације слива „Барје“



Слика 63. Спровођење мера ревитализације вишегодишњом шумском вегетацијом на Старој планини



4.2. КЛИЗИШТА

Људска делатност представља посебан фактор који утиче на све инвазивне процесе везане за угрожавање природне стабилности земљишта. Интензивна градња објеката и пратеће инфраструктуре, као и регулација дренажних система и нивелисање терена, доводе до дестабилизација падина и косина и иницирања ерозионих процеса (Roje-Bonacci, 2015). Нарушавање природне равнотеже терена које је узроковано гравитацијом, доводи до покретања стенске масе и разарања постојећег рељефа, при чему настају нови ерозион и акумулациони облици. Ови геоморфолошки процеси називају се **колувијални процеси** и у зависности од обима и интензитета деловања сила гравитације, могу транспортовати и таложити материјал на различитим удаљеностима, стварајући нове акумулације.

Стабилност падина и косина може бити нарушена деловањем сила ендеогеног и егзогеног порекла:

- Ендеогене факторе представљају земљотреси и вулканзми.
- Егзогене факторе чине сви облици геоморфолошких процеса.

Материјал који се транспортује прелази реалтивно краћа растојања и таложи се на мањим површина, најчешће формирајући нераздвојне ерозионе и акумулационе облике. Гравитациона кретања стенске масе могу бити:

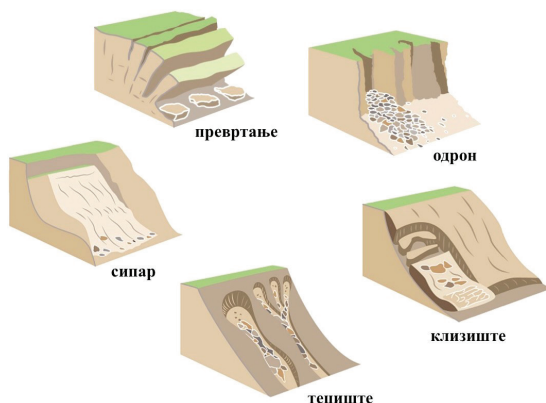
- спора (делапсиона);
- брза (колапсиона)

Клижење обухвата споро, праволинијско (транслаторно) кретање појединачних честица или крупнијих блокова стенске масе, које се углавном одвија по дефинисаним површинама кретања. Клижењем су најчешће захваћени површински слојеви растреситог материјала, а да би се процес клижења могао одвијати, потребна је јасна гранична површ између покренутог и стабилног слоја. Процеси клижења најчешће су покренути метеоролошким појавама. Падавине неретко покрећу ерозионе процесе када се вода филтрира и понире кроз порозан слој материјала. Честице fine гранулације продиру у дубље слојеве педолошког профила све док не наиђу на чврсту подлогу где се задржавају и образују секундарни слој зглињавања. То је водонепропусан слој по коме се крећу процедурне воде са површине и који представља **клизну површ**. Клижењем може бити захваћена и матична стена посебно уколико има глиновиту или лапорасту структуру. Основни геоморфолошки облици који настају као резултат сваког клижења јесу **клизишта**. Уколико нема јасно дефинисане клизне површи, средина по

Природни hazard

којој се одвија кретање материјала (тело клизишта) представља клизну зону. Сваки облик кретања материјала, брзог или спорог, ствара одређене форме рељефа и у складу са тим носи различите називе. Клизањем материјала долази до формирања клизишта, пузањем настају пузишта, течењем тецишта, осипањем сипари док одроњавањем одрони.

Слика 64. Различити облици колувијалних процеса



4.2.1. Настанак клизишта и елементи клизишта

Са аспекта геоморфолошког сагледавања рељефа, клизиште представља један облик колувијалног процеса, док са инжењерско-геолошког аспекта чини сложени геодинамички процес (Highland & Bobrowsky, 2008). Свако клижење материјала може имати различите брзине кретања низ подлогу, од веома спорих и не приметних померања до интензивних и брзих. Клизишта могу нанети велике штете и угрозити безбедност људи. Према томе, клизиште је одраз нестабилности површинских слојева педолошког профила који теже да пређу у стабилно стање, односно да заузму равнотежни положај. Свако клижење је иницирано геоморфолошким карактеристикама терена. У зависности од педолошког састава тла, клизишта се могу покренути на нагибима чији је угао мањи од 10° .

На појаву и развој клизишта утичу следећи фактори:

- геолошки (повољан литолошки састав, слојевитост, степен литификације, пукотине);
- геоморфолошки (нагиб падине, дужина површине клизања);

- хидрогеолошки (ниво и режим подземних вода);
- климатски и метеоролошки (количина падавина, нагло топљење снега);
- вегетациони (присуство или одсуство вегетационог покривача, врсте биљака);
- антропогени утицаји (засецање ножице падине при грађевинским радовима, натапање земљишта отпадним водама, насипање материјала на падинама, сеча шума);
- други утицаји (подлокавање ножице клизишта, утицај промене нивоа акумулације, вибрације услед саобраћаја и др.).

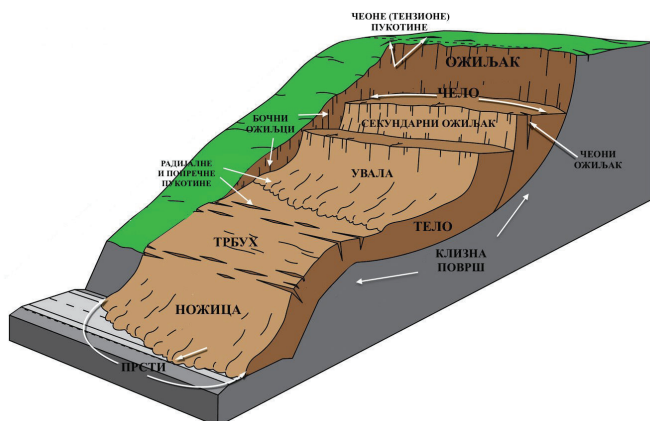
Клизишта карактерише валовита конфигурација рељефа са благим до наглим променама нагиба, тј. нивелације терена. Морфолошке карактеристике једног клизишта обухватају: ожилјак, увалу, тело клизишта, трбух, ножицу, клизну површ и крила клизишта.

Основни елементи клизишта су:

- ожилјци (чеони, бочни и секундарни);
- увала (депресија при врху клизишта);
- тело (покренут материјал);
- клизна површ (површина по којој се одвија кретање материјала);
- трбух (брежуљкасте форме на телу клизишта);
- ножица (најнижи део тела клизишта);
- крила (бочне границе клизишта);
- пукотине (чеоне, радијалне и попречне).

Ожилјак је место откидања и покретања материјала које карактерише стрма вертикална раван до 1 m висине и 10 m дужине. Одмах испод ожилјка налази се депресија (увала) метарских размера. Материјал који је покренут и транспортован из увале чини *тело клизишта*. Најизраженија тачка на телу клизишта представља *трбух* клизишта, док најнижи део тела клизишта називамо *ножицом* (подножје). Некада је тешко идентификовати тело клизишта, посебно уколико га одликују различите микрорељефне форме попут овалних ретензија испуњених водом, терасасте нивелације, улегнућа тла и слично. *Клизна површина* има конкаван облик и простире се између ожилјка и ножице клизишта. Границу између покретног и непокретног дела косине чине *крила клизишта* која се у правцу пада терена деле на лево и десно крило тј. леви и десни бок клизишта.

Слика 65. Основни елементи клизишта

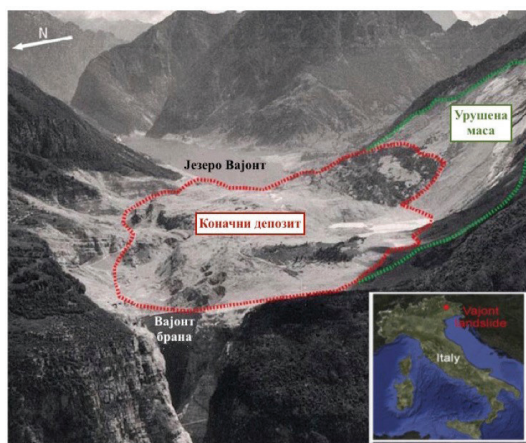


4.2.2. Примери клизишта као природног hazardра

Пример 1: Попуштање бране на хидроакумулацији Вајонт, Северна Италија

Један од историјских примера педолошког hazardра као природног hazardра који је обележио XX век био је инцидент узрокован покретањем клизишта на хидроакумулацији бране Вајонт у северној Италији, октобра 1963. године (Hardenberg, 2011; Zaniboni & Tinti, 2014).

Слика 66. Брана Вајонт, Северна Италија



До тада, једна од највећих брана на свету (висине 265,5 m), попустила је под притиском од око 260 милиона m^3 стенске масе, која се покренула са врха планине Монте Тоц и сручила у резервоар бране, формирајући разорни талас запремине преко 50 милиона m^3 и висине 200 m. Овако велики одрон изазвао је потрес тла који је био регистрован у градовима ван граница Италије. Резервоар је био у потпуности испуњен материјалом у року од 1 минута, док се свеукупна катастрофа од почетка одроњавања па све до низводног разарања догодила за мање од 10 минута. Поред еколошке катастрофе, клизиште на хидроакумулацији Вајонт представља и хуманитарну катастрофу која је усмртила 1/3 становништа села низводно од бране.

Слика 67. Изглед бране Вајонт пре и после клизишта



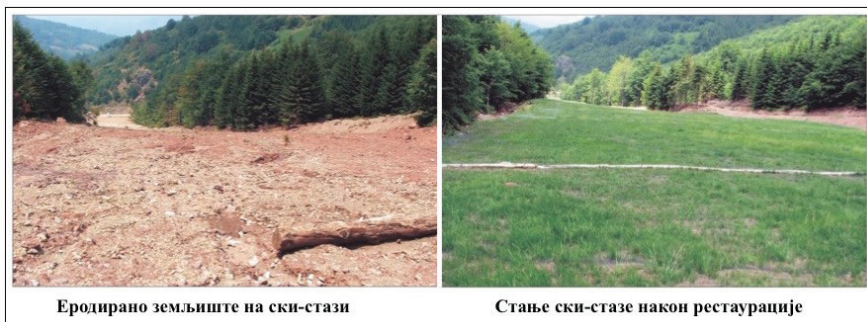
Анализа инцидента на брани Вајонт указала је на свенеповољне предуслове који се односе на геолошке карактеристике подручја на коме је изграђена хидроакумулација, као и последице техничко-грађевинске интервенције човека. Геолошка предиспозиција терена кречњачке структуре, претежно изграђеног од лапорца и глине, може у знатној мери изгубити на чврстини услед измењених услова средине, тј. подизања нивоа подземних вода након јаких падавина. Поред тога, изградња амбициозне хидроакумулационе грађевине у глацијалној удолини, може довести до дестабилизације терена. Комбинација два фактора, природног и антропогеног, условила је значајну промену услова средине уз прогресивно слабљење отпорности педолошког састава земљишта, које је са временом утицало на све интензивније слабљење стабилности бочних зидова хидроакумулације Вајонт.

Пример 2. Рестаурација ерозивних површина на ски-стазама у Србији

Скијалишта у Србији нису планирана и грађена уз примену противерозионих заштитних мера, обухватајући и периоде експлоатације и одржавања. Интензивна и неконтролисана градња у ски-центрима Србије имала је негативне последице на целокупно стање животне средине, као и на функционисање екосистемских услуга. Уређење или проширење постојећих ски-стаза праћено активностима попут сече и транспорта трупца, масовних ископавања и сл., знатно је утицало на активацију ерозионих подручја, што је довело до деградације земљишта и вегетационог покривача. Обимнији земљани радови посебно на косинама и тереним под нагибом резултовали су појавом одрона, плићих клизишта и сипара (Ristić et al., 2009).

Ски-стазе на Старој планини проглашене су за ерозиона подручја, посебно у периоду без снега, када се ски-стазе користе за често непожељне активности попут испаше локалних стада, кретање моторних возила или неадекватно понашање туриста. Све ове активности условиле су читав низ последица: сабијање и смањење порозности површинског слоја земљишта, редуковање вегетационог покривача, повећање површинског отицаја и ризика од ерозије. У складу са стандардима заштите и унапређења животне средине, било је неопходно спровести адекватне административне мере, као и техничке и биотехничке радове у циљу успостављања одрживог капацитета за одређене активности и израде програма за одрживо коришћење простора. Програм активности рестаурације и заштите од ерозије ски-стаза на Старој планини обухватао је техничке (изградњу стабилизационо-дренажних конструкција) и биотехничке радове (увођење површинских дренажних система и ревитализацију земљишног и вегетационог слоја аутохтоним врстама), као и мере неге (Ristić et al., 2009).

Слика 68. Стање ски-стазе на Старој планини пре и после противерозивних радова



Слика 69. Стање почетне станице ски-стазе на Старој планини пре и после проти-верозивних радова



4.2.3. Концепт санације, рестаурације и заштите од клизишта

У процесу санације, рестаурације и заштите од клизишта на деградираним површинама неопходно је јасно дефинисати следеће циљеве:

- очување капиларних способности земљишта, односно капацитета инфилтрације;
- редуковање појаве површинског отицаја;
- стабилизација ерозивних површина евакуацијом подземних вода;
- ревитализација вегетационог покривача на еродираним површинама;
- заштита и рехабилитација угрожених површина током грађевинске сезоне (мај-октобар);
- одабир и примена биотехничких и техничких радова, као и административних мера заштите од ерозије (према општим принципима заштите животне средине, очувања биодиверзитета, везивања CO₂, ублажавања последица глобалних климатских промена, итд.).

Реализација формираних циљева обухвата сложен процес истраживања, којим се добија репрезентативан пресек стања на терену, а који се спроводи у следећим фазама:

- *in situ* теренски радови (мапирање ерозионих процеса и структуре површина, узорковање геолошког и педолошког материјала, сакупљање аутохтоног биљног материјала);
- лабораторијска анализа узорака (обрада топографских, педолошких и геолошких карата, обрада аерофото и сателитских снимака, морфолошко моделирање терена; педолошке и флористичке анализе);

- анализа постојеће документације (извештаји Републичког хидрометеоролошког завода са локалних метеоролошких и хидролошких станица; анализа постојеће техничке и планске документације);
- извођење прорачуна (укупне ерозионе продукције; прорачун максималног отицаја);
- израда плана рестаурације и заштите;
- димензионисање објеката.

У противерозионе радове спадају: технички радови, биотехнички радови и административне мере заштите од педолошког хазарда.

- 1) **Технички радови** који се обављају по стандардизованим процедурама прописаним за систем противерозионе заштите, што се односи на следеће интервенције:
 - уређење локалних водотокова (израда армирано-бетонских цевовода, чишћење и продубљивање корита ради превенције плављења и меандрирања);
 - израда потпорних конструкција;
 - изградња преграда и прагова ради заустављања вученог наноса;
 - изградња стабилизационо-дренажних конструкција.
- 2) **Биотехнички радови** чији је циљ успостављање и стабилизација травне вегетације како би се повећала порозност земљишта, смањила брзина отицаја и продукције ерозионог материјала кроз процесе интерцепције, евапорације, транспирације и инфилтрације воде. Ови радови обихватају:
 - наношење слоја плодног земљишта (дебљине $\approx 0,3$ m);
 - сетва одговарајуће травно-легуминозне смеше уз прихрану и наношење малча од сламе;
 - прекривање синтетичким или биоразградљивим мрежама са гвозденим анкерима;
 - инсталација контурних стабилизатора код косих терена;
 - израда система површинске дренаже.
- 3) **Административне мере** заштите обухватају израду одговарајуће планске документације која је у складу са циљевима одрживог коришћења простора, заштите од ерозије и евиденције потенцијалних ризика. Неопходни плански документи су:

- план за проглашење ерозионих подручја (члан 38 Закона о водама (Сл. гл. 46/91, 48/91, 53/93, 54/94 и 54/96);
- план одбране од бујичних поплава (члан 30, став 2).

Примена административних мера заштите мора бити у складу са концептом одрживог капацитета за поједине активности:

- дефинисања нивоа максималног оптерећења (туристи, возила, стока);
- примене обрасца најбоље праксе управљања у експлоатацији шумског фонда;
- израде програма одрживог коришћења простора, са контролним механизмима.

Слика 70. Процена ризика од клизишта и примена мера превентивне заштите



4.3. ПРОЦЕНА РИЗИКА И МОНИТОРИНГ ПЕДОЛОШКОГ ХАЗАРДА

У времену интензивне урбанизације стално је присутан тренд активације клизишта које је некада и тешко предвидети. Стога, важно је на време спровести мере превентиве како би се последице свеле на минимум (Стефановић и сар., 2014). Реална процена педолошког хазарда и ризика од његовог деловања обухвата следеће активности:

- мониторинг свих хазардних процеса и њихових творевина на угроженим подручјима Србије;
- детаљну анализу тих процеса у циљу утврђивања релевантних својстава;
- изналагање и предузимање одговарајућих мелиоративних мера санације.

Важно је истаћи да су превентивне мере вишеструко значајне јер поред тога што спречавају развој хазардне ситуације, њихови трошкови су и до пет пута мањи (за приближно постигнуте резултате) у односу на издатке санационих радова за директне штете настале активирањем клизишта.

4.4. ЕФЕКТИ ПЕДОЛОШКОГ ХАЗАРДА НА ЗДРАВЉЕ И БЕЗБЕДНОСТ ЉУДИ: ПРЕПОРУКЕ СВЕТСКЕ ЗДРАВСТВЕНЕ ОРГАНИЗАЦИЈЕ (WHO, 2023)

Клизишта су распрострањенија од било ког другог педолошког хазарда и могу се појавити било где у свету. Настају када се велике масе земље, камења или крхотина померају низ падину услед природног феномена или људске активности. Одрони или токови отпада су такође уобичајена врста клизишта која се брзо крећу.

Клизишта могу да прате обилне кише или суше, земљотреси или вулканске ерупције. Области које су најугроженије од клизишта укључују:

- стрм терен, укључујући подручја на дну кањона;
- земљиште претходно девастирано у пожарима;
- земљиште које је измењено услед људске активности, као што је крчење шума или изградња;
- канали дуж потока или реке;
- било које подручје где је површинско отицање усмерено или је земљиште јако засићено.

У последњих две деценије, клизишта су погодила око 4,8 милиона људи и изазвала више од 18 000 смртних случајева. Према проценама СЗО, очекује се да ће климатске промене и пораст температуре изазвати више клизишта, посебно у планинским пределима са снегом и ледом. Како се пермафрост топи, камените падине могу постати нестабилније што доводи до активирања клизишних зона.

Клизишта могу изазвати високу смртност и повреде од водене масе која брзо протиче и ношеног материјала. Најчешћи узрок смрти у одрону је траума или гушење. Уништена струјна, водна, гасна или канализациона инфраструктура такође могу довести до повреда или болести погођеног становништва, као што су заразне болести које се преносе водом (нпр. тифус, колера, дизентерија и друге) и струјног удара који може имати и

.....

смртни исход. Људи погођени клизиштима такође могу имати краткорочне или дугорочне последице на ментално здравље због губитка породице, имовине, стоке или усева.

Клизишта такође могу имати велики утицај на здравствени систем и комуналне услуге, као што су вода, струја или комуникационе линије. Величина физичких и људских трошкова од клизишта може бити значајнио смањена ако се адекватне мере превенције, приправности, реаговања и опоравка у ванредним ситуацијама, спроводе на одржив и благовремен начин. Ефикасни системи мониторинга и управљања ризиком од клизишта састоје се из отпорних и проактивних здравствених система који могу предвидети потребе и изазове током ванредних ситуација, чиме се повећава вероватноћа да ће смањити ризике и ефикасно реаговати када је то потребно. Као водећи здравствени кластер за глобалне ванредне ситуације, Светска здравствена организација у процесу управљања ванредним ситуацијама истиче следеће препоруке:

- обезбедити одговарајућу исхрану;
- обновити услуге примарне заштите, као што су имунизација, здравље деце и мајки и ментално здравље;
- окупљање мобилних здравствених тимова и теренски рад;
- спроводити епидемиолошки надзор, рано упозоравање и реаговање;
- позив за хитно финансирање за подршку здравственим акцијама.

Списак литературе, табела и слика:



Литература:

- Highland, L.M., Bobrowsky, P. (2008): The Landslide Handbook- A Guide to Understanding Landslides. USGS, science for changing world, Circular 1325, US. Department of the Interior, U.S. Geological Survey, Reston, Virginia.
- Hardenberg, Wilko Graf von. 2011. "Expecting Disaster: The 1963 Landslide of the Vajont Dam." Environment & Society Portal, *Arcadia* (2011), no. 8. Rachel Carson Center for Environment and Society. ISSN 2199-3408 Environment & Society Portal, Arcadia
- Ristić R., Radić B., Vasiljević N. 2009. Restoration of eroded surfaces in Serbian ski-areas. *Bulletin of the Faculty of Forestry* 100: 31-54.
- Roje-Bonacci, T. 2015. Klizanje i klizišta. *Hrvatske Vode*. 88. 157-165.
- Стефановић, М., Гавриловић, З., Бајчетић, Р. 2014. Локална заједница и проблематика бујичних поплава. Приручник за локалну заједницу и организације цивилног друштва. Организација за европску безбедност и сарадњу, Мисија у Србији. ISBN 987 – 86 – 6383 – 011 – 0
- Zaniboni, F., Tinti. 2014. Numerical simulations of the 1963 Vajont landslide, Italy: Application of 1D Lagrangian modelling. *Natural Hazards*. 70. 10.1007/s11069-013-0828-2.
- WHO, 2023. Landslides. https://www.who.int/health-topics/landslides?gclid=Cj0K-CQjw7aqkBhDPArisAKGa0oLc8Svk5dXEI0RCZUiHcbVBvAM6uE5gE3SwbdmUb5JsWBi72labjTEaArxjEALw_wcB#tab=tab_1

Табела:

Табела 5. Модификовано: <https://www.osce.org/files/f/documents/4/0/148311.pdf>

Слике:

- Слике 60, 61, 62 и 63. Модификовано: <https://www.osce.org/files/f/documents/4/0/148311.pdf>
- Слика 64. Модификовано: <https://www.bgs.ac.uk/discovering-geology/earth-hazards/landslides/how-to-classify-a-landslide/>
- Слика 65. Модификовано: https://pubs.usgs.gov/circ/1325/pdf/C1325_508.pdf
- Слика 66. Модификовано: https://www.researchgate.net/publication/259635477_Numerical_simulations_of_the_1963_Vajont_landslide_Italy_Application_of_1D_Lagrangian_modelling

Слика 67. Модификовано: <https://www.environmentandsociety.org/arcadia/expecting-disaster-1963-landslide-vajont-dam> <https://allthatsinteresting.com/vajont-dam-disaster>

Слике 68 и 69. Модификовано: Ristić R., Radić B., Vasiljević N. 2009. Restoration of eroded surfaces in Serbian ski-areas. *Bulletin of the Faculty of Forestry* 100: 31-54. (https://www.researchgate.net/publication/47740828_Restoration_of_eroded_surfaces_in_Serbian_ski-areas)

Слика 70. Модификовано: https://mimaed.com/slope-stabilization/?fbclid=IwAR3sd7d8Su_H6gvhMPtuC-8x5FBt8s241PVYbYOwoEtWYhq4lI3lganvlqQ https://www.researchgate.net/publication/233906018_Landslides_Human_Health_Effects/figures?lo=1&utm_source=google&utm_medium=organic <https://www.freyssinet.com/wp-content/uploads/2021/08/Brochure-Freyssinet-anchoring-systems-for-geotechnical-engineering-1.pdf>





5. ХИДРОЛОШКИ ХАЗАРД

5. ХИДРОЛОШКИ ХАЗАРД (ХИДРОСФЕРСКИ ХАЗАРД)

Све запаженије последице климатских промена манифестују се у свим аспектима животне средине, укључујући и хидросферу. Поремећени обрасци дистрибуције, учесталости, интензитета падавина, као и сушних периода, јасно указују на већ приметне промене укупног биланса вода. Потребно је истаћи да досадашњи мониторинг водног биланса указује да се годишње суме падавина нису већински променили, већ су екстреми њихових манифестација постали све израженији и учесталији (Стефановић и сар., 2014).

Поплава као природна непогода, представља екстремну хидролошку појаву изливања поплавног таласа из речног корита. Она има претежно стохастички (непредвидив) карактер. Због своје непредвидивости и обимности може изазвати велике материјалне штете, чак и угрозити људске животе. Када је реч о **бујицама**, проблематика бујичних поплава, насупрот обичним равничарским поплавама, поприма озбиљнији карактер, јер се снага бујичних вода не односи само воду, него и на вучен, растворен и пливајући материјал. Као би се смањио ризик од поплава и потенцијални губици свели на минималну меру, потребно је спроводити константан мониторинг протицајног профила корита, применити планове детаљне одбране са компјутерским моделовањем и читав низ мера заштите, активности и радова на терену, јер поплаве чине најтежи и најизраженији облик хидролошког хазарда.

5.1. УЗРОЦИ И ВРСТЕ ПОПЛАВА

Према стручној дефиницији, **поплаве су привремена покривеност водом земљишта које обично није прекривено водом, тј. када капацитет корита није довољан да прими сву воду као последицу интензивних падавина или наглог отапања снега** (European Commission, 2007). То се посебно односи на поплаве које узрокују реке, планински потоци, бујични водотоци, као и изливање мора на приобалним подручјима.

Фактори који утичу на појаву поплава могу се поделити на директне и индиректне.

Директни фактору су:

- јаке падавине (киша);
- нагло отапање снега;
- покретање ледених санти;
- висина водостаја главног тока у време његовог пораста;
- меандрирање главног тока;
- клижење тла;
- коинциденција великих вода притока и главног тока.

Индиректни фактори су:

- слив (облик и величина);
- густина речне мреже (притоке);
- рељеф (нагиб и нивелација терена);
- засићеност земљишта водом;
- висок ниво подземних вода;
- смањена пошумљеност;
- начин обраде околног пољопривредног земљишта;
- комуникације (правац) притока.

Поплаве могу настати под утицајем више различитих фактора, али према генералној подели могу се сврстати у три основне групе:

- 1. поплаве које су последица природних појава** (кишне падавине и отапање снега, формирање ледених баријера, коинциденције високих вода, бујичне поплаве, клижење земљишта, рушење брана);
- 2. поплаве изазване антропогеним утицајем** (крчење шума, каналисање, изградња објеката и саобраћајница на обалама или у кориту водотока и све друге активности којима се смањује време течења и капацитет протикајног профила, а повећава висина воде у кориту);
- 3. поплаве које су последица комбинације природних и антропогених утицаја** (поплаве изазване клизањем косина услед огољавања падина, поплаве изазване смањењем проточности корита услед депоновања шута или таложења суспендованих честица отпадних вода и друге).

Према **месту настанка** поплаве се могу поделити на поплаве настале на:

1. **рекама** (изливање речних вода из корита пре свега у равничарским крајевима, а главна особина је дубина тј. ниво досезања поплавне воде);
2. **потоцима** (поплаве планинских водотока и потока најчешће имају значајно мању висину од равничарских поплавних вода, али зато имају већу брзину која изазива највише проблема у случају евакуације становништва);
3. **бујичним водотоцима** (бујичне воде осим дубине и брзине воде, карактерише врста бујичне масе и количина ношеног материјала која у зависности од годишњег доба, величине и карактера слива, има веће или мање периодичне манифестације);
4. **приобаљу** (поплаве мора и у приобалним водама јављају се под утицајем плимних таласа, пада ваздушног притиска услед циклонске активности и појаве јаких ветрова са мора услед цунамија).

У штетне последице узроковане хидролошким хазардом могу се сврстати:

- дистрибуција токсиканата у зонама плавних подручја посредством загађене воде (хемизација пољопривредних површина);
- потапање и изливање канализационих отпадних вода;
- контаминација земљишта;
- загађење водних резерви;
- ширење хидричних епидемија (waterborne diseases);
- забаривање и засипање плодног тла.

5.2. ОБЈЕКТИ ЗАШТИТЕ ОД ХИДРОЛОШКОГ ХАЗАРДА – ОДБРАНА ОД ПОПЛАВА

У зависности од врсте интервенција на поплавним водама, објекти заштите од хидролошког хазарда генерално се могу класификовати у две групе: **објекти пасивне и објекти активне одбране од поплава**.

Објекти активне одбране од поплава имају за циљ директно снижавање водног протицаја како би се заштитио или значајно умањио ниво у доњем току и обезбедило време за реакцију на надолazeћи поплавни талас. Насупрот њима, **објекти за пасивну одбрану од поплава** нису намењени обарању хидрограма протицаја, већ заштити и безбедности становништва и његове имовине од поплавног таласа.

5.2.1. Активна одбрана од поплава

Активне мере заштите од поплава су посебан облик хидро-грађевинских радова на речном сливу и обухватају изградњу објеката, радове на регулацији тока река (пресецање меандара, сужавање или проширење корита, чишћење од наноса, обалоутврде корита, уређење ушћа...), антиерозионе радове (пошумљавање, затрављивање, терасирање воћњака, орање по изохипсама), као и техничке радове (преграђивање речног корита).

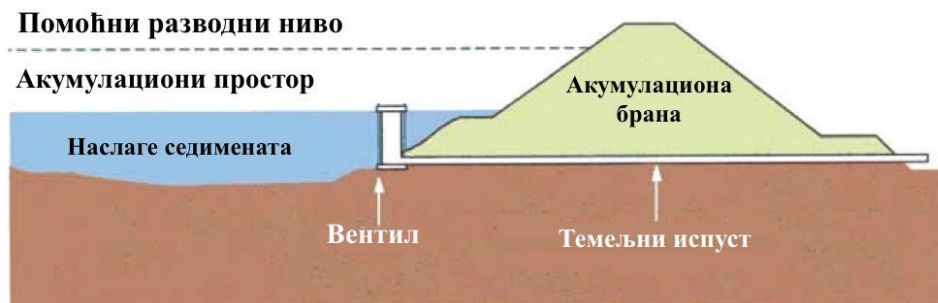
Објекти активне заштите од поплава првенствено утичу на хидрограм поплавних вода тако што обарају максимални протицајни ниво, а истовремено повећавају временски проток поплавних вода (Стефановић и сар., 2014). У „активне” објекте спадају: **акумулације, ретензије и латерални растеретни канали.**

Акумулације чине објекте већих димензија чија је основна карактеристика запремина простора за пријем поплавног таласа, односно надоласка веће количине поплавних вода које би потенцијално изазвале штете веће размере. Сам објекат се може поделити на: брану акумулације и акумулациони простор. Функција бране је да задржи и контролисано испушта воду у акумулациони простор који је претходно очишћен и обалоутврђен.

Ретензије представљају објекте за регулацију водног режима уз снижавање хидрограма протицаја низводно од ретензије. Основна улога ретензије је да прими примарни део поплавног таласа и тиме ублажи протицај у низводном делу. Објекти ретензије су мање висине од акумулационих брана, па је тиме и њихова запремина најчешће мања од акумулационог простора код објеката акумулације. Ретензије изграђене на главном току називају се чеоним ретензијама, док су бочне ретензије оивичене насипима и најчешће без акумулационог простора.

Растеретни канали укључују објекте помоћу којих се део поплавног таласа трасира кроз изграђен канал како би се растеретио главни ток и повећао ниво протицаја угрожене локације. Објекти растеретних канала могу бити изграђени паралелно са главним током (латерални канал), како би се вода спровела у исти речни ток, или попречно, како би воду превели у други водоток. Ови канали се углавном подижу на местима где је немогуће повећати хидрограм протицаја услед неадекватне градње око главног тока.

Слика 71. Брана на акумулацији – основни елементи бране



Слика 72. а) Чеона ретензија Велико Средиште код Вршца и б) Бочна ретензија Љутово код Суботице



5.2.2. Пасивне мере одбране од поплава

Пасивне мере заштите од поплава нису директно усмерене на интервенције у речном току, односно нису намењене регулисању хидрографских протицаја, већ обухватају константан мониторинг хидрографских и метеоролошких параметара, као и изградњу објеката за спречавање изливања поплавних вода (Стефановић и сар., 2014). Под пасивне мере заштите спадају:

- праћење и анализа хидро-метеоролошких параметара;
- моделовање поплавног таласа (математички модели: TANK, HBV, SSARR, MANS, RIFLOW);
- изградња насипа;
- примена система административних мера (законски прописи, механизми евакуисања становништва и сл.).

Од објеката пасивне одбране од поплава првенствено се мисли на заштитне насипе и у зависности од њиховог положаја и намене разликујемо: главне, ободне, успорне, прикључне, трансверзалне, секундарне и летње насипе.

Главне насипе чине линијски подизани објекти у речним долинама како би спречили изливање река у поплавно подручје (заштита од инундације). Основна намена главних насипа је одбрана од великих вода, заштита насељених места и економски важних подручја.

Ободни насипи имају прстенасту формацију и подижу се око поплавног подручја, углавном у непосредној близини насипа. Имају претежно локални карактер и везују се за индустријске зоне и мање насељена места.

Успорни насипи су помоћни насипи који се подижу дуж притока и пружају подршку главном насипу у одбрани од поплава. Одликују их правилне геометријске форме, а њихова функција јесте да зауставе изливање успорних вода из главног водотока трасирањем воде кроз корита притока.

Прикључни насипи повезују главне насипе са вишим котама неугроженог терена и тиме стварају изолован простор који је потпуно заштићен од поплава (брањену касету).

Трансверзални (управни) насипи подижу се како би преградили угрожено подручје у виду додатних заштитних касета и ојачали пробој главног насипа.

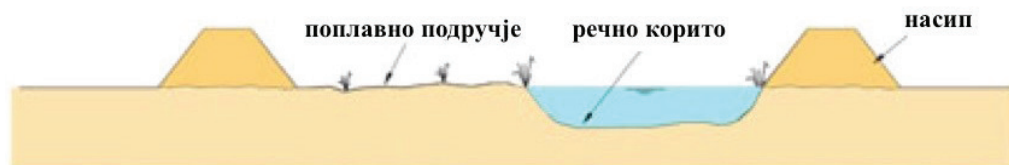
Секундарни насипи чине другу линију одбране од поплава и паралелни су са главним насипом надовезујући се на трансферзалне и успорне насипе. Подижу се на издигнутим деловима терена и додатно штите угрожено подручје од поплава вода.

Летњи насипи су објекти мањих диманзија који се наменски подижу у циљу заштите пољопривредних површина од поплава краћег повратног периода. Ниво меродавних вода летњих насипа зависи од вегетационог периода и значајно је нижи од нивоа меродавних вода главних насипа на које налажу.

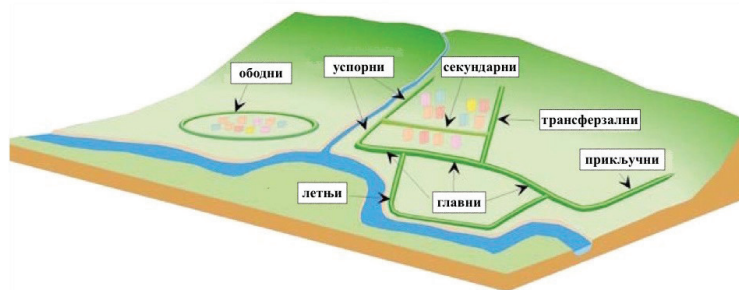
У пасивне мере заштите од поплава, поред насипа, спадају и **кејски (вертикални) зидови** који се пројектују у претежно урбаним зонама, посебно у ужим деловима водотока како би спречили изливање и заштитили обалу од ерозије. **Регулациони објекти (у кориту и ван корита)** су вишенаменски објекти који поред заштите од ерозије и поплава, доприносе побољшању квалитета вода, унапређују просторно уређење предела и регулишу дубину у пловним водотоцима.

Бујичне преграде су типски масивни објекти који спречавају даљи транспорт крупног вученог наноса бујичне воде, док се **бујичне рампе** граде како би смањиле висинску разлику корита бујичног водотока. **Каскаде (степенице)** су попречни објекти који за денивелисање дна корита водотока, користе слободан пад воде.

Слика 73. Основни приказ насипа



Слика 74. Подела насипа према положају и намени



5.2.3. Систем заштите од хидролошког хазарда у Републици Србији

Систем заштите од хидролошког хазарда правно је уређен Законом о водама („Сл. гласник РС”, бр. 46/91). Законски и подзаконски акти односе се на заштиту од штетног дејства поплава и леда, као и на заштиту од бујица и ерозије. У овај систем заштите спадају:

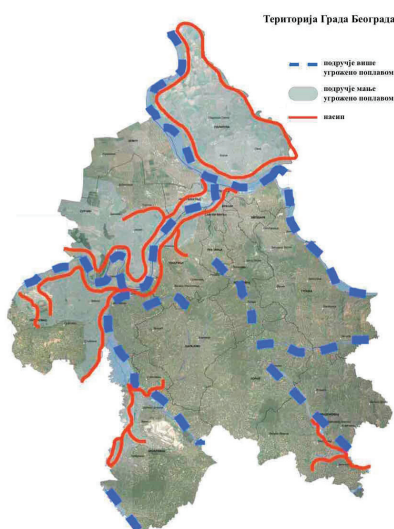
- Мере и радови за одбрану од поплава који су дефинисани Генералним и Оперативним планом за одбрану од поплава и обухватају водотоке на којима су изграђени објекти заштите.
- Документи који се користе за развој и израду плана система заштите од поплава и уређење водотока укључују: Просторни план, Водопривредну основу и Стратегију развоја водопривреде у Републици Србији до 2021. године.

Природни хазард

Република Србија суочена је са многобројним проблема који се односе на угроженост подручја од ерозије и бујичних поплава чије последице имају јак и разоран ефекат на становништво и имовину. Према законским одредбама, мере одбране од ерозије и бујица јесу основа за стабилно и одрживо коришћење земљишног ресурса. Досадашњи систем уређености водотока и заштите од поплава у Србији, може се сагледати кроз низ реализованих планова на државном и локалном нивоу и обухвата:

- 3 460 km изграђеног насипа на водном подручју (Дунав 1 597 km, Сава 681 km и Морава 1 182 km);
- 820 km уређених водотокова, 930 km изграђених канала, 39 акумулација и ретензија;
- изведене регулационе радове на водотоцима Тисе, Мораве, Дунава и Саве;
- изграђене објекте обалоутврде (≈ 486 km) и радове на ископу и уређењу корита (≈ 420 km);
- мониторинг и процена ризика од поплава на територији Београда које је могуће пратити на основу стратешког документа Водопривредне основе Републике Србије;
- идентификоване зоне угрожености града Београда у које спадају делови обале уз Саву и Дунав, подручје око мањих водотока бујичног карактера и нижи централни делови града, угрожени изливањем кишне канализације.

Слика 75. Водно подручје Града Београда – карта угрожености од поплава



5.3. РАЗВОЈ ИНТЕГРАЛНОГ МОДЕЛА ЗАШТИТЕ ОД ПОПЛАВА

Како би се што ефикасније и дугорочно заштитило угрожено подручје од поплава, потребан је интегрисан и одржив систем уређења и заштите плавних површина у Србији. У складу са тим, експерти у области планирања и уређења водопривредних предела, морају применити модел интегралног (целовитог) решења и дефинисати систем заштите на нивоу слива, а не у виду парцијалних решења (Стефановић и сар., 2014). Интегрисан модел заштите у складу је са основним концептом одрживог развоја у области заштите од вода, чиме се постиже технички, економски и еколошки степен оправданости и дуготочности система заштите од поплава. Његова реализација зависи од адекватне примене следећих радова и мера:

1. неинвестициони радови и мере;
2. инвестициони (хидрограђевинских) радови и мере.

1. Неинвестиционе радове и мере обухватају мере превентиве и оперативе чији је основни циљ правовремено елиминисање ризика и ублажавање штетних последица од поплава. Поред њих, регулативне мере и институционална заштита, такође спадају у неинвестиционе мере заштите.

У групу **превентивних мера** првенствено спадају радови на поплавом угроженим објектима у виду изградње заштите, спречавање продора воде и сл. Под **оперативне мере** заштите од поплава спадају прогноза наиласка поплавног таласа, пренос информација на терен, као и информисање надлежних органа уз потенцијалну евакуацију становништва.

Регулативне и институционалне мере чине скуп дефинисаних закона и прописа којим се спроводи одређена политика у погледу коришћења поплавом угроженог подручја. У њих спадају:

- зонирање терена према степену угрожености од поплава;
- прописи о намени поплавом угрожених терена;
- грађевински прописи;
- мере солидарности за ублажавање последица поплава;
- информисање и едукација становништва;
- одређивање друштвене и индивидуалне одговорности;
- осигурање од потенцијалних штета од поплава.

2. **Инвестициони радови и мере** подразумевају процену тренутног стања објеката на терену и одређивање приоритета инвестирања у објекте заштите од поплава и уређења водотока. Ове мере укључују:

- завршетак започетих објеката;
- реконструкцију или изградњу објеката за заштиту од поплава или уређење водотока првог и другог степена приоритетности;
- радове на међународним водотоцима.

У зависности од **времена реализације** свих неинвестиционих и инвестиционих радова и мера спречавање или ублажавање штетних последица од поплава, разликујемо:

а) Припремне радове и мере, који укључују:

- планирање намене земљишта у сливу;
- зонирање терена према степену угрожености од поплава;
- осигурање од потенцијалних последица поплава;
- разматрање планова и припрема за увођење ванредног стања у случају поплава;
- изградњу инфраструктуре за одбрану од поплава (одбрамбени објекти и објекти у систему за прогнозу и упозорење);
- одржавање инфраструктуре за одбрану од поплава;
- информисање и едукација становништва са постојањем перманентне опасности од поплава;
- обука становништва везано за мере заштите у случају опасности.

б) Мере оперативне одбране, према којима се:

- одређује могућност формирања поплавног таласа помоћу радарских и хидрометеоролошких осматрања;
- прогнозирају услови у водотоку на основу хидрометеоролошких података;
- прослеђује обавештење надлежним установама и становништву о могућству формирања поплавног таласа;
- спроводе одговарајући радови и мере за заштиту од поплава.

в) Мере по престанку поплава обухватају:

- помоћ угроженима у снабдевању са основним потребама (вода, храна, смештај итд.);
- реконструкцију оштећених инфраструктурних објеката;
- санацију поплавлјеног подручја и ревитализацију привредних активности;
- процену ефикасности предузетих радова у циљу унапређења система заштите и ефикаснијег планирања одговарајућих активности у угроженом подручју и шире.

Према **начину спровођења** система заштите од поплава разликујемо превентивне и оперативне мере заштите.

Превентивне мере заштите подразумевају:

- константан мониторинг водостаја и информисање локалних јединица цивилне заштите;
- техничко-грађевинске мере у циљу регулације пропусне моћи;
- подизање објеката одбрамбених насипа;
- уклањање препрека у водотоку;
- едукацију становништва у ризичним подручјима.

Оперативне мере заштите подразумевају:

- мониторинг поплавног таласа;
- обезбеђење свих материјално-техничких средстава (механизација, материјали);
- заштиту водоводног и каналаизационог система;
- разрађене механизме за евакуацију становништва;
- снабдевање становништва пијаћом водом (цистерне) и намирницама;
- здравствено- безбедносну контролу становништва и локације;
- друге санационе мере.

5.3.1. Систем мера одбране од поплава

Систем мера одбране од ових елементарних непогода организован је на нивоу надлежних институција од XIX века и све до данас. Републичке специјализоване службе и јавна предузећа поседују механизме за одбрану од поплава на главним речним токовима, укључујући одбрану свих међународних саобраћајница, као и заштиту главних саобраћајница од националног значаја. Према Закону о ванредним ситуацијама Републике Србије („Службени гласник РС”, бр. 111/09), прецизно је дефинисана улога свих субјеката државне управе у ванредним ситуацијама. Локална самоуправа има важну функцију у систему одбране од елементарних непогода кроз прецизно дефинисане мере деловања у ванредним ситуацијама, укључујући и поплаве (Vojićević, 2014). У систем заштите од хидролошког хазарда спадају и мере за проглашење редовне и ванредне одбране од поплава.

Мера **редовне одбране** одређена је за сваки речни сектор и доноси се када водостај на реци достигне прописану границу са тенденцијом даљег пораста. Редовну одбрану од поплава проглашава надлежни водопривредни орган, који врши константан мониторинг стања свих одбрамбених насипа и објеката на водотоку.

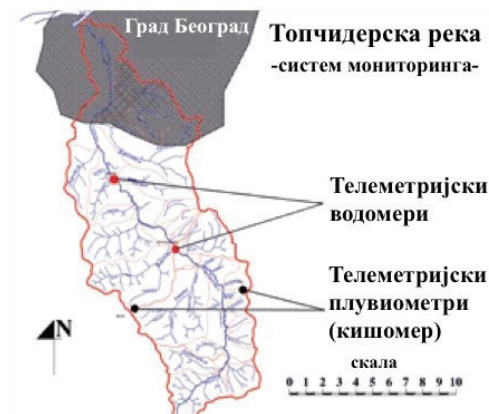
Мера **ванредне одбране** доноси се у случају дужег задржавања водостаја изнад границе редовне одбране од поплава са тенденцијом даљег пораста или када је стање насипа и објеката на водотоку угрожено. Ванредну одбрану од поплава проглашава надлежни водопривредни орган и она укључује непрекидан мониторинг стања одбрамбене инфраструктуре на водотоку. Уколико се деси неконтролисано пробијање насипа и инундација, органи локалне самоуправе проглашавају ванредно стање и предузимају мере за евакуацију становништва, изградњу насипа и др.

5.3.2. Хидролошко прогнозирање и моделовање

Методологија хидролошког прогнозирања обухвата скуп математичких прорачуна кроз познавање основних хидрометеоролошких параметара на основу којих се прогнозира и моделује развој потенцијалне хидролошке појаве. Прогнозирање је од изузетног значаја у процесу одбране од поплава, регулисања речних протицаја, наводњавања и водоснабдевања, пројектовања и изградње водопривредних система. Систем за хидролошко прогнозирање чине:

- а) **систем мерних станица** помоћу којих се врше мерења хидролошких и метеоролошких параметара (нпр. водостај, температура воде и ваздуха, количина леда, падавине, правац и смер кретања ветра..);
- б) **систем за пренос података** подразумева поуздан, правовремен и брз пренос мерених хидролошких величина са слива до мерних станица и система за обраду података;
- в) **систем за обраду података** бави се прикупљањем и анализом података, хидролошким прогнозирањем, као и чувањем и дистрибуцијом података крајњим корисницима;
- г) **метеоролошке прогнозе** одређују ефикасност и временски оквир трајања хидролошког прогнозирања и моделовања;
- д) **стратегија управљања и водопривредне мере** израђују се на основу хидролошког модела у циљу задовољења захтева свих корисника у систему;
- ђ) **модели за хидролошко прогнозирање** израђују се на основу прикупљених података на терену;
- е) **оперативни поступци** који се наменски и по потреби реализују на терену.

Слика 76. Положај мерних станица за кишу и водостаје из система за рану најаву бујица у реалном времену на Топчидерској реци



5.4. ПРОЦЕНА РИЗИКА ОД ПОПЛАВА

Поплавни хазард је квалитативна чињеница која указује на постојање ризика од опасног догађаја који се може или не мора догодити, али без квантитативних индикатора потенцијалне опасности. Поплаве причињавају доказано штетне последице од којих су немерљиве свакако изгубљени људски животи. Према основној класификацији, све остале штете се могу поделити на **материјалне** и **нематеријалне**, односно и **директне** и **индиректне штете**.

Материјална штета је квантитативно исказана последица, која има своју номиналну вредност, попут броја порушених објеката или новчаног износа имовине. **Нематеријалне штете** немају свој квантитативни облик исказивања и односе се на губитке настале услед смањене функционалности одређених јавних или комуналних сервиса, на пример, неодржана настава у школама или немогућност реализације административних обавеза. **Директне штете** настају непосредно од поплавних вода или бујичне стихије, док се **индиректне штете** јављају на посредан начин, на пример, услед немогућности коришћења поплавлених саобраћајница или срушених мостова.

5.4.1. Хидросферски ризик

Према општој дефиницији, **ризик** је вероватноћа настанка штетних последица у које спадају повређивање људи или потенцијални губитак живота, материјалних добара, угрожавање економских процеса и животне средине услед деловања природног или антропогеног хазарда на услове рањивости (European Commision, 2007). Као векторска величина, ризик се процењује помоћу следећих варијабли: вероватноће догађаја, последице догађаја, вишеструке временске одреднице, величине хазарда, вулнерабилности, експонираности, сигурности рецептора, могућности управљања рецептором итд. На пример, дубинска осетљивост, односно издвајање дубинских зона, представља изузетно важан параметар у процесу евакуације угроженог становништва према старосним категоријама:

- 0,0-0,5 m - могуће кретање становништва и ношење мале деце кроз воду;
- 0,5-1,5 m - могуће стајање у води и делимично држање мале деце у рукама;
- 1,5-4,0 m - могућ приступ чамцима до кровова кућа и помоћ угроженима;
- > 4,0 m - отежана евакуација.

Универзални метод за процену ризика од поплава још увек не постоји. Међутим, добар пример за детаљну процену ризика и штете од поплава може бити метод који су развиле надлежне институције Републике Чешке (Ministerstvo životního prostředí, 2011). Овај метод обухвата повратне периоде од 5, 20 и 100 година и укључује четири типа индикатора процене:

- *економски критеријуми* одређују се на основу директне и индиректне материјалне штете;
- *критеријуми заштите животне и културне средине* обухватају све ерозивне и акумулационе процесе, дезинтеграцију полутаната, као и утицај поплава на заштићене биотопе и културну баштину;
- *критеријуми становништва* укључују кумулативне штетне ефекте на директне потребе и услове живота становништва угроженог подручја;
- *друштвене критеријуме* представљају све штете настале услед нефункционисања јавних служби (школе, здравствене установе, позоришта, биоскопи, јавне градске службе и слично).

На основу релевантних база података и студија о дугорочним ефектима климатских промена са посебним фокусом на процену ризика од хидролошког хазарда, донета је Директива Европске Уније за управљање ризицима од поплава 2007/60/ЕЗ. Њен циљ се односи на дефинисање јасног оквира за процену и управљање поплавама ризицима како би се смањиле штетне последице поплава и сачувало здравље људи и културна баштина. Основни елементи процене хидролошког хазарда су:

1. Карте водног подручја одговарајуће размере са приказом граница речних сликова и подсликова, приобалних подручја, топографије и наменске употребе земљишта.
2. Историја поплава која укључује опис свих релевантних поплава и штетних последица које су проузроковале.
3. Процена могућих штетних последица будућих поплава на здравље људи, животну средину, стамбену и културну инфраструктуру, укључујући ефекте климатских промена на појаву поплава.

Процена ризика представља израду карте опасности од поплава која обухвата угрожена географска подручја и покрива три потенцијална сценарија:

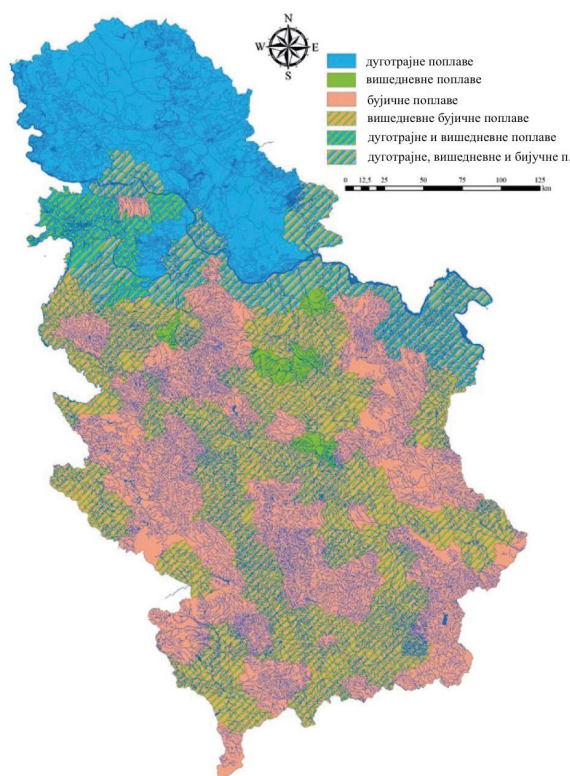
- поплаве мале вероватноће или сценарији екстремних догађаја;
- поплаве средње вероватноће (повратно раздобље ≥ 100 година);
- поплаве велике вероватноће.

Природни хазард

На основу израђених карата опасности од поплава, надлежне институције даље дефинишу систем за планирање и управљање хидролошким хазардом на нивоу угроженог подручја и јединица локалне самоуправе. Овај систем се састоји из следећих планова:

- планови управљања поплавним ризицима који се односе на све релевантне факторе попут трошкова, просторне димензије отицања поплавних вода и потенцијалних ретензија;
- планови управљања поплавним ризицима који морају обухватити и аспект превенције, заштите, приправности, укључујући системе прогнозе и раног упозоравања;
- Планови управљања поплавним ризицима који могу промовисати одржив начин употребе земљишног ресурса;
- Планови управљања поплавним ризицима који укључују систем солидарности, односно мере међудржавне заштите од поплава узводно или низводно на истом речном сливу или подсливу.

Слика 77. Карта угрожености од поплава на територији Републике Србије



5.5. УПРАВЉАЊЕ ЗДРАВСТВЕНО-БЕЗБЕДНОСНИМ РИЗИКОМ ОД ХИДРОЛОШКОГ ХАЗАРДА

Поплаве су најчешћа врста природног хидролошког хазарда који може изазвати широку девастацију што резултира губитком живота, ризицима по јавно здравље, материјалном и нематеријалном штетом и девастацијом животне средине. У последње две деценије, поплаве су погодиле више од 2 милијарде људи широм света. Становништво које живи у поплавом угроженим подручјима или у нискоквалитетним стамбеним објектима, без система упозорења и свести о опасности од поплава, највише је изложено ризику. Између 80-90% свих документованих катастрофа изазваних природним хазардима у последњих 10 година је резултат поплава, суша, тропских циклона, топлотних таласа и јаких олуја. Поплаве су такође у порасту по учесталости и интензитету, а очекује се да ће фреквентност и јачина екстремних падавина наставити да расте због климатских промена (WHO, 2017).

Према глобалној здравственој статистици везано за хидролошки хазард, утапање чини 75% смртних случајева у поплавним катастрофама. Поплавне катастрофе су све чешће и очекује се да ће се овај тренд наставити. Ризици од утапања се повећавају са поплавама, посебно у земљама са ниским и средњим приходима где људи живе у подручјима склони поплавама, а системи упозоравања, евакуације или заштите заједница од поплава су слаби или недовољно развијени. Смртни исход је такође последица физичке трауме, срчаних удара, струјног удара, тровања угљен-моноксидом или пожара повезаних са поплавама. Често се евидентирају само непосредне трауматске смрти од поплава. Поплаве, према некој основној подели, могу имати краткорочне и дугорочне последице по здравље које укључују:

- хидричне епидемије односно, болести које се преносе водом попут колепе, тифуса или маларије („waterborne diseases” или „water-related diseases”);
- повреде, као што су посекотине или убоди услед евакуације и санационих процеса у случају катастрофе;
- хемијске опасности, односно изливање токсичних полутаната у спољашњи медијум и њихово ширење;
- утицаји на ментално здравље у вези са ванредним ситуацијама;
- поремећени здравствени системи, установе и услуге, који остављају заједнице без приступа примарној здравственој заштити;
- оштећена основна инфраструктура, недостатак залиха хране и питке воде, као и безбедних места за евакуацију.

Природни хазард

Планирање интегрисаних здравствених услуга је од суштинског значаја и укључује одржавање или повећање основне функције јавног здравља (Menne & Murray, 2013). План се састоји из пет основних стубова који чине систем заштите и управљања здравствено-безбедносним ризиком од хидролошког хазарда и укључује: континуитет здравствене заштите, мере хитне помоћи, ефикасност јавне здравствене службе, безбедност хране и континуирану здравствену сигурност.

Табела 6. Пет основних стубова система заштите и управљања здравствено-безбедносним ризиком од хидролошког хазарда

I.	Континуитет здравствене заштите	• здравље деце; • програми имунизације; • репродуктивно здравље; • ментално здравље; • незаразне болести; • друга хронична стања.
II.	Хитна помоћ	• опште клиничке услуге и основна нега траума; • хитна нега мајки и новорођенчади.
III.	Јавне здравствене службе	• здравствено образовање и промоција; • контрола избијања заразних болести; • надзор болести; • здравље животне средине; • вода, канализација и хигијена; • векторско управљање; • управљање отпадом; • хемијске опасности и токсини; • радиолошке опасности.
IV.	Безбедност хране, безбедност и исхрана	• развој међународних стандарда за безбедност хране (Организација за храну и пољопривреду - ФАО); • јаки и одрживи системи контроле хране; • имплементација Глобалне стратегије СЗО за безбедност хране (2022–2030); • праћење глобалног терета болести које се преносе храном; • подршка земљама у проценама оптерећења; • имплементација адекватне инфраструктуре за реаговање на ванредне ситуације; • развој међународне мреже надлежних за безбедност хране.
V.	Здравствена сигурност	• друштвене мере (нпр. карантин, затварање школа, отказивање масовних скупова); • превенција и контрола на улазним местима.

Списак литературе, табела и слика:

Литература:

- European Commision 2007. Directive 2007/60/ EC of the European Parliament and of the Coun- cil on the assessment and management of flood ri- sks, Official Journal of the European Union, L 288, 6 November 2007, pp. 27-34, Bruxeless.
- Menne, B., Murray, V. 2013. Floods in the WHO European Region: health effects and their prevention. World Health Organization. Regional Office for Europe. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/108625>
- Ministerstvo životního prostředí, 2011. Předběžné vyhodocení povodňových rizik v České Republice - Implementace směrnice Evropského Parlamentu a rady 2007/60/ ES o vyhodnocování a zvládání po- vodňových rizik, Ministerstvo životního prostředí & Ministerstvo zemědělství, Praha.
- Стефановић, М., Гавриловић, З., Бајчетић, Р. 2014. Локална заједница и проблематика бујичних поплава. Приручник за локалну заједницу и организације цивилног друштва. Организација за европску безбедност и сарадњу, Мисија у Србији. ISBN 987 – 86 – 6383 – 011 – 0
- Vojinovic, Z. 2014. Flood Risk: The Holistic Per- spective, From Integrated to Interactive Planning for Flood Resilience, IWA Publishing, London.
- WHO, 2017. Flooding: Managing health risks in the WHO European region. World Health Organization Regional Office for Europe. ISBN 9789289052795

Табела:

Табела 6. Модификовано: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/108625>

Слике:

- Слика 71. Модификовано: <https://silo.tips/download/how-a-watershed-flood-control-dam-works-oklahoma-conservation-commission#>
- Слика 72. Модификовано: <https://www.osce.org/files/f/documents/4/0/148311.pdf>
- Слика 73. Модификовано: https://assets.publishing.service.gov.uk/media/602bc7448fa8f503842193ee/2007-11-20_FD2411_6509_TRP.pdf
- Слика 74. Модификовано: <https://www.osce.org/files/f/documents/4/0/148311.pdf>
- Слика 75. Модификовано: <http://beogradvode.com/pdf/VPBeograd-Plakat.pdf>
- Слика 76. Модификовано: <https://www.osce.org/files/f/documents/4/0/148311.pdf>
- Слика 77. Модификовано: <https://www.osce.org/files/f/documents/4/0/148311.pdf>





6. КЛИМАТСКИ ХАЗАРД

6. КЛИМАТСКИ (АТМОСФЕРСКО-МЕТЕОРОЛОШКИ) ХАЗАРД

6.1. ОСНОВНИ ПОЈМОВИ

На Земљи се свакодневно догађају разне временске непогоде које утичу на живот и делатности човека. Будући да се ове појаве изучавају у оквиру науке која се назива метеорологија, у овом поглављу се укратко излаже преглед основа ове науке и сажет приказ карактеристичних појава (као нпр. ураган) које се уврштавају у природни хазард.

6.1.1. Метеорологија

Метеорологија је природна наука о Земљиној атмосфери и свим променама које се дешавају у њој. Она унутар природних наука припада групи физичких (још уже: геофизичких) наука, а изучава промене временских услова и прилика на Земљи тј. око нас. Њено име потиче од грчког придева “μετέωρος” (μέτ’ + αἶρος = подигнут у вис преко граница (Земље)) којом су се означаваале заједнички све појаве на небу. Основне појаве које метеорологија проучава су, између осталог: количина и врста падавина, температура ваздуха, грмљавинске олује, торнада, ваздушни притисак и последице разлика у температури и притиску, настанак и развој тропских циклона, итд. Значајан утицај временских прилика на људске активности довео је до развоја једне овакве научне дисциплине која се бави прогнозом времена (Wang, 2023).

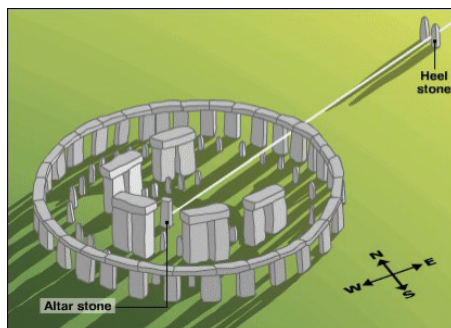
Претпоставља се да су почеци метеорологије везани за прелазак са ловачко-сакупљачког начина живота на пољопривредно-сточарски, када се почињу формирати и прва насеља. Праисторијски човек почиње на основу небеских тела пратити и предвиђати временске прилике, и мерити време у години, те се успостављају прве претече опсерваторија и први календари. У паганско доба човек, вођен страхом од природних стихија, се обраћао разним идолима-божанствима, и на различите начине настојао их „придобити” ради задовољења животних потреба (престанак суше, престанак кише, плодност) на свакојаке начине, укључујући и бруталне обреде.

Природни хазард

Слика 78. *Stonehenge*, UK (3100-1600 п.н.е.): а) данашњи изглед, б) реконструкција првобитног изгледа која указује на вероватну намену као праисторијске опсерваторије и календара.



а)



б)

Прва књига која је садржала опис и тумачења временских појава била је Аристотелова *Метеорологија* (настала око 340. п.н.е.), која излаже о свим тада познатим атмосферско-небеским феноменима, и даје прву-најранију свеобухватно изложену метеоролошку теорију (и једну од најранијих научних теорија уопште, пре настанка нововековне науке). Наредних скоро цео миленијум година метеорологија се врло мало развијала. Из тог времена сачувани су ретки записи (анали) о временским појавама, изнад свега о непогодама, и понешто у трактатима на поједине друге теме, у делима византијских и арапских средњовековних учењака-полимата.

Слика 79. а) *Tlaloc*, идол-божанство кише (воде) и плодности код Ацтека, б) жртво-приношење људи идолима у Латинској Америци ради жељених временских услова (вероватно кише).



а)



б)

Рене Декарт (1596-1650) и Галилео Галилеј (1564-1642) су били први који су наспрот контемплацији и нагађањима успоставили и зачели инструментална посматрања почетком XVII века. Основни инструменти за извођење тих посматрања и мерења конструисани су махом током седамнаестог и прве половине осамнаестог столећа (барометар (Е. Торичели, 1643), higrometar i termometar). Низ открића и експеримената из овог периода омогућио је повезивање теорије и праксе: Њутнови закони кретања, експерименти Б. Паскала, Р. Хука и других на ипсометрији (мерењу надморске висине), истраживања Р. Бојла и осталих на атмосферској циркулацији. Током следећих стотину година (до половине XIX века) термометри су стандардизовани, Б. Франклин је изумео громобран, Џ. Далтон поставио темеље за мерење испаравања и влажности, а а Л. Хауард класификовао облаке. Од друге половине XIX века, земље Западне Европе и Северне Америке отпочеле су систематско прикупљање података о времену на пуно места у исто време, уз помоћ телеграфа (изумљен 1837. године) .

Стратосфера је откривена, потом описана и тако названа у првој декади XX столећа. Стална мерења у атмосфери отпочела су после Првог светског рата, након што су изумљени и комерцијализовани радио-уређаји (напајани путем батерија постављених на балоне).

Сматра се да модерна динамичка метеорологија почиње 1948. године, радовима J. Charneu-a. Те исте године креће и нагли развој радарске технологије, те се већ раних 1950-их година помоћу радара могао разликовати састав облака (на основу количине воде у њима) а отуд и детектовати олује, нарочито грмљавинске. Почев од средине 1960-их у употреби су и radari опскрбљени мерачем Доплеровог ефекта, који могу дати и информације о брзини. Од тих година сателити могу слати и детаљне слике Земљине површине (Wang, 2023).

Међународна метеоролошка организација (*International Meteorological Organization – IMO*) основана је на Првом интернационалном конгресу метеоролога у Бечу 1873, а 1951 године је трансформисана у Светску метеоролошку организацију (*World Meteorological Organization - WMO*). То је агенција која је део Уједињених нација, а њен задатак је да учествује у организовању мреже метеоролошких станица где би се мерили и посматрали метеоролошки елементи и појаве на јединствен начин. Поред тога, задатак ове агенције је да учествује у организовању брзе размене метеоролошких података, да спроводи научно-истраживачке пројекте и шири примену метеорологије у свим људским делатностима.

6.1.2. Клима

Клима (старогрчки, то κλίμα = нагиб; појас на Земљи) у метеоролошком смислу подразумева скуп метеоролошких појава (и утицаја) које у дужем временском периоду утичу на средње стање атмосфере у некој регији на Земљи. Може се још рећи да је то дугорочно средње стање временских прилика неког региона (стандардно усредњено на нивоу периода од 30 година), или – *просечно стање атмосфере*. Сем метеоролошког, постоји још и биолошки, као и географски појам климе. Биолошка клима је скуп климатских услова који заједно са осталим факторима неке регије одређују начин постојања, развиће, размножавање, као и миграције живих организама. Са друге стране, може се рећи да је *географска клима* систем атмосферских стања која владају (доминирају) у неком региону на Земљи.

Клима се класификује параметрима попут температуре, количине падавина и других, којима се дефинишу специфични климатски типови. Најчешће се користи образац класификације који је развио Владимир Кепен (Wladimir P. Köppen, 1846-1940.).

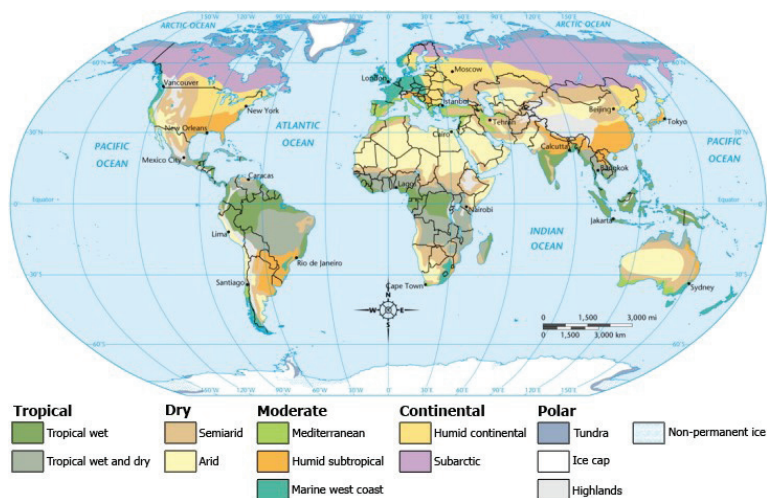
У зависности од тога на коликом подручју се клима посматра, можемо је класификовати у: (1) макроклиму – разматра се на планетарним или континенталним размерама, (2) микроклиму – разматра се унутар малог простора (поље, шума и сл.) и у приземном ваздуху (до 2 m visine), и (3) мезоклиму – у регионалним размерама.

Климатологија је научна дисциплина која проучава физичке основе како просечних тако и екстремних стања климе у појединачним деловима света и изучава њихов утицај на одлике Земље и живи свет на њој. Дели се на општу климатологију и климатографију. Док метеорологија анализира атмосферске прилике унутар временских периода од неколико дана до најдаље неколико месеци, климатологија изучава климу у дужим временским периодима, те анализира учесталост појединих климатских услова у прошлости. Општа климатологија се бави физичким основама климе, док климатографија представља приказивање клима појединих регија на основу вишедеценијских усредњених резултата метеоролошких станица у тим регијама. Осим појединачних климатских елемената, климатологија истражује и међусобне односе појединих клима и њихове међуутицаје, што повећава поузданост добијених података, али и чини савремену климатологију комплексном науком.

Најважнији елементи климе су:

- температура ваздуха;
- ваздушни притисак;
- влажност ваздуха;
- Сунчево зрачење;
- зрачење тла (секундарна емисија топлоте примљене од Сунца);
- облачност и трајање Сунчевог сјаја;
- кретање ваздушних маса (ветар);
- падавине (врста, количина);
- количина и брзина испаравања (у вези са претходним).

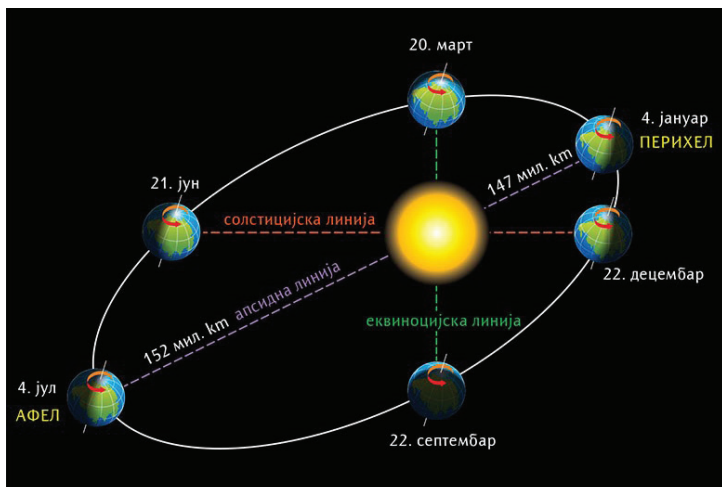
Слика 80. Класификација климе по климатским типовима (климатским приликама) на Земљи



Кад би атмосфера била посве чиста и сува (без водене паре и других честица, и посве без облака) на Земљину површину би доспевала иста количина Сунчевог зрачења која доспева и на спољну границу атмосфере (према космичком простору). Међутим, Сунчева енергија при проласку кроз атмосферу делом се апсорбује, те стога мања количина зрачења доспева на Земљу. Уз то, дешава се и дифузна рефлексија Сунчевог зрачења у атмосфери, те се и на тај начин губи део зрачења пре доласка до Земљине површине. Због свега овога, њена површина прими само један део енергије од количине која доспе на горњу границу атмосфере.

Природни хазард

Слика 81. Земљина револуција (ротација Земље око Сунца) и промене угла осунчавања, што узрокује годишња доба, различите дужине дана и ноћи и различите климе.



Током једне године, услед кретања Земље око Сунца, мења се (варира) угао под којим Сунчеви зраци падају на Земљину површину (што се назива *соларна деклинација*), што условљава различите временске прилике, а и различите *климате* (климатске типове). Основни „покретач“ (узрок) свих атмосферских кретања су температурне разлике просторно блиских ваздушних маса. Ваздух изнад загрејаног тла услед загревања се шири и подиже на више надморске висине, долази до «отицања» ваздуха изнад загрејаног дела, те притисак ту опада. Ствара се разлика у ваздушном притиску (градијент притиска) и то изазива кретање ваздушних маса (при чему учествују и друге силе) (Wald, 2018).

Будући да је брзина векторска физичка величина, и да важи адитивност за њу (сабирање вектора), свако тело које се креће на Земљиној површини има, заправо, две компоненте брзине: сопствену брзину кретања (релативно у односу на површину Земље замишљену као непокретну) и линеарну брзину оне тачке на Земљи са које кретање започиње (као и сваке следеће у коју доспева), услед Земљине ротације. При Земљиној ротацији делује Кориолисова сила на тела. Ово такође доприноси и климатским приликама као и количини (и расподели) падавина. Поред Земљине ротације, други фактор који утиче на климатске прилике појединих области на Земљи јесу процеси на Сунцу, што се изражава кроз варијације у спектралној кривој Сунчевог зрачења које приспева у атмосферу.

Све ово узрокује периодичне промене које се испољавају на нивоу од неколико дана до више хиљада година. Међу најзначајнијим ефектима промена Сунчеве активности су:

- промене услова образовања грмљавинских процеса на средњим и високим географским ширинама;
- промене циклонске и антициклонске циркулације у хемисферским размерама;
- промене у интеракцији стратосфере и тропосфере.

6.1.3. Земљина атмосфера

Земљина атмосфера је слој гасова који окружују планету Земљу и који задржава Земљина гравитација. Садржи око четири петине азота и једну петину кисеоника, док су количине осталих гасова незнатне или у траговима. Атмосфера штити живот на Земљи апсорбујући ултраљубичасто сунчево зрачење и смањујући температурне екстреме између дана и ноћи (Ђорђевић, 2015).

Земља се дели на:

- основно тело (планета Земљу у ужем смислу, = геосфера), на чијој површини је литосфера
- хидросферу
- атмосферу
- биосферу

Прве три наведене су тзв. абиотичке сфере, а последња је биотичка.

6.1.3.1. Карактеристике Земљине атмосфере

Маса Земљине атмосфере је око 5.157×10^{15} t, а маса Земље је око 5.98×10^{21} t.

Повремене састојке атмосфере чине:

- вода (у сва 3 агрегатна стања)
- чврсте честице: чађ, дим, прашина

Природни хазард

Густина атмосфере опада са порастом надморске висине (по тзв. „барометарској формули“)

- изнад 600 km је количина гасова занемарљива (скоро вакуму / празан простор),
- око 90% масе атмосфере је испод 20 km,
- око 66% масе атмосфере (око 2/3) је испод 10 km.

Атмосфера се не завршава нагло. Она полагано постаје ређа и посепено нестаје у свемиру. Не постоји коначна граница између атмосфере и спољашњог свемира. Три четвртине масе атмосфере налази се унутар 11 km од површине планете. Висина од 120 km представља границу испод које атмосферски утицаји постају видљиви при уласку свемирске летилице у атмосферу. Такође се често за границу између атмосфере и свемира узима тзв. *Карманова линија*, која је на удаљености од 100 km од Земљине површине (Ђорђевић, 2015).

6.1.3.2. Састав Земљине атмосфере

Запремински састав суве атмосфере, изражен процентуално и у ppmv (*parts per million volumetric* = „запреминских делова од милион“), по NASA-и је: азот 78.084%, кисеоник 20.946%, аргон 0.934%, CO₂ 365 ppmv, неон 18.18 ppmv, хелијум 5.24 ppmv, CH₄ 1.745 ppmv, криптон 1.14 ppmv, водоник 0.55 ppmv. У овај састав суве атмосфере није укључена водена пара промењиве количине; обично чини око 1%.

Грађа Земљине атмосфере је по вертикали слојевита: до 200 km је стабилна (саставом и структуром), а изнад је променљива (пулсира и сажима се) па има неправилну форму.

Слојеви у атмосфери су:

- тропосфера
- тропопауза
- стратосфера
- стратопауза
- мезосфера
- мезопауза
- термосфера, и
- егзосфера.

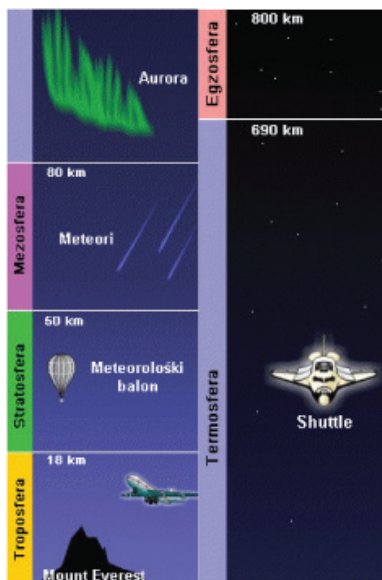
Тропосфера је најнижи слој Земљине атмосфере и у њој је око 80% масе атмосфере. Протеже се до висине између 11 и 17 km, а карактерише је пад температуре са порастом висине. Основни регулатор температуре у тропосфери данас су угљен-диоксид и водена пара.

Изнад тропосфере је тропопауза. Ово је слој широк 1–3 km, и у њој постоји температурна инверзија: над екватором је она хладнија (где је инсолација већа/боља), док је над половима топлија (иако је ту инсолација мања).

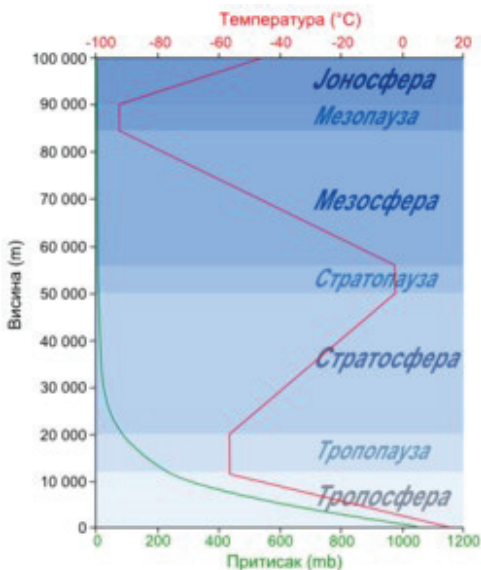
Стратосфера се простире изнад тропопаузе, од висина 18-20 km па све до око 50 km. Температура у њој расте са порастом надморске висине (али спорије расте него што опада у тропосфери). У стратосфери је озонски слој који је и регулатор температуре: он ствара топлоту у стратосфери апсорбовањем Сунчевог UV зрачења, али и топлотног (IR) зрачења емитованог са Земљине површине као и из тропосфере. Стратопауза следи одмах изнад стратосфере, на висини око 48-56 km.

Потом се простире мезосфера, све до око 80 km. Ту температура поново опада са порастом висине (до -110°C), а у њој се јављају седефасти облаци. Мезопауза следи изнад мезосфере.

Слика 82. а) слојеви у Земљиној атмосфери, б) зависност температуре од надморске висине, по слојевима атмосфере.



а)



б)

Природни хазард

Термосфера је слој на висинама од око 80 до око 160 km, и ту се дешава бржи раст температуре (до око 1800 K на 200-250 km). У њој запреминска густина драстично опада (гасови се јако разређују), али драстично расте удео јона, и ту се налазе јонизујући (D, E и F) слојеви. У термосфери се јавља поларна светлост – *Aurora*.

Егзосфера је на висинама преко 700 km (понегде већ и на преко 600 km), и ту долази до ишчезнућа атмосфере. Виши слојеви мезосфере (већ преко 65 km) заједно са термосфером и егзосфером називају се заједничким именом *јоносфера*.

Аутоматска метеоролошка станица (AMS) је уређај који мери различите метеоролошке појаве и аутоматски их обрађује и шаље у метеоролошке институције.

У оквиру AMS-а се налазе:

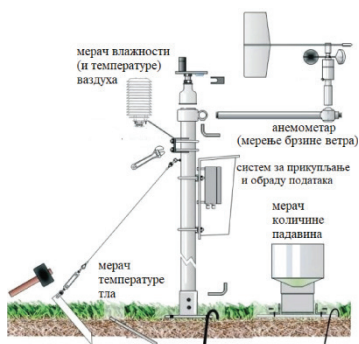
- скуп одговарајућих сензора,
- метеоролошки стуб,
- систем за аутоматску прикупљање података,
- напајачки склоп,
- РС рачунар са одговарајућим софтвером и штампачем,
- систем за пренос података од аквизиционог система до (удаљеног) РС-а.

У основној конфигурацији AMS омогућава мерење следећих величина:

- брзине и правца ветра на висини од 40 m,
- температуре ваздуха на висини од 2 m,
- релативне влажности ваздуха,
- количине падавина,
- глобалног сунчевог зрачења.

Уређај је у складу са захтевима Светске метеоролошке организације (WMO).

Слика 83. а) аутоматска мерна станица (AMS) – општи изглед, б-в) напајање AMS из електричне мреже и напајање соларним панелом (фотоволтаиком), и компоненте (г-е), г) анемометар (мерач брзине ветра), д) мерач влажности и температуре ваздуха, е) уређај за прикупљање података, е) за количину падавина.



а)



б)



в)



г)



д)



ђ)



е)

6.1.3.3. Карактеристике ваздуха

Атмосферски притисак је директна последица масе ваздуха. Разликује с местом и временом јер се количина (и маса) ваздуха изнад Земље исто тако разликују. Атмосферски притисак се смањује за 50% на висини од око 5 km (као што се и око 50% укупне масе атмосфере налази унутар најнижих 5 km). Просечни атмосферски притисак измерен на морском нивоу износи око 101.3 kPa (килопаскала) (Rauber, 2017). Јединица мере је Паскал (1 bar = 1000 mb = 10^5 Pa (Паскал) = 10^2 kPa). На нивоу мора, 1 m³ ваздуха на температури – 20°C има масу 1.395 kg, на температури 0°C има масу 1.293 kg, а на температури – 20° C има масу 1.165 kg.

Ваздушни (атмосферски) притисак се изражава у милибарима (mb). На површини мора износи око 1013 mb, а непрекидно се мења утицајем термодинамичких процеса у атмосфери. Има дневну варијацију, па је максималан око 10h и око 22h, а минималан око 4 и око 16h. Амплитуде ових колебања на екватору су велике и износе око 3-4 mb, док су на географским ширинама умереног појаса знатно мање (~ 0.3 mb). Притисак ваздуха у климатологији има важну улогу јер од његовог распореда унутар атмосфере зависи правац и брзина ветра. Значајан је за вегетацију при размени ваздуха између горњих слојева земљишта и приземних слојева ваздуха, тј. код тзв. „дисања земљишта“.

Густина ваздуха опада са температуром, при притиску од 1013 mb:

$$t = -20\text{ }^{\circ}\text{C} \rightarrow \rho = 1.395\text{ kg/m}^3$$

$$t = 0\text{ }^{\circ}\text{C} \rightarrow \rho = 1.292\text{ kg/m}^3$$

$$t = 20\text{ }^{\circ}\text{C} \rightarrow \rho = 1.204\text{ kg/m}^3$$

$$t = 25\text{ }^{\circ}\text{C} \rightarrow \rho = 1.145\text{ kg/m}^3$$

Инструменти за мерење ваздушног притиска су живини или анероидни барометар или барограф – херметички затворене кутије из којих је делимично извучен ваздух. Са променом ваздушног притиска померају се зидови кутије, који се преко полуге преносе на анероидни барометар, односно графописачем на барограф (Rauber et al., 2017).

Промена притиска утиче на:

- испаравање – са смањењем притиска повећава се испаравање. У регионима где се притисак слабо мења, испаравање је безначајно. У вишим пределима, утицај притиска на испаравање је значајан.
- промену нивоа подземних вода.
- хлађење земљишта под снегом.
- кретање ваздушних маса.

Температура ваздуха спада међу најважније климатске елементе. Зависи од Сунчеве ирадијације (инсолације), односно од тзв. топлотног биланса. Температура ваздуха се мења по простору унутар атмосфере, као и у реалном времену (дневне осцилације температуре, месечне осцилације, итд.). Она одређује: климатске сезоне, размену влаге, испаравања, отицај површинских вода и друге хидрометеоролошке појаве У хидролошком циклусу – што је температура већа, испаравање је веће, а отицај мањи. Постоје следећи циклуси: дневни, годишњи и вишегодишњи.

На дневно колебање температуре ваздуха утичу карактеристике земљишта. Песковита и стеновита земљишта се дању јако загреју (на нижим географским ширинама и до 70° C) а ноћу знатно расхлађују. Земљишта другог састава, поготову ако су засићена влагом и ако су у њима развијени биолошки процеси, загревају се у току дана знатно мање. Површине са вегетацијом смањују амплитуду колебања температуре ваздуха у односу на оголене површине. Ветар такође смањује амплитуду колебања температуре ваздуха. Облаци умањују загревање земљишта дању, а такође и зрачење земљишта ноћу, што има за последицу смањење амплитуде колебања температуре ваздуха.

Мери се у метеоролошком (термометарском) заклону на висини од 2.0 m од површине земље. Изражава се у °C. Инструменти за мерење су термометри (живин и алкохолни) и биметал (термопар) у термографима.

Метеоролошка станица за мерење температуре ваздуха садржи живин термометар (мокри и суви), максимални живин термометар (за максималне температуре), минимални алкохолни термометар (за зимске ниске температуре) и термограф за континуално мерење.

Влажност ваздуха је садржај влаге у ваздуху, односно степен засићености ваздуха воденом паром. Утиче на: кондензацију влаге, стварање магле, облака, као и кише и снега. Такође, апсорбује дуготаласну радијацију (инфрацрвено, микроталасно и радиофреквентно електромагнетно зрачење са Сунца), и тиме регулише интензитет губљења топлоте Земље (Rauber et al., 2017).

Природни хазард

Физичке карактеристике влаге у атмосфери су:

- тачка сатурације или засићења ваздуха влагом (за сваку дату температуру ваздуха),
- притисак водене паре или напон водене паре,
- тачка росе,
- дефицит засићености ваздуха влагом (све што је испод сатурационе тачке),
- латентна топлота испаравања,
- апсолутна влажност ваздуха,
- релативна влажност ваздуха.

Слика 84. Метеоролошка станица



Притисак водене паре или напон водене паре: представља парцијални притисак водене паре (стварни садржај водене паре у ваздуху), а изражава се у mb (милибари). Ова величина се уводи у све физичке, а специјално у хидрометеоролошке прорачуне.

Облачност и облаци

Облачност представља укупност облака који су уочљиви на небу, посматрано у одређеном тренутку или периоду. Изражава се у десетинама од 0 до 10 или у процентима покривености неба облацима, једна од најважнијих климатских елемената.

Облак настаје кондезацијом и сублимацијом водене паре у слободној атмосфери. Састоје се из ситних капљица воде и честица леда. Да би дошло до формирања облака, ваздух мора да садржи довољну количину водене паре, да му температура опада и да се у њему налазе кондензациона језгра која су неопходна за почетак образовања водених капљица и ледених кристала. Између облака и магле нема суштинских разлика. На пример, магла образована на планинским странама за посматраче из нижих долинских предела је облак.

Према висини на којој се налазе, облаци се деле на високе, средње и ниске облаке и облаке вертикалног развита. Високи облаци леже на висини од 6 до 14 km. У њих спадају цируси, цирокумулуси и циростратуси. Средњи облаци се налазе на висини од 2 до 6 km. То су алтокумулуси и алтостратуси. Ниски облаци леже на висинама мањим од 2 km. То су: нимбостратуси, стратуси и стратокумулуси. У облаке вертикалног развита спадају кумулуси и кумулонимбуси. Њихова основа лежи на висини ниских облака, а врхови у нивоу средњих и високих облака (Rauber et al., 2017).

Облаци се међу собом много разликују по изгледу, висини, саставу итд. Прву класификацију облака предложио је 1803. године енглески учењак *Luke Howard* (1772-1864). Он је све облаке сврстао у 4 категорије: перјасте (Cirrus), гомиласте (Cumulus), слојевите (Stratus) и кишне (Nimbus). Крајем XIX века усвојена је међународна класификација облака са 10 основних типова:

1. перјасте – Cirrus (Ci)
2. слојевите – Stratus (St)
3. гомиласте – Cumulus (Cu)
4. перјасто-гомилаци – Cirrocumulus (Cc)
5. перјасто-слојевите – Cirrostratus (Cs)
6. високо-гомилаци – Altocumulus (Ac)
7. високо-слојевите – Altostratus (As)
8. слојевито-кишни – Nimbostratus (Ns)
9. слојевито-гомилаци – Stratocumulus (Sc)
10. гомиласто-кишни – Cumulonimbus (Cb)

Осматрање облачности се процењује „од ока“, простим осматрањем неба. Уколико се на своду не уочавају облаци, онда је време ведро – облачност има вредност 0, ако је покривеност до пет десетина то је умерено облачно, у случају целокупне покривености неба, говоримо о потпуно облачном времену. У случају када су облаци „разбацани“ по небу, приступа се њиховом

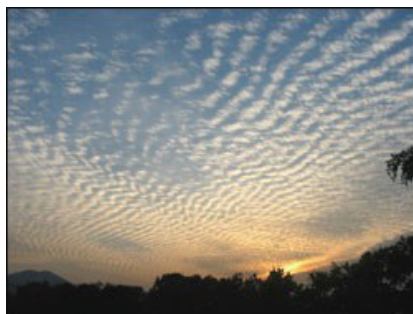
Природни хазард

визуелном груписању о одређивању облачности. Осматрање облачности врши се визуелно на највећем броју метеоролошких станица и то у терминима 7, 14 и 21 час по локалном времену. Средње-дневна облачност добија се када се збир вредности облачности по терминима осматрања подели са три.

Слика 85. Неки типови облака (према *L. Howard-y*): а) Cumulus, б) Cirrocumulus.



а)



б)

Трајање Сунчевог сјаја – ТСС

Трајање Сучевог сјаја је количина сунчевог зрачења у неком временском периоду. Представља важан климатски елеменат од кога зависе температуре воде и ваздуха, као и све остале појаве које су у било каквој вези са температуром. Трајање Сунчевог сјаја, такође има велики значај и за вегетацију, поготово за асимилацију, мада и у неким другим функцијама као што су: раст, цветање, клијање, итд. Као што је већ поменут, на различитим географским ширинама су различите дужине дана и ноћи, и Сунчеви зраци не падају свуда под истим углом. Сунце најдуже обасјава оне површине које се налазе на видном месту, на неком брегу или већој висини, док мање сунчевих зрака допире у уске долине или на нижим надморским висинама ((Raubert et al., 2017).

Карактеристични параметри трајања сунчевог сјаја:

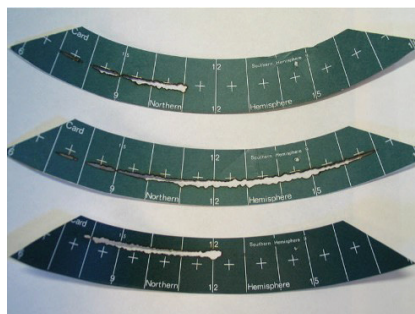
- дужина стварног трајања сунчевог сјаја у часовима у току дана, месеца или године;
- потенцијално (могуће) трајање сунчевог сјаја (под претпоставком да нема облачности);
- релативно трајање сунчевог сјаја - то је однос у % између стварног и потенцијалног трајања сунчевог сјаја;
- средњи број часова сијања сунца у току дана.

Мерење дужине стварног ТСС се у метеоролошким станицама врши помоћу хелиографа тј. одређује се на основу прогорелих тачака на хелиографској траци. Вредности се изражавају у часовима, до тачности од десетине часа. Месечни и годишњи просеци се могу рачунати уколико је довољно дуго вођена евиденција.

Слика 86. а) хелиограф, б) прогорелости на хелиографској траци (мерење стварног ТСС).



а)



б)

6.2. КРЕТАЊЕ ВАЗДУШНИХ МАСА (СТРУЈАЊЕ ВАЗДУХА)

Разлика у притиску ваздуха између два региона изазива кретање ваздушних маса од региона где је притисак виши, ка региону са мањим притиском. Основни разлог разлике у атмосферском притиску је неравномерно загревање површина океана и копна од сунца, на разним ширинама и при различитим облицима рељефа.

Подаци о просечним вредностима ваздушног притиска наносе се на карте на местима метеоролошких станица. На основу тих података цртају се изобарне (синоптичке) карте. Изобаре представљају линије које спајају тачке на карти са истим барометарским притиском. Синоптичке карте пружају општу слику о циркулацији ваздушних маса у доњим слојевима атмосфере изнад неког подручја.

Ветар преноси карактеристичне особине оне климе одакле дува. Ако долази са мора и океана, он доноси особине морске климе, а ако дува из дубоких континенталних предела доноси особине континенталне климе. У инжењерској пракси под појмом ветар подразумева се хоризонтална компонента кретања ваздуха, паралелна са површином земље. То је векторска величина која има правац и интензитет (јачину – брзину).

6.2.1.1. Глобални ветрови

Делови Земље око екватора бивају загревани од стране Сунца више од осталих делова Земље. Топао ваздух је лакши од хладног и подицаће се све док не достигне висину од око 10km и простираће се на север и на југ. Да земља не ротира, ваздух би стигао до северног и јужног пола, а затим се вратио назад до екватора.

Услед ротације земље, свако кретање на северној хемисфери је *искривљено* на десно, ако посматрамо са наше позиције на земљи (на јужној хемисфери се савија на лево). Ова очигледна сила савијања позната је под називом Кориолисова сила. Кориолисова сила је видљиви феномен, нпр. шине се на једној страни брже троше него на другој, река је знатно дубља на једној обали (о којој је обали реч зависи од тога где се налази река, на северној хемисфери предмети у покрету савијају се у десно). На северној хемисфери ветар тежи да ротира на страну супротној од кретања казаљке на часовнику како се приближава области са нижим притиском.

Ваздух се диже са екватора и помера ка северу и југу, и вишим атмосферским слојевима. Око 30 степени географске ширине на обе хемисфере Кориолисова сила спречава ваздух да се креће даље. На овој географској ширини је област високог притиска, пошто ваздух почиње поново да се слеже. Како се ваздух уздиже са екватора постоји област ниског притиска на површини земље привлачећи ветар са севера и југа. На половима преовладаваће високи притисак услед хлађења ваздуха. Ветрови који су разматрани су глобални ветрови и они зависе углавном од температурних разлика а сасвим мало од површине планете. Ови ветрови преовлађују на висинама изнад 1000 m и њихова брзина се мери метеоролошким балонима.

Површински ветрови су ветрови на висинама до 100 m где њихова брзина и правац у великој мери зависе од површине Земље. Ветар ће знатно бити успорен у случају постојања препрека, а и њихов смер ће се мало разликовати од глобалних ветрова услед ротације Земље. Када говоримо о енергији ветра, ми обично говоримо о површинским ветровима, али је ветар

Природни hazard

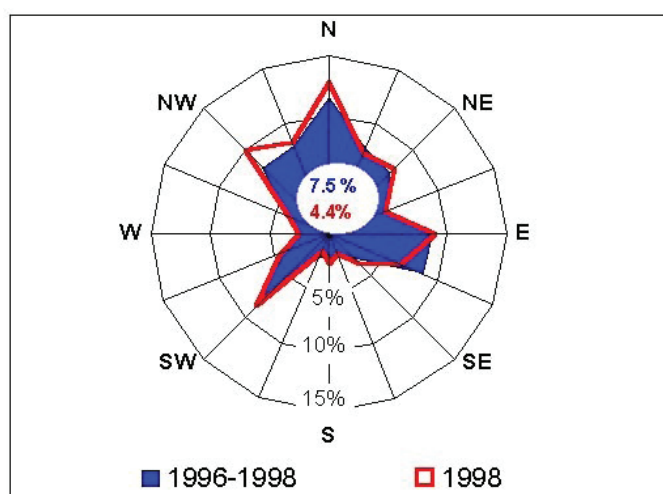
увек сума како глобалних тако и локалних утицаја. У одређеним областима у одређено време локални ветрови имају знатно већу вредност него глобални па зато разликујемо више врста локалних ветрова. За конверзију ветра из једне јединице у другу користе се следећи односи:

$$1 \text{ m/s} = 3.6 \text{ km/h} = 1.9 \text{ } \check{\text{c}}\text{vorova} = 2.2 \text{ mph (miles per hour)},$$

$$1 \text{ km/h} = 0.278 \text{ m/s} = 0.53 \text{ } \check{\text{c}}\text{vorova} = 0.62 \text{ mph}.$$

Брзина ветра мери се помоћу анемометра. За континуално бележење карактеристика ветра користе се разни типови анемометра.

Слика 88. Ружа ветрова



Резултати мерења карактеристика ветра обично се показују графички у виду тзв. руже ветрова. Руже ветрова приказују учесталост појединих праваца у %, и одговарајуће средње брзине. При прорачуну руже ветрова узима се укупан број свих праваца и тишина, осматраних у том периоду у стандардним терминима 7, 14 и 21 час. „Чили фактор“ (енг. chill factor) је појава да је температура објективно много нижа ако дува ветар. Постоје таблице на основу којих се то израчунава. Ради се о томе да у хладној атмосфери, ако је човек добро одевен, око њега се формира слој топлог ваздуха, као последица одавања топлоте самог тела, као изолатор. Ветар тај вазух одува, тако да брзо хлади организам.

У великим градовима ветрови су „чистачи“ загађеног ваздуха, који настаје као последица аутомобилских издувних гасова али и као последица различитих сагоревања. Постоје градови у којима нема или је врло мало ветра тако да због повећаног смога се проглашава „смог аларм“ те забрањује кретање путничким возилима нпр у центру града. То може да потраје данима. У такве градове спада Берлин. С друге стране, велике последице по људе могу изазвати ветрови са великом деструктивном енергијом, нарочито ураган и торнадо.

Имена неких ветрова:

- Кошава – дува са Карпата и позната је као „чистач Београда“,
- Северац –дува из панонске низије из Мађарске, северна Војводина (хладан ветар),
- Југо – ветар који дува са мора на копно, доноси кишу у Црној Гори,
- Развигор – пролећни ветар који „развија гору“,
- Бура – јак ветар који дува са копна на мора (северна Далмација),
- Монсун – дува са океана на копно доноси кишу,
- Ураган,
- Торнадо – ротирајући ветар,
- Пасат – ветар који дува из Европе према Америци омогућавао је пловидбу једрењацима,
- Антипасат.

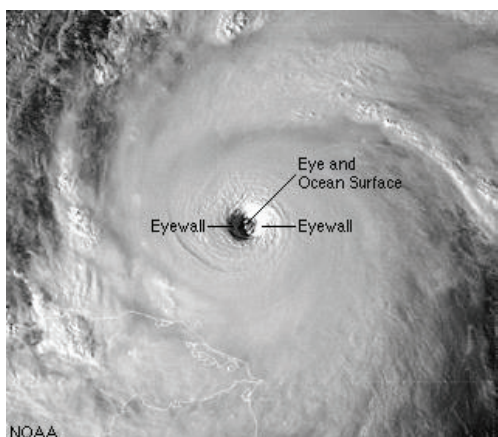
6.2.2. Ураган

Ураган је снажна тропска олуја (до 1000 km у пречнику). Ветрови се могу кретати до 350 km/h на час. Временски трају обично од 7 до 10 дана. Ветрови су најјачи око централног дела - „ока“. Око олује је обично 20 миља у пречнику. Снага ветра долази са десне стране, док киша највише пада са леве стране. Да би настао ураган потребна је топла вода океана, време да се развије и повољни горњи ниво ветрова у тропосфери, тј. када се локалне олује са грмљавином која настају из кумолонимбуса споје. Олујни облаци се мешају са ветровима у тропосфери. Уколико су ветрови сувише снажни, неће доћи до доћи до његовог формирања. Када овако формирана олуја пређе брзину од 199 km/h настаје ураган.

Природни хазард

Урагани имају често веома тешке последице попут Урагана Катрина. Због честих и катастрофалних последица формирана је и америчка база за океанска и атмосферска осматрања, која применом савремених технологија осматра и упозорава становништво. Сасвим је уобичајена појава да се и више стотина хиљада људи привремено исељава из области којима прети ураган. Сезона урагана у САД траје од 1. јуна до 30. новембра.

Слика 89. а) радарски снимак урагана: ветрови су најјачи око централног дела – „ока“ (око олује је обично до 40 km у пречнику; снага ветра долази са десне стране, док киша највише пада са леве стране); б) ураган *Irene* се креће према обали САД.



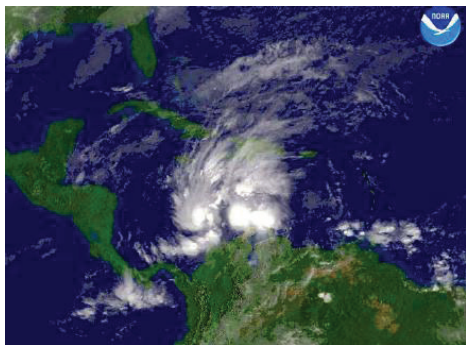
а)



б)

Као области где настају урагани познате су: 1. Обала Африке; 2. Карипско море; 3. Мексички залив и 4. тзв. *IKTZ* област ниског притиска 5 степени северно и јужно од Екватора, област где ваздух конвергира, диже се и згушњава.

Слика 90. Еволуција настанка урагана: а) стадијум 1 – ураган још нема структуру (на снимку се само може уочити постојање тропског таласа), б) стадијум 2 – тропска олуја, в) стадијум 3 (ветрови од 75-94 mph) – одговара ураганској јачини категорије 1, г) стадијум 4 – одговара категорији 2 по јачини, д) стадијум 5, ђ) стадијум 6 – јака олуја.



а)



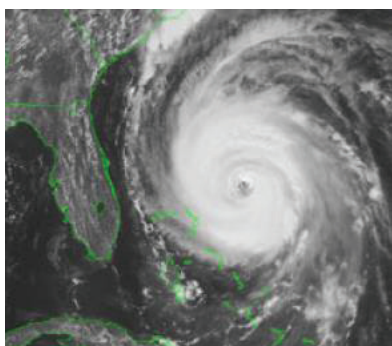
б)



в)



г)



д)



ђ)

Следећих је седам стадијума развоја урагана:

- **Стадијум 1** (почетни стадијум) – може се идентификовати само постојање тропског таласа (депресија), нема структуре.
- **Стадијум 2** (тропска олуја) – ураган већ добија форму, ветрови се крећу 40-73 миља на час (у Атлантику, олује добијају имена већ у овом стадијуму).
- **Стадијум 3** – развијене стране олује, око потпуно формирано; по јачини је ово Категорија 1 урагана; олуја се већ сасвим добро развила и ветрови се крећу 75-94 миља на час.
- **Стадијум 4** (припада по јачини Категорији 2) – ветрови се крећу 95-110 миља на час, а олуја је све снажнија (и сужава се) у свом центру.
- **Стадијум 5** (припада по јачини је Категорија 3) – ветрови достижу брзину и од 130 миља на час, присутне су интензивне поплаве и штете на инфраструктури (углавном на обали).
- **Стадијум 6** (припада по јачини Категорији 4 урагана) – ветрови се крећу 131-155 миља на час, присутне су штете на зградама, бивају оборени прозори и зидови. Олуја је широко развијена.
- **Стадијум 7** (припада по јачини Категорији 5 урагана) – ветрови > 156 миља на час. Срушене су читаве куће и интензивне поплаве. Приступа се детаљној евакуацији становништва.

Категоризација урагана се врши помоћу тзв. Сафир-Симпсон описне скале интензитета урагана, која дефинише 5 категорија по јачини и брзини ветра (тј. према причињеној штети као последици јачине ветра):

Категорија 1 – нема штете.

Категорија 2 – оборено мало дрвеће и штете на крововима.

Категорија 3 – веће штете на кућама.

Категорија 4 – веће штете на свим структурама.

Категорија 5 – јако велике штете на свим структурама.

Кроз мониторинг развоја стадијума урагана путем радарских система, формирају се системи за рано узбуњивање који су активни од стадијума 3 и 4.

Именовање урагана. Од 1953. године је национални метеоролошки сервис САД-а почео да даје имена олујама по женским именима ради боље идентификације, архивирања и документовања. Од 1979 додана су и мушка имена. За Атлантик постоји 6 листа имена која круже. У случају разарујућих олуја, имена се не враћају на листу, као што је „Катрина”.

6.2.3. Торнадо

Торнадо је насилна олуја, карактеристична по обртању облака у облику левка. Реч „торнадо“ долази од шпанског или португалског глагола *tornar*, што значи „обртати се“. Торнада се формирају у олујама широм света, најчешће уз обале америчког средњег запада („Алеја торнада“), као и на на југу. Бројећи инциденте, САД су погођене оваквим олујама чешће него било која друга земља у свету. Торнадо се може посматрати као насилно ротирајућа акумулација ваздуха (*vortex*), формирана од кумулонимбус облака са циркулацијом која додирује површину Земље.

Слика 91. Настанак торнада



6.2.3.1. Карактеристике торнада

Торнадо настаје различитим физичким процесима у атмосфери, а за настанак торнада је потребно неколико услова: нестабилност атмосфере, механизми подизања и влага у средњим и доњим деловима атмосфере. У близини тла нестабилна ваздушна маса је топла и влажна и релативно је хладнија у горњим деловима атмосфере. Топли и влажни делови ваздуха дижу се и састаје са хладним и сувљим. Повећањем влаге започиње јаче кондензовање у капљице воде и тада се енергија (топлина) отпушта у околни ваздух, што је довољно да се узлазно струјање настави пењати. Ово се све догађа у Cumulonimbus облаку, најнестабилнији и најопаснији од свих 10 родова облака.

Природни хазард

Струјање топлог ваздуха се у облаку судара са осталим струјањима хладнијег силазног ваздуха и тада облак почиње показивати видљиве ротације које се због силе теже пружају до тла. Торнадо носи све пред собом, а зависно о олујама каквим настаје може имати незамисливу јачину и трајати до сат времена. У том времену може разорити цели град.

Јачине торнада означавају се по две лествице, и то по Fujita лествици и/или TORO лествици. Фазе развоја торнада:

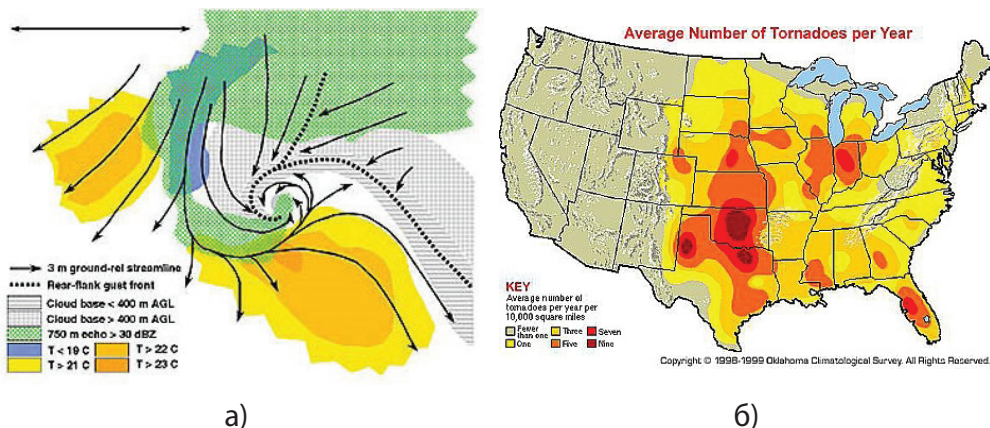
1. Фаза: Топао, сув ветар се судара са хладним фронтом. Како се топао ваздух издиже, хладнији ваздух разбија његове стране;
2. Фаза: Формира се ротирајући ветар, који „вуче“ околни ваздух ка центру. Даље се формира снажна ротација око 5 до 10 km дугачка. Појављује се низак, тамни облак у облику зида;
3. Фаза: Услед снажне ротације, на крају се формира цилиндар.

Битне карактеристике за идентификацију и прогнозу торнада:

- торнадо се може десити скоро било где у свету;
- трајање: од неколико минута до неколико сати;
- дијаметар (пречник): 0.4 km;
- 99% од свих торнада на северној хемисфери ротирају у правцу казаљке на сату;
- Texas (USA) је први по учесталости торнада годишње (смртни ризик од торнада је ту 1 на 1.054.267 људи).

Торнадо настаје обично током пролећа, лета и јесени; најчешће се јавља између касног поподнева и ране вечери. Централни делови Северне Америке су области где торнадо најчешће настаје. Позната је још под именом као торнадо долина.

Слика 92. а) правци ветра и олујних облака способних да створе торнадо, б) позиције начешћих појава торнадо у САД.



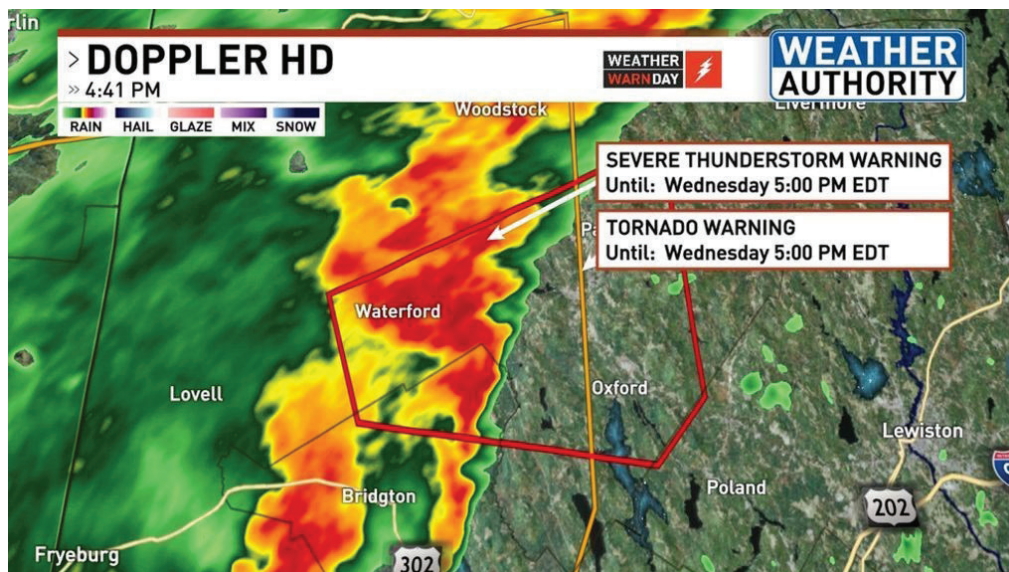
Током 1971. године, др. Fujita је развио начин за мерење брзине ветра торнада. Он је нашао везу, између брзине ветра и величине штете коју проузрокује торнадо. Постоји 6 категорија торнада (F0 – F5). По тој скали, разликујемо категорије торнада:

- F0 - слаби ветрови 40-72 миља на час (mph) (мало штете – оборени саобраћајни знакови итд);
- F1 – ветрови средње јачине, 71-100 mph (учесталост торнада снаге до F1 је највећа);
- F2 - јачи ветрови, 100- 158 mph;
- F3 - снажни ветрови, 158-206 mph, велике штете (оборени зидови и сл);
- F4 – врло снажни ветрови, 206 - 261 mph;
- F5 - разарујући ветрови, 261- 319 mph, огромне штете – срушене куће и сл (учесталост 1%).

6.2.3.2. Предвиђање торнада

Метеоролози који предвиђају развој торнада анализирају тренутне атмосферске услове, као што су температура, притисак, локације фронтова, конвекција и сл. Један од најпоузданијих начина је путем Doppler радара (WSR-88D).

Слика 93. Упозорење о могућем торнаду на основу снимка Doppler радаром, издано од стране National Weather Service, North Carolina (USA).



Мониторинг торнада врши Национални центар САД за предикцију олуја континуално осматра стање и они су одговорни за публикавање упозорења од настанка снажних олуја у САД.

- Торнадо осматрање: паралелограм се прави у радијусу од 10000m2 области где атмосфера има услове за развој снажних олуја.
- Торнадо упозорење: издаје се у моменту када је развој торнада већ почео.

Постојање торнада се састоји из 4 стадијума. Ови стадијуми су први пут идентификовани током торнада у Union City, OK из 1973. године. Већину торнадо-догађаја је тешко класификовати и обичан посматрач их не може одредити.

- Почетни стадијум: торнадо почиње као ротирајућа акумулација облака која се брзо претвара у цилиндар;
- Рани стадијум: Развија се цилиндар који добија контакт са земљом;
- Стадијум развијеног торнадо: Цилиндар достиже максимумалну ширину и интензитет;
- Позни стадијум: Снага торнада опада.

6.2.3.3. Локални и непосредни индикатори торнада

Појава торнада, на локалном нивоу, као природног хазарда се може идентификовати путем карактеристичних индикатора. Неки од њих су:

- Зеленкасто небо које најављује почетак олује;
- Mammatus (јастучасти) облаци;
- Изненадни пад у атмосферском притиску;
- Јаки ветрови > 60 миља на час;
- Често севање;
- Ротирајући облак који изгледа као да „виси” са неба;
- Велика бука.

6.2.4. „Ел Нињо” и „Ла Ниња”

Ел Нињо (шпански: El Niño) је глобални атмосферско-океански феномен који настаје услед флукуација праваца ветрова и температуре воде у тропском делу Тихог океана. Сам термин „Ел Нињо” у шпанском језику значи „мали дечак” и има везе са религијом, а односи се на малог Исуса, јер се ефекти Ел Ниња највише осећају око Божића. По досадашњим истраживањима, Ел Нињо највероватније постоји од завршетка последњег леденог доба (Davis, 2001).

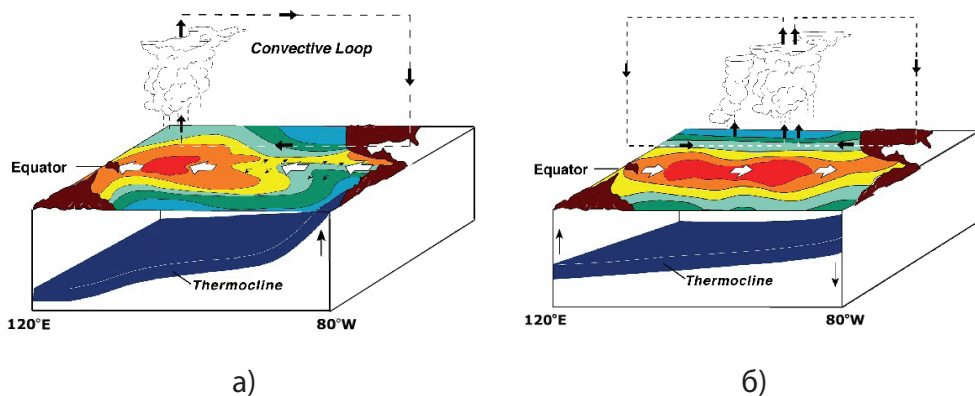
Настаје тако што вода око Индонезије је уобичајено топлија него код Перуа, а постоје и одговарајуће разлике у ваздушном притиску изнад тих области. Тачније, изнад јужне америчке обале притисак је већи него изнад Индонезије. Последично, ветрови који претежно дувају у екваторској области (пасати) имају релативно сталан смер (од истока ка западу). Када дође до обртања ветрова, топла вода се премешта ка обали Перуа што као последицу има енормне кише. Са друге стране, током јаких Ел Ниња монсуни у Индији изостају услед прилива хладне воде и настају суше.

Природни hazard

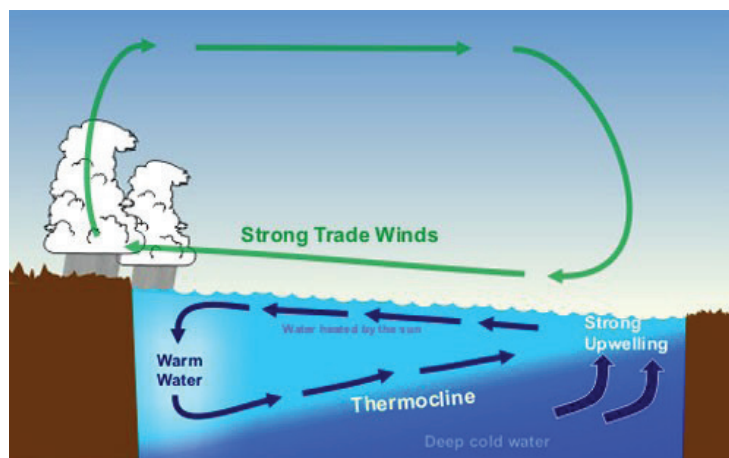
Термин „Ел Нињо“ је први пут употребљен у научној јавности 1892. године, када је капетан Камило Карилонa на конгресу географског друштва у Лими известио да топлу струју рибари и морепловци око Перуа зову „Ел Нињо“. Током готово целог 20. века се сматрало да је Ел Нињо локални феномен и до 1982-83. године није било знатног интереса научне заједнице. Током 1998. године је забележен један од највећих Ел Ниња током којег је изумрло око 16% коралних гребена на планети. Од тада се посвећује доста пажње изучавању Ел Ниња (Davis, 2001).

Насупрот Ел Нињу, постоји и Ла Ниња. Током Ла Ниње, вода око Индонезије је топлија него уобичајено што изазива јаче олује и поплаве док у другим деловима света изазива суше. Последњи Ел Нињо је трајао од септембра 2006. до марта/априла 2007. године.

Слика 94. а) нормално стање у Пацифику: пасати потискују топлу воду ка западу, ка Индонезији. Да би се одржао баланс, хладна вода се успиње ка Јужној Америци. б) Ел Нињо: ветрови мењају правац, топла вода се приближава Јужној Америци. Успињање хладне воде изостаје јер нема потребе за одржавањем нивоa океана што додатно доводи до повећања температуре воде и јачих олуја.



Слика 95. Ла Ниња (La Niña) – механизам настанка



Ел Нињо се појављује у периодима од две до седам година бар последњих триста година; већином су у питању феномени слабијег интензитета. Јак Ел Нињо се појавио између 1790-93, 1828, 1876-78, 1891, 1925-26, 1982-83, и 1997-98. Новија Ел Ниња су се десила 1986-87, 1991-92, 1993, 1994, 1997-98, 2002-03 и 2006-07.

6.3. ПАДАВИНЕ И МУЊЕ

6.3.1. Атмосферске падавине – опште карактеристике

Падавине су сви облици кондензоване и сублимиране водене паре у ваздуху, који се на земљиној површини појаве у течном или чврстом облику. Деле се у две групе:

1. **ниске падавине:** роса, росуља, слана, иње и поледица;
2. **високе падавине:** киша, слеђена киша, снег, суснежица, зрнасти снег, љутина, крупа, суградица и град.

6.3.1.1. Ниске падавине

Роса, настаје када је температура тачке росе изнад 0°C , формира се на трави, лишћу ниских жбуња и других биљака при тихом и ведром времену или при слабом ветру, и то у току ноћи. Учешће росе на целокупне падавине у средњој Европи је од 0.1-0.2 mm по ноћи.

Слана је падавина у чврстом стању која се појављује непосредно на земљиној површини или на предметима, настаје када је температуре нешто испод 0°C .

Иње се ствара при врло хладном времену, око -2°C па до -10°C и магловитом времену. Капљице магле се смрзавају на предметима чија је температура нижа од 0°C . Дели се на тврдо-непровидна зрна (слична леду и снегу) и обично иње (углавном игличасте структуре).

Поледица настаје када прехлађене капи из ваздуха (магла) се смрзну при додиру са површином или када киша падне на још смрзнуту подлогу после нагле промене времена.

6.3.1.2. Високе падавине (киша, снег, град)

Падавине из облака деле се на 3 типа: *синеће*, *фронталне* и *пљусковите*.

Синеће падавине падају из непрекидних, густих облака - стратуса. То су ситне капљице воде или ситне капљице снега.

Фронталне падавине падају из непрекидних слојева облака, алтостратуса и нимбостратуса. Везана су за ваздушна струјања на топлем фронту.

Пљусковите падавине падају из нестабилних облака кумулонимбуса. Ове облаке карактерише краткотрајне, али и јаке падавине, са честим променама интензитета. Главне падавине су киша са крупним капима и снег са крупним пахуљима. Настају кондензацијом влаге на вишим надморским висинама. Значајну улогу имају језгра кондензације – најситније тврде честице које се налазе у атмосфери. Одликују се хидроскопношћу и способношћу да сакупљају око себе водену пару. Обична пара није хидроскопски активна. Кондензација се јавља и при постојању кристала леда.

Језгра кондензације могу бити најситније честице соли, које долазе у атмосферу као последица одвајања честица вода са врха таласа. Вода веома брзо испарава, постаје све ситнија до величине 0.00005 mm. Честице соли су хидроскопне и лако се преносе ветром (и до 600 km). На језгрима

.....

кондензације у почетку се појављују капљице. Гомилањем капљица стварају се облаци. Капљице могу бити наелектрисане позитивно и негативно. Капљице наелектрисане различитим електрицитетима се спајају што је помогнуто турбулентним кретањем ваздушних маса. Молекули средина, у којој се честице воде крећу, се сударају са честицама воде и изазивају њихово кретање. Увећане капљице, услед спајања, постају теже и под утицајем гравитације падају доле у виду атмосферских падавина.

Облици високих падавина су: киша, снег и град.

Киша настаје када капи воде падају на површину Земље из облака. Киша има велику улогу у хидролошком циклусу у коме влага из океана испарава, кондензује се у облацима, пада назад на Земљу и враћа се у океан путем река и потока да би започела нови циклус. Облик кишних капи се најчешће описује као „облик сузе“: округло на дну и закривљен ка врху. Овај опис је нетачан (само капи воде капане из одређених извора су „облика сузе“ у моменту формирања). Мање капи кише су сферичног облика. Веће капи су спљоштене (облика плескавице). Веома велике капи су облика падобрана. У просеку, кап кише је 1-2 mm у пречнику. Највеће забележене капи кише су уочене над Бразилом и Маршаловим острвима 2004. године - неке од њих велике 1 cm. Уколико је пречник кишне капи 1 mm, њена тежина износи 0.52 mg а брзина 4 m/s. Кишна кап пречника 5 mm је тешка 65.42 mg а брзина падања овакве капи износи 7 m/s. Критични пречник кишне капи је 6 mm (брзина пада је 9.3 m/s) јер са даљим повећањем пречника кишне капи, брзина падања је услед повећаног трења смањује, па долази до тога да се капљице распадају. Уколико је пречник кишне капи 1 mm, њена тежина износи 0.52 mg а брзина 4 m/s. Кишна кап пречника 5 mm је тешка 65.42 mg а брзина падања овакве капи износи 7 m/s. Критични пречник кишне капи је 6 mm (брзина пада је 9.3 m/s) јер са даљим повећањем пречника кишне капи, брзина падања је услед повећаног трења смањује, па долази до тога да се капљице распадају.

Снага ослобођена током једне кишне епизоде зависи од интензитета, и од количине падавина. Највиши дневни интензитети падавина забележени су у Черапунџију, (подножје Хималаја) – 974 mm и Бомбају – 983 mm, а екстремно максимална дневна количина падавина измерена је на острву Реунион у износу од 1870 mm [9]. Највиши седмодневни интензитет падавина везан је такође за област Черапунџија, у износу од 3430 mm. Ова врста катастрофалних киша условљава огромну ерозију. Срачунато је да у области Хималаја (Черапунџи) кише интензитета 1000 mm/дан снижавају земљину (топографску) површину и до 10 mm по падавинском дану.

Природни хазард

Кинетичка енергија једне кишне капи је занемарљиво мала и она се у тренутку удара троши на савлађивање кохезије тла и откидање честица. Удар једне кишне капи нема геоморфолошког значаја, али кише јаким интензитета могу ослободити велику количину енергије и самим тим да изврши знатан рад. Пример на површини слива од 100 km^2 , пљусковита киша од 70 mm , са интензитетом од 2 mm/min , изврши бомбардовање земљишта које је равно енергији ослобођеној експлозијом 6 милиона тона TNT, односно, укупној количини свих експлозива употребљених током II светског рата. На територији Србије, укупна енергија кишних капи у току једне године одговара снази 4450 атомских бомби бачених на Хирошиму и Нагасаки. То значи да се на територији Србије просечно свака два часа ослободи енергија једне атомске бомбе ($26\,000 \text{ TNT}$).

Формирање облака и кишних капи односно кише може настати на више начина па разликујемо:

1. Конвекцијске падавине;
2. Циклонске падавине;
3. Орографске падавине.

Слика 96. Ударац кишне капи о тло

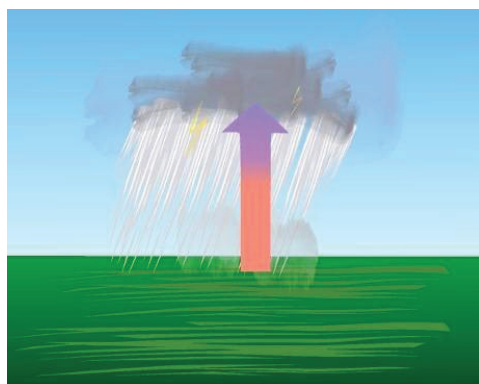


1. Конвекцијске падавине: Настају у тропским – екваторијалним областима. Загревањем вазуха на Земљи, као лакши долази до његовог пењања на висине где су температуре ниже. Прохлађивањем ваздуха долази до његовог згушњавања, формирања кишних капи, облака и на крају кише. У оваквим условима углавном се формирају кумулонинбуси а краткотрајне великих интензитета падавине се јављају углавном у послеподневним часовима.

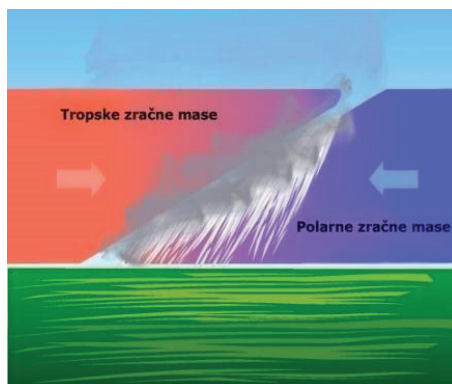
2. Циклонске падавине: Настају при наиласку – удару топлог и влажног таласа - фронта на сув и хладан поларни фронт. Наиласком долази до нагло прохлађивања топлог и влажног таласа, згушњавања фронта и формирања алтостратуса, нимбостратуса и стратура. Главна облик ових падавина су кише у топлијем делу године и снег у хладнијем делу године. Кишне капи су средњих и мањих величина, а снег је углавном у облику шесторокраких звездица

3. Орографске падавине: Настају када ветрови дижу влажни и топао ваздух дуж орографских препрека (планинских масива). Ваздух се нагло хлади а последица тога су падавине. Пример ових падавина су Јулијски Апли који се издижу одмах изнад мора и уједно представљају баријеру кретању влажних и топлих ваздушних маса.

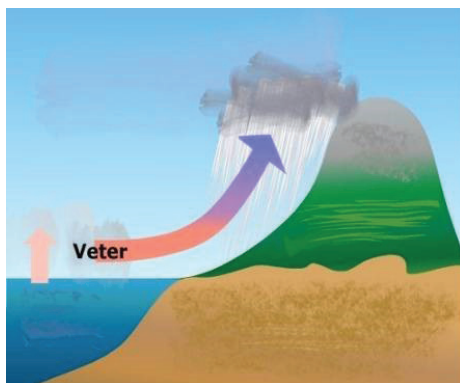
Слика 97. а) конвекцијске падавине, б) орографске падавине, в) циклонске падавине



а)



б)



в)

Снег је падавина у облику ледених кристала воде, која се састоји од мноштва пахуљица. Иако се састоји од малих, неправилних делова, снег је зрнасти материјал. Има отворену и меку структуру док се не нађе под спољашњим притиском. Снег се формира када водена пара сублимира високо у атмосфери на температури мањој од 0 °C (32° F), и након тога падне на земљу. Снег такође може бити вештачки направљен коришћењем снежних топова, који праве ситна зрна сличнија крупи.

Град је назив за врсту падавина у облику ледених облутака. Ова врста падавина наноси велике штете пољопривреди и сматрају се непогодом – врше се редовна осматрања и праћења градоносних облака од стране одговарајућих служби. Настаје када снажне ваздушне струје одвуку водене капи из облака у више слојеве где је температура нижа. Капи се тамо заледе и поприме лоптасти облик, односно прелазе у град. Када узлазна струја која је понела ове капи не може више да одржи њихову тежину, ледене кугле падају на земљу. Најчешће ове ледене кугле нису веће од 5 mm, али се дешавало да буду много веће и да нанесу велике штете па чак да буду опасне и по људски живот. 2001 године у италијанској области Венето падао је град величине кајсије и уништио усеве. На граници САД и Канаде 1998. године град је падао 9 дана због чега је више милиона људи остало без струје и хране. Највећи забележени град у историји је падао у Бангладешу 1986 године: тежина појединих ледених кугли је износила чак 1 килограм, а приликом ове непогоде је погинуло 92 особе.

6.3.1.3. Фактори који утичу на атмосферске падавине

Фактори који представљају главне индикаторе и значајно утичу на манифестацију атмосферских падавина су:

- Ветар – одређује карактер преноса ваздушних маса.
- Шуме – повећавају атмосферске падавине због веће храпавости њихове површине. У односу на голо земљиште за 10 %.
- Правац и смер кретања ваздушних маса - најбољи са југа на север, а најсушнији са севера на југ.

6.3.1.4. Мерење атмосферских падавина

Кишомер (плувиомер/омбромер) је инструмент за мерење количине падавина у неком временском периоду. То је метална посуда цилиндричног облика, са пресеком од 200 cm^2 . На дну цилиндра се налази уска стаклена мензура, на којој је скала са које се директно читава висина нивоа воде. Кишомер се поставља на стуб висине 1-2 m на одређеној удаљености од објекта који би иначе ометали тачно мерење.

Плувиограф (омброграф) је инструмент за непрекидно записивање количине падавина. Најчешће је конструисан на принципу пловка у савијеној цеви спојеном са цилиндром за примање падавина. Линија која се добија овим инструментом се зове плувиограм. Плувиографом је могуће тренутно читање, у mm/h или mm/min .

Тотализатор је инструмент помоћу којих се мери укупна сума падавина за дужи временски период. Постављају се на тешко приступачним теренима. Запремина тотализатора је знатно већа и износи 80 l како би могао да прикупи атмосферске падавине између два мерења. Отвор тотализатора је исти као код обичног кишомера (200 cm^2) и поставља се на 3 m изнад терена. За топљење снежних падавина у посуду се сипају одређени раствори који убрзавају процес топљења снега. Испаравање из посуде спречава се додавањем вазелинског уља (или других супстанци) које пливају на површини сакупљене воде. Тотализатор се обично празни једном месечно или када временске прилике дозвољавају, али најмање два пута годишње.

Слика 98. а) кишомер, б) плувиограф, в) тотализатор



а)



б)



в)

6.3.2. Муње

Муња је видљиво пражњење атмосферског електрицитета до којег долази кад одређено подручје атмосфере постане електрички набијено или се појави разлика потенцијала довољна да свлада отпор ваздуха. Најчешће удара из олујних облака кумулонимбуса. Током олује муња се може појавити у облаку, између облака, између облака и ваздуха те између облака и тла.

Муња настаје када се у олујном невремену олујни облаци напуне електрицитетом попут великих електричних кондензатора. Горњи део облака набијен је позитивно, а доњи негативно. Научници се још нису усугласили како заправо настаје ово електрично пуњење облака, али претпоставља се да је то један од резултата глобалног кружења воде на Земљи. У основним цртама, кружење воде укључује евапорацију и кондензацију. У процесу евапорације вода испарава са површине Земље и у облику паре подиже се у више слојеве атмосфере. Како температура опада са висином и како се у вишим слојевима атмосфере налазе тзв. кондензацијске честице (рецимо зрнца прашине), водена пара кондензира, поновно се претвара у капљице воде и пада на Земљу као киша или снег – зависно од температуре ваздуха. Дакако, цели је процес кружења воде далеко сложенији.

Електрично пуњење - кад се влага накупља у атмосфери, настају облаци, који могу носити милионе водених капљица и леда. Како се процеси евапорације и кондензације међусобно испреплићу, кондензиране капљице у облацима непрестано се сударају с воденом паром која стиже с тла. Капљице се с паром сударају и током падавина, јер док се један део влаге враћа на Земљу, други испарава. Управо током ових судара из водене се паре избијају електрони, који тако стварају електрични напон. Како до судара долази у доњем делу облака, избијени електрони овде стварају негативан набој (вишак негативно набијених честица). Влага, која након судара наставља пут према горњим слојевима атмосфере односно облака, на врх облака стиже с позитивним напоном – недостаје јој електрон који је избијен у судару. Тако се на врху облака ствара вишак позитивног набоја. Осим судара, у процесу електричног набијања облака значајну улогу игра и замрзавање. Како се водена пара подиже у хладније слојеве и почиње се замрзавати, део који се замрзне постаје негативно набијен, док незаамрзнути део остаје позитивно набијен. Ваздушне струје могу даље однети позитивне честице до врха облака (лакше су) и тиме додатно убрзати стварање вишка позитивног напона. Избијањем електрона и одвајањем позитивно набијених честица водене паре у облаку настају разлике потенцијала односно ствара се електрично поље – први предуслов за настајање електричног пражњења.

Електрично пражњење - што се облаци више пуне напоном, електрично је поље све јаче. У неком трену постаће толико јако да ће се електрони на површини Земље покушати „одмаћи“ – утиснути дубље у Земљу. То је резултат одбијања једнако набијених честица. Како се електрони „повлаче“ у унутрашњост, тло постаје све јаче позитивно набијено. Олуја тако доводи до наглог стварања електричног поља у облаку и између облака и тла. Кад се створи довољан вишак набоја, то јест кад електрично поље постане довољно јако оно ће натјерати околни ваздух да „пукне“. Ово „пуцање“ заправо је раздвајање позитивних и негативних честица у зраку. Тај процес се зове ионизација. Ионизација не означава вишак неког напона, већ стање у којем су напони раздвојени. Другим речима, ваздух не постаје набијен, већ се напони у његовим честицама међусобно размичу. Ионизирани ваздух има знатно већу електричну проводљивост. Како се ваздух не ионизира једнако на свим местима, на деловима где је ионизација интензивнија стварају се „стазе“ – путеви којима муње могу лако „прескакати“. Да би настала муња потребно је да електрична стаза стигне до тла и пронађе „уземљење“ – тачку или предмет на којем ће се зауставити. Кад се то догоди, севнуће муња. Светлост коју видимо заправо је резултат електричног пражњења између облака и земље које следи пут створене електричне стазе. Блесак муње која се простире од облака до тла чине два основна удара (може их бити и више заредом): одводни удар и повратни удар.

У одводном удару прво негативни напон путује до тла. Креће се „корацима“ од 50 метара и при том ствара набијено „корито“. Одводни удар није тако сјајан, често је степенаст те има пуно грана које се шире из главног канала. Кад се приближи тлу, побуђује супротни напон који се концентрише у једној тачки. Тако настаје повратни удар који истим коритом носи позитивни набој од тла према облаку. Два удара се срећу на висини од око 50 m изнад тла. На тачки додира долази до кратког споја између облака и тла. То резултује изузетно блештавим ударом високе струје, која истим каналом путује назад до облака.

Удар грома је повреда изазвана атмосферским електрицитетом најчешће са тешким повредама или смртним исходом. Природни електрицитет (удар грома) је импулс једносмерне струје, огромног напона и јачине. То је краткотрајно пражњење статичког електрицитета које се одиграва између два облака или између облака и земље. У току тог пражњења ослобађа се електрицитет од 1200 до 200000 А у 1/100 до 1/1000 секунди. При удару грома у прелива се електрични ток из облака у земљу и шири се и даље кроз тло.

Слика 99. Муње



Гром настаје краткотрајним пражњењем атмосферског електрицитета између облака и Земље, напона од сто милиона волти, јачине више хиљада ампера, у кратком времену од 1-100 милисекунди, и нагло загревање ваздуха до 30.000 °C, због чега настаје грмљавина (Antić, 1976; Ćosić, 1987). Муња и гром су исте појаве, само је муња визуелни приказ (који због веће брзине светлости први настаје) а гром њена звучна манифестација и јавља се са закашњењем (због знатно мање брзине звука).

Људи, који се у тренутку олује и грмљавинске активности налазе на отвореном, долазе у опасност удара грома. Директан удар грома у човека, који има отпор тела између 500 и 1000 Ω (ома), узрокује (због брзог раста протока електричне струје) високи напон у телу реда величина око 100 kV. Тај високи напон узрокује напонски пробој по површини тела, преко којег тече највећи део електричног тока, изазивајући повреде и друга оштећења у организму.

Енергија која се празни при удару грома није претерано велика, (неколико стотина киловат сати), али при удару грома, који се дешава у хиљадитом делу секунде, настаје врло велики напон у врло великим токовима (више од 200 kA). Међутим ти токови су толико јаки да у делићу секунде могу да истопе танке металне жице, а друге материјале да загреју до горења или експлозије. Уколико гром удари у влажне предмете (нпр. влажно дрво, стабло или влажну стenu), вода са тих предмета се због загревања брзо претвара у пару, која под притиском доводи до експлодирања или се механичких оштећења тих предмета, често пута и без пожара.

Промене које настају у телу разликују се од оних изазваних техничком струјом. Повреде грома прати кретање већег дела енергије по површини тела и кроз одећу а мањи део кроз тело па због тога углавном доминира механичко-топлотни ефекат. Повреде на кожи су у облику стрелне ране, а опекотине које прате ове повреде настају секундарно као последица паљења одеће или предмета у одећи. Остали механизми оштећења као и механизми смрти су исти као у оштећењима струјом.

При удару грома појаве су исте као и при електричном удару. Особа се онесвети, а када дође к себи, не сећа се шта се догодило. Затим наступају грчеви мишића целог тела и бунцање, после чега остају одузети неки делови тела (Antić, 1976; Ćosić, 1987). Ако је удар грома био јак, смрт наступа од грчева мишића за дисање. Узрок овоме су појаве на мозгу услед ситних крварења и оштећења можданих ћелија. Биохемијске анализе показују пораст активности ензима (CPK, LDH и трансаминаза), пораст слободног хемоглобина и миоглобина. Теже повреде (изазване јачом енергијом удар грома) и које су праћене губљењем свести, могу изазвати компликације у виду; оштећења вида, повишен крвни притисак, отежано дисање и друге промене у централном нервном систему. Уколико не дође до смртог исхода, неке од горе наведених повреда, (повреде мишиће или живаца), се након неколико сати или дана спонтано губе, али се код повређеног јавља; главобоља, општа млаксалост, болови у мишићима и раздражљивост (група аутора, 2000).

6.4. ГЛОБАЛНЕ ПРОМЕНЕ ТЕМПЕРАТУРЕ НА ЗЕМЉИ

6.4.1. Глобално загревање

Појам **глобално загревање** односи се на повећавање просечне (средње годишње) температуре Земљине атмосфере и океана. Овај појам нарочито је добио на значају од раних 70-их година XX века до данас.

Чињеница је да не постоји научни консензус (усаглашеност/уједначеност ставова) по питању узрока глобалног загревања као и крајњих последица истог. Највише је заступљена теорија која главни узрок глобалном загревању види у порасту количине угљен-диоксида (CO_2) и метана (CH_4) у Земљиној атмосфери (а који у атмосферу доспевају из индустријских постројења). Према тој теорији повећана концентрација поменутих гасова доводи до такозваног ефекта стаклене баште у атмосфери. Под притиском покрета за заштиту околине многе су владе прихватиле ту теорију и потписале Протокол из Кјота, чији је циљ смањивање емисије тих гасова.

Клима на Земљи се одувек мењала. До почетка индустријске револуције, клима се мењала као резултат промена природних околности. Данас, међутим, термин климатске промене користе се када се говори о променама климе које се дешавају од почетка двадесетог века, а настале су као резултат човекових активности.

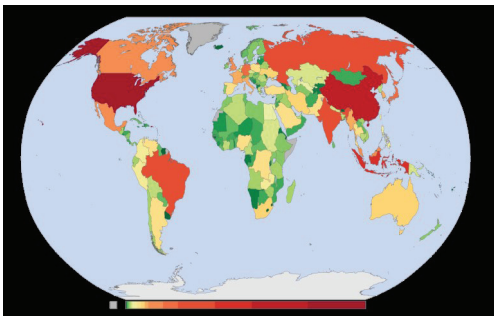
Сунце загрева Земљу својим зрацима који успеју да кроз атмосферу стигну до површине наше планете. Површина се на тај начин загрева а затим и сама зрачи топлоту назад у атмосферу. Гасови који као изолатор задржавају ову топлоту су гасови ефекта „стаклене баште“. Када они не би постојали температура на површини Земље била би око 30 степени нижа него што је сада па би и живот какав сада постоји био немогућ. На несрећу, цивилизација, поготово њен најразвијенији део, производи превише ових гасова што има за последицу све већу апсорбују све више топлоте и све више загревају Земљу.

Угљен-диоксид (CO_2), гас који се ослобађа сагоревањем угља, нафте, нафтиних деривата и гаса, најзначајније утиче на глобално загревање. Овакав тренд емисије угљен-диоксида могао би да повећа просечну Земљину температуру за 1,4 – 6,4 °C до краја овог века. Верује се да би повећање температуре за 2 °C довело до опасне промене климе и разорног утицаја на биљне и животињске заједнице. У Европи средња годишња температура је за 1,4 °C већа од оне у прединдустријском периоду са последњом најтоплијом декадом у последњих 150 година, када су 1998. и 2006. година забележене

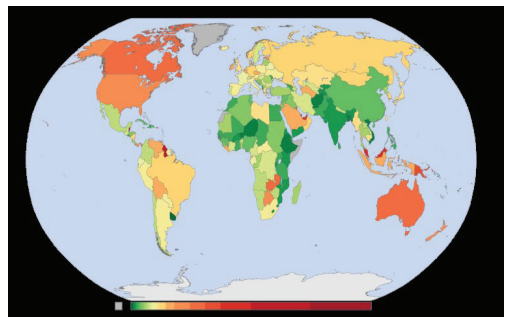
најтоплијим годинама до тада (IPCC - *Intergovernmental Panel on Climate Change*, 2007). Током овог века глобална температура порашће за 1,8 – 4,0 °C. Најтоплији делови Европе, предвиђа се, биће они на истоку и југу континента.

Да би се ипак утицало на настале климатске промене, према Међународном панелу за промену климе Уједињених нација (IPCC), неопходно је смањење емисије CO₂ од најмање 60% само да би се у атмосфери стабилизовала концентрација на садашњем нивоу.

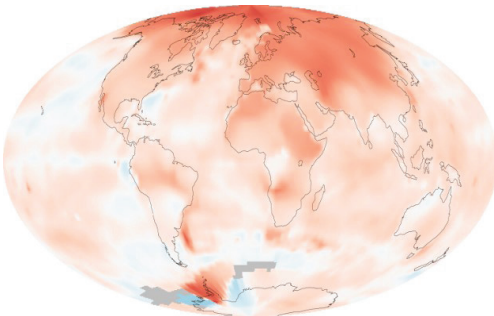
Слика 100. а) емисија угљен-диоксида по државама у 2000. години, б) емисија угљен-диоксида по глави становника у 2000. години, в) средња промена површинске температуре у периоду од 2000 до 2009. године у односу на средње температуре од 1951. до 1980. године, г) пораст температуре у °C, за период 2070. до 2100. године у односу на период 1960. до 1990. године.



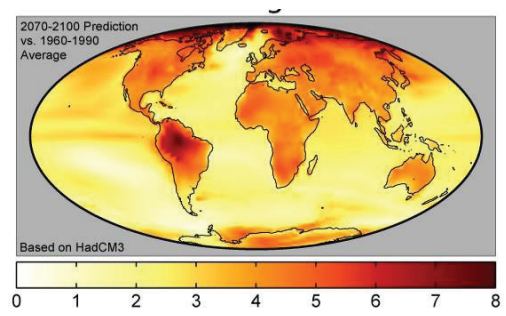
а)



б)

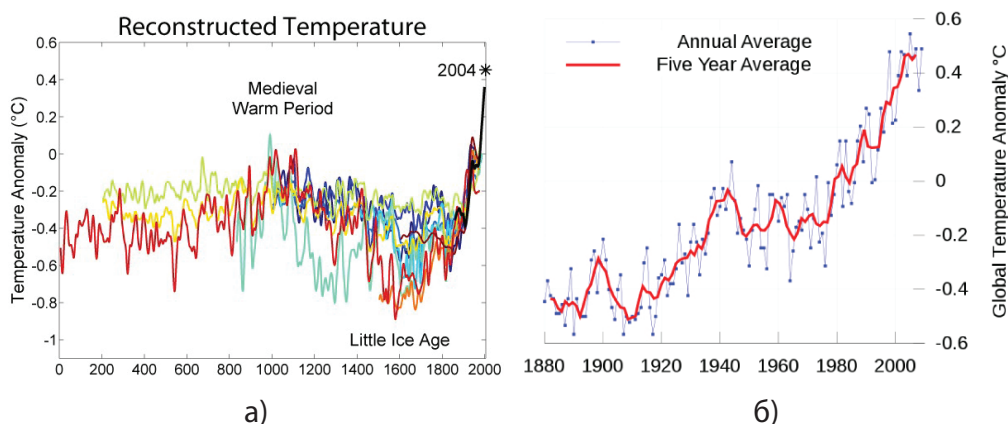


в)



г)

Слика 101. а) Реконструкција температуре површине у последњих 2000 година са мерењима више истраживачких група (криве приказане различитим бојама), б) измерене температуре од 1880 до 2000 године, NASA.



Одређен број научника оспорава теорију глобалног загревања као последицу емисије индустријских постројења и нуде алтернативна објашњења, било у облику промена сунчеве активности - за шта се као доказ користе недавно откривене климатске промене на Марсу (отапање ледене поларне капе) - било у облику цикличне измене хладних и топлих периода у Земљиној историји, за шта постоје геолошки, палеонтолошки и историјски докази.

Навођење сличних промена на другим планетама као против доказ теорији глобалног загревања је започео руски астроном Хабибул Абдусаматов. Он је објавио чланак у „Националној географији“ о томе да су се ледени полови Марса које чини чврсти угљен-диоксид, смањили за претходне три године.

6.4.2. Ледено доба

Током геолошке прошлости позната су раздобља за време којих је долазило **до залеђивања континената, глацијације** (стварања глечера) и наглог захлађења. Те промене су се кроз Земљину прошлост догодиле неколико пута и познате су под називом **ледена доба**.

Сматра се да су прва ледена доба, тачније њих три, наступила у прекамбрију (пре 940–615 милиона година). Затим је уследило ледено доба у девону (пре око 400 милиона година), те у горњем карбону и перму (отприлике пре 295 милиона година). Трагова тих старих леђења има врло мало, али неки

су ипак пронађени у Африци, Азији, Северној Америци и Аустралији. На тим подручјима пронађени су тилити (више или мање повезан моренски материјал) који су били нанесени у вишим пределима, али су у каснијим раздобљима померени многим геолошким променама.

6.4.2.1. Теорије о настанку ледених доба

Прва група теорија била је она која је узроке ледених доба тражила у свемиру, Сунцу и међусобном положају Земље и Сунца. Једна од теорија из ове групе била је да простор кроз који је путовао Сунчев систем није увек био једнаке температуре и да је до разлика у температури дошло због гасова и прашине у појединим подручјима. Ту теорију подупиру и нека савремена научна достигнућа. Друга теорија била је да је Сунце променљива звезда која у неким раздобљима исијава више, а неким мање топлоте. Још једна од теорија била је како је за тако драстичне климатске промене било одговорно премештање Земљиних полова.

Друга група теорија је узроке ледених доба тражила на самој Земљи. Једни су сматрали да је до ледених доба дошло због промене смера струјања топлих, а посебно хладних морских струја. Други су пак сматрали како порекло ледених раздобља лежи у промени висине континената што је утицало на правац ветрова и падавина.

Присталице треће групе теорија сматрали су како се узрок ледених доба крије у Земљиној атмосфери. Претпостављају како атмосферски услови могу драстично утицати на раст и пад температуре. Посебно важну улогу има количина угљен-диоксида и прашине у атмосфери. Смањењем количине угљен-диоксида снизила би се температура на Земљиној површини, док би повећана количина честица прашине отежавала долазак Сунчевих зрака до Земље и тако смањила температуру унутар атмосфере.

Последње ледено доба наступило је у не тако давној геолошкој прошлости, тачније у квартару – пре отприлике 2 милиона година. Свој је врхунац доживело у плеистоцену, који се дели на глацијале и интерглацијале. **Глацијали су били ледена раздобља у којима се континентални лед ширио далеко на југ, те се упоредо с тим снежна граница спуштала много ниже него што је данас.**

Природни хазард

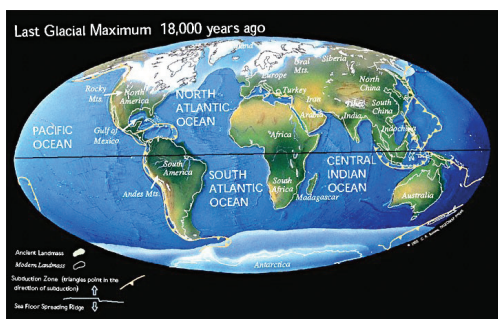
У квартару је укупно било пет глацијала у приалпској регији, и то хронолошким редом:

1. Donau,
2. Ginc (Günz),
3. Mindel,
4. Riss
5. Virm (Würm).

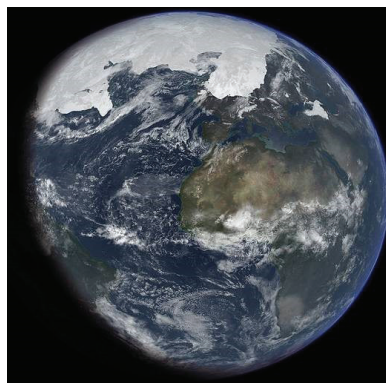
Ти глацијали су имена добили по рекама у подручју Алпа (Günz, Mindel i Riss) те језеру Würm. Donau је добио име по реци Дунав, али постојање тог глацијала је под знаком питања.

У Сједињеним државама су била четири глацијала и то редом: 1. Небраскан, 2. Канзас, 3. Илиниос и 4. Висконсин. У Немачкој (северније од Алпа) су била само три глацијала, који су такође добили имена по рекама: 1. Елстер, 2. Сале и 3. Вајксел. Службени и опште прихваћени називи глацијала су они који потичу од назива алпских река, док се остали називи користе на локалном нивоу.

Слика 102. а) расподела ледених капа пре 18000 година; б) приказ последњег леденог доба на основу познатих података.



а)



б)

6.4.3. Климатске промене у Србији

На иницијативу професора Лицеја Владимира Јакшића 1856. године у 20 градова тадашње Србије почела је са радом добро организована мрежа метеоролошких станица. Током 1857. године мрежа је проширена са 7 нових осматрачких места, што је у то доба представљало најгушћу мрежу у тадашњој Европи. Редовна метеоролошка мерења започета су знатно раније од стране професора Јакшића који је од 1. јануара 1848. године у Београду на свом имању на Сењаку поставио одговарајуће инструменте и отпочео са редовним мерењима и осматрањима температуре, влажности, падавина, ветра и ваздушног притиска. Након његове смрти његове ћерке Милица и Олга су наставиле са мерењима поменутих климатских параметара.

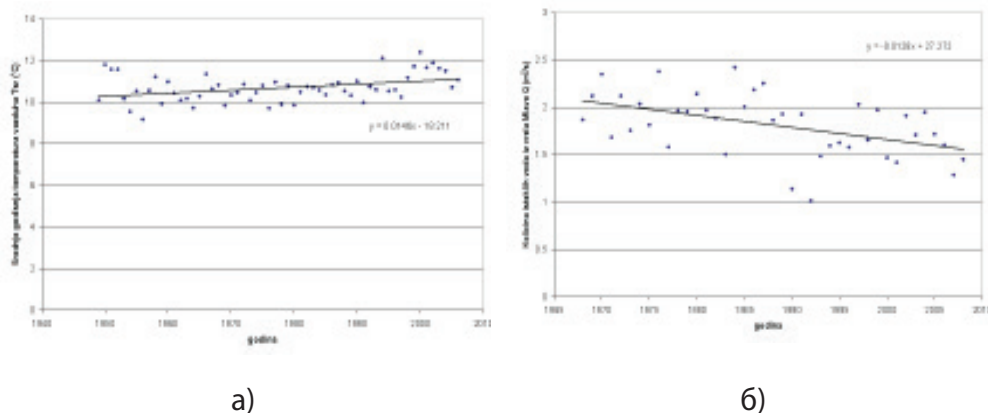
Према Агенцији за заштиту животне средине Србије, температуре расту и у Србији, а посебно у последњих 15 година. Многи примери и докази су ово потврдили. Један од доказа да се климатске промене дешавају и у оквиру Србије су анализе постојећих низова осматрања падавина/температура на више до 700 осматрачких места.

Слика 103. Владимир Јакшић (1824-1899)



Природни хазард

Слика 104. Вредности средње годишњих количина истеклих вода врела Млаве (а) тренд истицања Врела Млаве за период осматрања (б). Са графика се може видети да тренд истицања у периоду од почетка осматрања и мерења протицаја и водостаја опада.



Пример: врело Млаве. Врело се налази на контакту ургонских кречњака и базалног дела терцијарне серије. У непосредној зони врела запажено је и присуство конгеријских кречњака панона, који су највећим делом еродовани, али су констатовани у виду „крпа“ у залеђу врела. Положај врела је предиспониран и раседом правца пружања ИЗ, дуж кога је дошло до тоњења северног блока.

Са мерењима водостаја на врелу Млаве отпочело се још 1949. године, док са хидрометријским мерењима и успостављањем криве протицаја се отпочело тек 1966. Средња вишегодишња вредност истицања из врела Млаве за период осматрања од 1966. до закључно са 2008. годином износи $1,96 \text{ m}^3/\text{s}$, а средње годишњи протицаји се крећу у дијапазону од 1,01 (1992. година) до $3,17 \text{ m}^3/\text{s}$ (1967. година). Максимални средње месечни протицај је регистрован током 1984. године (април) и износио је $10,6 \text{ m}^3/\text{s}$, док се минимални средње месечни протицај јавио у октобру 1992. године и износио је $0,271 \text{ m}^3/\text{s}$. У просеку најводнији месец је април, када истицање у просеку износи $3,88 \text{ m}^3/\text{s}$, док је септембар по водности најсиромашнији месец (просек се креће око $0,87 \text{ m}^3/\text{s}$).

6.5. СПЕЦИФИЧАН ОБЛИК МЕТЕОРОЛОШКОГ ХАЗАРДА – СНЕЖНЕ ЛАВИНЕ

Снежна лавина је назив за рушење великих маса снега низ стрме планинске падине где су обронци стрмији од 30 степени, најчешће зими и у рано пролеће. Често изазива велике штете и губитак људских живота, иако су с обзиром на релативно слабу насељеност планинских подручја, својим размерима обично ограничене у поређењу са другим природним катастрофама. Мале лавине, које су са аспекта анализе хазарда занемарљиве, дешавају се готово сваке зиме.

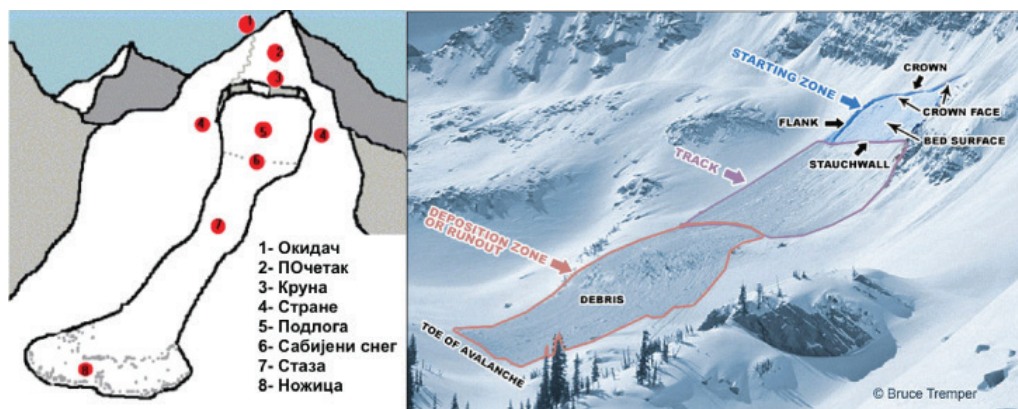
У западној Европи годишње од лавина погине око 30 људи (подаци из 1996. године), у Северној Америци годишње погине око 25 људи, статистике преживљавања су реалне. Једна од 10 особа које задеси лавина погине, од људи које снег потпуно затрпа умре једна о три. Што се жртва налази дубље испод површине, то су јој шансе за преживљавање мање:

- 46% их преживи када се нађу 1 до две стопе (од око 30 до 60cm) испод површине,
- 32% на дубини од 3 до 4 стопе (око 1 до 1,2m),
- 21% на дубини од 5 до 6 стопа (од око 1,5 до 1,8m),
- а дубље од 7 стопа (дубље од 2,1m) ни једна.

Лавина је брзо кретање снега низ падину, изазвано природним агенсима или људском активношћу. Типично се дешавају у планинским пределима и може бити помешана са ваздухом и водом у снегу који се креће. Снажне лавине имају снагу да покрену и чупају дрвеће, лед, стене и други материјал који им се може наћи на путу. У планинским пределима преставаљу један од највећих хазарда и претњи животу и материјалним добрима. Лавине се могу класификовати по својим морфолошким карактеристикама, по степену њиховог деструктивног материјала или количине масе која се креће низ падину. Морфолошке карактеристике укључују и класификацију лавина по типу снега који учествује у њиховом стварању.

Све лавине имају заједничке елементе: силу која делује као „окидач“ и покреће масу снега, полазну зону лавине, клизајућу површину дуж које се лавина креће, подножје, односно простор где се лавина смирује и депозицију - акумулацију снега која се врши када се лавина смирује и опада брзина кретања снега.

Слика 105. Шема лавине



6.5.1. Типови лавина

Лавина слабо везаног снега дешава се у свеже нападаном снегу, који има мању густину и врло је типична за стрме падине. Под дејством стреса који премашује стабилност масе снага на падини, површинска количина се постепено креће низ падину и како се шири тако захвата све већу количину снега. Маса покренутог снега обично има изглед сузе.

Плочасте лавине представљају готово 90% лавина у просеку које се догоде. Оне настају у слојевима добро везаног снега. Огромна количина снега депонована на падинама у заветрини, уколико постоји пукотина у слоју, дејством масе количине снега која је нанешена ветром доводи до појаве фрактуре у слоју и у врло кратком временском периоду огромне плоче снега започињу лавину.

Трећи тип лавина су **изотермалне лавине** које се дешавају када маса компресованог снега бива засићена водом. Услед повећане масе, снег почиње да се креће низ падину. Уколико је проценат воде врло висок такве лавина стварају „бљузгаве лавине“ које се крећу низ падине врло малог нагиба.

Једне од највећих и најснажнијих лавина јесу оне покренуте „прашкастим“ снегом где брзина може да се креће и преко 300 km/h, а покренута маса и преко 10.000.000 тона. Њихови токови могу прелазити врло велике раздаљине, поготово у котлинама и долинама. Прашкасте лавине се дешавају када долази до формирања „прашкасто“ облака када већ покренута лавина убрзава услед промене нагиба у падини дуж које се креће, као што су литице.

Да би се десила лавина, потребно је да маса, блок снега има слаб слој (нестабилност) испод слоја везаног снега. У процесу мониторинга параметри слојева снега који се прате јесу отпор пенетрацији, величина честица, температура и они се користе за дефинисање механичких особина снега, као што су чврстоћа, коефицијент трења, јачина смицања и еластичност. Поред тога и битан фактор као индикатор потенцијалних лавина јесте нагиб падине и праћење метеоролошких услова, као што су падавине, температура и влажност.

6.5.2. Превенција и безбедност у областима угроженим од лавина

Постоји неколико начина да се спречи утицај лавина. Конкретне мере се углавном примењују у областима где постоји конкретна опасност по људске животе, као што су скијалишта, планинска села, путеви и пруге. Експлозиви се интензивно користе да се спрече лавине. Мање експлозије се продукују служе као изазивачи мањих, контролисаних лавина, пре него што напада сувише снега који ће да изазове снажне лавине.

Противснежне ограде имају директну улогу у спречавању даљег кретања снега. Густа вегетација такође може имати улогу препрека у даљем кретању снежних наноса.

Менаџмент и организација живота у оваквим областима су од изузетне важности и представљају пажљиво бирање падина за кретање и спортске активности. У Европи, развијена је скала ризика од лавина.

Табела 7. Скала ризика од лавина

Ниво ризика	Стабилност снега	Ризик од лавина
1. Низак	Снег је врло стабилан.	Мала вероватноћа дешавања лавина.
2. Ограничени	Умерено стабилан снег у поједини областима.	Лавине могу бити изазване, услед јаких притисака. Спонтане лавине се не очекују.
3. Средњи	Умерено стабилан снег у великом броју области.	Могу се очекивати лавине средње величине, на већини падина.
4. Висок	На великом броју области снег врло нестабилан.	Средње до снажне лавине се могу очекивати на великом броју падина.
5. Врло висок	Снег је генерално врло нестабилан.	Врло снежне лавине су више него извесне.

Списак литературе, табела и слика:



Литература:

- Antić R. Uvod u elektrokardiografsku dijagnostiku, Institut za stručno usavršavanje i specijalizaciju zdravstvenih radnika Beograd, Beograd, 1976. str. 153.
- Davis, M. 2001. Late Victorian Holocausts: El Niño Famines and the Making of the Third World. London: Verso, 271. ISBN 1859847390
- Đorđević, S. 2015. „Klimatske promene i prirodni hazard“, Šabac. ISBN: 978-86-86859-42-6
- Ćosić P. V. Urgentna stanja u internoj medicini, Nučna knjiga Beograd, 1987. str. 227-229 (Grupa autora) Uputstvo-potsetnik. Urgentna stanja u unternoj medicini, Katedra za urgentnu medicinu VMA Beograd, 2000
- Rauber, R., Walsh, J., Charlevoix, D. 2017. “Severe and Hazardous Weather: An Introduction to High Impact Meteorology”, 5th ed., Kendall Hunt Publishing, 2017. Ch.1 Properties of the Atmosphere https://he.kendallhunt.com/sites/default/files/heupload/Rauber%20et%20al_5e_Chapter1.pdf
- Wang, Y. 2023. “Atmosphere and Climate”, The Handbook of Natural Resources, vol. VI, 2nd ed., CRC Press, 2023. ISBN 9781032474410
- Wald, L. 2018. *Basics in Solar Radiation at Earth Surface*, MINES ParisTech, 1st ed. <https://minesparis-psl.hal.science/hal-01676634/document>

Табела:

Табела 7. Модификовано: <https://avalanche.ca/glossary/terms/avalanche-danger-scale>

Слике:

- Слика 78. Модификовано: news.bbc.co.uk/nol/shared/spl/hi/uk/06/stonehenge/img/stonehenge_416.gif <https://www.magazin.novosti.rs/sr/zanimljivosti/misterije/vest/misterija-stounhendza-je-konacno-resena-strucnjaci-uspeli-da-otkriju-cemu-je-sluzio-foto/1449500>
- Слика 79. Модификовано: <https://historycooperative.org/tlaloc/>
- Слика 80. Модификовано: <https://sr.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%BB%D0%B8%D0%BC%D0%B0>
- Слика 81. Модификовано: <https://rs.izzi.digital/DOS/16343/17597.html>
- Слика 82. Модификовано: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Atmosphere_layers.svg <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/sr/0/07/Atmosfera1.png>
- Слика 83. Модификовано: <https://www.alphaomega-electronics.com/en/compact-stations-kits/1713-ws-gp2-advanced-automatic-weather-station-system.html>

.....
<https://www.meteologos.rs/wp-content/uploads/2021/05/AUTOMATSKE-METEOROSKE-STANICE-AMS.pdf>

Слика 84. Модификовано: <https://www.meteologos.rs/meteoroloske-stanice-u-srbiji/>

Слика 85. Модификовано: <http://weather.ou.edu/~smglenn/clouds.html>

Слика 86. Модификовано: <https://www.sciencefriday.com/articles/picture-of-the-week-sunshine-recorder/>

Слика 87. Модификовано: https://blog.windfinder.com/?utm_source=www.windfinder.com&utm_medium=web&utm_campaign=redirect
<http://www.qsl.net/ok1teh/tropo2008.htm>

Слика 88. Модификовано: https://www.hidmet.gov.rs/ciril/meteorologija/stanica_sr.php?moss_id=13168

Слика 89. Модификовано: https://www.researchgate.net/figure/NOAA-polar-weather-satellite-visible-image-of-a-hurricane_fig3_47714393
<http://www.vidi.hr/Non-Tech/Svijet/Stotine-tisuca-evakuiranih-zbog-uragana>

Слика 90. Модификовано: <https://slideplayer.com/slide/1628675/>

Слика 91. Модификовано: <https://www.pinterest.com/pin/diagram-showing-the-different-wind-directions-in-a-tornado--369576713144708136/>

Слика 92. Модификовано: https://pressofatlanticcity.com/weather/average-number-of-tornadoes-per-year-across-the-united-states/image_f1a11b22-e30f-52e6-b48f-ba586fefa8d6.html

Слика 93. Модификовано: <https://wgme.com/news/local/tornado-warning-issued-for-parts-of-cumberland-and-oxford-counties>

Слика 94 и 95. Модификовано: https://www.pmel.noaa.gov/el_nino/

Слика 96, 97 и 98. Модификовано: <https://www.geografija.in.rs/geografski-podsetnik/priroda/atmosfera/klimatski-elementi>

Слика 99. Модификовано: <https://www.nationalgeographic.com/environment/article/lightning>

Слика 100. Модификовано: https://bs.m.wikipedia.org/wiki/Datoteka:GHG_by_country_2000.svg

https://www.researchgate.net/figure/This-figure-shows-the-predicted-distribution-of-temperature-change-due-to-global-warming_fig1_271823685

<https://earthobservatory.nasa.gov/world-of-change/global-temperatures>

Слика 101. Модификовано: <http://www.atmo.arizona.edu/students/courselinks/spring13/atmo336/lectures/sec5/controversy.html>

<https://graphspro.wordpress.com/2015/09/23/global-temperature-1880-2000/>

Слика 102. Модификовано: <https://en.wikipedia.org/wiki/File:IceAgeEarth.jpg>

Слика 103 и 104. Модификовано: <https://www.meteologos.rs/155-godina-od-prvog-uputstva-za-osmatranje-vremena-u-srbiji/>

Слика 105. Модификовано: <https://people.uwec.edu/jolhm/EH3/Group4/references/snow%20avalanche.htm?fbclid=IwAR09uF0o2gJSd0XQnx9Hxndp7FPofMzFRKat509opalYt1KpLkhpfriCo>

<http://www.fsavalanche.org/Default.aspx?ContentId=4&LinkId=10&ParentLinkId=9>





7. СПЕЦИФИЧНИ ОБЛИЦИ ПРИРОДНОГ ХАЗАРДА – ШУМСКИ ПОЖАРИ

7. СПЕЦИФИЧНИ ОБЛИЦИ ПРИРОДНОГ ХАЗАРДА – ШУМСКИ ПОЖАРИ

Шумски пожари, као специфични облици природног хазарда, уобичајена су природна катастрофа која се јавља на дневном нивоу у различитим шумама широм света и чини главни узрок деградације шумских екосистема. Током протеклих деценија, динамика пожара се свакодневно мењала иницирана повећањем просечне глобалне температуре, сушом, променом ритма падавина и пренаменом земљишта, што је значајно довело до повећања ризика и учесталости од шумских пожара (Радовановић & Pereira Gomes, 2008).

На основу сагледавања резултата савремених студија, преко 80% шумских пожара је узроковано људским активностима попут ширења пољопривредног земљишта на рачун шумског земљишта, изградње саобраћајне инфраструктуре, развоја туризма и слично. Фрагментација и деградација шума услед људских активности значајно су смањили отпорност шума на пожаре. Очекује се да ће до краја XXI века озбиљност и дужина пожарних сезона порасти на глобалном нивоу, посебно у бореалним шумама веће географске ширине, како се буду повећавале емисије гасова стаклене баште и интензивирале глобалне климатске промене. Према томе, климатске промене узроковане људском фактором могле би проузроковати дуже пожарне сезоне са већом ватреном активношћу, као и године праћене већим учинком екстремних ватрених појава (Li et al., 2023).

Извештај Организације за храну и пољопривреду УН (FAO, 2011) указује да годишње страда око 350 милиона хектара шума. Последице овакве природне катастрофе исказују се великом количином изгореле дрвне масе и деградацијом многих других ресурса, првенствено смањењем биолошке разноврсности и генофонда. Уништавање шумских биоценоза доводи до дестабилизације трофичког ланца на ширем подручју, редукције производње кисеоника и ремећења гасног баланса атмосфере, поремећаја режима подземних и површинских вода, до измене микро и мезоклиматских услова, до смањења биопродуктивности, као и до измене биолошких и физичко-хемијских карактеристика земљишта.

7.1. ПРИРОДА И ВРСТЕ ШУМСКИХ ПОЖАРА

Шумски пожари представљају озбиљан проблем у Европи и читавом свету. Светски експерти из области шумарства указали су на поремећај уобичајног обрасца појаве ватре која се на северној хемисфери релативно често јављала лети услед високих температура и периода без падавина. Појачана активност шумских пожара све више се региструје почетком пролећа и крајем јесени, као и у ретко насељеним суббореалним областима Аљаске, Канаде и Сибира, што није уобичајно за манифестацију овог природног хазарда. Међутим, преко 95% настанка пожара преписује се човеку који на директан начин доприноси стварању ватрене активности или индиректно утиче на глобално загревање и климатске промене. Пожари се деле на:

- **природне пожаре** изазване високим температурама, вулканским ерупцијама, електричним пражњењем (муње), samozапалењем коре директним сунчевим зрачењем, итд.;
- **вештачке (антропогене) пожаре** настале услед неадекватног понашања човека (ложење на отвореном терену, бацање опушака, спаљивање стрњике, итд.).

У условима високе температуре и присуства исушене вегетације, пожар ће почети под концентрацијом кисеоника већом од 16%. Анализа шумског пожара укључује три основна елемента, такозвани пожарни троугао који чине: горивни материјал, извор топлоте и материја која потпомаже горење (Belcher et al., 2013).

- **Горивни материјал** сачињавају зрело дрвеће, младице, шибље, приземна вегетација, лишјајеви, маховине, оборено дрвеће, гране, пањеви и шумска стеља (опало лишће, опале гранчице и делови коре);
- **Извор топлоте** представља иницијалну варницу која изазива пожар. Код природних пожара може бити гром, лава, ватра или неки други извор велике топлоте, сноп јаког сунчевог зрачења усмерен на горивни материјал (суву кору, смолу). У случајевима антропогено изазваних пожара извор топлоте доноси човек са стране – варницу из ауспуха, опушак цигарете, жар роштиља, итд.;
- **Материја која потпомаже горење** доприноси развоју већ започетог пожара тако што шири топлоту, поспешује испаравање и сушење горивног материјала, попут смоле или етарских уља.

Слика 106. Пожарни троугао



7.1.1. Карактеристике и развој шумских пожара

Полазећи од званичних и јавнодоступних експертских извештаја, проблематика шумских пожара третира се на нивоу узрочно-последичне везе између антропогене емисије гасова на стање атмосфере и ефекте климатских промена (Радовановић & Pereira Gomes, 2008). И поред тога, предиспозиције за настанак пожара укључују више фактора, а превасходно се мисли на стање горивног материјала, метеоролошке услове и топографију терена.

Стање горивног материјала примарно указује на проценат влаге у горивном материјалу. Што је веће присуство влаге у њему, вероватноћа избијања и дистрибуције пожара се смањује. Са друге стране, исушен и порозан горивни материјал изузетно је подложен иницирању пожара, посебно у топлим и сушним периодима године.

Слика 107. Подела горивног материјала



Природни хазард

Под **метеоролошким условима** подразумевају се одређени климатски параметри који могу да ублаже или интензивирају ширење пожара. Дужи сушни периоди праћени високим температурама и ниским процентом влаге у ваздуху, стварају повољне услове за настанак шумских пожара. Присуство ветра такође поспешује сушење горивног материјала, затим повећава дистрибуцију пламена и жара, а непредвидивом променом правца угрожава безбедност ватрогасаца и отежава гашење пожара.

Топографија терена значајно утиче на развој и правац пожара. Надморска висина, експозиција и нагиб могу позитивно или негативно допринети ширењу пожара, али и утицати на његово гашење. Јужне експозиције терена директно су изложене сунчевом зрачењу, а тиме су погодније за развој пожара. Пожар се претежно развија и шири са порастом надморске висине. Са повећањем нагиба терена од 10° стопа ширења ватре се удвостручује, односно са опадањем нагиба за 10° стопа ширења ватре се упола смањује.

Слика 108. Утицај нагиба терена и ветра на ширење пожара



Разумевање основних сегмената шумског пожара од суштинске је важности у процесу његовог савладавања и гашења на терену. На површинама на којима је дошло до развијања шумског пожара разликујемо **чело пожара**, **реп пожара** и **крила пожара**. **Чело пожара** представља сегмент из кога се најбрже развија и шири ватра у правцу ваздушних струјања (оса ширења пожара). Лоцирање чела пожара кључно је за успех његовог сузбијања и гашења. На левом и десном крилу пожар достиже своје бочне димензије и успорава ширење. На репу ватра најслабије гори и ту се пожар најспорије шири. Приликом санације пожара ватра се на репу најбрже и најлакше гаси, али тек након што се остали делови пожара угасе. Поред тога, може доћи до разбуктавања ватре, односно ветар може подићи ужалене искре и пепео испред главног пожара, чиме настају нови пожари на појединим тачкама, такозвани „скокови пожара“.

... Специфични облици природног хазарда – шумски пожари

Слика 109. Основни сегменти шумског пожара



Облик пожара зависи од рељефа. У равничарским пределима, долази до формирања кружног пожара, док на стрмим теренима пожар је обично **елиптичног** облика. На терену који је неизнивелисан и хетероген јављају се пожари претежно **неправиланих форми**. Такође, у четинарским шумама често се јављају скокови пожара, тј. долази до такозваних тачкастих пожара који су иницирани лансирањем запаљених шишарки услед ширења ватре у крошњама дрвећа.

Према месту избијања иницијалне искре разликују се три врсте пожара: приземни, подземни, и високи пожари.

Приземни пожари јављају се као последица паљења горивног материјала органског порекла на шумском земљишту (шумска стеља, ниска вегетација, пањеви или хумус). Приземни пожари представљају примарни и најчешћи облик шумског пожара. Карактеристични су за листопадне шуме, где се највећа оштећења региструју на нижим деловима дебла и глави корена.

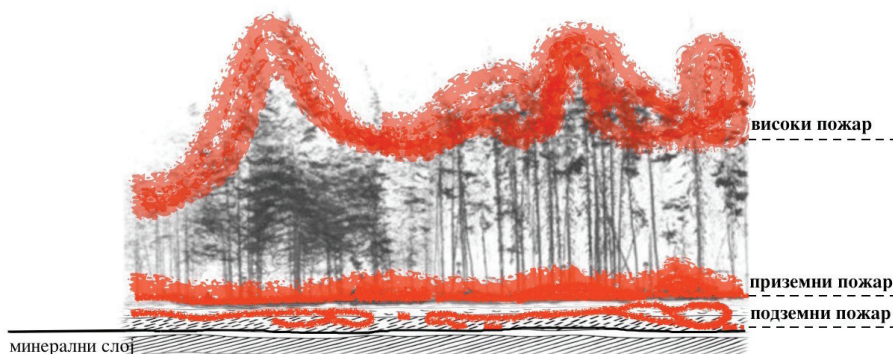
Подземни пожари се развијају од приземних у условима дуготрајног сушног периода, када је површински слој земљишта исушен. Интензитет подземног пожара зависи од врсте органског покривача, претежно хумуса и дубине кореновог система. Може се јавити на различитим дубинама и изненадним локацијама које још нису биле захваћене приземним или високим пожаром.

Високи пожари се углавном развијају из приземних пожара, што је посебно карактеристично у четинарским шумама. Пламен захвата крошње дрвећа, гране и лишће, односно четине, које су изразито подложне паљењу због присуства смола и етарских уља и њихових испарења при високим температурама. Присуство епифитских лишајева, који се посебно јављају

Природни хазард

у четинарским шумама, поспешује запаљивост и ширење ватре. Високи пожари су најинтезивнији пожари са највећом стопом запаљивости материјала, што их чини изузетно тешким за санирање (гашење).

Слика 110. Врсте шумских пожара



7.2. ШУМСКИ ПОЖАРИ КАО ГЛОБАЛНИ ФЕНОМЕН

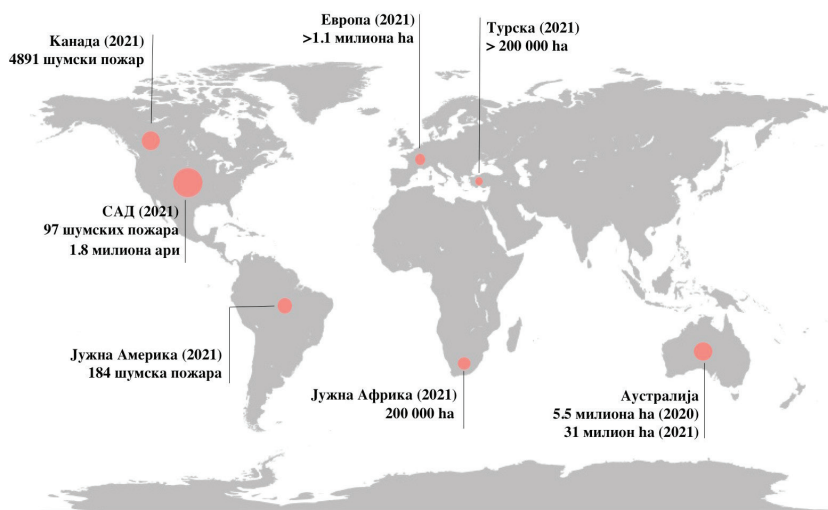
Шумски пожари се могу јављати током целе године, али према статистичким подацима у XXI веку, забележен је значајан пораст и одређен образац њиховог појављивања. Током неколико деценија регистровано је драматично повећање дужине сезоне пожара чак и на Арктику, као и интензитет пожара у тропским областима Јужне Америке и Азије. Све топлији и сушнији услови подстакли су пожаре који су спалили скоро дупло више шумских површина у XXI веку у поређењу са крајем XX века. Посебно се издвајају три периода током године који носе највећи ризик од појаве шумских пожара: почетак пролећа (март-средина априла), средина лета (половина јула – крај августа) и почетак јесени (септембар – половина октобра).

Сезона пожара 2021. године оборила је глобалне рекорде. Током наведене године пожарима су биле захваћене изузетно велике површине копна од Калифорније до Сибира. Извештај Уједињених нација упозорава да ће се број шумских пожара повећати за 50% до 2050. године. Током протеклих 50 година, Арктик се загревао три пута брже од остатка планете, а недавне студије указују да пожари на северној хемисфери доприносе том нескладу (Rantanen et al., 2022). Велики пожари који су захватили Аустралију 2019-2020. године,

... Специфични облици природног хазарда – шумски пожари

спадају у природни хазард без преседана. Према проценама, ватра је девастирала преко 12 милиона хектара шумских и пољопривредних површина у југоисточној Аустралији. Више од милијарду аутохтоних врста фауне страдало је у тим пожарима, док је опстанак 700 врста значајно угрожен (Lindenmayer & Taylor 2020; Boer et al., 2020).

Слика 111. Глобална дистрибуција шумских пожара уз приказ степена девастације земљишта



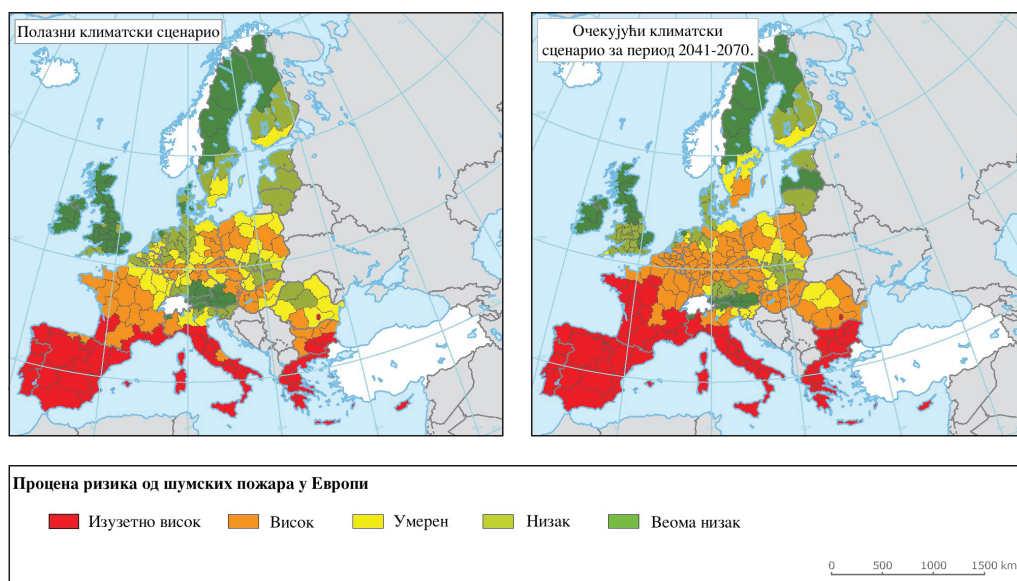
Глобални ефекти шумских пожара огледају се у ризику који представља губитак шумског фонда. Поремећаји изазвани пожарима значајно су порасли широм Европе. Сезона пожара у лето 2022. године била је изузетна. Европски информациони систем за шумске пожаре (European Forest Fire Information System - EFFIS) открио је да је број пожара већи од дугогодишњег просека за 2006-2021. годину и већи од ранијих максималних вредности од почетка EFFIS евиденције података (EEA, 2023).

Поред тога, пожари постају све екстремнији, са непредвидивим путањама и дужим пожарним сезонама, које се све више преклапају у Јужној и Северној Европи. Ватрена стихија може уништити велике површине шума, посебно када је тешко пратити динамику и правац ширења ватре. Та непредвидивост је веома опасна јер може довести до развитка неконтролисаних пожара, са већом материјалном штетом. У јужној и југозападној Француској, северној Шпанији и Португалу изгорело је око 130.000 хектара шуме. Фактори који

Природни хазард

су појачали активност пожара у овим областима били су топлотни таласи у јулу и августу у комбинацији са тешком сушом, што је довело до опасно повишеног ризика од пожара. Ови пожари су такође довели до изузетних емисија појединих гасова, као што су акумулиране концентрације угљен-мооксида. Штавише, без обзира колико удаљене, све шуме реагују на све веће концентрације CO₂ и климатске промене (Li et al., 2023; EEA, 2023).

Слика 112. Пројектовани сценарио процене ризика од шумских пожара у Европи



Истраживачи су сагледали глобални утицај шумских пожара на животну средину и квантификовали ризик по шуме у четири кластера:

- 1) процена утицаја пожара на услуге шумских екосистема;
- 2) процена утицаја шумских пожара на емисију CO₂;
- 3) процена утицаја шумских пожара на климатске промене;
- 4) мониторинг шумских пожара помоћу даљинске детекције.

... Специфични облици природног хазарда – шумски пожари

1) Процена утицаја пожара на услуге шумских екосистема

Са еколошке тачке гледишта, шумски пожари су инхерентно део природе и кључни покретач структуре, стања, састава и процеса у екосистемима са разним позитивним и негативним ефектима. Могу утицати на промену структуре популација и вегетације, физичко-хемијских особина земљишта, на кружење материје и енергије итд. Шумски пожари доприносе директном смањењу биомасе и измени састава микробиома земљишта које је изгорело. Недавна истраживања су показала да су годину дана након пожара изостале многе кључне функције екосистема које су обављали микроби у земљишту. Са друге стране, шумски пожар може имати позитивне ефекте, посебно за термофилне врсте биљака и организама чија репродукција зависи од топлоте. Ендемичне врсте попут планинске банксија (*Banksia oreophila*), карактеристичне за југозападну Аустралију, развиле су репродуктивне стратегије које користе ватру, како би се ослободило дормантно (мирујуће) семе које је годинама мировало и дисеминацијом заузело отворене просторе.

2) Процена утицаја шумских пожара на емисију CO₂

Шумски пожари су највећи глобални извор CO₂ као и угљеничних аеросола који утичу на дистрибуцију и апсорпцију зрачења, односно мењају равнотежу зрачења. Аеросоли и гасови стаклене баште који се емитију из шумских пожара преносе се на велике удаљености са атмосферском циркулацијом, утичући на квалитет ваздуха и радијацију. Почетком XXI века, у пожарима који су захватили Русију емитована је велика количина аеросола у атмосферу, смањивши око 57% сунчеве радијације у Кореји. Шумски пожари у Јужној Азији допринели су повећању тропосферског озона изнад Тибетанске регије. Такође, утицај шумског пожара на циклус угљеника у копненој вегетацији, важан је аспект за процену еколошке улоге шумског пожара, односно динамике сукцесије шумске вегетације.

3) Процена утицаја шумских пожара на климатске промене

Шуме апсорбују око 25% CO₂ који се емитије у атмосферу, тако да играју изузетно важну улогу у ублажавању глобалног загревања планете Земље. Ефекти климатских промена на појаву пожара укључују повећање температуре и атмосферске концентрације CO₂, што за последицу доводи до дужих сезона раста, повећања биомасе шума и травњака, а тиме и површинског запаљивог оптерећења. Топлије температуре повећавају атмосферско испаравање, што погоршава сушу и повећава ризик од шумских пожара, посебно у шумским подручјима са обилним запаљивим материјалом. Према проценама истраживача, климатске промене представљају главни

покретач повећане активности пожара. Како планета наставља да се загрева, очекује се да ће екстремно време попут високих температура и топлотних таласа постати све чешћи, као део повратне спреге између пожара и климе, што такође може условљавати појаву екстремних пожара.

4) Мониторинг шумских пожара помоћу даљинске детекције

Процена утицаја шумских пожара на шумске пределе је истраживачка компонента која је све више подржана технологијом даљинске детекције (енг. remote sensing). Ова технологија је доказана у многим студијама као веома изводљив и ефикасан алат за свеобухватну карактеризацију обрасца и обима пожара у шумским екосистемима. Интерпретација сателитских снимака је важан процес којим се може сагледати обим ширења пожара, интензитет или озбиљност пожара, тачка узорка о количини запаљивог материјала, брзина и запремини сагоревања и сл. У међувремену, ресурси за сателитске снимке на мрежи су значајно побољшали ефикасност и покривеност мапирања пожара како би се пружила прецизнија слика угроженог подручја и образаца пожара.

7.3. МОНИТОРИНГ И МЕРЕ ЗАШТИТЕ ОД ШУМСКИХ ПОЖАРА

Шумски пожари као специфични облици природног хазада изазивају велике поремећаје у биосфери, материјалне губитке и угрожавање људских живота. Како би се негативне последице свеле на минималну меру, потребан је ефикасан систем мониторинга и процене ризика од шумских пожара. Рано откривање и брзо спречавање и гашење пожара је кључно за спречавање хазардних ситуација. Ради спречавања шумских пожара неопходно је деловати превентивно. У превентивне мере заштите од пожара спадају:

- програми едукације различитих циљних група (деце, локалног становништва, туриста, шумарских радника, надзорника, ловачких удружења, итд.);
- пооштрени надзор (видео и сателитски снимци);
- подизање високих осматрачница;
- пробијање такозваних противпожарних пруга (тракасте чистине које раздвајају велике шумске комплексе).

... Специфични облици природног хазарда – шумски пожари

Слика 113. Превентивне противпожарне мере

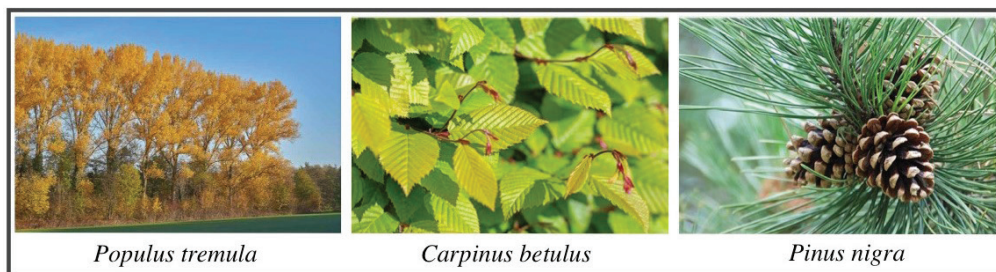


Санирање шумског пожара представља изузетно сложен процес и захтева висок степен обучености свих учесника у акцији гашења пожара. Примарна опасност од шумског пожара су поред интензитета отворене ватре, дим са свим штетним продуктима сагоревања, топлота, промена смера и јачине ветра, ерупција пожара, заостала минско-експлозивна средства, оштећење далековода, непознавање терена, непознавање тактике и процедуре гашења, дехидратација, као и повреде и исцрпљеност лица која учествују у гашењу.

Активне мере заштите од пожара захтевају основне мере безбедности које се морају спровести ради ефикасног гашења пожара и спречавања губитака људских живота. Успешно санирање пожара захтева: опремање адекватном заштитном опремом и техником, стучност руководећег кадра, придржавање прописаних процедура, успостављање оперативног штаба и ланца командовања, обученост и увежбаност свих учесника, психофизичка припремљеност, познавање терена, обавештеност о метеоролошким подацима, добра радио-веза, координација са свим ангажованим службама, организована логистика, одређивање сигурносних зона и одступних путева, перманентно праћење тока интервенције и брзо доношење сигурних одлука.

Након шумског пожара, потребно је ревитализовати шумско земљиште које је измењеног састава и структуре и подложно ерозији, нарочито на стрмим падинама. Мере ревитализације обухватају садњу пионирске вегетације како би се постепено створили услови за касније сукцесије вегетације и опоравак аутохтоних климазоналних шумских фитоценоза. Представници пионирских врста у процесу ревитализације опожарених станишта најчешће су јасика (*Populus tremula*), врба (*Salix caprea*, *Salix purpurea*), бреза (*Betula pendula*), црни граб (*Ostrya carpinifolia*), црни јасен (*Fraxinus ornus*) или црни бор (*Pinus nigra*) (Караџић & Миленковић, 2020).

Слика 114. Врсте пионирске вегетације у склопу ревитализационих мера опожарених станишта



7.3.1. Процена ризика од шумских пожара у Србији

Процена степена опасности од појаве шумских пожара у Републици Србији базира се на канадском методу за одређивање индекса опасности од појаве шумских пожара - Fire Weather Index (**FWI**). **FWI** је нумерички показатељ потенцијалног интензитета ватре у стандардном шумском гориву и укључује процену запаљивости шумског горива у зависности од временских услова. Већа вредност индекса указује на мањи садржај влаге у шумском гориву, а уједно и већу могућност настанка шумског пожара. Вредност индекса опасности од пожара зависи првенствено од метеоролошких елемената и израчунава се свакодневном нивоу. **FWI** процена обухвата пет компонената. Прва три индекса се односе на просечни степен влажности шумског горива које је подељено у три класе, док преостала два индекса показују степен ширења пожара и количину расположивог шумског горива (Dowdy et al., 2009). Основне компоненте **FWI**-а укључују:

- **Показатељ влажности финог горива** (Fine Fuel Moisture Code - **FFMC**) помоћу којег се нумерички вреднује садржај влаге у покровном материјалу и другом фином гориву у шуми. **FFMC** је индикатор релативне лакоће запаљивости и горљивости финог горива који се одређује за дубину слоја шумске органске простирке од 2-3 cm;
- **Показатељ влажности средњег горива** (Duff Moisture Code - **DMC**) нумерички вреднује просечну влажност растресите органске простирке умерене дубине 5-10 cm и дрвног материјала средње величине. Индикатор је енергије и кретања пожара у већини врста горивог материјала;

... Специфични облици природног хазарда – шумски пожари

- Показатељ влажности крупног горива (Drought Code - DC) омогућава да се нумерички вреднује просечан садржај влаге у дубини, компактним органским наслагама и крупном дрвеном материјалу. Овај код описује количину влаге у слоју дубине 10-20 cm шумске простирке и употребљава се за дугорочнију процену опасности од пожара за шира подручја;

Слика 115. Индекс влажности шумског горива



Fine Fuel Moisture Code - FFMC 1-2 cm

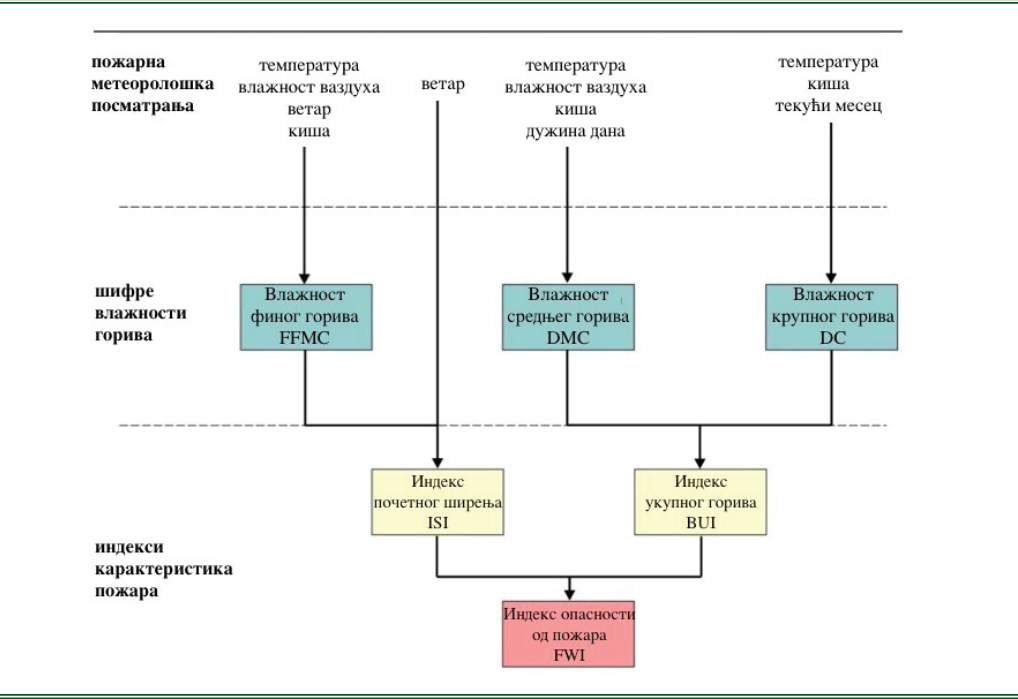
Duff Moisture Code - DMC 5-10 cm

Drought Code - DC 10-20 cm

- Индекс почетног ширења** (Initial Spread Index - ISI) представља комбиновани утицај брзине ветра и показатеља влажности финог горива (Fine Fuel Moisture Code - FFMC). Помоћу овог индекса врши се нумеричко вредновање потенцијала ширења пожара непосредно након његовог избијања. За његово одређивање користе се подаци о брзини ветра на висини од 10 m;
- Индекс укупног горива** (Buildup Index - BUI) је комбинација показатеља влажности средњег горива (Duff Moisture Code - DMC) и показатеља влажности крупног горива (Drought Code - DC). BUI је нумерички показатељ укупне количине горива које је доступно пожару и омогућава његово ширење. Од посебне је важности приликом предузимања мера за спречавање ширења и санацију пожара.

Природни хазард

Слика 116. Шема Канадског система за одређивање индекса опасности од појаве шумских пожара



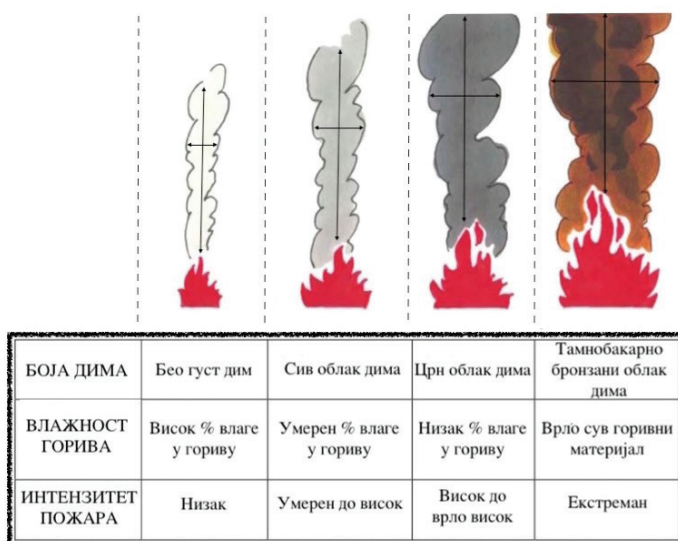
Табела 8. Класификација вредности индекса опасности од појаве шумских пожара

Веома ниска	Нема повољних услова за појаву пожара, могућност запаљенја је минимална. Врло мало расположивог горивог материјала.
Ниска	Иницијална искра може настати тек код трајнијег извора ватре (нпр. камповање). Слаб интензитет и брзина ширења пожара у шуми.
Умерена	Шибица може проузроковати пожар. Умерен интензитет и брзина ширења пожара унутар шуме. На отвореном простору брзо ширење пламена. Ватра гори осредњим пламеном.
Висока	Шибица директно узрокује пожар. Висок интензитет и брзина ширења ватре. Лако ширење пламена и на крошњу дрвећа. Сагоревање великог процента органске масе.
Екстремна	Пожар може букнути од искре, варнице. Изузетно висок интензитет и брзина ширења ватре. Врло брзо ширење пожара у крошњама дрвећа на ширем подручју. Сагоревање органског горива у дубљим слојевима и нормално влажним локацијама. Изванредно тешка контрола и санација пожара.

... Специфични облици природног хазарда – шумски пожари

Процена ризика од шумских пожара обухвата и контролу пожара шумске вегетације. Примарна реакција на насталом шумском пожару зависи од прецизне идентификације тачке јављања иницијалне искре (пожаришта), знакова понашања пожара, топографских карактеристика угроженог подручја, релевантних локалних временских фактора, као и вегетационих типова у том подручју. Такође, примарна реакција зависи од облика, боје и величине димног стуба, односно смеше испарења насталог услед сагоревања шумског горивног материјала (листопадне и четинарске крошње дрвенастих врста, органске материје и сл.). Иницијални одговор на насталом шумском пожару је од кључног значаја за успех његове санације.

Слика 117. Процена интензитета пожара према врсти димног стуба

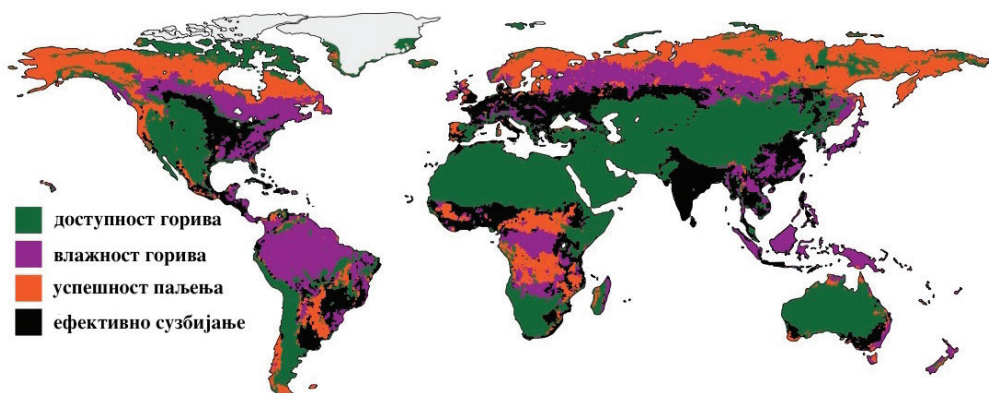


У процесу контроле и санирања штете могуће је одредити доминантне факторе за активност шумских пожара на основу карактеристика опожарене површине. Јачина сваке контроле се мери као осетљивост или маргинална промена у изгорелом подручју у односу на количину горива, проценат влажности горива или ефективно сузбијање од стране локалног становништва и фрагментације коришћења земљишта. Висина пожарне сезоне се дефинише као месец у години у коме је у просеку највећа изгорела површина. У многим регионима света, присуство довољно расположивог горива за ватру је доминантан фактор, док је у другим довољан доминантан извор успешног паљења.

Природни хазард

У неким тропским и суптропским зонама, доминантни фактор који утиче на изгорело подручје је влажност горива, што значи да иако доступност горива и успешност паљења могу бити довољни, горива често нису довољно сува да би сагорела. Смањење пожара кроз њихову превенцију, активно сузбијање или фрагментација коришћења земљишта, може бити контролни фактор у појединим регионима (Sullivan et al., 2022).

Слика 118. Глобална дистрибуција доминантних фактора контроле у јеку пожарне сезоне



7.4. УТИЦАЈ ШУМСКИХ ПОЖАРА НА ЗДРАВЉЕ И БЕЗБЕДНОСТ ЉУДИ

Шумски пожари расту широм света по учесталости, озбиљности и трајању, повећавајући потребу за разумевањем здравствених ефеката изложености пожарима. Ризик од шумских пожара расте у екстремно сушним, топлим и ветровитим условима.

Дим од шумског пожара је мешавина опасних загађивача ваздуха, као што су $PM_{2.5}$, NO_2 , озон, ароматични угљоводоници или олово. Осим што загађују ваздух токсичним материјама, шумски пожари истовремено утичу на климу испуштајући велике количине угљен-диоксида и других гасова стаклене баште у ниже слојеве атмосфере. Са климатским променама које доводе до виших температура и сушнијих услова и све веће урбанизације руралних подручја, сезона пожара почиње раније и завршава се касније. Пожари постају све екстремнији у виду брзине дисеминације, интензитета и дужине трајања, при чему могу реметити транспорт, комуникације, водоснабдевање

... Специфични облици природног хазарда – шумски пожари

и услуге дистрибуције електричне енергије и гаса. Шумски пожари могу утицати на институције, инфраструктуру, функције шумских екосистема и такође имају далекосежне ефекте на атмосферу и добробит људи у одређеној мери. Вишемесечни шумски пожари који су се догодили у Аустралији у периоду 2019–2020. године изазвали су веома озбиљне последице на локалне екосистеме, као и на друштвени живот (Sullivan et al., 2022). Пожари који горе у близини насељених места могу имати значајан утицај на животну средину, имовину, стоку, смртност и морбидитет у зависности од величине, брзине и близине пожара, као и правовремене евакуације становништва.

Загађење ваздуха изазвано шумским пожарима утиче и на удаљенија подручја са атмосферском циркулацијом, јер директно доприносе повишеним концентрацијама PM2.5 честица. Више интердисциплинарних истраживања указује на латентне и дугорочне здравствене ефекте изложености шумским пожарима код вулнерабилне популације (деца, старији људи, труднице, хронично болесни људи), посебно за географска подручја која трпе поновљену и цикличну експонираност пожарима. Истраживачи са Универзитета Стенфорд открили су да последњих деценија дим од шумских пожара подрива квалитет ваздуха и сваке године излаже милионе становника САД-а опасним нивоима финих честица озбиљно угрожавајући њихово здравље и безбедност (Childs et al., 2022).

Шумски пожари су важан узрок тропосферског загађења озоном (O_3), јер доприносе формирању тропосферског озона који спада у савремене изазиваче болести (ноксе). Утицај загађења ваздуха од шумских пожара на људско здравље такође варира просторно, тако да у северном региону Бразила који је углавном подручје тропских кишних шума, протеклих година забележено је повећање стопе респираторних болести за 38% и кардиоваскуларних обољења за 27% (Ye et al., 2021).

Величина физичких и материјалних трошкова од шумских пожара може се смањити ако се адекватне мере превенције у ванредним ситуацијама, приправности, реаговања и опоравка примењују на одржив и благовремен начин. Интегрисан модел превенције и заштите од шумских пожара обухвата (WHO, 2023):

- имплементацију система раног упозоравања;
- издавање здравствених и савета о квалитету ваздуха;
- извештај о концентрацији ослобођених опасних материја;
- процену здравствених потреба заједнице и оштећења инфраструктуре;

Природни хазард

- обнављање услуга примарне заштите, као што су имунизација, здравље деце и мајки и ментално здравље;
- јачање људских ресурса за управљање катастрофама;
- прикупљање, анализирање и ширење информација у вези са ванредним ситуацијама и катастрофама које ће се вероватно десити у региону;
- успостављање и управљање залихама примарне помоћи и опреме;
- позивање на хитно финансирање за подршку здравственим акцијама;
- развијање националних политика, препорука и националних планова реаговања у ванредним ситуацијама.

Списак литературе, табела и слика:

Литература:

- Belcher, C.M., Collinson, M.E. and Scott, A.C. (2013). A 450-million-year history of fire. Fire phenomena and the Earth system: an interdisciplinary guide to fire science, C.M. Belcher (Ed.), 229–249. <https://doi.org/10.1002/9781118529539.ch12>
- Boer, M.M., Resco de Dios, V., & Bradstock, R.A. 2020. Unprecedented burn area of Australian mega forest fires. *Nature Climate Change*, 10, 171–172. <https://doi.org/10.1038/s41558-020-0716-1>
- Childs, M.L., Li, J., Wen, J., Heft-Neal, S., Driscoll, A., Wang, S., Gould, C.F., Qiu, M., Burney, J., Burke, M. 2022. Daily local-level estimates of ambient wildfire smoke PM2.5 for the contiguous US. *Environ Sci Technol.* : <https://doi.org/10.1021/acs.est.2c02934>
- Dowdy, A., Mills, G., Finkele, K., Groot, W. 2009. Index sensitivity analysis applied to the Canadian Forest Fire Weather Index and the McArthur Forest Fire Danger Index. *Meteorological Applications*, 17, 298 - 312. DOI: 10.1002/met.170
- European Environment Agency, 2023. European forest ecosystems: key allies in sustainable development. Publications Office of the European Union, 2023. ISSN 2467-3196
- FAO, 2011. Community-based fire management, A review. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome 2011. ISBN 978-92-5-107094-9
- Караџић, Д., Миленковић, И. 2020. Шумска фитопатологија – приручник са практикумом. Универзитет у Београду-Шумарски Факултет, 1-359.
- Li, T., Cui, L., Liu, L., Chen, Y., Liu, H., Song, X., Xu, Z. 2023. Advances in the study of global forest wildfires. *Journal of Soils and Sediments*, 23, 2654–2668. <https://doi.org/10.1007/s11368-023-03533-8>
- Lindenmayer DB, Taylor C (2020) New spatial analyses of Australian wildfires highlight the need for new fire, resource, and conservation policies. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 117, 12481–12485. <https://doi.org/10.1073/pnas.2002269117>
- Rantanen M, Karpechko AY, Lipponen A, Nordling K, Hyvärinen O, Ruosteenoja K, Vihma T, Laaksonen A (2022) The Arctic has warmed nearly four times faster than the globe since 1979. *Commun Earth Environ*, 3, 1–10.
- Sullivan, A., Baker, E., Kurvits, T. 2022. Spreading like wildfire: the rising threat of extraordinary landscape fires. UNEP Rapid Response Assessment, Nairobi.
- WHO, 2023. Wildfires. https://www.who.int/health-topics/wildfires#tab=tab_3
- Ye, T., Guo, Y., Chen, G., Yue, X., Xu, R., Coêlho, dSZSC, M., Saldiva, PHN, Zhao, Q., Li, S. 2021. Risk and burden of hospital admissions associated with wildfire-related PM2.5 in Brazil, 2000–15: a nationwide time-series study. *Lancet Planet Health*, 5, 599–607.

Табела:

Табела 8. Модификовано: <https://gfmco.online/wp-content/uploads/EuroFire-Training-Materials-EF2-Techniques-BCMS.pdf>

Слике:

Слика 106. Лична архива М. Вујчић Тркуља, 2023

Слика 107 и 108. Модификовано: <https://gfmco.online/wp-content/uploads/EuroFire-Training-Materials-EF2-Techniques-BCMS.pdf>

Слика 109. Модификовано: https://www.researchgate.net/publication/336851589_FIREFIGHTING_PROBLEMS_IN_CASE_OF_LARGE_OUTDOOR_FIRES/figures?lo=1

Слика 110. Модификовано: https://www.researchgate.net/publication/274514510_Predicting_wood_fiber_attributes_using_local-scale_metrics_from_terrestrial_LiDAR_data_A_case_study_of_Newfoundland_conifer_species/figures?lo=1

Слика 111. Модификовано: Li, T., Cui, L., Liu, L., Chen, Y., Liu, H., Song, X., Xu, Z. 2023. Advances in the study of global forest wildfires. Journal of Soils and Sediments, 23, 2654-2668. <https://doi.org/10.1007/s11368-023-03533-8>

Слика 112. Модификовано: <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/projected-forest-fire-risk-in-europe>

Слика 113. Модификовано: <https://my.firefighternation.com/profiles/blogs/old-fire-lookout-gets-new-life#gref>

https://www.cullmantimes.com/news/forest-service-conducting-controlled-burns-at-bankhead/article_f3559816-088e-11e8-897d-2b1bfb71041e.html

<https://www.vojvodinasume.rs/sistem-video-nadzora-u-deliblatskoj-pescari/>

Слика 114. Модификовано: <https://www.gardenia.net/plant/populus-tremula>

<https://www.gardenia.net/plant/carpinus-betulus>

<https://www.botanic.cam.ac.uk/the-garden/plant-list/pinus-nigra-ssp-laricio/>

Слика 115. Лична архива М. Вујчић Тркуља, 2023

Слика 116. Модификовано: https://www.researchgate.net/publication/285955800_The_projected_21st_century_forest-fire_risk_in_Finland_under_different_greenhouse_gas_scenarios/figures?lo=1

Слика 117. Модификовано: <https://gfmco.online/wp-content/uploads/EuroFire-Training-Materials-EF2-Techniques-BCMS.pdf>

Слика 118. Модификовано: https://www.researchgate.net/publication/358989662_Spreading_like_wildfire_the_rising_threat_of_extraordinary_landscape_fires

... Специфични облици природног хазарда – шумски пожари





8. БИОЛОШКИ ХАЗАРД

8. БИОЛОШКИ ХАЗАРД

8.1. ОСНОВНИ ПОЈМОВИ И КАРАКТЕРИСТИКЕ ЕНДЕМИЈА, ЕПИДЕМИЈА И ПАНДЕМИЈА

Према дефиницији, **ендемија** представља константно присуство болести, инфективне или неинфективне природе на одређеном подручју или унутар одређене популације. Ендемичне болести јављају се циклично и условљене су присуством колективног имунитета. Са друге стране, **епидемија** чини појаву поремећаја здравља популације у већој мери у односу на референтни ниво у неочекиваном временском интервалу. Епидемиолошке службе одређују референтни ниво оболелих на основу просека оболелих из претходног временског периода (период од једне, две или пет година). Бројност оболелих у епидемији зависи од особина биолошког агенса, експонираности популације (колективног имунитета), историје болести и сл. Пораст броја оболелих указује на присуство епидемије у популацији, коју је дужна да пријави надлежна здравствена установа.

Пандемија представља епидемију глобалних размера која се може ширити са континента на континент и угрозити већи проценат људске популације.

Епидемиологија је наука која изучава интензитет, дистрибуцију и детерминанте стања или догађаја повезаних са здрављем у одређеној популационој групи уз примену резултата истраживања у контроли здравствених проблема.

Епидемиологија животне средине као саставни део епидемиологије, бави се изучавањем еколошких фактора тј. фактора средине на поремећаје здравља у популацији. Еколошки фактори који се испитују укључују физичке (радијација, топлота), хемијске (токсични агенси), биолошке (патогени микроорганизми), друштвене, економске, културолошке и сл.

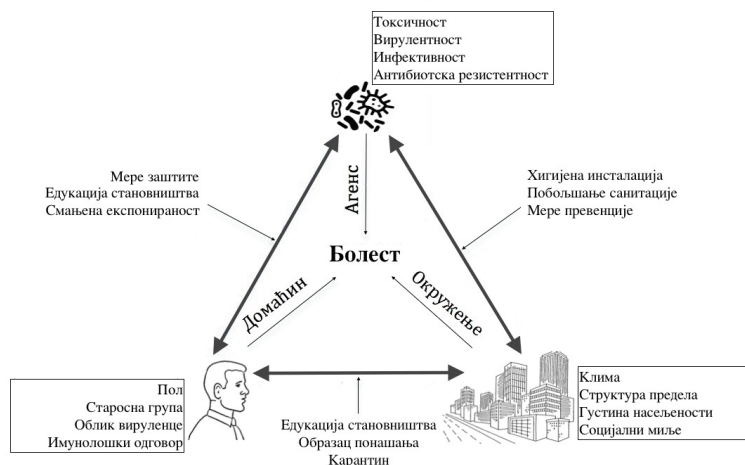
8.1.1. Епидемиолошки модели

Здравље или стање болести је последица константних и вишеструких интеракција човека (домаћина) и живог и неживог окружења. Епидемиолошки модели приказују на различите начине ове интеракције, као и потенцијална места деловања у циљу спречавања настанка болести (Гледовић и сар., 2009).

Неки од модела су:

- 1) **Еколошки (Гордонов) тријас** представља еколошки модел који је вишеструко применљив на све облике здравствених поремећаја. Састоји се из три групе међусобно повезаних и избалансираних фактора, а то су: **агенс**, **домаћин** и **окружење** (средина). Сваки дисбаланс, односно поремећај равнотеже ових чинилаца, доводи до повећања или смањења стопе оболевања.
 - **Агенс** је чинилац који је својим присуством или бројношћу одговоран за настанак болести. Агенси могу бити **инфективни (биолошки)** и **неинфективни (физички-хемијски)**. У биолошке агенсе спадају микроорганизми као што су вируси, бактерије и паразити. Неинфективни агенси могу имати физичке карактеристике (температура, зрачење, вибрације итд.) и хемијске (ендогени и екзогени токсиканти, отрови, гасови итд.).
 - **Домаћин** је организам на који делују агенси. Домаћина одликују његове стечене и накнадно створене особине (пол, старост, историја болести, професија...) које доприносе да мање или више буде подложен утицају агенса и окружења (диспозиција).
 - **Окружење** обухватају фактори живе и неживе природе који су саставни део свакодневног амбијента човека. Под факторе живе природе подразумевају се флора и фауна, популација, начин исхране, услови живота, итд. Неживу природу карактеришу физичко-хемијске особине окружења (климатски фактори, квалитет земљишта, воде, ваздуха...).
- 2) **Вогралинков ланац** чине пет узајамно повезаних фактора у које спадају резервоар, пут ширења, улазно место, вируленција агенса и диспозиција. Предност овог еколошког модела односи се на олакшану идентификацију места примене мера превенције.
- 3) **Модел точка** је посебно применљив код неинфективних болести, јер истиче вишеструке интеракције човека и окружења. Према овом моделу генотипске одлике човека заузимају централну позицију, док га окружују биолошки, физички и социо-економски фактори средине, формирајући поља точка.
- 4) **Мрежа узрочности** истиче да је свака болест иницирана деловањем групе међусобно зависних фактора чији се утицај манифестује само под одређеним околностима (нпр. ослабљен имунитет услед лошег квалитета ваздуха, воде и сл.)

Слика 119. Шематски приказ Еколошког тријаса



Вулнерабилност домаћина према одређеном патогеном агенсу назива се **диспозиција**. У зависности од врсте домаћина у природи се јављају болести на које је посебно осетљив човек – **антропонозе**, односно животиње – **зоонозе** или биљке – **епифитозе**. Осетљивост домаћина не условљава сигурну појаву болести. Међутим, уколико дође до оболевања, манифестација једне болести се може значајно разликовати услед деловања различитих фактора у које спадају **вирулентност патогеног агенса**, **експонираност агенсу**, **имунолошки одговор** и **диспозиција домаћина**.

Када је реч о епидемији и пандемији, **колективни имунитет** може бити од круцијалног значаја за спречавање настанка или даљег ширења болести. Висок проценат имуних особа у популацији, смањује вероватноћу да ће осетљива особа доћи у контакт за оболелом, што значајно доприноси спречавању настанка епидемије. Степен колективног имунитета се разликује у зависности од врсте агенса који изазива оболевање. У случају морбила (мале богиње) неопходно је да се достигне степен колективног имунитета од 95%, како би се спречила појава епидемије, док за дифтерију то је између 83% - 86%, а за вирусе грипа 50% - 75%.

Најчешћи изазивачи епидемија и пандемија су микроорганизми, пре свега вируси и бактерије са способношћу дисеминације, односно ширења болести у популацији. Кроз историју до данас регистровани су случајеви пандемија лепре, колере, тифуса, туберкулозе, жуте грознице, маларије, сиде, грипа, корона вируса, итд.

8.1.2. Типови епидемија

На типологију епидемије утиче велики број фактора од којих се посебно издвајају **врста и начин експонираности** (Гледовић и сар., 2009). У складу са том аналогијом, епидемијске болести делимо у три категорије:

- I. **Епидемије заједничког извора** – настају услед експонираности дела популације истом извору инфекције. Извор инфекције може бити краткотрајан и константан (сталан):
 - а) **Краткотрајан извор инфекције** односи се на део популације који је изложен истом извору за краћи временски интервал (нпр. епидемије настале услед тровања храном);
 - б) **Сталан извор инфекције** обухвата већи део популације који је изложен истом извору дужи временски период. Епидемија је присутна докле год постоји и извор инфекције (нпр. пандемије настале конзумацијом контаминираних воде);
- II. **Прогресивне епидемије** односе се искључиво на заразне болести које се директним или индиректним путем преносе са извора инфекције на вулнерабилни део популације (нпр. грип).
- III. **Епидемије мешаног типа** у почетној фази ширења инфекције имају заједнички извор, али поседују и тзв. „контактни реп“ којим се поред инфицираних преко заједничког извора заражава и део популације који је са њима у контакту тј. прелазе у прогресивне епидемије.

8.1.3. Резервоари и извори инфекција

Резервоар инфекције може бити биолошки ентитет (живо биће), земљиште или супстанца у којима се инфективни агенс размножава и опстаје. У највећем броју случајева под појмом резервоара подразумевају се живи организми, а нешто ређе земљиште или супстанце, јер обухватају мањи број инфективних агенаса (нпр. бактеријске споре, гљивице, паразитни организми).

Извор инфекције може бити сваки живи организам са кога се инфективни агенс преноси на осетљивог домаћина. Извор контаминације је место ширења инфекције од кога се инфективни агенс транспортује до извора инфекције.

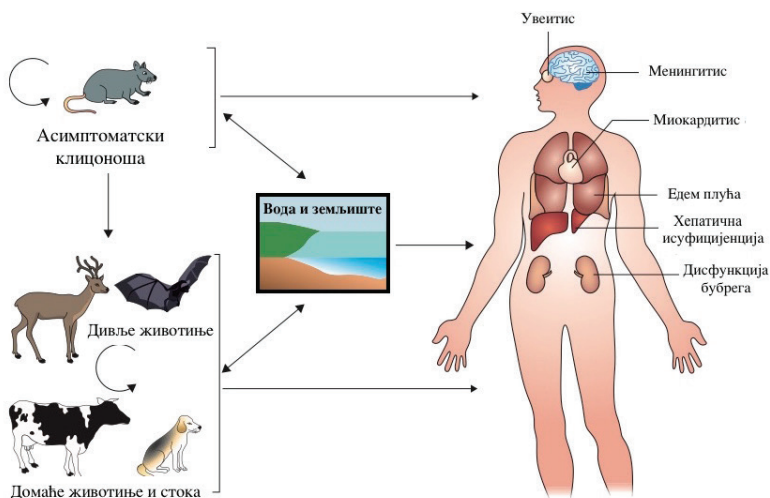
Човек може бити извор инфекције у случају да се обољење испољава у уобичајном облику (симптоматски) или у атипичном облику. Такође, резервоар инфекције (клицоноша) представља особу која преноси инфективни агенс, без присуства карактеристичних симптома болести (Гледовић и сар., 2009). Клицоноша може имати:

- **асимптоматско стање** без видљивих симптома болести током читавог периода инфекције, које представља ризик по ширу популацију услед неограниченог кретања клицоноша;
- **инкубационо стање** које се јавља у пресимптоматској фази болести и чији се период инкубације инфективног агенса разликује од врсте до врсте агенса (нпр. клицоноше које нису инфективне током инкубације – *вирус грипа, вирус малих богиња*.. или клицоноше које шире инфекцију током инкубације – *вирус хепатитиса А,Б...*);
- **рековалесцентно стање** које обухвата акутно присуство клица инфекције код клицоноша неколико месеци након клиничког оздрављења;
- **хронично стање** које може карактерисати и доживотно присуство клица код клицоноша и поред клиничког оздрављења (нпр. *стрептококе, маларија*...).

Већи изазов у контроли епидемије је када се резервоар болести пронађе у слободним животу дивљим животињама. Животиње се најчешће јављају као асимптоматске клицоноше. Животиње које су оболеле могу преносити озбиљнија обољења (нпр. *куга, туберкулоза, бесило, SARS* и сл...) и формирати зоонотска жаришта у природи или међу домаћим животињама. Идентификовани су различити фактори ризика који могу да објасне појаву нових зоонотских заразних болести код људске популације последњих година. Ови феномени су глобалног обима и нису проблем само за земље у развоју. Раст становништва, грађански немири, расељавање становништва и ширење урбаних или приградских насеља доприносе томе да људи сада бораве у раније нетакнутим природним стаништима где је већа вероватноћа да ће доћи до директног и индиректног контакта са дивљим животињама. Климатске промене и промена географских станишта крупнијих животиња и инсеката резервоара, могу довести до експозиције осетљиве популације на нове узрочнике инфективних болести .

Најзад, сама животна средина може послужити као резервоар за узрочнике заразних болести, са потенцијалом да утиче на здравље људи, домаћих животиња и дивљих животиња. Ваздух, вода и земљиште могу бити место где узрочници болести живе, расту и размножавају се. На пример, пренос заразне болести на велике удаљености ваздушним путем илуструје бактеријски патоген *Coxiella burnetii*, агенс који изазива Q грозницу код неколико врста, укључујући људе. Акутна фаза болести изазива симптоме сличне грипу. Такође, лептоспироза је једна од најчешћих бактеријских зооноза широм света настала конзумацијом контаминиране воде, која се у тежем облику може манифестовати менингитисом или отказивањем бубрега код људи. Земљиште је идентификовано као резервоар за избијање епидемије антракса пријављене у Сибиру током 2016. године. Глобално загревање и климатске промене довеле су до одмрзавања дубоких слојева пермафроста испод ког се налазило слој земљишта са бактеријом која изазива антракс (*Bacillus anthracis*). Ове епидемије нуде додатне илустрације међузависних односа између људи, животиња и животне средине (Johnson & Kaneene, 2018).

Слика 120. Резервоари лептоспирозе и пренос на људе



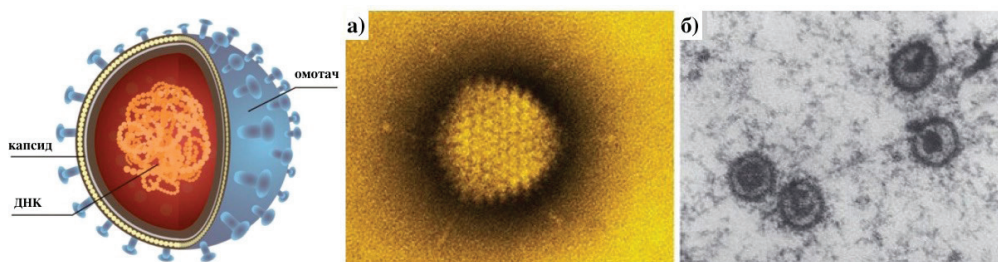
8.2. ВИРУСИ – ОСНОВНА ГРАЂА И ФУНКЦИЈА

Вириси (лат. *virus* – отров) су прећелијски микроорганизми који немају ћелијску структуру. Они представљају ацелуларне честице чији опстанак и размножавање зависе искључиво од живих ћелија домаћина. Као ултрамикроскопске честице величине између 10 – 300 nm (1 nm = 0,000001 mm), могу се видети искључиво електронским микроскопом (лат. *ultra* – прекомерно; грч. *micro* – ситно; *scopere* – гледати, посматрати). Вириси се сматрају бићима између живог и неживог света. Када се нађу изван домаћина, вириси не исказују особине живих организама и нису способни да самостално врше метаболичке процесе (Chiu et al., 1997).

Основна грађа вируса укључује две компоненте, а то су један молекул рибонуклеинске (РНК) или дезоксирибонуклеинске (ДНК) киселине и протеинска опна која се назива капсид. Вириси се сматрају хаплоидним организмима јер вирусни геном (скуп свих гена) чини само једна копија гена. Поједине врсте вируса садрже додатни омотач гликопротеинске и липидне грађе.

Активност вируса се огледа у способности зреле вирусне честице да инфицира ћелију домаћина. Ванћелијска честица назива се вирион. Уласком у ћелију вирион постаје активан тј. вирус. У ћелији домаћину вирус преузима контролу над метаболичким процесима које користи за сопствено размножавање. Унутар ћелије генеришу се делови вируса, што доводи до патолошког стања (болести) домаћина, чиме се вириси сматрају искључивим облигаторним унутарћелијским паразитима (лат. *obligation* – обавезан).

Слика 121. Грађа ДНК вируса и вирусне структуре уочене електронским микроскопом:
(а) Аденовирус, икосаедарски вирус без омотача ДНК и (б) Епштајн-Баров вирус, ДНК вирус икосаедарског омотача



Природни хазард

Размножавање вируса је јединствено у живом свету и назива се умножавање. Основне фазе при умножавању вируса су адсорпција, пенетрација, декапсидација, синтеза делова вируса, сазревање и ослобађање вириона.

- а) **Адсорпција** (припајање) је везивање вируса за површину ћелије домаћина. Вирус проналази осетљиво место (рецептор) на површини ћелије домаћина и везује се за њега;
- б) **Пенетрација** (продирање) је улазак вируса у ћелију. У зависности од врсте самог вируса, процеси уласка се разликују. Код бактериофага ензим разлаже зид бактерије и прави отвор, кроз који инфилтрира своју нуклеинску киселину;
- в) **Декапсидација** (одбацивање капсида) настаје приликом уласка вируса у ћелију. Капсид разлажу ензими ћелије домаћина при чему се ослобађа вирусна нуклеинска киселина;
- г) **Синтеза вирусних компоненти** је процес у ком ћелија домаћина обавља репликацију вирусне ДНК (или РНК) и тиме обезбеђује синтезу протеина вируса;
- д) **Сазревање вируса** настаје стварањем нуклеокапсида, односно комбиновањем нуклеинске киселине и протеина;
- ђ) **Ослобађање вириона** из ћелије домаћина реализује се на различите начине: разлагањем (лизом) ћелије што резултује смрт ћелије или егзоцитозом – при којој вирус преузима део мембране ћелије домаћина као свој додатни омотач.

Слика 122. Процес умножавања SARS-CoV-2 коронавируса у ћелији домаћину посредством Спајк протеина и хомодимерног рецептора ангиотензина 2 (ензима за регулацију крвног притиска)



Класификација вируса зависи од њихових основних карактеристика које укључују тип нуклеинске киселине коју садрже (ДНК или РНК), затим основу симетрије капсида, величину, присуство или одсуство додатног омотача.

Према типу нуклеинске киселине, вируси се деле на:

1. **ДНК вирусе** у које спадају херпесвируси (изазивачи оралне и гениталне инфекције, као и мононуклеозе) и аденовируси (изазивају респираторне и цревне инфекције);
2. **РНК вирусе** који су изазивачи рубеола, заушака, беснила, заразних болести попут СИДА-е (ретровируси).

8.2.1. Вирусне епидемије и пандемије

I. Глобална пандемија SARS-CoV и SARS-CoV-2 коронавируса

У XXI веку човечанство је доживело појаву и епидемију три раније неидентификована коронавируса: **коронавирус тешког акутног респираторног синдрома (САРС-ЦоВ)** (енг. severe acute respiratory syndrome coronavirus (SARS-CoV) 2003. године, **коронавирус блискоисточног респираторног синдрома (МЕРС-ЦоВ)** (Middle East respiratory syndrome coronavirus (MERS-CoV) 2012. године и 2019. године **нови вирус корона 2019-нЦоВ**, који је касније званично назван **САРС-ЦоВ-2** (енг. novel coronavirus 2019-nCoV/SARS-CoV-2), односно КОВИД-19. Сви наведени типови вируса припадају Coronaviridae, породици вируса који поседују једноланчани РНК геном позитивног чула. Слично другим РНК вирусима, ову породицу карактерише значајна генетска варијабилност и висока стопа рекомбинације која им омогућава да се лако дистрибуирају међу људима и животињама широм света. Као резултат тога, бројни коронавируси постоје у популацији људи и животиња без изазивања болести опасних по живот. Међутим, повремено, генетска рекомбинација вируса унутар насумичних средњих домаћина производи заразне сојеве који су високо патогени за људе. SARS-CoV-2 је генетски и структурно повезан са SARS-CoV, али поседује и своје јединствене карактеристике које су допринеле брзом глобалном ширењу (Yung-Fang et al., 2020).

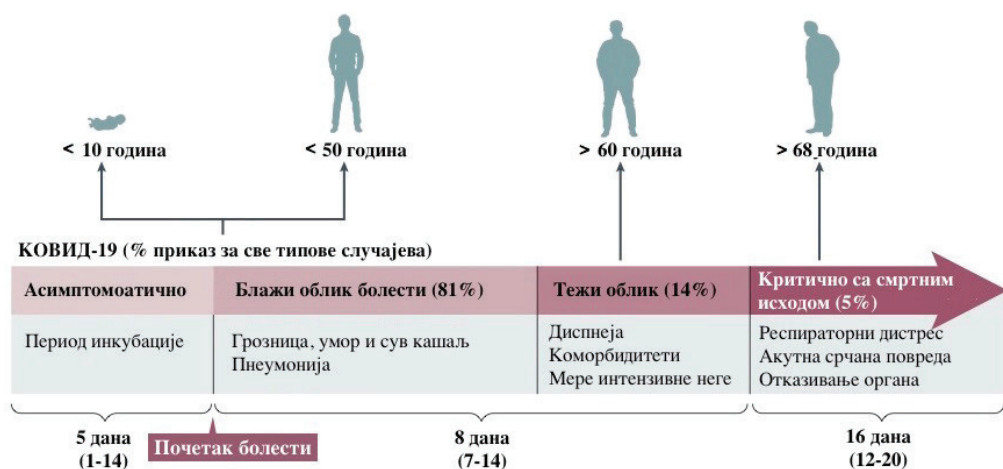
Први забележени случајеви пријављени су у децембру 2019. године у провинцији Вухан у Кини. Током наредних 10 месеци, широм света је потврђено више од 30 милиона случајева КОВИД-19, вируса корона. Пријављени су велики кластери инфекције из све већег броја земаља. Висока ефикасност преноса и обиље међународних путовања омогућили су брзо ширење КОВИД-19 широм света. Светска здравствена организација (СЗО) је 11. марта 2020. године званично окарактерисала глобалну епидемију КОВИД-19 као пандемију. Од марта, док је КОВИД-19 у Кини постао ефективно

Природни хазард

контролисан, број случајева у Европи, Северној Америци и другим регионима је нагло скочио. Према званичним статистичким извештајима од 11. августа 2020. године, 216 земаља са свих шест континената пријавило је више од 20 милиона случајева КОВИД-19 са преко 733.000 преминулих пацијената. Висок морталитет је забележен када су здравствени ресурси били преоптерећени, што се посебно односило на Северну Америку (Hu et al., 2021).

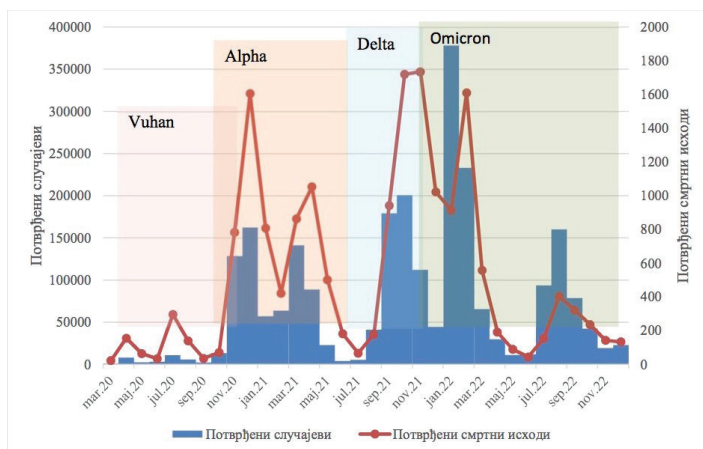
Типични симптоми корона вирусне болести 2019 (КОВИД-19) су грозница, сув кашаљ и умор, а у тежим случајевима диспнеја (осећај тешког дисања). Многе инфекције, посебно код деце и адолесцената, су асимптоматске, док старије особе и људи са пратећим болестима имају већи ризик од тешких болести, респираторне инсуфицијенције и смрти. Период инкубације у просеку траје 5 дана, тешка болест се обично развија приближно 8 дана након појаве симптома, а критична болест са смртним исходом се јавља након 16 дана. У тежим и критичним облицима болести, јавља се акутни респираторни дистрес синдром (енг. Acute Respiratory Distress Syndrome – ARDS), као и потреба за збрињавањем у јединицама интензивне неге.

Слика 123. Клиничке карактеристике вируса корона (КОВИД-19) – старосно доба као највећи ризик (Hu et al., 2021)



У Републици Србији за период 2020-2022. године укупно је потврђено преко 2.440.000 случаја инфекције SARS-CoV-2 од којих више од 17 500 са смртним исходом (ИЈЗС, 2023).

Слика 124. Број потврђених случаја и смртних исхода КОВИД-19 (на месечном нивоу) у односу на периоде доминације одређених варијаната SARS-CoV-2 у Републици Србији, Институт за јавно здравље Србије „Др Милан Јовановић Батут”.



II. Епидемија вирусне инфекције синдрома хумане имунодефицијенције - СИДА

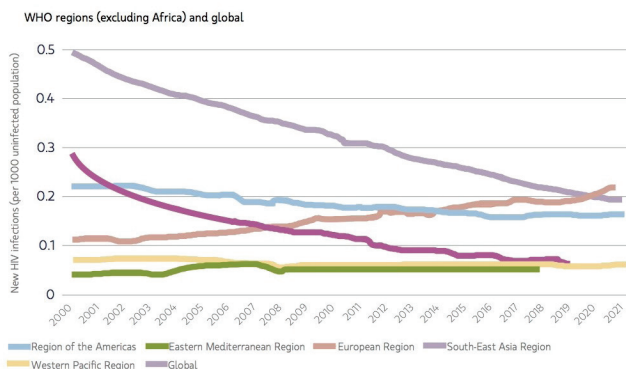
Сида (фр. Syndrome d'immunodéficience acquise) или АИДС (енг. Acquired Immunodeficiency Syndrome – AIDS) је одувек била једна од најтемељнијих савремених болести и представља последњи стадијум инфекције вирусом хумане дефицијенције – ХИВ (енг. Human immunodeficiency virus – HIV). HIV вирус спада у ретровирусе и карактерише га двоструки РНК геном. Инфекција HIV-ом настаје искључиво разменом крви, семене или вагиналне течности, као и мајчиног млека. Унутар ових телесних течности, HIV је присутан и као слободне вирусне честице и као вирус унутар инфицираних имуних ћелија. Симптоми AIDS -а су првенствено последица стања која се нормално не развијају код особа са здравим имунолошким системом. Сида је стање код људи у којем прогресивни отказ имуног система омогућава напредовање инфекција и карцинома опасних по живот. Већина ових стања су опортунистичке инфекције узроковане бактеријама, вирусима, гљивицама и паразитима које оптимално контролишу елементи имуног система које HIV оштећује (Kapila et al., 2016).

Извештај Светске здравствене организација указује да HIV остаје главни глобални проблем јавног здравља јер је до сада однео преко 40 милиона живота са текућим преносом у свим земљама широм света. Процењује се да је 39 милиона људи живело са HIV-ом на крају 2022. године, од којих је

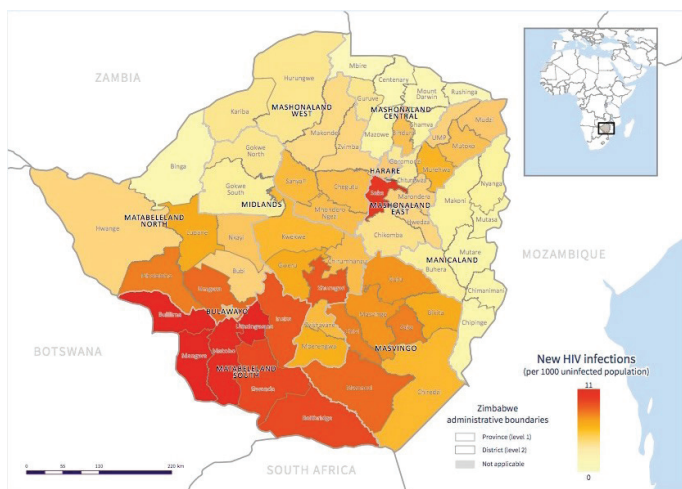
Природни хазард

две трећине (25,6 милиона) у Афричком региону. Такође, 2022. године 630 000 људи је преминуло од узрока повезаних са HIV-ом, а 1,3 милиона људи је добило HIV. Не постоји лек за HIV инфекцију. Међутим, са приступом ефикасној превенцији, дијагнози, лечењу и нези HIV-а, укључујући и опортунистичке инфекције, HIV инфекција је постала хронично здравствено стање којим се може управљати, што омогућава људима који живе са HIV-ом.

Слика 125. Нове HIV инфекције (на 1000 неинфицираног становништва), по региону СЗО и глобално, 2000–2021. године.

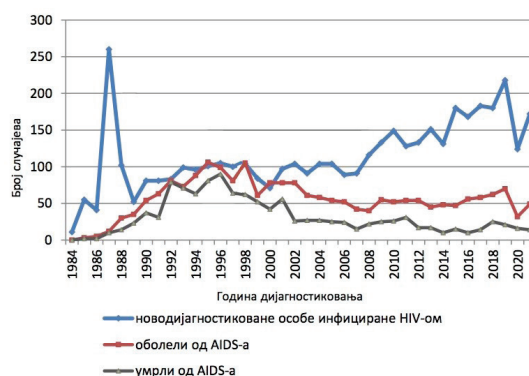


Слика126. Субнационалне процене инциденције HIV-а међу адолесценткињама и младим женама (старости 15–24 година) у Зимбабвеу (децембар 2021. године) указују на значајно повећање тенденције за инфекцију HIV-ом у односу на исте старосне групе у подсахарској Африци.



СЗО, Глобални фонд и канцеларија УН за AIDS имају глобалне стратегије за HIV које су усклађене са циљевима одрживог развоја за окончање епидемије HIV-а до 2030. године. До 2025. године, планирано је да 95% свих људи који живе са HIV-ом има дијагнозу, свих 95% њих би требало да узима антиретровирусни третман (АРТ) који спасава живот, а 95% особа које живе са HIV-ом на лечењу би требало да постигне потиснуто вирусно оптерећење и смањење даљег преноса HIV-а. Према евиденцији, у 2022. години ови проценти су били 86(%), 89(%) и 93(%) респективно. Када се разматрају све особе које живе са HIV-ом, 86% зна свој статус, 76% је примало антиретровирусну терапију, а 71% је имало потиснуто вирусно оптерећење (World Health Statistics, 2023).

Слика 127. Број регистрованих HIV позитивних особа, оболелих и преминулих од AIDS-а у Републици Србији у периоду 1984–2021. године, Институт за јавно здравље Србије „Др Милан Јовановић Батут”.



Подаци Института за јавно здравље Србије „Др Милан Јовановић Батут” указују да је од 1985. године, када је регистрован почетак епидемије, па до новембра 2022. године, у Републици Србији регистровано 4524 особа инфицираних HIV-ом, од којих 2152 особе имају последњи стадијум инфекције AIDS (48% свих регистрованих HIV позитивних особа), док је 1336 особа инфицираних HIV-ом преминуло (1192 од AIDS-а, а 144 од болести или стања која нису повезана са HIV инфекцијом) (ИЈЗС, 2023).

III Епидемија великих богиња (*Variola virus*) и њена ерадикација

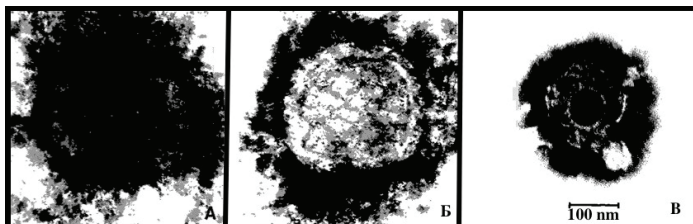
Велике богиње представљају заразну болест која настаје услед инфекције *Variola* вирусом, односно његовим подваријантама (*Variola minor* и *Variola major*). Ова болест искучиво погађа хуману популацију. Због своје карактеристичне клиничке слике, велике богиње су препознате као јединствен епидемиолошки ентитет (изазивач заразе) који је присутан много векова. Његова контрола вариолацијом (излагање здраве популације инфицираним садржајима ради стицања имунитета), а затим путем вакцинација, почела је много пре било каквих мера које су усвојене за друге болести. Исто тако, познавање вируса који је произвео болести и оних који су коришћени за контролу (вирус *Variola* и крављих богиња или вирус *Vaccinia*) стар је колико и сама наука вирусологија. Визуелна идентификација честица које узрокују ова обољења, путем светлосног, а затим и електронског микроскопа, представљала је пионирски подухват, а њихов хемијски састав анализиран је пре било ког другог животињског вируса.

Variola вируси припадају роду *Orthopoxvirus*-а, породици *Poxviridae* и подфамилији *Chordopoxvirinae*. Традиционалне класификације болести биле су базиране на основу симптома и одређених обољења детектованих код човека, крава, коња, оваца и свиња, при чему су заједно груписане као „богиње” јер су их карактерисале специфичне промене на кожи у виду жигова. Вируси богиња се разликују од већине других ДНК вируса по томе што се реплицирају у цитоплазми, а не у језгру осетљивих ћелија. Да би то постигли, поседују јединствену „батерију” ензима која није пронађена ни у једном другом ДНК вирусу (Damon, 2005).

Слика 128. Манифестација симптома инфекције вируса *Variola major*



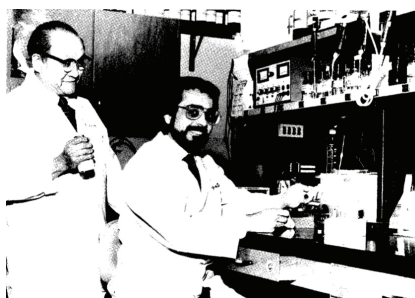
Слика 129. Вирони Variola вируса (А и Б) и вируса варицеле (В) у негативно обојеним препаратима који су 1971. године достављени на дијагнозу Сарадном центру СЗО у склопу Центра за контролу болести, Атланта, Џорџија, САД



Историјски гледано, две подваријанте вируса богиња су дефинисане на основу тежине клиничке болести. *Variola major* је била чешћи и тежи облик болести чија је смртност износила између 15% и 45% случајева, док је *Variola minor* била доста ређи и лакши облик болести са 1% смртних случајева. *Variola major* је повезана са најтежим болестима и манифестује се у четири облика (обичан, модификован, раван и хеморагичан). *Variola* вирус је стабилан ван домаћина и задржава своју инфективност, што објашњава и његову широку вирулентност. Остали *Ortopoxvirus*-и укључују кравље богиње, вакцинију, мајмунске богиње и друге.

Имунизација великих богиња везује се за Енглеског лекара Едварда Џенера (енг. Edward Jenner (1749-1823), који је излагањем здраве популације инфицираним садржајем из лезија крављих богиња подстицао развој имунолошког одговора организма. Серум је назвао вакцином, а сам поступак је искључивао ризик од неконтролисаног ширења *Variola* вируса. Током XIX и XX века имунизација се вршила модификованом вакцином, а серум (вирус крављих богиња) замењен је са вирусом *Vaccinia*.

Слика 130. Тим водећих експерата за дијагностиковање *Variola* вируса, Сарадни центар СЗО у склопу Центра за контролу болести, Атланта, Џорџија, САД.



У XX веку епидемија великих богиња усмртила је између 300-500 милиона људи. Светска здравствена организација (СЗО) је 1967. године предводила међународну кампању масовне вакцинације и надзора епидемије чиме је започета ерадикација (сузбијање) великих богиња, како би се потпуно искорениле. Вакцинација је дала много успеха. У Сомалији је 1977. године пријављен последњи случај малих богиња у заједници, а 1978. године лабораторијска несрећа у Енглеској изазвала је последњи случај заразе човека. СЗО је 1980. године прогласила велике богиње искорењеним на светском нивоу (WHO, 1989).

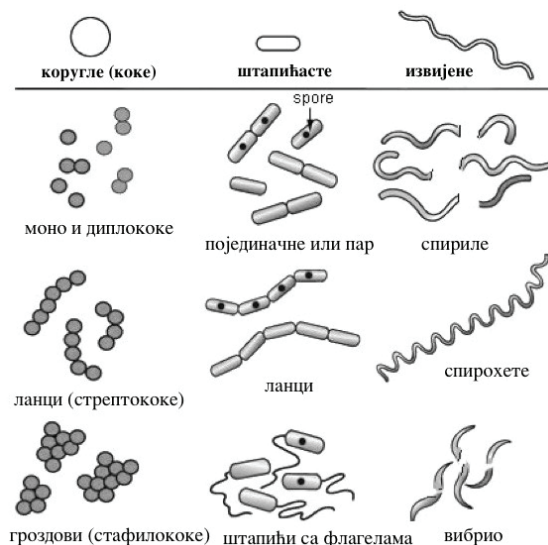
8.3. БАКТЕРИЈЕ – ОСНОВНЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ И ПОДЕЛА

Бактерије су једноћелијски микроорганизми који због свог начина исхране и адаптивности имају кључну улогу у кружењу материја. Распрострањени су у свим медијумима (води, ваздуху и земљишту), а налазе се на површини и у унутрашњим органима биљака, животиња и човека, као и прехранбеним намирницама. Сматрају се најстаријим и најбројнијим организмима на нашој планети. Спадају у најситније познате организме, видљиве искључиво помоћу електронског микроскопа и чине последње живе организме које је човек идентификовао у XX веку. У својим истраживањима заразних болести, чувени микробиолози Луј Пастер (Louis Pasteur (1822-1895) и Роберт Кох (Heinrich Hermann Robert Koch (1843-1910) идентификовали су бактерије у процесу кварења намирница, као и узрочнике различитих обољења људи и животиња (Лалошевић, 2011).

8.3.1. Облик и грађа бактерија

Према облику, бактерије могу бити округле, штапићасте, кончасте, звездасте и розетасте. Јављају се појединачно, у пару или у ланцима. Поједини сојеви крећу се флагелумима, а у облику спора прелазе у стање мировања. Величина бактерија се изражава у микрометрима (μm). Зависно од облика, величина бактерија одређује се мерењем дужине и ширине (штапићасте), мерењем пречника (округле) или посебним геометријским прорачунима (неправилног облика).

Слика 131. Основни облици бактерија



Бактерије спадају у прокариотске организме једноставне ћелијске грађе која се састоји од ћелијског зида, мембране са мезозомима и цитоплазме у којој су смештени једро (нуклеус), плазмиди, рибозоми и инклузије. Неке врсте бактерија могу имати капсулу (слузаста ћелијски омотач) и посебне органеле за кретање (флагелуме, фимбрије и пиле).

Капсула је слузаста омотач који се наслања на спољашњи део ћелијског зида. Овај слузаста слој је различите дебљине, функције и грађе и у зависности од врсте бактерије може бити изграђен из воде, хомополисахарида, хетерополисахарида и протеина. Капсула штити ћелију од фагоцитозе и утиче на антигена, серолошка и вирулентна својства бактерија.

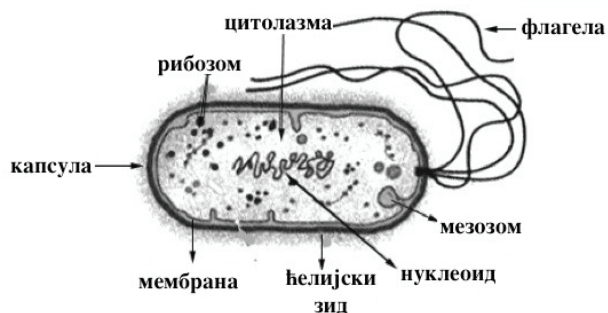
Ћелијски зид је спољашњи ћелијски омотач око цитоплазмине мембране који поред тога што пружа облик ћелији, штити је од неповољних утицаја из спољашње средине. У ћелијском зиду смештене су компоненте одговорне за изазивање инфекције код домаћина (утичу на вируленцију). У зависности од присуства одређених полимера (муреина и тејхојних киселина) и специфичне технике бојења, назване по данском биологу Кристијану Граму (Hans Christian Gram (1853-1938), бактерије се дела на: Грам-позитивне Грам-негативне.

- **Грам-позитивне** бактерије имају једноставнију грађу ћелијског зида без додатног заштитног слоја, услед чега су мање отпорне на антибиотике. При Грам техници ћелијски зид боји се у љубичасто.

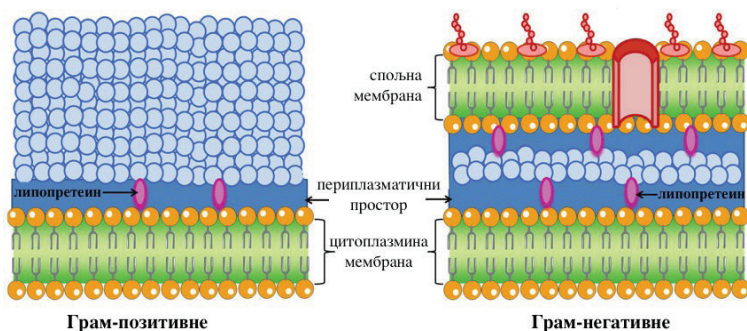
Природни хазард

- **Грам-негативне** бактерије имају сложенију грађу ћелијског зида који се састоји од спољне мембране, периплазматичног простора и муреина. Улога спољне мембране је вишеструка, јер штити ћелију од хемијских агенса (антибиотика, пестицида и тешких метала). Бојењем по Граму ћелијски зид ових бактерија се обоји црвено.

Слика 132. Ћелијска грађа бактерије



Слика 133. Структурна разлика између Грам-позитивних и Грам-негативних бактерија



Цитоплазматична мембрана представља танку опну (дебљине 5-10nm) која је смештена испод ћелијског зида и окружује цитоплазму. Састоји се из липопротеинског слоја кроз који се прожимају улегнућа различитих облика (мезозоми). Мембрана је полупропустљива (семипермеабилна) и обавља вишеструке функције важне за ћелију које укључују размену материја између ћелије и спољашње средине, процес дисања и синтезу липида.

.....

Цитоплазма испуњава унутрашњост ћелије. Гради је вода (око 80%), протеини, ензими, угљени хидрати и др. У цитоплазми су смештени примитивно једро (нуклеус) са генетским материјалом, плазмиди и резервне материје (инклузије). Такође, унутар цитоплазме се налазе и рибозоми који учествују у синтези протеина.

На површинском слоју бактерије могу се наћи посебне органеле флагелуми, фимбрије и пиле. **Флагелуми** или бичеви су издужени кончасти израштаји протеинске грађе помоћу којих бактерија врши кретање. **Фимбрије** су танке нити различите дужине које учествују у размени воде и неорганских једињења између бактерије и спољашњег медијума. **Пиле** или копулационе пиле помажу бактерији да се причврсти за подлогу и учествују у процесу размножавања.

8.3.2. Размножавање и метаболизам бактерија

Размножавање бактерија је бесполно, претежно путем деобе, а ређе фрагментационо, сегментационо или спорама.

Деоба је репродуктивни процес у ком се бактеријска ћелија дели на два једнака дела тако да свака ћерка ћелија поред репликованог хромозома (ДНК) садржи и остале структурне јединице мајке ћелије.

Фрагментација је облик бесполног размножавања присутан код кончастих ћелија (актиномицета и цианобактерија). Ћелије се деле на фрагменте различитих димензија након чега се сваки фрагмент самостално развија формирајући нове реплике родитељских ћелија (потомке).

Сегментација је посебно присутна код актиномицета које поседују спороносну хифу. Током размножавања ћелије актиномицета се деле на округласте ћерке ћелије које касније формирају зреле споре.

Размена гена је могућа између бактерија истих или различитих сојева, укључујући бактеријске вирусе (бактериофаге). Просец размене и генетске рекомбинације је могућ путем трансформације, коњугације и трансдукције.

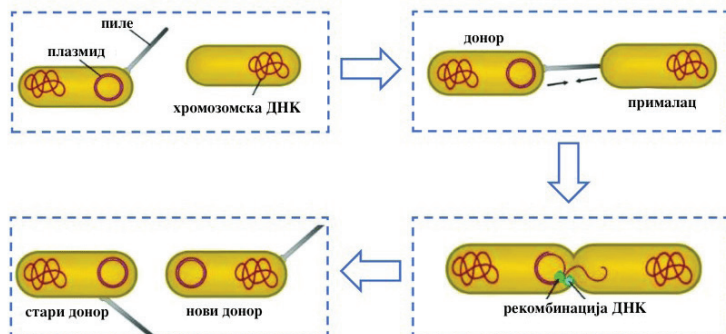
Трансформација је процес трансформисања (преношења) реактивног дела ДНК ћелије донора у ћелију примаоца сродних бактеријских врста.

Коњугација је поступак рекомбинације ДНК између ћелије донора и ћелије примаоца, посредством копулационих пила које служе као каналић за размену генетичког материјала између ћелија.

Природни хазард

Трансдукција представља механизам преношења генетичког материјала посредством паразитских вируса смештених унутар бактеријских ћелија (бактериофага).

Слика 134. Поступак бактеријског размножавања путем коњугације



Метаболитички процеси код бактерије од круцијалног су значаја за њен даљи развој и опстанак, тј. њену биолошку репродукцију. У зависности од начина исхране, односно способности бактерије да сама синтетише хранљиве материје или их усваја из природе, бактерије се деле на аутотрофне и хетеротрофне.

Аутотрофне бактерије (грч. autos – сам и trophe – исхрана) су врста бактерија које имају способност да саме производе хранљиве материје. У зависности од енергетског извора који користе у процесу синтезе могу се поделити на фотосинтетичке и хемосинтетичке.

- **Фотосинтетичке бактерије** помоћу сунчеве светлости врше фотосинтезу, при чему се не ослобађа кисеоник (за разлику код биљних врста).
- **Хемосинтетичке бактерије** користе оксидо-редукционе процесе различитих неорганских једињења за производњу хране.

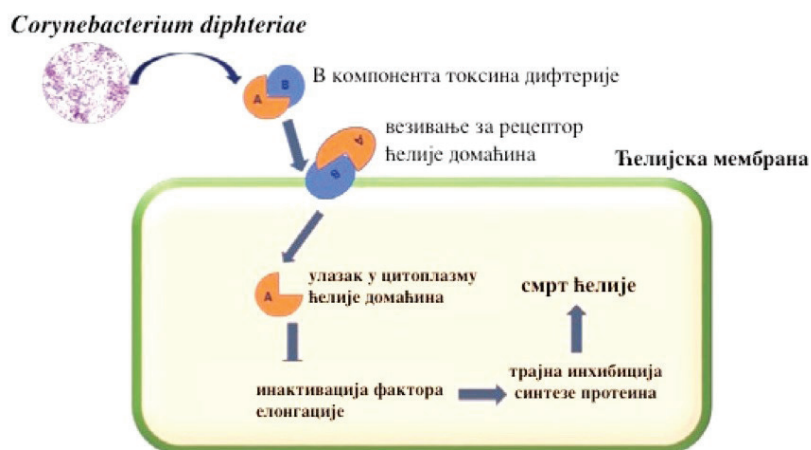
Хетеротрофне бактерије (грч. heteros – други, различит и trophe – исхрана) усвајају готове хранљиве материје из спољашње средине. У зависности од порекла органске материје хетеротрофи се деле на сапрофитне и паразитске организме.

- **Сапрофитни организми** разлажу органске материје из угинулих организама и различитог органског отпада на једноставније органске и неорганске (минералне) компоненте. Помоћу посебних ензима

које луче, сапрофити разлажу крупне органске молекуле на ситније органске и неорганске молекуле чиме представљају најзначајније разлагаче тј. минерализаторе у животној средини.

- **Паразити** усвајају органске материје из живих организама и живе на рачун домаћина. У одређеним условима могу нарушити природни метаболизам и изазивати болест домаћина (патогени организми). Већина патогених организама лучи токсине (отровне супстанце) које могу бити изазивачи различитих болести (куга, колера, тифус, дифтерија и друге).

Слика 135. Механизам деловања токсина бактерије изазивача дифтерије (*Corynebacterium diptheriae*)



Метаболитички процес који је такође важан за оптималан развој бактерије укључује и облике ћелијског дисања. Постоје три начина дисања бактерија: аеробна, анаеробна и факултативна респирација. **Аеробна респирација** се односи на аеробне бактерије које своје метаболичке процесе обављају уз присуство кисеоника. **Анаеробно дисање** обухвата процес ферментације или врења који обављају анаеробне бактерије без присуства кисеоника. Трећу групу чине **факултативне анаеробне бактерије** које су прилагођене условима са и без присуства кисеоника.

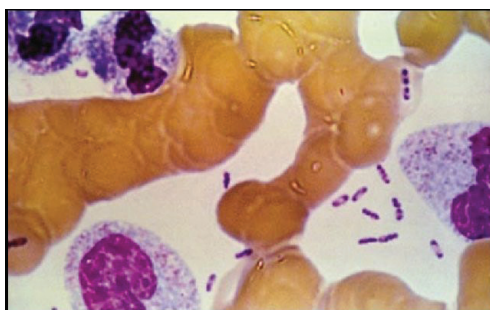
8.3.3. Бактеријске пандемије

I. Пандемијска болест куге

Куга је зооноза која се обично преноси са животиња на човека преко заражених бува. Главни узрочних обољења је бактерија *Yersinia pestis*, која се размножава у бувама, најчешће из реда *Siphonaptera*, које уједно представљају и главне векторе преноса.

Yersinia pestis је непокретан, споро растући, факултативни организам који припада породици *Enterobacteriaceae*. Ова бактерија представља грам-негативни кокобацил који се углавном јавља као појединачна ћелија или у пару и која може показати биполарно бојење из директног узорка (бојење Wright или Giemsa мрљама).

Слика 136. Тамно обојени биполарни крајеви бактерије *Yersinia pestis* на Wright-овој мрљи од крви жртве куге (1993)



Слика 137. Географска дистрибуција људске куге са жариштима заражених дивљих животња (1970 – 2004)

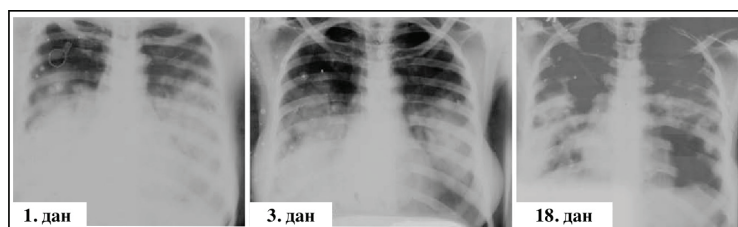


Бактерија *Yersinia pestis*, узрочник куге, има дугу историју описану у епидемијама и пандемијама од библијских времена. Процењује се да је у средњем веку усмртила више од 40% европске популације. У новијој историји, пандемија куге је почела у Кини средином XIX века (1860. године) и касније се проширила по Америци, Африци и другим деловима Азије. Почетком XX века, Индија је забележила преко 10 милиона смртних случајева, а између 1960-1970 године, Вијетнам је такође био захваћен епидемијом куге (Perry, 1997).

Симптоми куге зависе од тога како је пацијент био изложен бактерији куге. Куга може имати различите клиничке облике, али најчешћи су бубонски, пнеумонични и септикемични.

- **Бубонска куга** је резултат уједа заражене буве. Бактерије се размножавају у лимфном чвору близу места где су бактерије ушле у људско тело. Пацијенти добијају грозницу, главобољу и слабост и један или више натечених, болних лимфних чворова (званих бубо). Ако се пацијент не лечи одговарајућим антибиотицима, бактерија се може проширити на друге делове тела.
- **Септикемијска куга** се може јавити као први симптом куге или се може развити из нелечене бубонске куге. Овај облик је резултат уједа заражених бува или контакта са зараженом животињом. Пацијенти добијају грозницу, екстремну слабост, као и некрозу ткива посебно на екстремитетима.
- **Пнеумонича куга** се може добити удисањем инфективних капљица или се може развити од нелечене бубонске или септикемичне куге након што се бактерија прошири на плућа. Пацијенти добијају грозницу, главобољу, слабост и инвазивну упалу плућа. Пнеумонија може изазвати респираторну инсуфицијенцију и шок. Плућна куга је најтежи облик болести и једини је облик куге који се може пренети са човека на човека (заразним капљицама).

Слика 138. Серијски рендгенски снимци предњег грудног коша са примарном плућном кугом и обостраним обољењем доње плућне зоне.

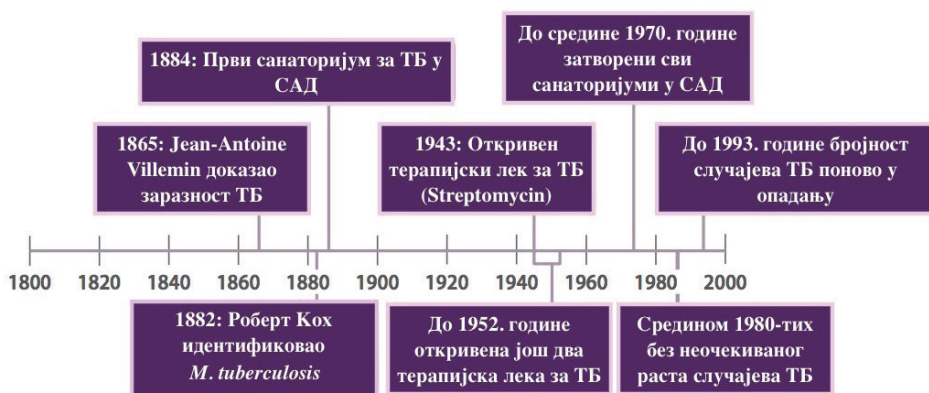


I. Епидемија беле куге – туберкулоза

Туберкулоза (ТБ) је болест која погађа људе вековима. Кроз историју се називала конзумација, болест исцрпљивања или бела куга. До средине XIX века сматрана је наследном болешћу или последицом нездравог живота. За већину заражене популације, дијагностикована туберкулоза била је спора смртна пресуда.

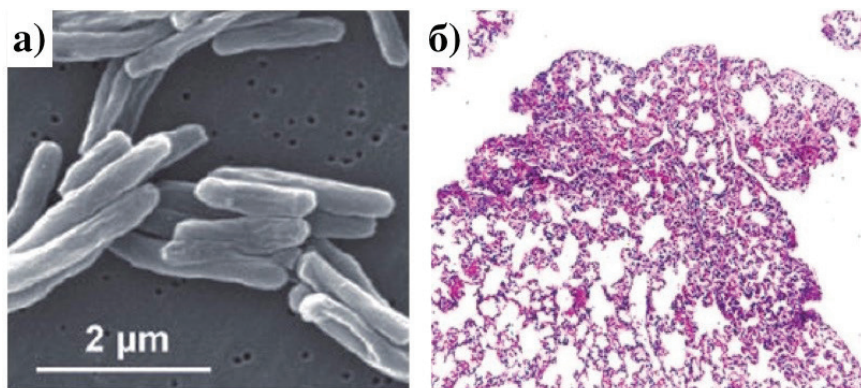
Први продор у научним истраживањима туберкулозе преписује се француском хирургу Жан-Антоан Вилемену (фр. Jean-Antoine Villemin) које је 1865. године доказао да је туберкулоза заразна болест, а касније 1882. године немачки научник Роберт Кох идентификовао је бактерију која изазива туберкулозу. Упркос томе, тек средином XX века откривени су терапијски лекови за туберкулозу. Пробој је дошао 1943. године када су амерички научник Селман Ваксман (енг. Selman Waksman) и један од његових помоћника, Алберт Шац (енг. Albert Schatz), открили лек који може да инхибира рад бактерије туберкулозе (CDC, 2019).

Слика 139. Хронологија главних догађаја у историји болести туберкулозе



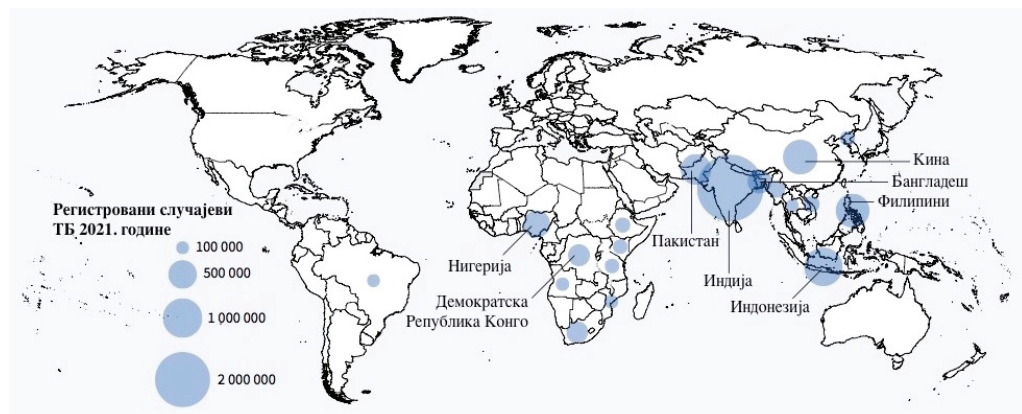
Туберкулоза (ТБ) је заразна болест узрокована код људи углавном бактеријом *Mycobacterium tuberculosis* (МТБ). Инфекција ТБ се шири ваздухом када бацили туберкулозе улазе у људско тело углавном преко респираторних органа. Ове честице су довољно мале да буду у стању да допру до доњих дисајних путева. Јачина инфекције и развој плућног облика туберкулозе зависе од четири узастопна корака: фагоцитозе бацила, њиховог интрацелуларног умножавања, латентне фазе инфекције и на крају активне инфекције плућа.

Слика 140. Микроскопски приказ: а) *Mycobacterium tuberculosis*; б) Исечак плућног ткива са интерстицијском пнеумонијом



Према узвештају СЗО, сваке године 10 милиона људи оболи од туберкулозе. Упркос томе што је болест која се може спречити и излечити, око 1,5 милиона случајева туберкулозе са леталним исходом региструје се сваке године што је чини највећим светским заразним биолошким хазардом. Процењује се да је 10,6 милиона људи оболело од туберкулозе широм света само током 2022. године (WHO, 2022).

Слика 141. Процењена инциденција туберкулозе у 2021. години за земље са најмање 100 000 случајева инцидената (означене су земље које су од првог до осмог места по броју случајева и које су чиниле око две трећине глобалних случајева у 2021. години).



8.4. ИЗАЗОВИ ИСТРАЖИВАЊА ЕПИДЕМИОЛОГИЈЕ ЖИВОТНЕ СРЕДИНЕ

Највећи изазови везани за истраживања епидемиологије животне средине односе се на прецизност мерења штетности одређеног фактора, јер се са мерењима почиње најчешће након експозиције и појаве првих симптома. Такође, несигурност процене ризика и дозе последице су дугог периода инкубације и деловања других реметећих фактора (енг. *confounding factor*). Валидност идентификовања узрочно-последичне везе фактора средине и присуства одређене болести зависе од сагледавања података на ширем нивоу (регионалном, глобалном..).

Кроз упоређивање разлика инциденције или морталитета за одређене болести и присуства одређених фактора ризика, мере се подаци у макросредини и микросредини, вредности мерењима физиолошких ефеката и други (Гледовић и сар., 2009). Када говоримо о епидемиолошким истраживањима животне средине, најзначајнија истраживања се воде из области:

- **аерозагађења** које представља један од највећих проблема јавног здравља настао услед прекорачене концентрације штетних агенаса у ваздуху;
- **сонорног загађења (загађења буком)** као једног од водећих савремених еколошких нокса, изазивача обољења која се јављају као последица дуже изложености буци;
- **утицаја јонизирајућег природног и вештачког зрачења** који је један од водећих узрока многих малигних обољења у популацији;
- **утицаја нејонизирајућег**, претежно електормангнетног зрачења као потенцијалног ризика различитих малигнитета, леукемије, депресије и сл.;
- **индустријализације** као феномена савремене глобализације која доводи до поремећаја еколошке равнотеже услед претеране експлоатације природних ресурса (емисија фосилних горива, редуковање озонског омотача, повећавање ефеката стаклене баште и друго).

8.4.1. Епидемиолошке методе и њихова примена у истраживањима

Савремена епидемиолошка истраживања најчешће обухватају: а) дескриптивни, б) аналитички и в) експериментални метод.

а) Под **дескриптивне студије** спадају еколошке студије, приказ случајева и серије случајева.

- **Еколошке (корелационе) студије** су експерименталне студије које се баве линеарном повезаношћу неког обољења (фактори преваленције, морталитета и сл.) са одређеним фактором (пушење, конзумација опијата, загађен ваздух...). Линеарна корелација обухвата компарацију резултата једне популације или различитих популационих група у различитим временским интервалима. Еколошке студије се користе у примарним фазама и најчешће за формулисање хипотезе већих и сложенијих истраживања.
- **Студије случаја и серије случајева** представљају дескриптивне студије које се примењују услед некарактеристичних налаза за одређена здравствена стања, неуобичајних симптома болести или присуства болести код неочекиваних популационих група.

б) **Аналитичке методе** примењују се претежно током опсервационих поступака и приликом тестирања поузданости постављених или формулисања нових истраживачких хипотеза. Аналитичка метода је присутна у кохортним и анамнестичким студијама, као и у студијама пресека.

- **Кохортне студије** се баве анализом узрока кроз мониторинг даљег развоја болести. Укључују већу поузданост података, лако доказиву временску корелацију између експонираности субјеката и болести, као и директну процену ризика (еколошког, атрибутивног...).
- **Анамнестичке студије** (студије случајева и контролна група) анализирају последицу односно болест и све потенцијалне факторе ризика. Обухватају краћи временски интервал испитивања, мањи број испитаника, изучавање везе између више фактора експонираности и једне болести, као и испитивање ретких болести.
- **Студије пресека** (студије преваленце) истовремено вреднују степен експонираности субјеката и присуство неке болести. Карактерише их краћа реализација истраживања на већем узорку опште популације уз генерализацију добијених резултата (закључака).

в) **Експериментална метода** је саставни део сложених експерименталних студија у којима се обезбеђују резултати кроз систем строго контролисаних услова које одређује истраживач. Ова тип студије пружа највећу поузданост резултата и из тог разлога се примењује услед тестирања безбедности лекова или процедуре, ефикасности мера превенције, као и организације здравствено-безбедносних служби. Експерименталне студије укључују систем рандомизације узорка, као и принцип етичке сагласности и информисаног пристанка испитаника. У зависности од циља истраживања постоји више врста експерименталних студија:

- **Клинички експеримент** укључује компарацију резултата студијске и контролне групе испитаника, а везује се за тестирање ефикасности неког лека или процедуре у лечењу.
- **Теренски експеримент** се бави испитивањем утицаја одређених агенаса на степен обољевања већег броја испитаника уз дужи период мониторинга.
- **Експеримент у друштвеној заједници** обухвата испитивање ефикасности одређених заштитних мера или управљања потенцијалним факторима ризика на здравље популације кроз компарацију стања пре и после примене мера.

Списак литературе, табела и слика:

Литература:

- CDC, 2019. Self-Study Modules On Tuberculosis: Transmission and Pathogenesis of Tuberculosis (1 Module). U.S. DEPARTMENT OF HEALTH AND HUMAN SERVICES, Centers for Disease Control and Prevention, Atlanta, Georgia.
- Chiu, W., Burnett, R.M., Garcea, R.L. 1997. Structural biology of viruses. Oxford University Press, New York.
- Damon I. 2005. Orthopoxviruses: Vaccinia (Smallpox Vaccine), Variola (Smallpox), Monkeypox, and Cowpox. In: Mandel GL, Bennett JE, Dolin R, eds. Principles and practice of infectious diseases. 6 ed. New York: Churchill Livingstone, 1742-1751.
- Гледовић, З., Јанковић, С., Јаребински, М., Марковић-Денић, Љ., Пекмезовић, Т., Шипетић-Грујичић, С., Влајинац, Х. 2009. Епидемиологија. Медицински Факултет Београд. ISBN: 9788671172547
- Hu, B., Guo, H., Zhou, P., Zheng-Li, Shi. 2021. Characteristics of SARS-CoV-2 and COVID-19. Nature Reviews Microbiology, 19, 141–154. <https://doi.org/10.1038/s41579-020-00459-7>
- Институт за јавно здравље Србије „Др Милан Јовановић Батут“, 2023. Извештај о заразним болестима у Републици Србији за 2022. Годину. Институт за јавно здравље Србије „Др Милан Јовановић Батут“. <https://www.batut.org.rs/index.php?content=2478>
- Johnson, Yvette & Kaneene, John. (2018). Epidemiology: From Recognition to Results. In book: Beyond One Health. DOI: 10.1002/9781119194521.ch1
- Kapila, A., Chaudhary, Sankalp, Sharma, Ram Babu, Vashist, H., Sisodia, Siddhraj, Gupta, Avneet. 2016. A REVIEW ON: HIV AIDS. Indian Journal of Pharmaceutical and Biological Research. 4. DOI: 10.30750/ijpbr.4.3.9
- Лалошевић, В. 2011. Микробиологија. Пољопривредни факултет у Новом Саду, Департман за ветеринарску медицину. Мала књига Нови Сад. ISBN 978-86-7520-214-1
- Perry R. D., J. D. Fetherston. 1997. Yersinia pestis—etiologic agent of plague. Clin Microbiol Rev. 10:35–66.
- World Health Statistics, 2023. Monitoring health for the SDGs, Sustainable Development Goals. Geneva: World Health Organization; 2023. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.
- WHO, 1989. Variola virus and other Orthopoxviruses (Chapter 2), Smallpox and Its Eradication (History of International Public Health, No. 6), World Health Organization. ISBN-10 : 9241561106

WHO, 2022. Global Tuberculosis Report (2022). Geneva: World Health Organization; 2022. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO. ISBN 978-92-4-006172-9

Yung-Fang, Tu, Chian-Shiu Chien, Aliaksandr A. Yarmishyn, Yi-Ying Lin, Yung-Hung Luo, Yi-Tsung Lin, Wei-Yi Lai, De-Ming Yang, Shih-Jie Chou, Yi-Ping Yang, and et al. 2020. A Review of SARS-CoV-2 and the Ongoing Clinical Trials. International Journal of Molecular Sciences 21 (7), 1-19. <https://doi.org/10.3390/ijms21072657>

Сликe:

Слика 119 и 120. Модификовано: https://www.researchgate.net/publication/323678367_Epidemiology_From_Recognition_to_Results/figures?lo=1

Слика 121. Модификовано: <https://www.science-sparks.com/journey-of-a-virus-how-a-virus-infects-the-body/>

https://www.researchgate.net/publication/225839406_Epidemiology_and_Natural_History_of_Hepatitis_C_in_Children

Слика 122. Модификовано: <https://bpsbioscience.com/pseudoviruses-sars-cov-2-research>

Слика 123. Модификовано: Hu, B., Guo, H., Zhou, P., Zheng-Li, Shi. 2021. Characteristics of SARS-CoV-2 and COVID-19. Nature Reviews Microbiology, 19, 141–154. <https://doi.org/10.1038/s41579-020-00459-7>

Слика 124. Модификовано: <https://www.batut.org.rs/download/izvestaji/GodisnjilzvestajZarazneBolestiSrbija2022.pdf>

Сликe 125 и 126. Модификовано: World Health Statistics, 2023. Monitoring health for the SDGs, Sustainable Development Goals. Geneva: World Health Organization; 2023. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.

Слика 127. Модификовано: <https://www.batut.org.rs/index.php?content=2478>

Слика 128. Модификовано: <https://emedicine.medscape.com/article/237229-clinical>

Слика 129 и 130. Модификовано:

https://biotech.law.lsu.edu/blaw/bt/smallpox/who/red-book/9241561106_chp2.pdf

Слика 131 и 132. Модификовано: Лалошевић, В. 2011. Микробиологија. Пољопривредни факултет у Новом Саду, Департман за ветеринарску медицину. Мала књига Нови Сад. ISBN 978-86-7520-214-1

Слика 133. Модификовано: https://www.researchgate.net/publication/357901900_Bacteria-Assisted_Transport_of_Nanomaterials_to_Improve_Drug_Delivery_in_Cancer_Therapy/figures?lo=1

Слика 134. Модификовано: https://www.researchgate.net/publication/325450125_Small_Universal_Bacteria_and_Plasmid_Computing_Systems/figures?lo=1

Слика 135. Модификовано: https://www.researchgate.net/publication/321167409_Pathogenesis_of_Corynebacterium_diphtheriae_and_available_vaccines_An_Overview

Слика 136. Модификовано: https://www.researchgate.net/publication/7565384_Plague_From_Natural_Disease_to_Bioterrorism

Слика 137. Модификовано: https://www.researchgate.net/publication/278683207_Plague_-_a_forgotten_threat_to_the_modern_world

Слика 138. Модификовано: <https://www.semanticscholar.org/paper/Pneumonic-Plague-Cluster%2C-Uganda%2C-2004-Begier-Asiki/83f988e269b4a-6738a4314af2f9f1188e459536f/figure/1>

Слика 139. Модификовано: <https://www.cdc.gov/tb/education/ssmodules/pdfs/module1.pdf>

Слика 140. Модификовано: https://www.researchgate.net/publication/264937444_Physical_and_Biological_Properties_of_Bioaerosols/figures?lo=1

https://www.researchgate.net/publication/11260811_Old_Mice_Express_a_Transient_Early_Resistance_to_Pulmonary_Tuberculosis_That_Is_Mediated_by_CD8_T_Cells/figures?lo=1

Слика 141. Модификовано: <https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/363752/9789240061729-eng.pdf?sequence=1>

Биографије аутора



др Маја Вујчић Тркуља

Маја Вујчић Тркуља рођена је 1985. године у Београду где је завршила основну школу и Земунску гимназију природно-математички смер. Основне студије похађала је и завршила 2011. године на Одсеку за пејзажну архитектуру и хортикултуру Шумарског факултета, Универзитета у Београду. Докторску дисертацију из области биотехничких наука одбранила је 2018. године на Шумарском факултету, Универзитета у Београду.

Од 2015. до 2018. године била је ангажована као сарадник у настави на основним и мастер студијама Одсека за пејзажну архитектуру и хортикултуру Шумарског факултета, Универзитета у Београду. Од 2015. до 2016. године сарађивала је са Институтом за ментално здравље у Београду на студији: *„Истраживање утицаја боравка у природи на психијатријске пацијенте“*.

2016. године као стипендиста у склопу пројекта FP1204 COST Action остварила је међународну сарадњу са: Sweedish University of Agricultural Science, Alnarp и CNR Institute of Agroenvironmental and Forest Biology and the Ministry of Environment of Germany, Duisburg, Germany.

Од 2019. године ангажована је у звању доцента на студијском програму Животна средина и одрживи развој, Универзитета Сингидунум.

Маја Вујчић Тркуља до сада је објавила преко 20 научних и стручних радова. Аутор је или коаутор два поглавља монографије.



др Мирослав Поповић

Мирослав П. Поповић рођен је у Бањалуци 1981. године, где је завршио основну школу, гимназију и средњу музичку школу. На Универзитету у Београду завршио је студије на Хемијском (2004), Физичком (2009) и Православном богословском факултету (2008). Радио као истраживач-сарадник на Институту за физику у Земуну, потом као асистент на Физичком факултету Универзитета у Београду, у областима ласерске, атомске и молекулске физике, као и хемије и физике материјала. На Универзитету Калифорније у Берклију (UC Berkeley) завршио је докторат 2017. године бавећи се истраживањима у области физике и хемије соларних и нуклеарних материјала, а потом је још две године радио на истом универзитету као истраживач на пројектима и као предавач (lecturer).

Током боравка и рада на UC Berkeley био је ангажован на пројектима *High Operating Temperature Heat Transfer Fluids for Solar Thermal Power Generation* (U.S. DOE SunShot project), *Fundamental Understanding of Transport Under Reactor Extremes* (U.S. DOE Energy Frontiers Research Center), *Understanding self-assembled He-bubble superlattices under deformation in materials utilizing novel experimental methods* (U.S. NSF). Током 2014-2017. укључен је и у истраживања при Advanced Light Source у оквиру Lawrence Berkeley National Laboratory, као и при National Center for Electron Microscopy.

Од 2020. године ангажован је у звању ванредног професора на Универзитету Сингидунум.

Аутор је или коаутор преко 20 научних и стручних публикација, и учесник више десетина конференција, научних скупова, панела и гостовања. Добитник је неколико стипендија, награда и научних признања током свог студирања и рада.

© 2024.

Sva prava zadržana. Nijedan deo ove publikacije ne može biti reprodukovan u bilo kom vidu i putem bilo kog medija, u delovima ili celini bez prethodne pismene saglasnosti izdavača.



Маја Вујчић Тркуља
Мирослав Поповић

ПРИРОДНИ ХАЗАРД

Еволутивни развој и опстанак организама на Земљи пролазио је кроз различите геолошко-палеонтолошке епохе и зависио је од њихове оригиналне адаптације на промене еколошких услова у животном окружењу. Уколико би сагледали примарно животно окружење и животну средину којој данас припадамо, могли би да разумемо сву сложеност еволутивних процеса живих организама и изложеност природним појавама које су угрожавале њихов опстанак на земљи.

Природне појаве које у већој или мањој мери, својим деловањем, могу угрожити здравље и безбедност људи, проузроковати материјалну штету и крајње се негативно одразити на животну средину могу се подвести под појам природни хазард. Природни догађаји, који су интензивни и креирају потенцијалне губитке у еколошком, социјалном, економском и другим аспектима јесу често елементарне непогоде. Под елементарним и другим већим непогодама подразумевају се: вулканизми, земљотреси, поплаве, бујице, атмосферске непогоде, суше, снежни наноси и лавине, клизање земљишта, пожари и пандемије. Ове природне појаве дешавале су се раније, а дешаваће се и у будућности, јер представљају нераскидиву везу свих развојних процеса живих организама и њихове непосредне околине. Њихов настанак, обим и време трајања у већини случајева се не може унапред предвидети, али се за извесне појаве, на основу искустава, статистичких података и метода моделовања може објаснити процес који доводи до „хазарда“ и предвидети последице његовог деловања, узимајући у обзир разраду свих додатних ризика по друштво.

Сасвим је извесно да је проучавање „природног хазарда“ мултидисциплинарно и сложено и да за препознавање, праћење, предвиђање последица и евентуалну превенцију различитих облика природног хазарда, потребан је тимски рад експерата из различитих области науке и истраживања.