

***Klimatske promjene i
zagađenje zraka***

Urednici: Emina Hadžić i Nihad Fejzić

Sarajevo, 2025.

Prof. dr. Emina Hadžić
Prof. dr. Nihad Fejzić

Klimatske promjene i zagađenje zraka

Izdavač:	Univerzitet u Sarajevu - Centar za interdisciplinarne studije "Prof. dr. Zdravko Grebo"
Za izdavača:	Prof. dr. Rifat Škrijelj, direktor
Recenzenti:	Prof. dr. Samir Đug Prof. dr. Sabina Šerić-Haračić
Lektor:	Lamija Subašić
Priprema za štampu:	Minja Mirković

ISBN 978-9926-541-01-9

CIP zapis dostupan u COBISS sistemu Nacionalne i univerzitetske biblioteke BiH pod

ID brojem **63810566**

***“Pravi napredak se događa kada se ljudi iz različitih područja okupe
za rješavanje najsloženijih svjetskih izazova.”
L. Rafael Reif, rektor MIT-a***

Predgovor

Knjiga “Klimatske promjene i zagađenje zraka” rezultat je projekta Ljetne škole “Klimatske promjene i zagađenje zraka”, održanog od 1. do 5. jula 2024. godine u Centru za interdisciplinarne studije Univerziteta u Sarajevu. Ovaj projekat je realizovan uz podršku i finansiranje UNICEF-a u Bosni i Hercegovini. Ovo ulaganje u obrazovanje i osnaživanje mladih omogućilo je Ljetnoj školi da postane platforma za razmjenu znanja, podizanje svijesti i izgradnju kapaciteta budućih lidera_ica i stručnjaka_inja posvećenih stvaranju održivije budućnosti, na čemu smo nevjerovatno zahvalni.

Klimatske promjene predstavljaju ozbiljnu prijetnju koja utječe na sve aspekte ljudskog života, okoliša i planete. Posljedice se manifestiraju kroz gubitak biološke raznolikosti, povećanje prosječnih temperatura, zagađenja zraka, vode i tla, te povećanje učestalosti i intenziteta padavina, što dovodi do poplava, bujica, suša, požara i drugih prirodnih nepogoda sa katastrofalnim posljedicama. Osim toga, klimatske promjene značajno utječu na ljudsko zdravlje, olakšavajući širenje zaraznih bolesti.

Stanovništvo, posebno u urbanim područjima, često je izloženo zagađenju zraka koje prelazi nivo utvrđene smjernicama Svjetske zdravstvene organizacije (WHO). Upravljanje kvalitetom zraka je od suštinskog značaja za očuvanje javnog zdravlja i smanjenje negativnih utjecaja zagađenja na okoliš.

S obzirom na složenost klimatskih promjena i njihovih posljedica, potreban je interdisciplinarni pristup kako bi se sagledala šira slika i pronašla praktična rješenja. Edukacija mladih o važnosti zaštite okoliša, utjecaju ljudskih aktivnosti, preventivnim mjerama i jačanju kapaciteta društva za ublažavanje i otpornost jedna je od najznačajnijih dugoročnih mjera koja može proizvesti pozitivne rezultate.

Naša misija je bila okupiti stručne osobe iz različitih disciplina kako bi razgovarali o izazovima koje predstavljaju klimatske promjene i zagađenje zraka, posebno naglašavajući balkansku regiju. Čitateljstvu nudimo sveobuhvatan uvid u ova kritična globalna pitanja kroz teorijske radove, praktične radionice i iskustva Ljetne škole. Nadamo se da će ova knjiga doprinijeti razumijevanju i djelovanju prema održivijoj budućnosti.

Prvi dio knjige, "Teorijske perspektive klimatskih promjena i zagađenja zraka", okuplja radove vodećih istraživača i istraživačica i stručnjaka i stručnjakinja, koji pružaju dubok uvid u kritične naučne, zdravstvene i ekološke aspekte klimatskih promjena i zagađenja zraka. Svaki rad istražuje specifične aspekte ovih tema, oslanjajući se na najnovija istraživanja i podatke kako bi se stvorila jasna slika trenutnog stanja i budućih izazova.

Ovaj dio knjige pruža teorijski okvir za razumijevanje klimatskih promjena i zagađenja zraka, oslanjajući se na naučne činjenice, podatke i perspektive kako bi čitateljstvu pružio dublji uvid u složenost ovih pitanja. Nadamo se da će ovi radovi poslužiti kao vrijedna baza za daljnja istraživanja i inspirirati čitatelje i čitateljice da se aktivno uključe u rješavanje ovih globalnih izazova.

Ovaj odjeljak počinje osnovnim opisom Zemljinog klimatskog sistema, koji objašnjava temeljne procese i sile koje upravljaju klimom naše planete. Ovaj uvod postavlja temelje za razumijevanje složenih interakcija između atmosfere, okeana i kopnenih ekosistema.

Sljedeći radovi analiziraju uzroke, posljedice i buduće projekcije klimatskih promjena, istražujući kako ljudske aktivnosti, kao što su emisije stakleničkih plinova, oblikuju našu klimatsku budućnost. Oni pružaju pregled naučnih projekcija o tome šta nas čeka u narednim decenijama, ako se ne poduzmu adekvatne mjere.

Poseban fokus je stavljen na zdravstvene posljedice klimatskih promjena i zagađenja zraka, uključujući radove o njihovom utjecaju na kardiovaskularno zdravlje i ljudsko zdravlje općenito. Ovi radovi pružaju uvid u utjecaj klimatskih promjena na pogoršanje postojećih bolesti i njihovu ulogu u nastanku novih zdravstvenih prijetnji, poput zoonotskih bolesti.

U posebnom radu analizirani su poljoprivreda i prehrambeni sistemi kao značajni izvori emisije stakleničkih plinova, s posebnim fokusom na proizvodne sisteme zasnovane na životinjama. Rad predlaže mjere za smanjenje emisija kroz primjenu održivih poljoprivrednih praksi.

Prirodni resursi, kao što su voda i šume, ključni su u kontekstu klimatskih promjena i detaljno su obrađeni u radovima o vodnim resursima i šumama. Poseban naglasak je stavljen na studije slučaja iz Bosne i Hercegovine, koje pružaju lokalnu perspektivu globalnih problema.

Zagađenje zraka i klimatske promjene, kao dva nerazdvojna fenomena, analizirani su u kontekstu saobraćaja, urbanog planiranja i njihovog utjecaja na okoliš. Kroz radove se razmatraju moguće mjere ublažavanja negativnih učinaka ovih sektora na zagađenost zraka i na klimu. Rad o kvalitetu zraka, uzrocima, posljedicama i preporukama se nadovezuje na preporuke za poboljšanje kvaliteta zraka u Bosni i Hercegovini kroz specifične preporuke za jačanje politika i zakonodavstva.

Sveobuhvatna analiza ovih tema završava radom koji istražuje koncept nasilja u okolišu. Ovaj rad izaziva čitatelje i čitateljice da preispitaju dominantne narative o ekološkim problemima i predlože nove, pravednije pristupe.

Drugi dio, "Interaktivno učenje: Radionice o klimatskim promjenama i zagađenju zraka", predstavlja praktični segment knjige. Ovaj dio daje pregled interaktivnih radionica tokom Ljetne škole. Fokus je na analizi dionika u pitanjima očuvanja prirode i klime i potrebe za multidisciplinarnim pristupom rješavanju problema. Izvanredan aspekt koji je realizovan kroz

radionice odnosi se na sve veći utjecaj klimatskih promjena i kriza na mentalno zdravlje ljudi, s posebnim naglaskom na mlade ljude. Radionice su osmišljene tako da sudionicima pruže konkretne alate i strategije za djelovanje u njihovim zajednicama.

Treći dio knjige, "Uvidi iz Ljetne škole o klimatskim promjenama i zagađenju zraka", pruža pregled same Škole. Ovaj odjeljak sadrži fotografije, razmišljanja i detalje o ključnim događajima i školskim ciljevima. Ovdje je dat uvid u atmosferu i rad Škole, uključujući izazove i uspjehe s kojima smo se suočili. Povezivanje teorijskog i praktičnog znanja predstavljenog u ovom dijelu omogućava razumijevanje kako su učesnice i učesnici Škole prepoznali hitnost problema i stekli nove vještine i znanja za borbu protiv klimatskih promjena i zagađenja zraka. Ova knjiga nije samo zbirka istraživačkih radova i praksi već i poziv na akciju. Nadamo se da će inspirirati čitateljstvo da se aktivno uključi u rješavanje ovih kritičnih pitanja, bilo kroz istraživanje, obrazovanje ili konkretne akcije u zajednicama. Klimatske promjene i zagađenje zraka su globalni izazovi koji zahtijevaju hitnu pažnju i zajedničku akciju svih nas. To nije problem koji možemo riješiti sami, ali zajedno možemo napraviti značajan utjecaj.

Emina Hadžić,

redovna profesorica na Univerzitetu u Sarajevu - Građevinski fakultet

Nihad Fejzić,

redovni profesor na Univerzitetu u Sarajevu - Veterinarski fakultet

Sadržaj

DIO I - TEORIJSKE PERSPEKTIVE KLIMATSKIH PROMJENA I ZAGAĐENJA ZRAKA	21
Klimatski sistem Zemlje <i>Nusret Drešković, Edin Hrelja</i>	23
Klimatske promjene, uzroci, posljedice, buduće projekcije klimatskih promjena <i>Edin Hrelja, Nusret Drešković</i>	39
Utjecaj onečišćenog zraka i klimatskih promjena na kardiovaskularno zdravlje <i>Senka Mesihović-Dinarević</i>	49
Zagađenost zraka i utjecaj na zdravlje ljudi <i>Aida Kulo Ćesić</i>	67
Utjecaj klimatskih promjena na pojavu i širenje zoonotskih bolesti <i>Nihad Fejzić</i>	87
Emisija stakleničkih gasova iz poljoprivredne proizvodnje sa fokusom na sisteme proizvodnje hrane animalnog porijekla <i>Senada ČengiĆ-Džomba</i>	109

Klimatske promjene i utjecaj na vodne resurse <i>Emina Hadžić</i>	129
Klimatske promjene i šumski resursi <i>Mersudin Avdibegović</i>	143
Utjecaj saobraćaja i komunikacija na zagađivanje okoliša i klimatske promjene <i>Ermin Muharemović</i>	161
Ublažavanje klimatskih promjena i poboljšanje kvaliteta zraka <i>Azrudin Husika</i>	177
Kvalitet zraka u BiH - uzroci, posljedice i preporuke <i>Ismar Jamaković</i>	189
Promišljanje o gradovima i zgradama za bolji kvalitet života i kvalitetniji unutrašnji zrak <i>Sanela Klarić, Nadir Spahić</i>	205
Bosna i Hercegovina u Otpadocenu: Okvir za analizu ekološkog nasilja <i>Damir Arsenijević</i>	227
DIO II - INTERAKTIVNO UČENJE: RADIONICE O KLIMATSKIM PROMJENAMA I ZAGAĐENJU ZRAKA	237
Analiza utjecaja interesnih strana u očuvanju prirode i klimatskim promjenama: Korištenje matrice interes-moć <i>Belma Nahić</i>	239
Radionica kao alat za podizanje svijesti o potrebi multidisciplinarnog pristupa problemima klimatskih promjena <i>Sajma Merdan</i>	247
Utisci nakon Ljetne škole "Klimatske promjene i zagađenje zraka" mpressions from the Summer School „Climate Change and Air Pollution “	253

Zahvale

Posebnu zahvalnost dugujemo našim ključnim partnerima i donatorima, bez kojih provedba Ljetne škole “Klimatske promjene i zagađenje zraka” ne bi bila moguća. Njihova podrška omogućila je da se ova Škola održi na najvišem nivou, pružajući obrazovanje i praktične vještine mladim liderima koji se suočavaju sa klimatskim promjenama i izazovima zagađenja zraka.

Iskreno zahvaljujemo UNICEF-u, koji je prepoznao vrijednost ove inicijative i pružio finansijsku i logističku podršku, i Vladi Švedske na njihovoj dugoročnoj posvećenosti podršci obrazovnim i ekološkim projektima.

Naši partneri dijele zajedničku viziju za bolje društvo i održivu budućnost, što je u skladu s misijom Ljetne škole. Zajedno smo stvorili platformu za mlade profesionalce, osnažujući ih da se uhvate u koštac s globalnim izazovima. Zahvalni smo na njihovoj ulozi u omogućavanju ove prilike i radujemo se budućim saradnjama koje promoviraju obrazovanje i održivost.

Iz recenzija...

Djelo „Klimatske promjene i zagađenje zraka“ pokriva širok raspon tema povezanih sa jednim od najznačajnijih pitanja današnjice, pružajući čitateljima temeljito razumijevanje ove teme. Ovo originalno djelo, koje je pripremio interdisciplinarni tim autora koji vješto spajaju naučne činjenice, podatke i praktične primjere kako bi osigurali sveobuhvatan prikaz ovog složenog problema, u potpunosti ispunjava propozicije pisanja stručne monografije. Rukopis je napisan jasno i pregledno, a poglavlja čine kontinuirani logički slijed. ...ova publikacija će svakako poslužiti i kao dobro polazište istraživačima iz različitih oblasti koji se bave istraživanjima različitih aspekata klimatskih promjena i njihovog utjecaja na kvalitet života savremenog čovjeka. Relevantnost ovog djela za savremene politike i inicijative za ublažavanje klimatskih promjena čini ga izuzetno korisnim i za donosiocje odluka.

Prof. dr. Samir Đug

Knjiga „Klimatske promjene i zagađenje zraka“ (engl. Climate change and air pollution) predstavlja značajan korak u razumijevanju jednog od najhitnijih izazova našeg vremena - izazova koji utječe ne samo na zrak koji udišemo već i na cjelokupnu budućnost naše planete. Kao voditeljica Master studija „One Health“ pri Centru za interdisciplinarne studije Univerziteta u Sarajevu, prepoznajem veliki značaj ove publikacije kojom se ističe povezanost zdravlja okoliša, ljudi i životinja, što se nalazi u samoj srži koncepta „One Health“. Klimatske promjene i zagađenje zraka nisu izolirani problemi; oni su duboko povezani s našim zdravstvenim sistemima, poljoprivrednim praksama, ekosistemima, pa čak i našim ekonomskim aktivnostima.

Bilo da ste ekološki naučnik, kreator politike ili jednostavno neko ko duboko brine o svijetu u kojem živimo, „Klimatske promjene i zagađenje zraka“ je publikacija namjenjena otvaranju očiju i pozivu na akciju. Nalazimo se na kritičnoj tački u ljudskoj historiji, gdje razumijevanje ovih izazova nije samo važno već i neophodno.

Prof. dr. Sabina Šerić-Haračić

Autori i autorice

Prof. dr. Nusret Drešković (e-adresa: nusret@pmf.unsa.ba)
Univerzitet u Sarajevu - Prirodno-matematički fakultet, Bosna i Hercegovina

Prof. dr. Edin Hrelja (e-adresa: edinhrelja@pmf.unsa.ba)
Univerzitet u Sarajevu - Prirodno-matematički fakultet, Bosna i Hercegovina

Prof. dr. Senka Mesihović-Dinarević (e-adresa: dinarevicsenka@gmail.com)
Akademija nauka i umjetnosti Bosne i Hercegovine - Odbor za
kardiovaskularnu patologiju

Prof. dr. Aida Kulo Ćesić (e-adresa: aida.kulo@gmail.com)
Univerzitet u Sarajevu - Medicinski fakultet, Bosna i Hercegovina

Prof. dr. Nihad Fejzić (e-adresa: Nihad.fejzic@vfs.unsa.ba)
Univerzitet u Sarajevu - Veterinarski fakultet, Bosna i Hercegovina

Prof. dr. Senada Čengić-Džomba (e-adresa: s.cengic-dzomba@ppf.unsa.ba)
Univerzitet u Sarajevu – Poljoprivredno-prehrambeni fakultet, Bosna i
Hercegovina

Prof. dr. Emina Hadžić (e-adresa: eminahd@gmail.com)
Univerzitet u Sarajevu - Građevinski fakultet, Bosna i Hercegovina

Prof. dr. Mersudin Avdibegović (e-adresa: m.avdibegovic@sfsa.unsa.ba)
Univerzitet u Sarajevu - Šumarski fakultet, Bosna i Hercegovina

Prof. dr. Ermin Muharemović (e-adresa: ermin.muharemovic@fsk.unsa.ba)
Univerzitet u Sarajevu - Fakultet za saobraćaj i komunikacije, Bosna i Hercegovina

Prof. dr. Azrudin Husika (e-adresa: husika@mef.unsa.ba)
Univerzitet u Sarajevu - Mašinski fakultet, Bosna i Hercegovina

Ismar Jamaković, dipl. ing. maš. (e-adresa: ijamakovic@ceteor.ba)
CETEOR d.o.o., Bosna i Hercegovina

Prof. dr. Sanela Klarić (e-adresa: sanela.klaric@ibu.edu.ba)
Internacionalni Burch univerzitet u Sarajevu - Odsjek za arhitekturu, Bosna i Hercegovina

Nadir Spahić, BA. ing. arh. (e-adresa: spahicnadir@gmail.com)
Internacionalni Burch univerzitet u Sarajevu - Odsjek za arhitekturu, Bosna i Hercegovina

Prof. dr. Damir Arsenijević (e-adresa: damir.arsenijevic@untz.ba)
Univerzitet u Tuzli - Filozofski fakultet, Bosna i Hercegovina

Belma Nahić, Mr. biologije-ekologije (e-adresa: belmanahic@yahoo.com)
Nezavisna istraživačica

Sajma Merdan, Mr. dipl. ing. maš. (e-adresa: smerdan@ceteor.ba)
CETEOR d.o.o., Bosna i Hercegovina

Dio I -
Teorijske perspektive klimatskih promjena i zagađenja zraka

Klimatski sistem Zemlje

Nusret Drešković
Edin Hrelja

Sažetak: Za razumijevanje klimatskih promjena i njihovih efekata neophodno je razumijevanje klimatskog sistema Zemlje, kao i klimatskih pojava i procesa koji se u atmosferi dešavaju. U cilju boljeg razumijevanja navedenih procesa izvršeno je definiranje atmosfere, njenog hemijskog sastava i vertikalne strukture. Također, određena je razlika između osnovnih pojmova vremena i klime te je izvršeno definiranje kvantitativno-kvalitativnih pokazatelja prostorno-vremenske dinamike glavnih meteoroloških elemenata i meteoroloških pojava u atmosferi. Predočeni su i osnovni modifikatori meteoroloških elemenata i meteoroloških pojava, koji se odnose na raspored kopna i mora, reljefne karakteristike, geografsku širinu i dr. Također, ukratko je predložen rad na meteorološko-instrumentalnom monitoringu sa fokusom na historijski rad meteoroloških stanica u Bosni i Hercegovini. Na bazi izmjerenih klimatoloških elemenata definiraju se klimatski tipovi, pri čemu je dat detaljan pregled W. Köppenove klasifikacije klime.

Ključne riječi: atmosfera, klima, vrijeme, klimatski elementi, klimatski faktori, meteorološka mjerenja, tipovi klime

1. ATMOSFERA

Atmosfera je jedna od sfera geografskog omotača. Pored atmosfere, sastavne sfere geografskog omotača su: litosfera, hidrosfera, biosfera i pedosfera. U sastavu svake od sfera nalaze se gotovo sve komponente (zrak, voda, čestice tla, biljke i životinje), ali preovladava jedna od komponenata po kojoj je ta sfera i dobila naziv.

Atmosfera je smjesa, mehanička mješavina nekoliko plinova čiji udio u donjim dijelovima atmosfere ostaje više ili manje konstantan (Šegota i Filipčić, 1996). Suh zrak se uglavnom sastoji od 78,08% azota i 20,95% kiseonika te u malim količinama od 0,934% argona i 0,035% ugljendioksida. Ostale sastojke zraka čine plemeniti gasovi, kao što su: ksenon, neon, kripton i helij, koji su također prisutni zajedno sa drugim gasovima u tragovima (CH_4 , CO , N_2O , HNO_3 , NH_3 , itd.).

Tabela 1. Učešće gasova u atmosferi

NAZIV GASA	ZAPREMINA
Azot (N_2)	78.088
Kisik (O_2)	20.949
Argon (Ar)	0.930
Ugljendioksid (CO_2)	0.0318
Neon (Ne)	1.80×10^{-3}
Helij (He)	5.24×10^{-4}
Metan (CH_4)	1.40×10^{-4}
Kripton (Kr)	11.14×10^{-4}
Oksidi azota (N_2O)	5×10^{-5}
Ksenon (Xe)	8.6×10^{-6}
Vodonik (H)	5×10^{-5}
Azotni oksid (NO_2)	2×10^{-8}
Ozon (O_3)	2×10^{-6}
Sumpordioksid (SO_2)	2×10^{-8}
Ugljenmonoksid (CO)	2×10^{-5}
Amonijak (NH_3)	1×10^{-6} - trace

Izvor: Milosavljević, 1985; Spahić, 2002; Šegota i Filipčić, 1996

Atmosfera također sadrži 0,1 do 5% vode (vodene pare) sa normalnim opsegom od 1 do 3% (Baskar i dr., 2021). Ona utječe na bilans radijacije, ali i na druge procese u atmosferi. Njezin je relativni udio vrlo promjenljiv. Najviše je ima ljeti, a manje zimi, što ovisi o temperaturi i izvoru vlage.

Osim obične prašine (sitne čestice gline, razni minerali koji čine glinu i druga tla koja dižu vjetrovi) u zraku ima pepela (vulkanskog porijekla, te od požara). Također, u zraku ima značajna koncentracija čađi (čisti ugljik koji nastaje izgaranjem organskih tvari bogatih ugljikom), raznih plinova (proizvodni pogoni, motori sa unutrašnjim sagorijevanjem, kućna ložišta), sitnih čestica soli, peludi, spora, bakerija itd. (Šegota i Filipčić, 1996).

Količina spomenutih primjesa znatno varira u atmosferi, što ovisi o njihovoj produkciji, udaljenosti od izvora emisija, te antropogenim aktivnostima, koje zauzimaju značajno mjesto u njihovom nastanku i produkciji u atmosferu.

Svi prethodno navedeni gasovi, vodena para i čestice imaju značajnu ulogu u atmosferskim procesima koji imaju direktan i indirektan utjecaj na ostale geokomponente, geosfere i geosisteme koji su sastavni dijelovi geografskog omotača.

Vertikalna diferencijacija atmosfere na strukturne dijelove se temelji uglavnom na temperaturi (Šegota i Filipčić, 1996). Atmosfera je podijeljena na različite slojeve, od kojih svaki ima specifična svojstva. Ovi se slojevi, kako je već naglašeno, razlikuju u pogledu temperature, ali i sastava i drugih karakteristika.

Zemljina atmosfera se može podijeliti u pet glavnih slojeva:

- troposfera,
- stratosfera,
- mezosfera,
- termosfera i
- egzosfera.

Između svake sfere nalazi se prelazni sloj (debljini 1-2 km): tropopauza, stratopauza, mezopauza i termopauza.

Troposfera je sloj najbliži Zemljinoj površini, koji se proteže otprilike 8 do 15 kilometara iznad površine Zemlje (različite visine po geografskoj širini). U troposferi, temperatura opada sa visinom. Prosječna opadanje temperature na svakih 100 m nadmorske visine iznosi 0.56°C (-45 °C iznad polova do -80°C iznad ekvatora) (Šegota i Filipčić, 1996). Ovaj sloj je najgušći i sadrži 80% ukupne mase atmosfere (Spahić, 2002). Kao rezultat termičke razlike u vertikalnom profilu te različitim toplotnim kapacitetima podloge, ovaj sloj je jako dinamičan, te se u njemu javljaju advektivna i konvektivna strujanja zračnih masa. Također, za ovaj sloj su karakteristične vremenske pojave, kao što su oblaci, oluje i padavine. Troposfera je od najveće važnosti, jer je to sloj u kojem živimo i gdje postoje sve životne aktivnosti na Zemlji.

Stratosfera je drugi najniži sloj atmosfere Zemljine površine. Ovaj sloj se nalazi do 50 km iznad površine Zemlje. Stratopauza je gornja granica stratosfere, dok je tropopauza donja granica. U stratosferi se nalazi najveća koncentracija molekula ozona koji formira ozonski omotač koji štiti Zemljinu površinu od ultraljubičastog zračenja. Stratosfera sadrži manju koncentraciju vodene pare, pa je dosta suha i u njoj se ne formiraju padavinski oblaci.

Iznad stratosfere nalazi se mezosfera, koja se proteže do oko 85 kilometara iznad površine Zemlje. Mezosferu karakterišu ekstremno niske temperature, koje se spuštaju i do -90° C. Meteori sagorijevaju pri ulasku u mezosferu. Nadalje, mezosfera igra ključnu ulogu u zaštiti Zemlje od udara svemirskog otpada. Također, pomaže u prijenosu radiovalova za komunikaciju na daljinu. Veoma specifični oblaci se ponekad formiraju u mezosferi, blizu polova na velikoj nadmorskoj visini, koji se nazivaju "noktilucentni oblaci" ili "polarni mezosferni oblaci" (Baskar i dr., 2021).

Termosfera se nalazi iznad mezosfere na nadmorskoj visini između 85 - 600 kilometara. Zbog visokog stepena jonizacije atmosfera iznad 80 km nadmorske visine se naziva jonosferom (ima svojstva plazme) (Šegota i Filipčić, 1996). U ovom sloju temperatura značajno raste zbog apsorpcije visokoenergetskog Sunčevog zračenja. Ovaj sloj je neophodan za rad satelita i svemirskih letjelica, jer olakšava prenos radiosignala i u njemu se nalazi Međunarodna svemirska stanica.

Egzosfera je najudaljeniji sloj Zemljine atmosfere i predstavlja njen vanjski omotač. Proteže se od gornje granice termosfere do ruba svemira (600 – 10.000 km). Egzosferu karakteriše izuzetno nizak atmosferski pritisak i postepeni prelazak u vakuum svemira. Ovaj sloj sadrži rijetku distribuciju molekula plina, prvenstveno vodonika i helija. Čestice, zbog velike razrijeđenosti, lahko savladavaju silu Zemljine teže i izlaze u svemirsko prostranstvo (Spahić, 2002), što ima značajne implikacije za proučavanje dugoročnih klimatskih promjena na Zemlji.

2. KLIMA I VRIJEME

Vrijeme predstavlja stvarno stanje meteoroloških elemenata i meteoroloških pojava u datom momentu (Milosavljević, 1985; Spahić, 2002; Šegota i Filipčić, 1996). Vrijeme je trenutno stanje atmosfere na određenom mjestu. Ono je skup vrijednosti meteoroloških elemenata koji u nekom momentu i na datom mjestu daju karakter atmosferskog stanja. Prema tome, vrijeme je pojam koji je potpuno određen i koji se izražava brojnim vrijednostima meteoroloških elemenata i simbolima ili nazivima meteoroloških pojava, ali koji je dosta promjenljiv i nestabilan. Tako definirano vrijeme uzima se u nekom datom momentu odnosno u nekom vremenskom razmaku, koji obično nije kraći od 15 minuta.

Najvažniji meteorološki elementi i meteorološke pojave koje uslovljavaju i karakterišu vrijeme jesu: Sunčevo zračenje i Zemljino izračivanje, vazdušni pritisak, temperature vazduha, vlažnost vazduha, pravac i brzina vjetra oblaci, magla, kiša, snijeg itd.

Prema tome, vrijeme koje se neposredno osmatra karakteriše se složenim kompleksom meteoroloških elemenata i meteoroloških pojava koji se nalaze u tijesnoj vezi jedni sa drugim. Ovom uzajamnom povezanošću i međusobnom zavisnošću uslovljava se ne samo kvantitativni karakter pojedinih meteoroloških elemenata i pojava nego i određene kvalitativne promjene.

Klima predstavlja skup vremenskih pojava, odnosno atmosferskih procesa, koje karakterišu srednje fizičko stanje atmosfere iznad nekog mjesta ili većeg ili manjeg predjela Zemljine površine. Konkretnije, klima se definira kao prosječno stanje atmosfere nad određenim mjestom u određenom razdoblju (uzimajući u obzir prosječna i ekstremna odstupanja), 30-godišnji nizovi (Drešković, 2011; Drešković, 2004; Šegota i Filipčić, 1996; Spahić, 2002; Milosavljević, 1985).

Meteorološki elementi i pojave koji čine vrijeme rezultat su različitih fizičkih procesa na površini Zemlje, u plitkom sloju Zemlje i u atmosferi. Najvažniji faktori koji utiču na vrijeme su: intenzitet Sunčevog zračenja, cirkulacija vazduha u atmosferi i karakter podloge. Klimatski elementi se neprestalno mijenjaju pod utjecajem klimatskih faktora, pa se klimatski faktori nazivaju i modifikatorima klimatskih elemenata. Prema tome, klimatski elementi su promjenljivi, a klimatski faktori su stalni (nepromjenljivi – iako se neki i od klimatskih faktora mogu izmijeniti).

Klimatski elementi su:

- radijacija (kratkotalasna i dugotalasna),
- temperatura (zraka i površine Zemlje),
- zračni pritisak,
- smjer i brzina vjetra,
- vlaga zraka i evaporacije,
- naoblaka i trajanja sijanja Sunca,

- padavine,
- snježni pokrivač (visina i dužina zadržavanja) i
- elektricitet u zraku.

Kada se osmotreni ili izmjereni meteorološki elementi prikupe i izračunaju njihove prosječne vrijednosti za određene definirane vremenske razmake (dan, mjesec, godina itd.), dobijaju se klimatski elementi.

Klimatski faktori su:

- Zemljina rotacija,
- Zemljina revolucija,
- geografska širina,
- nadmorska visina,
- raspodjela kopna i mora,
- morske struje,
- udaljenost od mora,
- jezera,
- reljef (nadmorska visina, raščlanjenost reljefa, ekspozicija terena),
- vrste podloge (voda, snijeg, led, stijene, pijesak, glina itd.),
- vrste vegetacionog pokrivača (šuma, livada, ogoljene površine i sl.) i
- ljudske djelatnosti (izmjena biljnog pokrivača, podizanje šumskih pojaseva, podizanje većih gradova, meliorativne aktivnosti i sl.). (Šegota i Filipčić, 1996; Milosavljević, 1985).

3. METEOROLŠKA MJERENJA

Vrijeme je trenutno stanje atmosfere, vrlo promjenljivo, te se stoga mora neprekidno pratiti stanje najvažnijih meteoroloških elemenata. Da bi se što preciznije prikazale neke meteorološke vrijednosti, koriste se mjerni instrumenti. Ljudi svojim čulima mogu "osjetiti" vrijednosti pojedinih meteoroloških elemenata (razlikuju stepen toplote ili hladnoće). Međutim, da bi se u mjernim jedinicama prikazala vrijednosti meteoroloških elemenata koristi se meteorološki instrumenti.

Prema standardima Svjetske meteorološke organizacije (WMO), područje na kojem se obavljaju meteorološka mjerenja i osmatranja naziva se meteorološka stanica.

Krug meteorološke stanice mora biti postavljen što dalje od značajnih antropogenih objekata zbog izraženog utjecaja urbanizacije na meteorološke parametre. Stoga je potrebno meteorološku stanicu locirati na nekom reprezentativnom mjestu, koje će što realnije prikazati vrijeme i klimu nekog područja.

Prema namjeni i programu rada, meteorološke stanice dijele se na:

- glavne meteorološke stanice,
- obične meteorološke stanice i
- kišomjerne stanice.

Prema tehnološkom pristupu rada, meteorološke stanice se dijele na stanice sa: konvencionalnim, konvencionalno-elektroničkim, te samo s elektroničkim instrumentima.

Meteorološka mjerenja u Bosni i Hercegovini imaju dugu tradiciju. Instrumentalna mjerenja vršena su duže od 120 godina, a zapisi o stanju meteoroloških elemenata nalaze se i mnogo

ranije. Prvi meteorološki zapisi o klimatskim elementima nalaze se u hronici Osmana ef. Šuglije iz 1665. godine. Također, određeni zapisi o stanju meteoroloških pojava i procesa nalaze se u putopisima Evlije Čelebije.

Od 1892. godine redovno se na godišnjem nivou kroz meteorološke godišnjake publikuju rezultati mjerenja iz mreže meteoroloških stanica Bosne i Hercegovine.

Uspostava mreže meteoroloških stanica na području Bosne i Hercegovine započela je 80-tih godina 19. vijeka uspostavom:

- Meteorološkog opservatorija na Bjelašnici 1894. godine,
- Meteorološke stanice u Sarajevu 1902. godine,
- Meteorološke stanice u Mostaru 1898. godine i
- Meteorološke stanice u Tuzli 1898. godine (www.fhmzbih.gov.ba).

Nakon uspostave prvih meteoroloških stanica, privredni razvoj zemlje, brza urbanizacija i industrijalizacija utjecale su na proširivanje mreže meteoroloških stanica.

Uz kraće prekide rada, na većim meteorološkim stanicama zadržan je kontinuitet praćenja, mjerenja i arhiviranja podataka izmjerenih meteoroloških elemenata od vremena uspostave do danas.

Bosna i Hercegovina je postala punopravni član Svjetske meteorološke organizacije (WMO) 30. juna 1994. godine (www.fhmzbih.gov.ba).

4. KLIMATSKI ELEMENTI

Klimatski elementi i pojave rezultat su različitih fizičkih procesa koji se odvijaju na površini Zemlje, neposredno ispod površine Zemlje i u atmosferi. U nastavku će se analizirati neki od najvažnijih klimatskih elemenata, kao što su: radijacija, insolacija, temperature zraka, zračni pritisak, smjer i brzina vjetrova, isparavanje, vlažnost zraka, oblačnost, padavine itd.

4.1. Energetski procesi u atmosferi

Toplota na Zemljinoj površini potiče iz unutrašnjosti zemlje (endogeni izvori toplote) i od Sunčeve energije (egzogeni procesi). Unutrašnja energija potiče iz unutrašnjih slojeva Zemlje i nastaje emanacijom radioaktivne energije, raspadom teških elemenata, koja se pretvara u toplotnu energiju. Brojana istraživanja potvrđuju činjenicu da od površine Zemlje temperatura raste s porastom dubine prosječno 1°C na svakih 35 m dubine (vrijednosti se odnose na slojeve debljine 10-25 km). Količina unutrašnje toplote koja se preko površinskog sloja Zemlje prenosi u atmosferu iznosi $0.00042\text{ J cm}^{-2}\text{god}^{-1}$. Ovo je zanemariva količina energije u odnosu na onu koju Zemlja prima od Sunca (Spahić, 2002).

Sunčeva energija je energija koja elektromagnetnim zračenjem dođe do neke površine u određenom vremenskom razdoblju. Na Zemljinu površinu stiže dvomilijarditi dio zračenja Sunčeve energije. Na količinu toplotne energije koja dolazi do Zemlje manji utjecaj ima udaljenosti od Sunca, a veći utjecaj ima upadni ugao zračenja i trajanje sijanja Sunca. Zbog promjenljive udaljenosti Zemlje na ekliptici od Sunca uvedena je standardna mjera za Sunčevo zračenje i zove se solarna konstanta. To je količina radijacijske energije koju Zemlja prima u jednoj minuti na 1 cm^2 na gornjoj granici atmosfere pri srednjoj udaljenosti Sunca od Zemlje i okomito na Sunčeve zrake.

Solarna konstanta, tok Sunčevog zračenja na gornjoj granici atmosfere na 1 cm^2 plohe okomite na zračenje iznosi $8.17\text{ J/cm}^{-2}\text{min}^{-1}$ (Šegota i Filipčić, 1996).

Sunčevo zračenje čini korpuskulatno zračenje ili zračenje čestica i elektromagnetno zračenje.

Korpuskularno zračenje potiče od protona i elektrona koji se kreću od površine Sunca. Elektromagnetno zračenje Sunca dijeli se u tri spektra:

- ultraljubičasto (manje od $0.40\ \mu\text{m}$),
- infracrveno (veće od $0.76\ \mu\text{m}$) i
- vidljivi dio (od $0.40\ \mu\text{m}$ do $0.76\ \mu\text{m}$).

Pored navedenih energetske procesa na zagrijavanje atmosfere i Zemljine površine utiče i dugotalasno zračenje Zemlje ili dugotalasno toplotno zračenje Zemlje. Predstavlja dio infracrvenoga zračenja talasnih dužina od 4 do $50\ \mu\text{m}$, koje nastaje apsorpcijom (upijanjem) Sunčevog kratkotalasnog zračenja. Dio tog infracrvenog zračenja (dugotalasnog zračenja Zemlje) odlazi u svemirsko prostranstvo (oko 30%), a veći dio (oko 70%) vraća se prema Zemlji kao protuzračenje atmosfere, koje time povećava temperaturu Zemljine površine.

4.1.1. Transformacija Sunčevog zračenja prolaskom kroz atmosferu

Prolaskom kroz atmosferu Sunčevo zračenje se transformiše. Sunčeva radijacija koja dopire do površine Zemlje je oslabljena, što ovisi o propustljivosti atmosfere. Propustljivost atmosfere ovisi o fizičkim svojstvima gasova koji čine zrak i o broju suspendiranih lebdećih čestica. Koeficijent propustljivosti pokazuje koliko od Sunčeve radijacije, koja se doznači do gornjih slojeva atmosfere dođe do površine Zemlje. Srednji koeficijent propustljivosti pri vedrom vremenu, pri potpuno suhom zraku i pri zenitnom položaju Sunca iznosi 0.78. Što je deblja atmosfera kroz koju moraju proći Sunčeve zrake i što je zrak mutniji, koeficijent propustljivosti je manji (Šegota i Filipčić, 1996).

Utjecaj atmosfere na Sunčevo zračenje se manifestira kroz:

- refleksiju ili raspršivanje svjetla (difuzija na česticama koje lebde u zraku)
- apsorpcija (selektivna apsorpcija - gasovi koji su u atmosferi, npr. ozon apsorbuje UV zračenje, dok ugljendioksid i vodena para apsorbuju infracrveni dio spektra).

Nagornjoj granici atmosfere dozračuje se samo direktno Sunčevo zračenje. Ako elektromagnetni valovi dolaze u dodir sa nekim tijelom (npr. zrakom, vodom, tlom ili ledom), ono ih može upiti (apsorbirati), reflektirati (odbiti) ili više ili manje netaknute propustiti (transmitirati). Svojstvo nekog tijela da propušta radijaciju naziva se dijaturnost – što ovisi o prirodi sredine kroz koju zračenje prolazi (Šegota i Filipčić, 1996). Shodno istaknutom, pored direktnog, na površinu Zemlje dospijeva i raspršeno ili difuzno zračenje. Zbroj direkne i difuzne radijacije koja dospije do horizontalne plohe na površini Zemlje naziva se globalnim zračenjem.

4.1.2. Insolacija

Insolacija (lat. insolatio - osunčanje, osunčavanje) predstavlja trajanje sijanja Sunca, odnosno stvarno vrijeme u kojem je neko mjesto na Zemlji obasjano Sunčevom svjetlošću.

Razlikuje se stvarno osunčanje, tj. trajanje sijanja Sunca, koje ovisi o otvorenosti horizonta, dužini vidljivoga dijela dana i naoblaci, te astronomski moguće osunčanje, koje se može izračunati uz pomoć Sunčeve deklinacije i geografske širine promatranog mjesta. Relativno trajanje sijanja Sunca predstavlja odnos između stvarnog i potencijalnog i mogućeg trajanja sijanja Sunca. Osunčanost se iskazuje u jedinicama vremena. Na bazi izmjerenih vrijednosti određuje se srednji broj Sunčevih sati za jedan dan, koji predstavlja odnos između stvarnog

broja sati sa Sunčevim sjajem u jednom mjesecu i broja dana toga mjeseca. Mjesta s istom količinom insolacije na kartama se povezuju linijama koje se nazivaju izohele.

4.2. Toplota u tlu, vodi i atmosferi

U najnižem sloju atmosfere, blizu površine Zemlje, odvija se najviše temperaturnih procesa. U ovome sloju su značajno izražene dnevne i godišnje temperaturne promjene na horizontalnom i vertikalnom profilu atmosfere.

4.2.1. Zagrijavanje i hlađenje kopna

Tlo predstavlja adijatermnu sredinu za Sunčevo zračenje. Zagrijavanje tla ovisi o općim geografskim i fizičkim karakteristikama tla. Površina tla koja prima Sunčevu energiju naziva se aktivnim slojem zračenja. Kondukcijom vrši se prenošenje toplote na dublje slojeve tla. Kopno koje nije pokriveno vodom, ledom ili snijegom troši svu energiju na zagrijavanje tla, dok kopno koje je pokriveno vodom, ledom ili snijegom troši dio energije na promjenu agregatnog stanja vode.

4.2.2. Zagrijavanje i hlađenje voda/mora

Voda ima gotovo najveći specifični toplotni kapacitet. Toplotni kapacitet vode je dva puta veći od kopna (Spahić, 2002). Glatka površina vode odbija veliki dio Sunčevih zraka. Morske površine se zagrijavaju upijanjem Sunčevog zračenja, pri čemu se dio energije troši na isparavanje. Površinski sloj mora se grijati, dok se donji slojevi zagrijavaju prenošenjem topline sa čestice na česticu.

Okeani i mora su u stalnim dinamičkim procesima, tako se toplota prenosi miješanjem i strujanjem vode. Površina mora se zagrijava i isparava, povećava se slanost i gustoća, sloj vode tone do sloja iste gustoće različite temperature. More akumulira veliku količinu topline koju otpušta noću i kada je hladnije (zimi).

Veoma važno svojstvo slatke vode je u tome da ona na temperature 4°C ima najveću gustoću. Shodno navedenom svojstvu vrši se vertikalno strujanje u stajaćim vodama.

Nakon što prestane insolacija, površina slatke stajaće vode se počinje hladiti.

Hladnija površina postaje gušća i teža, rashlađeni površinski sloj se počinje spuštati prema dnu, dok ne naiđe na sloj iste gustoće i temperature, na njegovo mjesto dolazi topliji sloj manje gustoće.

4.2.3. Zagrijavanje i hlađenje zraka

Zrak se uglavnom zagrijava i hladi posredno, preko Zemljine površine. Najveći dio toplotne energije koji ulazi u atmosferske procese dolazi sa površine Zemlje, a veoma mali dio nastaje apsorpcijom kratkotalasne radijacije u atmosferi (Šegota i Filipčić, 1996). Zagrijavanje i hlađenje zraka prvenstveno ovisi o toplotnom stanju i promjenama Zemljine podloge nad kojom se zrak nalazi. S obzirom da ima znatno manju specifičnu toplotu od vode, zrak se dosta sporo zagrijava i hladi. Uzroci tome su jaka propustljivost zraka, neprekidna strujanja zraka i njegova slaba provodljivost topline (Simonović, 1970).

Shodno istaknutom, atmosfera se zagrijava i hladi:

- apsorpcijom kratkotalasne radijacije te apsorpcijom i emisijom dugotalasne radijacije,
- kondukcijom ili provođenjem toplote,

- konvekcijom (uzlazno-silaznim kretanjem zračnih masa),
- turbulentnom difuzijom ili turbulentnim prijenosom topline ili termičkom turbulencijom i
- molekularnom difuzijom (Šegota i Filipčić, 1996).

Shodno navedenim procesima postoje značajne razlike u dnevnim i godišnjim (kontinentalni i maritimni) tokovima temperatura zraka na horizontalnom i vertikalnom profile, što ovisi o faktorima njihove izmjenljivosti.

4.2.3.1. Temperaturne inverzije

Pod nazivom inverzije (obrata) u meteorologiji podrazumijeva se takva promjena sa visinom nekog atmosferskog svojstva, najčešće temperature zraka, kakva nije uobičajena. Temperaturnu inverziju predstavlja porast temperature zraka s porastom nadmorske visine. Povoljni su uvjeti za stvaranje inverzije ako je tlo pokriveno snijegom, u zatvorenim kotlinama i dolinama, za vrijeme vedrog i tihog vremena u anticiklonama (Pandžić, 2002). Sloj atmosfere u kojem temperatura raste visinom naziva se inverzioni sloj, koji je omeđen donjom (osnovom) i gornjom granicom (vrhom) inverzije.

Shodno faktorima utjecaja, temperaturne inverzije se dijele:

- Prizemne ili radijacione - nastaju uslijed ohlađivanja prizemnog atmosferskog sloja koji je u neposrednom kontaktu sa površinom tla, koja se hladi dugotalasnim (toplinskim) zračenjem. Najčešće se ovakve inverzije javljaju tokom vedrih i mirnih noći, posebno zimi. U toku ljetnih noći radijacijske inverzije počinju se formirati još u večernjim satima. Pojačavaju se tokom noći dostižući maksimum pred izlazak Sunca. Međutim, one se brzo "razbijaju" nakon izlaska Sunca zbog zagrijavanja i turbulencije, pri čemu se privremeno pretvaraju u visinske inverzije. Tokom zime, stvaranje prizemne inverzije može trajati i više dana, ali i njihova trajnost je najčešće višednevna. Za vrijeme radijacijskog hlađenja može doći do formiranja magle, ako je zrak dovoljno vlažan. Pored magli, propratna pojava temperaturnih inverzija u velikim gradovima je smog (Pandžić, 2002). Osim toga, ako je hlađenje dugotrajno, može doći do pojave ekstremno niskih temperatura, posebno ako je snijeg na tlu za vrijeme zime.
- Inverzije spuštanja zračnih masa – nastaju spuštanjem zračnih masa, pri čemu se zrak kompresijom zagrijava i postaje topliji u odnosu na zrak koji je ispod.
- Frontalne inverzije – nastaju prilikom susreta zračnih masa toplog i hladnog fronta, pri čemu zračne mase hladnog fronta uklinjavaju ispod zračnih masa toplog fronta.
- Visinske inverzije – nastaju kada se na većim nadmorskim visinama susretnu zračne mase koje imaju različite pravce kretanja. Prolaskom zračnih masa jedne pokraj druge dolazi do trenja, pri čemu se zrak zagrijava i postaje toplije u odnosu na zrak koji se nalazi ispod njega. Drugi tip nastanka visinskih inverzija je protuzračenje oblačnih sistema, što doprinosi zagrijavanju zračnih masa koje se nalaze iznad njega.

4.3. Voda u atmosferi

Voda je prosto i postojano jedinjenje vodika i kisika u omjeru 11,19% vodika i 88,81% kisika. Na temperaturama 0 i 100° C voda je u tečnom stanju. Na nižim temperaturama od 0° C nalazi se u čvrstom, a na višim od 100° C ključa i prelazi u gasovito stanje. Međutim, u nekim uvjetima voda može biti u čvrstom i gasovitom stanju i na nekim drugim temperaturama. Prijelaz vode u čvrsto stanje naziva se mržnjenje, a obrnut proces otapanje, dok prijelaz u gasovito

stanje naziva se isparavanje. Prijelaz vodene pare u tečno stanje naziva se kondenzacija, a u čvrsto stanje sublimacija (Spahić, 2002). O količini vodene pare u atmosferi ovisi vjerojatnost pojave padavina. Vodena para vrlo efikasno apsorbira dugotalasnu radijaciju Zemlje, pri čemu ima indirektan utjecaj na temperaturu zraka. Pri isparavanju vode troši se određena količina toplotne energije, pa vodena para sadrži znatnu količinu latentne topline, koja se kondenzacijom oslobađa.

4.3.1. Evaporacija

Evaporacija predstavlja količinu isparene vode sa neke površine. Mjera za veličinu evaporacije je visina isparenog vodenog sloja u mm u određenom vremenskom razdoblju.

Brzina evaporacije ovisi o više faktora:

- veličini površine koja isparava (veća površina - jača evaporacija),
- temperaturi (viša temperatura - brža evaporacija),
- količini/zasićenosti vodenom parom iznad površine koja isparava (suhliji zrak - brža evaporacija),
- brzini vjetra iznad površine koja isparava (jači vjetar – jača evaporacija),
- zračnom pritisku (niži zračni pritisak - brža evaporacija) i
- količini padavina na površini koja isparava (više padavina - manja evaporacija).

Proces u kojem biljke isparavaju vodu, koju korijenjem dobivaju iz tla, naziva se transpiracija. Evapotranspiracija predstavlja ukupnost evaporacije i transpiracije.

4.3.2. Vlažnost zraka

Isparena voda sa površine Zemlje dopijeva u atmosferu u vidu vodene pare i čini je vlažnom. Količina vodene pare u atmosferi je promjenljiva. Količinu vodene pare u zraku uvjetuje temperatura i pritisak ili napon vodene pare. Ako u sebi zrak sadrži maksimalnu količinu vodene pare, zrak je prezasićen, pa višak vodene pare iznad granice zasićenja kondenzira u kapljice tekuće vode ili sublimira u kristale leda. Temperatura zraka na kojoj je zrak maksimalno zasićen vodenom parom naziva se temperaturom rosišta. Vлага u zraku se izražava u apsolutnim, specifičnim i relativnim vrijednostima.

Apsolutna vлага predstavlja broj grama vodene pare u 1 m³ zraka. Pri određenoj temperaturi postoji maksimalna količina vodene pare koju može sadržavati određena količina zraka. Zrak je zasićen vodenom parom ako se u njemu nalazi maksimalna količina vodene pare koju zrak može da primi na određenoj temperature.

Ako količina vodene pare pređe maksimalnu vrijednost (npr. pad temperature), nastaje kondenzacija ili sublimacija.

Relativna vlažnost je veličina koja u postocima pokazuje odnos između količine vodene pare koja postoji u zraku i maksimalne količine vodene pare koju bi zrak na toj temperaturi mogao primiti da bi bio zasićen.

Na višoj temperaturi zrak može primiti veću količinu vodene pare, dok je na nižim temperaturama obratno.

Relativna vлага (U) pokazuje stepen zasićenosti zraka vodenom parom $U = e/E \times 100\%$ (e = stvarni pritisak vodene pare; E = maksimalni pritisak vodene pare).

Specifična vlažnost predstavlja sadržaj vodene pare iskazane u gramima na 1 kg vode.

4.3.3. Kondenzacija i sublimacija

Kondenzacija podrazumijeva prijelaz vodene pare u tekuće stanje, dok sublimacija predstavlja prijelaz iz plinovitog stanja u čvrsto stanje (na temperaturi ispod 0°C). U navedenim procesima vrši se oslobađanje topline koja ulazi u atmosferske procese.

Uvjeti nastanka kondenzacije i sublimacije:

- hlađenje zraka do tačke rosišta ili ispod tačke rosišta i
- postojanje higroskopskih čestica na kojima u zraku počinju nastajati produkti kondenzacije - kondenzacijske jezgre (npr. kristali kuhinjske soli i slane kapljice morske vode, aerosoli i dr.).

Proces kondenzacije i sublimacije započinje ohlađivanjem Zemljine površine i prizemnog sloja zraka dugotalasnom radijacijom (pri čemu nastaju rose, mraz, magle), dodiranjem toplog zraka s hladnijom podlogom, miješanjem zraka dvije zračne mase različite temperature (pri čemu je vodena para u obje mase blizu maksimalnog zasićenja) te hlađenjem zraka koji izdizanjem ekspandira.

4.4. Magla

Magla se sastoji od sitnih kapljica vode promjera 2-130 µm ili ledenih kristala. Magla smanjuje vidljivost na 1 km i manje, a ako je vidljivost do 3 km, onda je to sumaglica.

Prema genezi, magle mogu biti:

- magle zračnih masa (radijacijske i advektivne magle) i
- frontalne magle.

Radijacijski tip magle nastaje kad se prizemni slojevi zraka jako ohlade u dodiru s podlogom koja se dugotalasnom radijacijom noću ohladi ispod tačke rosišta. Uvjeti za nastanak ovoga tipa magli jesu slabo dnevno zagrijavanje tla (kratak dan ili oblačno vrijeme danju) i jako dugotalasno zračenje noću. Tokom dana magla se pod utjecajem zagrijavanja izdiže. Ovakav tip magli genetski je vezan uz temperaturne inverzije u vrijeme anticiklona.

Advektivski tip magle nastaje horizontalnim premještanjem zraka iz jednog područja u drugo, pri različitoj temperaturi podloge i zraka, koji se advektivski premješta preko podloge.

Frontalne magle nastaju na graničnom području između dviju zračnih masa različitih termičkih svojstava. Na graničnom pojasu topli zrak se hladi i kondenzira te uvjetuje stvaranje magli.

Pored navedenih tipova magli ističu se i "gradske" magle ili smog, koji nastaje iznad urbanih i industrijskih površina miješanjem magli sa zagađujućim česticama koje se ekspandiraju u atmosferu. U velikim gradovima u prosjeku čestina magle može biti veća do 30% ljeti, a čak do 100% zimi u odnosu na neurbanizirana područja.

4.5. Oblaci

Oblaci su vizuelno vidljivi produkti kondenzacije i sublimacije vodene pare, odnosno predstavljaju vidljive nakupine kapljica vode ili kristalića leda ili oboje u nižim slojevima atmosfere. Za održavanje kapljica vode u zraku potreban je određeni pritisak vodene pare, ako je manji od maksimalnog, kapljica će ispariti.

Osnovni uvjet za formiranje oblaka jeste odgovarajuća količina vodene pare, te odgovarajući

broj i kakvoća kondenzacijskih i sublimacijskih jezgara.

Oblaci se mogu dijeliti prema: obliku, visini, postanku i posebnim obilježjima.

Morfološki oblaci se dijele na rodove, vrste i podvrste.

Rodovi oblaka dobili su imena prema latinskim nazivima koji se temelje na tri skupine: *cirus* (pramenaste), *cumulus* (gomilaste) i *stratus* (slojevite), koji ujedno predstavljaju i glavne oblike oblaka. Za detaljniju podjelu oblaka koriste se i dopunske naznake: *altus* (visok) i *nimbus* (kišni). Na bazi prethodno definiranih tipova oblaka i njihovim međusobnim kombiniranjem izdvajaju se rodovi oblaka: cirusi, cirokumulisi, cirostratusi, altokumulusi, altostratusi, nimbostratusi, stratokumulusi, stratusi, kumulusi i kumulonimbusi (Šegota i Filipčić, 1996; Spahić, 2002).

Prema visini oblaci se dijele na: visoke, srednje i niske oblake.

Također, oblaci se mogu klasificirati prema postanku na:

- orografske oblake, koji nastaju pri izdizanju zračnih masa preko porografskih prepreka (najčešće planinskih lanaca),
- frontalne oblake, koji nastaju na granici dvije zračne masa koje se razlikuju po temperaturi i sadržaju vodene pare u zračnim masama,
- radijacijske oblake, koji nastaju ohlađivanjem prizemnog sloja zraka zbog emisije dugotalasnog zračenja, te
- oblake termičke turbulencije ili konvekcije, koji nastaju u uzlaznoj zračnoj struji koja se razvija danju iznad nehomogene podloge.

Posebne vrste oblaka predstavljaju oni koji se pojavljuju u stratosferi (sedefasti oblaci na visini 22 - 30 km) ili čak mezosferi, kondenzacijski tragovi iz aviona i sl.

4.6. Padavine

Padavine su svi oblici kondenzovane i sublimirane vodene pare u vazduhu, koji se na Zemljinoj površini pojave u tečnom ili čvrstom obliku. Padavine nastaju prethodno definiranim procesima kondenzacije, sublimacije i formiranja oblačnih sistema.

Prema genezi padavine se dijele na: frontalne, orografske i konvektivne.

- Frontalne predstavljaju podizanje toplog zraka iznad hladnog preko frontova i tip su padavina tipičan za jesenji i zimski period godine.
- Orografske predstavljaju podizanje zračnih masa zbog savladavanja orografskih prepreka – planinskih lanaca.
- Konvektivne padavine nastaju vertikalnim izdizanjem zračnih masa koje su se zagrijale u kontaktu sa toplom podlogom.

S obzirom na mjesto nastanka i vrstu, padavine se dijele na:

- visoke ili oblačne padavine i
- niske ili prizemne padavine.

Visoke ili oblačne padavine nastaju u oblačnim sistemima. U najpoznatije oblačne padavine spadaju: kiša, snijeg i grad.

Niske ili prizemne padavine obrazuju se neposredno na površini Zemlje. U ove padavine se ubrajaju: rosa, slana, inje i poledica.

4.7. Zračni pritisak

Zračni/atmosferski pritisak je sila koja djeluje na jedinicu horizontalne površine, a jednaka je težini stuba zraka koji se rasprostire od tla do gornje granice atmosfere. Molekule zraka svojom težinom pritišću Zemljinu površinu. On se najčešće mjeri živinim barometrom u kome se visina živinog stuba uravnotežuje sa težinom zračnog stuba i izražava se u milimetrima (mm) ili milibarima (mb). Horizontalna površina za koju se mjeri zračni pritisak je 1 cm². Standardni

(normalni) pritisak uslovno se uravnotežuje sa težinom živinog stuba visine 760 mm, presjeka 1 cm^2 pri temperature 0°C na 45° sjeverne geografske širine, što odgovara 1013,27 mb. Sa porastom nadmorske visine zračni pritisak opada, i to brže u prizemnim slojevima u odnosu na višojše slojeve zraka. Vertikalno rastojanje na kojem se pritisak zraka promjeni za 1 mb zove se barometarska stepenica. Pored promjena zračnog pritiska uvjetovanog promjenom nadmorske visine, veličina zračnog pritiska ovisi o gustini zraka, koja je u direktnoj vezi sa temperaturama zraka. Svaka promjena temperature zraka uvjetuje promjene atmosferskog pritiska. U meteorologiji (posebno sinoptičkoj meteorologiji) zračni pritisak je jedna od najbitnijih fizičkih veličina u atmosferi koja se prati, jer je vremensko stanje u direktnoj vezi sa ovim meteorološkim elementom. Pritisak atmosfere na površini Zemlje po horizontalnom prostoru u njegove promjene u vremenu naziva se baričkim poljem (Spahić, 2002). Raspored zračnog pritiska u prizemnim slojevima troposfere prikazan izobarama (linijama koje povezuju tačke istog baričkog stanja) naziva se barički reljef. Shodno položaju i nagnutosti izobara uočavaju se područja visokog i niskog zračnog pritiska (Šegota i Filipčić, 1996). Oblasti niskog pritiska – barički minimum (depresije) i oblasti visokog zračnog pritiska – barički maksimum su oblasti formiranja anticiklona i ciklona. U procesu uravnoteženja zračnog pritiska formiraju se cirkulacioni procesa u atmosferi.

4.8. Dinamički procesi u atmosferi

Razlike u termičkim i izobaričkim svojstvima zračnih masa utječu na dinamičke procese u atmosferi. Zrak struji od mjesta višeg prema mjestima nižeg zračnog pritiska. Zrak struji po izobaričkim površinama, pri čemu može strujati niz nagnutu ravan te vertikalno. Glavni tipovi zračne cirkulacije su:

- horizontalna (advektivna/horizontalna kretanja zračnih masa iz zone višeg u zonu nižeg zračnog pritiska),
- vertikalna (konvektivna strujanja zraka nastaju u nestabilnoj atmosferi, kad je vertikalni termički gradijent veći od adijabatskog gradijenta) i
- kosa zračna strujanja (ascendentna i descendentna strujanja zraka; posljedica prisilnog podizanja ili spužtanja zračnih masa preko fizičkih prepreka).

Premještanje ili strujanje zraka u pretežno horizontalnom pravcu naziva se vjetar.

Osnovna svojstva vjetra su: pravac, brzina i jačina.

Osnovna klasifikacija vjetra je izvršena na:

- stalnu ili planetarnu cirkulaciju zraka (mlazni, pasati i antipasati, zapadni i polarni vjetrovi) i
- periodičnu cirkulaciju zraka (dnevna cirkulacija zraka, dolinski, gorski vjetar, fen, jugo, bura).

5. VREMENSKE NEPOGODE

Vremenske nepogode su nagla pogoršanja vremena na ograničenoj površini i ograničenom vremenskom trajanju. Različite su po: vremenu pojavljivanja, dužini trajanja i prostoru na kojem se pojavljuju. Vremenske nepogode mogu se podijeliti na:

- termičke (termička konvekcija uslijed nejednakog zagrijavanja nehomogene podloge, što utječe na horizontalni i vertikalni termički gradijent – veoma brza turbulencija zračnih masa, kondenzacija i sublimacija te izlučivanje značajne količine padavina),

- frontalne nepogode (susret toplog i hladnog zračnog fronta, naglo ekspaniranje vlažnog zraka, kondenzacija i sublimacija – prateće pojave vjeter, pljuskovite padavine, grad i zimi gusti snijeg) i
- orografske nepogode (prisilno izdizanje zraka preko planinskih lanaca).
-

Prateće pojave prethodno spomenutih procesa jesu: grmljavine i udari vjetera (pijovice, trombe – tornado).

6. KLIMA – KLIMATSKI TIPOVI

Nehomogenost reljefa Zemljine površine i izuzetno velika kompleksnost opće atmosfere cirkulacije osnovni su razlozi postojanja krupnih razlika između klima pojedinih dijelova svijeta. Ovakvo stanje je izraženo u tolikoj mjeri da se, teorijski gledano, može reći da “gotovo svaki km² Zemljine površine ima neku svoju klimu” (Šegota i Filipčić, 1996). Zbog toga se još od davnina težilo grupisanju većeg broja manjih (lokalnih) klima u jednu, višeg ranga, koja ima što preciznije definisane osnovne klimatske parametre. Pri ovakvim pokušajima pojavio se veliki broj teškoća, zbog čega ni do danas nije ustanovljen jedinstven kriterij za klasifikaciju svjetske klime. Najjednostavniji, ali istovremeno i najmanje uspješni, oni su pokušaji koji se zasnivaju na analizi samo jednog klimatskog parametra. S druge strane, najidealnija klasifikacija bi bila ona koja bi u analizi uključila sve klimatske elemente, i to s aspekta i srednjih mjesečnih i srednjih godišnjih vrijednosti, što je praktično neizvodljivo. U suštini, najveći broj današnjih klasifikacija baziran je na analizi samo nekoliko glavnih klimatskih elemenata. Pretpostavlja se da je do danas, sa manjim ili većim uspjehom, napravljeno preko 75 različitih klasifikacija koje su bazirane na raznim osnovama (Drešković, 2011).

6.1. W. Köppenova klasifikacija klime

Osnove do sada, slobodno se može reći, najbolje i najuspješnije klasifikacije klime postavio je njemački klimatolog Wladimir Köppen još 1918. godine. Ova klasifikacija se temelji na statističkoj analizi termičko-pluviometrijskih pokazatelja srednjih mjesečnih i godišnjih temperatura zraka i visine padavina. Naime, W. Köppen je prilikom analize ovih elemenata utvrdio da je u nižim geografskim širinama važna srednja mjesečna temperatura najhladnijeg mjeseca, dok je u višim geografskim širinama važna srednja mjesečna temperatura najtoplijeg mjeseca. Uz to, vegetacija kao prirodni indikator klime imala je značajnu ulogu u određivanju granica pojedinih klimatskih tipova (Drešković, N., 2011).

Na osnovu analize pomenutih parametara, W. Köppen je podijelio klimu svijeta u pet klimatskih razreda, koje je označio velikim latiničnim slovima:

- A. Tropske kišne klime
- B. Suhe klime
- C. Umjereno tople kišne klime
- D. Snježno-šumske (ili borealne) klime
- E. Snježne (ili polarne) klime

Daljnja diferencijacija navedenih klimatskih razreda u glavne klimatske tipove se vrši na osnovu srednje godišnje i srednjih mjesečnih temperatura zraka najtoplijeg i najhladnijeg mjeseca, kao i godišnje i sezonskih visina padavina, dodavanjem drugog slova u indeksu oznake za klimatski razred.

U klimama A dodaju se slova koja označavaju osobenosti godišnjeg pluviometrijskog režima:

- f** - najsušniji mjesec: $r > 60$ mm padavina, pa nema sušnog razdoblja,
- s** - sušno razdoblje je ljeti i
- w** - sušno razdoblje je zimi, najsušniji mjesec: $r > 60$ mm padavina.

Detaljnija podjela klima B se vrši dodavanjem jednog velikog slova, koje im označava prosječnu godišnju, odnosno prosječnu temperaturu zraka ekstremnih mjeseci, na osnovu čega se mogu izdvojiti:

- W** - pustinjska klima i
- S** - stepska klima.

Klime C i D se dijele prema osobenostima pluviometrijskog režima dodavanjem sljedećih slova:

- f** - padavine su uglavnom ravnomjerno raspoređene, pa nema sušnog razdoblja,
- w** - sušno razdoblje je zimi, a najsušniji mjesec ima $1/10$ padavina najkišovitijeg mjeseca i
- s** - sušno razdoblje je tokom ljeta, a najsušniji mjesec: $r < 40$ mm padavina i $r < 1/3$ najkišovitijeg mjeseca.

U BW i BS klimama se dodatna diferencijacija na klimatske podtipove vrši na osnovu godišnjeg temperaturnog režima, dodavanjem slijedećih slova:

- h** - toplo, sa prosječnom godišnjom temperaturom: $t > 18,0$ °C,
- k** - hladno, prosječna godišnja temperatura: $t \leq 18,0$ °C, s tim da je srednja mjesečna temperatura najtoplijeg mjeseca: $t > 18,0$ °C i
- k'** - hladno, prosječna godišnja temperatura: $t \leq 18,0$ °C, s tim da je i srednja mjesečna temperatura najtoplijeg mjeseca: $t < 18,0$ °C.

Klimatski razredi C i D se na trećem nivou diferenciraju na osnovu temperaturnog režima ekstremnih mjeseci dodavanjem slijedećih slova:

- a** - vruće ljeto, srednja mjesečna temperatura najtoplijeg mjeseca: $t > 22,0$ °C,
- b** - toplo ljeto, srednja mjesečna temperatura najtoplijeg mjeseca: $18,0$ °C $\leq t < 22,0$ °C i
- c** - svježe ljeto, jedan do četiri mjeseca imaju srednju mjesečnu temperatura najtoplijeg mjeseca: $t > 10,0$ °C.

U klimatskom razredu D na trećem nivou diferencijacije može se dodati još:

- d** - vrlo hladna zima, gdje srednja mjesečna temperatura najhladnijeg mjeseca ima vrijednost: $-38,0$ °C $< t \leq -3,0$ °C.

U E klimama razlikuju se dva stupnja hladnoće:

- ET** - klima tundre, srednja mjesečna temperatura najtoplijeg mjeseca: $0,0$ °C $< t \leq 10,0$ °C i
- EF** - klima vječnog mraza, srednja godišnja temperatura je negativna, tj. $t < 0$ °C.

Koristeći se navedenom šemom klimatske diferencijacije, Vladimir Köppen je na Zemlji izdvojio 11 glavnih klimatskih tipova:

1. Af - prašumska klima,
2. Aw - savanska klima,
3. BW - pustinjske klime,
4. BS - stepske klime,
5. Cf - umjereno tople i vlažne klime,
6. Cs - sredozemne ili mediteranske klime,
7. Cw - sinijske klime,
8. Df - vlažne borealne klime,
9. Dw - suhe borealne klime,
10. ET - klima tundra i
11. EF - klima vječnog mraza.

Daljnja diferencijacija, koja još više ističe specifičnosti u godišnjem hodu osnovnih, ali i drugih klimatskih elemenata, omogućava diferencijaciju klimata na varijante klimatskih podtipova (Drešković, 2011).

LITERATURA

1. Baskar, S., i dr. (2021). *Climatology and meteorology*. Indira Gandhi National Open University. ISBN 978-93-90773-70-1.
2. Drešković, N. (2011). *Klimatski tipovi u Bosni i Hercegovini (doktorska disertacija)*. Prirodno-matematički fakultet Sarajevo, Univerzitet u Sarajevu.
3. Drešković, N. (2004). *Klima Sarajeva (magistarski rad)*. Prirodno-matematički fakultet Sarajevo, Univerzitet u Sarajevu.
4. Federalni hidrometeorološki zavod. <https://www.fhmzbih.gov.ba/latinica/O%20NAMA/povijest.php>
5. Milosavljević, M. (1988). *Meteorologija*. Naučna knjiga.
6. Pandžić, K. (2002). *Analiza meteoroloških polja i sustava*. Hinus, Sveučilište u Zagrebu.
7. Simonović, I. A. (1970). *Meteorologija: Udžbenik za pomorske škole i priručnik za pomorce*. Školska knjiga.
8. Spahić, M. (2002). *Osnove klimatologije*. Posebna izdanja Geografskog društva FBiH.
9. Šegota, T., Filipčić, A. (1996). *Klimatologija za geografe*. Školska knjiga.

Klimatske promjene, uzroci, posljedice, buduće projekcije klimatskih promjena

Edin Hrelja
Nusret Drešković

Sažetak: Klima se odnosi na skup vremenskih fenomena ili atmosferskih procesa koji karakteriziraju prosječno fizičko stanje atmosfere iznad određenog mjesta na većoj ili manjoj površini Zemlje. Konkretnije, klima se definiše kao prosječno stanje atmosfere nad određenim mjestom tokom određenog perioda (uzimajući u obzir i prosječna i ekstremna odstupanja), obično zasnovano na serijama podataka dužine od 30 godina.

Klimatske promjene su karakteristične za planetu Zemlju od njenog nastanka do danas. U posljednjim godinama, klimatske promjene su se intenzivirale, a najizraženije su manifestovane kroz porast temperatura zraka i prateće procese. Klimatske promjene imaju značajan utjecaj na prirodne procese, društvene i poslovne aktivnosti, pri čemu se javljaju izražene regionalne razlike. U tom kontekstu postoji potreba za donošenjem mjera u cilju ublažavanja klimatskih promjena, kao i za adaptacijom na njihove efekte i mitigacijom.

Ključne riječi: klima, klimatske promjene, priroda, društvo, privreda, posljedice, adaptacija, mitigacija

1. KLIMATSKE PROMJENE

Klima na Zemlji se mijenjala od vremena nastanka planete Zemlje, od prije 4,5 milijardi godina. U navedenom vremenskom razdoblju klima je oscilirala između toplih razdoblja i ledenih doba. Takvi ciklusi oduvijek traju desecima, hiljadama ili čak milijunima godina, pri čemu u posljednjih 150 godina (industrijalizacijom) temperature rastu brže nego ikada.

Međuvladin panel za klimatske promjene (engl. Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC) definira da je klimatska promjena "...svaka promjena u klimi tokom vremena, bilo zbog prirodnih promjena ili promjena koje su rezultat ljudskih aktivnosti" (UNFCCC). Ujedinjene nacije definiraju klimatske promjene kao dugoročne promjene u temperaturama i vremenskim obrascima. Također, naglašavaju da takvi pomaci mogu biti prirodni, zbog npr. promjena u aktivnosti Sunca ili velikih vulkanskih erupcija, ali i ljudskih aktivnosti, koje su od 1800-ih bile glavni pokretač klimatskih promjena, prvenstveno zbog sagorijevanja fosilnih goriva.

1.1. Faktori utjecaja na klimatske promjene

Prema definiciji klimatskih promjena izdvojeni su faktori utjecaja na klimatske promjene, koji se mogu se razvrstati u dvije skupine: prirodne i antropogene.

- **Prirodni faktori** (npr. periodske i sekularne perturbacije - Zemljinoj putanji oko Sunca, gibanju Zemlje oko Sunca, velikom količinom aerosola izbačenog vulkanskom erupcijom, šumski požari i sl).
- **Antropogeni faktori** (sagorijevanjem fosilnih goriva, promjenom tipova podloge - urbanizacijom, sječom šuma i razvojem poljoprivrede).

Sunce je osnovni izvor toplote na Zemlji. Zračenje Sunca se kroz neko duže razdoblje malo mijenja kao rezultat prirodnih astronomskih uzroka. Zemlja obiđe oko Sunca jednom u vremenskom periodu od godinu dana, krećući se po eliptičnoj putanji, tako da Zemlja nije uvijek u istom rastojanju od Sunca. U toku jednog dana Zemlja se jednom okrene oko svoje ose. Zemljina osa ima određeni nagib u odnosu na ravan ekliptike, pri čemu se i ugao toga nagiba mijenja periodično, pri čemu i os oko koje se Zemlja rotira, također, vrši sporo rotaciono kretanje (precesija) (Popović, Vuković, 2019).

Astronomski faktori vezani su uz Milankovićeve cikluse (prirodne promjene klime izazvane ciklusima u kretanju Zemlje) koji uzrokuju znatne promjene klime. Prirodne promjene klime izazvane ciklusima u kretanju Zemlje odvijaju se na vremenskoj skali od nekoliko desetaka hiljada godina.

Kao rezultat prethodno spomenutih procesa kroz geološku prošlost bilo je ledenih doba i perioda otopljavanja (glacijali i interglacijali).

Podaci na osnovu kojih se govori o klimatskim promjenama u prošlosti rezultat su:

- fosilnih istraživanja,
- geoloških istraživanja,
- geomorfoloških istraživanja (reljefni oblici),
- dendroklimatoloških istraživanja,
- istraživanja i analiza peluda (na bazi čega se može odrediti vegetacija u prošlosti, koja je u direktnoj vezi sa klimom i klimatskim promjenama) i

- praćenja, arhiviranja i analize meteoroloških podataka u vrijeme meteorološkog instrumentalnog monitoringa i uspostavljanja mreže meteoroloških stanica.

Najstariji tragovi oledbi nalaze se u periodu donjeg algonkija (prije 750 miliona godina), donjeg kambrija (prije 550 miliona godina), gornjeg kambrija (prije 500 miliona godina) i perma (prije 260 miliona godina). Posljednja oledba bila je u pleistocenu (prije 600 do 700 hiljada godina), s maksimumom posljednjeg glacijala prije 50 000 godina. Tokom posljednjeg ledenoga doba u pleistocenu smjenjivala su se hladna ledena (glacijali) i toplija međuledena doba (interglacijali). U alpskome prostoru utvrđene su četiri oledbe: Günz, Mindel, Riss i Würm (Petrović, 1982).

Prirodna koncentracija gasova u atmosferi, raspored kopna i mora su, također, prirodni faktori koji imaju određene efekte na cirkulacione tokove u atmosferi, kao i na klimatske promjene. Vulkanske erupcije mogu utjecati na klimu, posebno one snažne erupcije koje u visoke slojeve atmosfere izbacuju značajne količine krutih čestica (aerosola), gasova i vodene pare. Aerosoli reflektiraju kratkotalasno Sunčevo zračenje natrag u svemirsko prostranstvo te na taj način neposredno mogu da uzrokuju i hlađenje Zemlje u određenim prostornim oblastima (Popović, Vuković, 2019). Međutim, efekti vulkanskih erupcija nisu dugotrajni, jer strujanje atmosfere raznosi aerosole te tokom vremena i umanjuju njihovo djelovanje.

Također, određene utjecaje na klimatske promjene imaju i geološki procesi, kojim se vrši preoblikovanje dna morskih bazena i kontinentalnih oblasti, što se odražava između ostalog na procese kretanja morskih i hladnih struja.

Pored globanih procesa klimatskih promjena, statističke analize klime ukazuju na postojanje internih (regionalnih) klimatskih ciklusa na Zemlji, kao što su: El Niño, Pacifička dekada oscilacija, Sjeverno-atlanska oscilacija itd.

Ljudski utjecaj na klimu očituje se kroz razne oblike aktivnosti i djelovanja. To se odnosi na krčenje površina koje su pod šumama (deforestacija), te povećanja obradivih i urbaniziranih površina. Zbog potrošnje fosilnih goriva (u proizvodnji energije, prometu, poljoprivredi itd.) ljudi doprinose povećanju koncentracije ugljendioksida (CO_2) i drugih gasova u atmosferi i utječu na jačanje efekta staklenika, i posljedično globalno zagrijavanje.

Porast temperature od 1970-ih je izuzetno izražen posebno na sjevernoj hemisferi i podudara se s porastom koncentracije ugljendioksida, najvažnijeg stakleničkog plina. Međuvladin panel za klimatske promjene (IPCC) ovaj porast CO_2 s velikom pouzdanošću pripisuje ljudskom djelovanju.

Shodno prethodno istaknutom može se konstatovati da se klima na Zemlji uvijek mijenjala i mijenjat će se i u budućnosti. U prošlosti je bila podložna samo prirodnim uticajima, dok se u posljednjih 100 godina klima mijenja znatno brže nego ranije, prvenstveno zbog djelovanja antropogenih faktora. Klimatske promjene o kojima se danas mnogo govori označavaju prije svega negativne posljedice utjecaja čovječanstva na faktore klimatskog sistema.

1.2. Uzroci porasta emisija stakleničkih plinova u atmosferi – efekat staklenika

Glavni uzrok klimatskih promjena (pored prirodnih faktora) sagorijevanje je fosilnih goriva, kao što su nafta, ugljen i prirodni plin, uslijed čega se u atmosferu ispuštaju staklenički

plinovi. Druge ljudske aktivnosti, kao što su poljoprivreda i krčenje šuma, isto tako pridonose povećanju količine stakleničkih plinova.

Problem je u tome što ti plinovi zadržavaju toplinu u atmosferi: to se naziva efektom staklenika. Pojedini gasovi u atmosferi povećavaju efekat staklenika, tj. predstavljaju dijafermnu sredinu za kratkotalasno Sunčevo zračenje, ali adijafermnu sredinu (apsorbiraju) za dugotalasno zračenje Zemlje te na taj način doprinose povećavanju temperatura prizemnih slojeva zraka. Među najvažnije plinove koji se prirodno nalaze u atmosferi, i koji apsorbiraju dugotalasno zračenje Zemlje te ih stoga nazivamo plinovima staklenika, su vodena para i ugljendioksid (CO_2), a zatim metan (CH_4), azotni oksid (N_2O) i ozon (O_3). Bez efekta staklenika prosječna temperatura planeta bila bi -18°C . Zbog prethodno navedenih svakodnevnih ljudskih aktivnosti taj se efekat maksimalno povećao, što je dovelo do još većeg porasta temperature naše planete.

Unatoč međunarodnim obvezama, količina ugljendioksida (CO_2) u atmosferi i dalje raste te je prema podacima Svjetske meteorološke organizacije 2019. dostigla još jedan rekord (bila je gotovo 150 % viša nego 1750.) Uzroci koji doprinose efektu staklenika, odnosno klimatskim promjenama su:

- Spaljivanje uglja, nafte i plina nastaju ugljični dioksid i azotni oksidi.
- Sječa šuma u svrhu ekonomske eksploatacije šumskih potencijala kao energetske resursa te u svrhu stvaranja novih poljoprivrednih i urbanih površina. Šume pomažu u regulaciji klime apsorbirajući CO_2 iz atmosfere. Kada se posijeku, gubi se taj blagotvorni efekat i ugljenik pohranjen u drveću se oslobađa u atmosferu, što doprinosi efektu staklene bašte.
- Povećanje uzgoja stoke čini jedan od faktora utjecaja na klimatske promjene. Krave i ovce proizvode velike količine metana kada probavljaju hranu.
- Korištenje umjetnih gnojiva koja sadrže azot i proizvode emisije azotnog oksida.
- Fluorirani plinovi koji se emituju iz opreme i proizvoda koji koriste ove plinove. Takve emisije imaju vrlo snažan efekat zagrijavanja, do 23 000 puta veći od CO_2 .

1.3. Ključni efekti klimatskih promjena

Glavna posljedica klimatskih promjena je povećanje globalne temperature planete Zemlje. Prema rezultatima meteoroloških mjerenja, u odnosu na predindustrijski period temperatura se povećala za $1,1^\circ\text{C}$.

Ako se zadrži trenutni trend zagrijavanja, temperature bi do kraja ovog stoljeća mogle porasti za $3 - 5^\circ\text{C}$, što bi moglo imati katastrofalne posljedice po prirodne i društvene procese na Zemlji. Poređenja radi, veoma je značajan podatak da je u posljednjih 10 000 godina temperatura porasla za ukupno 5°C , čije ukupno uvećanje prema recentnim promjenama temperature bi se ostvarilo u dosta kraćem roku (različit vremenski period prema različitim klimatskim scenarijima).

Globalna srednja temperatura između 2013. i 2023. bila je $1,19$ do $1,22^\circ\text{C}$ toplija od predindustrijskog nivoa, što je čini najtoplijom decenijom u historiji.

Postoje određene razlike u porastu temperature na regionalnom nivou. Temperature evropskog kontinenta porasle su još brže u prethodno navedenom periodu za $2,12$ do $2,19^\circ\text{C}$. Zemlje članice UNFCCC-a (engl. *United Nations Framework Convention on Climate Change*) obavezale su se da ograniče povećanje globalne temperature na znatno ispod 2°C iznad predindustrijskog nivoa, pri čemu imaju za cilj da ograniče povećanje temperature na $1,5^\circ\text{C}$. Prema scenarijima klimatskih promjena može se konstatirati da bez drastičnih smanjenja globalnih emisija stakleničkih plinova, granica od 2°C bit će prekoračena prije 2050. godine. U zaključcima Međuvladinog panela o klimatskim promjenama (IPCC) upozorava se da će

globalno zagrijavanje od 1,5°C imati ozbiljne, pa čak i nepovratne, posljedice na naš okoliš i društva u cjelini.

2. KLIMATSKO MODELIRANJE

Naučna istraživanja imaju veliki značaj u smislu modeliranja klimatskih promjena. Osmatranjem i analizom klimatskih podataka možemo doći do relevantnih, sadašnjih klimatskih pokazatelja i rekonstruisati vrijednosti prošlih klimatskih pokazatelja. Osmatranjima i mjerenjima, također, možemo ustanoviti koliko gasova (koji imaju efekat staklene bašte) dodajemo recentno u atmosferu i koliki je bio njihov nivo kroz historiju te u kakvoj su bili korelaciji sa klimom i klimatskim promjenama na Zemlji. Ako želimo da na osnovu podataka o klimatskim elementima iz prošlosti i sadašnjosti projiciramo stanje klimatskih elemenata u budućnosti, neophodno je klimatsko modeliranje (Popović, Vuković, 2019).

Klimatsko modeliranje je korišteno za procjenu budućih klimatskih promjena za različite scenarije emisija i društveno-ekonomskih puteva (rješenja), koji su u osnovi ovih scenarija (*engl. Shared Socioeconomic Pathways - SSP*).

U procjenama klimatskih promjena koriste se scenariji s pet socio-ekonomskih trendova i pitanja koncentracije stakleničkih plinova:

Socioekonomski trendovi (SSP) su:

- SSP1 – rast okrenut prema održivosti i jednakosti,
- SSP2 – srednji scenarij (u kojem se uglavnom slijede historijski trendovi),
- SSP3 – fragmentirani svijet i jačanje nacionalizma,
- SSP4 – jačanje nejednakosti i
- SSP5 – scenarij brzog i neograničenog ekonomskog rasta i upotrebe energije.

Svakom od ovih trendova dodijeljene su projicirane koncentracije stakleničkih plinova u atmosferi, kroz mogući raspon zračenja 2100. godine: (1.9, 2.6, 4.5, 6, 7 i 8.5 W/m²).

Tabela 1. Scenariji klimatskih promjena

Scenariji	Period: 2021-2040		Period: 2041-2060		Period: 2081-2100	
	Najbolja procjena (oC)	Mogući nivo (oC)	Najbolja procjena (oC)	Mogući nivo (oC)	Najbolja procjena (oC)	Mogući nivo (oC)
SSP1-1.9	1.5	1.2-1.7	1.6	1.2-2.0	1.4	1.0-1.8
SSP1-2.6	1.5	1.2-1.8	1.7	1.3-2.2	1.8	1.3-2.4
SSP2-4.5	1.5	1.2-1.8	2.0	1.6-2.5	2.7	2.1-3.5
SSP3-7.0	1.5	1.2-1.8	2.1	1.7-2.6	3.6	2.8-4.6
SSP5-8.5	1.6	1.2-1.9	2.4	1.9-3.0	4.4	3.3-5.7

Source: IPCC, 2021

Bez značajnih napora da se smanji emisija stakleničkih plinova, povećanje globalne temperature će se nastaviti brzo, pa čak i ubrzati u odnosu na dosadašnji period.

Predviđa se da će globalne temperature porasti za 2,1 do 3,5 °C iznad predindustrijskih nivoa prema scenariju SSP2-4,5, dok se po scenariju SSP5-8,5 predviđa porast temperature 3,3 do 5,7 °C do kraja 21. stoljeća.

Jedini scenariji sa šansom da ostanu u granicama utvrđenim Pariskim sporazumom su SSP1-1,9 s projektovanim zagrijavanjem od 1,0 do 1,8°C i SSP1-2,6 sa rasponima temperature između 1,3 i 2,4°C do kraja 21. stoljeća, a u poređenju s predindustrijskim nivoima. Ovi scenariji pretpostavljaju drastično smanjenje emisija u narednim decenijama i pad emisija CO₂ na nulu i naknadno negativne neto emisije oko 2050. godine (scenarij SSP1-1.9) ili oko 2080. godine (scenarij SSP1-2.6).

Kao i u dosadašnjem periodu, evropski kontinent se zagrijava brže od globalnog prosjeka. Srednja godišnja temperatura nad evropskim kopnenim područjima u posljednjoj deceniji bila je 2,12 do 2,19°C toplija nego u predindustrijskom periodu. Godina 2023. bila je druga najtoplija u Evropi od početka instrumentalnog monitoringa.

Najtoplija zabilježena godina u Evropi je 2020., s rasponom temperatura između 2,53°C i 2,71°C u odnosu na predindustrijski nivo. Posebno visoko zatopljenje uočeno je u istočnoj Evropi i Skandinaviji.

Projekcije govore da će temperature širom evropskih kopnenih područja nastaviti rasti tokom ovog stoljeća po većoj stopi od globalnog prosjeka. Predviđa se da će temperature u Evropi dalje porasti za 1,2 do 3,4° prema scenariju SSP1-2,6 i za 4,1 do 8,5°C prema scenariju SSP5-8,5 (do 2071-2100, u poređenju sa 1981-2010) (EEA, 2024).

Najveći nivo zatopljenja predviđa se u sjeveroistočnoj Evropi, sjevernoj Skandinaviji i unutrašnjosti mediteranskih zemalja. Najmanje zatopljenje očekuje se u zapadnoj Evropi, posebno u Ujedinjenom Kraljevstvu, Irskoj, zapadnoj Francuskoj, zemljama Beneluksa i Danskoj.

Istraživanjima koja se provode utvrđena je linearna veza između kumulativne emisije CO₂ i globalnog povećanja površinske temperature, koji nastaje kao posljedica ljudske aktivnosti na sve glavne komponente klimatskog sistema.

3. POSLJEDICE KLIMATSKIH PROMJENA

Posljedice klimatskih promjena osjećaju se u svim dijelovima svijeta i uzrokuje brojne promjene u prirodi i društvu. Učinci klimatskih promjena već se osjećaju diljem svijeta, a predviđa se da će u narednim desetljećima postati još češći i intenzivniji. Klimatske promjene će u značajnoj mjeri preobraziti našu planetu te utjecati na opskrbu hranom i vodom, kao i na naše zdravlje. Klimatske promjene utječu na sve regije širom svijeta. Polarni ledeni štitovi se tope i nivo mora raste. U nekim regijama ekstremni vremenski događaji i padavine postaju sve češći, dok se u nekim sve češće javljaju ekstremni toplotni talasi i suše.

Klimatske promjene su vrlo ozbiljna prijetnja, a njene posljedice imaju mnoge različite efekte na promjene u prirodi i društvu. Najznačajniji efekti klimatskih promjena osjećaju se u povećanju stope smrtnosti (kao rezultat promjene koncentracije ozona), promjenama biodiverziteta, pojavi infektivnih bolesti, smanjenju raspoloživosti hrane, pogoršanju općeg blagostanja društva i ugrožavanju i potpunom nestanku nekih priobalnih područja (Popović, Vuković, 2019).

Prema Evropskoj komisiji utjecaji i posljedice klimatskih promjena svrstavaju se na: utjecaje na prirodu, društvene prijetnje, prijetnje poslovanju i regionalne prijetnje.

Posljedice klimatskih promjena kroz utjecaje na prirodu ogleduju se u promjenama visine temperature, utjecajima na šume i učestaliju pojavu šumskih požara, dostupnost slatke vode,

sve intenzivnijim poplavama, podizanju nivoa mora i destruktiji ili potpunom uništavanju pojedinih obalnih područja, promjenama u bioraznolikost, intenziviranju negativnih efekata po tlo (kao što su erozioni procesi i klizišta), u dostupnosti kopnenih voda i njihovom ugrožavanju, te u morskom okolišu.

Posljedice klimatskih promjena kroz utjecaje na društvene prijetnje odnose se prije svega na utjecaje na zdravlje ljudi, a posebno na najosjetljivije skupine stanovništva (starije stanovništvo; skupine stanovništva s nižim dohotkom i malo imovine izloženije su utjecajima klime; migracije). Također, klimatske promjene imat će značajne efekte na zapošljavanje stanovništva. Povećanje temperature, promjene u režimu padavina i porast nivoa mora izravno će (ili neizravno) utjecati na produktivnost i održivost svih privrednih sektora, te na obrazovanje, pri čemu obrazovanje i informiranje čine važne sastavnice postupka prilagodbe klimatskim promjenama.

Posljedice klimatskih promjena na prijetnje poslovanju odnose se na utjecaje na: infrastrukturu i zgrade, energiju, poljoprivredu, šumarstvo, turizam te određena međusektorska pitanja.

Kako je već naglašeno, klimatske promjene imaju različite utjecaje ako se posmatraju po različitim regionalnim cjelinama, tako npr.:

- Arktik se ističe porastom temperature, smanjenjem ljetnog morskog ledenog pokrova i otapanjem permafrosta;
- Sjeverna Evropa se ističe smanjenjem količine snijega, smanjenjem ledenog pokrova na jezerima i rijekama, te povećanjem zimskih i proljetnih tokova rijeka;
- Sjeverozapadna Evropa ističe se povećanim obimom i učestalosti poplava;
- Središnja i istočna Evropa ističe se visokim temperaturama i sušama;
- Sredozemna oblast ima smanjene količine padavina i porast temperature te šumske požare;
- Gradovi i urbana područja imaju visoke temperature, zagađenja, poplave; i
- Planinska područja se ističu porastom temperatura i manjom količinom i brojem dana sa snijegom.

4. POLITIKA ZAŠTITE OKOLIŠA U KONTEKSTU UBLAŽAVANJA KLIMATSKIH PROMJENA

Prethodno iznesene činjenice o klimatskim promjenama i budućim scenarijima utjecale su na usmjeravanje i uspostavu politika zaštite okoliša u kontekstu ublažavanja klimatskih promjena. Na međunarodnom nivou postoji nekoliko sporazuma koji obavezuju na smanjenje stakleničkih gasova i provođenje mjera prilagođavanja klimatskim promjenama:

- Okvirna konvencija Ujedinjenih nacija o promjeni klime (*engl. United Nations Framework Convention on Climate Change - UNFCCC*) ima za cilj stabilizaciju koncentracije stakleničkih plinova u atmosferi te smanjenje antropogenih utjecaja na klimatske promjene.
- Kyotski protokol uz UNFCCC je dodatak Međunarodnom sporazumu o klimatskim promjenama, potpisan s ciljem smanjivanja emisije ugljičnog dioksida i drugih stakleničkih plinova.
- Pariski sporazum o klimatskim promjenama (*engl. Paris Agreement*), dodatka UNFCCC-u, čiji je cilj ograničavanje porasta globalne prosječne temperature na manje od 2 °C. Također, cilj Sporazuma je osiguravanje opskrbe hranom, jačanje kapaciteta država da se bore s posljedicama klimatskih promjena, razvoj novih „zelenih“ tehnologija i pomaganje slabijim, ekonomski manje razvijenim, članicama u ostvarenju njihovih nacionalnih planova o smanjenju emisija. Pariski sporazum o klimatskim promjenama

najvažniji je međunarodni sporazum koji daje smjernice za prilagodbu. Predsjedništvo Bosne i Hercegovine donijelo je Odluku o prihvatanju Pariškog sporazuma uz Okvirnu konvenciju Ujedinjenih nacija o klimatskim promjenama. Ceremonija potpisivanja Pariškog sporazuma uz Okvirnu konvenciju Ujedinjenih nacija o klimatskim promjenama održana je u New Yorku 22. aprila 2016. godine.

- Cilj 13. Agende 2030 UN-a odnosi se na poduzimanje hitnog djelovanja u borbi protiv klimatskih promjena.

Na međunarodnom nivou 1988. godine, osnovano je tijelo Ujedinjenih nacija pod nazivom Međuvladin panel o klimatskim promjenama (engl. The Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC) s ciljem da se na temelju naučnih istraživanja o klimatskim promjenama kreiraju vlastiti izvještaji. Izvještaji služe da donositelji odluka na osnovu naučnih istraživanja o klimatskim promjenama, njihovim implikacijama na prirodne i društvene sisteme i potencijalnim budućim rizicima izvrše izradu prijedloga politika u cilju prilagodbe i ublažavanja klimatskih promjena.

U skladu s Okvirnom konvencijom Ujedinjenih nacija o klimatskim promjenama Bosna i Hercegovina do sada je podnijela četiri nacionalna izvještaja (posljednji, četvrti bio je u oktobru 2022. godine). Također, u cilju ublažavanja negativnih efekata klimatskih promjena izrađena je Strategija prilagođavanja klimatskim promjenama i niskoemisionog razvoja Bosne i Hercegovine za period 2020-2030. godina.

Pored svjetskog i nacionalnog nivoa uspostavljaju se određene regionalne politike i planovi borbe protiv klimatskih promjena i prilagodbe istim. Tako je Evropska komisija predstavila Evropski zeleni plan 2019. godine (COM/2019/640). Komisija je njime istakla svoju predanost suočavanju s izazovima klime, te očuvanju prirode i okoliša. Zeleni plan je dio strategije Komisije za provedbu ciljeva održivog razvoja Ujedinjenih nacija koji su već postavljeni kroz Okvirnu konvenciju UN-a o promjeni klime i Agendu 2030.

Ključni ciljevi Evropskog zelenog plana su:

- Smanjenje emisija stakleničkih plinova - Cilj je postići nultu emisiju stakleničkih gasova do 2050. i zaštititi prirodni kapital EU-a te zdravlje i dobrobit građana.
- Smanjenje emisija stakleničkih gasova - Cilj je smanjiti emisije stakleničkih plinova za 55% do 2030. godine u usporedbi s nivoom iz 1990. godine, a do 2050. cilj je da Evropa postane klimatski neutralan kontinent. Planira se smanjiti emisije u gotovo svim sektorima poput prometa, poljoprivrede, energetike i industrije.
- Obnovljiva energija - Cilj je povećati udio obnovljive energije u potrošnji energije na 32% do 2030. godine i osigurati potpunu klimatsku neutralnost u energetskom sektoru do 2050. godine.
- Zelena infrastruktura – Cilj je povećati broj zelenih površina i zaštititi prirodna staništa, što će doprinijeti očuvanju bioraznolikosti i kvaliteti životne sredine.
- Zelena mobilnost - Cilj je smanjiti emisije iz prometa, a posebno iz cestovnog prijevoza, i potaknuti korištenje čistijih i održivijih načina prijevoza poput biciklizma, pješačenja, javnog prijevoza i električnih vozila.
- Cirkularna ekonomija - Cilj je potaknuti održivo korištenje resursa, smanjiti otpad te uspostaviti cirkularnu ekonomiju koja će reciklirati i ponovo iskoristiti što više proizvoda i materijala.
- Zelena industrija – Cilj je potaknuti razvoj održive industrije koja će koristiti čiste

- tehnologije i imati manji utjecaj na prirodu i okoliš.
- Održiva poljoprivreda, ribarstvo i održivo upravljanje šumama - Cilj je postići održivu poljoprivredu i ribarstvo koje će biti manje štetno za okoliš, imati manji utjecaj na klimu i poticati biodiverzitet (biološku raznolikost).
- Smanjenje onečišćenja – Cilj je smanjiti onečišćenje zraka, vode i tla kako bi se poboljšala kvaliteta životne sredine i zaštitilo zdravlje ljudi i životinja.

U borbi protiv klimatskih promjena i prilagođavanju istim veliki značaj imaju naučna istraživanja koja se bave ovom problematikom na najvišem naučnom nivou. Kada je u pitanju Bosna i Hercegovina, ističe se projekat, podržan u okviru programa Horizont, čiji je akronim STECCI, od engleskog naziva STone monument Ensembles and the Climate Change Impact. Ovaj projekat finansira Evropska unija, a koordinator je Prirodno-matematički fakultet Univerziteta u Sarajevu. STECCI je multidisciplinarni projekat koji objedinjuje stručna znanja i vještine iz oblasti konzervacije, nauke o očuvanju kulturnog naslijeđa, klimatologije i drugih prirodnih, ali i društvenih i humanističkih nauka, te kreativnih industrija, kako bi se riješili izazovi utjecaja klimatskih promjena na kulturnu baštinu.

Osnovni cilj projekta STECCI je kreirati inovativne i održive strategije iz oblasti zaštite sakralnog kulturno-historijskog naslijeđa (iz grupe kamenih struktura) od utjecaja klimatskih promjena i posljedičnih prirodnih nepogoda, zagađenja okoliša i antropogenih prijetnji.

LITERATURA

1. Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Pirani, A., Connors, S. L., Péan, C., Berger, S., Caud, N., Chen, Y., Goldfarb, L., Gomis, M. I., Huang, M., Leitzell, K., Lonnoy, E., Matthews, J. B. R., Maycock, T. K., Waterfield, T., Yelekçi, O., Yu, R., & Zhou, B. (Eds.). (2021). *Climate change 2021: The physical science basis: Summary for policymakers. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press. In press.
 2. Petrović, D. (1982). *Geomorfologija*. Univerzitet u Beogradu.
 3. Popović, D., Vuković, A. (2019). *Klimatske promjene*. Akademska misao.
- Internetske stranice:
4. European Environment Agency. *Global and European temperatures*. European Environment Agency. Dostupno putem <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/indicators/global-and-european-temperatures?activeAccordion=546a7c35-9188-4d23-94ee-005d97c26f2b>
 5. European Commission. *Consequences of climate change*. European Commission. Dostupno putem https://climate.ec.europa.eu/climate-change/consequences-climate-change_en
 6. STECCI. *STECCL Horizon*. Dostupno putem <https://steccihorizoneu.com/>
 7. United Nations. *What is climate change?* United Nations. Dostupno putem <https://www.un.org/en/climatechange/what-is-climate-change>
 8. United Nations Framework Convention on Climate Change. *The science of climate change*. UNFCCC. Dostupno putem

Utjecaj onečišćenog zraka i klimatskih promjena na kardiovaskularno zdravlje

Senka Mesihović-Dinarević

Sažetak: Klimatske promjene jedan su od najznačajnijih egzistencijalnih izazova s kojima se suočava planet Zemlja i ljudska civilizacija. Među glavne uzročnike klimatskih promjena svrstava se izgaranje fosilnih goriva za proizvodnju energije. Učinci klimatskih promjena već se osjećaju diljem svijeta, a predviđa se da će u narednim desetljećima postati još učestaliji i intenzivniji. Onečišćenje zraka najveći je pojedinačni čimbenik rizika za zdravlje okoliša u svijetu i glavni doprinositelj globalnom teretu bolesti, što nije novost, ali je svakako zanemaren čimbenik kardiovaskularnog (KV) rizika. Postoje uzorci dokaza o kroničnom i akutnom kardiovaskularnom oštećenju uzrokovanom onečišćenjem zraka. Onečišćenje može pogoršati već postojeće zdravstvene probleme. Većina zagađivala dovodi do zdravstvenih posljedica na dišni sustav, pojavu i intenziviranje opstruktivnih bolesti, kao i posljedica po kardiovaskularni sistem, u smislu povišenog krvnog tlaka, aritmije, anginoznih bolova, što može rezultirati ishemijskim bolestima srca: infarktima miokarda i cerebrovaskularnim inzultom. Među metaboličkim bolestima, kao posljedica onečišćenja zraka, najčešći je diabetes mellitus. Zagađen zrak može značajno utjecati na zdravlje djece (posljedice mogu biti upala pluća, bronhitis i astma). Kronična izloženost visokim koncentracijama lebdećih čestica PM2.5 povezana je s: većom stopom spontanih pobačaja, prijevremenim porođima, manjom porođajnom težinom djeteta, kao i nekim urođenim srčanim anomalijama. Sprečavanje kardiovaskularnih bolesti (KVB) povezanih s onečišćenjem zraka putem opsežnog prijelaza s fosilnih goriva na čistu, obnovljivu energiju ne samo da će smanjiti kardiovaskularne bolesti, i s njima povezane smrti, već će također usporiti tempo klimatskih promjena i tako koristiti cijelom čovječanstvu.

1. ZDRAVLJE

Zdravlje je stanje dobrog tjelesnog, psihičkog i društvenog blagostanja. Zdravlje se najčešće definiše kao odsustvo bolesti. Neki od uslova zdravlja su uravnotežena prehrana, tjelesna aktivnost i higijena. Zdravlje je nivo funkcionalne i metaboličke efikasnosti živog organizma. Svjetska zdravstvena organizacija definiše zdravlje kod ljudi kao „stanje kompletne fizičke, mentalne i društvene dobrobiti koje se ne sastoji samo od izostanka bolesti“, a posljednjih godina definicija je proširena i uključuje sposobnost da se vodi „društveno i ekonomski produktivan život“. Centar za kontrolu bolesti (engl. *Centers for Disease Control and Prevention – CDC*) definiše pet odrednica (determinanti) zdravlja: 1. biološki faktori i genetika, 2. ponašanje pojedinca, 3. društvena okolina, 4. fizička okolina i 5. zdravstveni sistem.

Aerozagađenje (onečišćenje) zraka

Aerozagađenje (onečišćenje) zraka nastaje kada koncentracije određenih štetnih tvari (polutanata) dostignu nivo koji uzrokuje njihovu toksičnost. Aerozagađenje je naročito prisutno u industrijskim zonama i urbanim naseljima kao posljedica emisije štetnih tvari iz industrijskih postrojenja. Samo kontinuiranim praćenjem stanja zagađenosti atmosfere mogu se poboljšati spoznaje do koje mjere koncentracije određenih polutanata u sredini, u kojoj ljudi žive i rade, utječu na zdravlje. Većina polutanata dovodi do zdravstvenih posljedica po respiratorni, tj. plućni, sistem; pojave i intenziviranja opstruktivnih bolesti; te djeluju na kardiovaskularni (KV) sistem, u smislu povećanog krvnog pritiska, aritmija i anginoznih bolova, što može rezultirati ishemijskim bolestima srca, tj. oštećenjem srca i krvnih sudova. U danima velike aerozagađenosti učestaliji su infarkti miokarda i cerebrovaskularni insulti. Od metaboličkih bolesti, kao posljedica aerozagađenja, najčešći je *diabetes mellitus*. Onečišćeni zrak može značajno utjecati na zdravlje djece. Studije su pokazale da je zagađenje zraka snažno povezano sa bolestima organa za disanje poput upale pluća, bronhitisa i astme. Zagađenje može pojačati već prisutne zdravstvene probleme. Povećana koncentracija suspendiranih čestica povećava rizik od akutnih respiratornih infekcija i malignih oboljenja, naročito kod djece. Studije su pokazale da je hronično izlaganje visokim koncentracijama lebdećih čestica PM_{2.5} vezano za: veću stopu pobačaja, prerane porode, manju težinu djeteta na rođenju, kao i neke urođene srčane anomalije (USA). *Prepoznavanje aerozagađenja kao glavnog faktora kardiovaskularnog rizika*, koji se često zanemaruje u kliničkoj praksi, otvara višestruke mogućnosti za prevenciju i kontrolu. Prevencija kardiovaskularnih bolesti (KVB) povezanih s aerozagađenjem putem opsežnog prelaza s fosilnih goriva na čistu, obnovljivu energiju ne samo da će smanjiti kardiovaskularne bolesti i povezane smrtnu slučajevu, već će također usporiti tempo klimatskih promjena i tako koristiti cijelom čovječanstvu.

2. KLIMATSKE PROMJENE

Klimatske promjene su jedan od najznačajnijih egzistencijalnih izazova s kojima se suočava planet Zemlja i ljudska civilizacija. Diktirane su promjenom vremena na Zemlji i uslovima zraka zbog antropogenih aktivnosti. Klimatske promjene su uzrokovane globalnim zagrijavanjem i odnose se na dugoročne vremenske prilike na Zemlji, i to: temperaturu, nivo mora i padavine. Klima na Zemlji drastično se promijenila otkad je Zemlja stvorena prije 4,5 milijardi godina. Oscilirala je između toplih razdoblja i ledenih doba. Takvi ciklusi oduvijek traju desecima hiljada ili čak milionima godina. U posljednjih 150 godina (industrijsko doba) temperature rastu brže nego ikada. Klimatske promjene nisu rezultirale samo ekstremnim temperaturama, već i povećanjem učestalosti suša, šumskih požara, pješčanih oluja, obalnih poplava, olujnih udara i uragana. Pogoršanje kvaliteta zraka zbog povećanih zagađivača može pogoršati

ekstremne fluktuacije u nivoima temperature, a te promjene mogu dovesti do daljnjeg pogoršanja kvaliteta zraka. Klimatske promjene remete meteorološke i atmosferske uvjete, uključujući temperaturu, padavine, vlažnost, brzinu vjetra, nivoe pritiska kao i vodene pare. Ovi vremenski uslovi mogu povećati nivoe čestica (engl. *particulate matters* - PM) i prizemnog ozona (O₃), što je fenomen poznat kao „vremenska ili klimatska kazna“. Više temperature zraka pridonose povećanim nivoima prekursora ozona i ubrzavaju hemijsko stvaranje ozona. *Promjenjivi obrasci vjetra, smanjena količina padavina i smanjen stepen vlažnosti* mogu dovesti do razdoblja stagnacije zraka, što može potaknuti nakupljanje O₃. *Rastuće temperature* povećavaju oksidacijski potencijal atmosferskih komponenti za proizvodnju više sulfatnih čestica, ali također mogu smanjiti nivoe nitratnih čestica povećanjem hlapljivosti krutih čestica. *Šumski požari*, koji se sada javljaju češće zbog klimatskih promjena, također povećavaju stvaranje O₃ i PM_{2.5}. Tokom posljednjih desetljeća, „vremenske kazne“ su zbog povećanih nivoa O₃ i PM bile odgovorne za hiljade smrtnih slučajeva. Povišeni nivoi O₃ i PM_{2.5} odgovorni za više od 20 000 smrti između 1994. i 2012. u SAD-u, a visoki nivoi PM₁₀ dovele su do više od 3200 smrtnih slučajeva između 1993. i 2017. u Španiji.

3. UZROCI KLIMATSKIH PROMJENA

Glavni uzrok klimatskih promjena je sagorijevanje **fosilnih goriva** radi proizvodnje energije. Fosilna goriva su goriva koja sadrže ugljikovodike, a nastala su od fosiliziranih ostataka biljaka i životinja. Trenutno su glavni izvor energije na Zemlji. Energija iz fosilnih goriva obično se oslobađa izgaranjem, a pri tom izgaranju oslobađaju se i otrovni i štetni plinovi, koji utječu na okoliš, kao što su: ugljični monoksid, ugljični dioksid, sumporni dioksid, dušikov dioksid itd. Ovi plinovi imaju štetan učinak na okoliš, skupljajući se u atmosferu i stvarajući „efekt staklenika“, dok se u dodiru s vodom u atmosferi pretvaraju u kiselinu koja pada na tlo, tzv. „kisele kiše“ koje uništavaju biljke i nagriza zgrade, stijene itd. *Glavna fosilna goriva* uključuju: treset, ugljen (lignit, mrki ugljen, kameni ugljen) i zemni plin. Usljed njihovog sagorijevanja, u Zemljinu atmosferu ispuštaju se *staklenički plinovi*, koji se tu zadržavaju zajedno s plinovima koji su u njoj prirodno prisutni. Ugljični dioksid (CO₂) je staklenički plin koji najčešće nastaje zbog ljudskog djelovanja. Dodatni plinovi pojačavaju „efekt staklenika“ na atmosferu našeg planeta i tako uzrokuju *brz porast temperature Zemlje, što dovodi do velikih promjena klime*. Fosilna goriva ili mineralna goriva su goriva koja se proizvode iz prirodnih izvora, kao što je anaerobna razgradnja zakopanih mrtvih organizama koji sadrže organske molekule nastale fotosintezom. Pretvaranje ovih materijala u fosilna goriva s visokim udjelom ugljika obično zahtijeva milione godina geoloških procesa. Organizmi i fosilna goriva koja se iz njih proizvode stari su otprilike milione godina, a ponekad i više od 650 miliona godina. Fosilna goriva mogu se spaljivati za dobivanje topline za direktnu upotrebu (kuhanje ili grijanje), za pogon motora (motori s unutarnjim izgaranjem u motornim vozilima) ili za proizvodnju električne energije. Neka fosilna goriva se prije izgaranja rafiniraju u derivate, kao što su kerozin, benzin i propan. Tokom prošlog vijeka, antropogene aktivnosti, posebno spaljivanje fosilnih goriva, rezultirale su ispuštanjem prekomjernih količina ugljičnog dioksida i drugih stakleničkih plinova, koji zadržavaju toplinu u nižim slojevima atmosfere i uzrokuju *globalno zatopljenje*. Primarni sastojci stakleničkih plinova uključuju CO₂, metan (CH₄), nitrični oksid, fluorirane plinove i prizemni ozon (O₃). Staklenički plinovi apsorbiraju i emitiraju energiju zračenja, a prekomjerno oslobađanje stakleničkih plinova doprinijelo je sušama, otapanju i povlačenju ledenjaka i morskog leda, što je pridonijelo porastu temperature Zemlje, tj. zbog gubitka snijega koji odbija Sunčevu svjetlost. Svako od protekla četiri desetljeća bilo je uzastopno toplije od bilo kojeg prethodnog desetljeća od 1850. Okolišni stres je sine qua non za klimatske promjene. *Direktna izloženost ekstremnim vremenskim prilikama, temperaturama okoline, toplinskim*

valovima, hladnim razdobljima i širokom spektru zagađivača ima potencijal pogoršanja bolesti kod pojedinaca s osnovnim kardiovaskularnim stanjima i doprinosi razvoju bolesti kod osoba bez poznate KVB. Indirektni učinci klimatskih promjena na kardiovaskularni sistem uključuju višestruke složene puteve izloženosti kroz *pristup zdravoj hrani i čistoj vodi, prevoz, stanovanje, električnu energiju, komunikacijske sisteme, medicinsku pomoć i druge društvene odrednice zdravlja*. Druge ljudske aktivnosti, kao što su poljoprivreda i krčenje šuma, isto pridonose povećanju količine stakleničkih plinova. **Bez efekta staklenika** prosječna temperatura planeta bila bi -18 °C. Međutim, zbog svakodnevnih ljudskih aktivnosti taj se efekt maksimalno povećao, što je dovelo do još većeg porasta temperature planeta. Uprkos međunarodnim obavezama, nivo ugljičnog dioksida u atmosferi i dalje raste te je prema podacima Svjetske meteorološke organizacije 2019. dostigao još jedan rekord (150% viši nego 1750. godine). Planet je već zagrijan za više od 1 °C u odnosu na nivo temperatura prije industrijskog doba. Naučnici Međuvladinog panela o klimatskim promjenama (engl. *Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC*) upozorili su da će globalno zagrijavanje od 1.5 °C imati ozbiljne, pa čak i nepovratne, posljedice na naš okoliš i društva.

Posljedice klimatskih promjena

Glavna posljedica klimatskih promjena je *povećanje globalne temperature planeta*. Ako se trenutni trend zagrijavanja nastavi, temperature bi do kraja ovog vijeka mogle porasti od 3 do 5 °C, što bi moglo imati katastrofalne posljedice. U zadnjih 10 000 godina temperatura je porasla za ukupno 5 °C. *Porast temperature utječe na topljenje ledenih masa na polovima*, što uzrokuje porast nivoa mora, dovodi do poplava i ugrožava priobalna područja. Postoje velike *regionalne razlike* u klimatskim prilikama, a neki su dijelovi svijeta teže pogođeni. Ugroženo je zdravlje, kao i sigurnost opskrbe hranom, posebno u Africi i Aziji, kontinentima s najvećim brojem mladih. Kako je navedeno u *Programu Ujedinjenih naroda za zaštitu okoliša* (engl. *UN Environment Programme - UNEP*), globalno zagrijavanje od 2 °C dovelo bi više od polovine stanovništva Afrike u opasnost od pothranjenosti. Svjetska zdravstvena organizacija upozorila je da bi porast učestalosti malarije, bolesti koje se prenose vodom i pothranjenosti mogao ugroziti zdravlje milijuna ljudi. To će utjecati i na migracije ljudi, uz predviđeno povećanje broja klimatskih izbjeglica.

Zaustavljanje klimatskih promjena

Iako se klimatske promjene ne mogu poništiti, njihove posljedice mogu se *ublažiti* i možemo im se *prilagoditi*. *Mjerama ublažavanja* nastoje se smanjiti emisije stakleničkih plinova u atmosferu. Primjera radi, moguć je razvoj čiste energije i povećanje šumskih područja. Potrebne su drastične promjene u ključnim područjima, kao što su: saobraćaj, energetika, industrija, stanovanje, gospodarenje otpadom i poljoprivreda. *Prilagođavanje* klimatskim promjenama podrazumijeva pripremu za njihove posljedice i povećanje otpornosti društva, npr. učinkovitiju upotrebu oskudnih vodnih resursa, prilagodbu poljoprivrednih i šumarskih praksi, osiguravanje da zgrade i infrastruktura mogu izdržati buduće klimatske prilike i ekstremne vremenske uslove. Klimatske promjene često jako pogađaju ugrožena područja i ugrožene skupine stanovništva. Borba protiv klimatskih promjena usmjerena je i na pomaganje *najranjivijim osobama* i postizanje napretka u pogledu drugih globalnih izazova, kao što su *borba protiv siromaštva, nejednakosti i uništavanja okoliša*. Međunarodne organizacije, civilno društvo i sve veći broj mladih zalažu se za globalno djelovanje u borbi protiv klimatskih promjena. Evropskim zelenim planom iz decembra 2019. klimatske su promjene dobile važno mjesto u političkom programu Evropske unije (EU). Predstavljen je i *plan za daljnje smanjenje emisija* za najmanje 55% do 2030. *Glavni je cilj Evropskog zelenog plana da Evropa do 2050. postane prvi klimatski neutralan kontinent, uz istovremeno osiguravanje pravednog, zdravog i*

prosperitetnog društva za buduće generacije. EU pomaže u povećanju pripravnosti i kapaciteta za odgovor na učinke klimatskih promjena na nacionalnom, regionalnom i lokalnom nivou, sarađuje s drugim zemljama i regijama kako bi se unaprijedile mjere u području klime na globalnom nivou te pružila potpora radu partnerskih zemalja, posebno onih najosjetljivijih. EU nastoji osigurati i da oporavak od pandemije koronavirusa bude povezan s prelaskom na zeleniju, digitalniju i otporniju Evropu.

Učinci klimatskih promjena

Učinci klimatskih promjena već se osjećaju širom svijeta, a predviđa se da će u narednim desetljećima postati još češći i intenzivniji. Ako se klimatske promjene ne zaustave, moglo bi doći do: 400 000 preranih smrti zbog onečišćenja zraka, 90 000 smrtnih slučajeva godišnje zbog toplinskih valova, smanjenja količine dostupne vode za 40% u južnim regijama EU-a, izloženosti 2.2 miliona ljudi poplavama obalnih područja svake godine, godišnjih gospodarskih gubitaka od 190 milijardi eura. Klimatske promjene mogu preobraziti naš planet, te utjecati na opskrbu hranom i vodom, i na zdravlje. One utječu na sve nas, *ali jače pogađaju siromašne i ranjive članove društva.* Što su veći problemi, to ih je teže i skuplje riješiti, stoga je *rano reagiranje i hvatanje u koštac* s klimatskim promjenama najbolja opcija.

Koristi klimatske politike

Prelazak na klimatski neutralno društvo goruće je pitanje i prilika za izgradnju bolje budućnosti za sve. Poduzimanjem mjera za klimu i okoliš može se pomoći u očuvanju i zaštiti planeta danas i za buduće generacije. Neke *od koristi za društvo* su: nova, zelena radna mjesta; veća konkurentnost; gospodarski rast; čišći zrak i učinkovitiji javni prevoz u gradovima; nove tehnologije poput električnih ili punjivih hibridnih automobila; energetske učinkoviti domovi ili zgrade s pametnim sistemima grijanja i hlađenja, sigurna opskrba energijom i drugim resursima, zahvaljujući čemu će Europa biti manje ovisna o uvozu. Studije pokazuju da je prelazak na zeleno i digitalno društvo izvediv i cjenovno prihvatljiv. Troškovi koji zbog klimatskih promjena nastaju u gospodarstvu i društvu bit će mnogo veći od troškova borbe protiv klimatskih promjena danas.

Kardiovaskularne bolesti

Kardiovaskularne bolesti (KVB) su velika i složena skupina bolesti srca i/li krvnih sudova (vena i arterija), uključujući i poremećaje rada srca. To su najčešće nezarazne bolesti (engl. *Non-Communicable Disease – NCD*), poznate i kao *hronične bolesti*, u svijetu odgovorne za gotovo 20.5 miliona smrti, od kojih se više od 3/4 javlja u zemljama sa *niskim i zemljama srednjeg* dohotka. Veliki napredak je ostvaren u smanjenju učestalosti kardiovaskularnih bolesti, i povezane smrtnosti, u zemljama s visokim dohotkom. Jedan od *ciljeva održivog razvoja UN-a* je do 2030. godine za trećinu smanjiti *preuranjenu smrtnost* od nezaraznih bolesti. Uprkos poboljšanjima u primarnoj i sekundarnoj prevenciji, kardiovaskularne bolesti ostaju vodeći uzrok smrti u svijetu. Ljudsko srce je samo veličine šake, ali je mišić u tijelu koji najteže radi. Sa svakim otkucajem srce pumpa krv, prenoseći kisik i hranjive tvari u svaki dio tijela kroz krvne sudove, dok odnosi metabolički otpad, kao što je ugljični dioksid. Srce otkuca oko 100 000 puta i pumpa do 7500 litara krvi svaki dan. KVB mogu biti uzrokovane kombinacijom *socioekonomskih, bihevioralnih i ekoloških faktora* rizika, uključujući visoki krvni pritisak, nezdravu ishranu, visok kolesterol, dijabetes, zagađenje zraka, pretilost, pušenje, bolesti bubrega, neke infektivne agense, buku i hemikalije u okolišu i na radnom mjestu, tjelesnu neaktivnost, štetnu upotrebu alkohola, stres i ograničen pristup postavkama koje olakšavaju fizičku aktivnost poput zelenih površina. *Porodična anamneza, etnička pripadnost, spol i dob* također mogu utjecati na rizik od kardiovaskularnih bolesti. KVB utječu na živote mnogih stanovnika Evrope. To je najčešći

uzrok smrti u zemljama članicama Evropskog gospodarskog prostora. Svake godine u EU-u se dijagnosticira više od 6 miliona novih slučajeva kardiovaskularnih bolesti, a više od 1.7 miliona ljudi umre od bolesti kardiovaskularnog sistema, što predstavlja oko 37% svih smrti (Timmis et al., 2022; WHO, 2022). Teret bolesti uzrokovanih kardiovaskularnim bolestima općenito je veći u srednjoj i istočnoj Evropi nego u sjevernoj, južnoj i zapadnoj Evropi.

Identifikacija faktora rizika

Prepoznavanje faktora rizika povećalo je svijest o kardiovaskularnim bolestima, poboljšalo rano otkrivanje i usmjereno liječenje i prevenciju. Ovaj je napredak pridonio padu smrtnosti od kardiovaskularnih bolesti za više od 50% u Sjedinjenim Državama od 1950. godine. Uzroci KVB-a također su složeni. Neke od poznatih *individualnih* odrednica za kardiovaskularne bolesti, kao što su dob, spol, rasa/etnička pripadnost i porodična anamneza, svojstvene su *pojedinu* i ne mogu se mijenjati, dok se druge, *vanjske odrednice*, mogu barem djelomično mijenjati. *Klinički faktori* rizika koji se mogu *modificirati* kako bi se smanjio rizik od KVB-a uključuju: visok krvni pritisak, visok kolesterol u krvi, prekomjernu težinu, tj. pretilost i dijabetes. Neki od njih mogu biti i djelomično nasljedni. *Faktori rizika* ponašanja su nezdrava prehrana, nedostatak tjelesne aktivnosti, pušenje i konzumacija alkohola. Na kliničke faktore rizika KVB-a utječu različiti *biološki mehanizmi*, kao i *faktori ponašanja i okoliša*. I jedno i drugo je pod jakim utjecajem *socioekonomskih faktora*, kao što su: nizak nivo prihoda i obrazovanja, nezaposlenost (ili nesigurno zaposlenje) i srodni psihosocijalni problemi. *Klinički i biheioralni faktori rizika* su glavni promjenjivi faktori koji doprinose KVB-u, te su stoga tipično cilj prevencije.

Doprinos okoliša kardiovaskularnim bolestima u Evropi

Procjenjuje se da u Evropi, tj. članicama Evropskog gospodarskog područja (engl. *European Economic Area* (EEA) i zemljama saradnicama, preko 18% od svih smrti od kardiovaskularnih bolesti nastaje od ključnih faktora okoliša. Postoje značajne varijacije među članicama EEA-a i zemljama saradnicama, na način da su viši procenti smrtnosti od kardiovaskularnih bolesti zbog okoliša u zemljama istočne i jugoistočne Evrope te u Turskoj. Ova procjena (18% smrtnih slučajeva od kardiovaskularnih bolesti koje se mogu spriječiti, a mogu se pripisati okolišu) vjerojatno je potcjenjena, zato što uključuje samo izbor faktora okoliša za koje je dostupno dovoljno podataka za većinu članica EEA i zemlje saradnice, tj. vanjsko i unutarnje onečišćenje zraka, toplinu i hladnoću, pasivni dim i olovo, a ne uključuje poznate faktore rizika od nastanka KVB-a zbog izloženosti na radnom mjestu, niti uključuje učinak buke u okolišu (veliki ekološki rizik u Evropi) ili otrovnih hemikalija.

Najčešće kardiovaskularne bolesti

Koronarna bolest srca, koja se ponekad naziva i bolest koronarnih arterija ili ishemijska bolest srca, najčešća je vrsta bolesti srca. Odnosi se na srčane probleme uzrokovane suženim koronarnim arterijama koje krvlju opskrbljuju srčani mišić. Za neke pacijente, prvi znak koronarne bolesti srca je srčani udar. Srčani udar ili infarkt miokarda događa se obično kada krvni ugrušak prekine dotok krvi u srce. Bez kisika i hranjivih tvari, srčani mišić počinje odumirati. Srčani udar možda nekada i nije smrtonosan, ali može uzrokovati trajno oštećenje srca. Moždani udar nastaje kada je dotok krvi u mozak prekinut, zbog čega mozak gubi vitalnu opskrbu kisikom i hranjivim tvarima. Moždani udar može biti uzrokovan krvnim ugruškom u moždanoj arteriji ili kada krvna žila u mozgu pukne i krvari, oštećujući moždano tkivo. Mnogi zdravstveni problemi povezani sa srčanim bolestima, povezani su s aterosklerozom ili nakupljanjem plaka u zidovima arterija, što može rezultirati krvnim ugrušcima i dovesti do ishemijske bolesti srca ili cerebrovaskularnih bolesti (moždani udar).

Druge kardiovaskularne bolesti

Aritmija je nepravilan ili abnormalan rad srca; **bolest aorte** (uključujući aneurizmu aorte) je bolest koja uzrokuje širenje ili pucanje aorte; kardiomiopatije su bolesti srčanog mišića; **urođene bolesti srca**, tj. kongenitalne srčane anomalije, su abnormalnosti položaja, građe i funkcije srca i/li velikih krvnih sudova koje postoje na rođenju; **duboka venska tromboza** i **plućna embolija** su krvni ugrušci u venama nogu, koji se mogu osloboditi i otputovati do srca i pluća; **zatajenje srca** je stanje kada srce ne pumpa kako bi trebalo; **bolest srčanih zalistaka** je bolest zalistaka koji održavaju protok krvi kroz srce; **perikardijalna bolest** (perikarditis) je upala tanke tkivne vrećice koja okružuje srce; **reumatska bolest srca** je oštećenje srčanog mišića i srčanih zalistaka, uzrokovano streptokoknim bakterijama; **vaskularna bolest** (bolest krvnih žila) je bilo koje stanje koje utječe na kardiovaskularni sistem; **periferna vaskularna bolest** (uključujući perifernu arterijsku bolest) je bolest krvnih žila koje opskrbljuju ruke i noge; **cerebrovaskularna bolest** je bolest krvnih žila koje opskrbljuju mozak.

Simptomi kardiovaskularnih bolesti razlikuju se ovisno o stanju oboljelih i mogu uključivati: bol u prsima, stezanje u prsima, pritisak u prsima i nelagodu u prsima; bol, slabost ili utrnulost u nogama i/li rukama; bol ili nelagodu u rukama, vratu, ramenima, čeljusti i leđima; kratkoća daha; lako umaranje tokom vježbanja ili aktivnosti; promjene u srčanom ritmu; vrlo brzi ili spori otkucaji srca, lupanje srca ili titranje u prsima; vrtoglavica, ošamućenost ili nesvjestica; slabost ili umor; oticanje šaka, nogu, gležnjeva ili stopala; temperatura; osipi na koži ili neobične mrlje; te suhi ili uporni kašalj. **Dijagnoza kardiovaskularne bolesti** ovisi o simptomima i stanju koje oboljeli može imati, medicinskoj i porodičnoj anamnezi, faktorima rizika i fizičkom pregledu. Dijagnosticiraju se nizom laboratorijskih testova i slikovnih studija. Neki od uobičajenih testova koji se koriste uključuju: krvni test, test stresa, rendgen-snimak srca i pluća, elektrokardiogram, ehokardiogram, skeniranje kompjutoriziranom tomografijom, skeniranje magnetskom rezonancom, kompjuterizirana tomografija elektronskim snopom, kateterizacija srca i koronarna angiografija. **Liječenje** se razlikuje ovisno o stanju, a može uključivati: *promjene načina života* u vezi s prehranom, tjelovježbom, korištenjem alkohola i duhana; *lijekove*, uključujući one koji liječe faktore rizika poput krvnog pritiska ili vrše otapanje krvnih ugrušaka; *uređaje* kao što su električni stimulatori (pacemakeri) ili implantabilni kardioverter-defibrilatori (ICD); medicinske postupke uključujući: stentove, operaciju srčanih zalistaka ili operaciju koronarne prenosnice / aorto koronarno premoštenje (engl. *bypass*).

Zagađenje (onečišćenje) zraka

Ovo je najveći pojedinačni riziko faktor za zdravlje okoliša u svijetu, koji daje glavni doprinos globalnom teretu bolesti. On nije nov, ali je zanemaren faktor kardiovaskularnog rizika. Postoji dovoljno dokaza o hroničnom i akutnom kardiovaskularnom oštećenju uzrokovanom onečišćenjem zraka. **Zagađenje** zraka definira se kao mješavina štetnih tvari, čestica i plinova, ispuštenih u atmosferu ljudskom aktivnošću, uglavnom izgaranjem fosilnih goriva. **Tri uobičajena zagađivača zraka** su: *čestice (PM)*, *ozon i dušikov dioksid (NO₂)*, i u središtu su većine programa praćenja, komunikacijskih napora, procjena utjecaja na zdravlje i regulatornih napora. Sedam miliona ljudi umre svake godine zbog onečišćenja zraka. Ono je odgovorno za 25% svih smrti od kardiovaskularnih bolesti. Politike i ulaganja kojima se podržava čistiji transport, energetski učinkoviti domovi, proizvodnja električne energije, industrijska regulacija, pristup čistom gorivu i tehnologijama, te bolje gospodarenje komunalnim otpadom mogu učinkovito smanjiti ključne izvore onečišćenja zraka. Zagađenje zraka i njegov utjecaj na zdravlje ljudi postali su značajan problem na globalnom zdravstvenom planu (9/10 ljudi širom svijeta udiše zagađen zrak, što nesrazmjerno utječe na one koji žive u okruženjima s ograničenim resursima). Prema WHO-u, više od 20% svih smrti od kardiovaskularnih bolesti uzrokovano je onečišćenjem

zraka, što je ekvivalent više od 3.5 miliona smrtnih slučajeva svake godine. U 2019. procjenjuje se da je 6.7 miliona smrtnih slučajeva, ili 12% svih smrtnih slučajeva u svijetu, bilo pripisano onečišćenju zraka na otvorenom ili u kućanstvu. Čak polovina od toga bila je zbog kardiovaskularnih bolesti. Onečišćenje zraka utječe na zdravlje kardiovaskularnog sistema, osobito kroz dugoročnu izloženost finim česticama i dušikovom dioksidu. Ishemijska bolest srca i moždani udar najčešći su uzroci smrti, koje se mogu spriječiti i mogu se pripisati izloženosti onečišćenju zraka, a slijede ih bolesti pluća i rak pluća (EEA, 2021). Zagađivači *okolnog zraka*, za koje se zna da doprinose kardiovaskularnim bolestima, uključuju: čestice, nitrične okside, crni ugljik i ugljični monoksid. Antropogene aktivnosti, posebno izgaranje fosilnih goriva, rezultirale su ispuštanjem prekomjernih količina ugljičnog dioksida (CO_2) i drugih stakleničkih plinova, koji zadržavaju toplinu u nižim slojevima atmosfere i uzrokuju globalno zatopljenje. Dokazi o utjecajima koji se odnose na izloženost okolnom ozonu manje su jasni (Wolf et al., 2021). *Primarni zagađivači zraka* ispuštaju se direktno u atmosferu i iz prirodnih izvora i od ljudske aktivnosti. *Sekundarni zagađivači* nastaju kroz hemijske reakcije ili fizičke interakcije koje uključuju same primarne zagađivače ili druge komponente unutar atmosfere. Iako **ozon** prirodno postoji kao molekula u Zemljinoj stratosferi, gdje služi kao ključni štit apsorbirajući ultraljubičasto zračenje Sunca, poznato je da se *prizemni ozon* razlikuje od ozona u stratosferi. Na nivou tla, ozon postaje značajan *sekundarni zagađivač*, nastao fotohemijskim reakcijama koje uključuju dušikove okside i hlapljive organske spojeve, te djelujući kao staklenički plin doprinosi povećanju temperature Zemlje. Reakcije koje dovode do stvaranja O_3 također su pod jakim utjecajem meteoroloških fluktuacija vidljivih s klimatskim promjenama. Normalno, O_3 se brzo stvara i troši bez značajnog nakupljanja tokom vremena, a koncentracija O_3 najniža je tokom noći. Međutim, povećanje temperature okoline dovodi do povećanja prizemne koncentracije O_3 koje bi moglo biti teško ublažiti s obzirom na odnos između temperature okoline i razine O_3 . Nivoi O_3 mjere se kao 8-satna najveća koncentracija u dijelovima na milijun ili milijardu po volumenu. Ozon se uglavnom povezuje s *pogoršanjem bolesti dišnog sistema, pojavom HOPB-a i smrtnošću te s metaboličkim učincima*. Polutanti $\text{PM}_{2.5}$ i nitrični oksid su među najčešće navedenim zagađivačima povezanim s KV rizikom zbog svojih specifičnih karakteristika i mehanizama putem kojih utječu na zdravlje KV-a. To su udisanje, svojstva penetracije, upalne reakcije, vazokonstrikcija, endotelna disfunkcija uz patološke promjene u vazomotornom tonusu, protrombotski putovi, autonomna neravnoteža, aktivacija osovine hipotalamus-hipofiza-nadbubrežna žlijezda, a svi oni pridonose razvoju KV faktora rizika i subkliničke ateroskleroze. Udisanje onečišćenih čestica opasno je za zdravlje, a rizici ovise o veličini čestica. Taloženje čestica u plućima, uglavnom $\text{PM}_{2.5}$, stimulira kaskadu upale, što dovodi da se u krvi povećaju nivoi upalnih medijatora, oksidativnog stresa i sistemskog upalnog stanja niskog stepena.

Čestične tvari (eng. *particulate matter PM*)

Nazivaju se i česticama onečišćenja, označavaju mješavinu čvrstih čestica i tekućih kapljica koje se nalaze u zraku. Neke čestice, poput prašine, prljavštine, čađi ili dima, dovoljno su velike ili tamne da se vide golim okom. Druge su toliko male da se mogu detektirati samo pomoću elektronskog mikroskopa. Prosječna ljudska kosa je oko 70 mikrometara u promjeru, što ga čini 30 puta većim od najveće fine čestice. Ove čestice dolaze u mnogim veličinama i oblicima i mogu biti sastavljene od stotina različitih hemikalija. Neke se emitiraju direktno iz izvora, kao što su gradilišta, neasfaltirane ceste, polja, dimnjaci ili požari. Većina čestica nastaje u atmosferi kao rezultat složenih reakcija hemikalija, kao što su sumporni dioksid i dušikovi oksidi, koji su zagađivači ispušteni iz elektrane, industrije i automobila. Čestice PM obično se mjere u mikrogramima po kubnom metru (masa po volumenu) regulatornim i nadzornim mrežama, ali ponekad se procjene vrše u finijim prostornim rezolucijama pomoću

podataka daljinskog očitavanja. Mješavina su krutih i tekućih tvari koje nastaju iz prirodnih izvora (uključujući materijale kao što su pijesak i sol), poljoprivrednih izvora (gnojiva na bazi amonijaka) i antropogenih izvora (spaljivanje fosilna goriva). PM se može kategorizirati *prema veličini*, pri čemu se PM10 odnosi na čestice koje se mogu inhalirati aerodinamičkim promjerom od $<10\ \mu\text{m}$, PM2.5 (fine čestice, $<2.5\ \mu\text{m}$) i PM0.1 (ultrafine čestice, $<0.1\ \mu\text{m}$). Veličina PM-a određuje sudbinu i način transporta čestica, kao i njihov položaj unutar respiratornog trakta gdje će se taložiti. *Dokazi o učincima na kardiovaskularne bolesti* najkonzistentniji su za **čestice**, koje su odgovorne za veliku većinu tereta bolesti putem svojih učinaka na: *ishemijsku bolest srca i moždani udar, rak pluća, hroničnu opstruktivnu plućnu bolest (HOPB)¹, infekcije donjeg dišnog sistema, dijabetes tipa 2, ishode trudnoće i povezanu smrtnost dojenčadi*. NO_2 se često koristi kao pokazatelj onečišćenja zraka uzrokovanog saobraćajem. *Hronična izloženost* NO_2 povezana je s pojavom **astme** (hronične opstruktivne upalne bolesti dišnih putova) u djetinjstvu, dok je kratkoročna varijabilnost povezana s pogoršanjem astme i povećanim dnevnim brojem smrtnosti. **PM2.5** su slične čestice različitog sastava štetnih tvari koje prolaze kroz alveolarnu barijeru i uništavaju endotelne stanice direktno ili djeluju kroz endokrini poremećaj uzrokujući *akutni koronarni sindrom, bolest koronarnih arterija* i njihovih faktora rizika, kao što su *hipertenzija* (povišen krvni pritisak u arterijama), *pretilost i dijabetes* (povišeni nivoi šećera u krvi). Dugoročna izloženost PM2.5 povezana je s *povećanom debljinom medija intime karotide, kalcifikacijom koronarnih arterija, kalcifikacijom abdominalne aorte, osjetljivošću na stvaranje aterosklerotskog plaka, hipertrofijom lijeve komore i progresijom hronične bolesti bubrega*. Istraživanja Agencije za zaštitu okoliša i drugih otkrila su da izloženost povećanim koncentracijama PM2.5 tokom nekoliko sati do sedmica može izazvati srčane udare i smrti povezane s kardiovaskularnim bolestima. Dugotrajnije izlaganje može dovesti do povećanog rizika od kardiovaskularne smrtnosti i smanjenja očekivanog životnog vijeka. Osim toga, dokazi iz kliničkih, epidemioloških i eksperimentalnih studija povezuju izloženost PM2.5 s *inzulinskom rezistencijom i dijabetesom tipa 2*. Ove se povezanosti protežu sve do nivoa onečišćenja ispod $5\ \mu\text{g}$ po kubičnom milimetru. Procjenjuje se da na globalnoj razini onečišćenje PM2.5 u zraku pridonosi oko 3.2 miliona slučajeva dijabetesa svake godine i do 196.792 umrlih od dijabetesa. **Mehanizmi** putem kojih zagađivači uzrokuju *kardiovaskularne toksične učinke* su **složeni i raznoliki**. Oni se mogu klasificirati u tri široka naslova: *inicirajući mehanizmi, efektorski putovi i razvoj faktora rizika*. Inicirajući mehanizmi javljaju se na mjestu početne izloženosti. Oni uključuju upalu, aktivaciju neuralnih refleksnih lukova i vezivanje receptora za prepoznavanje uzoraka. Za izlaganje toksičnim metalima i mnogim hemijskim izlaganjima, smanjenje endogenih antioksidansa i oksidativni stres imaju središnju ulogu. Efektorski mehanizmi uključuju aktivaciju brzih nervnih puteva i oslobađanje biološki aktivnih intermedijera (upalnih citokina, oksidiranih lipida, imunoloških stanica, mikročestica i mikroRNA). Do endokrinih poremećaja dolazi zbog mnogih proizvedenih hemikalija i onečišćenja zraka. Razvoj faktora rizika za kardiovaskularne bolesti, kao što su *hipertenzija i dijabetes tipa 2*, događaji su u kasnoj fazi kao rezultat hroničnog oksidativnog stresa i upale izazvanog zagađenjem. Primjera radi, u **Indiji**, većina urbanih lokacija ima *loš indeks kvaliteta zraka s razinama PM 2.5* znatno iznad preporučenih granica. Najveći nivo onečišćenja okolnog zraka su u regiji *istočnog Sredozemlja i u jugoistočnoj Aziji*, s godišnjim srednjim nivoima koji često prelaze više od pet puta granice koje preporučuje WHO, a zatim u gradovima s niskim i srednjim prihodima u Africi i zapadnom Pacifiku. Navodno 60% indijskih gradova ima nivo PM2.5 iznad nacionalnih standarda za kvalitet zraka.

¹HOPB je plućno oštećenje nalik astmi, u kojem je normalni protok zraka u pluća smanjen, što čini disanje otežanim.

4. KARDIOVASKULARNE BOLESTI I STUDIJE

Povezanost između izloženosti majke zagađenom zraku tokom trudnoće i učestalosti urođenih srčanih anomalijama (USA), (engl. *Congenital Heart Disease - CHD*), predmet je mnogih studija. USA imaju multifaktorijalnu uzročnost sa snažnom genetskom komponentom i mnogim okidačima iz okoline. Cilj studije iz 2020. u kineskom gradu Suzhou bio je istražiti je li izloženost majke zagađivačima zraka (PM10, PM2.5, NO₂, CO i SO₂) povezana s povećanim rizikom od USA. Ukupno 5213 dojenčadi s USA-om uključeno je u studiju tokom perioda od 2015. do 2019. Prvih pet urođenih anomalija su bile: sindaktilija, USA, malformacija uha, rascjep usne i nepca i hipospadija, s tim da je udio USA bio značajan. Nivo izloženosti majke onečišćenju bio je najveći u prvom tromjesečju trudnoće. U poređenju s drugim urođenim anomalijama, uočena je signifikantno povećana povezanost između izloženosti PM2.5 tokom drugog i trećeg tromjesečja s rizikom od USA-e. Izloženost majke NO₂ bila je signifikantno povezana s USA-om u prvom tromjesečju (aOR = 1,318; 95% CI: 1,210–1,435). Izloženost česticama PM2.5 i NO₂ povećava rizik od USA-e, no potrebna su buduća daljnja istraživanja. Dvadeset i šest sistemskih studija i metaanaliza iz epidemiološke literature u 2020. istražilo je odnos između majčine izloženosti onečišćenju zraka i rizika od USA-e kod potomaka. Rezultati istraživanja empirijskih studija sugeriraju da je onečišćenje zraka važan riziko faktor koji doprinosi razvoju USA-e. Rezultati studije ukazuju na statistički značajnu povezanost između povećanog rizika od specifičnih podtipova USA-e i izloženosti PM2.5, PM10, NO₂, CO i O₃, u odnosu na nisku izloženost ugljičnom monoksidu (CO), koji su bili povezani s povećanim rizikom od **Fallotove tetralogije (Tetralogie Fallot)** [omjer izgleda (OR) = 1,21, 95% interval pouzdanosti (CI): 1,04-1,41], a čestica izloženosti ≤ 5 µm (PM2.5) bila je marginalno povezana s tim. Povećani rizik od **defekata aatrijalnog septuma** utvrđen je za svakih 10 µg/m³ i 10 ppb povećanja u česticama ≤ 10 µm (PM10) i izloženosti ozonu (O₃) (OR = 1,04, 95% CI: 1,00-1,09, OR = 1,09, 95% CI: 1,02-1,17). Izloženost dušikovom dioksidu (NO₂) bila je povezana s povećanim rizikom od **koarktacije aorte** (OR za visoki u odnosu na niski = 1,14, 95% CI: 1,02-1,26). Potrebne su daljnje studije, posebno u zemljama u razvoju, s poboljšanjima u procjeni izloženosti, usklađivanju ishoda i razumijevanju mehanizma kako bi se elaborirale ove povezanosti.

Predviđa se da će do 2030. *maksimalne dnevne koncentracije O₃* porasti do 1-5 ppb širom SAD-a, što - zajedno s predviđenim porastom prosječnih dnevnih temperatura - bi dovelo do dodatnih desetaka hiljada bolesti povezanih s O₃ i preuranjenih smrti godišnje. Povezanost između **inzulinske rezistencije** (nedovoljnog odgovora glukoze na endogeni i/li egzogeni inzulin) i onečišćenja zraka opsežno je ispitana. Metaanaliza iz 2020. pokazala je značajnu povezanost između povećanja od 10 µg/m³ u nivoima PM2.5 i incidence i prevalence **dijabetesa melitusa tipa 2**. Istraživači su, također, pronašli značajnu povezanost između povećanja nivoa NO₂ od 10 µg/m³ i prevalence dijabetesa tipa 2. Brojni pregledi su istaknuli povezanost krvnog pritiska i nivoa onečišćenja zraka. Prevalenca **hipertenzije** (povišenog krvnog pritiska u arterijama) bila je povezana s kratkoročnim i dugoročnim izloženostima inkrementima PM2.5 od 10 µg/m³. Kratkoročna izloženost povećanjima od 10 µg/m³ u PM2.5 povezana je i s povišenjem sistolnog i dijastolnog krvnog pritiska od 3 mmHg. Lične strategije za ograničavanje izloženosti onečišćenju zraka (*upotreba maski za lice i pročistača zraka u zatvorenom prostoru*) značajno su dovele do smanjenja nivoa krvnog pritiska, podupirući tako strategije za smanjenje onečišćenja zraka kao način prevencije i liječenja hipertenzije.

Udio *kardiovaskularnih smrti* pripisanih okolišu ukupno je veći u jugoistočnoj i istočnoj Evropi, s najvećim udjelom pripisanih smrti od KVB-a u Makedoniji, s gotovo 19%. Sjevernoevropske

zemlje općenito imaju niže vrijednosti, s najmanjim udjelom slučajeva kardiovaskularnih bolesti uzrokovanih onečišćenjem zraka zabilježenim u Švedskoj (1,11%). Unatoč niskim nivoima izloženosti PM2.5 u **Kanadi i SAD-u** (9-11 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), studije iz tih zemalja također su pokazale *pozitivnu povezanost između dugoročne izloženosti PM2.5 i smrtnosti od kardiovaskularnih bolesti*. U velikoj **američkoj studiji** (n = 517 043), dugoročna izloženost (između 2000. i 2009.) PM2.5 povezana je s 10%-tnim povećanjem smrtnosti od kardiovaskularnih bolesti za svakih 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ povećanja razine PM2.5. Nadalje, podaci iz **Kanadske kohorte** popisa stanovništva iz 2001. za zdravlje i okoliš pokazali su da su se 10-godišnje procjene omjera opasnosti za smrtnost od kardiovaskularnih bolesti povećale za 25% za svakih 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ povećanja koncentracije PM2.5. **Nekoliko kohortnih studija** također je ispitalo povezanost između dugoročne izloženosti visokim razinama PM2.5 i kardiovaskularnog morbiditeta i mortaliteta. U prospektivnoj kohortnoj studiji iz **Kine**, u okruženju visokih razina PM2.5 (prosjeck 43,7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), svakih 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ povećanja razine PM2.5 povezano je s 12% povećanjem smrtnosti od kardiovaskularnih bolesti. Metaanaliza 28 studija iz 2020. pokazala je skromnu, ali značajnu povezanost između kratkotrajne izloženosti PM2.5 (mjerenoj kao 24-satna prosječna koncentracija) i kardiovaskularne smrtnosti. Što se tiče povezanosti drugih zagađivača i kardiovaskularne smrtnosti, metaanaliza iz 2021., koja je procijenila podatke iz 398 gradova u 22 zemlje, s ukupno 19,7 miliona kardiovaskularnih smrti između 1973. i 2018., pokazala je da je povećanje **NO₂** od 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ bilo povezano s povećanjem smrtnosti od kardiovaskularnih bolesti od 0,37% dan nakon izlaganja.

Infarkt miokarda (MI)

Brojne su studije istraživale odnos između kratkoročne i dugoročne izloženosti zagađivačima zraka i učestalosti smrtonosnog i nefatalnog infarkta miokarda. Istraživači su otkrili povećanje od 1,1% i 2,5% u riziku od MI povezanih sa svakim povećanjem koncentracije NO₂ od 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, odnosno PM2.5. Evropska studija kohorti za učinke onečišćenja zraka (projekt ESCAPE) pokazala je da je povećanje od 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ u razinama PM2.5 povezano s 13% povećanim rizikom od akutnih koronarnih događaja. Kratkoročna izloženost glavnim zagađivačima zraka, osim ozona, povećava učestalost akutnog infarkta miokarda (AMI). **Multicentrična evropska studija** pokazala je povezanost između dugoročne izloženosti zraku, uglavnom PM2.5 i NO₂ i učestalosti koronarne bolesti srca i moždanog udara. Patofiziološka osnova ove korelacije leži u sistemskom upalnom odgovoru izazvanom udisanjem zagađivača, što je odgovorno za napredovanje i komplikacije **aterosklerotskih plakova**. Ateroskleroza je proces zadebljanja i oštećenja stijenke krvnih žila stvaranjem različitih aterosklerotskih promjena, npr. plak i aterom, koje karakterizira upala i proliferacija stanica stijenke krvne žile. Ovim se povećava rizik od AMI-ja, posebno kod *bolesnika s poznatom historijom bolesti koronarnih arterija (CAD)*. Izloženost PM2.5 potencira opterećenje **plakom** i vaskularnu disfunkciju u modelima **ateroskleroze**, a također je povezana s ranjivošću plaka, promjenama u vazomotornom tonusu, povećanim reaktivnim vrstama kisika i proupalnim medijatorima. Oksidativni stres djeluje proupalno i obrnuto, upala je prooksidativna, što dovodi do začaranog kruga koji rezultira visokim nivoima oksidativnog stresa. Sistemski upalni učinci citokina ili oksidirajućih molekula koje izlaze iz pluća, također, mogu utjecati na *aterosklerotične plakove, dovodeći do njihove progresije, destabilizacije ili rupture, izazivajući akutni koronarni sindrom*. Postoje kratkoročne povezanosti između onečišćenja zraka i *kardiovaskularne smrtnosti* koje se mogu objasniti trombogenošću; to je jedan od razloga zašto su *akutni koronarni sindromi povezani s izloženošću prometu*. *Pretili osobe i dijabetičari* mogu biti izložene većem riziku od kardiovaskularnih učinaka PM2.5 i obrnuto, dugoročna izloženost PM2.5 može pospješiti razvoj šećerne bolesti, potencijalno kroz sistemske upalne reakcije. U analizi podataka iz **šest populacijskih kohortnih studija iz Danske, Njemačke, Nizozemske i Švedske** (n = 137 148),

povećanja od $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ u dugotrajnoj izloženosti NO_2 povezana su sa značajnim povećanjem incidence koronarnih arterijskih bolesti (engl. *Coronary Artery Disease - CAD*). Međutim, dugoročna izloženost prizemnom O_3 ili $\text{PM}_{2.5}$ nije bila povezana s povećanjem učestalosti CAD-a. Konačno, metaanaliza **42 studije iz 2021.** pokazala je da je inkrementalno povećanje od $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ u dugoročnoj izloženosti $\text{PM}_{2.5}$ značajno povezano sa smrću od CAD-a, ali ne i učestalost MI-ja. *Pacijenti s već postojećom koronarnom bolesti srca*, stoga, mogu biti izloženi daljnjem povećanom riziku od štetnih učinaka onečišćenja zraka.

Zatajenje srca (ZS) je medicinsko stanje koje nastaje kada srce više nije u mogućnosti adekvatno pumpati krv za zadovoljenje metaboličkih potreba organizma. Mnoge studije pokazale su vezu između izloženosti onečišćenju zraka i hospitalizacija zbog zatajenja srca (engl. *heart failure - HF*). Metaanaliza **35 studija** pokazala je da kratkoročna izloženost glavnim onečišćivačima zraka (CO , NO_2 , SO_2 , PM_{10} i $\text{PM}_{2.5}$, ali ne O_3) je povezana s povećanjem hospitalizacija i smrtnosti od srčanog udara. Studija provedena na stanovnicima **Ontarija u Kanadi** također je pokazala vezu između dugoročne izloženosti glavnim zagađivačima zraka i povećanog prijema pacijenata sa ZS-om; tačnije, povećanja od 5% i 3% u prijemima zbog ZS-a bila su povezana sa svakim povećanjem interkvartilnog raspona izloženosti $\text{PM}_{2.5}$ odnosno O_3 . Korištenjem podataka **UK Biobanka**, prospektivna kohortna studija otkrila je da je dugoročna izloženost onečišćujućim tvarima povezana s 31% povećanjem rizika od incidenta ZS u najvišem kvartalu u usporedbi s najnižim kvartilom rezultata onečišćenja zraka. Odnos između onečišćenja zraka i ZS-a može biti modificiran genetskom osjetljivošću. Potrebne su daljnje studije kako bi se potvrdio odnos između dugoročne izloženosti onečišćenju zraka i rizika od ZS-a.

Moždani udar

Povezanost između kratkoročne i dugoročne izloženosti onečišćenju zraka i povećanog rizika od moždanog udara je jasno uspostavljena. Metaanaliza **68 studija iz 2021.** uključujući >23 miliona sudionika pokazala je povezanost između kratkoročne izloženosti $\text{PM}_{2.5}$ (mjereno povećanjem od $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ u koncentraciji $\text{PM}_{2.5}$) i hospitalizacije zbog moždanog udara, učestalosti i smrtnosti od moždanog udara. Pored toga, analiza je otkrila pozitivnu povezanost između povećanja od $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ u kratkoročnoj izloženosti NO_2 i hospitalizacija zbog moždanog udara, učestalosti i smrtnosti od moždanog udara. Slično, u **metaanalizi 42 studije iz 2021.**, povećanje od $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ u dugoročnoj izloženosti $\text{PM}_{2.5}$ povezano je s 13% povećanim rizikom od moždanog udara i 24% povećanim rizikom od cerebrovaskularne smrti. Međutim, analiza 11 evropskih kohorti iz projekta ESCAPE (engl. *The European Study of Cohorts for Air Pollution Effects*) ($n = 99\,446$) nije pokazala značajnu povezanost između dugoročne izloženosti $\text{PM}_{2.5}$ i incidence moždanog udara, već $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ povećanje godišnjih razina $\text{PM}_{2.5}$ povezano je s većom incidencom moždanog udara među osobama u dobi od ≥ 60 godina i onima koje nikada nisu pušile. Objedinjena analiza šest evropskih kohorti iz projekt ELAPSE (engl. *Effects of Low-Level Air Pollution*) na sličan je način pokazala vezu između inkrementalnog povećanja od $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ u dugoročnoj izloženosti $\text{PM}_{2.5}$ i incidence moždanog udara. Povećanje dugoročne izloženosti NO_2 od $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ povezano je s povećanjem incidence moždanog udara od 8%.

Srčane aritmije

Većina studija u literaturi koje su procijenile potencijalnu vezu između onečišćenja zraka i učestalosti aritmija nisu istražile specifične *podtipove aritmija*, što bi moglo dovesti u zabludu, jer ova skupina bolesti uključuje širok raspon patologija s različitim patofiziološkim mehanizmima. Dokazano je da kratkoročna izloženost onečišćenom zraku povećava rizik od *fibrilacije atrijske* (engl. *atrial fibrillation - AF*). U metaanalizi četiri opservacijske studije ($n = 461\,441$), povećanje od $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ u nivoima $\text{PM}_{2.5}$ povezano je s povećanjem od 0,89% rizika od fibrilacije atrijske. Glavni patogenetski mehanizam koji leži u osnovi aritmija

izazvanih onečišćenjem zraka povezan je sa sistemskim upalnim stanjem niskog stupnja, remodeliranjem CV-a i neuravnoteženom autonomnom homeostazom srca. Udađnute čestice koje se talože u plućima pokreću upalni odgovor i potiču oksidativni stres i oslobađanje proupalnih citokina. Trajni proupalni odgovor zbog hronične izloženosti zagađivačima zraka pojačava plućno i sistemsko vaskularno, kao i srčano, remodeliranje. Fibroza miokarda može dovesti do povećanja atrija ili ventrikula, pružajući organski supstrat za različite vrste aritmija (tj. fibrilacija atrija, supraventrikularne aritmije, preuranjeni atrijski i ventrikularni kompleksi, ventrikularne tahikardije i ventrikularna fibrilacija). **Studija na 176 pacijenata s implantabilnim kardioverter-defibrilatorom** otkrila je 39% povećan rizik od događaja **ventrikularne aritmije** sa svakim povećanjem interkvartilnog raspona razine PM2.5. Slični su nalazi također primijećeni u visokorizičnim populacijama. Konačno, među *zdravim pojedincima i onima s historijom kardiovaskularnih bolesti, i kratkoročna i dugoročna izloženost na PM2.5* povezani su s povećanim teretom preuranjenih ventrikularnih kontrakcija. Prisutnost proupalnog okruženja utiče na protok jona kroz stanične membrane, što dovodi do produženg trajanja akcijskog potencijala kardiomiocita. Usprkos tome, srčana autonomna disfunkcija izazvana izloženosti onečišćenju zraka, također, može potaknuti razvoj **bradi- i tahiaritmija**. Najčešća vrsta aritmije izazvana PM2.5 je fibrilacija atrija. Kohortna studija provedena u **Koreji** usredotočila se na proaritmičke učinke dugoročne izloženosti zagađivačima zraka i pokazala je da su povećanja PM2.5 od 10 µg/m³ povezana s povećanjem učestalosti AF-a. Studija **ARIA**, multicentrično istraživanje koje uključuje pacijente s ugrađenim uređajima (tj. srčanim stimulatorima ili implantabilnim kardioverter-defibrilatorima), ima za cilj procijeniti negativan utjecaj onečišćenja zraka na električnu stabilnost miokarda u visokorizičnih pacijenata i otkrila je značajan odnos između povišenih atmosferskih nivoa PM-ova i povećane učestalosti *ventrikularnih aritmija*.

Temperatura i kardiovaskularni događaji

Niske i visoke temperature doprinose kardiovaskularnom morbiditetu i mortalitetu. Studija o globalnom teretu bolesti iz 2019. uvela je neoptimalne temperature kao faktor rizika za smrt u cijelom svijetu, pri čemu je najveći teret smrtnosti povezan s **niskim**, a ne visokim temperaturama. *Lancet Countdown* o zdravlju i klimatskim promjenama sažeo je učinke ekstremnih temperatura, i među mnogim drugim posljedicama klimatskih promjena, tu su i one koje se tiču zdravlja i bolesti, uključujući KVB. **Globalna analiza iz 2021.** procjenjuje da je više od 5 miliona smrtnih slučajeva godišnje povezano s *neoptimalnim temperaturama*. Očekuje se da će se ovi trendovi pogoršati u nadolazećim godinama, s obzirom na kontinuirano globalno zagrijavanje i veću ranjivost pacijenata s višestrukim riziko faktorima za KVB. Temperature se bilježe na meteorološkim postajama u blizini ili unutar stambenih područja. Iako treba prepoznati varijabilnost temperaturnih ekstrema koji mogu postojati u svakoj populaciji ili geografskoj regiji, *stvarne temperature, kojima su pojedinci izloženi, funkcije su toplinski kontroliranih, unutarnjih postavki* (grijalice ili klima-uređaji). Zdravstveni učinci izlaganja *ekstremno niskim temperaturama* obično traju duže (do 2 sedmice ili više) od učinaka izloženosti ekstremnim vrućinama, koji obično traju 2-3 dana. Ekstremne temperature mogu utjecati na *rizik od razvoja dijabetesa* i mogu biti povezane s *lošom kontrolom glikemije* u bolesnika s dijabetesom. Izloženost hladnoći potiče korištenje energije kroz aktivaciju smeđeg masnog tkiva, što doprinosi termogenezi putem mehanizama razdvajanja. Povećana aktivnost smeđeg masnog tkiva povezana je s poboljšanom kontrolom glikemije i osjetljivošću na inzulin i kod zdravih pojedinaca i kod pacijenata s dijabetesom tipa 2. Na nivou populacije, *visoka srednja godišnja temperatura bila je povezana s povišenim nivoima glukoze u plazmi natašte, inzulinskom rezistencijom i povećanom incidencom i prevalencom dijabetesa*. Kratkotrajne fluktuacije temperature također su povezane s nivoima krvnog pritiska. Studije u različitim

klimatskim uslovima i populacijama pokazale su obrnutu povezanost između nivoa temperature i krvnog pritiska istog i/li prethodnih dana. **Metaanaliza 14 studija iz 2017.** pokazala je da je 24-časovni učinak fluktuacija temperature na nivo krvnog pritiska bio je veći u *osoba s utvrđenom KVB*. Zanimljivo, pokazalo se da je krvni pritisak noću viši *tokom ljetnih* nego u zimskim mjesecima, što sugerira da zagrijavanje klime može imati suprotne učinke i suprotstaviti se tradicionalnim mehanizmima kardioprotekcije. Toplije noći mogu dovesti do povišenih nivoa krvnog pritiska nekoliko sati kasnije tokom sljedećeg poslijepodneva. *Smanjeno trajanje ili kvaliteta sna* također je predloženo kao potencijalni mehanizam za naizgled paradoksalno noćno povećanje nivoa krvnog pritiska tokom toplijeg vremena. Osim toga, *povećanja srednje temperature okoline* povezana su s **nižim nivoima HDL-a** (antiaterogeni lipoprotein najveće gustine, tzv. „dobri kolesterol“) u plazmi i **višim nivoima LDL-a** (proaterogeni lipoprotein niske gustine, tzv. „loši kolesterol“) u plazmi. **Lancet Countdown za 2021.** o zdravlju i klimatskim promjenama utvrdio je da su vruća klima i KVB povezani kroz smanjenje tjelesne aktivnosti. Više temperature povezane su s manje vremena provedenog u tjelovježbi, što potencijalno dugoročno može povećati rizik od KV-a. *Odnos između klimatskih promjena i kardiovaskularnog zdravlja, posredovan zagađenjem zraka i povišenim temperaturama okoline, složen je i vrlo heterogen. Glavni mehanizmi koji leže u osnovi patogeneze KV bolesti pri ekstremnim temperaturama* uključuju nekoliko regulacijskih putova, uključujući temperaturno simpatičku reaktivnost, sistem renin-angiotenzin aktiviran hladnoćom, dehidraciju, neravnotežu elektrolita izazvanu ekstremnom temperaturom i sistemske upalne odgovore izazvane toplinskim udarom. Međudjelovanje ovih mehanizama može varirati ovisno o pojedinačnim faktorima, uslovima okoline i cjelokupnom zdravstvenom stanju. Konačni ishod je *značajno povećanje KV smrtnosti i veća učestalost hipertenzije, dijabetes melitusa tipa 2, akutnog infarkta miokarda, zatajenja srca i srčanih aritmija*. Pacijenti s već postojećim KV poremećajima mogu biti osjetljiviji na učinke globalnog zatopljenja i ekstremnih temperatura. *Povećana učestalost ekstremnih vrućina* zbog globalnog zatopljenja i onečišćenja zraka u značajnoj je korelaciji sa stopom smrtnosti od kardiovaskularnih bolesti. *Pojedinci s većom ranjivošću na toplinu, akutni kardiovaskularni događaj*, kao što su infarkt miokarda, moždani udar, akutno zatajenje srca i aritmije, uključuju **starije osobe**, one s **nižim socioekonomskim statusom** i osobe s **temeljnim kliničkim stanjima**, kao što su dijabetes melitus tipa 2 i hipertenzija. **U 2020.** koncentracije **NO₂** privremeno su pale kao direktna posljedica smanjenja cestovnog prometa tokom **COVID-a 19** zaključavanja. Niži nivoi izloženosti, zaista, znače smanjenje utjecaja zagađenja zraka na zdravlje, uključujući kardiovaskularne bolesti. Međutim, usprkos napretku, *daleko smo od postizanja sigurne razine kvaliteta zraka širom Evrope, a onečišćenje zraka ostaje glavna zdravstvena briga za evropske stanovnike*. U 2020. *izloženost koncentracijama finih čestica (PM_{2.5}) iznad nivoa smjernica Svjetske zdravstvene organizacije (5 µg/m³) rezultirala je s 238 000 smrtnih slučajeva, koje je bilo moguće spriječiti u EU-u*. Ovaj nivo smjernica, kako navodi WHO i istraživačka zajednica, još uvijek nije siguran (EEA, 2022). Štoviše, *neke kardiovaskularne bolesti imaju dugo razdoblje latencije*, tako da trenutni slučajevi mogu odražavati prethodnu izloženost, što pojačava hitnost smanjenja onečišćenja zraka kako bi se doprinijelo prevenciji kardiovaskularnih bolesti.

5. STRATEGIJE I PREPORUKE

Prepoznavanje klimatske krize, zagađenja i drugih negativnih utjecaja uzrokovanih fosilnim gorivima dovelo je do široke **političke tranzicije i aktivističkog pokreta** usmjerenog na prestanak njihove upotrebe u korist održive energije. Međutim, budući da je industrija fosilnih goriva toliko integrirana u globalno gospodarstvo i snažno subvencionirana, očekuje se da će ova tranzicija imati značajne ekonomske posljedice. Mnogi akteri tvrde da bi ova promjena

trebalo da bude pravedna tranzicija i donošenje politike koja se bavi društvenim teretom koji stvara nasukana imovina industrije fosilnih goriva. *Međunarodna politika, u obliku ciljeva održivog razvoja Ujedinjenih naroda za pristupačnu i čistu energiju i klimatske akcije, kao i Pariskog sporazuma o klimi*, osmišljena je kako bi olakšala ovu tranziciju na globalnom nivou. *Međunarodna agencija za energiju je u 2021. zaključila da se novi projekti vađenja fosilnih goriva ne mogu otvoriti, ako globalno gospodarstvo i društva treba da izbjegnu najgore utjecaje klimatskih promjena i ispune međunarodne ciljeve ublažavanja klimatskih promjena.*

Svjetska federacija za srce (engl. *World Heart Federation – WHF*) predana je smanjenju utjecaja onečišćenja zraka na zdravlje ljudi i postavila ga je kao prioritarno područje u globalnim naporima zagovaranja. WHF poduzima radnje u *tri ključna područja* za rješavanje problema zagađenja zraka i kardiovaskularnih bolesti: *istraživanje, zagovaranje i obrazovanje*. Onečišćenje zraka zahtijeva višesistemski i višesektorski odgovor. Zdravstveni sektor u cjelini, koji snosi utjecaj onečišćenja zraka, može pružiti prijeko potrebnu potporu ministarstvima okoliša, energetike i prometa. Svjetska federacija za srce zalaže se za više donositelja odluka u nacionalnim, regionalnim i globalnim vladinim institucijama. Bolesti srca povezane sa zagađenjem su prioritet te je potrebno *identificirati intervencije* za smanjenje onečišćenja zraka i njegovog utjecaja na *nezarazne bolesti*. Dok otkrivamo zamršene veze između faktora stresa iz okoliša i kardiovaskularnih bolesti, kreatori politika, službenici za javno zdravstvo i medicinski stručnjaci moraju rekonceptualizirati i integrirati zdravlje u kontekst dugoročnih ciljeva održivosti okoliša. Utjecaj klimatskih promjena na kardiovaskularno i cjelokupno zdravlje višestruk je problem kojim se treba pozabaviti na različitim nivoima. Glavna znanstvena društva objavila su preporuke za smanjenje negativnih posljedica. Uz globalne programe, neophodne su lokalne inicijative koje uključuju opću populaciju. **EU** svoju politiku čistog zraka temelji na tri glavna stupa Direktiva o nacionalnim obavezama smanjenja emisija, *Direktiva o kvalitetu okolnog zraka* (EU, 2004, 2008), koje postavljaju standarde kvaliteta zraka. U oktobru 2022. Evropska komisija objavila je prijedlog za reviziju *Direktive o kvalitetu ambijentalnog zraka*, koji uključuje strože pragove za onečišćenje, poboljšanje prava na čisti zrak, učinkovitije kazne i mogućnosti kompenzacije za kršenje pravila o kvalitetu zraka, pooštrena pravila za praćenje kvaliteta zraka, zahtjeve za poboljšanje modeliranja kvaliteta zraka i bolje informiranje javnosti. To će, zajedno s revizijom *Direktive o industrijskim emisijama* i nedavnim prijedlozima o *emisijama standardima Euro 7 za cestovna vozila*, podržati napredak prema boljem kvalitetu zraka. U međunarodnom kontekstu, države članice EU-a blisko sarađuju s drugim zemljama članicama Ekonomske komisije UN-a za Evropu (UNECE) u kontroli međunarodnog onečišćenja zraka, prema Konvenciji o dalekosežnom prekograničnom zagađenju. Uprkos činjenici da je veza između onečišćenja zraka i kardiovaskularnog rizika poznata već godinama, *nije zaživjela među stručnjacima* koji se brinu o pacijentima s kardiovaskularnim patologijama koji su uvijek više *fokusirani na klasične faktore rizika*. Čini se ključnim podići svijest među općom populacijom, znanstvenom zajednicom i javnom upravom o potrebi ograničavanja nivoa tvari koje su identificirane kao štetne za zdravlje kardiovaskularnog sistema i promovirati inicijative za navedeno. Kao primjer može poslužiti Špansko kardiološko društvo (SEC) koje je zajedno sa Španskom fondacijom za srce (FEC) 2022. godine stvorilo radnu skupinu „SEC-FEC-Verde“ (Zeleni SEC-FEC). Opći cilj projekta je smanjiti morbiditet i mortalitet od kardiovaskularnih bolesti povezanih sa zagađenjem. Studija **Globalnog tereta bolesti (GBD)** procjenjuje da je zagađenje bilo odgovorno za 9 miliona smrtnih slučajeva širom svijeta u 2019., od kojih je 61,9% uzrokovano kardiovaskularnim bolestima, uključujući ishemijsku bolest srca (31,7%) i moždani udar (27,7%). Ovi brojevi, koliko god bili veliki, gotovo sigurno potcjenjuju puni doprinos onečišćenja globalnom teretu kardiovaskularnih bolesti, jer se temelje samo na podskupu faktora rizika iz okoliša. Do sada se smanjenju onečišćenja posvećivalo malo pažnje u *programima za kontrolu kardiovaskularnih bolesti* i uglavnom je izostajalo iz *smjernica za*

prevenciju kardiovaskularnih bolesti, koje su se gotovo isključivo usmjerile na individualne bihevioralne i metaboličke faktore rizika. Ovo je važan propust, budući da bi uključivanje smanjenja onečišćenja u prevenciju kardiovaskularnih bolesti moglo spasiti milione života.

6. ZAKLJUČCI

Kardiovaskularno opterećenje povezano s klimatskim promjenama predstavlja jedan od najnovijih izazova u preventivnoj kardiologiji. Razumijevanje uloge aerozagađenja može voditi timski: liječnike, medicinska društva, institucije javnog zdravstva, agencije za zaštitu okoliša, odgovorne zdravstvene organizacije, zdravstvena osiguranja i vlade, u razvoju društvenih strategija za prevenciju kardiovaskularnih bolesti, utemeljenih na dokazima koje povezuju prevenciju aerozagađenja s kontrolom bihevioralnih i metaboličkih faktora rizika. Prevencija kardiovaskularnih bolesti povezanih s onečišćenjem putem opsežnog prelaza s fosilnih goriva na čistu, obnovljivu energiju ne samo da će smanjiti kardiovaskularne bolesti i povezane smrtnu slučajevu već će također usporiti tempo klimatskih promjena i tako koristiti cijelom čovječanstvu.

LITERATURA

1. Antonio De Vita, A., Belmusto, A., Di Perna, F., Tremamunno, S., De Matteis, G., Franceschi, F., and Covino, M. (2024). *The impact of climate change and extreme weather conditions on cardiovascular health and acute cardiovascular diseases*. *J. Clin. Med.*, 13(3), 759. <https://doi.org/10.3390/jcm13030759>
2. Bouma, B. J., and Mulder, B. J. (2017). *Changing landscape of congenital heart disease*. *Circ. Res.*, 120, 908–922. <https://doi.org/10.1161/CIRCRESAHA.116.309302>
3. Byrnes, C. A., Dinarević, S., Barnes, P. A., Shinebourne, E. A., and Bush, A. (1997). *Exhaled nitric oxide measurements in levels in normal and asthmatic children*. *Paediatr. Pulmol.*, 24(5), 312–318.
4. Byrnes, C. A., Dinarević, S., Busst, C., Bush, A., and Shinebourne, E. A. (1997). *Is nitric oxide in exhaled air produced at the airway or alveolar level?* *Eur. Resp. Journal*, 10(5), 1021–1025.
5. Byrnes, C. A., Dinarević, S., and Shinebourne, E. A. (1996). *Exhaled nitric oxide levels in normal and asthmatic children*. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 153(4), A800.
6. Centers for Disease Control and Prevention (CDC). (n.d.). *Determinants for health*. https://www.cdc.gov/nchs/healthy_people/hp2020/foundation-health-measures.htm
7. Cheng-Yang, H., Huang, K., Fang, Y., Yang, X., Ding, K., Jiang, W., Hua, X., Huang, D., Cheng, Z., and Zhang, X. (2020). *Maternal air pollution exposure and congenital heart defects in offspring: A systematic review and meta-analysis*. *Chemosphere*, 253, 126668. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.126668>
8. David Q. Rich. (2017). *Accountability studies of air pollution and health effects: Lessons learned and recommendations for future natural experiment opportunities*. *Environ. Int.*, 100, 62–78.
9. Dinarević, S., Byrnes, C. A., Bush, A., and Shinebourne, E. A. (1996). *Measurement of expired nitric oxide levels*. *Paediatric Pulmology*, 22, 396–401.
10. Dinarević, M. (2020). *Strategije i mjere za smanjenje koncentracije zagađivača u zraku (prevashodno pm 2,5) u gradskim područjima. Društvena i tehnička istraživanja*, 6(1), 335–355.
11. Environmental Protection Agency (EPA). (n.d.). *Air pollution*. <https://www.epa.gov/>
12. European Centre for Disease Prevention and Control (ECDC). (n.d.). *Institutions and bodies*. https://european-union.europa.eu/institutions-law-budget/institutions-and-bodies/search-all-eu-institutions-and-bodies/european-centre-disease-prevention-and-control-ecdc_hr
13. European Environment Agency (EEA). (n.d.). *Air pollution*. <https://www.eea.europa.eu/en/topics/in-depth/air-pollution>
14. Fawzy, A. M., and Lip, G. Y. H. (2021). *Cardiovascular disease prevention: Risk factor modification at the heart of the matter*. *The Lancet Regional Health – Western Pacific*, 17, 100291. <https://doi.org/10.1016/j.lanwpc.2021.100291>

15. G. Cesaroni. (2014). Long term exposure to ambient air pollution and incidence of acute coronary events: Prospective cohort study and meta-analysis in 11 European cohorts from the ESCAPE Project. *BMJ*, 348, f7412. <https://doi.org/10.1136/bmj.f7412>
16. Hughes, H. E., Morbey, R., Fouillet, A., Caserio-Schonemann, C., et al. (2018). Retrospective observational study of emergency department syndromic surveillance data during air pollution episodes across London and Paris in 2014. *BMJ Open*, 8(1), e019046.
17. Hu, C. Y., Huang, K., Fang, Y., Yang, X. J., Ding, K., Jiang, W., et al. (2020). Maternal air pollution exposure and congenital heart defects in offspring: A systematic review and meta-analysis. *Chemosphere*, 253, 126668. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.126668>
18. Huber, M., Knottnerus, J. A., Green, L., van der Horst, H., Jadad, A. R., Kromhout, D., and Smid, H. (2011). How should we define health? *BMJ*, 343, d4163. <https://doi.org/10.1136/bmj.d4163>
19. Iarla Kilbane-Dawe, L., and Clement, L. (2014). The impacts of air pollution on health: A summary of the state of current knowledge. Parliament Hill Research.
20. Koleayo, O., Raimi, M. O., Omoyajowo, K., Makengo, B., Adegboy, S., Innocent, D., Oni, S., Oguntuyi, J., Oyediran, A., Kakwi, D. (2024). Advancing a cleaner society: Exploring the impact of storytelling, social media, humor, and celebrity influence in research communication for pollution. <https://doi.org/10.32388/OWOED1>
21. Lee, K. S., Lim, Y. H., Choi, Y. J., Kim, S., Bae, H. J., Han, C., et al. (2020). Prenatal exposure to traffic-related air pollution and risk of congenital diseases in South Korea. *Environ. Res.*, 191, 110060. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.110060>
22. Li, S., Wu, Q., Wang, H., Liu, J., Shao, Y., Xu, R., Gong, T., Peng, X., and Zhang, B. (2022). Maternal exposure to ambient air pollution and risk of congenital heart defects in Suzhou, China. *Front Public Health*, 10, 1017644. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2022.1017644>
23. Meszaros, D., Markos, J., FitzGerald, D. G., Walters, E. H., and Wood-Baker, R. (2015). An observational study of PM10 and hospital admissions for acute exacerbations of chronic respiratory disease in Tasmania, Australia 1992-2002. *BMJ Open Res. Res.*, 2(1), e000105.
24. Mo, Z., and Fu, Q. (2018). Acute effects of air pollution on respiratory disease mortalities and outpatients in Southeastern China. *Scientific Reports*, 8, 3461. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-21996-2>
25. Nacionalni izvještaji o klimatskim promjenama BiH. (2009).
26. Omanić, A. (2002). Zdravstveni odgoj i promocija zdravlja. Medicinski fakultet, Sarajevo.
27. Rajagopalan, S., and Landrigan, P. J. (2021). Pollution and the heart. *N Engl. J. Med.*, 385, 1881-1892. <https://doi.org/10.1056/NEJMra2030281>
28. Rich, D. Q. (2017). Accountability studies of air pollution and health effects: Lessons learned and recommendations for future natural experiment opportunities. *Environ. Int.*, 100, 62–78.
29. Timmis, A., et al. (2022). European Society of Cardiology: Cardiovascular disease statistics 2021. *European Heart Journal*, 43(8), 716–799. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehab892>
30. Vaduganathan, M., et al. (2022). The global burden of cardiovascular diseases and risk: A compass for future health. *Journal of the American College of Cardiology*, 80(25). <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2022.11.005>
31. Vrijheid, M., Martinez, D., Manzanares, S., Dadvand, P., Schembari, A., Rankin, J., et al. (2011). Ambient air pollution and risk of congenital anomalies: A systematic review and meta-analysis. *Environ. Health Perspect.*, 119, 598–606. <https://doi.org/10.1289/ehp.1002946>
32. WHO. (2022). Global Health Observatory. World Health Organization, Geneva, Switzerland. <https://www.who.int/data/gho>
33. Zhe Mo, and Qiuli Fu. (2018). Acute effects of air pollution on respiratory disease mortalities and outpatients in Southeastern China. *Scientific Reports*, 8, 3461.
34. Xiaoyu Wan. (2023). *Science of the Total Environment*, 892, 164431.
35. <https://www.eea.europa.eu/publications/beating-cardiovascular-disease>
36. <https://www.epa.gov/>
37. <https://www.eea.europa.eu/air>
38. <https://www.wefortes.org>
39. <https://www.unep.org/climate>
40. <https://www.who.int/news-room/questions-and-answers/item/determinants-of-health>

Zagađenost zraka i utjecaj na zdravlje ljudi

Aida Kulo Ćesić

Sažetak: Rezultati naučnih studija ukazuju na povezanost između izloženosti zraku lošeg kvaliteta i razvoja akutnih i hroničnih bolesti kod ljudi. Simptomi i bolesti uzrokovani određenim zagađujućim materijama iz zraka prepoznati su i definisani u direktivama i preporukama Svjetske zdravstvene organizacije (SZO), kao i u direktivama Evropske unije (EU). Pored nivoa zagađujućih materija u vanjskom zraku, na kvalitet unutrašnjeg zraka, u velikoj mjeri utječu i zagađujuće materije koje potiču iz unutrašnjosti, tako da unutrašnji zrak može biti i deset puta zagađeniji od vanjskog. Među svim populacijama, djeca su najosjetljivija na zdravstvene efekte zagađenog zraka. Preosjetljivost djece, posebno djece starosti do pet godina, najčešće je posljedica nezrelosti njihovog respiratornog, imunološkog, reproduktivnog, centralnog nervnog i probavnog sistema. Štetni efekti zagađenog zraka prvenstveno se manifestuju problemima sa respiratornim sistemom, uključujući pogoršanje bronhijalne astme, kardiovaskularnim sistemom, pojavom karcinoma i drugih bolesti, kao i efektima na pažnju i akademski uspjeh djece školskog uzrasta. Podaci SZO-a ukazuju da je u toku 2019. godine 96–99% svjetske populacije živjelo u uslovima koji ne zadovoljavaju Smjernice SZO-a za kvalitet zraka definisane 2021. godine, a koje preporučuju prosječnu godišnju koncentraciju finih čestica PM_{2,5} do 5 µg/m³, sa 4 miliona prijevremenih smrtnih slučajeva nastalih kao posljedica izloženosti ovim česticama u vanjskom zraku. Stoga je EU usvojila politiku čistog zraka u okviru EU vizije o nultom zagađenju za 2050. godinu. U Bosni i Hercegovini, prosječna dozvoljena izloženost PM_{2,5} česticama u 2019. godini je iznosila 29 µg/m³, što je koncentracija 5,8 puta viša od koncentracije preporučene od SZO-a, sa 110 smrtnih slučajeva na 100,000 ljudi (ukupno 3,622 smrtna slučaja) za koje se smatra da su nastali kao posljedica izloženosti zagađenom zraku. Pored kvaliteta vanjskog zraka, za zdravlje čovjeka je, s obzirom da većinu vremena provodi u zatvorenom prostoru, relevantan i kvalitet unutrašnjeg zraka. Zato je fokus ovog poglavlja uglavnom stavljen na utjecaj kvaliteta unutrašnjeg zraka na zdravlje ljudi.

Ključne riječi: *kvalitet zraka, zagađenje, ljudsko zdravlje*

1. UVOD

Svjetska zdravstvena organizacija (SZO) definira zagađenje zraka kao zagađenje zraka hemijskim, fizičkim ili biološkim sadržajima koji ugrožavaju normalne karakteristike atmosfere (Kamal et al., 2015). Osim nivoa zagađujućih materija iz vanjskog zraka, prvenstveno čestica (engl. particulate matters - PMs), policikličkih aromatskih ugljikovodika (PAH), ozona (O_3), dušikovog dioksida (NO_2), sumpor dioksida (SO_2), ugljičnog monoksida (CO), teških metala, na kvalitet zraka u zatvorenom prostoru, tj. unutrašnji zrak, utječe i nivo zagađujućih materija koje potiču iz unutrašnjeg prostora, naročito isparljivih organskih jedinjenja (engl. *volatile organic compounds*, VOCs) kao što su formaldehid, benzol, trihloretan, toluen, etilbenzol, ksilen), zatim CO, ugljičnog dioksida (CO_2) i drugih hemijskih i bioloških jedinjenja (Tabela 1). Zbog dodatnih zagađujućih materija koji potiču iz unutrašnjeg prostora, unutrašnji zrak može biti i deset puta zagađeniji od vanjskog zraka. Dodatno, zagađujuće materije se mogu dugo zadržavati u unutrašnjem zraku i na ljude utjecati putem različitih vidova izloženosti (udisanjem, gutanjem, preko kože). Imajući na umu tu činjenicu, kao i činjenicu da ljudi većinu svog života, oko 80–90%, provode u zatvorenom prostoru, lako je zaključiti da je veoma važno osigurati visok kvalitet unutrašnjeg zraka.

Danas znamo da je zagađenje zraka globalno priznata prijetnja ljudskom zdravlju, drugim ekosistemima, okolišu i klimi (EEA, 2017; Landrigan et al., 2017). Dugotrajno izlaganje zagađenom zraku može dovesti do štetnih efekata na zdravlje, čak i pri niskim koncentracijama zagađivača.

2. PARAMETRI KVALITETA UNUTRAŠNJEG ZRAKA

Kvalitet unutrašnjeg zraka je određen termalnim uslovima, svjetlošću, bukom i koncentracijama zagađujućih materija (Oliveira et al., 2019).

2.1 Termalni uslovi

Termalni uslovi (temperatura, relativna vlažnost i strujanje zraka) su ključni aspekti kvaliteta unutrašnjeg zraka i to iz dva osnovna razloga:

- neki problemi povezani sa lošim kvalitetom unutrašnjeg zraka mogu se riješiti jednostavnim podešavanjem temperature ili relativne vlažnosti i
- visoka temperatura može dovesti do povećanog oslobađanja zagađujućih materija iz građevinskih materijala.

Preporučeni prihvatljivi raspon temperature u unutrašnjem prostoru je 20,0–24,0 °C zimi i 24,0–27,0 °C ljeti. Pokazalo se da ekstremne temperature štete dobrobiti školske djece (ASHRAE, 2022; Choo, Jalaludin, 2015).

Preporučeni prihvatljivi raspon relativne vlažnosti u unutrašnjem prostoru je 30–65%, a u učionicama 45–55% (Pulimeno et al., 2020). Relativna vlažnost se obično mjeri higrometrom i izražava kao % vodene pare u zraku prostorije u odnosu na ukupnu količinu vodene pare koju isti unutrašnji zrak može sadržavati na određenoj temperaturi. Relativna vlažnost zraka utječe na ljudski respiratorni trakt. Visoka relativna vlažnost može izazvati osjećaj nelagode zbog neugodnog mirisa i osjećaja gušenja. Niska relativna vlažnost, osim što isušuje sluznicu nosa, usta i gornjih disajnih puteva i izaziva nelagodu i kašalj, može uzrokovati oštećenje epitela i smanjiti mukocilijarni klirens, važan odbrambeni mehanizam, pa dišni putevi mogu postati

osjetljiviji na virusne infekcije. Uprkos nedostatku jasnog naučnog objašnjenja, smatra se da je percepcija suhog zraka vjerovatno povezana sa “senzornim iritansima” kao što su isparljiva organska jedinjenja (Wolkoff, 2018).

Važan faktor kvaliteta unutrašnjeg zraka je i strujanje zraka. Upotreba unutrašnjeg ventilacionog sistema ima nekoliko prednosti (Awbi, 2003), a to su:

- obezbjeđuje kiseonik i svež zrak za ljudsko disanje,
- razrjeđuje zagađujuće materije u zraku unutrašnjeg prostora,
- koristi vanjski zrak niske koncentracije aerosola za kontrolu aerosola u unutrašnjem prostoru,
- kontroliše vlažnost zraka u unutrašnjem prostoru i
- stvara pravilnu distribuciju zraka i promoviše zdravo i udobno okruženje.

Izvršaj SZO-a sugerije da nedovoljna ventilacija unutrašnjeg prostora povećava prijenos infekcija među ljudima. Također, pokazalo se da je stepen ventilacije u učionici direktno povezan s akademskim postignućem učenika (Midouhas et al., 2018). Međutim, dok neki autori sugeriju da su grlobolja i umor kod školske djece povezani s ulaskom vanjskih zagađujućih materija kroz prozor u unutrašnji zrak kroz prirodnu ventilaciju (Grineski et al., 2016), drugi sugeriju da su ova dva stanja povezana s prisustvom klima-uređaja u učionici (Choo, Jalaludin, 2015).

2.2 Zagađujuće materije unutrašnjeg zraka

Najrelevantnije zagađujuće materije u unutrašnjem zraku, njihovi izvori i negativan utjecaj na zdravlje ljudi su prikazani u Tabeli 1.

Tabela 1. Zagađujuće materije u unutrašnjem zraku, njihovi izvori i utjecaj na zdravlje ljudi

Zagađujuće materije	Izvori	Utjecaj na zdravlje ljudi
PM čestice	vanjsko okruženje, kuhanje, aktivnosti izgaranja (gorenje svijeća, kamina, grijalica, peći, dimnjaka, pušenje cigareta), čišćenje	prerana smrt kod osoba s bolestima srca ili pluća, nefatalni srčani napadi, nepravilan rad srca, pogoršanje astme,
smanjena funkcija pluća, pojačani respiratorni simptomi	paints, varnishes, solvents, pesticides, adhesives, wood preservatives, waxes, polishes, cleaners, lubricants, silicones, air fresheners, fuels, plastics, photocopiers, printers, tobacco products, perfumes, chemically cleaned clothes, building materials and furniture	• irritation of the eyes, nose and throat • headache, loss of coordination and nausea • damage to the liver, kidneys and central nervous system • some of these substances can cause cancer
NO2	plinski uređaji za kuhanje i grijanje	pojačane astmatične reakcije, oštećenje dišnih putova što dovodi do respiratornih simptoma

Ozon	vanjski izvori, uređaji za fotokopiranje, pročišćavanje zraka i dezinfekciju	oštećenje DNA, oštećenje pluća, astma, smanjene respiratorne funkcije
SO ₂	štednjaci za kuhanje, kamini,	impairment of respiratory function: asthma, chronic obstructive pulmonary disease, cardiovascular diseases
vanjski zrak	smanjenje respiratorne funkcije: astma, hronična opstruktivna plućna bolest (HOPB) i kardiovaskularne bolesti	fatigue, headache, chest pains, impaired vision, reduced brain function and death
CO _x	štednjaci za kuhanje, pušenje duhana, kamini, generatori i ostala oprema na benzinski pogon,	cancer, brain damage, mutagenic and carcinogenic effects, respiratory diseases, cardiovascular disease and death
vanjski zrak	umor, glavobolja, bolovi u grudima, oslabljen vid, smanjena moždana funkcija i smrt	causes cell mutations, lung cancer
Teški metali: Pb, Cd, Zn, Cu, Cr, As, Ni, Hg, Mn, Fe	vanjski izvori, produkti sagorijevanja, pušenje i građevinski materijali	karcinom, oštećenje mozga,
mutageni i kancerogeni efekti, respiratorne bolesti,	building materials, carpets, textiles and upholstered furniture external environment	irritation of the eyes, nose and throat; damage to the central nervous system and kidneys; increased risk of cancer
kardiovaskularne bolesti i smrt	house dust, allergens from pets, cockroaches, insects, and plants, mold/moisture, dust mites, pollen	asthma and allergies, respiratory infections, sensitization, respiratory allergy, diseases and wheezing
Radon (Rn)	građevinski materijali, zemni gas, tekuća voda, vanjski zrak	mutacije stanica, karcinom pluća
Aerosoli	duhanski dim, građevinski materijali, potrošački proizvodi, produkti sagorijevanja, čišćenje i kuhanje	kardiovaskularne bolesti, respiratorne bolesti, alergije, karcinom pluća, iritacija i nelagoda
Pesticidi, insekticidi, rodenticidi, fungicidi, dezinficijensi i herbicidi	građevinski materijali, tepisi, tekstil i jastučasti namještaj, vanjsko okruženje	nadraženost očiju, nosa i grla, oštećenje centralnog nervnog sistema i bubrega, povećani rizik od karcinoma
Biološki alergeni	kućna prašina, alergeni porijekla od kućnih ljubimaca, žohara, insekata, i biljaka, plijesan/vlaga, grinje, polen	astma i alergije, respiratorne infekcije, senzitivizacija, respiratorna alergija, bolesti i hroptanje pri disanju
Mikroorganizmi: bakterije, virusi, gljivice	ljudi, životinje, tlo i biljke	vrućica, probavni problemi, zarazne bolesti, hronične respiratorne bolesti

Zagađujuće materije u unutrašnjem zraku mogu biti vanjskog i unutrašnjeg porijekla. Koncentracije zagađujućih materija vanjskog porijekla u unutrašnjem zraku direktno su pod utjecajem njihove koncentracije u vanjskom zraku. Kako se koncentracija zagađujućih materija u vanjskom zraku povećava, one se putem ventilacije transportuju u unutrašnji prostor.

U poređenju sa Smjernicama iz 2005. godine, ažurirane Globalne smjernice SZO-a za kvalitet zraka iz 2021. godine preporučuju strožije uslove pri izlaganju najvažnijim zagađujućim materijama u zraku (Tabela 2).

Tabela 2. Smjernice SZO-a za kvalitet zraka iz 2005. godine u poređenju sa Smjernicama iz 2021. godine (World Health Organization, 2021)

Zagađujuće materije	Prosječno vrijeme	Smjernice za kvalitet zraka iz 2005. godine	Smjernice za kvalitet zraka iz 2021. godine
PM _{2,5}	godišnje	10 µg/m ³	5 µg/m ³
	24-sata	25 µg/m ³	15 µg/m ³
PM ₁₀	godišnje	20 µg/m ³	15 µg/m ³
	24-sata	50 µg/m ³	45 µg/m ³
O ₃	vrh sezone	-	60 µg/m ³
	8-sati	100 µg/m ³	100 µg/m ³
NO ₂	godišnje	40 µg/m ³	10 µg/m ³
	24-sata	-	25 µg/m ³
SO ₂	24-sata	20 µg/m ³	40 µg/m ³
CO	24-sata	-	4 mg/m ³

Podaci SZO-a pokazuju da je u toku 2019. godine 96–99% svjetske populacije živjelo u uslovima koji ne zadovoljavaju Smjernice SZO-a za kvalitet zraka, definisane 2021. godine, a koje preporučuju prosječnu godišnju koncentraciju finih čestica PM_{2,5} do 5 µg/m³, sa 4 miliona prijevremenih smrtnih slučajeva nastalih kao posljedica izloženosti ovim česticama u vanjskom zraku. U Bosni i Hercegovini, prosječna izloženost PM_{2,5} česticama u 2019. godini je iznosila 29 µg/m³, što je koncentracija 5,8 puta viša od koncentracije preporučene od SZO-a, sa 110 prijevremenih smrtnih slučajeva na 100,000 ljudi (ukupno 3,622 smrtnih slučajeva) za koje se smatra da su uzrokovani zagađenjem zraka sitnim česticama (World Health Organization, 2021).

Zagađujuće materije unutrašnjeg zraka unutrašnjeg porijekla su primarno toksična jedinjenja (npr. formaldehid, benzol, trihloretnan, toluen, etilbenzol, ksilen itd.), CO, CO₂ i druga hemijska i biološka jedinjenja. Najčešće se oslobađaju:

- iz materijala koji se koriste u procesu izgradnje ili renoviranja objekata, npr. polivinil hlorid (PVC) podne obloge, parketi, linoleumi, gumeni tepisi, ljepila, lakovi, boje, silikoni, iverice itd.,
- kada se koriste elektronički uređaji, kao što su kompjuteri, fotokopirni uređaji, štampači i drugi uređaji i namještaj koji emituju ozon (O₃) i isparljiva organska jedinjenja,
- tokom internih aktivnosti, npr. oslobađanje iz proizvoda za čišćenje tokom aktivnosti čišćenja, tokom kuhanja, iz proizvoda za njegu itd. i
- loženjem u kućnim ognjištima, kaminima, pri pušenju duhana.

Također, pri životnim aktivnostima ljudi stvaraju povoljne uslove za razvoj miliona plijesni, gljivica, polena, grinja, bakterija, virusa i insekata.

Prema nekim autorima, na kvalitet zraka u učionici više utiču zagađujuće materije unutrašnjeg porijekla u odnosu na zagađujuće materije vanjskog porijekla (Grineski et al., 2016).

Lebdeće čestice (engl. Particulate Matters - PMs)

Karakterizacija i izvori. PM čestice su široko rasprostranjene, složene mješavina čvrstih i tečnih čestica suspendovanih u zraku. Razlikuju se po veličini, obliku, porijeklu i sastavu (Zhang et al., 2015). Njihov hemijski sastav uključuje anorganske jone (npr. sulfate, nitrati, amonijak), rastvorljive metale, nerastvorljive metale (gvožđe, nikal, bakar, cink, vanadij), elementarni ugljik, organska jedinjenja uključujući PAH i polihlorisane bifenile, biološke komponente (alergene, endotoksine), mikroorganizme i vodu (Zhang et al., 2015; Kim et al., 2015). Sastav PM čestica u unutrašnjem zraku nije uvijek usporediv sa sastavom PM čestica u vanjskom zraku. Obično se klasifikuju prema aerodinamičkom prečniku:

- $\leq 10 \mu\text{m}$ (kombinovana fina i gruba frakcija, PM_{10})
- $\leq 2,5 \mu\text{m}$ (fina frakcija uključujući ultrafine čestice, $\text{PM}_{2,5}$)
- $\leq 1 \mu\text{m}$ (ultrafina frakcija, PM_1) ili $\leq 0,1 \mu\text{m}$

Glavni izvori PM-ova u zatvorenim školskim prostorima su (Oliveira et al., 2019):

- sama djeca (ljuspice kože, vlakna tkanine) i dječje aktivnosti, npr. igranje,
- čestice koje potiču od krede i propadanja zgrade,
- namještaj u učionicama (stolovi, stolice, itd.),
- korištenje sistema za klimatizaciju i grijanje,
- štampači i uređaji za fotokopiranje i
- druge ljudske aktivnosti kao što su kuhanje u kantinama i čišćenje.

Također, iako PM čestice u učionicama uglavnom potiču iz unutrašnjih izvora, one mogu biti i vanjskog porijekla (oslobađanja iz saobraćaja, sagorijevanja u domaćinstvu ili industrijskih aktivnosti) kada prodiru u zatvorene prostore, uglavnom ako se koristi prirodna ventilacija tokom dana. Ovaj prodor u velikoj mjeri ovisi o ventilaciji učionica, karakteristikama zgrade, građevinskom materijalu i godišnjem dobu. Očekuje se veći prodor PM čestica ako su prozori i vrata direktno okrenuti prema prometnim cestama i drugim vanjskim izvorima zagađujućih materija.

Glavni izvori zagađenja vanjskog zraka česticama $\text{PM}_{2,5}$ u Bosni i Hercegovini su kućni kamini (skoro 60%), termoelektrane i toplane (oko 19%) i industrija (oko 14%). Preostalih 7% je porijeklom iz saobraćaja, poljoprivrede i otpada (Worldbank, 2019).

Izloženost. I kratkotrajna i dugotrajna izloženost $\text{PM}_{2,5}$ i PM_{10} česticama su povezane sa ozbiljnom prijetnjom ljudskom zdravlju. Prema Evropskoj agenciji za okoliš (engl. European Environment Agency - EEA), u 2020. godini je izloženost visokim koncentracijama $\text{PM}_{2,5}$, višim od koncentracija preporučenih u Smjernicama SZO-a iz 2021. godine, dovela je do 238,000 preranih smrti u EU-27 (EEA, 2024). Mehanizmi kojima ljudi apsorbiraju/adsorbiraju PM čestice zavise od starosti i metabolizma osobe, načina izloženosti (udisanjem, gutanjem i kroz kožu) i uslova okoline (temperatura, vlažnost, Sunčevo zračenje, brzina vjetra, stopa padavina).

Učinak PM čestica na zdravlje čovjeka direktno je povezan sa njihovom sposobnošću prodiranja u respiratorni sistem, a veličina čestica određuje mjesto njihovog taloženja ili krajnjeg odredišta u organizmu (Kim et al., 2015). Što su PM čestice manje veličine, to je veća mogućnost njihovog prodora u cijeli organizam. Naime, grube PM_{10} čestice se mogu deponovati u gornjim dijelovima respiratornog sistema, odnosno u nosu, ustima, grlu,

larinksu i traheobronhijalnom stablu. Fine $PM_{2,5}$ i ultrafine PM_1 čestice mogu prodrijeti do najnižih dijelova respiratornog sistema gdje se mogu istaložiti u male provodne disajne puteve i, poput molekula plina, čak prodrijeti do područja izmjene plina u alveolama. Štaviše, najmanje čestice mogu proći kroz zid alveola i kapilara i doći do krvi i u konačnici u sve dijelove organizma (Kim et al., 2015).

Dozvoljene vrijednosti za $PM_{2,5}$ čestice. 5 $\mu g/m^3$ srednja godišnja, 15 $\mu g/m^3$ srednja 24-časovna koncentracija (World Health Organization, 2021).

Štetni efekti na zdravlje. Što su PM čestice manje, to je veća njihova toksičnost za čovjeka, i to uglavnom kroz mehanizme oksidativnog stresa i upale. Izloženost $PM_{2,5}$ česticama povećava učestalost specifičnih akutnih kardiovaskularnih bolesti kao što su visoki arterijski krvni tlak, zatajenje srca, ishemijski moždani udar, infarkt miokarda, srčana aritmija i fibrilacija atrijske. Osim putem indukcije oksidativnog stresa i sistemske upale, PM čestice mogu uzrokovati kardiovaskularna oboljenja i aktivacijom trombocita, povećanjem viskoziteta plazme, fibrinogena i zgrušavanja krvi, zatim gubitkom autonomne i vaskularne ravnoteže i oslobađanjem moćnog vazokonstriktora endotelina (Giorgini et al., 2016). Danas se zna da je razvoj pre-hipertenzije u djetinjstvu također povezan s izloženošću PM česticama, također uslijed sistemskog oksidativnog stresa i upale koji uzrokuju disbalans autonomnog nervnog sistema i disfunkciju i/ili vazokonstrukciju krvnih sudova.

Mnoge studije su pokazale da PM čestice mogu uticati na razvoj pluća počevši od perioda intrauterinog razvoja ploda. Djeca izložena povećanim koncentracijama PM čestica, uglavnom $PM_{2,5}$ čestica, imaju veći rizik od razvoja i/ili pogoršanja respiratornih bolesti, uključujući pogoršanje astme i cistične fibroze, redovni kašalj, respiratorne infekcije i alergijske bolesti, hroničnu opstruktivnu bolest pluća (HOPB), karcinom pluća, a što dovodi do veće upotrebe lijekova, češćih posjeta ljekaru i prijema u bolnicu (Kim et al., 2015; Annesi-Maesano et al., 2016; Brugha, Grigg, 2014).

Osim toga, pre- i post-neonatalna izloženost PM česticama je također povezana s povećanom osjetljivošću na razvoj kardiorespiratornih bolesti (Brugha, Grigg, 2014; Kelishadi et al., 2011). Izloženost PM česticama također je povezana s povećanim rizikom od kožnih bolesti, posebno atopijskog dermatitisa, ekcema i starenja kože (Annesi-Maesano et al., 2017).

Djeca od 7 do 10 godina koja pohađaju škole u zagađenim područjima i sa obližnjim saobraćajnicama, gdje su u učionicama izmjerene visoke koncentracije PM_{10} , $PM_{2,5}$ i CO_2 , u poređenju sa djecom iz manje zagađenih područja, pokazuju zaostajanje u razvoju radne memorije i pažnje sa negativnim posljedicama na kognitivni razvoj, učenje, školski uspjeh i ponašanje. Postoje jaki dokazi o povećanom riziku od razvoja poremećaja pažnje/hiperaktivnosti kod djece izložene PM_{10} česticama, te snažnoj povezanosti između izloženosti $PM_{2,5}$ česticama tokom trudnoće i povećanog rizika za dijete razvije neki od poremećaja iz autističnog spektra (Buoli et al., 2018). Visoke koncentracije ultrafinih PM_1 čestica su također pokazane da utječu na školski uspjeh, odnosno na pažnju i sposobnost pamćenja učenika.

Prevenција. Dovoljna i kontinuirana ventilacija i ugradnja filtera su od neprocjenjive važnosti za smanjenje koncentracije PM čestica u zatvorenom prostoru. Sistemi za filtriranje zraka visokih performansi smanjuju koncentraciju sve tri vrste PM čestica (PM_1 , $PM_{2,5}$ i PM_{10}) u unutrašnjem zraku, kao i čestica ugljika (opasna čađ) za 90–96% (Polidori et al., 2013). Nadalje, preporučuje se otkrivanje i uklanjanje poznatih izvora PM čestica u zatvorenom prostoru.

Policiklički aromatski ugljikovodici (PAH)

Karakterizacija i izvori. Policiklički aromatski ugljikovodici su velika skupina organskih jedinjenja koja se sastoje od kondenzovanih benzenskih prstenova, npr. benzo(a)piren. Pojavljuju se kao složene mješavine čiji se sastavi mogu značajno razlikovati. PAH se nalaze u zraku ili u plinovitoj fazi ili vezani za PM čestice. Iako postoji nekoliko stotina PAH-ova, posebna pažnja je usmjerena na one koji su klasificirani kao prioritetne zagađujuće materije (USEPA, 2005), i to:

- lakša jedinjenja sa 2–3 aromatska prstena (naftalen, acenaften, fluoren, fenantren i antracen), uglavnom se nalaze u zračnoj gasnoj fazi i vezana su za grube PM₁₀ čestice,
- jedinjenja sa 4 prstena (fluoranten, piren, benz(a)antracen i krizen), raspoređena su između dvije faze,
- jedinjenja visoke molekularne težine, sa 5 ili više prstenova [benzo(b)fluoranten, benzo(j)fluoranten, benzo(k)fluoranten, benzo(a)piren, dibenzo(ah)antracen, dibenzo(al)piren, benzo (ghi)perilen, indeno(123-cd)piren], toksičniji, mutageniji su i kancerogeniji, i uglavnom vezani za PM_{2,5} i PM₁ čestice (Dat, Chang, 2017).

Glavni izvori PAH-ova u zraku u zatvorenom prostoru su oslobađanje sa unutrašnjih površina, resuspendiranje unutrašnje prašine, redovna upotreba sistema grijanja i elektronske opreme kao što su štampači, oslobađanje od ljudskih aktivnosti, uključujući dječje ručne radove, kuhanje (npr. u menzama i restoranima), pušenje duhana, čišćenje. Dok su otvorene vatre od drveta i/ili drugih materijala (uglja, poljoprivrednih ostataka ili balege) koje se koriste za kuhanje ili grijanje obično dominantan izvor PAH-ova u zemljama u razvoju, u većim gradovima s velikim populacijama je to sagorijevanje fosilnih goriva. Prema EEA (2017), koncentracije benzo(a)pirena u vanjskom zraku u 28 zemalja EU-a prvenstveno su uzrokovane oslobađanjem iz kotlovnica i kućnih kamina (75%), a zatim spaljivanjem poljoprivrednog otpada (15%) koji se uglavnom bilježi u zemljama južne Evrope. Drumski saobraćaj oslobađa samo 1% ukupne količine oslobođenog benzo(a)pirena (EEA, 2017).

Izloženost. Fizičko-hemijska svojstva PAH-ova čine ih široko rasprostranjenim u okolišu. Lako se apsorbiraju, prvenstveno u plućima nakon udisanja (glavni put izlaganja), te nakon gutanja ili kroz kožu (Kim et al., 2015), i lako se akumuliraju u tijelu. Doza PAH-ova koju apsorbiraju djeca može se značajno razlikovati od doze koju apsorbiraju odrasli, uglavnom zbog različite fiziologije, metabolizma i ponašanja. Mala djeca se često igraju na podu, a aktivnosti „iz ruke u usta“ mogu biti važan izvor PAH-ova. Izloženost kože je također važan način izlaganja djece, posebno one najmlađe.

Budući da su koncentracije PAH-ova najveće u urbanim sredinama sa velikom gustoćom naseljenosti, u blizini industrijskih zona, djeca koja pohađaju škole u urbanim sredinama su, u poređenju sa djecom iz ruralnih zajednica, izložena većem riziku (Oliveira et al., 2017a). Također se pokazalo da su djeca koja žive u zajednicama koje se nalaze u neposrednoj blizini termoelektrana pod povećanim rizikom od PAH-ova.

Dozvoljene vrijednosti. Variraju ovisno o jedinjenju, npr. za naftalen iznose 10 ppm (IAQ Standards and Guidelines, n.d.)

Štetni efekti na zdravlje. Obzirom da su ova jedinjenja dobro poznata po svojoj toksičnosti,

mutagenosti i kancerogenosti, izloženost njima predstavlja ozbiljnu prijetnju ljudskom zdravlju, a posebno zdravlju najosjetljivijih grupa stanovništva, naročito male djece (IARC, 2010). Tako su neki PAH-ovi navedeni na listi prioriteta zagađivača EU-a i Američke agencije za zaštitu životne sredine (USEPA) (USEPA, 2005; Directive, 2004).

Smatra se da PAH-ovi uzrokuju oksidativni stres u interakciji s lipidima tokom peroksidacije lipida i uzrokuju reproduktivne, razvojne, kardiorespiratorne i imunosupresivne efekte kod ljudi. Zbog sinergijskih i kumulativnih efekata PM čestica i PAH-ova, njihovi potencijalni zdravstveni rizici ne mogu se razmatrati odvojeno. Prisustvo PAH u sastavu PM_{2,5} i PM₁ čestica je izuzetno važno za zdravlje, jer te fine i ultrafine PM čestice uspijevaju dospjeti u najdublje dijelove pluća i ući u krvotok te njime dospjeti u sve dijelove organizma. Izloženost PM česticama i PAH-ovima povezana je s povećanim rizikom od astme, plućnih infekcija, alergija i kožnih bolesti. Prenatalna izloženost PM česticama i PAH-ovima povezana je s različitim promjenama u ponašanju i neurorazvoju djece sa smanjenjem kvocijenta inteligencije, neurotrofičnog faktora mozga, bijele mase lijeve hemisfere i povećanjem rizika od razvoja poremećaja pažnje/hiperaktivnosti (Sram et al., 2017).

Zbog svog kancerogenog potencijala i obilnog prisustva u životnoj sredini, benzo(a)piren je definisan kao indikator izloženosti ljudi kancerogenim PAH-ovima. Koncentracije benzo(a)pirena iznad 1,0 ng/m³ predviđaju veću učestalost genotoksičnih translokacija, mikronukleusa i fragmentacije DNK (Kamal et al., 2015). U školama u EU-u najveće koncentracije zabilježene su u zemljama srednje i istočne Evrope (EEA, 2017). Kod djece koja pohađaju škole u urbanim i zagađenim područjima i izložena su visokim koncentracijama PM čestica i PAH-ova nađeni su rani markeri genotoksičnih oštećenja i niži kapacitet reparacije DNK sa većom prevalencijom hromozomskih aberacija i delecija u odnosu na školsku djecu koja pohađaju seoske škole, odnosno škole u manje urbanizovanim područjima (Oliveira et al., 2019). Također, prenatalna izloženost kancerogenim PAH-ovima povezana je s intrauterinom retardacijom rasta kod ljudi (Kamal et al., 2015).

Isparljiva organska jedinjenja (VOC)

Karakterizacija i izvori. Isparljiva organska jedinjenja (npr. formaldehid, toluen, benzen) su gasovi koji sadrže različite hemikalije koje se oslobađaju iz tečnosti ili čvrstih materija (građevinski materijali, boje, ljepila, otapala i dr.) (USEPA, n.d.; IARC, 2006). Koncentracije VOC-a u zatvorenom prostoru su najmanje 10 puta veće nego na otvorenom, bez obzira na lokaciju. Na koncentraciju VOC-a u unutrašnjem zraku utiču starost, veličina i renoviranje zgrade, njihova koncentracija na otvorenom i brzina razmjene zraka (otvaranje vrata i prozora). Općenito, VOC u zatvorenom prostoru dolaze iz četiri glavna izvora (USEPA, n.d.):

- ljudske aktivnosti, uključujući kuhanje, čišćenje, lična higijena, pušenje duhana,
- oslobađanje iz građevinskog materijala: boja, ljepila, namještaja,
- oslobađanje iz hemijskih reakcija koje se odvijaju u zatvorenom prostoru i
- vanjski zrak koji prodire u unutrašnji prostor kroz sisteme za filtriranje i ventilaciju.

SZO je prema tački ključanja (Tk) klasifikovala VOC u četiri grupe (World Health Organization, 1989):

- vrlo isparljiva organska jedinjenja, VVOCs, npr. formaldehid, propan, butan, sa Tk < 0–50°C,
- isparljiva organska jedinjenja, VOCs, npr. toluen, benzen, ksilen, naftalen, sa Tk 50–240°C,

- slabo ili poluisparljiva organska jedinjenja, SVOCs, npr. pesticidi, ftalati, sa Tk 240–380°C, i
- organska jedinjenja vezana za PM, POCs, sa Tk >380°C.

Izloženost. Izloženost VOC-ima se događa na tri glavna načina: udisanjem, gutanjem ili kroz kožu. Za poluisparljive VOC-e je unošenje kroz kožu direktno iz zraka značajnije od unosa inhalacijom (Weschler, Nazaro, 2014).

Dozvoljene vrijednosti. Za benzen se ne mogu preporučiti, za formaldehid 0,1 mg/m³ (30-minutna prosječna koncentracija) (IAQ Standards and Guidelines, n.d.).

Štetni efekti na zdravlje. Mnogi VOC-i nemaju miris. Kratkotrajno izlaganje niskim koncentracijama VOC-a obično ne izaziva ozbiljne nuspojave i većina ljudi doživljava samo senzorne efekte, olfaktorne percepcije i nelagodu. Vrtoglavica, glavobolja, alergije, iritacija očiju/nosa/grla, dispnea, umor i nedostatak pažnje prijavljeni su kod školske djece izložene VOC-u (Sofuoglu et al., 2011). Međutim, u slučajevima dugotrajne izloženosti, neki VOC-i mogu imati štetne efekte na ljudsko zdravlje, a mogu uzrokovati i karcinome. Tako je formaldehid, najrašireniji među VOC-ima, na sobnoj temperaturi bezbojni plin oštrog mirisa koji se oslobađa iz mnogih građevinskih materijala, naročito iz iverice i šperploče, klasifikovan kao kancerogen za ljude (IARC, 2010).

Dušikov dioksid, NO₂

Karakterizacija i izvori. Dva glavna dušikova oksida (NO_x) su dušikov oksid (NO) i dušikov dioksid (NO₂). Na otvorenom, NO brzo oksidira u NO₂ tako da se NO₂ obično smatra primarnim zagađujućim spojem. Reakcija NO₂ s vodom proizvodi dušičnu kiselinu (HNO₃), jak oksidans i uobičajeni zagađujući spoj unutrašnjeg zraka. Koncentraciju NO₂ u unutrašnjem zraku određuju i vanjski izvori (proizvodi izgaranja ili motorna vozila) i unutrašnji izvori (pušenje duhana, uređaji za sagorijevanje drva, plina, ulja, uglja i kerozina kao što su plinske peći, grijalice, kotlovi i kamini) (Kamal et al., 2015).

Prosječna koncentracija NO₂ u unutrašnjem prostoru bez aktivnosti sagorijevanja je upola manja od vanjske koncentracije, ali kada se koriste plinske peći i grijalice, unutrašnja koncentracija NO₂ često premašuje vanjsku koncentraciju.

Dozvoljene vrijednosti. 10 µg/m³ srednja godišnja, 25 µg/m³ srednja 24-časovna koncentracija (World Health Organization, 2021).

Štetni efekti na zdravlje. NO₂ uzrokuje respiratorne probleme kod školske djece, odnosno pogoršanje astme, povećanu osjetljivost na virusne infekcije, ali i negativno utječe na pažnju i sposobnost pamćenja (Wichmann et al., 2010). Prema EEA, izloženost koncentracijama NO₂ iznad preporučenih u Smjernicama SZO-a iz 2021. godine je dovela do 49,000 prijevremenih smrti u EU-27 u 2020. godini.

Ozon, O₃

Karakterizacija i izvori. Ozon je jak oksidans koji uglavnom nastaje fotohemijskim reakcijama iz O₂, NO_x i VOC-a u zraku. Glavni izvori ozona u unutrašnjem zraku su uglavnom vanjski zrak i rad električnih uređaja. Uređaji koji obično oslobađaju ozon su fotokopirni aparati, aparati za dezinfekciju, pročišćivači zraka i druga uredska oprema (Huang et al., 2019).

Koncentracija ozona u unutrašnjem zraku obično varira između 20–80% vanjske koncentracije

i mijenja se u skladu s brzinom izmjene zraka.

Dozvoljene vrijednosti. 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ srednja 8-časovna koncentracija (World Health Organization 2021).

Štetni efekti na zdravlje. Ljudi su izloženi ozonu prvenstveno udisanjem, ali ni izloženost putem kože nije zanemariva (Weschler, 2015). Ozon brzo reaguje s nekoliko zagađujućih materija u unutrašnjem zraku, a proizvodi ovih reakcija mogu biti iritantni za ljude i mogu oštetiti materijale.

Prema EEA, akutna izloženost nivoima ozona koji su iznad nivoa preporučenog u Smjernicama SZO-a iz 2021. godine izazvala je 24,000 preranih smrti u EU-27 u 2020. godini.

Sumpor dioksid, SO_2

Karakterizacija i izvori. Izvori sumpor dioksida (SO_2) u zatvorenom prostoru su vanjski zrak (proizvod sagorijevanja fosilnih goriva i u kombinaciji sa aerosolima i PM česticama) i oslobađanje SO_2 iz ventiliranih plinskih uređaja, peći na ugalj, drva ili lož ulje, grijalica na kerozin, duhanskog dima (Seow et al., 2016). Oslobađanje SO_2 u unutrašnjem zraku je obično malo i u koncentraciji koja se lako može apsorbirati na unutrašnjim površinama, tako da je koncentracija SO_2 u unutrašnjem zraku često niža nego u vanjskom zraku.

Dozvoljene vrijednosti. 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ srednja 24-časovna koncentracija (World Health Organization, 2021).

Štetni efekti na zdravlje. Izloženost ljudi udahnutom SO_2 može oslabiti respiratornu funkciju i uzrokovati HOPB i kardiovaskularne bolesti.

Ugljični dioksid, CO_2

Karakterizacija i izvori. Ugljični dioksid je plin bez boje i mirisa. Njegovi izvori u unutrašnjem prostoru su (Choo, Jalaludin, 2015)

- CO_2 iz vanjskog zraka (u koncentraciji oko 400 mg/m^3 , uglavnom oslobođen uslijed sagorijevanja goriva, saobraćajem i drugim ljudskim aktivnostima) i
- ljudi u prostoriji, pa njegova koncentracija zavisi od broja ljudi u prostoriji. Naime, CO_2 se proizvodi disanjem, proporcionalno brzini metabolizma. Uz normalno disanje, dijete od 7–9 godina proizvodi 14 litara CO_2 na sat, što je 50% manje od količine koju proizvodi tinejdžer.

Koncentracija CO_2 u unutrašnjem zraku se smatra osnovnim pokazateljem kvaliteta unutrašnjeg zraka i kvaliteta ventilacije. Osim loše ili nikakve ventilacije, na koncentraciju CO_2 u unutrašnjem zraku može negativno utjecati i neprikladna orijentacija. Koncentracija CO_2 ozbiljan je problem u učionicama gdje se brzo povećava, posebno zimi, kada zbog uštede energije i neugodnih vanjskih temperatura nije moguće obezbijediti dugotrajnu ventilaciju. Njemački odbor za kvalitet unutrašnjeg zraka je postavio sljedeće smjernice za koncentracije CO_2 (Ad hoc AG, 2008a):

- <1,000 mg/m^3 – bezopasne i nisu potrebne nikakve mjere,
- 1,000–2,000 mg/m^3 – sumnjive i ventilacija se mora poboljšati,
- >2,000 mg/m^3 – neprihvatljive; ako poboljšana ventilacija nije dovoljna, preporučuju se druge organizacijske ili strukturalne mjere i/ili mehanička ventilacija.

Dozvoljene vrijednosti. < 1,000 mg/m³ (Ibid.)

Štetni efekti na zdravlje. Visoka koncentracija CO₂ (u pretrpanim i slabo provjetrenim učionicama) se povezuje sa češćim izostajanjem djece iz škole, negativno utječe na zdravlje (povećava bakterijske infekcije) i smanjuje akademske rezultate školske djece. Kada se koncentracija CO₂ poveća iznad 1,000 mg/m³, izostanak djece iz škole se povećava za oko 10–20%. Daljnjim povećanjem koncentracije iznad 1,500 mg/m³, zrak postaje ustajao i neprijatan, a tako visoke koncentracije mogu negativno utjecati na cirkulacijski, kardiovaskularni, autonomni nervni sistem, uključujući psihomotorne i kognitivne performanse, tj. donošenje odluka, rješavanje problema, testova koncentracije (Twardella et al., 2012; Coley et al., 2007; Dorizas et al., 2015). Povećana koncentracija CO₂ također smanjuje kratkoročni raspon pažnje učenika. Najčešći simptomi su umor i glavobolja, mučnina i vrtoglavica, tahikardija, oštećenje pamćenja, nedostatak koncentracije, zamagljen vid, znojenje, nemir, povraćanje, crvenilo kože, pa čak i napadi panike (Poscia et al., 2014). Iako se u učionicama s koncentracijom CO₂ većom od 1,500 mg/m³ javlja neugodan miris, učenici koji su već u učionici toga nisu svjesni, jer se njihovo čulo mirisa brzo prilagođava (Amato et al., 2014). Međutim, čini se da djeca koncentraciju CO₂ bolje detektuju kroz percepciju svježine zraka nego percepciju mirisa (Korsavi, Montazami, 2019). Prekoračenje koncentracije CO₂ iznad 5,000 mg/m³ dovodi do zdravstvenih komplikacija kod većine ljudi (Twardella et al., 2012). Učenici koji borave u učionicama u kojima su izmjerene visoke koncentracije PM čestica i CO₂ pokazuju smanjene kognitivne performanse.

Prevenција. Kako je koncentracija CO₂ u učionici direktno i značajno povezana sa brojem učenika, treba izbjegavati pretrpane učionice. Također, potrebna je adekvatna i stalna ventilacija kako bi se smanjila koncentracija CO₂ u unutrašnjem zraku. Smanjenje koncentracije CO₂ ispod 800 mg/m³ može smanjiti rizik od simptoma sindroma bolesnog objekta kao što su glavobolja, umor ili iritacija očiju i grla.

Ugljični monoksid, CO

Izvori. Glavni izvori ugljičnog monoksida u zatvorenom prostoru su procesi sagorijevanja kao što su kuhanje ili grijanje, uključujući kerozinske i plinske grijalice bez ventilacije, povrat dima iz dimnjaka i peći, peći na drva, kamine, plinske bojlere, plinske peći, generatore i drugu opremu na benzinski pogon, te duhanski dim. Osim toga, CO može ući u unutrašnje prostore infiltracijom iz vanjskog zraka (iz izduvnih gasova automobila iz obližnjih garaža, puteva ili parkirališta, agregata, industrija koje koriste plin i lož ulje) (Tran et al., 2020). Prosječna koncentracija CO u zatvorenom prostoru bez plinskih peći je oko 0,5–5 mg/m³, dok se koncentracija u zatvorenom prostoru u blizini plinskih peći kreće od 5–15 mg/m³, pa čak i 30 mg/m³ ili više.

Dozvoljene vrijednosti. 7 µg/m³ 24-satna srednja vrijednost (World Health Organization, 2021).

Štetni efekti na zdravlje. Zbog svog utjecaja na oksigenaciju tkiva kroz proizvodnju karboksihemoglobina, CO dovodi do štetnih zdravstvenih učinaka, i to u niskim koncentracijama utječe na kardiovaskularne i neurobihevirolne procese, dok pri visokim koncentracijama dovodi do nesvjestica ili čak i do smrti. CO može negativno utjecati čak i na intrauterini razvoj pluća (Kirkby et al., 2016).

Teški metali

Izvori. Teški metali dopijevaju u unutrašnji zrak infiltracijom iz vanjske sredine (prašina i zemlja) ili se oslobađaju pušenjem duhana, iz proizvoda koji troše gorivo i iz građevinskih materijala (Zhang, Jenkins, 2016).

Štetni efekti na zdravlje. Teški metali u ljudsko tijelo ulaze udisanjem, gutanjem ili kroz kožu. Međunarodna agencija za istraživanje karcinoma (engl. *International Agency for Research on Cancer - IARC*) klasifikovala je teške metale kao (Kang et al., 2017):

- nekancerogeni elementi: kobalt (Co), aluminij (Al), bakar (Cu), nikl (Ni), gvožđe (Fe), cink (Zn)
- vjerovatno kancerogeni elementi: arsen (As), hrom (Cr), kadmij (Cd) i olovo (Pb).

Cd i Pb, zajedno s ostalima, mogu uzrokovati kardiovaskularne bolesti, usporiti rast i razvoj, te oštetiti nervni sistem. Izloženost PAH-ovima i Pb povećava oksidativna oštećenja, stimuliše sistem renin-angiotenzin i smanjuje koncentraciju NO. Ovi mehanizmi mogu uzrokovati povećan vaskularni tonus i periferni vaskularni otpor (Tran et al., 2020).

Radon (Rn)

Izvori. Primarni izvori radona u unutrašnjem zraku su građevinski materijali, prirodni plin, voda iz slavine, ulazak radona iz vanjskog zraka. Zidni građevinski materijali (kamen, beton i cigla) su glavni izvori oslobađanja radona u unutrašnji zrak. Radon se također može osloboditi u unutrašnji zrak uslijed prodora prirodnog gasa iz zemlje, te korištenjem vode iz podzemnih izvora koji sadrže granit ili drugu stijenu koja emituje radioaktivnost, a takvi izvori vode obično sadrže radon u koncentraciji iznad 10,000 pCi/L.

Radon se ne može otkriti mirisom i obično se nakuplja u slabo provjetrenim učionicama. Jedina je zagađujuća materija za koju su zakonski definisane granične koncentracije u unutrašnjem zraku u EU-u. Prosječna godišnja koncentracija aktivnosti radona ne smije biti veća od 300 Bq/m³, ali neke zemlje, npr. Njemačka, dozvoljava više koncentracije radona u unutrašnjem zraku ako se pokaže da su se primijenjene mjere pokazale neadekvatnim (StrSchG, 2017).

Dozvoljene vrijednosti. Nema dokaza za nivoe bez rizika (IAQ Standards and Guidelines, n.d.)

Štetni efekti na zdravlje. Radon može utjecati na funkciju pluća, uključujući i izazivanje karcinoma pluća u slučaju hronične izloženosti (World Health Organization, 2009).

Pesticidi

Pesticidi u unutrašnjem zraku su obično poluisparljiva jedinjenja koja, ovisno o tlaku pare, viskoznosti i topljivosti u vodi, mogu postojati u obliku plina ili čestica.

Izvori. Drveni građevinski materijali kod kojih se pesticidi koriste kao zaštita kroz impregnaciju ili površinski premaz drveta, proizvodi za suzbijanje i uklanjanje štetočina uključujući bakterije, gljivice, insekte, glodare i druge organizme, tepisi, tekstil i tapacirani namještaj, te vanjski izvori (USEPA, n.d.). Pesticidi se u unutrašnjem zraku mogu održavati mjesecima ili godinama zbog otpornosti na Sunčevu svjetlost, ekstremne temperature, kišu i druge faktore.

Štetni efekti na zdravlje. Putevi izlaganja pesticidima u unutrašnjem zraku su putem kože, gutanjem i udisanjem. Uzrokuju kratkotrajnu iritaciju kože i očiju, vrtoglavicu, glavobolju i

mučninu, dok dugoročne posljedice uključuju astmu, dijabetes i karcinome (Kim et al., 2017).

Biološke zagađujuće materije

Biological pollutants in indoor air are biological allergens and microorganisms.

Izvori. Biološke zagađujuće materije u unutrašnjem zraku su biološki alergeni i mikroorganizmi. Biološki alergeni, poznati kao antigeni, potječu od brojnih insekata, životinja, grinja, biljaka, polena, kućne prašine ili gljivica i uzrokuju alergiju u reakciji sa specifičnim imunoglobulinskim E (IgE) antitijelima. Izvori alergena u zatvorenom prostoru uglavnom su krznjeni kućni ljubimci (psi i mačke), grinje, plijesni, biljke, žohari i glodari, a postoje i vanjski izvori (Bousquet et al., 2008). Mikroorganizmi, virusi i bakterije često potiču od ljudi ili ih prenose ljudi i životinje.

Štetni efekti na zdravlje. Izloženost biološkim alergenima u unutrašnjem zraku može dovesti do senzibilizacije, respiratornih infekcija, respiratornih alergijskih bolesti, dok izloženost virusima i bakterijama uzrokuje i neinfektivne i infektivne nuspojave (Baldacci et al., 2015).

3. KVALITET UNUTRAŠNJEG ZRAKA I NJEGOV UTJECAJ NA ZDRAVLJE I AKADEMSKE SPOSOBNOSTI DJECE ŠKOLSKOG UZRASTA

Djeca, posebno mlađa od 5 godina, najosjetljivija su populacija na štetne efekte zagađenja zraka. Osjetljivost djece, posebno one najmlađe, najčešće je posljedica nezrelosti njihovog respiratornog, imunološkog, reproduktivnog, centralnog nervnog i probavnog sistema (Kamaruzzaman, Razak, 2011; Burtcher, Schüep, 2012). Djeca se razlikuju od odraslih po svom fiziološkom i fizičkom statusu. Fiziološki, brzina disanja po kilogramu tjelesne težine je približno dva puta veća kod djece i do tri puta veća kod novorođenčadi u odnosu na odrasle osobe. To znači da djeca, zbog svoje veličine, fiziologije i fizičke aktivnosti, imaju dvostruko brži ciklus disanja od odraslih, te stoga pokazuju veću stopu potrošnje kiseonika i metabolizma po jedinici tjelesne težine (Nam et al., 2015). Fizički, djeca udišu više zraka jer osim što brže dišu, imaju i veću apsorptivnu površinu pluća, zbog čega prilikom disanja, a proporcionalno svojoj tjelesnoj težini, apsorbiraju znatno više zagađujućih materija nego odrasli. Osim toga, djeca više dišu na usta nego na nos čime se gubi zaštitna funkcija nosa, tj. sposobnost sluznice nosa da zadrži čestice na svojoj površini. Time se povećava mogućnost većeg prodora i taloženja, posebno manjih čestica, u najnižim dijelovima respiratornog sistema i njihovog prodora u krv (Maynard, 2015).

Djeca školskog uzrasta provode više vremena (oko 80%) u zatvorenom prostoru (npr. u školama i njihovim domovima) nego na otvorenom. Nakon doma, škola/učionica je po važnosti drugo okruženje za dijete u kojem, uglavnom u zatvorenom prostoru, provodi oko 25–30% svog života (negdje i do 10 sati dnevno). Stoga je adekvatan kvalitet zraka u školama važna odrednica zdravog života i dobrobiti školske djece.

Effekti lošeg kvaliteta unutrašnjeg zraka kod djece školske dobi se prvenstveno odnose na probleme sa respiratornim sistemom, ali i alergijskim i kožnim oboljenjima kao što su atopijski dermatitis i ekcem, autoimunim oboljenjima, kardiovaskularnim sistemom, pojavom karcinoma, kao i efekte na san, pažnju i akademski uspjeh (Sousa et al., 2012). Kardiovaskularne bolesti kod djece školskog uzrasta su uglavnom povezane s izloženosti $PM_{2.5}$, PAH, CO_2 , CO i teškim metalima, prvenstveno olovu i kadmiju (Tran et al., 2020).

Podaci također sugerišu da izlaganje zagađenom zraku tokom intrauterinog razvoja (Kirkby et al., 2016) i ranog djetinjstva može igrati važnu ulogu u razvoju hroničnih bolesti u odrasloj dobi (Oliveira et al., 2019).

3.1 Kvalitet unutrašnjeg zraka i njegov utjecaj na respiratorni sistem djece školskog uzrasta

Rezultati studija pokazuju da su učionice uglavnom pretrpane, slabo provjetrene i pregrijane. Ovo, uz blage nuspojave kao što su glavobolja i mučnina, dovodi prvenstveno do respiratornih problema (Oliveira et al., 2019). Respiratorni sistem je često primarna meta zagađujućih materija iz unutrašnjeg zraka, jer se one najčešće unose u ljudski organizam udisanjem. Od respiratornih bolesti se najčešće javljaju astma sa čestim pogoršanjima u periodima zagađenja zraka, akutna infekcija gornjih disajnih puteva uz kašalj, upalu sluznice nosa i sinusa i upalu srednjeg uha, zatim akutna infekcija donjih disajnih puteva sa upalom pluća, druge alergijske bolesti respiratornog sistema (alergijski rinitis) te druge bolesti pluća, uključujući HOPB i karcinom pluća (Sousa et al., 2012; Smith-Sivertsen et al., 2009).

Curenje iz nosa, grlobolju, kašalj, probleme s disanjem i hrkanje su najčešće prijavljivali učenici koji borave u učionicama s klima-uređajima. Također, bol u grlu, kašalj i umor često su prijavljivali učenici koji su boravili u učionicama sa prirodnom ventilacijom, gdje su mjerene više temperature, viša relativna vlažnost i više koncentracije PM_{10} . Poznato je da više temperature i viša relativna vlažnost zraka pogoduju rastu i prenošenju nekih virusa, što može biti osnova za navedene simptome.

3.2 Kvalitet unutrašnjeg zraka i njegov utjecaj na akademske sposobnosti djece školskog uzrasta

Kvalitet unutrašnjeg zraka utječe na koncentraciju, pažnju i akademske sposobnosti djece školskog uzrasta. Istraživanje provedeno u 1,000 škola u SAD-u, zatim velika kohortna studija sa 8,000 uključene djece u Velikoj Britaniji i sistematski pregledi naučne literature potvrđuju da je stopa ventilacije u učionici direktno povezana sa akademskim uspjehom učenika, te da se mjerljiv napredak iz matematike i čitanja (mjeren putem standardizovanih testova) uočava pri poboljšanju kvaliteta zraka u učionicama (Fisk, 2017).

Smanjenje kognitivnih performansi učenika koji borave u učionicama u kojima su izmjerene veće koncentracije grubih PM_{10} , finih $PM_{2,5}$ čestica i CO_2 zabilježene su i u školama u austrijskim urbanim sredinama. Pokazatelji kognitivnog razvoja, kao što su pažnja i kapacitet pamćenja, imali su bolji trend u školama s najnižim koncentracijama ultrafinih PM_1 čestica i NO_2 (Sunyer et al., 2017).

Studije o kvalitetu unutrašnjeg zraka u učionicama u BiH ukazale su na loš kvalitet zraka sa visokim koncentracijama PM_{10} i $PM_{2,5}$, benzena, toluena, ksilena, NO_2 , CO_2 i suboptimalnim uslovima temperature i vlažnosti zraka (Csobod et al., 2010; Kulo et al., 2021).

4. ZAKLJUČAK

Oboljenja ljudi povezana sa zagađenjem zraka, čak i pri niskoj izloženosti zagađujućim materijama, procjenjuju se kao jedan od pet najvećih problema javnog zdravstva, sa više od 4 miliona prijevremenih smrtnih slučajeva širom svijeta u 2019. godini i 238,000 prijevremenih smrtnih slučajeva u EU-27 u 2020. godini. Nedavno je SZO preporučila strožije kriterije za

dozvoljene prosječne vrijednosti izloženosti PM_{2,5}, PM₁₀, O₃, NO₂, SO₂ i CO. Učinak PM čestica na zdravlje ljudi je direktno povezan sa njihovim heterogenim fizičkim i hemijskim karakteristikama i njihovom sposobnošću da prodiru u respiratorni sistem. Zna se da, što su PM čestice manje, to je njihovo prodiranje u respiratorni sistem dublje i u konačnici fine i ultrafine čestice prodiru u krv i putem nje u sva tkiva. Ovo rezultira kardiorespiratornim i drugim toksičnostima. Štoviše, sinergistički i kumulativni učinak PM čestica sa kancerogenim PAH-ovima čini ih još opasnijim. Najvažniji zdravstveni problemi povezani sa izlaganjem zagađenom zraku su: veći rizik od razvoja i/ili pogoršanja respiratornih bolesti, uključujući pogoršanje astme i cistične fibroze, respiratorne infekcije, HOPB, karcinom pluća i alergijske bolesti; kardiovaskularne bolesti uključujući hipertenziju, zatajenje srca, infarkt miokarda, srčane aritmije, ishemijski moždani udar; dijabetes melitus; druge karcinome i autoimune bolesti; kožne bolesti kao što su atopijski dermatitis, ekcem i starenje kože; efekti na neurokognitivni razvoj. Rano izlaganje zagađenju zraka može čak negativno utjecati na intrauterini razvoj djeteta i biti osnova za razvoj hroničnih bolesti u kasnijem životu. Najosjetljivije populacije su novorođenčad i djeca do 5 godina starosti, trudnice, starije osobe i bolesnici s hroničnim bolestima. Kako bi ublažila štetne posljedice zagađenja zraka, u okviru svoje vizije o nultom zagađenju za 2050. godinu, EU je usvojila politiku čistog zraka s ciljem uspostavljanja standarda kvaliteta zraka, smanjenja emisija zagađujućih materija i postavljanja standarda emisije za ključne izvore zagađenja.

Konflikt interesa. Nije prijavljen konflikt interesa.

LITERATURA

1. Ad hoc AG. (2008a). *Health evaluation of carbon dioxide in indoor air. Bundesgesundheitsblatt*, 51, 1358–1369.
2. Amato, F., Rivas, I., Viana, M., Moreno, T., Bouso, L., Reche, C., et al. (2014). *Sources of indoor and outdoor PM_{2.5} concentrations in primary schools. Science of the Total Environment*, 490, 757–765.
3. Annesi-Maesano, I., Moreau, D., Caillaud, D., Lavaud, F., Le Moullec, Y., Taytard, A., et al. (2017). *Residential proximity fine particles related to allergic sensitization and asthma in primary school children. Respiratory Medicine*, 101, 1721–1729.
4. American Society for Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE). (2022). *ASHRAE Standard 62.1-2022: Ventilation and acceptable indoor air quality. Preuzeto od https://ashrae.iwrapper.com/ASHRAE_PREVIEW_ONLY_STANDARDS/STD_62.1_2022* Pristupljeno 2024/09/19.
5. *Air pollution management in Bosnia and Herzegovina. (2019). Preuzeto od <https://thedocs.worldbank.org/en/doc/571891579547481576-0080022020/original/AirQualityManagementinBosniaandHerzegovinaExecutiveSummaryeng.pdf>* Pristupljeno 2024/09/19.
6. Awbi, H.B. (2003). *Ventilation of Buildings. Spon Press*.
7. Baldacci, S., Maio, S., Cerrai, S., Sarno, G., Baiz, N., Simoni, M., et al. (2015). *Allergy and asthma: Effects of the exposure to particulate matter and biological allergens. Respiratory Medicine*, 109, 1089–1104.
8. Bousquet, J., Khaltaev, N., Cruz, A.A., Denburg, J., Fokkens, W.J., Togias, A., et al. (2008). *Allergic rhinitis and its impact on asthma (ARIA) 2008. Allergy*, 63, 8–160.
9. Brugha, R., and Grigg, J. (2014). *Urban air pollution and respiratory infections. Paediatric Respiratory Reviews*, 15, 194–199.
10. Burtscher, H., and Schüepp, K. (2012). *The occurrence of ultrafine particles in the specific environment of children. Paediatric Respiratory Reviews*, 13, 89–94.
11. Buoli, M., Grassi, S., Caldiroli, A., Carnevali, G.S., Mucci, F., Iodice, S., et al. (2018). *Is there a link between air pollution and mental disorders? Environmental International*, 118, 154–168.
12. Choo, C.P., and Jalaludin, J. (2015). *An overview of indoor air quality and its impact on respiratory*

- health among Malaysian school-aged children. *Reviews on Environmental Health*, 30(1), 9–18.
13. Coley, D.A., Greeves, R., and Saxby, B.K. (2007). The effect of low ventilation rates on the cognitive function of a primary school class. *International Journal of Ventilation*, 6, 107–112.
 14. Csobod, É., Rudnai, P., and Vaskovi, E. (2010). School environment and respiratory health of children (SEaRCH): International research project report within the “Indoor air quality in European schools: Preventing and reducing respiratory diseases program”. Preuzeto od [https://www.shemanticscholar.org/paper/School-Environment-and-Respiratory-Health-of-\(-\)-%E2%80%9C-Csobod-Rudnai/242cabafe2b23defbe95ad4a4ac4eeb3c4cecd59](https://www.shemanticscholar.org/paper/School-Environment-and-Respiratory-Health-of-(-)-%E2%80%9C-Csobod-Rudnai/242cabafe2b23defbe95ad4a4ac4eeb3c4cecd59). Pristupljeno 2024/09/19.
 15. Dat, N.-D., and Chang, M.B. (2017). Review on characteristics of PAHs in atmosphere, anthropogenic sources and control technologies. *Science of the Total Environment*, 609, 682–693.
 16. Directive 2004/107/EC of the European Parliament and the Council relating to arsenic, cadmium, mercury, and polycyclic aromatic hydrocarbons in ambient air. (2004). *Off J Eur Union* L23, 3–16.
 17. Dorizas, P.V., Assimakopoulos, M., and Santamouris, M. (2015). A holistic approach for the assessment of the indoor environmental quality, student productivity, and energy consumption in primary schools. *Environmental Monitoring and Assessment*, 187, 259–277.
 18. European Environmental Agency. (2024). Indicator AIR003 ‘Exceedance of air quality standards in Europe 2024’. Preuzeto od <https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2022/health-impacts-of-air-pollution>. Pristupljeno 2024/09/18.
 19. European Environment Agency. (2017). Air quality in Europe – 2017 report. European Environment Agency. Preuzeto od <https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2017>. Pristupljeno 2024/09/21
 20. Fisk, W.J. (2017). The ventilation problem in schools: Literature review. *Indoor Air*, 27(6), 1039–1051.
 21. Giorgini, P., Di Giosia, P., Grassi, D., Rubenfire, M., Brook, R.D., and Ferri, C. (2016). Air pollution and blood pressure: An updated review of the literature. *Current Pharmaceutical Design*, 22, 28–51.
 22. Grineski, S.E., Clark-Reyna, S.E., and Collins, T.W. (2016). School-based exposure to hazardous air pollutants and grade point average: A multi-level study. *Environmental Research*, 147, 164–171.
 23. Huang, Y., Yang, Z., and Gao, Z. (2019). Contributions of indoor and outdoor sources to ozone in residential buildings in Nanjing. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16, 2587.
 24. IAQ Standards and Guidelines. (n.d.). EPA and ASHRAE standard. Foobot. Preuzeto od <https://foobot.io/guides/iaq-standards-and-guidelines.php>. Pristupljeno 2024/09/19.
 25. IARC. (2006). Formaldehyde. Preuzeto od <https://monographs.iarc.fr/wp-content/uploads/2018/06/mono100F-29.pdf>. Pristupljeno 2024/09/19.
 26. IARC Working Group on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. (2010). Some non-heterocyclic polycyclic aromatic hydrocarbons and some related exposures. *IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans*, 92, 1–853.
 27. Kamal, A., Cincinelli, A., Martellini, T., and Malik, R.N. (2015). A review of PAH exposure from the combustion of biomass fuel and their less surveyed effect on the blood parameters. *Environmental Science and Pollution Research*, 22, 4076–4098.
 28. Kamaruzzaman, S., and Razak, R. (2011). Measuring indoor air quality performance in Malaysian government kindergarten. *Journal of Building Performance*, 2, 70–79.
 29. Kang, Y., Cheung, K.C., and Wong, M.H. (2017). Mutagenicity, genotoxicity, and carcinogenic risk assessment of indoor dust from three major cities around the Pearl River Delta. *Environmental International*, 37, 637–643.
 30. Kelishadi, R., Poursafa, P., and Keramatian, K. (2011). Overweight, air, and noise pollution: Universal risk factors for pediatric pre-hypertension. *Journal of Research in Medical Sciences*, 16(9), 1234–1250.
 31. Kim, K.H., Kabir, E., and Jahan, S.A. (2017). Exposure to pesticides and the associated human health effects. *Science of the Total Environment*, 575, 525–535.
 32. Kim, K.-Y., Kabie, E., and Kabir, S. (2015). A review on the health impact of airborne particulate matter. *Environmental International*, 74, 136–143.
 33. Kirkby, J., Bountziouka, V., Lum, S., Wade, A., and Stocks, J. (2016). Natural variability of lung function in young healthy school children. *European Respiratory Journal*, 48, 411–419. <https://doi>.

org/10.1183/13993003.01757-2015

34. Korsavi, S.S., and Montazami, A. (2019). Developing a valid method to study adaptive behaviors with regard to indoor environmental quality in primary schools. *Building and Environment*, 153, 1–16.
35. Kulo, A., Klarić, S., Četković, A., Blekić, A., Kusturica, J., Spahić, N., Šljivo, A., and Šečić, D. (2021). School children exposure to low indoor air quality in classrooms during the COVID-19 pandemic: Results of a pilot study. *Psychiatria Danubina*, 33(Suppl 3), S318–S330.
36. Landrigan, P.J., Fuller, R., Acosta, N.J.R., Adeyi, O., Arnold, R., Basu, N., et al. (2017). The Lancet Commission on Pollution and Health.
37. Maynard, R.L. (2015). The effects on health of ambient particles: Time for an agonizing reappraisal? *Cell Biology and Toxicology*, 31, 131–147.
38. Midouhas, E., Kokosi, T., and Flouri, E. (2018). Outdoor and indoor air quality and cognitive ability in young children. *Environmental Research*, 161, 321.
39. Nam, I., Yang, J., Lee, D., Park, E., and Sohn, J. (2015). A study on the thermal comfort and clothing insulation characteristics of preschool children in Korea. *Building and Environment*, 92, 724–733.
40. Oliveira, M., Slezakova, K., Delerue-Matos, C., Pereira, M.C., and Morais, S. (2017a). Assessment of exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons in preschool children: Levels and impact of preschool indoor air on excretion of main urinary monohydroxyl metabolites. *Journal of Hazardous Materials*, 322, 357–369.
41. Oliveira, M., Slezakova, K., Delerue-Matos, C., Pereira, M.C., and Morais, S. (2019). Children environmental exposure to particulate matter and polycyclic aromatic hydrocarbons and biomonitoring in school environments: A review on indoor and outdoor exposure levels, major sources, and health impacts. *Environmental International*, 124, 180–204.
42. Polidori, A., Fine, P.M., White, V., and Kwon, P.S. (2013). Pilot study of high-performance air filtration for classroom applications. *Indoor Air*, 23(3), 185–195.
43. Poscia, A., Burali, A., Calzoni, J., Colaiacomo, E., Csobod, E., De Maio, F., et al. (2014). “How good is my classroom?” Italian results from the International SEARCH II Project on energy, indoor air quality, and comfort at school. *European Journal of Public Health*, 24(Suppl 2), ck162–073.
44. Pulimeno, M., Piscitelli, P., Colazzo, S., Colao, A., and Miani, A. (2020). Indoor air quality at school and students’ performance: Recommendations of the UNESCO Chair on Health Education and Sustainable Development and the Italian Society of Environmental Medicine (SIMA). *Health Promotion Perspectives*, 10(3), 169–174.
45. Seow, W.J., Downward, G.S., Wei, H., Rothman, N., Reiss, B., Xu, J., et al. (2016). Indoor concentrations of nitrogen dioxide and sulfur dioxide from burning solid fuels for cooking and heating in Yunnan Province, China. *Indoor Air*, 26, 776–783.
46. Smith-Sivertsen, T., Díaz, E., Pope, D., Lie, R.T., Díaz, A., and McCracken, J. (2009). Effect of reducing indoor air pollution on women’s respiratory symptoms and lung function: The RESPITE randomized trial, Guatemala. *American Journal of Epidemiology*, 170, 211–220.
47. Sofuoglu, S.C., Aslan, G., Inal, F., and Sofuoglu, A. (2011). An assessment of indoor air concentrations and health risks of volatile organic compounds in three primary schools. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 214(1), 36–46.
48. Sousa, S.I., Ferraz, C., Alvim-Ferraz, M.C., Vaz, L.G., Marques, A.J., et al. (2012). Indoor air pollution on nurseries and primary schools: Impact on childhood asthma—Study protocol. *BMC Public Health*, 12, 435.
49. Sunyer, J., Suades-González, E., García-Esteban, R., et al. (2017). Traffic-related air pollution and attention in primary school children: Short-term association. *Epidemiology*, 28(2), 181–189.
50. Sram, R.J., Veleminsky, Jr. M., Veleminsky, Sr. M., and Stejskalov, J. (2017). The impact of air pollution on the central nervous system in children and adults. *Neuro Endocrinology Letters*, 38(6), 389–396.
51. StrSchG (2017). Act on the protection against damage and injuries caused by ionizing radiation (German Radiation Protection Act). Federal Office for Radiation Protection. <http://www.bfs.de/EN/bfs/laws-regulations/radiation-protection-act/radiation-protection-act.html> Pristupljeno 2024/09/19.
52. Tran, V. V., Park, D., and Lee, Y.-C. (2020). Indoor air pollution, related human diseases, and recent trends in the control and improvement of indoor air quality. *International Journal of Environmental*

- Research and Public Health*, 17(8), 2927. <https://doi.org/10.3390/ijerph17082927>
53. Twardella, D., Matzen, W., Lahrz, T., Burghardt, R., Spegel, H., Hendrowarsito, L., et al. (2012). Effect of classroom air quality on students' concentration: Results of a cluster-randomized cross-over experimental study. *Indoor Air*, 22(5), 378–387.
 54. USEPA. (2005). Guidelines for carcinogen risk assessment, EPA/630/P-03/001F. U.S. Environmental Protection Agency. Preuzeto od http://www.epa.gov/raf/publications/pdfs/CANCER_GUIDELINES_FINAL_3-25-05.pdf Pristupljeno 2024/09/19.
 55. USEPA. (n.d.). Pesticides' impact on indoor air quality. U.S. Environmental Protection Agency. Preuzeto od <https://www.epa.gov/indoor-air-quality-iaq/pesticides-impact-indoor-air-quality> Pristupljeno 2024/09/19.
 56. USEPA. (n.d.). Volatile organic compounds' impact on indoor air quality. U.S. Environmental Protection Agency. Preuzeto od <https://www.epa.gov/indoor-air-quality-iaq/volatile-organic-compounds-impact-indoor-air-quality>. Pristupljeno 2024/09/19.
 57. Weschler, C.J. (2015). Roles of the human occupant in indoor chemistry. *Indoor Air*, 26, 6–24.
 58. Weschler, C. J., and Nazaro, W. W. (2014). Dermal uptake of organic vapors commonly found in indoor air. *Environmental Science and Technology*, 48(3), 1230–1237. <https://doi.org/10.1021/es405303b>
 59. Wichmann, J., Lind, T., Nilsson, M.A.M., and Bellander, T. (2010). PM_{2.5}, soot, and NO₂ indoor–outdoor relationships at homes, pre-schools, and schools in Stockholm, Sweden. *Atmospheric Environment*, 44(36), 4536–4544
 60. Wolkoff, P. (2018). Indoor air humidity, air quality, and health: An overview. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 221(3), 376–390. <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2018.02.007>
 61. World Health Organization. (2021). WHO global air quality guidelines: Particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. World Health Organization.
 62. <https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/345329/9789240034228-eng.pdf> Pristupljeno 2024/09/18.
 63. World Health Organization. (2009). WHO handbook on indoor radon: A public health perspective. World Health Organization. <https://www.who.int/publications/i/item/9789241547673> Pristupljeno 2024/09/19.
 64. World Health Organization. (1989). Indoor air quality: Organic pollutants. Report on a WHO meeting, Berlin, Germany, 23–27 August 1987; EURO reports and studies 111. World Health Organization Regional Office for Europe.
 65. Zhang, Q., and Jenkins, P. L. (2016). Evaluation of ozone emissions and exposures from consumer products and home appliances. *Indoor Air*, 27(3), 386–397. <https://doi.org/10.1111/ina.12232>
 66. Zhang, R., Wang, G., Guo, S., Zamora, M. L., Ying, Q., Lin, Y., et al. (2015). Formation of urban fine particulate matter. *Chemical Reviews*, 115(7), 3803–3855. <https://doi.org/10.1021/cr4c02494>

Utjecaj klimatskih promjena na pojavu i širenje zoonotskih bolesti

Nihad Fežić

Sažetak: Klimatske promjene značajno utječu na pojavu i širenje zoonotskih bolesti mijenjajući ekosisteme i količinu padavina, povećanjem temperature i intenziviranjem ekstremnih vremenskih pojava. Ove promjene utječu na staništa i migracije divljih životinja, vektora i patogena, povećavajući izloženost ljudi zoonozama. Globalno zagrijavanje proširuje geografski raspon vektora bolesti poput komaraca i krpelja, olakšavajući širenje bolesti kao što su malarija, denga, zika i lajmska bolest. Ekstremni vremenski događaji poput poplava i suša narušavaju ekosisteme, što dovodi do povećanog rizika od bolesti poput kolere i hantavirusa. Strategije kao što su očuvanje biodiverziteta, zaštita staništa i održive poljoprivredne prakse, zajedno sa pojačanim nadzorom i globalnom saradnjom, neophodne su za sprečavanje budućih izbijanja zoonoza u kontekstu klimatskih promena. Pristup „jedinствeno zdravlje“, koji integriše zdravlje ljudi, životinja i životne sredine, ključan je za ublažavanje ovih prijetnji.

Ključne riječi: zoonoze, klima, emergentnost, jedinstveno zdravlje

1. UVOD

Klimatske promjene definišemo kao kompleksne dugoročne promjene u prosječnim uzorcima vremena, koje se dešavaju na globalnom ili regionalnom nivou. Ove promjene uključuju varijacije u temperaturi, padavinama, vjetrovima i drugim meteorološkim parametrima tokom decenija ili dužih perioda. Klimatske promjene mogu biti uzrokovane prirodnim procesima poput vulkanskih erupcija i varijacija Sunčevog zračenja, ali sve veći naučni konsenzus ukazuje da su trenutne promjene uglavnom rezultat ljudskih aktivnosti. Najznačajniji uzroci klimatskih promjena vezani za čovjeka uključuju emisije stakleničkih plinova poput ugljičnog dioksida (CO_2), metana (CH_4) i dušikovog oksida (N_2O) iz sagorijevanja fosilnih goriva, poljoprivrednih praksi, krčenja šuma i industrijskih procesa. Ovi gasovi stvaraju efekat staklene bašte, zadržavajući toplotu u Zemljinoj atmosferi i dovode do globalnog povećanja temperature. Prema Svjetskoj meteorološkoj organizaciji (WMO)¹, globalna srednja temperatura 2023. bila je oko 1,45 °C iznad prosjeka perioda 1850-1900. Godina 2023. bila je najtoplija do sada, a zbog dugoročnih klimatskih promjena i efekta epizode El Niño 2023/2024, okean apsorbira otprilike 90% energije u klimatskom sistemu, što je dovelo do rekordnog zagrijavanja u 2023. godini; globalno, nivo mora porastao je na novi maksimum 2023. (110 mm), od početka primjene satelitske altimetrije.

Klimatske promjene uzrokuju složene i često nepovratne promjene u ekosistemima. Razumijevanje i praćenje ovih promjena je od ključnog značaja, što je prepoznato od naučne zajednice, međunarodnih organizacija, civilnog društva i nekih vlada, za razvoj strategija za očuvanje ekosistema i ublažavanje negativnih utjecaja. Ove inicijative općenito uključuju zaštitu ekosistema, smanjenje emisija stakleničkih plinova i promociju održivih praksi upravljanja prirodnim resursima. Kako temperatura raste, promjene u količinama padavina i ekstremni vremenski događaji mijenjaju strukturu i funkciju ekosistema. Na primjer, porast temperature može dovesti do ranijeg cvjetanja biljaka, narušavajući ekološke interakcije između biljaka i njihovih oparašivača. Neki insekti oparašivači mogu se pojaviti kasnije nego inače, što rezultira neusklađenošću između cvjetanja biljaka i prisutnosti oparašivača. Ovo može smanjiti reproduktivni uspjeh biljaka i utjecati na cijeli ekosistem (Američka agencija za zaštitu životne sredine - EPA, 2023). Osim toga, klimatske promjene mogu potaknuti širenje invazivnih vrsta (biljnih i životinjskih), dodatno prijeteci i agresivno mijenjajući lokalne ekosisteme. Invazivne vrste mogu preuzeti staništa i resurse lokalnih vrsta, smanjujući biodiverzitet. Na primjer, rastuće temperature i promjene u padavinama mogu omogućiti invazivnim biljkama i životinjama, uključujući insekte, da se prošire na područja u kojima ranije nisu mogli preživjeti (Sweco UK, 2023).

Ekstremni vremenski događaji kao što su oluje, suše i poplave također imaju direktne posljedice na ekosisteme. Ovi događaji mogu uništiti staništa, smanjiti dostupnost vode i hrane i promijeniti sastav vrsta unutar ekosistema. Naprimjer, suše mogu smanjiti populaciju riba u rijekama i jezerima zbog nižih vodostaja, dok poplave mogu uništiti kopnena staništa za mnoge vrste.

Promjene u padavinama mogu utjecati i na vodene ekosisteme. Smanjene padavine mogu smanjiti dostupnost vode u rijekama i jezerima, što dovodi do viših koncentracija zagađivača i nižeg kvaliteta vode. S druge strane, povećana količina padavina može povećati eroziju tla i otjecanje sedimenta u vodene ekosisteme, negativno utječući na vodene organizme.

¹<https://wmo.int/topics/climate>

Osim direktnih utjecaja na vrste i njihova staništa, klimatske promjene utječu i na uloge ekosistema bitne za dobrobit ljudi. Ekosistemi omogućuju opskrbu hranom, regulaciju klime, prečišćavanje vode i oprašivanje. Promjene u ekosistemima mogu smanjiti kapacitet ovih funkcija, što ima dalekosežne posljedice po ljudske zajednice i zdravlje (Harris, 2023).

“Zdravlje” se odnosi na stanje potpunog fizičkog, mentalnog i društvenog blagostanja, a ne samo na odsustvo bolesti ili slabosti. Obuhvaća koliko dobro tijelo funkcionira, kako se osjećamo mentalno i emocionalno i kako komuniciramo s drugima i našom okolinom. Nekoliko faktora može utjecati na naše zdravlje: izbor načina života i ishrane, faktori životne sredine, genetika, pristup zdravstvenoj zaštiti, društveni, kulturni i ekonomski faktori, profesionalne opasnosti i zarazne bolesti. Zarazne bolesti i dalje ostaju značajan globalni zdravstveni izazov, posebno s obzirom na to da porast otpornosti na antimikrobne lijekove (AMR) prijeti da ugrozi učinkovitost liječenja, što otežava kontrolu infekcija, sprječavanje širenja bolesti i zaštitu ranjivih populacija od stanja opasnih po život.

Ovaj pregled ima za cilj da naglasi višestruki utjecaj klimatskih promjena na pojavu i širenje zoonoza. Konkretno, naglašava kako promjene temperature, padavina i ekstremni vremenski događaji mijenjaju ekosisteme i doprinose povećanju interakcije između ljudi, divljih životinja i vektora, olakšavajući prijenos zoonoza. Pregled posebno adresira:

1. **Razumijevanje klimatskih promjena kao pokretača negativnih pojava** - razjasniti kako klimatske promjene pokreću pojavu i geografsku preraspodjelu zoonotskih bolesti, naglašavajući njihovu ulogu u stvaranju povoljnih uslova za vektore i patogene.
2. **Procjenu utjecaja na zdravlje i ekonomiju** - procijeniti zdravstvene, socijalne i ekonomske posljedice zoonoza pod utjecajem klimatskih promjena, koristeći historijske i sadašnje primjere iz velikih epidemija zoonoza.
3. **Unapređenje strategija ublažavanja** - predložiti efikasne strategije ublažavanja, prevencije i prilagođavanja naglašavajući važnost pristupa jedinstvenog zdravlja, koje integrira zdravlje ljudi, životinja i okoliša kao odgovor na prijetnje zoonoza izazvane klimatskim promjenama.

A holistic understanding of the intersection between climate change and zoonotic diseases, and scientific advancements is essential for developing recommendations for policymakers, healthcare professionals, and stakeholders across various sectors in addressing this emerging issue.

2. ZONOTSKE BOLESTI

Zoonoze ili zoonotske bolesti² su zarazne bolesti koje se mogu prenijeti sa životinja na ljude i koje su odgovorne za neke od najznačajnijih globalnih zdravstvenih kriza u našoj eri (npr. SARS, ebola, visokopatogena ptičja influenza i COVID-19). Zoonoze se mogu klasificirati u tri različite kategorije: (a) endemske zoonoze, koje su široko rasprostranjene i pogađaju i ljude i životinje, kao što su Brucella i virus bjesnoće, b) epidemijske zoonoze, koje imaju sporadične vremenske i prostorne distribucije, poput pandemije gripe H1N1 iz 2009. i (c) zoonoze u nastajanju i ponovnom pojavljivanju, koje se mogu pojaviti kao ranije nepoznate opasnosti ili su već postojale, ali se sada brzo šire sa povećanom prevalencom ili rasponom, poput MERS-a (Horefti, 2023). Postoji preko 200 poznatih vrsta zoonoza. Svjetska organizacija za zdravlje životinja (WOAH) procjenjuje da 60% patogena koji uzrokuju ljudske bolesti potiče od domaćih ili divljih životinja, a 75% novih zaraznih bolesti kod ljudi ima životinjsko porijeklo³.

²WHO: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/zoonoses>

³WHO: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/zoonoses>

Prijenos patogena s divljih životinja na domaće životinje i ljude naziva se „prelijevanje“ (engl. *spillover*). Većina zaraznih bolesti kod ljudi potiče od patogena koji su izvorno cirkulirali u životinjskim vrstama. Veza između globalnog zagrijavanja, klimatskih promjena i zoonotskih bolesti postala je važno područje proučavanja, posebno jer se čini da se učestalost prelijevanja zoonoza povećava. Razumijevanje načina na koji klimatske promjene utječu na pojavu i širenje ovih bolesti ključno je za predviđanje i ublažavanje budućih epidemija.

3. PREGLED ZDRAVSTVENIH, DRUŠTVENIH I EKONOMSKIH POSLJEDICA ZOONOZA ZA ŽIVOTINJE I LJUDE

Zoonotske bolesti predstavljaju značajne globalne, regionalne i nacionalne zdravstvene izazove i prave ogromne štete. Međutim, njihove posljedice se protežu izvan zdravlja, utječući na društvene i ekonomske sfere života. Ovo poglavlje analizira zdravstvene, socijalne i ekonomske posljedice zoonoza na primjerima značajnijih zoonoza.

3.1. Zdravstvene posljedice

Zoonotske bolesti mogu uzrokovati ozbiljne zdravstvene probleme kod ljudi i životinja. Zoonoze (Tabela 1.) su odgovorne za skoro 2,5 milijardi slučajeva infekcije ljudi i približno 2,7 miliona ljudskih smrti godišnje (Horefti, 2023). Za razliku od bilo kojeg drugog zoonotskog patogena prije njega, akutni respiratorni sindrom koronavirus 2 (SARS-CoV-2) pokazao je težinu posljedica koje proizilaze iz zanemarivanja faktora rizika od pandemije i preventivnih higijenskih mjera. Značaj higijene je najočitiji u sprečavanju širenja zoonotskih patogena i rješavanju antimikrobne rezistencije (Kemper, 2023). Bjesnilo je gotovo uvijek smrtonosno nakon pojave simptoma kod ljudi, sa procenom od 59.000 smrtnih slučajeva godišnje, uglavnom u ruralnim područjima Afrike i Azije (De Luca, 2023). Visokopatogena ptičja influenza (HPAI) predstavlja značajnu prijetnju javnom zdravlju zbog mogućnosti prijenosa na ljude. HPAI je razorio kolonije divljih ptica i izazvao zabrinutost zbog potencijalne pandemije (McCloughlin et al., 2024).

Tabela 1. Raspored velikih epidemija i pandemija uzrokovanih zoonozama (Horefti, 2023)

Godina nastanka	Lokacija	Zoonoza	Smrtnost
430. p.n.e.	Antička Grčka	Rikecija (kuga)	100.000
541. A.D.	Bizantsko carstvo	Yersinia Pestis	15-100 miliona
1345.	Zapadna Evroazija / Sjeverna Afrika	Yersinia pestis (crna smrt)	75-200 miliona
1793.	Filadelfija, SAD	Virus žute groznice	25.000
1918.	Evropa	Influenca tipa A (španska gripa)	20 miliona
1957.	Azija, SAD, Evropa	Influenca tipa A (azijska gripa)	1,1 milion
1968.	Hong Kong, širom svijeta	Influenca tipa A	1 milion
1976.	Kongo i Sudan	Virus ebole	280

1980.	Centralna Afrika, širom svijeta	HIV - AIDS	40,1 milion
1996.	Kina – Hong Kong	Influenca tipa A (ptičja influenza)	6
2002.	Južna Kina, Evropa, Severna Amerika	SARS	811
2009.	širom svijeta	Influenca tipa A (svinjska gripa)	151.700-575.400
2012.	Saudijska Arabija	MERS	866
2015.	Brazil	Zika virus	18
2016.	Kina	Influenca tipa A	494
2018.	Kongo	Ebola	2287
2019.	Kina	SARS-COV-2	7 miliona
2022.	London	Majmunske boginje	146

3.2. Društvene posljedice

Društvene posljedice zoonoza uključuju promjenu načina života, stigmatizaciju pacijenata i promjene društvenih normi. Pandemija COVID-19 dovela je do globalnih karantina i društvene izolacije, što je utjecalo na mentalno zdravlje milijardi ljudi. U područjima pogođenim bolestima poput lajmske borelioze, ljudi mijenjaju svoje svakodnevne aktivnosti kako bi izbjegli kontakt s vektorima bolesti poput krpelja (De la Fuente et al., 2023). U nekim zajednicama, zoonoze mijenjaju tradicionalne prakse. Na primjer, u regijama u kojima je stočarstvo usko povezano s kulturnim identitetom, epidemije poput visokopatogene ptičje gripe (HPAI) ili slinavke i šapa (FMD) dovele su do promjena u postupanju sa životinjama, poljoprivrednim praksama, pa čak i u ishrani. Društvene navike u ovim područjima mogu biti jako pogođene kada su cjelokupni izvori života ugroženi zbog obaveznog odstrela ili ograničenja životinjskih proizvoda. Velike epidemije zoonoza također mogu poremetiti obrazovne sisteme, kao što se desilo tokom pandemije COVID-19 kada su škole širom svijeta bile prisiljene da se zatvore, što je dovelo do masovnog prelaska na učenje na daljinu. Ovo je neproporcionalno utjecalo na djecu u okruženjima sa niskim resursima koja su imala ograničen pristup internetu ili alatima za učenje na daljinu, čime se pogoršala obrazovna nejednakost.

Iako postoji sve više dokaza koji povezuju klimatske promjene sa zaraznim bolestima, naše razumijevanje o tome kako se ljudske migracije, klimatske promjene i zarazne bolesti ukrštaju ostaje ograničeno. Kako klimatske promjene i povezane katastrofe sve više ometaju stanovništvo, rezultirajuća iznenadna raseljavanja i dugoročne migracije mogu značajno promijeniti širenje i štete od zaraznih bolesti, i potencijalno dovesti do ozbiljnih izazova u javnom zdravlju (Tsuie et al., 2024).

3.3. Ekonomske posljedice

Ekonomske posljedice zoonoza su ogromne, uključujući troškove liječenja, gubitak radne snage, smanjenu produktivnost i troškove kontrole bolesti. Zoonoze povećavaju troškove zdravstvene zaštite zbog potrebe za produženim liječenjem i hospitalizacijom. Na primjer, pandemija COVID-19 rezultirala je ogromnim troškovima i vjerovatno će na kraju koštati između

8,1 i 15,8 biliona dolara na globalnom nivou⁴. Bolesti poput leptospiroze mogu značajno smanjiti produktivnost zbog dugotrajne bolesti i oporavka. Studija u Kolumbiji pokazala je da leptospiroza ima značajan negativan utjecaj na produktivnost radne snage (Gutiérrez i Tapias-Rivera, 2024). Bolesti koje pogađaju životinje, poput HPAI, mogu dovesti do masovnog uništavanja životinja kako bi se spriječilo širenje bolesti, što rezultira ogromnim ekonomskim gubicima u poljoprivrednom sektoru (McCloughlin et al., 2024). Bernstein i sar. (2022) izvještavaju da su izgubljeni životi i ekonomski troškovi pandemija virusnih zoonoza stalno rasli tokom prošlog stoljeća. Osnovni očekivani godišnji mortalitet od epidemija virusnih bolesti sa trenutnom svjetskom populacijom iznosi 3,3 miliona života. Procijenjena spremnost za plaćanje (WTP) i spriječavanje smrtnosti može se kretati od 107.000 do 6,4 miliona dolara po životu ili više, ovisno o bogatstvu zemlje. Primjenjujući konzervativniji raspon WTP-a, autori navode da se izbjegavanje gubitka u životima obračunato kroz WTP može kretati između 350 milijardi i 21 bilion dolara godišnje. Ekonomska analiza igra ključnu ulogu u razvoju programa prevencije protiv zoonoza tako što pruža uvid u isplativost, raspodjelu resursa i ukupne finansijske utjecaje različitih strategija intervencije.

Zaključno, zoonoze imaju velike zdravstvene, socijalne i ekonomske posljedice. Učinkovita kontrola i prevencija zahtijevaju koordinirane globalne napore, uključujući bolje razumijevanje međusobne povezanosti zdravlja ljudi i životinja. Prevencija i pripravnost su od ključne važnosti za minimiziranje utjecaja ovih bolesti na globalno društvo. Nedavni pristupi ovom pitanju, posebno iskustva iz pandemije COVID-19, doveli su do toga da se širenje zoonoza tretira kao biološka katastrofa, smatrajući ih događajima koji izazivaju značajne zdravstvene, ekonomske i socijalne posljedice zbog masovnog izbijanja bolesti, potencijalnih opasnosti za bioterorizam i agriterorizam ili prirodne katastrofe koje potiču širenje patogena.

4. PREGLED GLAVNIH ZOONOZA

4.1. Bakterijske zoonoze

Bakterijske zoonoze predstavljaju značajne zdravstvene probleme zbog svoje sposobnosti da izazovu teške bolesti kod ljudi. Najvažnije bakterijske zoonoze, njihove karakteristike, putevi prijenosa i osnovne preventivne mjere su navedene u nastavku:

Bolest	Patogen	Prijenos	Simptomi	Preventivne mjere
Salmoneloza	Bakterije iz roda Salmonella	Kontaminirana hrana, voda, direktan kontakt sa zaraženim životinjama ili ljudima	Groznica, dijareja, bol u stomaku, mučnina, povraćanje	Higijena hrane, pravilno kuhanje mesa, pranje ruku nakon kontakta sa životinjama
Bruceloza	Bakterije iz roda Brucella	Kontaminirani mliječni proizvodi, direktan kontakt sa zaraženim životinjama, udisanje aerosola	Groznica, znojenje, bol u mišićima i zglobovima	Pasterizacija mlijeka, korištenje zaštitne opreme pri rukovanju sa životinjama

⁴<https://extranet.who.int/sph/fighting-covid-19-could-cost-500-times-much-pandemic-prevention-measures>

Bolest	Patogen	Prijenos	Simptomi	Preventivne mjere
Listerioza	<i>Listeria monocytogenes</i>	Kontaminirana hrana (nepasterizirani mliječni proizvodi, sirovo povrće, nedovoljno kuhano meso)	Groznica, bolovi u mišićima, povraćanje; kod trudnica može uzrokovati pobačaj	Higijena hrane, pravilno skladištenje i priprema hrane
Leptospiroza	Bakterije iz roda <i>Leptospira</i>	Kontaminirana voda, kontakt sa urinom zaraženih životinja	Groznica, glavobolja, bolovi u mišićima, crvene oči; u teškim slučajevima, oštećenje bubrega i jetre	Izbjegavanje kontaminirane vode, korištenje zaštitne opreme u rizičnim područjima
Tularemija	<i>Francisella tularensis</i>	Ujedi insekata, kontakt sa zaraženim životinjama, kontaminirana voda ili hrana	Groznica, čirevi na koži, bol u mišićima, grlobolja, otečeni limfni čvorovi	Upotreba zaštitne opreme, izbjegavanje ujeda insekata, deratizacija
Antraks	<i>Bacillus anthracis</i>	Kontakt sa zaraženim životinjama ili njihovim proizvodima, udisanje spora, konzumiranje kontaminirane hrane	Čirevi na koži, groznica, bol u grudima, kašalj, otežano disanje	Vakcinacija životinja, pravilno rukovanje životinjskim proizvodima, upotreba zaštitne opreme

4.2. Virusne zoonoze

Virusne zoonoze predstavljaju ozbiljan izazov za globalno javno zdravlje. Njihova prevencija zahtijeva edukaciju javnosti, poboljšane higijenske prakse, vakcinaciju i kontrolu vektora. Koordinirani naponi zdravstvenih, veterinarskih i ekoloških stručnjaka ključni su za uspješnu borbu protiv ovih bolesti.

Bolest	Patogen	Prijenos	Simptomi	Preventivne mjere
Bjesnilo	Virus bjesnila	Ugriz zaražene životinje (obično pasa)	Groznica, glavobolja, anksioznost, zbunjenost, paraliza, halucinacije, hidrofobija	Vakcinacija životinja i ljudi, izbjegavanje kontakta sa divljim životinjama

Bolest	Patogen	Prijenos	Simptomi	Preventivne mjere
Bolest virusa ebole	Virus ebole	Kontakt sa tjelesnim tečnostima zaraženih ljudi ili životinja	Groznica, glavobolja, bol u mišićima, povraćanje, dijareja, krvarenje	Izolacija zaraženih, upotreba zaštitne opreme, higijensko obrazovanje
MERS (Bliskoistočni respiratorni sindrom)	MERS-CoV (korona virus bliskoistočnog respiratornog sindroma)	Bliski kontakt sa zaraženim ljudima ili kamilama	Groznica, kašalj, otežano disanje; u teškim slučajevima, upala pluća	Higijena ruku, izbjegavanje kontakta sa zaraženim osobama, pravilno rukovanje sa životinjama
Lassa groznica	Lassa virus	Kontakt sa urinom ili izmetom zaraženih glodara	Groznica, slabost, glavobolja, grlobolja, bol u grudima, povraćanje	Deratizacija, higijena domaćinstva
Zika virusna infekcija	Zika virus	Ujed zaraženih komaraca (Aedes aegypti), seksualni kontakt	Blaga temperatura, osip, bol u zglobovima, konjuktivitis	Suzbijanje komaraca, upotreba repelenata, zaštita tokom seksualnog odnosa
SARS (teški akutni respiratorni sindrom)	SARS-CoV (teški akutni respiratorni sindrom korona virus)	Bliski kontakt sa zaraženim osobama, kapljicama u vazduhu	Povišena temperatura, glavobolja, opšta slabost, kašalj, otežano disanje	Izolacija zaraženih, higijena ruku, nošenje zaštitnih maski
Infekcija virusom Nipah	Nipah virus	Kontakt sa zaraženim šišmišima ili svinjama, konzumiranje kontaminirane hrane	Groznica, glavobolja, respiratorni problemi, encefalitis	Izbjegavanje kontakta sa zaraženim životinjama, izbjegavanje konzumiranja kontaminirane hrane
Hantavirusni plućni sindrom (HPS)	Hantavirusi	Kontakt sa izlučevinama zaraženih glodara, udisanje kontaminiranog vazduha	Groznica, bol u mišićima, kašalj, otežano disanje	Deratizacija, higijenske mjere

4.3. Prionske zoonoze

Prionske bolesti su rijetke, ali izuzetno ozbiljne i fatalne neurodegenerativne bolesti koje pogađaju ljude i životinje. Prioni su abnormalni infektivni proteini koji mogu inducirati normalne proteine u mozgu da se također transformiraju u abnormalne oblike, uzrokujući oštećenja. U ovom pregledu analiziraju se najznačajnije zoonoze uzrokovane prionima, njihove karakteristike, putevi prijenosa i preventivne mjere.

Bolest	Patogen	Prijenos	Simptomi	Preventivne mjere
Spongiformna encefalopatija goveda (BSE) ili "bolest kravljeg ludila"	Abnormalni prioni	Konzumacija kontaminiranih proizvoda od zaraženih goveda, uključujući nervno tkivo i koštano brašno	Kod goveda: promjene u ponašanju, poteškoće u koordinaciji, gubitak težine, smrt	Stroge kontrole u prehrambenoj industriji, zabrana upotrebe mesnog i koštanog brašna kao stočne hrane, uklanjanje zaražene stoke iz lanca ishrane
Varijanta Creutzfeldt-Jakobove bolesti (vCJD)	Abnormalni prioni povezani sa BSE-om	Konzumacija kontaminiranih mesnih prerađevina od zaraženih goveda, prenos putem medicinskih instrumenata	Psihijatrijski simptomi (depresija, anksioznost), senzorni simptomi, ataksija, demencija, mioklonus, smrt	Stroga kontrola u prehrambenoj industriji, medicinski instrumenti za jednokratnu upotrebu za visokorizične zahvate, skrining krvi
Kuru	Abnormalni prioni	Endokanibalistička praksa (ritualni kanibalizam) u plemenu Fore u Papui Novoj Gvineji	Tremor, ataksija, gubitak koordinacije, smijeh (poznat kao "smrt od smijeha"), smrt	Prestanak ritualnog kanibalizma, obrazovanje zajednice
Hronična encefalopatija jelena (CWD)	Abnormalni prioni	Direktan kontakt sa zaraženim životinjama ili kontaminiranom okolinom putem urina, izmeta, pljuvačke	Simptomi kod jelena i losova: gubitak težine, promjene ponašanja, ataksija, smrt	Kontrola populacije divljih životinja, zabrana izvoza zaraženih životinja, edukacija lovaca
Scrapie	Abnormalni prioni	Kontakt sa zaraženim ovcima ili kozama, kontaminirana okolina	Simptomi kod ovaca i koza: tremor, svrab, promjene ponašanja, ataksija, smrt	Uklanjanje zaraženih životinja, programi genetske selekcije za otpornost, kontrola kretanja životinja

4.4. Parazitske zoonoze

Parazitske zoonoze predstavljaju značajne zdravstvene probleme širom svijeta. Paraziti mogu biti protozoe, helminti ili ektoparaziti koji se prenose sa životinja na ljude različitim mehanizmima. U ovom pregledu analiziraju se najvažnije zoonoze uzrokovane parazitima, njihove karakteristike, putevi prijenosa i preventivne mjere.

Bolest	Patogen	Prijenos	Simptomi	Preventivne mjere
Toksoplazmoza	Toxoplasma gondii	Konzumacija kontaminirane hrane ili vode, kontakt sa mačjim izmetom, transplacentalni prijenos	Uglavnom asimptomatski, ali može uzrokovati blage simptome slične gripi kod osoba s oslabljenim imunitetom i trudnica, može dovesti do ozbiljnih komplikacija	Pravilno kuhanje mesa, pranje ruku nakon rukovanja sirovim mesom ili mačjim izmetom, izbjegavanje nepasteriziranog mlijeka
Cisticerkoza	Taenia solium (svinjska trakavica)	Konzumacija jaja parazita putem kontaminirane hrane ili vode, autoinfekcija	Neurocisticerkoza može uzrokovati napade, glavobolje, neurološke probleme	Pravilna prerada mesa, higijena ruku, sanitarni uslovi
Ehinokokoza	Echinococcus granulosus (cistična ehinokokoza) i Echinococcus multilocularis (alveolarna ehinokokoza)	Konzumacija jaja parazita putem kontaminirane hrane, vode ili kontakta sa zaraženim životinjama	Cistična ehinokokoza uzrokuje stvaranje cista u jetri i plućima, dok alveolarna ehinokokoza može uzrokovati ozbiljno oštećenje jetre	Higijena ruku, kontrola pasa, pravilno rukovanje sa životinjama
Trihineloz	Trichinella spiralis	Konzumacija nedovoljno kuhanog mesa zaraženih životinja (obično svinja)	Groznica, bol u mišićima, oticanje lica, gastrointestinalni problemi	Pravilno kuhanje mesa, veterinarski pregled mesa
Giardiasis	Giardia lamblia	Konzumacija kontaminirane vode ili hrane, fekalno-oralni prijenos	Dijareja, bol u stomaku, mučnina, povraćanje	Pravilno pročišćavanje vode, higijena ruku

Bolest	Patogen	Prijenos	Simptomi	Preventivne mjere
Lajšmanijaza	Leishmania spp.	Ugriz zaraženih pješčanih mušica	Čirevi na koži, groznica, gubitak težine; u teškim slučajevima, visceralna lajšmanijaza može biti fatalna	Suzbijanje pješčane muhe, korištenje zaštitnih mreža, insekticida
Šistosomijaza	Schistosoma spp	Kontakt sa kontaminiranom vodom koja sadrži cercarije (larvalni oblik parazita)	Osip, groznica, zimica, bol u mišićima; u hroničnim slučajevima oštećenje jetre, crijeva, pluća i mjehura	Izbjegavanje kupanja u kontaminiranoj vodi, poboljšanje sanitarnih uslova
Toksokarioza	Toxocara canis i Toxocara cati	Konzumacija jaja parazita putem kontaminirane hrane, vode ili kontakta sa zaraženim životinjama	Visceralna larva migrans uzrokuje groznicu, kašalj, bol u trbuhu, neurološke simptome u teškim slučajevima	Higijena ruku, dehelmintizacija kućnih ljubimaca

4.5. Gljivične zoonoze

Gljivične zoonoze predstavljaju značajne zdravstvene probleme, posebno za osobe sa oslabljenim imunološkim sistemom. Gljivične infekcije mogu biti ozbiljne i ponekad smrtonosne, prenose se sa životinja na ljude kontaktom sa kontaminiranom okolinom ili direktnim kontaktom sa zaraženim životinjama. U ovom pregledu analiziraju se najvažnije zoonoze uzrokovane gljivicama, njihove karakteristike, putevi prijenosa i preventivne mjere.

Bolest	Patogen	Prijenos	Simptomi	Preventivne mjere
Histoplazmoza	Histoplasma capsulatum	Udisanje spora pronađenih u kontaminiranom tlu ili ptičjem izmetu	Groznica, kašalj, umor, bol u grudima; u teškim slučajevima, diseminirana bolest koja zahvaća više organa	Izbjegavanje područja visokog rizika (npr. pećine, izmet ptica ili slijepih miševa), korištenje zaštitnih maski i opreme
Kokcidiozomikoza (dolinska groznica)	Coccidioides immitis i Coccidioides posadasii	Udisanje spora iz tla u aridnim i polusušnim područjima	Groznica, kašalj, bol u grudima, umor; ponekad osip; u teškim slučajevima, diseminirana bolest	Izbjegavanje prašnjavih područja, korištenje maski i zaštitne opreme u endemskim područjima

Bolest	Patogen	Prijenos	Simptomi	Preventivne mjere
Sporotrihoza	Sporothrix schenckii	Kontaminacija rana kontaktom sa kontaminiranim tlom, biljkama ili zaraženim životinjama (posebno mačkama)	Čvorići na koži koji mogu ulcerirati; u teškim slučajevima, infekcija može zahvatiti pluća, kosti ili zglobove	Upotreba rukavica i zaštitne opreme pri rukovanju biljkama ili zemljom, tretman zaraženih životinja
Kriptokokoza	Cryptococcus neoformans i Cryptococcus gattii	Udisanje spora iz tla kontaminiranog ptičjim izmetom ili iz okruženja zaraženog eukaliptusom i drugim drvećem	Groznica, glavobolja, kašalj; kriptokokni meningitis u teškim slučajevima	Izbjegavanje područja visokog rizika, posebno za osobe s oslabljenim imunitetom, pravilno rukovanje ptičjim izmetom
Dermatofitoze (ring-worm)	Trichophyton, Microsporum, Epidermophyton spp.	Direktan kontakt sa zaraženim životinjama ili ljudima, kontaminiranim predmetima ili površinama	Crveni prstenasti osip, svrab, ljuštenje kože; u teškim slučajevima, gubitak kose ili noktiju	Higijena ruku, izbjegavanje kontakta sa zaraženim životinjama ili ljudima, dezinfekcija kontaminiranih predmeta

4.6. Zoonoze od vodenih životinja

Zoonotske bolesti koje se prenose sa vodenih životinja na ljude predstavljaju značajne dravstvene probleme, posebno za ljude koji su često u kontaktu s vodom i vodenim organizmima, uključujući ribare, farmere, radnike u akvakulturi i ljubitelje vodenih sportova. Ovaj pregled analizira najvažnije zoonoze vodenih životinja, njihove karakteristike, puteve prijenosa i preventivne mjere.

Bolest	Patogen	Prijenos	Simptomi	Preventivne mjere
Vibri-oza	Bakterije iz roda Vibrio (npr. Vibrio vulnificus, Vibrio parahaemolyticus)	Konzumacija kontaminirane morske hrane, kontakt otvorenih rana sa kontaminiranom morskom vodom	Gastrointestinalni simptomi (proljevo, povraćanje), infekcije rana, septicemija (posebno kod imunokompromitiranih osoba)	Pravilno kuhanje morskih plodova, izbjegavanje kontakta otvorenih rana s morskom vodom

Bolest	Patogen	Prijenos	Simptomi	Preventivne mjere
Leptospiroza	Bakterije iz roda <i>Leptospira</i>	Kontakt sa kontaminiranom vodom ili urinom zaraženih životinja	Groznica, glavobolja, bol u mišićima, crvene oči; u teškim slučajevima, oštećenje bubrega i jetre	Izbjegavanje kontaminirane vode, korištenje zaštitne opreme u rizičnim područjima
Infekcija <i>Mycobacterium marinum</i>	<i>Mycobacterium marinum</i>	Kontakt sa kontaminiranom vodom ili inficiranom ribom, obično kroz otvorene rane	Lezije kože često na rukama ili prstima koje mogu postati ulcerirane	Nosite rukavice pri rukovanju ribom, izbjegavajući kontakt otvorenih rana s vodom
Šistosomijaza	Paraziti iz roda <i>Schistosoma</i>	Kontakt kože sa kontaminiranom slatkom vodom koja sadrži cercarije (larvalni oblik parazita)	Osip, groznica, zimica, bol u mišićima; u hroničnim slučajevima oštećenje jetre, crijeva, pluća i mjehura	Izbjegavanje kupanja u kontaminiranoj vodi, poboljšanje sanitarnih uslova
Erizipeloid	<i>Erysipelothrix rhusiopathiae</i>	Kontakt sa kontaminiranom ribom ili školjkama	Crveni bolni osip na rukama ili prstima, groznica, bol u zglobovima	Nošenje rukavica pri rukovanju ribom ili školjkama, odgovarajuća higijena ruku
Giardiasis	<i>Giardia lamblia</i>	Potrošnja kontaminirane vode	Dijareja, bol u stomaku, mučnina, povraćanje	Pravilno pročišćavanje vode, higijena ruku
Anisakijaza	<i>Anisakis</i> spp. (parazitski crvi)	Konzumacija sirove ili nedovoljno kuhane ribe	Bol u stomaku, mučnina, povraćanje, dijareja	Pravilno kuhanje ili zamrzavanje ribe prije konzumiranja
Opisthorchiasis	<i>Opisthorchis viverrini</i> , <i>Opisthorchis felinus</i>	Konzumacija sirove ili nedovoljno kuhane ribe	Bol u abdomenu, dijareja; u kroničnim slučajevima oštećenje jetre i žučnih puteva	Pravilno kuhanje ribe, izbjegavanje konzumiranja sirove ribe

Bolest	Patogen	Prijenos	Simptomi	Preventivne mjere
Norovirus	Norovirusi	Konzumacija kontaminirane hrane ili vode, kontakt sa kontaminiranim površinama	Mučnina, povraćanje, dijareja, bol u stomaku	Pravilna higijena ruku, izbjegavanje kontaminirane hrane i vode
Dioctophyme renale (džinovski bubrežni crv)	Dioctophyme renale	Konzumacija sirove ili nedovoljno kuhane ribe ili žaba	Bol u abdomenu, hematurija, insuficijencija bubrega	Pravilno kuhanje ribe i žaba, izbjegavanje konzumacije sirovih vodenih životinja

5. KAKO KLIMATSKE PROMJENE UTJEČU NA POJAVU I EPIDEMIOLOGIJU ZOONOZA

Klimatske promjene utječu na pojavu i širenje zoonoza kroz različite mehanizme. To uključuje promjene u temperaturi, padavinama i učestalosti ekstremnih vremenskih događaja, a sve to može promijeniti staništa i ponašanje kako divljih životinja, tako i vektora bolesti (kao što su komarci i krpelji).

Kako globalne temperature rastu, mnoge vrste su prisiljene migrirati u nova područja kako bi preživjele, što često dovodi do povećanog kontakta između divljih životinja, stoke i ljudi. Ovo može olakšati prijenos patogena sa životinja na ljude. Osim toga, uništavanje prirodnih staništa uslijed klimatskih događaja, poput šumskih požara ili krčenja šuma, dodatno pogoršava ovo pitanje dovodeći divlje životinje u bliži kontakt s ljudskom populacijom (Jones et al., 2008). Klimatske promjene mogu proširiti raspon vektora koji prenose zoonotične bolesti. Na primjer, toplije temperature i povećane padavine mogu stvoriti pogodnije okruženje za komarce koji prenose bolesti, kao što su zika, denga i malarija. Kako se ovi vektori šire u nove regije, povećava se rizik od prijenosa zoonoza (Kilpatrick i Randolph, 2012).

Klimatske promjene, također, mogu utjecati na opstanak i prijenos patogena. Više temperature mogu povećati stopu preživljavanja određenih patogena u okolišu, čime se povećava vjerojatnoća izlaganja ljudi. Dodatno, promjene u padavinama mogu uticati na dostupnost izvora vode, koji mogu biti izvor patogena (Patz et al., 2005).

5.1. Utjecaj klimatskih promjena na pojavu i rasprostranjenost zoonoza

Utjecaj klimatskih promjena na pojavu zoonoza je vidljiv i evidentan. Međutim, klimatske promjene značajno utiču i na ekologiju i epidemiologiju zoonoza. Promjene u temperaturi, padavinama i ekstremnim vremenskim uvjetima mogu utjecati na distribuciju i dinamiku populacija vektora, rezervoara i patogena. Ovo poglavlje pokazuje kako klimatske promjene utječu na pojavu novih i širenje postojećih zoonoza, naglašavajući kvantitativne podatke i primjere iz relevantne literature.

5.2. Utjecaj temperature na zoonotske bolesti

Povećanje globalnih temperatura direktno utiče na distribuciju vektora kao što su komarci, krpelji i glodari koji prenose bolesti poput malarije, denga groznice, Zika virusa, lajmske bolesti i hantavirusa. Toplije klime omogućavaju komarcima da koloniziraju nova područja. Na primjer, komarac *Aedes aegypti*, koji prenosi denga groznicu, chikungunya i Zika virus, sada je prisutan u dijelovima Evrope gdje ranije nije postojao. Globalno povećanje temperature od 1,5 °C moglo bi povećati broj ljudi izloženih denga groznici za 2,5 milijardi do 2050. (Rayan et al., 2019.). Slično, krpelji iz roda *Ixodes*, koji prenose lajmsku bolest, proširuju svoj raspon prema sjeveru. Studija Ogdena i saradnika (2015) pokazuje da su se slučajevi lajmske bolesti u SAD-u povećali za 320% od 1991. do 2013., dijelom zbog širenja krpelja prema sjeveru.

5.3. Uticaj padavina i vlage

Padavine i vlažnost utiču na životni ciklus vektora i patogena. Povećane padavine mogu stvoriti povoljne uslove za razmnožavanje komaraca, dok suše mogu tjerati glodare u ljudske nastambe u potrazi za hranom i vodom. Studija Caminadea i sar. (2014) procjenjuje da će povećane padavine u Africi dovesti do 50% veće učestalosti malarije u područjima na velikim nadmorskim visinama do 2080. U Južnoj Americi, povećane padavine povezane s fenomenom El Niño povećavaju populaciju glodara, što dovodi do više slučajeva hantavirusnog plućnog sindroma. Izbijanje hantavirusa u Argentini povezano je sa godinama velikih padavina (Hjelle i Glass, 2000). Došlo je do ekspanzije bolesti koje prenose krpelji poput lajmske bolesti u Sjevernoj Americi, što je povezano s toplijim zimama i promjenama padavina (Ogden et al., 2014). Slično, širenje bolesti poput virusa Zapadnog Nila u umjerenim regijama povezano je s promjenama u migracijama ptica i populacijama komaraca povezanim s klimatskim promjenama (Semenza i Menne, 2009).

5.4. Ekstremni vremenski uslovi

Ekstremni vremenski uslovi poput uragana, poplava i suša mogu uzrokovati masovne migracije i poremećaje ekosistema, povećavajući rizik od zoonoza. Poplave mogu širiti patogene kroz kontaminiranu vodu. Na primjer, poplave u Bangladešu često dovode do izbijanja kolere, dok su poplave u Njemačkoj 2013. korelirale sa porastom slučajeva leptospiroze od 22%. Suše mogu smanjiti prirodne grabežljivce glodavaca, što dovodi do povećanja populacije glodavaca i većeg rizika od zoonotskih bolesti poput hantavirusa. Studija pokazuje da su suše na jugozapadu Sjedinjenih Država bile povezane sa porastom slučajeva hantavirusa (Hjelle i Glass, 2000).

U budućnosti, interakcija klimatskih promjena i zoonotskih bolesti će vjerovatno postati još kritičnija. Kako klimatske promjene napreduju, možemo očekivati da ćemo se suočiti sa:

- **Povećanom učestalosti bolesti** - sa češćim i ozbiljnijim klimatskim događajima, može postojati više mogućnosti da se zoonotski patogeni prenose na ljudsku populaciju. Ovo je posebno zabrinjavajuće za regije koje trenutno prolaze kroz brze promjene životne sredine.
- **Pojavom novih bolesti** - kako se ekosistemi mijenjaju, a vrste prisiljavaju na netradicionalne kontakte, postoji potencijal za pojavu novih zoonoza. Ove bolesti mogu nastati od ranije nepoznatih patogena ili zbog adaptacije postojećih na nove domaćine (Daszak et al., 2001).

- **Geografskim promjenama u distribuciji bolesti** - bolesti koje su nekada bile ograničene na određene regije mogu se proširiti na nova područja kako se klimatski uslovi mijenjaju. Ovo će zahtijevati da se globalni zdravstveni sistemi prilagode i pripreme za bolesti u regijama u kojima one ranije nisu bile endemske.

Veza između klimatskih promjena i zoonotskih bolesti naglašava važnost integriranog pristupa globalnom zdravlju koji uzima u obzir promjene okoliša. Kako se klima nastavlja mijenjati, pojava bolesti i dinamika širenja će vjerovatno postati sve složenija, što će zahtijevati pojačani nadzor, istraživanje i saradnju među disciplinama.

6. MJERE UBLAŽAVANJA, PREVENCIJE, HITNOG ODGOVORA I ELIMINACIJE

Mjere ublažavanja, prevencije i eliminacije zoonoza su ključne u zaštiti javnog zdravlja, zdravlja životinja i okoliša. **Ublažavanje** smanjuje utjecaj izbijanja zoonoza, ograničavajući širenje i ozbiljnost infekcija. **Prevencija** se fokusira na zaustavljanje prijenosa zoonotskih patogena sa životinja na ljude, koristeći strategije kao što su vakcinacija, biosigurnost i obrazovanje javnosti. **Hitni odgovor** u kontekstu izbijanja zoonoza odnosi se na koordinirane radnje i mjere koje poduzimaju zdravstvene vlasti, veterinarske službe i relevantni učesnici za brzo otkrivanje, obuzdavanje i ublažavanje širenja bolesti koja se prenosi između životinja i ljudi. Ovo uključuje identifikaciju izvora izbijanja, provođenje mjera biosigurnosti, raspoređivanje medicinskih i veterinarskih resursa, komunikaciju s javnošću i saradnju u svim sektorima kako bi se zaštitilo zdravlje ljudi i životinja uz sprječavanje daljnjeg prijenosa. **Eliminacija** ima za cilj potpuno uklanjanje bolesti iz pogođenih populacija, često kroz koordinirane napore kao što su masovna vakcinacija, nadzor i stroge mjere karantina. Zajedno, ovi pristupi su od suštinskog značaja za kontrolu i konačno iskorenjivanje zoonoza i očuvanje globalnog zdravlja. Strategije kao što su očuvanje biodiverziteta, zaštita staništa i održive poljoprivredne prakse, zajedno sa pojačanim nadzorom i globalnom saradnjom, neophodne su za sprečavanje budućih izbijanja zoonoza u kontekstu klimatskih promena.

6.1. Očuvanje biodiverziteta

Gubitak biodiverziteta nije samo ekološki problem već predstavlja i globalnu prijetnju ljudskom opstanku i dobrobiti. Uprkos sve većoj pažnji datoj klimatskim promjenama, gubitak biodiverziteta ostaje uglavnom zanemaren, uprkos njegovoj suštinskoj ulozi u globalnoj proizvodnji hrane, čistoj vodi i sekvencijaciji ugljika. Brojne studije i podaci pokazuju da su vrste poput geparda, pandi, zelenih kornjača, azijskih slonova, polarnih medvjeda i pingvina na rubu izumiranja. Smanjen broj oprašivača, poput pčela, može negativno uticati na poljoprivrednu proizvodnju. Štaviše, smanjeni biodiverzitet može smanjiti kapacitet ekosistema da reguliše klimu i prečišćava vodu, povećavajući ranjivost ljudskih zajednica na ekstremne vremenske uslove i zagađenje (US EPA, 2023). S obzirom na složene odnose između uzroka i posljedica, jednostavna rješenja za ovaj problem više ne postoje. Ključne strategije za očuvanje biodiverziteta uključuju zaštitu i obnovu prirodnih staništa. Očuvanje šuma, močvara i koraljnih grebena može pomoći u ublažavanju klimatskih promjena i očuvanju biodiverziteta. Donošenje zakona i politika za zaštitu ovih ekosistema je od vitalnog značaja (IFAW, 2023).

6.2. Promocija održivih poljoprivrednih praksi i prirodnih klimatskih rješenja

Provođenje održivih poljoprivrednih praksi može smanjiti negativan utjecaj intenzivne poljoprivredne proizvodnje na biodiverzitet. To uključuje zaštitu šuma i poljoprivrednog

zemljišta, korištenje metoda organske poljoprivrede i smanjenje upotrebe pesticida i herbicida. Ove prakse mogu povećati otpornost poljoprivrednih sistema na klimatske promjene i podržati očuvanje biodiverziteta (2DII, 2023). Prirodna klimatska rješenja, poput pošumljavanja, zaštite močvara i urbanih zelenih površina, mogu pomoći u borbi protiv klimatskih promjena i očuvanju biodiverziteta. Ove mjere ne samo da smanjuju emisije ugljika već obezbjeđuju i staništa za mnoge vrste i poboljšavaju kvalitet zraka i vode (The Nature Conservancy, 2024.). Prilagođavanje ekosistema klimatskim promjenama uključuje mjere koje pomažu ekosistemima da izdrže i oporave se od negativnih utjecaja klimatskih promjena. Ove mjere uključuju očuvanje i obnovu staništa, stvaranje koridora za divlje životinje i upravljanje invazivnim vrstama.

6.3. Strategije za smanjenje rizika od zoonoza

Preventivne mjere za smanjenje rizika od zoonoza uključuju nadzor bolesti, kontrolu vektora, vakcinaciju životinja i javnozdravstvene kampanje za smanjenje kontakta između ljudi i potencijalno zaraženih životinja. Također, važno je educirati javnost o rizicima od zoonoza i promovirati higijenske prakse koje mogu smanjiti rizik od infekcije. Strategije za smanjenje negativnih posljedica bioloških katastrofa uključuju razvoj i implementaciju planova pripravnosti, uspostavljanje sistema ranog upozoravanja i jačanje kapaciteta zdravstvenog sistema za reagovanje na vanredne situacije. Koordinacija između različitih sektora i međunarodna saradnja je ključna za efikasno upravljanje biološkim katastrofama.

Olson i saradnici (2023) naglašavaju kritičnu ulogu pristupa jedinstvenog zdravlja (engl. *One Health*) u rješavanju zoonoza integracijom zdravlja ljudi, životinja i okoliša kako bi se spriječile pandemije. Ovaj pristup zagovara veću uključenost sektora životne sredine, naglašavajući da trenutni sistemi zdravstvene bezbjednosti često zanemaruju faktore životne sredine koji pokreću nastanak zoonoza. Okvir „One Health“, koji je sada ojačan kroz četverostranu saradnju, koja uključuje Program UN-a za životnu sredinu (UNEP), Organizaciju za hranu i poljoprivredu (FAO), Svjetsku zdravstvenu organizaciju (WHO) i Svjetsku organizaciju za zdravlje životinja (WOAH), odražava dublje prepoznavanje međusobne povezanosti između ovih sektora⁵.

Uključivanje UNEP-a u ranije tripartitno partnerstvo naglašava rastuću potrebu za rješavanjem osnovnih uzroka, kao što su krčenje šuma i stvaranje propisa za tržišta divljih životinja. Ova saradnja ima za cilj poboljšati nadzor, biosigurnost i rano otkrivanje, prepoznajući okoliš kao ključnog igrača u prevenciji pandemije. Smanjenjem ljudskog utjecaja na prirodu, kao što je poboljšanje praćenja i regulacije divljih životinja, pristup jedinstvenog zdravlja deluje kao koordinirana intervencija sa širokim prednostima .

6.4. Jačanje pristupa jedinstvenog zdravlja: studije slučaja i globalna saradnja

Pristup jedinstvenog zdravlja postao je kamen temeljac globalne prevencije zoonoza, jer integriše zdravlje ljudi, životinja i životne sredine u okviru jedinstvene strategije. Iako je njegova teorijska važnost dobro prepoznata, praktične primjene ovog pristupa pokazuju njegov pravi potencijal u ublažavanju epidemija zoonoza. Na primjer, izbijanje virusa Nipah u Indiji služi kao odličan primjer kako je okvir za jedinstveno zdravlje pomogao u smanjenju izloženosti ljudi zoonotskim patogenima. Provođenjem intervencija u zajednici za smanjenje kontakta ljudi s voćnim šišmišima – prirodnim rezervoarom virusa Nipah – službenici javnog zdravlja, veterinari i znanstvenici za okoliš su surađivali na kontroli izbijanja bolesti (Singhai et al., 2021.).

⁵ <https://www.who.int/news/item/29-04-2022-quadrupartite-memorandum-of-understanding-mou-signed-for-a-new-era-of-one-health-collaboration>

Još jedna uspješna priča je program upravljanja visokopatogenom ptičjom gripom (HPAI) u jugoistočnoj Aziji, gdje su vlade sarađivale s međunarodnim organizacijama kao što su WHO, WOAAH i FAO u korištenju pristupa jedinstvenog zdravlja. Ovaj multisektorski napor fokusiran je na jačanje mjera biosigurnosti na farmama peradi, poboljšanje nadzora nad bolestima i uspostavljanje sistema ranog upozoravanja na izbijanje ptičje gripe. Uspjeh programa u smanjenju slučajeva HPAI kod ljudi u regionu naglašava važnost usklađenih napora u sektorima veterinarstva, javnog zdravlja i zaštite životne sredine (FAO, 2023).

Uprkos ovim uspjesima, ostaju praznine u globalnoj primjeni pristupa jedinstvenog zdravlja. Naprimjer, mnoge zemlje sa nedostatnim resursima nemaju infrastrukturu i osoblje potrebno za implementaciju robusnih programa jedinstvenog zdravlja. Jačanje ovih kapaciteta zahtijeva ulaganje u međusektorsku obuku, poboljšanje mehanizama za razmjenu podataka između ekoloških sistema, sistema zdravlja životinja i ljudi, te osiguravanje globalne saradnje i na vladinom i na nevladinom nivou. Zajednički akcioni plan za jedinstveno zdravlje (OH JPA) za 2022.-2026. navodi ključne strategije za rješavanje ovih nedostataka, uključujući širenje međuvladine saradnje i jačanje lokalnih kapaciteta za otkrivanje i odgovor na prijetnje od zoonoza.

Eksplcitnije uključivanje zdravlja životne sredine u prevenciju pandemije je još jedna kritična oblast u kojoj pristup jedinstvenog zdravlja može napredovati. Kako navode Olson i sar. (2023), trenutni sistemi zdravstvene sigurnosti često zanemaruju ekološke pokretače promjena, kao što su krčenje šuma i gubitak biodiverziteta, koji stvaraju uslove za širenje zoonoza. Pomak naprijed i integrirani naponi koji uključuju praćenje okoliša i regulaciju trgovine divljim životinjama, krčenje šuma i promjene u korištenju zemljišta bit će od suštinskog značaja za smanjenje rizika od zoonoza.

Ovi primjeri ilustruju da jedinstveno zdravlje nije samo teorijski okvir već praktičan pristup zasnovan na dokazima koji se pokazao djelotvornim u različitim okruženjima. Proširenje njegovog usvajanja na globalnom nivou zahtijevat će političku volju, povećano finansiranje i trajnu saradnju između vlada, međunarodnih organizacija i lokalnih zajednica.

6.5. Zajednički akcioni plan za jedinstveno zdravlje (2022-2026)

Zajednički akcioni plan za jedinstveno zdravlje (OH JPA)⁶ za period od 2022. do 2026. predstavlja koordinirani napor četiri ključne organizacije: Organizacije za hranu i poljoprivredu Ujedinjenih nacija (FAO), Programa Ujedinjenih nacija za životnu sredinu (UNEP), Svjetske zdravstvene organizacije (WHO) i Svjetske organizacija za zdravlje životinja (WOAH). Cilj OH JPA je poboljšati zdravlje ljudi, životinja, biljaka i okoliša kroz integrirani i holistički pristup.

OH JPA naglašava važnost multisektorske saradnje i koordinacije kako bi se efikasno odgovorilo na složene zdravstvene prijetnje koje nastaju na spoju između ljudi, životinja, biljaka i okoliša. Plan je zasnovan na teoriji promjene, koja naglašava potrebu za promjenama na tri ključna nivoa: politika i zakonodavstvo, organizacioni razvoj i implementacija, te podaci i dokazi. Svako od ovih područja ima specifične aktivnosti i ciljeve koje treba postići u okviru šest akcionih pravaca:

- 1. Jačanje kapaciteta za pristup jedinstvenog zdravlja** - ovo uključuje obuku i razvoj profesionalaca, stvaranje okruženja koje podržava inicijative jedinstvenog zdravlja i razvoj alata i mehanizama za efikasnu implementaciju pristupa.

⁶FAO, UNEP, WHO i WOAAH. (2022). *Zajednički plan akcije za zdravlje (2022–2026). Radeći zajedno za zdravlje ljudi, životinja, biljaka i životne sredine*. Rim. <https://doi.org/10.4060/cc2289en>

2. **Smanjenje rizika od epidemija i pandemija zoonoza** - fokus je na razumijevanju uzroka i faktora koji dovode do pojave zoonoza i uspostavljanju sistema ranog upozoravanja i odgovora na epidemije.
3. **Kontrola endemskih zoonoza, zanemarenih tropskih i vektorskih bolesti** - cilj je smanjiti teret ovih bolesti primjenom zajednički ciljanih rješenja prilagođenih riziku i jačanjem političkog angažmana i ulaganja.
4. **Poboljšanje procjene rizika za sigurnost hrane** - ovo uključuje poboljšanje nacionalnih sistema kontrole hrane, poboljšanje analiza i procjena rizika i promoviranje pristupa jedinstvenog zdravlja u nadzoru bolesti koje se prenose hranom.
5. **Borba protiv antimikrobne rezistencije (AMR)** - akcije uključuju jačanje kapaciteta zemlje za kontrolu AMR-a, podršku globalnim i regionalnim inicijativama za odgovor na AMR i jačanje globalnih struktura upravljanja AMR-om.
6. **Integracija životne sredine u jedinstveno zdravlje** - cilj je zaštititi, obnoviti i spriječiti degradaciju ekosistema i životne sredine, i integrisati ekološke podatke i znanje u procese donošenja odluka.

OH JPA je dizajniran kao fleksibilan dokument koji se može prilagoditi tako da odražava napredak, nove izazove i dostupne resurse. Implementacija će se odvijati kroz višegodišnji plan sa posebnim fokusom na nacionalni kontekst i prioritete. Kroz multisektorsku saradnju, OH JPA će omogućiti bolje razumijevanje i rješavanje zdravstvenih prijetnji, promovirajući održiva rješenja koja podržavaju zdravlje ljudi, životinja, biljaka i okoliša. Ključni elementi uspjeha uključuju političku volju, adekvatno finansiranje, jake zakonodavne okvire i kontinuirano obrazovanje i angažman zajednice.

7. ZAKLJUČAK

Klimatske promjene značajno utječu na zdravlje okoliša, pojavu zoonoza, te učestalost i ozbiljnost bioloških katastrofa. Razumijevanje dinamike promjena u ekosistemima i epidemiologije zoonoza je ključno za razvoj učinkovitih strategija za provedbu, prevenciju i smanjenje rizika. Međutim, to će biti zahtjevan zadatak za naučnu i stručnu zajednicu, posebno u prenošenju novih pristupa i preporuka donosiocima odluka. Integriranje pristupa koji povezuju zdravlje ljudi, životinja i okoliša, kao što je „One Health - OH“, ključno je za rješavanje izazova koje postavljaju klimatske promjene. Navedeni Zajednički akcioni plan predstavlja ambiciozan i sveobuhvatan pristup rješavanju globalnih zdravstvenih izazova. Integracijom zdravlja ljudi, životinja, biljaka i životne sredine, OH JPA ima potencijal da značajno unaprijedi globalne zdravstvene sisteme, smanji rizik od epidemija i pandemija i podrži održivi razvoj.

LITERATURA

1. Američka agencija za zaštitu životne sredine. (2023). Istraživanje ekosistema i klimatskih promjena. <https://www.epa.gov/climate-research/ecosystems-water-quality-climate-change-research>
2. Bernstein, A. S., Ando, A. W., Loch-Temzelides, T., Vale, M. M., Li, B. V., Li, H., Busch, J., Chapman, C. A., Kinnaird, M., Nowak, K., Castro, M. C., Zambrana-Torrel, C., Ahumada, J. A., Xiao, L., Roehrdanz, P., Kaufman, L., Hannah, L., Daszak, P., Pimm, S. L., Dobson, A. P. (2022). The costs and benefits of primary prevention of zoonotic pandemics. *Science Advances*, 8(5), eabl4183. <https://doi.org/10.1126/sciadv.abl4183>
3. Caminade, C., Kovats, S., Rocklöv, J., Tompkins, A. M., Morse, A. P., Colón-González, F. J., Stenlund, H., Martens, P., Lloyd, S. J. (2014). Impact of climate change on global malaria distribution. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 111(9), 3286–3291. <https://doi.org/10.1073/pnas.1302089111>
4. Daszak, P., Cunningham, A. A., Hyatt, A. D. (2001). Anthropogenic environmental change and the emergence of infectious diseases in wildlife. *Acta Tropica*, 78(2), 103–116. [https://doi.org/10.1016/S0001-706X\(00\)00179-0](https://doi.org/10.1016/S0001-706X(00)00179-0)
5. De la Fuente, J., Estrada-Peña, A., Gortázar, C., Vaz-Rodrigues, R., Sánchez, I., Carrión Tudela, J. (2023). Citizen science on Lyme borreliosis in Spain reveals disease-associated risk factors and control interventions. *Vector-Borne and Zoonotic Diseases*, 23(9), 441–446. <https://doi.org/10.1089/vbz.2023.0016>
6. De Luca, C. (2023). How loss of biodiversity compromises human and animal health [Unpublished doctoral dissertation]. Swedish University of Agricultural Science. <https://pub.epsilon.slu.se/31164/1/diluca-c-20230703.pdf>
7. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2023). The Global Framework for Transboundary Animal Diseases (GF-TADs): Tackling avian influenza and other zoonotic diseases through a One Health approach. <https://openknowledge.fao.org/items/b2125995-6bc1-4618-93bb-ae98f76407fe>
8. Gutiérrez, J. D., Tapias-Rivera, J. (2024). Pooled lagged effect of runoff on leptospirosis cases in Colombia. *Heliyon*, 10(12), e32882. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e32882>
9. Harris, G. M., Sesnie, S. E., Stewart, D. R. (2023). Climate change and ecosystem shifts in the southwestern United States. *Scientific Reports*, 13, 19964. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-46371-x>
10. Hjelle, B., Glass, G. E. (2000). Outbreak of hantavirus infection in the Four Corners region of the United States in the wake of the 1997-1998 El Niño-Southern Oscillation. *Journal of Infectious Diseases*, 181(5), 1569–1573. <https://doi.org/10.1086/315467>
11. Horefti, E. (2023). The importance of the One Health concept in combating zoonoses. *Pathogens*, 12, 977. <https://doi.org/10.3390/pathogens12080977>
12. International Fund for Animal Welfare (IFAW). (2023). 8 nature-based climate solutions that protect our planet. <https://www.ifaw.org/journal/nature-based-climate-solutions-protect-planet>
13. International Institute for Sustainable Development. (2023). Advancing biodiversity-positive nature-based climate solutions. <https://www.iisd.org/articles/insight/advancing-biodiversity-positive-nature-based-climate-solutions>
14. Jones, K. E., Patel, N. G., Levy, M. A., Storeygard, A., Balk, D., Gittleman, J. L., Daszak, P. (2008). Global trends in emerging infectious diseases. *Nature*, 451(7181), 990–993. <https://doi.org/10.1038/nature06536>
15. Kemper, N. (2023). Animal hygiene on farms - More important than ever before. *Agriculture*, 13, 1566. <https://doi.org/10.3390/agriculture13081566>
16. Kilpatrick, A. M., Randolph, S. E. (2012). Drivers, dynamics, and control of emerging vector-borne zoonotic diseases. *Lancet*, 380(9857), 1946–1955. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(12\)61151-9](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(12)61151-9)
17. McClaughlin, E., Elliott, S., Jewitt, S., Smallman-Raynor, M., Dunham, S., Parnell, T., Clark, M., Tarlinton, R. (2024). UK flock down: A survey of small-scale poultry keepers and their understanding of governmental guidance on highly pathogenic avian influenza (HPAI). *Preventive Veterinary Medicine*. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2024.106117>

18. Ogden, N. H., Radojevic, M., Wu, X., Duvvuri, V. R., Leighton, P. A., Wu, J. (2014). Estimated effects of projected climate change on the basic reproductive number of the Lyme disease vector *Ixodes scapularis*. *Environmental Health Perspectives*, 122(6), 631–638. <https://doi.org/10.1289/ehp.1307799>
19. Olson, S. H., Fine, A. E., Pruvot, M., et al. (2023). Ground zero for pandemic prevention: Reinforcing environmental sector integration. *BMJ Global Health*.
20. Patz, J. A., Campbell-Lendrum, D., Holloway, T., Foley, J. A. (2005). Impact of regional climate change on human health. *Nature*, 438(7066), 310–317. <https://doi.org/10.1038/nature04188>
21. Ryan, S. J., Carlson, C. J., Mordecai, E. A., Johnson, L. R. (2019). Global expansion and redistribution of *Aedes*-borne virus transmission risk with climate change. *PLoS Neglected Tropical Diseases*, 13(3), e0007213. <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0007213>
22. Semenza, J. C., Menne, B. (2009). Climate change and infectious diseases in Europe. *Lancet Infectious Diseases*, 9(6), 365–375. [https://doi.org/10.1016/S1473-3099\(09\)70104-5](https://doi.org/10.1016/S1473-3099(09)70104-5)
23. Singhai, M., Jain, R., Jain, S., Bala, M., Singh, S., Goyal, R. (2021). Nipah virus disease: Recent perspective and One Health approach. *Annals of Global Health*, 87(1), 102. <https://doi.org/10.5334/aogh.3431>
24. Sweco UK. (2023). The impact of climate change on ecosystems. <https://www.sweco.co.uk/blog/climate-impact-ecosystems/>
25. The Nature Conservancy. (2024). The five principles that define natural climate solutions. <https://www.nature.org/en-us/what-we-do/our-insights/perspectives/ncs-principles>
26. Tsui, J. L. H., Pena, R. E., Moir, M., et al. (2024). Impacts of climate change-related human migration on infectious diseases. *Nature Climate Change*, 14, 793–802. <https://doi.org/10.1038/s41558-024-02078-z>
27. World Health Organization (WHO). Zoonoses. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/zoonoses>
28. World Meteorological Organization (WMO). Climate. <https://wmo.int/topics/climate>

Emisija stakleničkih gasova iz poljoprivredne proizvodnje sa fokusom na sisteme proizvodnje hrane animalnog porijekla

Senada Čengić-Džomba

Sažetak: Emisija stakleničkih gasova na globalnom nivou u 2022. godini dostigla je 53,8 Gt CO₂eq (Crippa i sar., 2023). Procjenjuje se da je u globalnim emisijama stakleničkih gasova udio sektora proizvodnje hrane veći od 25%. Iz lanca proizvodnje hrane animalnog porijekla emituje se oko 7,5 Gt CO₂eq (FAO, 2022), što doprinosi oko 15% u ukupnoj emisiji stakleničkih gasova. Animalna proizvodnja generira emisiju nekoliko gasova (CH₄, N₂O, CO₂ i NH₃) najvećim dijelom iz enterične fermentacije preživara i stajnjaka svih vrsta domaćih životinja. Mjere smanjenja emisije metana iz enterične fermentacije uključuju primjenu različitih ishrambenih i uzgojnih strategija koje se temelje na uvođenju inhibitora metanogeneze, kako bioloških tako i hemijskih, u ishranu životinja, a u cilju smanjenja aktivnosti metanogenih mikroorganizama u buragu. Ublažavanje emisije stakleničkih gasova i amonijaka iz stajnjaka temelji se na adekvatnom upravljanju stajnjakom (sakupljanjem, skladištenjem i korištenjem stajnjaka), kao i primjeni balansirane ishrane životinja na farmama.

Ključne riječi: emisije stakleničkih gasova, poljoprivreda, stočarstvo, enterična fermentacija, stajnjak, ublažavanje

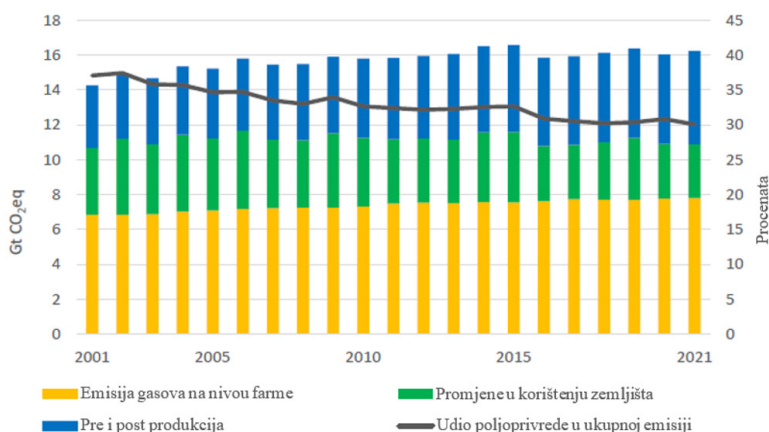
1. UVOD

Prema Crippa i sar. (2023) globalna emisija stakleničkih gasova (GHG¹) antropogenog porijekla iznosila je 53,8 gigatona (Gt) CO₂eq u 2022. godini. Udio sektora proizvodnje hrane u ukupnim emisijama stakleničkih gasova je značajan i iznosio je 26%. U posljednjih 60 godina globalna proizvodnja hrane animalnog porijekla značajno je porasla: mesa i mesnih proizvoda za 403%, mlijeka i mliječnih proizvoda za 167%, ribe i morskih plodova za 355%, te jaja za 513% (FAO, 2021). Porast stanovništva i ekspanzija potrošnje poljoprivrednih proizvoda doprinijeli su i još uvijek doprinose povećanom pritisku na ekosisteme i prirodne resurse – zrak, zemlju, vodu i biodiverzitet. Uzimajući u obzir da animalna proizvodnja u ukupnoj emisiji stakleničkih gasova učestvuje sa približno 14,5%, fokus rada je na ovom sektoru i njegovom utjecaju na emisiju gasova. U radu su također prikazane različite metode i prakse kojim se ublažava emisija gasova iz animalne proizvodnje i smanjuje zagađenje zraka.

2. EMISIJA STAKLENIČKIH GASOVA IZ LANCA PROIZVODNJE HRANE

U odnosu na 2019. godinu emisija stakleničkih gasova je u 2022. godini porasla za 2,3% dostižući 53,8 Gt CO₂eq, pri čemu nisu uzete u obzir emisije nastale korištenjem zemljišta, promjenama načina korištenja zemljišta i šumarstva (LULUCF²). Udjeli pojedinih gasova u ukupnoj emisiji stakleničkih gasova iznosili su: za CO₂ 71,6%, metan 21%, N₂O 4,8% i za F gasove 2,6%. Pored energetskog sektora kao najznačajnijeg izvora stakleničkih gasova, koji u ukupnoj emisiji participira sa 74%, globalni sistem proizvodnje hrane, koji obuhvata predfarmске procese, proizvodnju na farmi i postfarmске procese (preradu i distribuciju), jedan je od ključnih emitera. Prema Poore i Nemecek (2018) učešće sektora proizvodnje hrane u globalnoj emisiji stakleničkih gasova iznosi 13,6 Gt CO₂eq ili 26%, dok su prema Crippa i sar. (2021) i Mbow i sar. (2019), emisije iz sektora proizvodnje hrane iznosile čak 34%, odnosno 37% u ukupnoj emisiji stakleničkih gasova.

Prema EDGAR bazi podataka za 2015. godinu, emisija stakleničkih gasova iz sektora proizvodnje hrane iznosila je 18 Gt CO₂eq, odnosno 34% od ukupnih emisija stakleničkih gasova (pri čemu su uzeti u obzir CO₂, CH₄, N₂O i F-gasovi) izraženih kao CO₂eq i izračunatih korištenjem GWP100 IPCC AR5, s vrijednostima od 28 za CH₄ i 265 za N₂O. Prema FAO (2023a) pokazateljima, udio sektora proizvodnje hrane u ukupnoj emisiji stakleničkih gasova u 2021. godini bio je 30% (Grafikon 1).



Grafikon 1. Emisije stakleničkih gasova iz sistema proizvodnje hrane na globalnom nivou (FAO, 2023a)

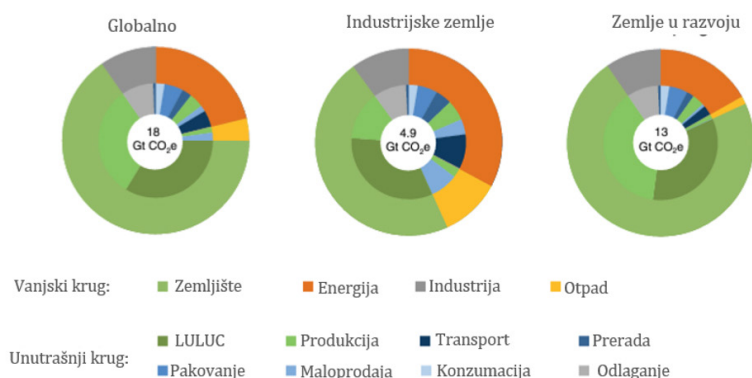
¹Engl. Greenhouse Gases

²Engl. Land use, Land-use Change and Forestry

Evidentne literaturne razlike u kvantifikaciji emisije stakleničkih gasova u lancu proizvodnje hrane su posljedica različitih pristupa, odnosno stepena uključivanja pojedinih aktivnosti vezanih za proizvodnju i potrošnju hrane kao što su prerada hrane, otpad, krčenje šuma, poljoprivredni proizvodi, koji se ne koriste kao hrana kao što su pamuk, vuna i dr.

Očekivanja su da će direktna posljedica rasta globalne populacije, koja se u 2050. godini procjenjuje na oko 9,7 milijardi, povećati potražnju za hranom i samim tim ekspanziju poljoprivredne proizvodnje. Povećana proizvodnja hrane, pored porasta emisije stakleničkih gasova, neminovno će povećati i potrošnju vode i negativno utjecati i na biodiverzitet.

U 2015. godini 71% globalnih emisija stakleničkih gasova iz sektora proizvodnje hrane bilo je direktno povezano sa poljoprivrednom proizvodnjom i aktivnostima vezanim za korištenje zemljišta i promjenama u korištenju zemljišta (LULUC), pri čemu su stočarska i ratarska proizvodnja bile odgovorne za više od polovine emisija, dok su izvori preostalih emisija bili zemljište i promjene u korištenju zemljišta. Ova konstatacija se prvenstveno odnosi na zemlje u razvoju, u kojima je emisija iz poljoprivredne proizvodnje i LULUC-a dominantna i iznosila je 73%, dok je u razvijenim zemljama udio GHG emisije, povezane sa potrošnjom energije u lancu proizvodnje hrane, bio veći i iznosio je 53% (Crippa i sar., 2021).



Grafikon 2. Emisija stakleničkih gasova (CO₂, CH₄, N₂O i F-gasova) na globalnom nivou, u razvijenim zemljama i zemljama u razvoju iz različitih sektora u sistemu proizvodnje hrane u 2015. godini (Crippa i sar., 2021)

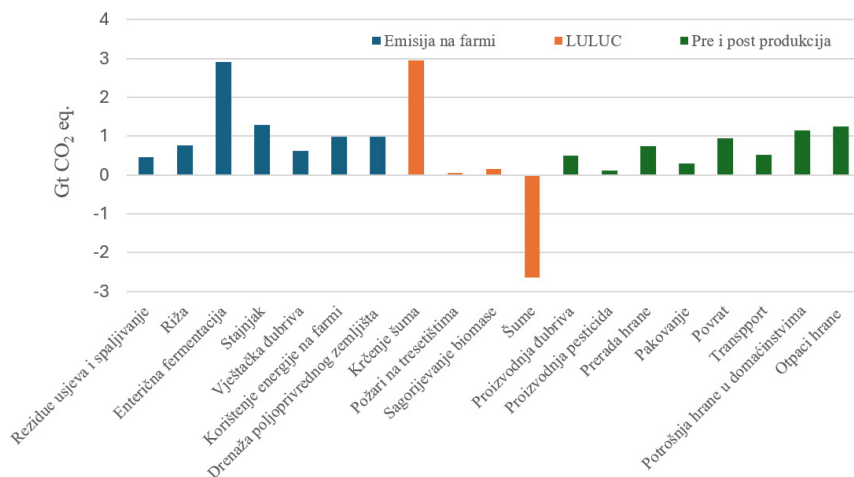
Uzimajući u obzir životni ciklus proizvoda (Grafikon 2), emisija stakleničkih gasova iz poljoprivredne proizvodnje, uključujući ribolov, akvakulturu i proizvodnju đubriva je na globalnom nivou iznosila 39% (7,1 Gt CO₂eq), emisija vezana za LULUC 32% (5,7 Gt CO₂eq), dok su emisije vezane za prijevoz (5%), pakiranje (5%), maloprodaju (4%), obradu (4%), potrošnju (3%) i odlaganje na kraju životnog vijeka proizvoda (8%) činile ukupno 29% (5,2 Gt CO₂eq) od ukupne emisije stakleničkih gasova iz lanca proizvodnje hrane.

Poore i Nemeck (2018) uzimaju u obzir četiri ključna elementa za kvantifikaciju emisije stakleničkih gasova iz lanca proizvodnje hrane: 1. lanac snabdijevanja, 2. animalnu proizvodnju i akvakulturu, 3. biljnu proizvodnju i 4. korištenje zemljišta. Prema navedenim autorima, u ukupnoj emisiji stakleničkih gasova, lanac snabdijevanja učestvuje sa 18% (maloprodaja 3%, pakovanje 5%, transport 6%, prerada poljoprivrednih proizvoda 4%), animalna proizvodnja i akvakultura sa 31% (metan porijeklom iz enterične fermentacije, upravljanje stajnjakom, upravljanje pašnjacima, potrošnja energije u akvakulturi), biljna proizvodnja sa 27% (usjevi namijenjeni za ishranu stanovništva 21%, usjevi namijenjeni za ishranu životinja 6%) i

korištenje zemljišta 24% (promjene u namjeni korištenja zemljišta 18%, obradiva zemljišta 4%, spaljivanje savana 2%), pri čemu korištenje zemljišta za proizvodnju stočne hrane učestvuje sa 16%, dok je učešće korištenja zemljišta za proizvodnju hrane za ishranu ljudi iznosilo 8%. Slične pokazatelje daje i FAO (2023b) gdje je lanac proizvodnje hrane podijeljen na tri komponente, pri čemu emisije sa farmi čine oko polovicu ukupnih emisija iz sektora (7,8 Gt CO₂eq), emisije prije i nakon proizvodnih aktivnosti na farmama 5,3 Gt CO₂eq i emisije nastale promjenom korištenja zemljišta 3,1 Gt CO₂eq.

Govoreći o emisiji pojedinačnih stakleničkih gasova u lancu proizvodnje hrane, CO₂ je dominantan gas i udio ovog gasa u ukupnoj emisiji iz sektora u 2015. godini iznosio je 52%. Emisija CO₂ u lancu proizvodnje hrane vezuje se najvećim dijelom za korištenje energije, odnosno potrošnju fosilnih goriva (u proizvodnji, transportu, preradi i dr.), korištenje zemljišta i promjenama u namjeni korištenja zemljišta. Na drugom mjestu je metan, čije se učešće u ukupnoj emisiji iz sektora procjenjuje na 35%, a glavni izvori su animalna proizvodnja, odnosno enterična fermentacija i upravljanje stajnjakom, tretman otpada i proizvodnja riže. Emisija N₂O iz sektora proizvodnje hrane procjenjuje se na oko 10% i najvećim dijelom vezana je za korištenje stajskog i mineralnih đubriva. Emisija F gasova učestvuje sa 2% i glavni izvor su industrija i rashladni uređaji u maloprodaji (Crippa i sar., 2021).

U pogledu emisije stakleničkih gasova koja je direktno vezana za poljoprivrednu proizvodnju na nivou farme, najveća emisija gasova vezuje se za animalnu proizvodnju (Grafikon 3).



Grafikon 3. Emisija stakleničkih gasova iz sistema proizvodnje hrane u 2021. godini (FAO, 2023b)

Zbog značajnog udjela animalne proizvodnje u ukupnoj emisiji stakleničkih gasova iz poljoprivredne proizvodnje i generalno emisiji gasova antropogenog porijekla, a imajući u vidu očekivanu povećanu potražnju za proizvodima animalnog porijekla, kao i trend povećanja ukupnog broja domaćih životinja³, u daljem tekstu će se prikazati glavni izvori emisije stakleničkih gasova iz animalne proizvodnje kao i potencijalne mjere kojim se smanjuje obim emisije iz ovog sektora.

3. EMISIJA STAKLENIČKIH GASOVA IZ ANIMALNE PROIZVODNJE

Na globalnom nivou emisija stakleničkih gasova iz animalne proizvodnje iznosi 14,5% ili 7,5 Gt CO₂eq (FAO, 2023c), pri čemu se oko dvije trećine (67%) gasova emituje iz proizvodnje

³Broj goveda, ovaca, koza, svinja i peradi se u periodu od 1970. do 2019. povećao za oko tri puta, što je izraženo po glavi stanovnika povećanje od 2,6 na 4,3 životinje (Barthelmie, 2022).

mesa, 30% iz proizvodnje mlijeka i 3% iz proizvodnje jaja. Prema FAO (2022), u 2015. godini dominantan izvor stakleničkih gasova je bila govedarska proizvodnja, koja je u ukupnoj emisiji iz sektora učestvovala sa 62%, i to 42% (2,9 Gt CO₂eq) iz proizvodnje mesa i 20% (1,4 Gt CO₂eq) iz proizvodnje mlijeka. Doprinos ostalih vrsta domaćih životinja ukupnoj emisiji gasova bio je znatno manji i kretao se između 7 i 14%, pri čemu je svinjogojstvo učestvovalo sa 14%, proizvodnja bivoljeg mesa i mlijeka 8%, peradarstvo 9% i mali preživari 7%.

Prilikom razmatranja udjela pojedinih stakleničkih gasova u ukupnoj emisiji iz sektora animalne proizvodnje, metan učestvuje sa 54%, CO₂ sa 31% i N₂O sa 15% (FAO 2023c). Prema FAO GLEAM 3.0 kalkulacijama emisija metana iz enterične fermentacije, stajnjaka i proizvodnje stočne hrane iznosila je 46%, 7,8% i 0,32%.

Emisija N₂O vezana za proizvodnju stočne hrane iznosila je 9,8%, a iz upravljanja stajnjakom 5%. Najveća emisija CO₂ (12%) vezuje se za proizvodnju stočne hrane, zatim slijede promjene u korištenju zemljišta (zbog proširenja pašnjačkih površina) 9,3%, postfarmske aktivnosti 5,4% i direktna i indirektna potrošnja energije na farmi 3% (FAO, 2022).

Izuzimanjem stočne hrane kao indirektnog izvora emisije, direktne emisije stakleničkih gasova iz animalne proizvodnje vezuju se za emisije CH₄ iz enterične fermentacije i stajnjaka i emisije N₂O iz stajnjaka (upravljanja stajnjakom, stajnjaka apliciranog na tlo i stajnjaka zadržanog na pašnjacima). Ove emisije su u 2021. godini iznosile 4,2 Gt CO₂eq ili 54% ukupnih emisija iz poljoprivredne proizvodnje (FAO, 2023b).

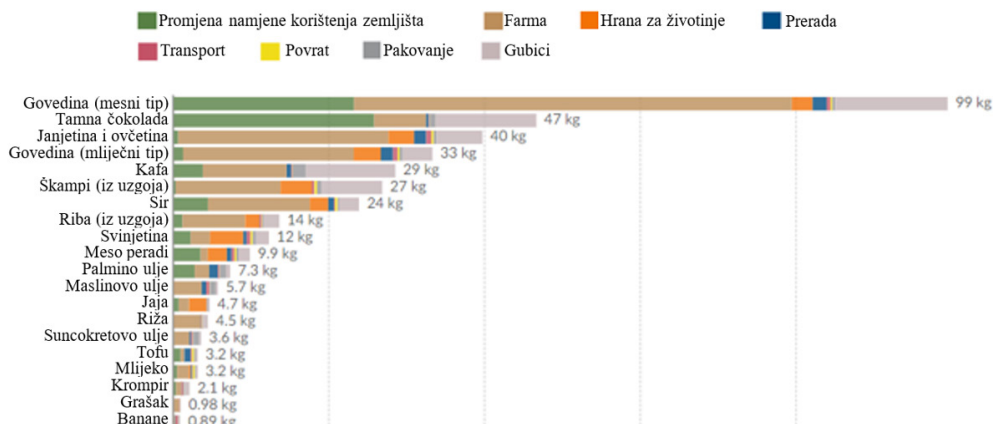
Poređenjem izvora GHG emisija između različitih vrsta preživara i nepreživara mogu se uočiti značajne razlike. U proizvodnji mlijeka i mesa preživara najveći udio u ukupnim emisijama ima metan iz enterične fermentacije. S druge strane, u svinjogojskoj i peradarskoj proizvodnji glavni izvori emisije gasova su proizvodnja stočne hrane, prenamjena zemljišta i upravljanje stajnjakom. Detaljan prikaz glavnih izvora emisija CO₂, CH₄ i N₂O u lancu animalne proizvodnje prikazan je u Tabeli 1.

Tabela 1. Izvori emisije stakleničkih gasova u animalnoj proizvodnji (FAO, 2022)

Izvor emisije		Opis
Hrana za životinje	Agrotehnika	CO ₂ emisije koje proizilaze iz upotrebe fosilnih goriva tokom operacija na polju
	CO ₂	CO ₂ emisije iz proizvodnje azotnih, fosfatnih i kalijevih đubriva
	Proizvodnja pesticida	CO ₂ emisije iz proizvodnje, transporta i aplikacije pesticida
	Prerada i transport	CO ₂ nastao tokom obrade usjeva za proizvodnju stočne hrane i transporta kopnom i/ili morem
	Proizvodnja koncentratnih smjesa	CO ₂ emisije nastale u mješaonama stočne hrane

Izvor emisije		Opis
Hrana za životinje – LUC CO ₂	Proizvodnja soje	CO ₂ emisije zbog prenamjene korištenja zemljišta povezane sa ekspanzijom uzgoja soje
	Sačme i pogače od palminih koštica	CO ₂ emisije nastale širenjem plantaža uljanih palmi
	Širenje pašnjačkih površina	CO ₂ emisija nastala prenamjenom zemljišta u cilju proširenja pašnjaka
Hrana za životinje - N ₂ O	Aplicirani i deponovani stajnjak	Direktne i indirektne emisije N ₂ O iz stajnjaka odloženog na polja i korištenog kao organsko đubrivo
	Đubrivo i žetveni ostaci	Direktne i indirektne emisije N ₂ O iz primijenjenog azotnog đubriva i razgrađenih žetvenih ostataka
Hrana za životinje - CH ₄	Proizvodnja riže	CH ₄ emisije iz uzgoja riže korištene u ishrani životinja
Enterična fermentacija - CH ₄		CH ₄ emisije nastale enteričnom fermentacijom
Upravljanje stajnjakom - CH ₄		CH ₄ emisije nastale skladištenjem i upravljanjem stajnjakom
Upravljanje stajnjakom - N ₂ O		N ₂ O emisije nastale skladištenjem i upravljanjem stajnjakom
Direktno korištenje energije - CO ₂		CO ₂ emisije koje proizilaze iz korištenja energije na farmi za ventilaciju, grijanje itd.
Indirektno korištenje energije - CO ₂		CO ₂ emisije koje proizilaze iz korištenja energije tokom izgradnje poljoprivrednih objekata i opreme
Postfarm CO ₂		CO ₂ emisije nastale tokom prerade i transporta animalnih proizvoda

Značajno veća produkcija stakleničkih gasova iz animalne proizvodnje u poređenju sa biljnom proizvodnjom može se vidjeti i iz Grafikona 4. Pri proizvodnji kilograma goveđeg, ovčijeg, svinjskog i mesa peradi „otisak ugljika“ iznosi 99, 39, 12 i 9 kg CO₂eq, pri proizvodnji kilograma mlijeka iznosi 3,15 kg CO₂eq, dok je u proizvodnji kilograma paradajza otisak ugljika 2,1 kg CO₂eq (Tabela 2).



Grafikon 4. Utjecaj hrane na okoliš – emisija stakleničkih gasova u lancu proizvodnje hrane, CO₂eq/kg hrane (Poore i Nemecek, 2018)

Tabela 2. Udio pojedinih aktivnosti u lancu animalne proizvodnje u produkciji stakleničkih gasova izražen u kg CO₂eq/kg proizvoda (prilagođeno prema Poore i Nemecek, 2018)

	Goveđe meso (iz mesnih pasmina)	Goveđe meso (iz mliječnih pasmina)	Ovčije meso	Mlijeko	Svinjsko meso	Pileće meso	Jaja	Riba iz uzgoja	Škampi iz uzgoja
LUC	23.24	1.27	0.65	0.51	2.24	3.51	0.71	1.19	0.33
Aktivnosti na farmi	56.23	21.92	27.03	1.51	2.48	0.93	1.32	8.06	13.45
Hrana za životinje	2.68	3.5	3.28	0.24	4.30	2.45	2.21	1.83	4.03
Prerada	1.81	1.55	1.54	0.15	0.42	0.61	0.00	0.04	0.00
Transport	0.49	0.59	0.68	0.09	0.50	0.38	0.08	0.25	0.33
Maloprodaja	0.23	0.25	0.30	0.27	0.28	0.24	0.04	0.09	0.35
Pakovanje	0.35	0.37	0.35	0.10	0.43	0.29	0.16	0.14	0.54
Gubici	14.44	3.85	5.9	0.27	1.66	1.45	0.15	2.03	7.83
Ukupno	99.48	33.30	39.72	3.15	12.31	9.87	4.67	13.63	26.87

4. EMISIJA METANA IZ ANIMALNE PROIZVODNJE

Metan ima 28 puta jači toplinski učinak u poređenju sa CO₂ i u prosjeku oko dvanaest godina ostaje u atmosferi. Globalno, 50-60% emisije metana vodi porijeklo iz poljoprivrednog sektora, primarno iz animalne proizvodnje i proizvodnje riže. Metan je prirodni finalni proizvod buražne probave hrane i oko 90% metana koji emituju preživari sintetiše se u buragu, dok se ostatak sintetiše u debelom crijevu. Sinteza metana kod nepreživara odvija se u debelom crijevu.

⁴U sagledavanju emisije gasova (posebno na globalnom nivou) često se kao jedinica koristi teragram (Tg), što je ekvivalent 1 x 10⁹ kg ili milion tona.

Preživari, kao najveći emiteri, godišnje produkuju 86 miliona tona ili 86 teragrama (Tg)⁴ metana, pri čemu tovnja goveda emituju 55,9 Tg, mliječna goveda 18,9 Tg, ovce i koze 9,5 Tg, bivoli 6,2-8,1 Tg, kamile 0,9-1,1 Tg.

Produkcija metana u debelom crijevu nepreživara je znatno manja. Emisija metana iz svinjogojstva iznosi 0,9-1,0 Tg, dok konji emituju 1,7 Tg metana na godišnjem nivou.

4.1 Emisija metana iz enterične fermentacije

Sinteza metana u buragu je normalan fiziološki proces za koji je neophodno prisustvo metanogenih bakterija i anaerobna sredina. U razgradnji hrane u buragu učestvuje oko 200 različitih mikroorganizama koji životinji domaćinu osiguravaju nutrijente neophodne za preživljavanje, rast i razvoj. Burag naseljavaju različite vrste mikroorganizama, među kojima su najznačajnije bakterije, protozoe, gljivice i virusi. Bakterije i protozoe učestvuju u razgradnji ugljikohidrata (vlakana, skroba i šećera), gljivice u razgradnji vlakana, virusi generalno ne učestvuju u fermentativnim procesima, dok je glavna uloga metanogenih mikroorganizama sinteza metana. Metanogene bakterije pripadaju domenu *Archaea*, carstvu *Euryarchaeota*.

Metanogeni produkuju metan najvećim dijelom iz hidrogena i ugljendioksida koji nastaju pri fermentaciji strukturnih i nestrukturnih ugljikohidrata. Prisustvo hidrogena u buragu inhibira fermentacione procese. Ukoliko hidrogen ne bi bio iskorišten za sintezu metana i na taj način uklonjen iz buraga, njegovo prisustvo bi inhibiralo metabolizam mikroorganizama i time onemogućilo optimalan tok probavljanja hrane. Sintezom metana osiguravaju se optimalni uslovi za mikrobiološku razgradnju hrane u buragu. Oslobođanje hidrogena odvija se tokom procesa produkcije isparljivih masnih kiselina (sirćetne i buterne kiseline) iz ugljikohidrata. Pored sinteze metana, oslobođeni hidrogen eliminiše se i tokom procesa sinteze propionata i biohidrogenizacijom masti obroka, a koristi se i kao supstrat za acetogene bakterije, sumpor redukujuće bakterije i nitrogen redukujuće mikroorganizme.

Oslobođanjem metana životinja gubi od 2 do 12% energije konzumirane hrane, što je oko 6% globalne GHG emisije antropogenog porijekla. Na visinu gubitka energije utječe više faktora, a kao najznačajniji mogli bi se izdvojiti kvalitet i način obrade krmiva, nivo konzumacije hrane, vrsta životinje, starost i tjelesna masa životinje, pravac proizvodnje i geografska lokacija. Gubici energije obroka u formi metana kod goveda za proizvodnju mlijeka iznose 5,5-8%, goveda u tovu 3,0-6,5%, bivola 7,5-9% i kamila 7-9%.

4.2 Emisija metana iz stajnjaka

Metan nastaje i tokom anaerobne mikrobiološke razgradnje organske materije stajnjaka. Količina metana porijeklom iz stajnjaka je značajno manja i zavisi prvenstveno od načina držanja životinja, dužine skladištenja stajnjaka i ambijentalne temperature. Procjenjuje se da ukupna godišnja produkcija metana iz stajnjaka iznosi 17,5 miliona tona. Veće količine metana produkuju se pri skladištenju stajnjaka u tečnoj formi koja omogućava anaerobnu mikrobiološku razgradnju u odnosu na skladištenje u čvrstoj formi i aerobnu sredinu. Više temperature sredine, kao i veći sadržaj vlage u supstratu, također pogoduju produkciji metana. Prosječna emisija metana iz tečnog stajnjaka skladištenog u natkrivenim lagunama iznosi 6,5 kg/m³ godišnje, iz tečnog stajnjaka skladištenog u otvorenim lagunama 5,4 kg/m³, dok je emisija iz čvrstog stajnjaka 2,3 kg/m³ (Hristov i sar., 2013).

5. MITIGACIJA EMISIJE METANA IZ ENTERIČNE FERMENTACIJE

Smanjenje emisije metana je jedan od načina za brzo ograničavanje rasta globalnog zagrijavanja na 1,5°C iznad nivoa iz predindustrijskog doba, upravo zbog njegovog relativno kratkog boravka u atmosferi i visokog potencijala globalnog zagrijavanja. Ukoliko bi se emisija metana, utvrđena 2020. godine, do 2030. godine smanjila za 30%, smanjio bi se i porast prosječne globalne temperature do 2050. godine za više od 0,2°C (FAO, 2023d).

Strategije kojim se smanjuje enterična emisija metana kod preživala mogu se podijeliti u tri kategorije: (i) strategije usmjerene na poboljšanje kvaliteta krmiva i promjenu strukture obroka, (ii) primjena različitih dodataka obrocima kojim se inhibiraju metanogeni mikroorganizmi ili se smanjuje količina supstrata neophodnog za metanogenezu i (iii) primjena različitih biotehnoloških metoda. Neke od strategija su dobro istražene i već su u primjeni, dok su neke još uvijek u eksperimentalnoj fazi i neophodna su dodatna istraživanja. Strategije se razlikuju u načinu djelovanja i primjena određene strategije zavisi od sistema proizvodnje i lokalnih uslova. Ekstenzivni sistemi proizvodnje, koji uključuju ispašu, predstavljaju izazov i zahtijevaju poseban pristup, jer mnoge od strategija nisu primjenjive u takvim sistemima. Efikasnost primjene pojedinih strategija u ublažavanju emisije metana kreće se od slabe (smanjenje emisije CH₄ manje od 1%), umjerene (smanjenje emisije CH₄ 15-25%) i visoke (smanjenje emisije CH₄ preko 25%). Primjenom određenih ishrambenih strategija ili kombinovanjem strategija koje se razlikuju po načinu djelovanja moguće je smanjiti emisiju metana za 40%, a u nekim slučajevima čak za 75%.

5.1. Strategije usmjerene na poboljšanje kvaliteta krmiva i promjenu strukture obroka

Voluminozna krmiva: Zbog visokog udjela celuloze, hemiceluloze i lignina, ishrana preživala bazirana na pretežno voluminoznim obrocima, usmjerava fermentaciju u buragu ka produkciji veće količine sirćetne kiseline, čime se i produkcija metana povećava.

Kvalitet voluminoznih krmiva ima značajan utjecaj na nivo emisije metana kod preživala. Ishrana životinja krmivima visokog kvaliteta i probavljivosti generalno povećava konzumaciju hrane i proizvodnju životinje, a smanjuje konverziju energije obroka u metan i produkciju metana po jedinici proizvoda. Povećanjem kvaliteta krmiva smanjuje se proizvodnja fecesa, pa samim tim i emisija CH₄ i NH₃ iz stajnjaka.

Pri ishrani preživala krmivima lošeg kvaliteta, oko 12% konzumirane energije konvertuje se u metan (kod visokoprobavljivih obroka konverzija je svega 2%). Da bi se smanjila produkcija metana, sadržaj vlakana u voluminoznim krmivima bi trebao biti manji, a sadržaj rastvorljivih ugljikohidrata veći. Kod pašne ishrane stoku bi trebalo napasivati samo u periodu kada su biljke u ranijoj fazi razvoja. Ishrana leguminozama ili veći udio leguminoza u obroku smanjuje produkciju metana u buragu, dijelom zbog manjeg udjela vlakana i brže pasaže hrane kroz probavni trakt, ali i prisustva tanina i saponina u ovim krmivima. Leguminoze smanjuju produkciju metana za 12 do 15% (izraženo na bazi konzumirane suhe materije), u prvom redu zbog toksičnog efekta na metanogene.

Povećavanjem probavljivosti voluminoznih krmiva direktno se utječe na smanjenje emisije metana nastale buražnom fermentacijom, kao i metana porijeklom iz stajnjaka.

Silaže su generalno probavljivije od sijena. Hemijski tretman voluminozne krme lošeg kvaliteta, dodavanje melase ili uree, pravilno balansiranje obroka, selekcija žitarica u cilju dobivanja kvalitetnije slame, korištenje C₃ umjesto C₄ trava i korištenje voluminoznih krmiva sa većim sadržajem skroba (cijele biljke žitarica, kukuruz i sirak), dosta su efikasne strategije kojim se emisija metana smanjuje ili održava na određenom nivou. Pored navedenih strategija i

povećanjem nivoa ishrane kojim se ubrzava pasaža hrane kroz probavni trakt, kao i promjenom kationsko-anionskog odnosa voluminoznog obroka, produkcija metana u buragu se smanjuje, dok drugi aspekti buražne fermentacije ostaju nepromijenjeni.

Koncentratna krmiva. Povećanjem udjela koncentratnih krmiva u obrocima za preživare smanjuje se produkcija metana po jedinici proizvoda (meso, mlijeko). Pri ishrani preživara obrocima koji sadrže 30-40% koncentratnih krmiva, gubici konzumirane energije metanom iznose od 6 do 7%. Nagli pad metanogeneze, odnosno gubitka ukupne konzumirane energije metanom na 2 do 3%, utvrđen je pri ishrani preživara obrocima u kojima je udio koncentratnih krmiva iznosio od 80 do 90%.

Visokim udjelom koncentratnih krmiva u obrocima povećava se konzumacija hrane i nestrukturanih ugljikohidrata (skroba i šećera), obim fermentacije u buragu i ubrzava pasaža hrane. Ovakvu promjenu strukture obroka prati i promjena mikrobne populacije u buragu u smjeru povećanja broja mikroorganizama koji učestvuju u fermentaciji skroba, što rezultira povećanom produkcijom propionske kiseline. Pri ovakvom toku fermentativnih procesa u buragu, količina slobodnog hidrogena koji ulazi u proces metanogeneze se smanjuje, čime se redukuje i produkcija metana. Zbog povećanog obima fermentacije snižava se i pH buraga i stvaraju nepovoljni uslovi za rast protozoa, metanogena i celulolitičkih bakterija. Da bi se značajnije smanjila produkcija metana u buragu, udio koncentratnih krmiva u obroku bi trebao biti veći od 50%, odnosno udio skroba u obroku bi trebao iznositi minimalno 45%.

Na produkciju metana utječe i sistem ishrane životinja. Produkcija metana je manja kod ishrane miješanim obrocima (engl. *total mixed rations - TMR*), u odnosu na odvojeno hranjenje voluminoznim i koncentratnim krmivima.

Dijetarno suplementiranje lipidima. Tradicionalno, osnovni cilj dodavanja masti u obroke preživara je podmirenje povećanih potreba u energiji kod visokoproduktivnih životinja. U novije vrijeme, dodavanje masti i ulja u obroke preživara jedan je od načina kojim se reducira metanogeneza u buragu. Na fermentaciju skroba masti nemaju utjecaj. Smanjenje metanogeneze direktna je posljedica toksičnog efekta masnih kiselina na protozoe i metanogene bakterije. Biohidrogenizacijom nezasićenih masnih kiselina direktno se inhibiraju metanogeni. U kojoj mjeri će se takav efekat ispoljiti, u prvom redu zavisi od količine masti koja se dodaje u obroke, stepena zasićenosti masnih kiselina, dužine lanaca masnih kiselina (ili broju ugljenikovih atoma u lancu masnih kiselina) i sastava osnovnog obroka.

Masne kiseline srednje dugih lanaca ($C_8 - C_{14}$), porijeklom iz palminog i kokosovog ulja, najefikasnije reduciraju produkciju metana. Kod dodavanja ulja u cilju defaunacije buraga treba uzeti u obzir utjecaj ulja na obim razgradnje proteina i vlakana u buragu.

Mehanizam djelovanja masnih kiselina na metanogenezu je višestruk. Masne kiseline srednje dugog lanca direktno utječu na broj metanogena. Polinezasićene masne kiseline imaju toksičan efekat na celulolitičke bakterije i protozoe. Na ovaj način tok fermentacije usmjerava se u pravcu sinteze propionske kiseline i samo neznatna količina hidrogena koristi se za hidrogenizaciju polinezasićenih masnih kiselina.

5.2. Promjena strukture buražne populacije – primjena različitih dodataka obrocima

Jonofori. Dodavanje jonofora u hranu za preživare, pored pozitivnog efekta na produkciju mlijeka i mesa, značajno smanjuje i produkciju metana u buragu. Mehanizam djelovanja jonofora ispoljava se kroz promjenu bakterijske populacije od Gram pozitivnih prema Gram negativnim bakterijama, što direktno utječe na promjenu toka fermentacije u buragu u pravcu sinteze propionske kiseline. Većom produkcijom propionske kiseline smanjuje se dostupnost

hidrogena neophodnog za sintezu metana. Jonofori smanjuju i populacije protozoa u buragu. Zadovoljavajući efekat se postiže dodavanjem jonofora u obroke sa visokim udjelom koncentrata ili u voluminozno-koncentratne obroke, dok se kod pašne ishrane takav efekat ne ispoljava. Iako je potvrđen pozitivan utjecaj jonofora na smanjenje produkcije metana u buragu, glavni nedostatak koji se vezuje za njihovu upotrebu odnosi se na količinu jonofora neophodnu za ispoljavanje takvog efekta. Uobičajene količine monensina, koje ne prelaze 20 mg/kg obroka, samo neznatno umanjuju produkciju metana. Dodavanje monensina u količini od 24 do 35 mg/kg obroka smanjuje produkciju metana za 4% do 10%, a tokom kraćeg vremenskog perioda čak i za 30%.

Kratak efekat djelovanja jonofora, zabrana upotrebe antibiotika kao aditiva u ishrani životinja u zemljama EU-a i generalno negativan stav potrošača prema dodavanju antibiotika u hranu za životinje su osnovni razlozi koji isključuju korištenje jonofora kao inhibitora metanogeneze.

Dodavanje nitrata i sulfata u obroke. Dodavanjem nitrata i sulfata u obroke preživara produkcija metana u buragu se značajno smanjuje. Zbog potencijalno toksičnog efekta nitrata, odnosno nitrita (koji nastaju redukcijom nitrata), dodavanje nitrata u hranu za životinje je zabranjeno u nekim zemljama EU-a. Uzimajući u obzir da dodavanje nitrata u obroke, u malim količinama nema toksičan efekat na životinju, buduća istraživanja trebalo bi da se usmjere na utvrđivanje optimalnih količina nitrata u obrocima za različite vrste domaćih životinja.

Hemijski inhibitori metanogeneze. Neki hemijski spojevi dodani u hranu za životinje u malim koncentracijama dosta efikasno smanjuju metanogenezu u buragu. Najbolji učinak pokazao se kod primjene bromohlorometana (BCM), 2-bromoetansulfonata (BES), hloroforma i 3-nitroooksipropanola (3-NOP). 3-NOP je i komercijalno dostupan u nekim zemljama. Hemijskom inhibicijom protozoa i *Archaea*, produkcija metana smanjuje se i do 90%. I pored izražene redukcije metanogeneze, navedeni spojevi nisu prihvaćeni u praksi zbog potencijalno toksičnog efekta na ljude, životinje i okoliš. Potencijalni problem je i adaptacija mikroorganizama na neke od navedenih spojeva.

Esencijalna ulja. Dodavanje esencijalnih ulja (sekundarnih biljnih metabolita) u hranu za preživare inhibira rast nekih Gram pozitivnih i u nešto manjoj mjeri Gram negativnih bakterija, čime se smanjuje obim deaminacije i metanogeneze u buragu, pa samim tim i produkcije amonijačnog nitrogena, metana i acetata. Način djelovanja varira i zavisi od sastava esencijalnog ulja. U limitiranom broju *in vivo* oglada, dodavanje komercijalnih proizvoda koji sadrže esencijalna ulja (komercijalne mješavine od korijandera, eugenola, geranil acetata i geraniola, ulja origana, ekstrakta citrusa i alicina) u obroke muznih krava i goveda u tovu, u različitim studijama je smanjilo produkciju metana za 10, 22 i 23% (Belanche i sar., 2020; Kolling i sar., 2018; Roque i sar., 2019).

Tanini (ekstrakti tanina). Mehanizam djelovanja tanina na metanogene buraga još uvijek nije u potpunosti jasan. Evidentno je da tanini usporavaju rast i aktivnost i metanogenih bakterija i protozoa. Ishranom preživara krmivima bogatim taninima, kao što su crvena djetelina (*Trifolium pratense*), žuti zvjezdan (*Lotus corniculatus*) i bijela djetelina (*Trifolium repens*), moguće je produkciju metana smanjiti i do 55%. Međutim, prisutni u većim koncentracijama u obrocima tanini negativno utječu na probavljivost vlakana i produktivnost životinja. Loša probavljivost vlakana posljedica je toksičnog efekta tanina na bakterije koje učestvuju u razgradnji vlakana u buragu. Praktično, tanini smanjuju metanogenezu direktno djelujući na metanogene bakterije i protozoe i indirektno preko smanjene produkcije hidrogena uslijed slabijeg probavljanja vlakana. Pored negativnog utjecaja na probavljivost vlakana,

tanini smanjuju i apsorpciju aminokiselina. Istraživanja Graingera i sar. (2009) pokazala su da dodavanje tanina u obroke muznih krava smanjuje produkciju metana za 30%, ali i proizvodnju mlijeka za 10%. Rutinska upotreba tanina limitirana je zbog antinutritivnog efekta ovih fenolnih spojeva, ali i visokom cijenom preparata tanina na tržištu. Za precizno doziranje preparata tanina u obroke za preživare, odnosno utvrđivanje optimalnih količina tanina kojim bi se postigao balans između redukcije metanogeneze i antinutritivnog efekta, neophodno je provođenje dodatnih istraživanja.

Saponini. Saponini su površinski aktivni glikozidi (prirodni deterdženti) prisutni u velikom broju biljnih vrsta. Djeluju supresivno ili potpuno eliminišu populacije protozoa u buragu. U kojoj mjeri će dodavanje saponina u hranu za preživare imati utjecaj na smanjenje sinteze metana u buragu zavisi od izvora saponina, hemijske strukture, koncentracije i sastava obroka. Mehanizam djelovanja saponina ispoljava se kroz ograničavanje dostupnosti hidrogena za sintezu metana. Utvrđeno je da saponini mogu smanjiti produkciju metana i do 50%. Komercijalni izvori saponina su *Yucca schidigera* i *Quillaja saponaria*. Najveći problem za rutinsku upotrebu saponina, kao i tanina, je cijena preparata na tržištu.

Prebiotici. Stimulirajući rast određenih grupa mikroorganizama - *Selenomonas*, *Succinomonas* i *Megasphaera*, prebiotici usmjeravaju fermentaciju u buragu u pravcu produkcije propionske kiseline. U isto vrijeme inhibiraju rast bakterija rodova *Ruminococcus* i *Butyrivibrio*, koji fermentaciju u buragu usmjeravaju u pravcu produkcije sirćetne kiseline. Dodavanjem galaktooligosaharida (GOS) produkcija metana u buragu smanjuje se za 11%.

Imunizacija. Zadnjih godina, u cilju redukcije buražnih metanogena, istraživanja su usmjerena na primjenu različitih biotehnoloških strategija. Primjena vakcina protiv tri buražna metanogena smanjila je produkciju metana kod australijskih ovaca za 8%. S druge strane, ispitivanja efekta imunizacije na drugim geografskim područjima nisu dala željene rezultate. Osnovni razlog slabog efekta imunizacije leži u visokom diverzitetu metanogena koji naseljavaju burag, odnosno isključivanje određenih vrsta metanogena omogućava razmnožavanje drugih vrsta. Pored toga, razlike u supstratima utjecale su na rezultate istraživanja. Da bi se postigao željeni efekat, vakcine bi trebalo da djeluju na sve metanogene bakterije prisutne u buragu.

Morske alge koje sadrže bromoform (*Asparagopsis* sp.). Dodavanjem makroalgi u obroke preživara moguće je značajno reducirati buražnu metanogenezu. U provedenim *in vivo* i *in vitro* istraživanjima najbolji rezultati su dobiveni sa dvije crvene makroalge *Asparagopsis taksiformis* i *Asparagopsis armata*, i to zbog kapaciteta (sposobnosti) algi da sintetišu i akumuliraju bromoform i dibromohlorometan (Machado i sar., 2016). U zavisnosti od primijenjene doze, produkciju metana je moguće smanjiti od 9 do 98%. Dodavanje 1% i manje od 1% algi u obroke smanjuje produkciju metana za preko 50%. Crvene i braon alge ispoljavaju veći mitigacijski potencijal na produkciju metana u odnosu na zelene alge. Upotreba algi u cilju smanjenja produkcije metana je u eksperimentalnoj fazi i neophodna su dodatna istraživanja u cilju prevazilaženja potencijalnih sigurnosnih rizika za ljude, životinje i okoliš.

Defaunacija. Uloga protozoa u produkciji metana vezana je za transfer hidrogena metanogenim bakterijama. Metanogeni vezani za cilijate intracelularno i ekstracelularno proizvode od 9% do 37% metana u buragu. Smanjenjem populacije protozoa u buragu smanjuje se i broj metanogena vezanih za protozoe, što u konačnici rezultira smanjenom produkcijom metana. Redukciju populacije protozoa moguće je postići primjenom bakarnog sulfata, kiselina, površinski aktivnih materija, masti, tanina, jonofora i saponina. U kojoj mjeri će se

smanjiti produkcija metana zavisi prvenstveno od hemijskog sastava obroka kojim se životinja hrani. Najbolji rezultati postižu se pri ishrani životinja sa visokokoncentratnim obrocima. Defaunacijom je moguće smanjiti produkciju metana i do 13 % pri ishrani preživara obrocima na bazi skroba. Efekat defaunacije na produkciju metana može trajati i duže od dvije godine.

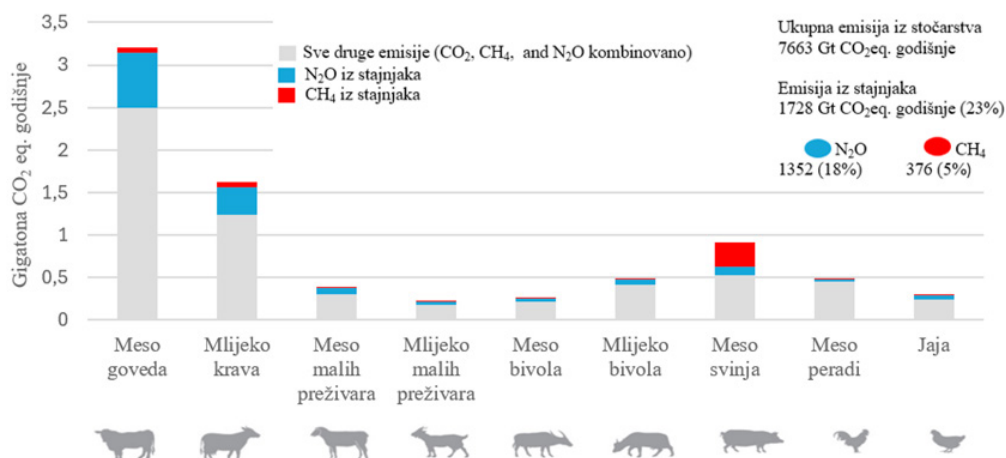
5.3. Uzgoj i držanje životinja

Povećanje produktivnosti životinja. Povećanjem produktivnosti životinja smanjuje se produkcija metana izražena po jedinici proizvoda, ali se u većini slučajeva povećava apsolutna emisija na dnevnoj bazi ($\text{g CH}_4/\text{dan}$). Povećanje produktivnosti životinje rezultat je provođenja različitih ishrambenih i uzgojnih praksi (balansirana ishrana, prevencija bolesti, selekcija) u cilju povećanja prirasta ili proizvodnje mlijeka. Važno je istaći da će porast produktivnosti životinja dovesti do rasta emisiju metana ukoliko se ne poveća efikasnost konverzije hrane ili smanji broj životinja u stadu.

Utvrđeno je da životinje pri istim ishrambenim uslovima pokazuju značajne varijacije u produkciji metana. U eksperimentu s ovcama na pašnoj ishrani utvrđene su individualne razlike u emisiji metana po jedinici konzumirane hrane. Uzrok za utvrđene razlike u emisiji metana još uvijek nije jasan. Mogući utjecaj genetskih faktora na produkciju metana nije isključen i ukoliko se potvrdi, selekcijom bi se mogle dobiti životinje koje emituju značajno manje količine metana u odnosu na prosjek, pri čemu bi proizvodnja ostala nepromijenjena. S druge strane, različit broj metanogena u buragu životinja mogao bi objasniti ove razlike.

6. EMISIJA STAKLENIČKIH GASOVA IZ STAJNJAKA

Stajnjak je izvor emisije CH_4 , N_2O i NH_3 , a količine emitovanih gasova zavise od načina upravljanja stajnjakom, okolišnih uslova i sastava stajnjaka. Upravljanje stajnjakom je kontinuirani proces koji počinje ekskrecijom fecesa i urina, nastavlja skladištenjem i tretmanom stajnjaka i završava rasturanjem stajnjaka na poljoprivredno zemljište. Emisija CH_4 i N_2O može se pojaviti u svakoj od navedenih faza. Emisija stakleničkih gasova iz stajnjaka različitih vrsta domaćih životinja prikazana je na Grafikonu 5.



Grafikon 5. Emisija stakleničkih gasova iz stajnjaka različitih vrsta domaćih životinja (UNFCCC, 2019)

6.1 Emisija metana iz stajnjaka

Procjenjuje se da ukupna godišnja produkcija metana iz stajnjaka iznosi 17,5 miliona tona (FAO, 2023d). Najviše metana produkuje se tokom skladištenja stajnjaka, naročito tokom skladištenja tečnog stajnjaka. Metan nastaje tokom anaerobne mikrobiološke razgradnje organske materije stajnjaka. Produkcija metana počinje anaerobnom mikrobiološkom hidrolizom i degradacijom organske materije stajnjaka do dugolančanih kiselina, proteina ili alkohola. Dalja fermentacija teče u pravcu stvaranja kiselina kratkog lanca koje metanogeni transformišu u CH₄ i CO₂ (Sommer i sar., 2013). Količina metana porijeklom iz stajnjaka je značajno manja u poređenju s emisijom iz enterične fermentacije i zavisi prvenstveno od načina držanja životinja, hemijskog sastava stajnjaka, načina upravljanja stajnjakom, dužine skladištenja i ambijentalne temperature. Duži period skladištenja, topli i vlažni uslovi skladištenja, tretman tečnog stajnjaka u lagunama ili tankovima i anaerobna sredina dovode do povećane produkcije metana. Produkcija CH₄ na temperaturi nižoj od 15°C je zanemariva i značajnije količine metana produciraju se tek nakon nekoliko mjeseci.

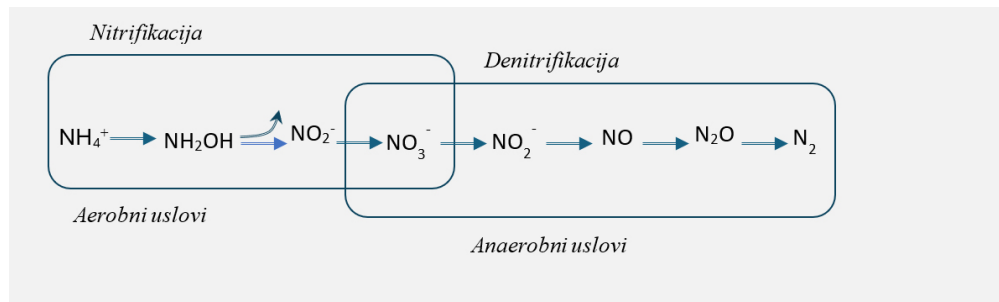
Pri temperaturi od 20°C produkcija metana počinje odmah ukoliko skladišni prostor sadrži zaostali stajnjak. Ukoliko su lagune ispražnjene, početak produkcije metana se odlaže za 20 dana. Optimalna pH za produkciju metana kreće se od 6 do 8. Veće količine metana produkuju se pri skladištenju stajnjaka u tečnoj formi koja omogućava anaerobnu mikrobiološku razgradnju u odnosu na skladištenje u čvrstoj formi i aerobnu sredinu. Prosječna emisija metana iz stajnjaka skladištenog u natkrivenim lagunama iznosi 6,5 kg/m³ godišnje, iz stajnjaka skladištenog u otvorenim lagunama 5,4 kg/m³, dok je emisija iz čvrstog stajnjaka 2,3 kg/m³ (Hristov i sar., 2013). I ishrana životinja značajno utječe na obim emisije metana. Veći udio koncentratnih krmiva u obrocima povećava emisiju metana u odnosu na ishranu životinja sa pretežno voluminoznim obrocima, odnosno ishranu manje probavljivim obrocima. Kada se radi o skladištenju van objekta, emisija metana varira u zavisnosti od ambijentalne temperature i načina skladištenja. Skladištenje većih količina tečnog stajnjaka tokom dužeg vremenskog perioda povećava emisiju metana.

Emisija metana prilikom aplikacije stajnjaka na tlo traje kratko zbog difuzije kiseonika u stajnjak.

6.2 Emisija N_2O iz stajnjaka

Tri su osnovna izvora emisije N_2O iz sektora poljoprivrede: (i) direktna emisija iz poljoprivrednog zemljišta, (ii) direktna emisija iz stočarstva i (iii) indirektna emisija kao posljedica različitih poljoprivrednih aktivnosti. Prekomjerna upotreba mineralnih i organskih đubriva najznačajniji je izvor N_2O antropogenog porijekla. N_2O nastaje procesima nitrifikacije i denitrifikacije tokom skladištenja, manipulacije i aplikacije stajnjaka u aerobnoj i anaerobnoj sredini. Količina emitovanog N_2O porijeklom iz stajnjaka zavisi od ishrane životinja, hemijskog sastava stajnjaka (odnos C : N), načina skladištenja stajnjaka, dužine skladištenja stajnjaka, klimatskih uslova tokom skladištenja i aplikacije stajnjaka.

Nitrifikacija je aerobni proces za koji je, pored kiseonika, neophodno prisustvo grupe autotrofnih bakterija i *Archaea*. Neke od bakterija pripadaju rodovima *Pseudomonas*, *Thiobacillus* i *Micrococcus*. Tokom nitrifikacije, NH_4^+ se konvertuje u nitrat, pri čemu se kao nusprodukt formira N_2O (Slika 1). Denitrifikacija je proces u kojem se iz nitrata, u anaerobnim uslovima, formira N_2 . U čitavom procesu kao jedan od intermedijarnih gasova je oslobođeni N_2O . Proces denitrifikacije je u potpunosti zavisen od procesa nitrifikacije. Uslijed nedostatka ili ograničene količine kiseonika, produkcija N_2O u tečnom stajnjaku je manja nego u stajnjaku koji se skladišti u čvrstom stanju. Većoj produkciji N_2O , u odnosu na N_2 , pogoduje niža pH vrijednost i manja vlažnost sredine.



Slika 1. Prikaz hemijskih procesa odgovornih za produkciju N_2O (Chadwicka i sar., 2011)

Direktna produkcija obuhvata emisiju N_2O iz fecesa i urina domaćih životinja, dok indirektna obuhvata N_2O nastao iz NH_3 i NO_x ili uslijed oticanja i ispiranja nitroгена u zemljište. Obim N_2O emisije se povećava sa povećanjem koncentracije nitroгена u stajnjaku. Najveći dio nitroгена u stajnjaku nalazi se u organskom obliku koji treba biti mineralizovan do NH_4^+ da bi prešao u N_2O . Povećanjem temperature povećava se i emisija N_2O . Temperatura od 40 do 45°C inaktivira mikroorganizme i zaustavlja produkciju N_2O . Najveći dio N_2O emituje se iz stajnjaka apliciranog na polje, dok se manji dio emituje tokom skladištenja čvrstog stajnjaka.

6.3 Emisija amonijaka (NH_3) iz stajnjaka

Stajnjak i urea zajedno sa NH_4 -đubrivima su glavni izvor emisije amonijaka. Amonijak učestvuje u acidifikaciji, eutrofikaciji i formiranju partikula dijametra 2.5 μg ($PM_{2.5}$). Amonijak se oslobađa mikrobiološkom i hemijskom razgradnjom životinjskih ekskreta (proteina

iz fecesa, uree i mokraćne kiseline). U povoljnim ambijentalnim uslovima urea izlučena iz organizma životinje putem ekskreta se, pod dejstvom enzima ureaze mikrobiološkog porijekla, konvertuje do NH_4^+ . NH_4^+ je prekursor za sintezu NH_3 , NO_3^- i N_2O . Najveći gubitak nitrogena iz stajnjaka je u formi amonijaka i iznosi 30-70% od ukupnog sadržaja NH_4^+ u stajnjaku. U ukupnoj emisiji NH_3 iz animalne proizvodnje, proizvodnja mlijeka i mesa goveda doprinose sa 54%, peradarstvo 33%, a svinjogojstvo 12%. Najviše amonijaka emituje se tokom skladištenja i rasturanja stajnjaka na obradive površine i pašnjake. Nakon aplikacije stajnjaka, oko 1,5 puta više amonijaka emituje se sa pašnjaka u odnosu na emisiju s obradivih površina.

Na obim emisije amonijaka utječe sadržaj vlage u stajnjaku, sadržaj nitrogena, temperatura, uslovi prozračivanja, pH stajnjaka, te hemijske i mikrobiološke aktivnosti. Emisija amonijaka događa se na površini stajskog đubriva. Brzi protok zraka značajno povećava emisiju amonijaka. Više od polovine nitrogena iz stajnjaka skladištenog u anaerobnim lagunama i otvorenim đubrištima može biti izgubljeno u obliku ovog gasa.

Amonijak kratko ostaje u atmosferi i obično se padavinama ili u obliku suhih čestica vraća i taloži u tlu i vodi uzrokujući zakiseljavanje tla i eutrofikaciju površinskih voda. U zraku se lako veže sa sulfatnom i nitratnom kiselinom stvarajući čestice štetnih aerosola – $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ i NH_4NO_3 . Amonijevi aerosoli čine 47% lebdećih čestica $\text{PM}_{2,5}$ (čestice promjera $\leq 2,5$ mikrona) (Silvern i sar., 2017). Za razliku od amonijaka, aerosoli imaju duži životni vijek (do 15 dana) i mogu se taložiti na većim udaljenostima. Fine čestice aerosola mogu stvoriti maglu i utjecati na vidljivost. Također, mogu prodrijeti u dišne puteve ljudi i životinja i uzrokovati zdravstvene probleme.

7. UBLAŽAVANJE EMISIJE CH_4 , N_2O I NH_3 IZ STAJNJAKA

Neadekvatno upravljanje stajnjakom predstavlja potencijalni rizik za okoliš i zdravlje ljudi i životinja. Ispiranje nitrata, eutrofikacija površinskih voda, nagomilavanje teških metala u tlu, emisije gasova (NH_3 , CH_4 i N_2O), samo su neke od posljedica nekontrolisanog nagomilavanja stajnjaka. Smanjenje emisije CH_4 , N_2O i NH_3 moguće je postići primjenom različitih strategija koje uključuju aktivnosti vezane za ishranu životinja, smještaj životinja, skladištenje stajnjaka, ispašu i primjenu stajnjaka kao đubriva.

Primjena različitih ishrambenih tehnika, kojim se poboljšava probavljivost i iskorištavanje hrane, značajno smanjuje izlučivanje nutrijenata putem fecesa i urina. Tehnike kojima se najefikasnije smanjuje ekskrecija nutrijenata, u prvom redu nitrogena, uključuju ishranu prilagođenu stvarnim nutritivnim potrebama životinja, odnosno primjenu balansirane ishrane, povećanje probavljivosti krmiva primjenom aditiva (sintetske aminokiseline, enzimi, probiotici i dr.), povećanje probavljivosti obradom krmiva, primjena multifazne ishrane, korištenje specifičnih krmiva, odnosno hibrida (uljni ili lizinski hibridi kukuruza i dr.), pravilno normiranje proteina kao glavnog izvora nitrogena i dr. Reduciranjem sadržaja proteina u obrocima na optimalan nivo može se smanjiti emisija N_2O i NH_3 iz stajnjaka za 30%, odnosno 42% (Sajeev i sar., 2018).

Provođenje određenih praksi koje uključuju spremanje, skladištenje i manipulaciju stajnjakom pokazalo je dobre rezultate. Dnevno ili sedmično uklanjanje stajnjaka iz objekata smanjuje emisiju metana za 55%, N_2O za 41% i NH_3 za 22%. Često izmještanje tečnog stajnjaka iz objekta i izlaganje nižim vanjskim temperaturama smanjuje emisiju metana. Tokom ljetnih mjeseci vanjska spremišta za tečni stajnjak je potrebno isprazniti i aplicirati stajnjak na polja. Na ovaj način emisija metana iz stajnjaka se smanjuje za 9-10% (Sommer i sar., 2013).

U objektima za životinje u kojima se kao prostirka primjenjuje slama, kao i u objektima u kojima

se prema čvrsti stajnjak, utvrđena je veća emisiju N_2O u poređenju s objektima u kojima se stajnjak deponuje u tečnoj formi. Također, veća koncentracija amonijaka na farmama muznih krava utvrđena je u objektima u kojima se primjenjuje sistem u kojem se stajnjak akumulira u objektu duži period i iznosi na polje nekoliko puta u toku godine, u poređenju sa sistemom izdubavanja putem ispiranja ili mehaničkim putem na dnevnom nivou. Na svinjogojским farmama utvrđena je za 20% veća emisija stakleničkih gasova u objektima u sistemima držanja životinja na dubokoj stelji u poređenju sa držanjem na rešetkastim podovima (Philippe i sar., 2007). Skraćivanje vremena skladištenja stajnjaka smanjuje emisiju stakleničkih gasova.

Snižavanje temperature stajnjaka usporava mikrobiološku aktivnost, a time i emisiju gasova. Snizavanje temperature stajnjaka ispod $10^{\circ}C$ i izlaganje stajnjaka nižim ambijentalnim temperaturama smanjuje emisiju metana.

Jedna od opcija za ublažavanje emisije stakleničkih gasova je i primjena različitih prekrivala za depoe stajnjaka. Prekrivanje stajnjaka tokom skladištenja smanjuje emisiju NH_3 za 65%, CH_4 za 12%, ali i povećava emisiju N_2O za više od 500%, zbog stvaranja aerobnih i anaerobnih zona koje omogućavaju odvijanje procesa nitrifikacije i denitrifikacije (Sajeev i sar., 2018). Korištenjem polupropusnih materijala za prekrivanje skladišnog prostora smanjuje se emisija NH_3 i CH_4 , ali se u isto vrijeme povećava emisija N_2O zbog prisustva kiseonika koji prolazi ispod pokrova. S druge strane, kompaktni plastični poklopci smanjuju emisiju sva tri navedena gasa. Važno je napomenuti da je kod primjene nepropusnih pokrova neophodno „uhvatiti“ oslobođeni metan, koji se dalje može koristiti za proizvodnju električne energije. U protivnom bi moglo doći do eksplozije i puknuća poklopca (Montes i sar., 2013).

Smanjenje emisije stakleničkih gasova moguće je postići i primjenom neke od metoda tretmana stajnjaka, kao što su anaerobna digestija, zakiseljavanje i kompostiranje. Anaerobna digestija je proces u kojem *Archaea* produciraju CH_4 , CO_2 i druge gasove iz organske materije stajnjaka. Metan dobiven anaerobnom digestijom koristi se kao obnovljivi izvor energije. Anaerobnom digestijom smanjuje se emisija metana za 29% i emisija N_2O za 23% (Sajeev i sar., 2018). U primjeni su digestori različitih kapaciteta, od onih manjih koji su prilagođeni manjem broju životinja (10 krava, 100 nosilja, 5 svinja), do industrijskih digestora dizajniranih za komercijalne farme. Primjena ovog sistema zahtijeva veća početna ulaganja i ne preporučuje se u geografskim područjima sa prosječnom temperaturom ispod $15^{\circ}C$.

Zakiseljavanjem stajnjaka se snižava pH i inhibira emisija stakleničkih gasova i amonijaka. Veći broj studija je pokazao da se bolji efekti postižu korištenjem jakih kiselina (sumporne, hlorovodonične, fosforne kiseline). Ipak, zbog rizika od potencijalne opasnosti prilikom rukovanja jakim kiselinama, preporuka je korištenje slabijih kiselina ili njihovih soli. U tromjesečnom ogledu sa stajnjakom goveda u kome je pH stajnjaka snižena na 5,5 korištenjem sumporne kiseline, emisija metana je smanjena za 87% i gotovo potpuno je eliminisan amonijak (Monte i sar., 2013).

Efikasna strategija za redukciju emisije N_2O je upotreba inhibitora nitrifikacije koji deaktiviraju enzime odgovorne za prvi korak nitrifikacije. Korištenjem inhibitora smanjuje se emisija N_2O , ali se povećava emisija NH_3 . S druge strane, ako se NH_4^+ ne konvertuje u amonijak, može se povećati sadržaj N_2O u tlu. Dodavanje inhibitora ureaze u urin minimalno 5 do 10 dana prije miješanja urina sa fecesom ili aplikacije na tlo, efikasno smanjuje degradaciju uree i emisiju gasova.

Dodavanje jonofora (monensin i narasin) i tanina direktno u stajnjak ima inhibitorni efekat na metanogene mikroorganizme, pa tako i produkciju metana.

Za redukciju emisije amonijaka primjenjuje se i plitko injektiranje stajnjaka ispod površine tla. Emisija NH_3 se na ovaj način smanjuje za 71%, ali se povećava emisija N_2O za 259% (FAO, 2023c). Metod plitkog injektiranja je efikasniji ako se kombinuje s anaerobnom digestijom i separacijom krutog stajnjaka.

Redukcija NH_3 primjenom biofiltera pokazala se efikasnom na svinjogojskim i peradarskim farmama. Kod primjene biofiltera za redukciju NH_3 i stakleničkih gasova neophodno je imati u vidu produkciju N_2O u biofilterskim pročišćivačima. Primjena biofiltera je opravdana kod skladištenja tečnog stajnjaka.

Kompostiranje je aerobni proces kojim se značajno redukuje emisija metana, ali se u isto vrijeme emisija NH_3 i N_2O može povećati. Separacijom svinjskog tečnog stajnjaka i kasnijom aeracijom krute frakcije moguće je smanjiti emisiju metana i za 99% i N_2O za 75%, ali i povećati emisiju NH_3 (Vanotti i sar., 2008).

Zaključak

Poljoprivredna proizvodnja suočava se sa izazovima koje donose klimatske promjene. Negativan utjecaj poljoprivredne proizvodnje na zemljište, zrak, vodu i klimu zahtijeva identifikaciju i primjenu inovativnih praksi kojim bi se ublažio takav utjecaj i obezbijedila održiva poljoprivredna proizvodnja. Provođenje koncepta klimatski pametne poljoprivredne proizvodnje (engl. *Climate Smart Agriculture - CSA*) i koncepta pametne animalne proizvodnje (engl. *Climate Smart Livestock - CSL*) može pomoći u ublažavanju negativnog utjecaja poljoprivredne proizvodnje na okoliš. Primjena precizne poljoprivrede, poboljšanje efikasnosti iskorištenja hrane u ishrani životinja, efikasno upravljanje stajnjakom, korištenje obnovljivih izvora energije, izbor sorti i vrsta otpornih na promjenu klime i primjena drugih inovativnih praksi omogućavaju postizanje održivog sistema poljoprivredne proizvodnje, povećavaju produktivnost i profitabilnost proizvodnje, smanjuju emisiju stakleničkih gasova iz sektora i generalno ublažavaju negativan utjecaj na okoliš.

LITERATURA

1. Barthelmie, R. J. (2022). Impact of dietary meat and animal products on GHG footprints: The UK and the US. *Climate*, 10, 43. <https://doi.org/10.3390/cli10030043> (last accessed 2024/9/10)
2. Belanche, A., Newbold, C. J., Morgavi, D. P., Bach, A., Zweifel, B., & Yáñez-Ruiz, D. R. (2020). A meta-analysis describing the effects of the essential oils blend Agolin Ruminant on performance, rumen fermentation, and methane emissions in dairy cows. *Animals*, 10, 620.
3. Chadwick, D., Sommer, S., Thorman, R., Fanguiero, D., Cardenas, L., Amon, B., Misselbrook, T. (2011). Manure management: Implications for greenhouse gas emissions. *Animal Feed Science and Technology*, 166-167, 514–531.
4. Crippa, M., Guizzardi, D., Pagani, F., Banja, M., Muntean, M., Schaaf, E., Becker, W., Monforti-Ferrario, F., Quadrelli, R., Risquez Martin, A., Taghavi-Moharamli, P., Köykkä, J., Grassi, G., Rossi, S., Brandão De Melo, J., Oom, D., Branco, A., San-Miguel, J., & Vignati, E. (2023). GHG emissions of all world countries. Publications Office of the European Union. Luxembourg.
5. Crippa, M., Solazzo, E., & Guizzardi, D. (2021). Food systems are responsible for a third of global anthropogenic GHG emissions. *Nature Food*, 2, 198–209.
6. EDGAR (Emissions Database for Global Atmospheric Research). European Commission, Joint Research Centre. <https://edgar.jrc.ec.europa.eu/> (last accessed 2024/9/4)
7. FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). (2023a). Emissions totals. In FAOSTAT. FAO, Rome. <https://www.fao.org/faostat/en/#data/GT> (last accessed 2024/8/10)
8. FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). (2023b). FAOSTAT analytical brief 73: Agrifood systems and land-related emissions: Global, regional, and country trends 2001–2021. FAO, Rome. <https://www.fao.org/food-agriculture-statistics/en/> (last accessed 2024/9/11)
9. FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). (2023c). Pathways towards lower emissions: A global assessment of the greenhouse gas emissions and mitigation options from livestock agrifood systems. FAO, Rome. <https://doi.org/10.4060/cc9029en> (last accessed 2024/8/11)

10. FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). (2023d). *Methane emissions in livestock and rice systems – Sources, quantification, mitigation, and metrics*. FAO, Rome. <https://doi.org/10.4060/cc7607en> (last accessed 2024/8/12)
11. FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). (2022). *Greenhouse gas emissions from agrifood systems: Global, regional, and country trends, 2000-2020*. FAOSTAT Analytical Brief Series No. 50. FAO, Rome. <https://www.fao.org/3/cc2672en/cc267en> (last accessed 2024/9/12)
12. FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). (2022). *Global livestock environmental assessment model: Version 3.0. Reference year 2015*. FAO, Rome. <http://www.fao.org/publications> (last accessed 2024/9/5)
13. FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). (2021). FAOSTAT. <http://www.fao.org/faostat/en/#data/FBS> (last accessed 2024/9/6)
14. Grainger, C., Clarke, T., Auldist, M. J., Beauchemin, K., McGinn, S., Waghorn, G. C., & Eckard, R. J. (2009). Potential use of *Acacia mearnsii* condensed tannins to reduce methane emissions and nitrogen excretion from grazing dairy cows. *Canadian Journal of Animal Science*, 89, 241–251.
15. Hristov, A. N., Ott, T., Tricarico, J., Rotz, A., Waghorn, G., Adesogan, A., Dijkstra, J., Montes, F., Oh, J., Kebreab, E., & Oosting, S. J. (2013). Mitigation of methane and nitrous oxide emissions from animal operations. III. A review of animal management mitigation options. *Journal of Animal Science*, 91(11), 5095–5113.
16. Kolling, G. J., Stivanin, S. C. B., Gabbi, A. M., Machado, F. S., Ferreira, A. L., Campos, M. M., Tomich, T. R., Cunha, C. S., Dill, S. W., Pereira, L. G. R., & Fischer, V. (2018). Performance and methane emissions in dairy cows fed oregano and green tea extracts as feed additives. *Journal of Dairy Science*, 101(5), 4221–4234.
17. Lüscher, A., Mueller-Harvey, I., Soussana, J. F., Rees, R. M., & Peyraud, J. L. (2014). Potential of legume-based grassland–livestock systems in Europe. *Grass and Forage Science*, 69(2), 206–228.
18. Macome, F. M., Pellikaan, W. F., Hendriks, W. H., Warner, D., Schonewille, J. T., & Cone, J. W. (2018). In vitro gas and methane production in rumen fluid from dairy cows fed grass silages differing in plant maturity, compared to in vivo data. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 102(4), 843–852.
19. Machado, L., Magnusson, M., Paul, N. A., Kinley, R., de Nys, R., & Tomkins, N. (2016). Identification of bioactives from the red seaweed *Asparagopsis taxiformis* that promote antimethanogenic activity in vitro. *Journal of Applied Phycology*, 28(5), 3117–3126.
20. Mbow, C., Rosenzweig, C., Barioni, L. G., Benton, T. G., Herrero, M., Krishnapillai, M., Liwenga, E., Pradhan, P., Rivera-Ferre, M. G., Sapkota, T., et al. (2019). Chapter 5: Food security. In P. R. Shukla, J. Skea, E. Calvo Buendi, V. Masson-Delmotte, H.-O. Pörtner, D. C. Roberts, P. Zhai, R. Slade, S. Connors, R. V. Diemen (Eds.), *Climate change and land: An IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems* (pp. 163–206). Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2019/11/08> (last accessed 2024/9/7)
21. Montes, F., Meinen, R., Dell, C., Rotz, A., Hristov, A. N., Oh, J., Waghorn, G., Gerber, P. J., Henderson, B., Makkar, H. P. S., & Dijkstra, J. (2013). Mitigation of methane and nitrous oxide emissions from animal operations: II. A review of manure management mitigation options. *Journal of Animal Science*, 91, 5070–5094.
22. Philippe, F. X., Laitat, M., Canart, B., Vandenheede, M., & Nicks, B. (2007). Comparison of ammonia and greenhouse gas emissions during the fattening of pigs, kept either on fully slatted floor or deep litter. *Livestock Science*, 111(1), 144–152.
23. Poore, J., & Nemecek, T. (2018). Reducing food's environmental impacts through producers and consumers. *Science*, 360(6392), 987–992.
24. Roque, B. M., Van Lingen, H. J., Vrancken, H., & Kebreab, E. (2019). Effect of Mootral – a garlic- and citrus-extract-based feed additive – on enteric methane emissions in feedlot cattle. *Translational Animal Science*, 3(4), 1383–1388.
25. Sajeev, E. P. M., Winiwarer, W., & Amon, B. (2018). Greenhouse gas and ammonia emissions from different stages of liquid manure management chains: Abatement options and emission interactions. *Journal of Environmental Quality*, 47(1), 30–41.
26. Silvern, R. F., Daniel, J. J., Kim, P. S., Eloise, A. M., Jay, R. T., Pedro, C. J., & Jimenez, J. (2017).

- Inconsistency of ammonium–sulfate aerosol ratios with thermodynamic models in the eastern US: A possible role of organic aerosol. Atmospheric Chemistry and Physics, 17, 5107–5118.*
27. Sommer, S. G., Christensen, M. L., Schmidt, T., & Jensen, L. S. (2013). *Animal manure recycling: Treatment and management*. Wiley Online Library. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.1002/9781118676677> (last accessed 2024/8/22)
 28. United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC). (2019). *Improved manure management towards sustainable agri-food systems*. https://unfccc.int/sites/default/files/resource/Keynote_20191202%20COP25_FAO (last accessed 2024/8/20)
 29. Vanotti, M. B., Szogi, A. A., & Vives, C. A. (2008). Greenhouse gas emission reduction and environmental quality improvement from implementation of aerobic waste treatment systems in swine farms. *Waste Management, 28*(4), 759–766.

Klimatske promjene i utjecaj na vodne resurse

Emina Hadžić

Sažetak: Voda je jedan od najvažnijih resursa na planeti, ključna za opstanak ljudi i svih živih bića. Od ukupne količine vode na Zemlji, samo 2,5% je slatka voda, a manje od 1% je voda u rijekama i jezerima koja je direktno dostupna za upotrebu. S rastom globalne populacije, ubrzanim ekonomskim razvojem te sve većim potrebama za hranom i energijom, potražnja za vodom kontinuirano raste, dok su njene rezerve ograničene. Istovremeno, klimatske promjene i zagađivanje okoliša dodatno pogoršavaju stanje, čineći očuvanje vodnih resursa i njihovu održivu upotrebu izazovima od presudne važnosti.

Klimatske promjene imaju višestruke posljedice na vodne resurse, značajno utičući na dostupnost vode za piće, poljoprivredu i industriju. Porast globalne temperature mijenja hidrološki ciklus, uzrokujući promjene u količini, prostornoj i vremenskoj raspodjeli te intenzitetu padavina. Uz antropogene aktivnosti, ove promjene dovode do poremećaja u infiltraciji padavina, površinskom otjecanju i isparavanju vode. Ekstremni vremenski događaji poput suša i obilnih padavina postaju učestaliji, smanjujući dostupnost vode u nekim regijama, dok druge trpe zbog poplava.

Ova studija analizira ključne utjecaje klimatskih promjena na vodne resurse, predlaže mjere ublažavanja i prilagodbe, te pruža primjere uspješnih strategija prilagodbe.

Ključne riječi: klimatske promjene, vodni resursi, održivo upravljanje vodama, mjere mitigacije.

Ključne riječi: klimatske promjene, vodni resursi, održivo upravljanje vodama, mjere mitigacije

1. UVODNA RAZMATRANJA

Voda je neprocjenjiv resurs za ekonomski razvoj i ljudsku dobrobit. Uprkos njenoj ključnoj ulozi za opstanak života na planeti, voda se neracionalno koristi i ne štiti pravovremeno. Prostorno i vremenski, voda je "nepravilno" raspoređena, dostupna u ograničenim količinama i sve nepovoljnijeg kvaliteta za ljudsku upotrebu. Istovremeno, potrebe za vodom rastu iz godine u godinu.

Porast broja stanovnika, gospodarski razvoj i intenzivna urbanizacija stvaraju zahtjeve za većim količinama pitke vode, često na određenim prostorima i u specifičnim vremenskim okvirima. Kako bi se osigurala dugoročne zalihe vode, nerijetko je potrebno graditi složene i skupe vodoprivredne sisteme. Međutim, društvene promjene, posebno u zemljama u razvoju, gdje implementacija zakonske regulative često zaostaje, dovode do povećanja količina otpadnih tvari, uključujući i otpadne vode. Posljedica je kontinuirano pogoršavanje kvalitativnih karakteristika vodnih resursa.

Kriza vode najviše se ogleda u sve većim poteškoćama u osiguravanju dovoljnih količina vode, zaštiti vodnih resursa i upravljanju rizicima povezanim s vodom. Zagađenje, degradacija ekosistema i neučinkovito upravljanje dodatno pogoršavaju ove izazove, ugrožavajući ljude i okoliš.

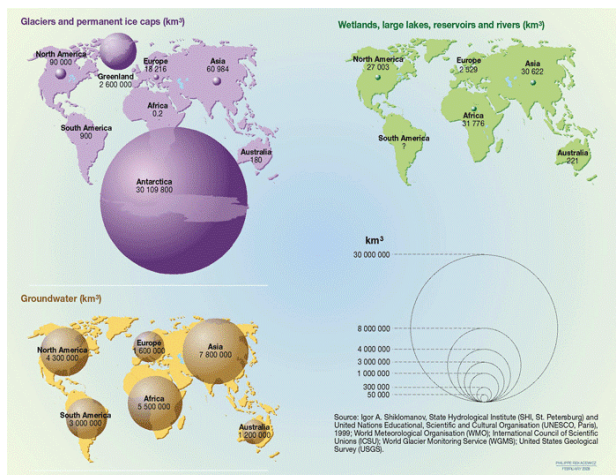
Kriza vode se ne manifestuje ravnomjerno ni prostorno ni vremenski, niti je njen intenzitet svuda podjednako izražen. Dok se na jednom dijelu planete suočavamo s poplavama, klizištima, bujicama i olujnim nevremenima praćenim obilnim padavinama, na drugom dijelu svijeta dominiraju izrazite suše, nestašica vode i pogoršanje njenog kvaliteta.

Iako savremena civilizacija raspolaže naprednim znanjem, tehnikama i tehnologijama, upravljanje vodnim resursima ne bilježi napredak. Naprotiv, globalna situacija se drastično pogoršava. Prema Bonacciju (2003), rješenje krize moguće je pronaći kroz interdisciplinarnu saradnju naučnika koji se bave različitim aspektima upravljanja vodnim resursima. S obzirom na to da je voda ujedinjujući element svih ljudskih aktivnosti, upravljanje vodnim resursima mora postati ključni faktor u podsticanju saradnje i holističkog pristupa održivom razvoju društva te očuvanju ovog neprocjenjivog resursa.

2. VODNI RESURSI I DOSTUPNOST

Voda u prirodi postoji u tri agregatna stanja: tečnom, čvrstom i gasovitom. Ukupna količina vode na Zemlji procjenjuje se na približno 1.386 miliona kubnih kilometara (km³). Kada bi se ta količina ravnomjerno rasporedila po cijeloj površini Zemlje, formirao bi se vodeni omotač debljine oko 2.000 metara. Od ukupne količine vode, samo 2,5 do 3,5% čini slatka voda. Od te količine, približno 68,7% je zarobljeno u ledu i glečerima, 30,1% čini podzemna voda, dok svega 0,3% otpada na površinske vode, poput rijeka i jezera. Procjenjuje se da površinske vode u rijekama i jezerima ukupno iznose oko 93.120 km³, što predstavlja samo 0,0072% ukupne količine vode na planeti. Površinska voda je od ključnog značaja za život na Zemlji, ali i za dopunjavanje podzemnih voda kroz procese infiltracije. Količina vode u atmosferi, uglavnom u obliku vodene pare, procjenjuje se na oko 12.900 km³.

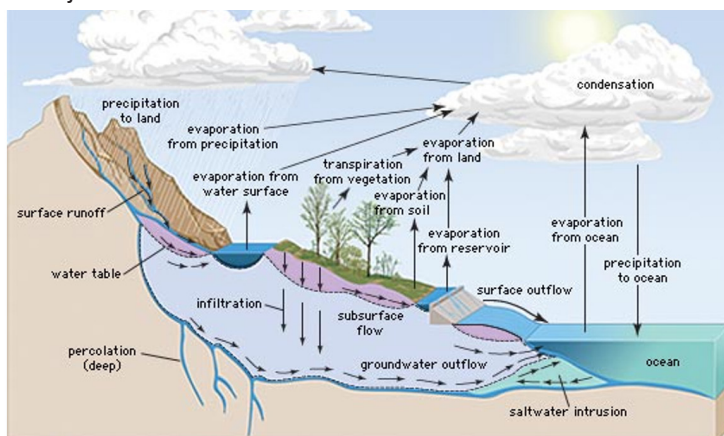
Na slici ispod je prikazana globalna distribuciju izvora slatke vode iz glečera i ledenih kapa, rijeka, jezera i močvara, kao i podzemnih voda po kontinentima, pri čemu je uočljiva, vrlo izražena, prostorna neravnomjernost.



Slika 1. Globalna distribucija svježih izvora vode iz glečera, rijeka, jezera i močvara i podzemnih izvora (GeoLounge, 2024)

Voda, u svim svojim oblicima, neprestano cirkuliše zahvaljujući utjecaju Sunčeve energije. Isparava s vodenih površina i kopna, podiže se u atmosferu u obliku vodene pare, kondenzira se u oblacima te se, pod utjecajem gravitacije, vraća na Zemljinu površinu u obliku padavina. Ovo kontinuirano kretanje vode – uključujući isparavanje, transport vlage, kondenzaciju, padavine, infiltraciju, perkolaciju, otjecanje, koncentraciju u vodenim rezervoarima i ponovno isparavanje (vidjeti sliku 2.) – ističe dinamičnu prirodu hidrološkog ciklusa.

Globalni hidrološki ciklus ne postoji kao jedinstveni, sveobuhvatni proces, već se sastoji od međusobno povezanih kontinentalnih, regionalnih i lokalnih ciklusa. Ovi ciklusi odvijaju se u amplitudi od oko 13 km – u atmosferi do visine od 12 km i u litosferi do dubine od oko 1 km. Raspodjela vode na kontinentima i unutar slivnih područja neprestano se mijenja, što se očituje kroz prostorne i vremenske varijacije. Intenzitet i povratni period hidrološkog ciklusa, osim Sunčeve energije, određuju i brojni klimatski faktori, te fizičko-geografske karakteristike određenog područja.

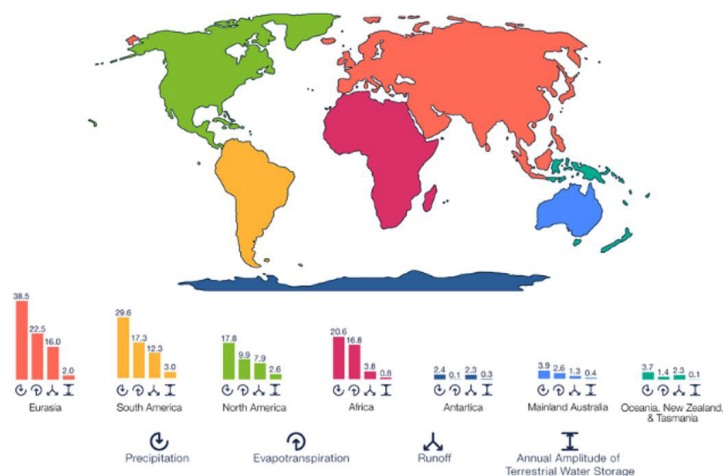


Slika 2. Glavne komponente vodenog/hidrološkog ciklusa (Sparks, 2008)

Iako je količina vode na kopnu i u atmosferi u bilo kojem trenutku relativno mala (većina vode je pohranjena u okeanima, ledu i podzemnim vodama), ogromne količine vode prolaze kroz ove sisteme tokom cijele godine. Procjenjuje se da oko 57% padavina koje padnu na kopno isparava, dok preostalih 43% formira otjecanje prema okeanima, uglavnom u obliku površinske vode. U ukupnom procesu isparavanja koji formira atmosfersku vlagu, čak 90% dolazi iz okeana, dok samo 10% potiče s kopna.

Brzina izmjene vode ovisi o njenom obliku i lokaciji – bilo da se radi o površinskim, podzemnim ili atmosferskim vodama. Dok se voda u atmosferi i na površini Zemlje izmjenjuje relativno brzo, proces u Zemljinoj kori odvija se znatno sporije, posebno u dubljim slojevima. Prema procjenama, podzemnoj vodi može biti potrebno i do 1.000 godina za jedan ciklus izmjene, dok se voda u rijekama obnavlja u roku od nekoliko mjeseci. Nasuprot tome, prosječno vrijeme izmjene vode u atmosferi iznosi samo oko 9 dana, što znači da se ovaj proces ponavlja čak 42 puta godišnje.

Na sljedećoj slici prikazane su vrijednosti padavina, evaporacije i riječnog otjecanja, zajedno s godišnjim amplitudama skladištenja vode na kopnu. Ovaj prikaz jasno ilustrira kako se količina vode na kopnu mijenja tokom godine. Prosječne godišnje padavine na planeti iznose oko 1.130 mm, ali se kreću u širokom rasponu – od pustinskih zona gotovo bez padavina do tropskih područja gdje padavine prelaze 10.000 mm.



Slika 3. Srednje godišnje vrijednosti padavina, evapotranspiracije, otjecanja i godišnje amplitude akumulacije kopnene vode (NASA, n.d.)

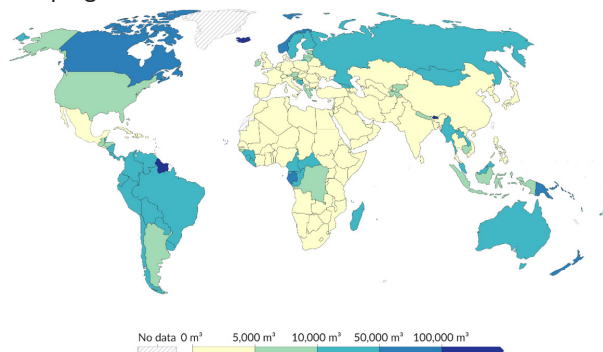
Na svom putu kroz atmosferu voda rastvara različite gasove prisutne u vazduhu, kao što su kiseonik i ugljendioksid, zatim sumporni i azotni oksidi, te skuplja čestice čađi, prašine, bakterije i druge nečistoće. Kada dođe na tlo, jedan dio padavina ostaje na površini terena, kao površinska voda, dok se jedan dio procjeđuje u tlo. Od dijela padavina koje infiltriraju u tlo, jedan dio se može javiti na površini terena, u obliku izvora na mjestima gdje to geološko-hidrogeološki uvjeti dozvoljavaju ili se može drenirati u površinske vode, dok se drugi dio kreće prema podzemnim izdanima, odnosno infiltrira dublje u podzemlje. Pri prolasku kroz različite slojeve tla do nekog vodonepropusnog sloja, voda rastvara različite soli, kao što su soli natrija, kalcija, magnezija, gvožđa i mangana, ali i neke organske materije, tako da se u prirodi nikad ne nalazi čista voda. Procenat vode koja ponire u tlo ovisi najviše o količini i intenzitetu padavina,

o poroznosti i geološkoj strukturi tla, geografskim i topološkim osobinama, vegetaciji, godišnjem dobu i vremenskim prilikama, te drugim prirodnim ili vještačkim faktorima. Čovjek svojim aktivnostima može izvršiti veliki utjecaj na režim otjecanja površinskih i podzemnih voda, na infiltraciju i evapotranspiraciju. Dakle, ljudski utjecaj se najviše osjeti upravo u toj fazi kad voda dođe u kontakt s tlom i dalje se redistribuiše kroz prirodne procese.

Ozbiljno je zabrinjavajuće da se raspoložive količine slatke vode, koje se procjenjuju na između 12.500 km³ i 14.000 km³ godišnje, brzo smanjuju zbog eksponencijalnog rasta svjetske populacije. Potencijalne raspoložive količine po stanovniku su doživjele značajan pad: sa 12.900 m³ u 1970. godini, na manje od 7.000 m³ u 2000. godini, sa predviđenim daljnjim smanjenjem na 5.100 m³ do 2025. godine. U toj će godini, prema procjenama, biti 3 milijarde ljudi u kategoriji s nedostatkom vode, odnosno imat će manje od 1.700 m³ vode po glavi na godinu (World Meteorological Organization [WMO], 1997).

Obnovljivi vodni resursi, koji predstavljaju količinu raspoloživih obnovljivih voda na godišnjem nivou, ključni su pokazatelj stanja vodnih resursa. Međutim, važno je naglasiti da su oni vremenski promjenljivi i ne odražavaju uvijek potpunu sliku ukupnog vodnog bogatstva određenog područja. Da bi se moglo sagledati vodno bogatstvo nekog područja, neophodno je izvršiti njegovu kvantifikaciju. Kvantitativno opisivanje hidrološkog ciklusa vrši se putem vodnog bilansa. Pri tome, pod vodnim bilansom se uobičajeno podrazumijeva određivanje vodnih količina koje za usvojeni vremenski period ulaze, izlaze ili se zadržavaju u nekom području. Ulazne komponente vodnog bilansa su padavine, dok su izlazne komponente isparavanje i otjecanje. Za sagledavanje vodnog bogatstva nekog područja važno je poznavati klimatske karakteristike, od kojih direktno ovise komponente vodnog bilansa.

Količina obnovljivih resursa po stanovniku zavisi od dva glavna faktora: ukupne godišnje količine obnovljivih vodnih resursa i veličine populacije. Ako se obnovljivi vodni resursi smanje — što je čest slučaj u regijama s velikim sezonskim varijacijama padavina, poput onih pod utjecajem monsunu — tada će dostupna količina vode po stanovniku također opasti. S druge strane, čak i uz konstantan nivo obnovljivih resursa, količina vode po glavi stanovnika može se smanjiti ako dođe do povećanja broja stanovnika. Slika 4. (ispod) prikazuje nivo obnovljivih slatkovodnih resursa po glavi stanovnika.



Data source: Food and Agriculture Organization of the United Nations (via World Bank) OurWorldInData.org/water-use-stress | CC BY

Slika 4. Obnovljivi slatkovodni resursi po osobi u 2020. godini (United Nations, n.d.)

Trendovi u dostupnosti vode po stanovniku u posljednjim decenijama su zabrinjavajući. Dok je 1975. godine prosječna godišnja dostupnost vode iznosila oko 13.000 kubnih metara po osobi, do 2020. ta brojka pala je na približno 6.000 kubnih metara. Ovaj značajan pad, uz

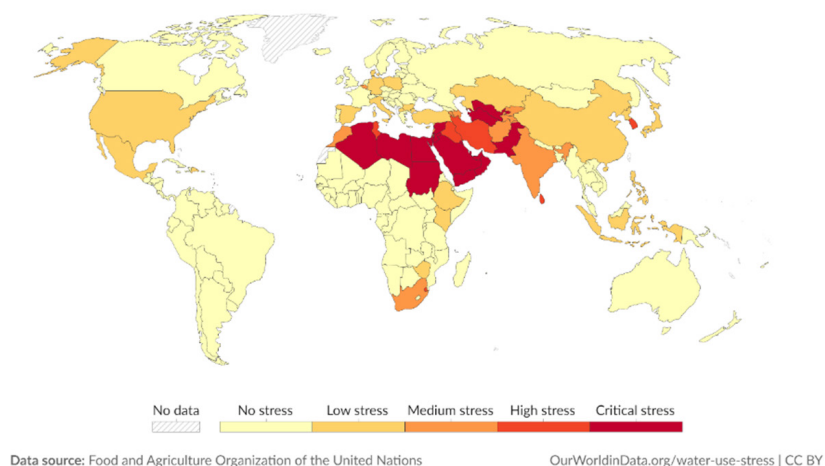
istovremeno pogoršanje kvaliteta vode, jasno ukazuje na ozbiljnost situacije i izazove koji nas očekuju. Predviđa se da će klimatske promjene dodatno pogoršati stanje, povećavajući pritisak na već ograničene vodne resurse. Istovremeno, rast globalne populacije i sve veća potražnja za vodom povećavaju rizik od nestašice, posebno u područjima s ograničenim resursima ili velikom gustoćom naseljenosti.

Vodeni stres nastaje kada potražnja za vodom premašuje dostupne resurse u određenoj regiji. Na njega utiču faktori poput količine vode po stanovniku, stope iskorištavanja resursa, zagađenja i klimatske promjene koje dodatno smanjuju dostupnost vode. Mjerenje vodenog stresa temelji se na omjeru ukupne potrošnje vode (u industriji, poljoprivredi i domaćinstvima) i raspoložive količine obnovljivih vodnih resursa na godišnjem nivou. Što je potrošnja veća u odnosu na obnovljive rezerve, to je vodeni stres izraženiji. Nedostatak vode ne znači nužno da neka zemlja nema dovoljno zaliha, već da se približava prekoračenju održivih kapaciteta. Kada povlačenje vode premaši 100% obnovljivih resursa, dolazi do prekomjerne eksploatacije vodonosnika, čime se zalihe troše brže nego što se mogu prirodno obnoviti.

Organizacija za hranu i poljoprivredu Ujedinjenih nacija (FAO) (Our World in Data, n.d.) definira nivoe nestašice vode kroz kategorije zasnovane na stopi povlačenja vode u odnosu na ukupne obnovljive resurse:

- Povlačenje manje od 25% znači da nema nestašice vode.
- Povlačenje između 25-50% ukazuje na nizak nivo stresa.
- Povlačenje od 50 do 75% predstavlja srednji nivo stresa.
- Povlačenje između 75-100% označava visok nivo stresa.
- Povlačenje koje prelazi 100% ukazuje na kritični stres, što znači da se voda koristi brže nego što se može obnoviti.

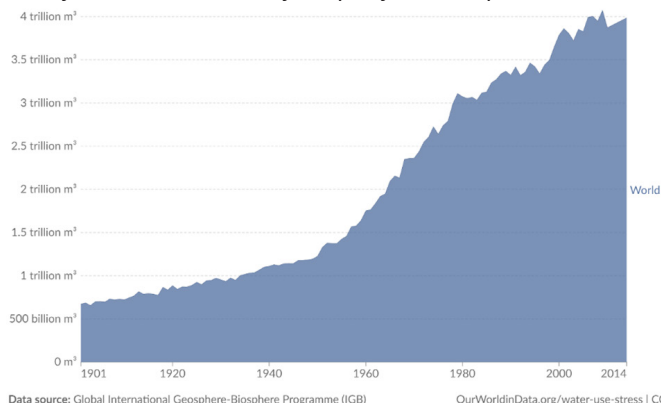
Čuvanje održivih vodnih resursa zahtijeva da stope povlačenja vode (engl. freshwater withdrawals) ostanu ispod prirodne stope obnove slatke vode. Povlačenje vode obuhvata ukupnu količinu vode korištene u poljoprivredi, industriji i domaćinstvima. Slika 5. prikazuje distribuciju povlačenja vode po sektorima i njihov ukupni utjecaj na obnovljive resurse.



*Slika 5. Povlačenje slatke vode kao udio u unutrašnjim resursima u 2020. godini
(Our World in Data, n.d.)*

Sa slike je vidljivo da područja Bliskog istoka i Sjeverne Afrike imaju izuzetno visok nivo nestašice vode.

Rastuća globalna populacija i ekonomski pomak prema obrascima potrošnje koji zahtijevaju velike resurse znače da se globalna upotreba slatke vode povećala oko šest puta od 1900. godine. Na slici 6. Vidljivo je da je količina korištenja slatke vode porasla od 1950-ih godina prošlog stoljeća, ali od početka 2000-ih bilježi se stabilizacija ili usporavanje ovog trenda. Dok se svjetska populacija utrostručila u 20. stoljeću, korištenje obnovljivih vodnih resursa povećalo se šest puta. Prognoze su da će se svjetska populacija povećati za još 40 do 50% u narednih pedeset godina. Ovaj rast stanovništva, industrijski razvoj i urbanizacija rezultirat će povećanom potražnjom za vodom i ozbiljnim posljedicama po okoliš i vodne resurse.



Slika 6. Procjena globalne upotrebe slatke vode (Hadžić, Bonacci, 2019)

Značajan rast ljudske populacije, posebno kada polovina čovječanstva već živi u urbanim područjima, kao i posljedična ekspanzija poljoprivrednih i industrijskih aktivnosti sa velikom potražnjom za vodom samo su povećali probleme dostupnosti vode, kvaliteta - i u mnogim područjima - bolesti koje se prenose vodom (Hadžiž, Bonacci, 2019). Podaci o razmjerima krčenja šuma sa naknadnom konverzijom zemljišta, erozijom tla, dezertifikacijom, urbanim širenjem, gubitkom genetičke raznolikosti, klimatskim promjenama i nesigurnošću navodnjavane proizvodnje hrane otkrivaju rastuću ozbiljnost problema.

3. UTJECAJ KLIMATSKIH PROMJENA NA HIDROLOŠKI CIKLUS

Jedan od najvažnijih i najsloženijih izazova sadašnjeg i budućih stoljeća su klimatske promjene i pronalaženje načina za ublažavanje njihovih posljedica, kao i pravovremenu prilagodbu. Čak i male promjene u klimatskim uvjetima mogu uzrokovati značajne promjene u vodnim resursima, a negativni učinci ovih promjena mogu prouzročiti nepopravljive štete. Prepoznavanje tih učinaka i razumijevanje njihovih uzroka ključno je za sprečavanje daljnjih posljedica. Istraživanje klimatskih promjena omogućava bolje sagledavanje širokog spektra problema, uključujući suše, poplave, nesigurnost u opskrbi hranom i migracije stanovništva. Klimatski modeli predviđaju da bi se vodeni ciklus mogao intenzivirati za približno 7% s porastom temperature od jednog Celzijevog stupnja. Zanimljivo je da će to imati različite učinke na vlažna i sušna područja. U vlažnim područjima može doći do povećanja padavina i povećane frekvencije poplava, dok će sušna područja postati još sušnija, što povećava rizik od suša i smanjenja resursa vode. Ograničavanje globalnog zagrijavanja je ključno za smanjenje ovih rizika. Ako uspijemo zadržati porast globalne temperature unutar 2 °C u odnosu na

predindustrijski nivo, to bi moglo pomoći u ublažavanju učinaka klimatskih promjena i smanjiti intenzitet ekstremnih vremenskih događaja poput toplinskih valova, suša i oluja. Međutim, čak i u tom scenariju, s porastom temperature od 2 °C, zbog neizbježnih dugoročnih učinaka koji će se nastaviti manifestirati čak i uz smanjenje emisija stakleničkih plinova, neki ekstremni događaji i dalje bi mogli postati češći i ozbiljniji. Ovo naglašava važnost daljnjih napora u ublažavanju klimatskih promjena. Prema izvještaju Međuvladinog panela za klimatske promjene (IPCC), čak i u takvom scenariju u kojem bi globalno zagrijavanje bilo ograničeno na 2 °C, intenzitet tih događaja mogao bi porasti za 14% (u odnosu na stanje prije industrijske revolucije).

Klimatske promjene značajno utječu na vodne resurse kroz promjene u obrascima padavina, otjecanja, nivoa mora, korištenja zemljišta i potražnje za vodom. Porast temperature zraka povećava isparavanje i smanjuje padavine u nekim regijama, što dovodi do smanjenja površinskog otjecanja ka rijekama i jezerima. Posljedica toga je smanjena dostupnost vode za ljude, poljoprivredu i ekosisteme. S druge strane, intenzivne padavine mogu izazvati poplave, uzrokujući promjene u strukturi riječnih korita, povećanu eroziju i daljnji gubitak zemljišta. Urbanizacija dodatno pogoršava situaciju, jer širenje nepropusnih površina, poput betona i asfalta, smanjuje prirodnu apsorpciju kišnice i povećava rizik od poplava. Kombinacija klimatskih promjena i urbanog širenja povećava prijetnje, izloženost i ranjivost urbanih područja na ekstremne hidrološke događaje. Povećanje temperatura i promjene u padavinama često dovode do degradacije zemljišta i erozije, smanjujući sposobnost tla da zadržava vodu. Kao posljedica, može doći do smanjenja nivoa podzemnih voda i povećanja rizika od bujičnih poplava. Degradirano tlo slabije filtrira vodu, što negativno utječe na njen kvalitet i dostupnost za ljudsku upotrebu. Porast nivoa mora, uzrokovan topljenjem polarnih ledenih kapa i termalnim širenjem okeana, može uzrokovati salinizaciju obalnih izvora slatke vode. Ovo predstavlja ozbiljan izazov za obalne zajednice i poljoprivredna područja koja ovise o slatkoj vodi iz rijeka i podzemnih izvora. Takva voda zahtijeva dodatnu obradu, dok zaslanjivanje tla smanjuje produktivnost poljoprivrednog zemljišta.

Promjene u obrascima otjecanja, također, povećavaju rizik od zagađenja vode. Obilne kiše često uzrokuju preopterećenje kanalizacijskih sistema, što dovodi do širenja patogenih mikroorganizama i smanjenja kvaliteta vode. Uz to, ekstremni vremenski događaji, poput jakih kiša ili suša, mogu uzrokovati prekid u sistemima vodosnabdijevanja. Nedovoljna dezinfekcija tokom ovih događaja dodatno zagađuje vodu, ugrožavajući ljudsko zdravlje i ekosisteme. Ekstremne vremenske prilike, također, narušavaju ekološku ravnotežu u rijekama i jezerima, smanjujući biološku raznolikost i ugrožavajući vrste koje ovise o stabilnim vodnim resursima. Smanjena dostupnost vode ima ozbiljne socioekonomske posljedice, uključujući sukobe oko vodnih resursa, migraciju stanovništva, smanjenu poljoprivrednu proizvodnju i povećanu nesigurnost hrane. Posebno osjetljive regije suočavaju se s povećanim siromaštvom i zdravstvenim rizicima, poput širenja bolesti koje se prenose vodom, uključujući koleru i malariju.

Korelacija između temperature zraka i temperature jezerske vode pokazuje linearnan trend (Fukushima et al., 2000), pri čemu zagrijavanje vrlo vjerovatno ima značajan utjecaj na jezera zbog njihovog kapaciteta skladištenja toplote. Očekuje se da će porast temperature dovesti do povećanja površinskih temperatura jezera, s najizraženijim promjenama tokom zimskih mjeseci (George et al., 2007). Ove promjene mogu utjecati na termalne slojeve jezera, smanjujući njihovu sposobnost održavanja stabilnih ekoloških uslova. Jedan od problema koji prati porast temperature je povećani transport zagađivala, uključujući amonijak, živu i

pesticide, iz površinskih i otpadnih voda u atmosferu. Ova zagađivala mogu dodatno narušiti kvalitet vode i pridonijeti stvaranju složenih ekoloških i zdravstvenih izazova u područjima koja su već osjetljiva na klimatske promjene.

Prema studijama, salinitet okeana je direktno povezan sa promjenama u globalnom hidrološkom ciklusu, a naučnici predviđaju da će se te promjene pojačati sa daljnjim zagrijavanjem Zemlje. Naime, globalno zagrijavanje uzrokuje značajnije isparavanje u toplijim područjima i povećane padavine u vlažnijim dijelovima svijeta. Kao rezultat toga, okeani postaju slaniji u suhim regijama, dok slatka voda postaje manje slana u vlažnijim regijama. U sušnim područjima, povećana temperatura vodi do većeg isparavanja vode iz oceana, što može povećati salinitet, jer voda isparava, dok soli ostaju. S druge strane, u vlažnijim područjima, povećane padavine mogu smanjiti salinitet oceana, jer padavine razrjeđuju vodu i smanjuju koncentraciju soli.

Kada je riječ o slatkim vodama, u vlažnijim regijama povećane padavine mogu dovesti do smanjenja saliniteta rijeka i jezera, jer oborinske vode razrjeđuju koncentraciju soli. U sušnim regijama, smanjenje padavina može povećati koncentraciju soli u rijekama i jezerima. Manjak padavina smanjuje i unos svježje vode. Ova dinamika je složena i ovisi o specifičnim lokalnim uvjetima.

Kao što je već naglašeno, u budućnosti se očekuju češće pojave toplotnih talasa i dugotrajnih sušnih perioda, što može rezultirati snižavanjem nivoa podzemnih voda i konsolidacijom (slijeganjem) tla. Slijeganje tla i promjene u njegovim svojstvima mogu izazvati oštećenje podzemne infrastrukture, uključujući vodovodnu mrežu. U tom smislu, nedavna istraživanja (Fisher, Knutti, 2013) uključuju model geografskog informacijskog sistema koji procjenjuje vjerovatnoću oštećenja vodovodne mreže uslijed slijeganja tla, izazvanog različitim događajima povezanim s klimatskim promjenama.

Voda je ključni resurs za energetske sektor, posebno za hidroelektrane, ali i za termoelektrane koje koriste vodu za hlađenje. Klimatske promjene, koje utječu na dostupnost vode, mogu ozbiljno ugroziti proizvodnju energije, dovesti do nestašica i povećati troškove. To može uzrokovati energetske deficite i dodatne troškove, čime se naglašava potreba za integriranim pristupom upravljanju vodnim i energetskim resursima. Snježne padavine, od vitalne važnosti za vodne resurse u planinskim regijama, sve su manje, a klimatske promjene ubrzavaju topljenje snijega, što može dovesti do nedostatka vode u periodima kada je to najpotrebnije.

4. PRILAGOĐAVANJE KLIMATSKIM PROMJENAMA

Zbog svega navedenog, od izuzetne je važnosti planirati i implementirati mjere adaptacije i mitigacije kako bi se ublažili ili izbjegli efekti klimatskih promjena na vodne resurse. Iako se ove dvije strategije razlikuju u pristupu, one se međusobno nadopunjuju. U idealnom scenariju, obje strategije se primjenjuju simultano: mitigacija smanjuje dugoročne rizike od klimatskih promjena, dok adaptacija omogućava društvima da se nose s već postojećim i neizbježnim promjenama.

Adaptacija podrazumijeva prilagodbu sistema, politika i infrastrukture kako bi se ublažili negativni utjecaji klimatskih promjena na vodne resurse i povećala otpornost na te promjene. S druge strane, mitigacija obuhvata aktivnosti koje smanjuju ili sprečavaju emisije stakleničkih plinova, čime se usporava intenzitet i opseg klimatskih promjena, a samim tim i njihov

negativan utjecaj na vodne resurse.

Smanjenje efekata klimatskih promjena na vodne resurse ključno je za očuvanje kvaliteta i dostupnosti vode. Ovo se može postići primjenom kombinacije tehničkih, upravljačkih, političkih i obrazovnih mjera.

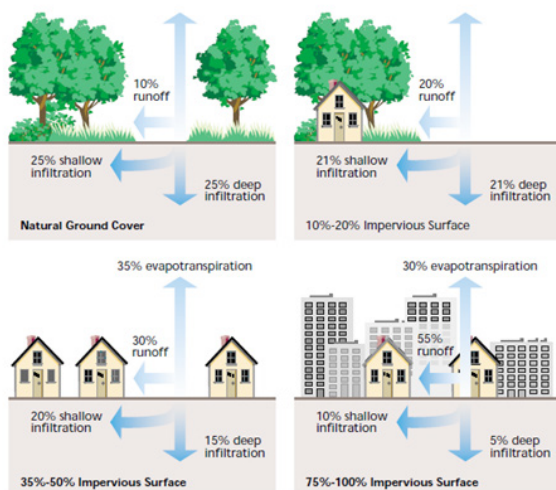
Stoga, nužno je razviti učinkovite strategije prilagodbe na posljedice klimatskih promjena koje obuhvataju naprimjer, infrastrukturu za zaštitu od poplava, prirodna rješenja (npr. zelenu infrastrukturu), kao i financijske instrumente za upravljanje rizikom od poplava, s ciljem ublažavanja njihovog utjecaja na gospodarstvo.

Kreiranje mapa opasnosti i rizika od poplava, kao i implementacija mjera za smanjenje ljudskih i materijalnih gubitaka, pokazali su se kao izuzetno efikasne strategije u smanjenju rizika od poplava. Također, uvođenje sistema ranog upozorenja za poplave omogućava pravovremeni odgovor i smanjuje štete. Korištenje zelenih krovova, propusnih površina i urbanih parkova za smanjenje otjecanja vode i poboljšanje infiltracije kišnice, također, predstavlja učinkovitu mjeru za ublažavanje poplava. Korištenje GIS-a i drugih pametnih tehnologija u upravljanju vodnim resursima smatraju se ključnim za dalji napredak u ovoj oblasti (Hadžić, Bonacci, 2019).

5. GRADOVI I URBANE POPLAVE

Ukupna urbana područja u Evropi izložena poplavama povećala su se za 1000% u posljednjih 150 godina (Bonacci, 1996a). Također, ukupni ekonomski gubici prijavljeni u zemljama članicama Evropskog ekonomskog prostora (EEA) uslijed ekstremnih vremenskih prilika od 1980. do 2017. godine dosežu oko 453 milijarde eura.

Širenje urbanih područja rezultira promjenom prirodnih hidroloških karakteristika zemljišta, tj. udio nepropusnih površina se povećava u odnosu na stanje prije urbanizacije, a dio vode koji prodire u zemlju se smanjuje, što u konačnici dovodi do povećanja površinskog otjecanja kojim treba upravljati (Hadžić et al., 2017).



Slika 7. Promjene u otjecanju na prirodnim i urbaniziranim slivnim područjima (Bernard and Tuttle, 2015)

Slika 7. prikazuje usporedbu tipičnih promjena u rasporedu otjecanja za urbano područje i područje s prirodnim pokrivačem. U urbanim sredinama, gdje je oko 75-100% površine nepropusno, približno 55% ukupnih padavina završava kao površinsko otjecanje, 30% isparava, a samo 15% se infiltrira u tlo. U prirodnom stanju površine, samo 10% padavina formira otjecanje, 40% se vraća u atmosferu kroz evapotranspiraciju, dok 50% infiltrira u tlo. Procjenjuje se da površina jednog gradskog bloka generira pet puta više otjecanja nego identična površina šumskog područja. Analize su pokazale da povećanje nepropusnih površina za 30% dovodi do dvostrukog povećanja poplava 100-godišnjeg povratnog perioda (Giddings et al., 2002). Promjene u korištenju zemljišta zbog urbanizacije izazivaju značajne promjene u volumenu i protoku oborinskih voda.

Pristup upravljanju poplavama značajno se promijenio u posljednjim decenijama, naročito nakon usvajanja Okvirne direktive o vodama (WFD, 2000) i Direktive o poplavama (FD, 2007). Prepoznato je da, unutar ekonomski realnih granica, nije moguće potpuno osigurati zaštitu od poplava. Pristup koji je bio fokusiran na pokušaj potpune kontrole, poznat kao "odbrana od poplava", zamijenjen je pristupom temeljenim na analizi troškova i rizika od poplava, uz mnogo bolju pripremu i upravljanje u kriznim situacijama.

Razvoj naprednih tehnologija, ICT sektora i sofisticiranih računarskih modela za predviđanje poplava značajno je doprinio podizanju svijesti šire javnosti o mogućim opasnostima. Ove tehnologije povećavaju razumijevanje uloge koju svaki pojedinac ili zajednica mogu imati u jačanju kapaciteta za ublažavanje rizika i smanjenje posljedica poplava. Ovakav pristup pomaže u animiranju zajednice i stvaranju proaktivnog stava prema prevenciji, čime se doprinosi sigurnijoj budućnosti za sve.

Integrirano upravljanje poplavama, u sklopu integriranog upravljanja urbanim vodama, od suštinske je važnosti kako bi trebalo da se složeni procesi povezani sa poplavama sinergetski rješavaju. Međutim, integracija zahtijeva potpuni, holistički pristup koji počinje s pravilnim političkim odlukama i strategijama. To uključuje institucionalne promjene, prilagodbe u financiranju, izmjene u zakonodavstvu, napredak u znanstvenom razumijevanju i tehnologijama, kao i kontinuirani napredak u inovacijama. Također, od ključne je važnosti imati društvene sisteme koji su sposobni prihvatiti ove promjene.

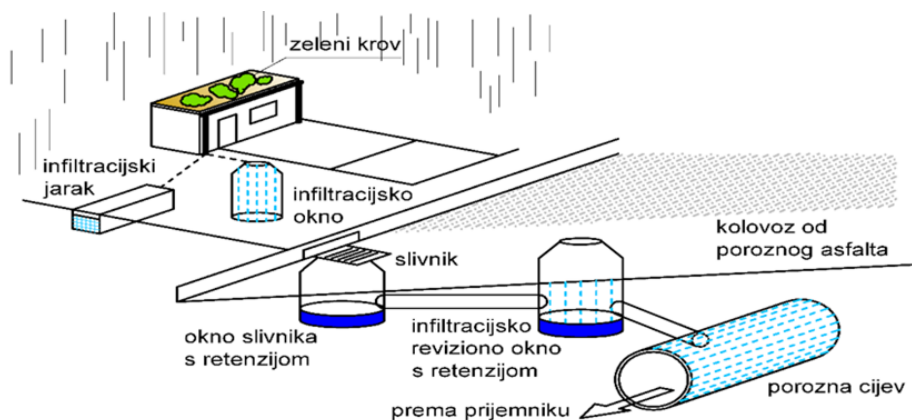
S integralnim pristupom, važno je uključiti različite profesije kako bi se definirala najbolja moguća rješenja. Pored stručnjaka za hidrotehniku, neophodno je angažirati prostorne planere, urbanističke stručnjake, arhitekte, agronome, hortikulturiste, hidrogeologe, stručnjake za transport, okoliš, sanitarno inženjerstvo i mnoge druge (Delpla et al., 2009).

6. NOVI PRISTUP UPRAVLJANJU VODAMA - SMANJENJE URBANIH POPLAVA

Novi pristupi upravljanja urbanim vodama, koji su se donekle razvili i kao odgovor na klimatske promjene, uključuju „veće poštivanje“ prirodnih zakonitosti, tj. vraćanje prirodnom hidrološkom ciklusu kroz rješenja iz prirode. Cilj je oponašanje prirodnog hidrološkog režima određenog područja, na način da se u što većoj mjeri oborinske vode zadrže na slivnom području, da se smanji otjecanje, poveća infiltracija, što rezultira smanjenjem vodnog vala i smanjenjem ukupnih količina oborinske vode, uz ostvarivanje dodatnih okolišnih, ekonomskih i kulturnih koristi. Odvodnja vode se treba planirati i projektirati prateći prirodni način otjecanja, ravnomjernim usmjeravanjem na decentralizirane mikro-sisteme odvodnje, odnosno koristeći se tehnikama projektiranja koje predviđaju retencioniranje, infiltraciju u

podzemlje, evaporaciju i filtraciju. Ovakva “zelena” tehnička rješenja podrazumijevaju gradnju zatravljenih kanala, akumulacijskih i retencijskih laguna, infiltracijskih kanala, bioretencija, podzemnih retencija, kišnih spremnika, kišnih vrtova, zelenih krovova, zelenih zidova i drugih sličnih objekata.

Uvođenjem elemenata zelene infrastrukture u konvencionalne sisteme razvijeni su novi integralni pristupi upravljanju vodama u urbanim područjima, poznati kao ‘održivi sistemi urbane odvodnje oborinskih voda’ (engl. *Sustainable Urban Drainage Systems - SUDS*). Ovi sistemi se u literaturi također nazivaju ‘najboljim praksama upravljanja oborinskim vodama’ (engl. *Runoff Best Management Practices*), ‘urbanim razvojem smanjenog negativnog utjecaja na vodni režim i okoliš’ (engl. *Low-Impact Development – LID*) ili ‘urbanom odvodnjom osjetljivom na vodne resurse’ (engl. *Water-Sensitive Urban Design – WSUD*) (Hadžić et al., 2017). U ovim sistemima upravljanja oborinskim vodama koriste se objekti koji imaju za cilj ublažavanje maksimuma i produženje vremena koncentracije otjecanja (vidi sliku 8.), a istovremeno služe i za tretman zagađenja oborinskih voda (United Nations, n.d.). Stoga, ovi pristupi omogućavaju kontrolu i količine i kvaliteta vode, kako na izvoru tako i na mjestu ispuštanja.



Slika 8. Osnovni elementi modernog sistema upravljanja oborinskim vodama u urbanim područjima (Despotović, 2009)

Osnovni cilj novih pristupa u upravljanju oborinskim vodama je primjena objekata/ elemenata koji usporavaju i tretiraju površinsko otjecanje na izvoru, prije nego što ono doprije u kanalizacijski system (Despotović, 2009). Time se nastoji zadržati oborinsku vodu izvan kanalizacijskog sistema, smanjujući plavljenja i količine “netretirane” oborinske vode koja se ispušta u površinske vode. Korištenjem ovih sistema, putem mehaničkih i bioloških mehanizama, obezbjeđuje se kontrola proticaja, zadržavanje, filtracija, infiltracija i tretman voda (slika 8.). Ovi postupci mogu se uspješno primijeniti kako u novoprojektiranim, tako i u postojećim sistemima odvodnje oborinskih voda. U Evropi i širom svijeta, na nacionalnim i lokalnim razinama, kontinuirano se pokreću programi čiji je cilj implementacija tzv. ‘zelenih infrastrukture’ u kombinaciji s konvencionalnim sistemima odvodnje vode u urbanim sredinama. Ovaj pristup ima za cilj postizanje dodatnih koristi, uključujući efikasniju zaštitu okoliša i ljudskog zdravlja, poboljšanje uređenja okoliša, povećanje životnog standarda i stvaranje novih poduzetničkih mogućnosti u zelenom sektoru (Despotović, 2009).

Iako još uvijek nije dokazano prema rigoroznim znanstvenim standardima, povećanje

empirijskih dokaza upućuje na ubrzanje hidrološkog ciklusa, pri čemu količina vode u određenom vremenskom periodu ostaje ista. Ako je ova hipoteza o ubrzanju tačna, mogla bi dovesti do povećanja učestalosti i obima poplava. S druge strane, zakoni kontinuiteta upućuju na to da će se intenzitet i trajanje suša također povećati. Ovi povećani rizici vjerojatno će imati ozbiljan utjecaj na regionalne ekosisteme i društvene strukture.

7. ZAKLJUČAK

Antropogeni utjecaji na hidrološki ciklus imaju brojne i kompleksne posljedice koje zahtijevaju integrirani pristup upravljanju vodnim resursima. Ovaj pristup uključuje zaštitu i obnovu prirodnih staništa, održivo upravljanje vodama, smanjenje zagađenja, te prilagodbu klimatskim promjenama. Razumijevanje i ublažavanje tih utjecaja od esencijalne su važnosti za osiguranje održivih i zdravih vodnih resursa za buduće generacije.

Posljedice antropogenog utjecaja na hidrološki ciklus mogu biti dalekosežne i složene, uključujući promjene u količini i kvalitetu vode, utjecaje na ekosisteme te socioekonomske posljedice. Prekomjerno korištenje podzemnih voda za poljoprivredu, industriju i urbane potrebe može dovesti do iscrpljivanja akvifera, što smanjuje dostupnost vode za buduće generacije. Izgradnja brana i preusmjeravanje rijeka mogu značajno promijeniti prirodne tokove, utječući na protok vode nizvodno i na ekosisteme koji ovise o tim vodama.

Urbanizacija i poljoprivreda mogu smanjiti infiltraciju vode u tlo, čime se smanjuje prihranjivanje podzemnih rezervoara i povećava površinsko otjecanje. Korištenje pesticida i đubriva u poljoprivredi, industrijski otpad te neadekvatno tretiranje otpadnih voda značajno doprinose zagađenju rijeka, jezera i podzemnih voda. Zagađenje može uključivati teške metale, organske zagađivače, nutrijente (kao što su nitrati i fosfati) i patogene. Prekomjerno unošenje nutrijenata iz poljoprivrednih i urbanih izvora može uzrokovati eutrofikaciju vodenih tijela, što dovodi do prekomjernog rasta algi, smanjenja nivoa kisika u vodi i uginuća vodenih organizama.

Promjene u hidrološkom ciklusu mogu povećati učestalost i intenzitet ekstremnih vremenskih događaja, poput poplava i suša, što može izazvati štete na imovini, poljoprivredne gubitke i povećati troškove za obnovu i prilagodbu. S obzirom na promjene u količini i kvalitetu vode, dolazi do uništavanja staništa, čime je ugrožen opstanak mnogih biljnih i životinjskih vrsta. Također, fragmentacija riječnih tokova zbog izgradnje brana i barijera može ometati migraciju riba i drugih vodenih organizama.

Prilagodba klimatskim promjenama podrazumijeva provedbu niza aktivnosti i mjera usmjerenih na smanjenje ranjivosti prirodnih i društvenih sistema na klimatske promjene, povećanje njihove sposobnosti oporavka nakon tih učinaka, te iskorištavanje potencijalnih pozitivnih efekata koji također mogu nastati uslijed tih promjena. Postoji niz strukturnih i nestrukturnih mjera koje mogu doprinijeti boljoj prilagodbi i ublažavanju negativnih efekata klimatskih promjena na vodne resurse. Međutim, jasno je da ćemo u budućnosti morati uložiti znatno veće napore i djelovati zajednički kako bismo osigurali održivu zaštitu voda i upravljanje njima.

LITERATURA

1. Bates, B., Kundzewicz, Z. W., Wu, S., & Palutikof, J. (2008). *Climate change and water: Technical paper of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. IPCC Secretariat.
2. Beven, K. J. (2011). *Rainfall-runoff modelling: The primer*. John Wiley & Sons.
3. Bernard, J. M., & Tuttle, R. W. (2015). *Stream corridor restoration: Principles, processes, and practices*. CreateSpace Independent Publishing Platform.
4. Bonacci, O. (1996a). *Poplave*. Hrvatska vodoprivreda, III(21-22), 31-38.
5. Bonacci, O. (1996c). Višeznačnost koncepta održivog razvoja sa osvrtom na gospodarenje vodom. *Hrvatske vode*, 4(17), 281-301.
6. Bonacci, O. (2003). Sukob i/ili saradnja u prekograničnom upravljanju krškim resursima podzemnih voda. IHPVI Technical Documents in Hydrology, PC-CP Series No. 31, 88-98.
7. Delpla, I., Jung, A. V., Baures, E., Clement, M., & Thomas, O. (2009). Impacts of climate change on surface water quality in relation to drinking water production. *Environment International*, 35(8), 1225-1233.
8. Despotović, J. (2009). *Kanalisanje kišnih voda*. Univerzitet u Beogradu, Građevinski fakultet.
9. Durack, P. J., Wijffels, S. E., & Matear, R. J. (2012). Ocean salinities reveal strong global water cycle intensification during 1950 to 2000. *Science*, 336(6080), 455-458. <https://doi.org/10.1126/science.1212222>
10. Đorđević, B. (1990). *Vodoprivredni sistemi*. Naučna knjiga.
11. FAR. (1992). *Climate change: The supplementary report to the IPCC scientific assessment* (J. T. Houghton, B. A. Callander, & S. K. Varney, Eds.). Cambridge University Press.
12. Fischer, E. M., & Knutti, R. (2013). Robust projections of combined humidity and temperature extremes. *Nature Climate Change*, 3, 126-130.
13. Fukushima, T., Ozaki, N., Kaminishi, H., Harasawa, H., & Matsushige, K. (2000). Forecasting the changes in lake water quality in response to climate changes, using past relationships between meteorological conditions and water quality. *Hydrological Processes*, 14(3), 593-604.
14. GeoLounge. (2024, August 25). *Water on Earth*. <https://www.geolounge.com/water-earth/>
15. George, G., Hurley, M., & Hewitt, D. (2007). The impact of climate change on the physical characteristics of the larger lakes in the English Lake District. *Freshwater Biology*, 52(9), 1647-1666.
16. Gereš, D. (2004). Kruženje vode na zemlji. *Građevinar*, 56(6), 355-365.
17. Giddings, B., Hopwood, B., & O'Brien, G. (2002). Okoliš, ekonomija i društvo: Uklapanje zajedno u održivi razvoj. *Sustainable Development*, 10(4), 187-196.
18. Hadžić, E., & Bonacci, O. (2019). Okolišno prihvatljivo upravljanje vodotocima. Univerzitet u Sarajevu, Građevinski fakultet.
19. Hadžić, E., Drešković, N. (2014). Analiza uticaja temperaturnih i padavinskih oscilacija na riječne protoke u sarajevskoj kotlini. *Vodoprivreda*, 46, 267-272.
20. Hadžić, E., Milišić, H., & Mulaomerović-Šeta, A. (2017). *Zaštita voda u urbanim sredinama*. 4. Međunarodna akademska konferencija, Mjesta i tehnologije, Sarajevo.
21. Henshaw, P. C., Charlson, R. J., & Burges, S. J. (2000). 6-Water and the hydrosphere. In M. C. Jacobson, R. J. Charlson, H. Rodhe, & G. H. Orians (Eds.), *International geophysics*, vol. 72 (pp. 109-131). Academic Press.
22. NASA. (n.d.). *NASA balances water budget with new estimates of liquid assets*. <https://www.nasa.gov/feature/goddard/nasa-balances-water-budget-with-new-estimates-of-liquid-assets>
23. Our World in Data. (n.d.). *Water use stress*. <https://ourworldindata.org/water-use-stress#all-charts>
24. Our World in Data. (n.d.). *Global freshwater use over the long run*. <https://ourworldindata.org/grapher/global-freshwater-use-over-the-long-run>
25. Plavšić, J. (2001). *Urbana hidrologija-skripta*. Građevinski fakultet u Beogradu.
26. Sparks, K. J. (2008). *Encyclopaedia Britannica* (ISSN 0068-1156, ISBN 159339425X).
27. United Nations. (n.d.). *Metadata for sustainable development goals*. <https://unstats.un.org/sdgs/metadata/files/>
28. World Meteorological Organization (WMO). (1997). *Comprehensive assessment of the freshwater resources of the world* (p. 9). WMO.

Klimatske promjene i šumski resursi

Mersudin Avdibegović

Sažetak: Pokrivajući oko 63% državne teritorije, šume predstavljaju važan prirodni resurs Bosne i Hercegovine koji osigurava različite ekološke, društvene i ekonomske koristi. Uloga šuma u očuvanju bioraznolikosti, ublažavanju klimatskih ekstrema i osiguravanju stabilnosti vodnog i zemljišnog režima je nemjerljiva. U ovom radu su prikazani osnovni podaci o šumskim resursima, sektoru šumarstva i održivom gospodarenju šumama, kako bi se ukazalo na složenost interakcije između šumskih ekosistema i klimatskih promjena. U kontekstu prilagođavanja i ublažavanja klimatskih promjena, prikazani su neki ključni utjecaji klimatskih promjena na šumske ekosisteme (prirodne migracije i projekcije areala za pojedine vrste drveća uzrokovane klimatskim promjenama, promjene u šumskim ekosistemima, dinamici rasta i obrascima produktivnosti, politički, ekonomski i institucionalni aspekti klimatskih promjena u sektoru šumarstva i zaštite prirode itd.), ali i uloga šumskih ekosistema u regulaciji klimatskih procesa. Posebno se raspravlja o dva važna aspekta interakcije šuma i klimatskih promjena u Bosni i Hercegovini: šumskim požarima i ulozi šuma u kruženju ugljenika, uključujući potencijale šumske biomase za proizvodnju energije. Klimatske promjene snažno utječu na dinamiku šumskih ekosistema i to se mora uzeti u obzir pri razvoju učinkovitih politika za očuvanje i održivo gospodarenje šumskim resursima. Razumijevanje važnosti šumskih resursa u borbi protiv klimatskih promjena može pomoći u prepoznavanju stabilnosti šumskih ekosistema kao važnog preduslova za postizanje uravnoteženog gospodarskog razvoja i dobrobiti ljudi.

Ključne riječi: šumarstvo, klimatske promjene, održivo gospodarenje šumskim resursima, šumski požari, šumska biomasa za energiju

1. PRIKAZ STANJA ŠUMSKIH RESURSA I SEKTORA ŠUMARSTVA U BOSNI I HERCEGOVINI I NA GLOBALNOM PLANU

Trajna i neraskidiva povezanost između čovjeka i šume se na najbolji način ogleda u stavovima italijanskog filozofa Vika (Giambattista Vico), koji je u svom djelu *Scienza Nuova* iz 1725. godine tvrdio da su u *“poretku razvoja ljudskih institucija prvo nastale šume, zatim kolibe, pa sela, gradovi i na kraju akademije”* (Harrison, 1992). Šuma je oduvijek fascinirala čovjeka, kako u sferi racionalnog tako i u sferi njegovog emocionalnog postojanja i djelovanja. Američki prirodnjak Mur (John Muir) je govorio da *“u šumu odlazi da izgubi razum i pronađe svoju dušu”*, dok je za Hesea (Hermann Hesse) drveće predstavljalo *“utočište, od kojeg se može naučiti istina, ako se ono zna slušati i ako mu se zna govoriti”* (Quoteambition, 2022). Zastupljenost različitih vrsta drveća, grmlja i prizemne flore, kompleksna struktura i dinamika šume, te usklađenost složenih odnosa između biljaka, životinja i drugih oblika života koji obitavaju u šumskim ekosistemima, čine šumu prirodnim fenomenom prikladnim za uspostavljanje analogije s individualnim i kolektivnim životom čovjeka. Šumski ekosistemi su jedinstven prirodni fenomen na planeti Zemlji koji ljudima kontinuirano i trajno osigurava mnogobrojne koristi materijalnog i nematerijalnog karaktera. FAO prepoznaje tri ključne funkcije šumskih ekosistema: (i) Socijalne funkcije (rekreacija, turizam, obrazovanje, umjetnost, spiritualno-duhovni aspekti itd.), (ii) Proizvodne funkcije (snabdijevanje drvetom i mnogobrojnim ostalim proizvodima šume) i (iii) Ekološke funkcije (zaštita biološkog diverziteta, osiguranje stabilnosti režima zemljišta, zraka i vode, skladištenje ugljenika, ublažavanje i reguliranje klimatskih ekstrema itd.). Kroz historiju je postojala stalna interakcija između čovjeka i šume, a promjenjivi zahtjevi društva u odnosu na šumske resurse dobro oslikavaju evoluciju tih odnosa, koja se danas odražava u paradigmatškoj promjeni od ekonomsko-proizvodnih ka ekološko-socijalnim koristima i funkcijama šumskih ekosistema.

Uz hidrološke potencijale i mineralno-rudna bogatstva, šume predstavljaju jedan od najvažnijih prirodnih resursa Bosne i Hercegovine, kao pretežno brdsko-planinske države. Zbog svoje očuvane prirodnosti i pretežno mješovite strukture (miješane lišćarske i četinarske vrste drveća), kao i značajnih potencijala za prirodno podmlađivanje, šume predstavljaju strateški resurs za razvoj Bosne i Hercegovine. S obzirom na njihov specifičan geografski položaj u smislu različitih klimatskih utjecaja (mediteranska, submediteranska i umjereno kontinentalna klimatska zona), šume Bosne i Hercegovine imaju visok stepen biodiverziteta i osiguravaju mnogobrojne ekološke, socijalne i ekonomske ekosistemске usluge (koristi od šumskih ekosistema). Glavne vrste drveća su bukva, jela i smrča, a pored njih su zastupljene i razne vrste borova (najviše bijeli i crni bor), hrastova (najviše kitnjak i lužnjak), plemenitih lišćara (javor, brijest i jasen), šumskih voćkarica (divlja trešnja, divlja jabuka i divlja kruška), te mnoge druge vrste lišćarskog i četinarskog drveća i grmlja. Diverzitet šumskih ekosistema u Bosni i Hercegovini (mješovitih, lišćarskih i četinarskih) je prikazan na slici 1.



Prema podacima Druge državne inventure šuma, koja je provedena u periodu 2006.-2009. godine, šume i šumsko zemljište u Bosni i Hercegovini obuhvataju površinu od preko 3,2 miliona ha, što predstavlja oko 63% ukupne površine države. Ovi podaci svrstavaju Bosnu i Hercegovinu u evropski vrh kada je u pitanju procenat šumovitosti. Međutim, ovaj podatak je potrebno posmatrati u kontekstu sveukupnih površina pod šumom i distribucije šumskih ekosistema na globalnom planu. Sa ukupnom površinom od preko 160 miliona ha šuma u državama članicama EU-a i prosječnom šumovitošću od oko 40%, na šume EU-a otpada samo 4% svjetskih šuma, tako da šume BiH participiraju u ukupnoj površini svjetskih šuma sa minornim udjelom. U smislu površine pod šumom, "veliki igrači" svjetskog šumarstva su države sa velikom teritorijom, tako da na 5 država (Rusija, Kanada, Brazil, SAD i Kina) otpada preko 55% svjetskih šuma. Ako se tome još pridodaju Indija, pojedine velike afričke, azijske,

južnoameričke, pa i skandinavske države (npr. Švedska i Finska zajedno imaju oko 50 miliona ha šume) sa svojim ogromnim šumskim resursima, onda je jasno da Bosna i Hercegovina na globalnom tržištu proizvoda šumarstva ne igra značajnu ulogu, kako se to ponekad prezentira u domaćoj javnosti. S druge strane, šume Bosne i Hercegovine su važne za njene stanovnike, kako zbog ekonomskih, možda još više zbog ekološko-socijalnih koristi koje nam one osiguravaju. Mi nemamo drugih šuma osim naših, bosanskohercegovačkih šuma, i zato su nam one izuzetno važne. Osim toga, ne treba zanemariti ni činjenicu da Bosna i Hercegovina, površinski pomatrano, ima više šume od ostalih susjednih država, što predstavlja važan preduslov za postizanje i očuvanje regionalne leaderske pozicije u sektoru šumarstva, drvne industrije i zaštite prirode.

Kada je u pitanju vlasnička struktura, općenito se smatra da u BiH dominiraju šume u državnom vlasništvu (oko 80%), a da je samo 20% šuma u vlasništvu privatnih lica (za razliku od većine država zapadne Evrope u kojima dominara privatni šumoposjed). Taj odnos je u poslednjih nekoliko decenija značajno promijenjen u korist privatnih šuma, odnosno novih šuma koje su spontano nastale na napuštenom i zapuštenom privatnom poljoprivrednom zemljištu, posebno u ruralnim područjima. U kontekstu promjene namjene zemljišta, može se govoriti o generalnom povećanju površina pod šumama u Bosni i Hercegovini, što je u skladu sa evropskim rastućim trendovima, za razliku od svjetskog prosjeka gdje se površine pod šumom stalno smanjuju. Privatne šume u BiH su u velikom broju slučajeva površinski male, fragmentirane su na više posjedovnih čestica i često se radi o izdanačkim šumama, tako da njihov kvalitet u prosjeku zaostaje za kvalitetom šuma u državnom vlasništvu. Podaci o šumskim resursima u Bosni i Hercegovini (na osnovu podataka iz Druge državne inventure šuma realizirane u periodu 2006.-2009. godine) su objavljeni u studiji FIRMA (USAID, 2012) i prikazani su u Tabeli 1.

Tabela 1. Struktura šuma i šumskog zemljišta u Bosni i Hercegovini

Vegetacijski oblik	Površina šuma				Nepristupačne šume	Ukupno
	Proizvodne šume	Neproizvodne šume	Zaštitne šume	Šume posebne namjene		
	Ha	Ha	Ha	Ha	Ha	Ha
Visoke šume	1.329.500	46.300	5.200	8.800	262.600	1.652.400
Izdanačke šume	843.200	158.700	1.600	2.400	246.300	1.252.200
Šikare	52.700	41.100	0	100	36.700	130.600
Šumske goleti	55.700	88.400	800	3.400	38.900	187.200
Ostale nešumske površ.	3.300	3.100	0	100	2.600	9.100
Ukupno	2.284.400	337.600	7.600	14.800	587.100	3.231.500

U odnosu na Prvu državnu inventuru šuma iz 1960-tih godina (kada je utvrđena ukupna površina pod šumom i šumskim zemljištem od 2,734 miliona hektara) došlo je do značajnog povećanja površine pod šumom. Glavne razloge ovih promjena treba tražiti u metodološkim razlikama između Prve i Druge inventure šuma i faktičkom povećanju površina pod šumom usljed pošumljavanja (manjim dijelom) i prirodne sukcesije šume, najčešće na napuštenom poljoprivrednom zemljištu u prethodnih 30-ak godina (većim dijelom). Isti izvor (USAID, 2012) navodi da ukupni šumski fond (zaliha drvene mase) u dostupnim šumama BiH iznosi 435 miliona m³, odnosno prosječno 201 m³/ha. Zalihe su veće u visokim (prosječno 266 m³/ha) nego u izdanačkim šumama (prosječno 97 m³/ha), kao i u državnim (prosječno 228 m³/ha) u odnosu na privatne šume (143 m³/ha). Također su utvrđene i zalihe biomase (cca 398 miliona tona) i uskladištenog kabona (cca 187 miliona tona) u šumama BiH. Podatke o zalihi biomase i uskladištenog karbona potrebno je uzeti sa rezervom zbog metodoloških ograničenja Druge državne inventure šuma.

Koristi (usluge, funkcije) koje čovjek ima od šumskih ekosistema su mnogobrojne i po FAO-u se mogu svrstati u tri velike grupe: ekološke (zaštita biološkog diverziteta, zemljišta i voda, skladištenje ugljenika, ublažavanje klimatskih ekstrema itd.), socijalne (rekreacija, obrazovanje, umjetnost, duhovno i kulturno nasljeđe itd.) i ekonomske (snabdijevanje drvetom i drugim proizvodima šumarstva). Trenutno 1,7 milijardi ljudi u svijetu, najčešće u ruralnim područjima, na direktan način ovisi o šumskim resursima. Kada su u pitanju ekonomsko-socijalne funkcije šuma u BiH, one se prvenstveno ogledaju u osiguranju radnih mjesta i obezbjeđenju sirovine za različite grane prerađivačke industrije. Prema podacima nadležnih statističkih agencija (Federalni zavod za statistiku, 2021; Republički zavod za statistiku RS, 2021), u sektoru šumarstva Bosne i Hercegovine je u 2020. godini bilo preko 10.000 uposlenika (5.224 u Federaciji BiH i 4.849 u RS-u). Na šumarstvo se, po logici ekonomske povezanosti, naslanja izvozno orijentirana domaća drvoprerađivačka industrija, tako da ove dvije grane privrede trenutno zapošljavaju preko 22.000 ljudi. O nekadašnjoj razvijenosti drvene industrije u BiH govore i podaci da je 1992. godine drvena industrija učestvovala sa 10% u BDP (3 milijarde US dolara) i sa 11% u ukupnoj vrijednosti izvoza bh. privrede. U tom periodu je drveni kompleks (šumarstvo i drvoprerađivačka industrija) upošljavao oko 90.000 radnika (18% radnika u ukupnoj industriji i rudarstvu BiH). Šumarstvo i drvena industrija su bili pokretači razvoja i poslijeratne obnove Bosne i Hercegovine. Već 2015. godine je učešće sektora drvene industrije u strukturi ukupne industrijske proizvodnje Federacije BiH iznosilo 8,1% (prerada i proizvodnja proizvoda od drveta 2,8%, namještaj 2,9%, papir/celuloza 2,4%) sa značajnim suficitom (u 2015. godini je izvoz domaće drvene industrije iznosio 625 miliona KM, a uvoz 177 miliona KM). Navedeni pokazatelji dobijaju još više na važnosti, ako se zna da šumarstvo, skupa s drvnom industrijom, poljoprivredom i rudarstvom, predstavlja osnovni izvor egzistencije za većinu lokalnog stanovništva u ruralnim područjima. Mogućnost diverzifikacije u sektoru šumarstva (korištenje gljiva, ljekobilja i šumskih plodova, razvoj lovne privrede i ekoturizma, proizvodnja energije iz šumske biomase itd.), pored već postojećih radnih mjesta, predstavljaju solidnu pretpostavku za dalji razvoj i ekonomski rast.

Što se tiče ekoloških funkcija, nemjerljiva je uloga šuma u očuvanju biodiverziteta, ublažavanju klimatskih ekstrema i osiguranju stabilnosti režima vode i zemljišta. Poznato je da 80% svih kopnenih vrsta na planeti živi u šumskim ekosistemima. Kao država sa relativno malom površinom, Bosna i Hercegovina ima bogat i očuvan biodiverzitet, na što ukazuje više od 5.000 vrsta i podvrsta vaskularnih biljaka, više od 100 vrsta riba i preko 320 vrsta ptica. Na osnovu procjena nastalih prilikom kreiranja preliminarne liste vrsta za Crvenu knjigu, i uz poštivanje IUCN kategorizacije, utvrđeno je da preko 600 vrsta i podvrsta flore

BiH pripada nekom od stepena ugroženosti (Federalno Ministarstvo okoliša i turizma, 2009). Također je utvrđeno da se 30% ukupne endemske flore Balkana (1.800 vrsta) nalazi u Bosni i Hercegovini (NEAP, 2003). Po podacima Procjene stanja prirode i upravljanja prirodnim resursima, u Bosni i Hercegovini je identificirano preko 90 vrsta sisara, preko 6.000 vrsta i podvrsta beskičmenjaka, preko 70 vrsta i podvrsta gmizavaca, preko 600 vrsta lišajeva i preko 500 vrsta gljiva (Barudanović i dr. 2024). Svi ovi podaci potvrđuju regionalni značaj Bosne i Hercegovine, kada je u pitanju bogatstvo biodiverziteta, koje je vrlo često povezano sa potojanjem prirodnih šumskih ekosistema. Stoga se sa punom opravdanošću može tvrditi da je Bosna i Hercegovina zemlja šuma i biološkog diverziteta. Općekorisna ekološka uloga šumskih ekosistema u osiguranju pitke vode je izuzetno važna. Po nekim projekcijama bi do 2050. godine svaka četvrta osoba na planeti mogla biti pogođena stalnom nestašicom vode (Podrška pripremi za implementaciju Ciljeva održivog razvoja i angažiranje privatnog sektora, 2022). U tom smislu je važno podsticati pionirska istraživanja koja se odnose na modalitete plaćanja doprinosa šumskih ekosistema za osiguranje pitke vode u zemljama regiona (Vuletić i dr. 2020). Konačno, poznato je da degradacija i nestanak šuma po pravilu prethode eroziji zemljišta, pojavi bujičnih tokova i nestanku izvorišta pitke vode, što se dodatno komplikuje sve izraženijim klimatskim ekstremima. Poplave, koje su 2014. godine pogodile neke dijelove Bosne i Hercegovine, upozoravaju nas da još uvijek nedovoljno razumijemo i cijenimo ekološke funkcije šumskih ekosistema, posebno one koje se odnose na osiguranje stabilnosti režima vode i zemljišta.

2. ODRŽIVO GOSPODARENJE ŠUMSKIM RESURSIMA, CILJEVI ODRŽIVOG RAZVOJA I ISTRAŽIVANJA U KONTEKSTU INTERAKCIJE ŠUMA-KLIMA

U konceptu održivog gospodarenja šumskim resursima, koji podrazumijeva istovremeno i uravnoteženo zadovoljenje dinamičnih ekoloških, socijalno-kulturoloških i ekonomskih zahtjeva društva prema šumi, sadržana je suština koncepta održivog razvoja na način kako je to definirano u tzv. "Brundtland" izvještaju¹- zadovoljenje sadašnjih potreba društva bez ugrožavanja mogućnosti budućih generacija da i one zadovolje svoje potrebe. Pojam održivosti objedinjuje napore za premoštavanje jaza između imperativa ekonomskog razvoja i neophodnosti zaštite okoliša. Problematika raspoloživosti prirodnih resursa, u uslovima stalnog rasta populacije i nepredvidivih klimatskih promjena, vodi ka pitanju *Koliko šume možemo/ smijemo posjeći za industrijske potrebe*, a da ne dovedemo u pitanje njen kontinuiran prirast i stabilnost šumskih ekosistema? Iz prikaza historijskog razvoja koncepta održivosti u šumarstvu (Marić, 2021) može se vidjeti da je ovaj pojam prvi put upotrijebio von Karlovic (Hans Carl von Carlowitz) još davne 1713. godine u svom djelu *Sylvicultura Oeconomica*, razmatrajući problem smanjenja površina pod šumom i rasta cijena drveta uslijed povećane potražnje, rasta populacije i nekontrolisanog pašarenja. Von Karlovic je upozorio da bi ljudi u oskudici drveta mogli "trpjeti velike poteškoće" i pozvao na očuvanje šuma bez njihovog prekomjernog iskorištavanja. Suština njegove doktrine je u tome da se može posjeći samo onoliko drveta koliko šume se može ponovo uzgojiti, te da je cilj gospodarenje šumama na održiv način, dosljedno i kontinuirano tokom vremena. U duhu današnje definicije održivog razvoja, Mozer (Wilhelm Gottfried Moser) je u svojoj knjizi *Grundsätze der Forst-Oeconomie*, objavljenoj 1757. godine, tvrdio da "održiva ekonomija mora biti razumna, pravedna i mudra, te da čovjek ne smije živjeti samo za sebe, nego i za druge i potomstvo". Njemački termin "*Nachhaltigkeit*" (održivost) se već 300 godina koristi da se njime objasne principi i fundamentalni ciljevi održivog gospodarenja šumskim resursima (Schmithüsen i Rojas-Briales, 2012). Pojam je vremenom evoluirao, tako da su ciljevi i strategije za postizanje održivog gospodarenja šumskim resursima prilagođavani promjenjivim ekološkim i socijalno-ekonomskim realitetima. U tom

¹U dokumentu "Naša zajednička budućnost" (engl. *Our Common Future*), objavljenom 1987. godine, po prvi put je predstavljen koncept održivog razvoja, kao strateško-politička platforma koja prepoznaje uzajamnu vezu između društvene jednakosti, ekonomskog rasta i ekoloških pitanja. (<https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/5987our-common-future.pdf>)

smislu, šumarstvo je trasiralo put i za druge sektore koji se bave upravljanjem i gospodarenjem prirodnim resursima (Schmithüsen, 2013). Multifunkcionalno i održivo gospodarenje šumama nastoji fleksibilno reagirati na različite društvene interese i prilagoditi gospodarenje šumama društvenim i okolišnim uslovima, na način da pruži više opcija za odgovor na tržišne zahtjeve, trendove i promjenjive potrebe društva, pri tome ne isključujući mogućnosti korištenja za buduće generacije (Marić, 2021). Prema definiciji Ministarske konferencije o zaštiti šuma u Evropi, održivo gospodarenje podrazumijeva korištenje šuma i šumskih zemljišta na način i intenzitetom koji odražavaju njihov biodiverzitet, produktivnost, sposobnost regeneracije, vitalnost i njihov potencijal za ispunjavanje sadašnjih i budućih relevantnih ekoloških, ekonomskih i socioloških funkcija na lokalnom, nacionalnom i globalnom nivou, pri čemu to ne nanosi štetu drugim ekosistemima.² Na sličan način je formulirana i FAO-va definicija održivog gospodarenja šumama kao *“dinamičan i evoluirajući koncept koji ima za cilj održati i poboljšati ekonomske, socijalne i ekološke vrijednosti svih tipova šuma za dobrobit sadašnjih i budućih generacija”* (FAO, 2022). Iz naprijed navedenog je jasno da se koncept održivog gospodarenja šumama stalno razvija, te da je njegova osnovna svrha dugoročno održavanje svih vrijednosti šumskih ekosistema.

U središtu Agende za održivi razvoj 2030, kao globalne partnerske platforme razvoja svih država članica UN-a, nalazi se 17 univerzalnih ciljeva održivog razvoja (engl. *Sustainable Development Goals – SDGs*). Uz uvažavanje razlika u prioritetima pojedinih država, ciljevi održivog razvoja pružaju jasne, zajedničke i globalne smjernice u pravcu okončanja siromaštva, suzbijanja gladi, unapređenja zdravlja i obrazovanja, smanjenja nejednakosti, osiguranja mira i blagostanja, kontinuiranog gospodarskog rasta, smanjenja energetske neizvjesnosti, borbe protiv klimatskih promjena, očuvanja svih vrsta ekosistema na planeti i zaštite biodiverziteta u njima. Rezultati istraživanja stavova nastavnog osoblja na Šumarskom fakultetu Univerziteta u Sarajevu (Avdibegović i dr., 2023), po pitanju doprinosa obrazovno-istraživačkog procesa općim ciljevima održivog razvoja, pokazali su da isti doprinosi manje ili više svim ciljevima održivog razvoja, što jasno ukazuje na multidisciplinarni karakter studija šumarstva. Imajući u vidu ozbiljnost i posljedice fenomena klimatskih promjena, ne iznenađuje što skoro jedna četvrtina ispitanika obuhvaćenih ovim istraživanjem, smatra da obrazovno-istraživački proces na Šumarskom fakultetu najviše doprinosi ostvarenju SDG 13 (Očuvanje klime).

Svjesni značaja interakcije između klimatskih promjena i šumskih ekosistema, šumarski stručnjaci i istraživači u BiH realiziraju različite naučno-istraživačke aktivnosti na ovu temu. Rezultati tih aktivnosti se, između ostalog, ogledaju u opisu mogućih scenarija klimatskih promjena za područje zapadnog Balkana, što podrazumijeva projekcije areala za neke tipične vrste drveća u BiH, uslovljene klimatskim promjenama. Rezultati ovih modeliranja su karte areala vrsta drveća za pojedine države (Slovenija, Hrvatska i BiH), sa mogućim projekcijama areala u 2080. godini (Vukelić i dr., 2010). Istraživanja mogućnosti *in situ* i *ex situ* zaštite genetičkih resursa, u kontekstu utjecaja klimatskih promjena na šumske ekosisteme jugoistočne Evrope su također u fokusu šumarskih stručnjaka, pri čemu se naglašava imperativ očuvanja specifične genetske strukture šumskih vrsta za buduće procese obnove šumskih ekosistema (Cvjetković i dr., 2019; Daničić i dr., 2019). Značajan broj naučnih radova na temu utjecaja klimatskih promjena na šumske ekosisteme i planiranje gospodarenja se odnosi na procjenu i praćenje kvantitativnih indikatora koncepta CSF (engl. *Climate-Smart Forestry*), na mreži trajnih eksperimentalnih ploha u mješovitim šumama bukve, jele i smrče (del Río i dr., 2022). Otpornost sastojina najvažnijih vrsta drveća na klimatske promjene je analizirana kroz istraživanje obrazaca rasta i produktivnosti, kao indikatora zavisnosti pojedinih vrsta od varijabiliteta stanišnih uslova u prethodnom periodu. Utvrđeno je da mješovitim

²Second Ministerial Conference on the Protection of Forests in Europe, 16–17.06.1993., Helsinki, Resolution H1: https://foresteurope.org/wp-content/uploads/2022/01/MC_helsinki_resolutionH1.pdf

šumama bukve, jele i smrče treba dati prednost u odnosu na monokulture, kada je riječ o ublažavanju utjecaja klimatskih promjena u planinskim područjima (del Rio i dr., 2021). U kontekstu utjecaja promjenjivih ekoloških prilika na rast stabala u planinskim šumama Evrope (uključujući i BiH), provedene su specifične analize na trajnim oglednim plohama. Posmatrano u prostorno-vremenskom kontekstu, uočene su značajne promjene u dinamici rasta pojedinih vrsta, i analizirani potencijalni uzroci (uključujući i klimatske promjene), posljedice i moguće implikacije na mjere gospodarenja (Pretzsch i dr., 2020). Pored toga, navedenim istraživanjima su se nastojale dodatno rasvijetliti zakonitosti dinamike i obrasci rasta stabala i šumskih sastojina, u kontekstu globalnih klimatskih promjena (Pretzsch i dr., 2022). U pojedinim istraživanjima su analizirani utjecaji klimatskih promjena na recentno stanje šumske vegetacije na lokalnom nivou (Vojniković i dr., 2015) i pojava određenih štetnika na biljkama kao indikatora globalnog zagrijavanja (Roques i dr., 2015). U analizama političko-legislativnih, ekonomskih i institucionalnih aspekata klimatskih promjena u sektoru šumarstva i zaštite prirode, naglašena je potreba međusektorskog djelovanja, regionalne saradnje i aktivnog uključivanja svih interesnih grupa i aktera šumarske i ekološke politike u razumijevanje i rješavanje problema klimatskih promjena (Nedeljković i dr., 2019; Selmanagić Bajrović i Avdibegović, 2010). Moguće opcije za sprečavanje i ublažavanje klimatskih poremećaja ukazuju na neophodnost promjena u šumarskoj politici, u pravcu poštivanja principa koncepta *“Forest governance”* i orijentacije ka projektima *“zelene ekonomije”* i dekarbonizacije kao strateškoj viziji (Avdibegović i dr., 2018).

3. UTJECAJ KLIMATSKIH PROMJENA NA ŠUMSKE EKOSISTEME

Povoljni klimatski faktori i uslovi su neophodni za rast i razvoj svih živih organizama, pa tako i šuma. Pored odgovarajuće vlage i temperature, kod svih biljaka su CO₂ i svjetlost nužni činioci za odvijanje procesa fotosinteze. CO₂ igra nezamjenjivu ulogu u izgradnji drvene mase šumskog drveća. U suhom drvetu ima oko 50% ugljenika i 43% kiseonika, a samo 6% vodonika i 1% azota (Mekić, 1998). Usvajajući CO₂ i ispuštajući kiseonik u procesu fotosinteze, zelene biljke održavaju optimalan sastav atmosfere, što je od vitalnog značaja za život na Zemlji. Procjenjuje se da organizmi koji vrše fotosintezu, na godišnjem nivou pretvore oko 100 milijardi tona ugljenika u biomasu (Field i dr., 1998). S druge strane, negativne klimatske pojave (suša, olujni vjetrovi, obilne snježne padavine i sl.) negativno utječu na šumske ekosisteme, što se manifestuje kroz fiziološki stres drveća, sušenje šuma, pojavu šumskih požara, vjetroizvala i snjegovoloma, nakon kojih se po pravilu javljaju prenamnoženja štetnih insekata i pojava različitih fitopatogena. Interakcija šumskih ekosistema i klimatskih uslova se manifestuje i kroz utjecaj šume na mikroklimu. Bez obzira na utjecaj makroklimatskih faktora, mikroklimatski uslovi u šumi su drugačiji nego izvan nje. Temperature u šumi su ljeti niže, a zimi više (dnevne razlike iznose 2,5-5 °C, a noćne 0,5-1 °C), dok su temperaturna kolebanja manje izražena. U prosjeku manja količina oborina proдре do tla u šumi (postoji izreka da u šumi “kiša pada dva puta”), snijeg se zadržava duže, manja je brzina vjetra, manje je isparavanje tla, pa je i relativna vlaga zraka viša (Mekić, 1998). Evidentno je da klimatski uslovi i klimatske promjene utječu na šumske ekosisteme, ali i da se šuma, zbog svog utjecaja na klimu, može posmatrati kao svojevrsan klimatski faktor.

Klimatske promjene, uzrokovane pretjeranom emisijom gasova i efektom stakleničke bašte, predstavljaju jedan od najozbiljnijih globalnih ekoloških problema. Širom svijeta, klimatske promjene dovode do povećanja učestalosti i intenziteta ekstremnih vremenskih događaja, kao što su toplotni talasi, suše i poplave. Klimatskim promjenama je posebno pogođena Evropa, u kojoj su srednje temperature porasle skoro dvostruko u odnosu na globalni prosjek.

Živi svijet se na različite načine mijenja i prilagođava izmijenjenoj dinamici klimatskih procesa. Jedan od načina na koji vrste i ekosistemi reaguju na klimatske promjene reflektuje se kroz geografsko (prema sjeveru) i visinsko (prema većim nadmorskim visinama) pomjeranje granica prirodnih areala. Utvrđeno je da se areali pojedinih vrsta pomjeraju sjevernije u prosjeku za 16,9 kilometara u 10 godina i na veće nadmorske visine prosječno za 11 metara u 10 godina. Prirodno, životinje migriraju iz svojih staništa brže od biljaka. Životinje povećavaju svoju gornju granicu areala za 47-91 metara po dekadi, a biljke za 17-40 metara po dekadi (European Wilderness Society, 2024). Posljedice ovih promjene su višestruke i ogledaju se u riziku od gubitka biodiverziteta, pa čak i izumiranja vrsta koje ne mogu migrirati ili se dovoljno brzo prilagoditi promjenjivim klimatskim uslovima. S druge strane, vrste koje su fleksibilnije po pitanju proširenja svog areala mogu postati invazivne i na taj način narušiti stabilnost lokalnih ekosistema. Geografske i visinske promjene areala vrsta mogu utjecati na smanjenje ili gubitak pojedinih usluga ekosistema kao što su regulacija vode, plodnost tla i oprašivanje, koje su od esencijalne važnosti za ljude. Konačno, promjene u arealima i populaciji biljaka i životinja, uzrokovane klimatskim poremećajima, mogu snažno utjecati na produktivnost u šumarstvu i poljoprivredi (sigurnost hrane).

Dug životni vijek drveća i višegodišnji proizvodni ciklus u šumarstvu (nerijetko i preko 100 godina) ne dozvoljavaju brzo prilagođavanje na promjene u okolišu, što šumske ekosisteme čini posebno osjetljivim kada su u pitanju klimatske promjene. Smrtnost drveća i obim sanitarnih sječa (uzrokovanih najčešće olujnim vjetrovima, sušom i potkornjacima) su znatno porasli u prethodnom periodu. U Evropi je u prethodnih 40 godina zadnja dekada bila rekordna po pitanju šteta u šumama povezanih sa klimatskim promjenama. To se posebno odnosi na vještački podignute šume smrče (*Picea abies*), koje su u područjima sa relativno niskom nadmorskom visinom bile izložene dugotrajnim sušnim periodima, što je rezultiralo prenamnoženjem (kalamitetom) potkornjaka. Procjenjuje se da će ovakvi poremećaji biti sve češći i intenzivniji u planinskim šumama i u sjevernoj Evropi, u okolnostima u kojima su temperaturni uslovi u prethodnom periodu bili nepovoljni (niske temperature) za razvoj potkornjaka. Osim smrče, fiziološku osjetljivost na ekstremno sušne uslove uzrokovane klimatskim promjenama pokazuju i druge vrste drveća, prije svega bukva (*Fagus sylvatica*) i neke vrste borova. Naučni modeli predviđaju da će se u državama EU-a staništa hrastovih šuma povećati sa trenutnih 11% na 30-40% šumskih područja (u zavisnosti od toga koji klimatski scenarij će se obistiniti u budućnosti), pri čemu će se staništa smrčevih šuma smanjiti za oko 50% (Sotirov i dr., 2024).

Klimatske promjene i njihov utjecaj na šumske ekosisteme je evidentan i u regionu zapadnog Balkana. Prema podacima studije koju je publiciralo Vijeće za regionalnu saradnju, u državama zapadnog Balkana bi se do 2035. godine mogao očekivati porast temperature za 1,2 °C, a do kraja vijeka čak za 1,7-4,0 °C, ovisno o efektima globalnih aktivnosti da se smanji emisija stakleničkih gasova (Vuković i Vujadinović-Mandić, 2018). Posljedice klimatskih promjena se najviše odražavaju na sektore poljoprivrede (smanjenje proizvodnje hrane i gubitak plodnog zemljišta), šumarstva (degradacija šuma i nestanak pojedinih vrsta) i vodoprivrede (poremećaji u vodnom režimu). U publikaciji *Procjena stanja prirode i upravljanja prirodnim resursima u Bosni i Hercegovini* (Barudanović i dr., 2024), prikazan je utjecaj pojedinih grupa ekosistema u Bosni i Hercegovini na koristi od prirode koje su definirane za potrebe IPBES-a (engl. *Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services*). Među koristima od prirode regulirajućeg kataktera su, između ostalog, prepoznate koristi od reguliranja klimatskih procesa i koristi od reguliranja kvaliteta zraka. Koristi od reguliranja klimatskih procesa podrazumijevaju efekte koje ekosistemi imaju na emisiju stakleničkih

gasova, biofizičke efekte vegetacionog pokrivača na atmosferu, recikliranje vlage, te reguliranje procesa nastanka i razgradnje aerosola. U kontekstu koristi od prirode koje se odnose na reguliranje kvaliteta zraka, podrazumijeva se sposobnost pojedinih ekosistema da reguliraju odnose različitih gasova i njihovih spojeva u atmosferi (O_2 , CO_2 , NO_x , štetni organski polutanti itd.), kao i da pročišćavaju zrak, te vežu, razgrađuju i skladište različite polutante koji direktno utječu na zdravlje ljudi ili infrastrukturu. Od svih grupa ekosistema u BiH, najveće ocjene važnosti za koristi od reguliranja klimatskih procesa i koristi od reguliranja kvaliteta zraka, date su upravo šumskim ekosistemima (gorske šume, nizijske i brdske listopadne šume i šikare, te mediteranske i submediteranske šume i šikare). U spomenutoj publikaciji je također ukazano i na nedostatak naučno-istraživačkih aktivnosti u vezi s utjecajem ekosistema na koristi od prirode regulirajućeg karaktera, među koje spada i reguliranje klimatskih promjena. Potrebno je uspostaviti sistem kontinuiranog monitoringa ovih utjecaja, kroz definiranje odgovarajućih indikatora i prikupljanje podataka o koristima od reguliranja klimatskih promjena, te tražiti adekvatna rješenja zasnovana na prirodi (engl. *nature-based solutions*) za adaptaciju i ublažavanje (mitigaciju) klimatskih promjena. U *Procjeni stanja prirode i upravljanja prirodnim resursima u Bosni i Hercegovini* je također konstatovano da BiH obiluje prirodnim ekosistemima koji imaju pozitivne efekte u procesu prilagođavanja na klimatske promjene, ali da su zbog međudjelovanja mnogobrojnih direktnih i indirektnih pritisaka, sve izraženiji štetni efekti klimatskih promjena, koji se negativno odražavaju na sposobnost ekosistema za reguliranje ovih procesa. U tom smislu je neophodno provesti transformativne i strateške promjene u klimatski osjetljivim sektorima, prije svega u šumarstvu, kako bi se ublažile negativne posljedice na društvo, prirodu i privredu u BiH.

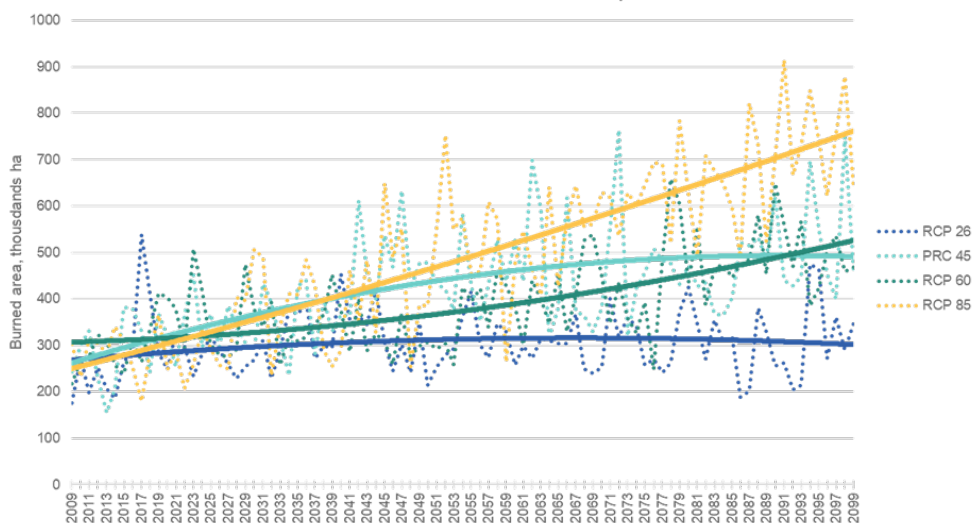
Kada se govori o opcijama za suočavanje sa klimatskim promjenama, u medijima i naučno-stručnoj literaturi je uobičajeno korištenje dva termina: "prilagođavanje" (engl. *adaptation*) i "ublažavanje" (engl. *mitigation*). Radi se o dvije grupe aktivnosti, instrumenata i političkih mjera, koje se realiziraju istovremeno, ali u strateškom smislu imaju različit karakter. "Prilagođavanje" je fokusirano na posljedice i efekte klimatskih promjena i podrazumijeva reakciju, odnosno a *posteriori* djelovanje. Za razliku od njega, "ublažavanje" se bavi uzrocima klimatskih promjena i nastoji da po a *priori* logici umanju potencijalni negativni utjecaj i djeluje prije same manifestacije klimatskih promjena. Jasno je da "ublažavanje", u odnosu na "prilagođavanje", podrazumijeva prethodno i plansko djelovanje, te da je zbog toga učinkovitije, ali je po pravilu i teže za realizaciju. Klasični primjer mjera "prilagođavanja" na klimatske promjene u sektoru šumarstva je pošumljavanje vrstama koje imaju poznato genetsko porijeklo i otpornije su na sušu, posebno na kserotermnim staništima. U šumarskoj praksi se u svrhu pošumljavanja izuzetno kamenitih i sušnih terena koriste sadnice sa posebno obloženim korjenovim sistemom, kako bi se lakše prilagodile zahtjevnim stanišnim uslovima. S druge strane, korištenje šumske biomase za energiju predstavlja mjeru za "ublažavanje" klimatskih promjena, kojom se nastoje promovirati tzv. obnovljivi izvori energije i smanjiti emisija ugljenika u atmosferu, koja je u značajnoj mjeri posljedica korištenja fosilnih goriva za dobijanje energije. Pored toga, primjena odgovarajućih sistema planiranja i gospodarenja (favoriziranje mješovitih, raznodobnih i "prirodi bliskih" šuma), zabrana čistih sječa, certificiranje gospodarenja šumskim resursima i korištenje ekološki prihvatljivih tehnoloških rješenja, također, predstavljaju primjere mjera za "ublažavanje" klimatskih promjena u sektoru šumarstva. U kontekstu šumarske politike je važno naglasiti da u većini slučajeva mjere "prilagođavanja" imaju lokalni ili regionalni fokus, za razliku od mjera "ublažavanja", koje po pravilu imaju strateški, nerijetko i globalni karakter.

4. SEKTOR ŠUMARSTVA I KLIMATSKE PROMJENE: ODABRANI ASPEKTI

U ovom poglavlju su prikazana samo dva aspekta klimatskih promjena koje se na direktan način mogu povezati sa sektorom šumarstva u Bosni i Hercegovini. Jedan od njih su šumski požari, koji su u percepciji javnosti, zbog ekoloških, ekonomskih i socijalnih posljedica koje prouzrokuju, često prepoznati kao glavna negativna manifestacija klimatskih promjena, kako na lokalnom tako i na globalnom planu. Drugi aspekt se odnosi na značaj i ulogu šumskih resursa u kruženju ugljenika i sa tim povezanim potencijalom za proizvodnju energije na bazi šumske biomase. Postoji još čitav niz aspekata koji se mogu posmatrati u kontekstu interakcije između sektora šumarstva i klimatskih promjena, ali je zbog ograničenosti prostora njihova analiza ovdje izostavljena.

Šumski požari

U studiji IUFRO-a (engl. *International Union of Forest Research Organizations*) pod nazivom *Europe's wood supply in disruptive times* (Sotirov i dr., 2024) navodi se da će u južnoj Evropi, suše i požari imati sve izraženiju ulogu u oblikovanju razvoja šuma u budućnosti. U uslovima ekstremnih klimatskih promjena može se očekivati da će opožarena površina u Evropi do kraja ovog vijeka dostići 750 hiljada hektara godišnje. Na slici 4. su prikazane projekcije opožarenih šumskih površina u zavisnosti od različitih scenarija klimatskih promjena (engl. *Representative Concentration Pathways - RCPs*) u Evropi. Projekcije jasno ukazuju na povećanje površina pogođenih požarima u slučaju scenarija RCP4.5, RCP6.0 i RCP8.5 do kraja XXI vijeka.



Slika 2. Projekcije opožarenih šumskih površina u Evropi u zavisnosti od 4 scenarija klimatskih promjena (RCPs) u periodu 2009. - 2099. godine
(Sotirov i dr. 2024, na osnovu IIASA, FLAM Model, Krasovskii i dr., 2019)

Spomenuta 4 scenarija klimatskih promjena (RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 i RCP8.5) razvijena su za potrebe Pete IPPC-ove procjene (engl. *Fifth Assessment Report, Intergovernmental Panel on Climate Change*), a pri njihovoj izradi su uzeti u obzir različiti faktori, kao što su: rast populacije, bruto nacionalni proizvod, potrošnja energije, rast prosječnih temperatura, promjene u količinama padavina itd. Primjera radi, povećanje svjetske populacije na 12 milijardi ljudi do 2100. godine podrazumijevalo bi ispunjenje krajnje pesimističnog scenarija (RCP8.5), pri čemu bi potrošnja primarne energije trebalo da bude tri puta veća od trenutne. Po tom scenariju bi se globalna prosječna temperatura do 2100. godine povećala za čak 4,8 °C u odnosu na referentni predindustrijski period. Istovremeno bi udio uglja u energetsom miks ostao značajno visok (skoro 50%), a emisije CO₂ bi se povećale sa trenutnih 10 GtC/godišnje na skoro 30 GtC/godišnje do kraja vijeka. S druge strane, krajnje optimistički scenarij (RCP2.6) podrazumijeva da bi se broj ljudi do kraja vijeka povećao na “samo” 9 milijardi, pri čemu bi udio fosilnih goriva u energetsom miks bio vrlo nizak, a emisije CO₂ do 2080. godine pale na nulu. U takvim okolnostima bi rast prosječne globalne temperature ostao ispod 2 °C, čime bi se ispunio važan cilj globalnog klimatskog Sporazuma iz Pariza 2015. godine. Trenutni trendovi ne ostavljaju previše prostora za optimizam po pitanju klimatskih promjena i globalnih faktora koji na njih utječu. U svakom slučaju, šumski požari širom svijeta sve više doprinose globalnoj emisiji stakleničkih gasova i negativno utječu na zdravlje i sigurnost ljudi, održivost ekonomskih aktivnosti i kontinuitet pružanja ekosistemskih usluga.

Klimatske promjene se smatraju jednim od najvažnijih generatora različitih prirodnih katastrofa, koje se sve intenzivnije manifestuju i u Bosni i Hercegovini. S obzirom na njihovu rasprostranjenost i prostornu distribuciju, šumski ekosistemi u Bosni i Hercegovini su prilično ranjivi po pitanju ugroženosti od šumskih požara. Svakako su najugroženije četinarske šume i šumske površine u Hercegovini. Međutim, visok stepen ugroženosti je prisutan i u privatnim šumama, koje su često napuštene i zapuštene, sa niskim intenzitetom gospodarenja, te gustom podstojnom etažom šiblja, grmlja i ostale potencijalno lako zapaljive vegetacije. Oficijelni podaci (opožarena površina i gubici u drvetu) prikazani u Tabeli 2. pokazuju rastuće trendove šumskih požara u Bosni i Hercegovini.

Tabela 2. Šumski požari u BiH u periodu 2018.–2021. godine (Federalni zavod za statistiku, 2021; Republički zavod za statistiku RS-a, 2021).

Godina	2018	2019	2020	2021
Opožarena površina (ha) (ukupno državne i privatne šume)	RS: 3.358	RS: 1.958	RS: 6.823	RS: 6.861
	FBiH: 1.467	FBiH: 4.099	FBiH: 21.732	FBiH: 18.062
Posječeno drvo (m ³) (ukupno državne i privatne šume)	RS: 2.374	RS: 13.204	RS: 32.196	RS: 37.913
	FBiH: 87	FBiH: 775	FBiH: 16.966	FBiH: 20.764

Ukupna finansijska šteta u Federaciji Bosne i Hercegovine, nastala usljed šumskih požara u 2020. godini, procijenjena je na 15.434.534 KM (Federalno Ministarstvo poljoprivrede, vodoprivrede i šumarstva, 2021). Posebno je zabrinjavajuće što se požari iz godine u godinu pojavljuju na istim područjima, što u znatnoj mjeri otežava sposobnost šumskih ekosistema da se oporave od ovih prirodnih katastrofa. Indikativno je da se u zadnje vrijeme šumski požari javljaju čak i u zaštićenim područjima, tako da su 2022. godini zabilježeni požari u Nacionalnom parku Sutjeska, te u Parkovima prirode Hutovo blato i Blidinje.

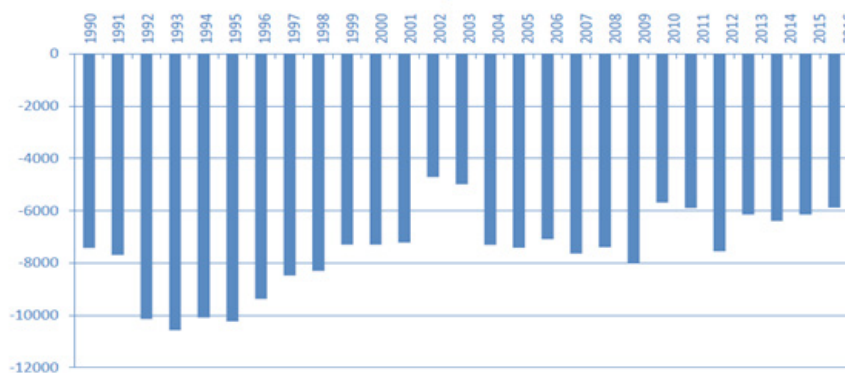
Mnogobrojni su preduslovi za uspješnu borbu protiv šumskih požara, a među njima

su najvažniji: međusektorska saradnja, koordinacija i komunikacija, međuentitetska i prekogranična (međunarodna saradnja), educirani i osposobljeni kadrovi, tehničke i infrastrukturne pretpostavke, povećanje svijesti javnosti, raspoloživa finansijska sredstva i adekvatan zakonski okvir, uključujući i operativne procedure, pravila i odredbe. Kompleksnost uzroka i posljedica šumskih požara, kao i veliki broj direktno ili indirektno zainteresiranih strana involviranih u ovu problematiku, nameće potrebu sagledavanja uloge i razvijenosti međusektorske saradnje. Kao dobar primjer pozitivne prakse po pitanju međusektorske saradnje u borbi protiv požara može se navesti uspostavljanje platformi DRR (engl. *Disaster Risk Reduction* – smanjenje rizika od katastrofa) na lokalnom nivou u BiH. Radi se o inicijativama koje su realizirane u kontekstu šireg pristupa UN-a (UNDRR), kojem je cilj da pomogne donosiocima odluka na svim nivoima da bolje razumiju i što učinkovitije djeluju u pravcu smanjenja rizika od prirodnih katastrofa. Pored toga, jačanje svijesti javnosti o općedruštvenoj važnosti prirodnih resursa i potrebi borbe protiv šumskih požara je izuzetno važno. Borba protiv šumskih požara zahtijeva specifičnu kombinaciju znanja i vještina iz domena šumarskih, tehnoloških, ekonomsko-socioloških, pravnih, komunikacijskih i drugih disciplina, što upućuje na potrebu multidisciplinarnog educiranja kadrova u sektoru šumarstva. Prevencija, suzbijanje i borba protiv prirodnih katastrofa uzrokovanih klimatskim promjenama, a posebno šumskih požara, zahtijeva visok stepen tehničke i infrastrukturne opremljenosti. To u današnje vrijeme podrazumijeva upotrebu robusne i savremene informatičko-komunikacijske opreme, satelitskih snimaka, GIS alata i najmodernijih tehnologija na kopnu i u zraku. Posebno je važna uloga sistema ranog upozoravanja, kojim se na bazi kombinacije različitih vrsta podataka iz različitih izvora, povećava spremnost svih aktera za pravovremenu i brzu reakciju u slučaju izbijanja prirodnih katastrofa. Borba protiv šumskih požara je skupa i podrazumijeva osiguranje znatnih finansijskih sredstava. Za to je neophodan adekvatan regulatorni okvir, koji u uslovima kompleksnog administrativno-političkog uređenja Bosne i Hercegovine podrazumijeva postojanje usaglašenih zakona koji regulišu problematiku upravljanja šumskim resursima, zaštite prirode, vatrogastva i civilne zaštite. Šumski požari ne poznaju administrativne granice entiteta i država i vrlo često imaju prekogranični karakter. Odgovori na sve učestalije prirodne katastrofe podrazumijevaju zajedničke aktivnosti aktera iz pogođenih država, tako da danas postoje mnogobrojni primjeri koordinirane međunarodne saradnje u borbi protiv požara. Ovakav pristup, posebno u regionu Mediterana, aktueliziran je u zadnjih nekoliko godina, usljed sve učestalijih temperaturnih ekstrema uzrokovanih globalnim klimatskim promjenama, ali i kao posljedica koordiniranih aktivnosti na nivou Evropske unije. Perspektive za unapređenje mjera upravljanja i gospodarenja šumskim resursima, usmjerene na smanjenje rizika od pojave požara i obnavljanje opožarenih površina, imaju snažno utemeljenje i u najnovijim strateškim opredjeljenjima i dokumentima Evropske unije kada je u pitanju zaštita prirode i gospodarenje šumskim resursima.

Uloga šuma u kruženju ugljenika i potencijali šumske biomase za proizvodnju energije

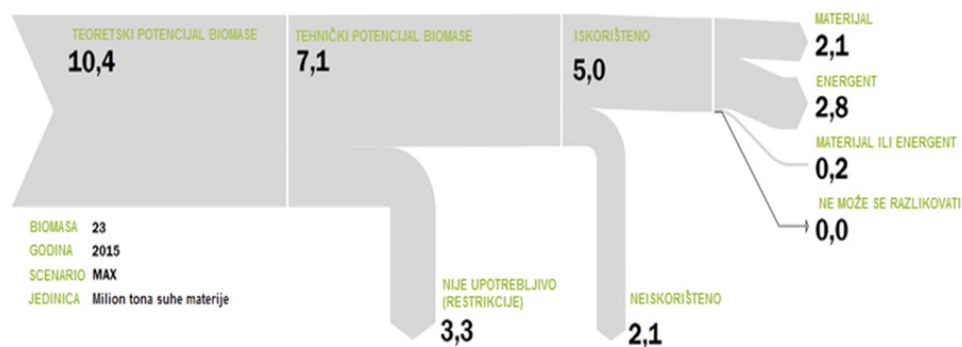
Iako su značaj i uloga šumskih resursa u globalnom kruženju ugljenika, a samim tim i prilagođavanju na klimatske promjene i ublažavanju njihovih efekata, manje-više poznati, potrebno je napomenuti da 14% antropogeno uzrokovanih emisija ugljenika na globalnom nivou nastaje kao rezultat sječe i degradacije šumskih ekosistema. Pri tome, šume i šumska zemljišta, ukoliko se njima pravilno upravlja, imaju potencijal da uskladište 29% ugljenika iz atmosfere, što ih (skupa s okeanom) čini najznačajnijim ponorima ugljenika. Također je važno naglasiti da u vremenu globalne energetske nesigurnosti, drvo još uvijek predstavlja najvažniji energent za preko 2,5 milijardi ljudi (za 90% ljudi u Africi). Pri tome je potrebno imati u vidu da u kontekstu obnovljivih izvora energije i energetske tranzicije, šumska biomasa (pored

energije sunca i vjetra) igra vrlo važnu ulogu. U mnogim evropskim državama je šumska biomasa trenutno najzastupljeniji obnovljivi izvor energije. Postizanje ciljeva Klimatskog sporazuma iz Pariza podrazumijeva značajno i hitno smanjenje antropogenih emisija CO₂ i drugih stakleničkih gasova na globalnom planu. Istovremeno se očekuje povećanje uklanjanja CO₂ iz atmosfere, u čemu šume imaju ključnu ulogu. Kada su u pitanju evropski strateški dokumenti, Evropski zeleni dogovor (engl. *European Green Deal*) u znatnoj se mjeri oslanja na šume i šumarstvo za postizanje klimatske neutralnosti EU-a do 2050. godine. Po podacima Evropskog šumarskog instituta (EFI), šume i proizvodi od drveta trenutno apsorbuju značajne količinu ugljenika iz atmosfere (u ekvivalentu od 380 MtCO₂ godišnje), što kompenzira oko 10% ukupne emisije stakleničkih gasova kompletne EU. U skladu sa novim i ambicioznim političkim ciljevima EU-a, od sektora LULUCF (engl. *Land Use, Land-Use Change, and Forestry*), koji uključuje šume i proizvode od drveta, očekuje se da na nivou EU-a, godišnje apsorbuje dodatnih 50 MtCO₂ do 2030. godine, 100 MtCO₂ do 2035. godine i 170 MtCO₂ do 2050. godine. Aktivnosti ublažavanja klimatskih promjena u šumarstvu, usmjerene ka smanjenju emisija ugljenika iz šumskih ekosistemima i skladištenju ugljenika u proizvodima od drveta, uključuju mjere zaštite (smanjenje degradacije i zaštita šuma), upravljanja (održivo korištenje), obnove (pošumljavanje) i unapređenja korištenja drveta (prelazak na dugovječne proizvode od drveta i recikliranje proizvoda od drveta). Procjenjuje se da bi kombinirana primjena svih ovih mjera na nivou EU-a mogla osigurati dodatni potencijal ublažavanja efekata klimatskih promjena u ekvivalentu od 72 - 143 MtCO₂ godišnje do 2050. godine, u zavisnosti od primijenjenog miksa mjera šumarske politike (Verkerk i dr., 2022). Prema Prvom nacionalnom izvještaju BiH u skladu s Okvirnom konvencijom UN-a o klimatskim promjenama, potencijali šumskih ekosistema kao ponora za skladištenje stakleničkih gasova iznosili su -7.432,5 GgCO₂ u baznoj 1990. godini. Ukupna emisija stakleničkih gasova u BiH (bez ponora) iznosila je 34.043,49 GgCO₂ u 1990. godini, da bi u 2018. godini opala na 31.170,94 GgCO₂. Podaci inventara stakleničkih gasova u sektoru šumarstva za 2015. i 2016. godinu (slika 3.) govore da ukupni bilans ponora i emisija stakleničkih gasova za šumska područja, proizvode od drveta i požare iznosi -6.095,70 GgCO₂ (2015. godina), odnosno -5.836,68 GgCO₂ (2016. godina). Ovi podaci su dobijeni primjenom međunarodno usvojene metodike IPCC-a (engl. *Intergovernmental Panel on Climate Change*) za izračun inventara stakleničkih gasova u sektoru šumarstva (UNDP / Ministarstvo za prostorno uređenje, građevinarstvo i ekologiju RS-a, 2022). Mjere za povećanje potencijala karbonskog ponora u sektoru šumarstva BiH, prepoznate u strateškim dokumentima (Integrirani plan za energiju i klimu Bosne i Hercegovine), svode se na dosljednu implementaciju mjera održivog gospodarenja, pošumljavanje goleti i erodiranih područja, konverziju degradiranih šuma, borbu protiv šumskih požara, povećanje prirasta šumskih sastojina i podizanje plantaža brzorastućih vrsta (energetski zasadi).



Slika 3. Karbonski ponori u sektoru šumarstva BiH za period 1990–2016. (u GgCO₂)

U uslovima stalnog povećanja populacije, globalnog ekonomskog rasta, te orijentiranosti na fosilna goriva, energija postaje važno političko, ekonomsko i ekološko pitanje. Konflikti širom svijeta i prekidi u lancima snabdijevanja, dodatno komplikuju trenutnu situaciju i dovode do problema energetske nesigurnosti, dostupnosti i održivosti. Korištenje alternativnih, tzv. "čistih", energenata i obnovljivih izvora energije je prihvaćeno kao najefikasniji odgovor na navedene probleme, a korištenje šumske biomase za energiju, pogotovo u državama kao što je BiH, ima veliki potencijal. Količina CO₂ emitovanog u atmosferu tokom sagorijevanja energenata na bazi šumske biomase (pelet i briket) jednaka je ili manja od količine apsorbovanog CO₂ za vrijeme rasta biljke čija se biomasa sagorijeva. Zato se šumska biomasa za energiju (ostaci iz sječe, otpadak iz drvne ili poljoprivredne industrije i sl.) smatra "karbon neutralnom" i ima veliki potencijal kao obnovljivi izvor energije, pri čemu su posebno važne izdanačke šume, energetske zasadi (Halilović i dr., 2021) i šume u privatnom vlasništvu (Posavec i dr., 2015). Pri tome je neophodno analizirati problematiku pouzdanosti lanca snabdijevanja šumskom biomasom za energiju (Vasković i dr., 2015) i korištenje različitih tehnologija u procesu iskorištavanja šuma, kako bi se što bolje iskoristili potencijali šumskih staništa s aspekta korištenja drveta za energetske potrebe (Halilović, 2012). Nažalost, korištenje ogrjevnog drveta, kao retrogradan način dobijanja energije iz šumske biomase, još uvijek je dosta zastupljen u BiH. Korištenjem metodologije WISDOM (engl. *Wood fuel Integrated Supply/Demand Overview Mapping*) utvrđeno je da znatno veći procenat domaćinstava u Federaciji BiH koristi drvo kao energent (uglavnom ogrjevno drvo), u odnosu na zvanične statističke podatke (Čomić i dr., 2021). Realizirano je i nekoliko studija koje su za cilj imale utvrđivanje potencijala za korištenje šumske biomase za energiju, kao i tehnoloških, ekoloških, zakonskih i političko-legislativnih pretpostavki za mobilizaciju šumske biomase. Rezultati jedne od tih studija (Pfeiffer i dr. 2019) koji se odnose na procjenu potencijala šumske biomase u BiH prikazani su na slici 4.



Slika 4. Potencijali šumske biomase u Bosni i Hercegovini u 2015. godini (maksimalni scenarij) (Pfeiffer i dr., 2019).

Od ukupnog procijenjenog teoretskog potencijala šumske biomase (10,4 miliona tona suhe materije), jedna trećina se ne može koristiti, uglavnom zbog ekoloških ograničenja i nužnosti očuvanja stabilnosti šumskih ekosistema. Od preostalog tehničkog (raspoloživog) potencijala, najznačajniji dio se već koristi u drvoprerađivačkoj industriji i kao ogrjevno drvo. Ova procjena uvažava ekonomsko-socijalni značaj drvoprerađivačke industrije za kompletnu bh. privredu u smislu alimentiranja dovoljnom količinom sirovine, ali i trenutni obrazac korištenja drveta kao energenta, posebno u ruralnim područjima. Preostali (neiskorišteni) potencijal šumske biomase se procjenjuje na 2,1 milion tona suhe materije godišnje, što je dovoljno

za proizvodnju 716 - 907 ktoe (kilotona ekvivalent nafte). Radi poređenja, u 2013. godini je ukupna potrošnja energije u BiH iznosila 4,6 miliona toe, od čega je na saobraćaj i transport otpadalo 869.400 toe (Entitetski akcioni planovi za korištenje obnovljivih izvora energije, 2014). Ogroman procenat navedenog saobraćaja i transporta se bazirao na uvezenim naftnim derivatima, a vrijednost uvoza nafte u 2013. godini je iznosila oko 2,27 milijardi KM (Agencija za statistiku BiH, 2014). Za punu mobilizaciju potencijala šumske biomase za energiju neophodno je osigurati pouzdanost lanaca snabdijevanja i niz drugih političko-ekonomskih i zakonskih pretpostavki. U nekoliko studija, koje je realizirao UNDP, izvršena je analiza političkih aspekata u sektorima šumarstva i energetike u Bosni i Hercegovini (Avdibegović, 2017) i analiza miksa regulatornih, ekonomskih, planskih i informacionih instrumenata šumarske politike u vezi s ovom problematikom (Avdibegović i Čomić, 2019).

ZAKLJUČAK

Šumski resursi su od izuzetnog značaja za Bosnu i Hercegovinu, zbog čega održivo upravljanje i gospodarenje njima treba imati prvorazredno mjesto u nacionalnoj političko-ekonomskoj agendi. Održivo upravljanje šumskim resursima, zasnovano na sveobuhvatnom razumijevanju polivalentnih funkcija šume, može predstavljati važan faktor održivog razvoja kompletnog bosanskohercegovačkog društva. Klimatske promjene, prije svega rast prosječnih temperatura i promjenjivi obrazac padavina, snažno utječu na stabilnost šumskih ekosistema. S druge strane, trenutne mjere gospodarenja ne mogu garantirati kontrolu negativnih efekata klimatskih promjena na šumske ekosisteme, kao što je pojava požara, a s tim u vezi i smanjenje potencijala šuma za skladištenje ugljenika. Klimatske promjene snažno utječu na dinamiku šumskih ekosistema i ova činjenica se mora uzeti u obzir pri razvoju učinkovitih politika za očuvanje i održivo upravljanje šumskim resursima. U tom smislu je potrebno primijeniti adaptivne strategije upravljanja, kao što je trajna konverzija vrstama drveća koje su otpornije na sušu. Čak i pod tim uslovima, zbog sve izraženijih klimatskih promjena i dugoročnosti šumarske proizvodnje, u narednom periodu je realno očekivati mnogobrojne izazove u gospodarenju šumskim resursima. Ipak, pravilno provođenje mjera upravljanja i gospodarenja šumskim resursima može znatno smanjiti rizik od neželjenih efekata klimatskih promjena.

Pozitivni aspekti pravilnog gospodarenja šumama (izbor adekvatnih sistema gospodarenja, formiranje mješovite i raznodobne strukture šumskih sastojina, prirodna obnova, pošumljavanje, provođenje šumskog reda i sanitarnih sječa, zaštita i uzgoj šuma, izgradnja i održavanje mreža šumskih transportnih komunikacija itd.) su prepoznati kao dobre postojeće prakse, koje se koriste u šumarstvu BiH. Evropska komisija je 2023. godine donijela Smjernice za prirodi blisko gospodarenje šumskim resursima (engl. *Guidelines on Closer-to-Nature Forest Management*). Istovremeno Strategija EU-a za šume do 2030. godine definiše pojam "prirodi bliskog gospodarenja šumskim resursima" kao skup praksi kojim se osigurava multifunkcionalni karakter šuma, uz istovremeno očuvanje biodiverziteta u njima, jačanje funkcije skladištenja ugljenika i osiguranje kontinuiteta prihoda od drveta. Ohrabruje činjenica da se ovdje spominju isti oni principi na kojima se već dugi niz godina bazira šumarska nauka i struka u BiH. Imajući u vidu multifunkcionalni značaj šumskih resursa za bh. društvo, koncept pluralnog, integralnog i multifunkcionalnog šumarstva, koji podrazumijeva ravnotežu različitih ekoloških, socioloških i ekonomskih aspekata, dugoročno i na cjelovit način osigurava zadovoljenje promjenjivih zahtjeva društva prema šumi. Istovremeno, primjena koncepta multifunkcionalnog i "prirodi bliskog" gospodarenja šumskim resursima, ukazuje na strateške i strukturalne promjene koje je neophodno provesti u sektoru šumarstva BiH. Razumijevanje značaja šumskih resursa u

borbi protiv klimatskih promjena je važan korak ka onome što nam predstoji i što nazivamo klimatska, energetska i “zelena” tranzicija. Šumski resursi BiH dobijaju dodatno na važnosti u okolnostima globalnog energetskog siromaštva, nesigurnosti i odnosa koji vladaju u politički bipolarnom svijetu u kojem živimo. Promjene u političkom, ekonomskom i ekološkom okruženju zahtijevaju drugačiji odnos prema šumskim resursima. To je ključni preduslov za zadovoljenje promjenjivih zahtjeva društva, koje stabilnost i ekološku cjelovitost šumskih ekosistema prepoznaje kao važnu pretpostavku za postizanje uravnoteženog gospodarskog razvoja i blagostanje ljudi.

LITERATURA

1. Avdibegović, M., et al. (2018). *Forestry and climate change in Bosnia and Herzegovina: Challenges for environmental, socio-cultural, and economic sustainability*. In *Proceedings of abstracts Humboldt-Kollege Sustainable Development and Climate Change: Connecting Research, Education, Policy, and Practice* (p. 116). University of Belgrade – Faculty of Forestry.
2. Avdibegović, M., et al. (2023). *Obrazovanje, istraživanje i održivo upravljanje šumskim resursima kao faktor održivog razvoja u Bosni i Hercegovini*. *Pregled: časopis za društvena pitanja*, 1(Savjetovanje: Budućnost obrazovanja - Visoko obrazovanje za održivi razvoj 2030 - Supplement 1), 15-37.
3. Avdibegović, M., & Čomić, D. (2019). *Pregled mehanizama koncepta “forest governance” u Bosni i Hercegovini*. Projekat “Biomass Energy for Employment and Energy Security”, UNDP BiH.
4. Avdibegović, M. (2017). *GAP analiza političkih aspekata u sektorima šumarstva i energetike u Bosni i Hercegovini*. Projekat “Biomass Energy for Employment and Energy Security”, UNDP BiH.
5. Barudanović, S., et al. (2024). *Procjene stanja prirode i upravljanja prirodnim resursima u Bosni i Hercegovini*. Univerzitet u Sarajevu.
6. Čomić, D., et al. (2021). *Comparative analysis of wood fuels consumption in households in the Federation of Bosnia and Herzegovina*. *South-East European Forestry*, 12(1), 43-56.
7. Cvjetković, B., et al. (2019). *In situ conservation: Case study Bosnia and Herzegovina*. In M. Šijačić-Nikolić et al. (Eds.), *Forests of Southeast Europe Under a Changing Climate: Conservation of Genetic Resources* (pp. 187-194). Springer.
8. Daničić, V., et al. (2019). *Ex situ conservation – Case study in Bosnia and Herzegovina*. In M. Šijačić-Nikolić et al. (Eds.), *Forests of Southeast Europe Under a Changing Climate: Conservation of Genetic Resources* (pp. 251-258). Springer.
9. del Río, M., et al. (2022). *Assessment of indicators for climate-smart management in mountain forests*. In R. Tognetti et al. (Eds.), *Climate-Smart Forestry in Mountain Regions* (Vol. 40, pp. 123-134). Springer.
10. del Río, M., et al. (2021). *Effects of elevation-dependent climate warming on intra- and inter-specific growth synchrony in mixed mountain forests*. *Forest Ecology and Management*, 479, 118523. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118523>
11. European Wilderness Society. (n.d.). *Climate change and shifting ecosystems: Understanding the impact of altitudinal and latitudinal shifts*. Pristupljeno 2024/07/18. <https://wilderness-society.org/climate-change-and-shifting-ecosystems-understanding-the-impact-of-altitudinal-and-latitudinal-shifts/>
12. FAO. (n.d.). *Sustainable forest management*. Pristupljeno 2022/05/09. <https://www.fao.org/forestry/sfm/en/>
13. Federalno Ministarstvo poljoprivrede, vodoprivrede i šumarstva. (2024). *Informacija o gospodarenju šumama u Federaciji BiH u 2021. godini i planovima gospodarenja šumama u 2022. godinu*. Pristupljeno 2024/07/23. <https://fmpvs.gov.ba/informacije-o-gospodarenju-sumama/>
14. Federalno Ministarstvo okoliša i turizma. (2009). *Prvi nacionalni izvještaj BiH za UNCBD*.
15. Federalni zavod za statistiku. (2021). *Statistički bilten Šumarstvo 2020, Štete u šumama po tipovima šuma i uzrocima šteta*. Pristupljeno 2022/05/09. <https://docs.google.com/viewerng/viewer?url=http://fzs.ba/wp-content/uploads/2021/11/Sumarstvo-2020.pdf>
16. Field, C. B., et al. (1998). *Primary production of the biosphere: Integrating terrestrial and oceanic components*. *Science*, 281(5374), 237-240.
17. Halilović, V. (2012). *Komparacija metoda dobivanja šumske biomase kao obnovljivog izvora energije iz hrastovih sastojina (doktorska disertacija)*. Šumarski fakultet Univerziteta u Sarajevu.
18. Halilović, V., et al. (2021). *Šumska biomasa za energiju*. Šumarski fakultet Univerziteta u Sarajevu.
19. Harrison, R. P. (1992). *Forests: The shadow of civilization*. University of Chicago Press.

20. Marić, B. (2021). Kvalitativni indikatori pan-evropskih kriterija održivog gospodarenja šumama: Primjena u šumarstvu Federacije Bosne i Hercegovine (doktorska disertacija). Šumarski fakultet Univerziteta u Sarajevu.
21. Mekić, F. (1998). Uzgajanje šuma: Ekološki osnovi. Šumarski fakultet Univerziteta u Sarajevu.
22. NEAP. (2003). Akcioni plan za zaštitu okoliša BiH. Federalno Ministarstvo prostornog uređenja i okoliša, Ministarstvo za urbanizam, stambeno-komunalne djelatnosti, građevinarstvo i ekologiju RS.
23. Nedeljković, J., et al. (2019). Climate change governance in forestry and nature conservation: Institutional framework in selected SEE countries. *Šumarski list*, 143(9), 445-459.
24. Pfeiffer, A., et al. (2019). Izvještaj o praćenju potencijala biomase u Bosni i Hercegovini. GIZ/UNDP BiH.
25. Podrška pripreme za implementaciju Ciljeva održivog razvoja i angažiranje privatnog sektora. (2022). Pristupljeno 2022/05/09. <https://zamisli2030.ba/bs/cista-voda-i-sanitarni-uslovi/>
26. Posavec, S., et al. (2015). Private forest owners' willingness to supply woody biomass in selected South-Eastern European countries. *Biomass and Bioenergy*, 81, 144-153.
27. Pretzsch, H., et al. (2022). Efficacy of trans-geographic observational network design for revelation of growth patterns in mountain forests across Europe. In R. Tognetti et al. (Eds.), *Climate-Smart Forestry in Mountain Regions* (Vol. 40, pp. 101-113). Springer.
28. Pretzsch, H., et al. (2020). Evidence of elevation-specific growth changes of spruce, fir, and beech in European mixed mountain forests during the last three centuries. *Canadian Journal of Forest Research*, 50(7), 689-703.
29. Quoteambition. (2022). 220 forest quotes to discover peace & beauty in the woods by Amy Finn. Pristupljeno 2022/05/09. <https://www.quoteambition.com/forest-quotes/>
30. Republički zavod za statistiku RS. (2021). Statistički bilten Šumarstvo 2021, štete od požara. Pristupljeno 2022/05/09. https://www.rzs.rs.ba/static/uploads/bilteni/sumarstvo/Bilten_Sumarstva_2021_WEB.pdf
31. Roques, A., et al. (2015). Climate warming and past and present distribution of the processionary moths (*Thaumetopoea* spp.) in Europe, Asia Minor, and North Africa. Springer.
32. Schmithüsen, F., & Rojas-Briales, E. (2012). From sustainable wood production to multifunctional forest management: 300 years of applied sustainability in forestry. *Forest Policy and Forest Economics*, 12(1), 1-14.
33. Schmithüsen, F. (2013). Three hundred years of applied sustainability in forestry. *Unasylva*, 240(64).
34. Selmanagić Bajrović, A., & Avdibegović, M. (2010). Advocacy coalitions as agents of change in climate change policy-making: A case study of Bosnia-Herzegovina. *Radovi Šumarskog Fakulteta Univerziteta u Sarajevu*, 40(2), 101-123.
35. Sotirov, M., et al. (2024). Europe's wood supply in disruptive times (Chapter 2: Environmental Factors). *IUFRO World Series*, 42.
36. UNDP BiH. (2022). Ciljevi održivog razvoja. Pristupljeno 2022/05/09. https://www.ba.undp.org/content/bosnia_and_herzegovina/bs/home/sustainable-development-goals.html
37. UNDP/Ministarstvo za prostorno uređenje, građevinarstvo i ekologiju RS. (2022). Četvrti nacionalni izvještaj BIH u skladu sa Okvirnom konvencijom UN o klimatskim promjenama.
38. USAID. (2012). Mogućnost korištenja niskovrijednih drvnih sortimenata i konverzija izdanačkih šuma u Bosni i Hercegovini. *Fostering Interventions for Rapid Market Advancement (FIRMA)*.
39. UŠIT. (2014). Šume Bosne i Hercegovine (Karta realne šumske vegetacije u Bosni i Hercegovini). Digitalizirao Selimović E.
40. Vasković, S., et al. (2015). Multi-criteria optimization concept for the selection of optimal solid fuels supply chain from wooden biomass. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 36(1), 9-123.
41. Verkerk, P. J., et al. (2024). Forest-based climate change mitigation and adaptation in Europe. *From Science to Policy*, 14. European Forest Institute. <https://doi.org/10.36333/fs14>
42. Vojniković, S., et al. (2015). Utjecaj klimatskih promjena na recentno stanje šumske vegetacije u Kantonu Sarajevo. *Naše šume*, 40-41, 3-22.
43. Vukelić, J., et al. (2010). The influence of climate change on tree species distribution in South-East Europe. In S. Simard (Ed.), *Climate Change and Variability* (pp. 125-142). InTech.
44. Vuković, A., & Vujadinović Mandić, M. (2018). Study on climate change in the Western Balkans region. *Regional Cooperation Council Secretariat*, Sarajevo.
45. Vuletić, D., et al. (2020). Water-related payment schemes for forest ecosystem services in selected Southeast European (SEE) countries. *Forests*, 11(6), 1-27.

Utjecaj saobraćaja i komunikacija na zagađivanje okoliša i klimatske promjene

Ermin Muharemović

Sažetak: Saobraćajni i komunikacijski sistemi imaju bitan utjecaj na životnu okolinu, onečišćenje okoliša i klimatske promjene, a što potvrđuju statistički podaci relevantnih institucija koje se bave mjerenjem i istraživanjem. Saobraćajni sistem uključuje različite oblike transporta, kao što su cestovni, željeznički, vodeni, zračni i cjevovodni, a koji različito utječu na zagađenje vode, zraka i tla. U radu je posebna pažnja posvećena cestovnom saobraćaju, jer je statistički gledano jedan od glavnih izvora emisije stakleničkih plinova, prvenstveno kroz emisije CO₂, NOx, PM čestica i dr.

Uvođenjem održivih saobraćajnih sistema i komunikacijskih tehnologija može se smanjiti negativan utjecaj saobraćaja i transporta na životnu sredinu. Klimatske promjene koje se manifestuju kroz ekstremne vremenske uslove zahtijevaju prilagođavanje postojećih saobraćajnih i komunikacijskih sistema i njihove infrastrukture. Politike i regulative kojima se podstiče smanjenje emisija iz transportnih vozila i promocija održive mobilnosti su bitni segmenti istraživanja utjecaja saobraćaja i komunikacija na okoliš i klimatske promjene. Posebna pažnja je posvećena rješenjima, tehnološkim inovacijama, te promociji i korištenju obnovljivih izvora energije, čime se značajno može smanjiti negativan utjecaj saobraćaja i transporta na životnu sredinu i klimatske promjene. Poglavlje završava primjerima dobre prakse kojima se smanjuje utjecaj saobraćaja i komunikacija na zagađenje okoliša.

Ključne riječi: *utjecaj saobraćaja i komunikacija, onečišćenje okoliša, klimatske promjene, emisije stakleničkih plinova, održivi transport*

1. 1. *UVOD U SAOBRAĆAJNE I KOMUNIKACIJSKE SISTEME*

Saobraćajni sistemi pomažu ljudima da sigurno i brzo stignu gdje žele, dok komunikacijski sistemi omogućavaju da informacije (podaci) putuju brzo i sigurno. Razumijevanje kako ovi sistemi rade pomaže nam da ih unaprijedimo, učinimo sigurnijim i boljim za životnu sredinu, smanjimo gužve u saobraćaju i povećamo efikasnost. Tako možemo poboljšati kvalitet života i podržati održivi razvoj zajednica. Saobraćajni sistem kao jedinstvena cjelina djeluje na cjelokupno svoje okruženje, na privredni i društveni život. On ima svoju funkciju, strukturu, elemente sistema i veza između njih, podsistem i dr. Saobraćajni sistem se posmatra kao kompleksan, integriran i otvoren sistem. Funkcija saobraćajnog sistema je da što je moguće bolje zadovolji sve potrebe za kretanjem u nekom društvu, potreba za premještanjem roba, za prevozom ljudi, za prijenosom poruka (saopštenja, informacija) između prostorno udaljenih ljudi, a te potrebe za prevozom razlikuju se prostorno i vremenski.

Osnovnu strukturu saobraćajnog sistema čine saobraćajnice i saobraćajna sredstva različitih saobraćajnih grana (vidova), kao što su: drumski, željeznički, vodeni, pomorski, zračni i cjevovodni transport.

Komunikacije predstavljaju proces razmjene informacija preko određenog komunikacijskog sistema. Komunikacijski sistem se sastoji od različitih elemenata, kao što su infrastruktura, uređaji, tehnologije i korisnici, koji međusobno komuniciraju i formiraju složeni i integrisani sistem. Funkcija komunikacijskog sistema je da omogući što efikasniji i pouzdaniji prijenos informacija između ljudi i uređaja, bez obzira na njihovu prostornu udaljenost. Kao što je potrebno razumijevanje istog jezika za razgovor između dvije osobe, tako je i kod prijenosa informacija kroz komunikacijske sisteme potrebno osigurati određene mehanizme kako bi se omogućio prijenos informacija između različitih uređaja. Komunikacijski sistemi omogućavaju brz i efikasan način prijenosa informacija između ljudi, kompanija i društava. Ovi sistemi obuhvataju izuzetno širok spektar različitih tehnologija i platformi koje zajedno formiraju integriranu mrežu koja omogućuje povezivanje ljudi. Kao i saobraćajni sistemi, i komunikacijski sistemi imaju svoju funkciju koja omogućuje razmjenu informacija putem različitih formata, kao što su: telefonski pozivi, tekstualne poruke, audio i videopozivi i dr. Sa povećanjem broja korisnika ovih sistema povećava se potreba za brzim, sigurnim i pouzdanim prijenosom informacija. Kroz ubrzan razvoj tehnologije i digitalizacije bitno se mijenjaju i načini na koje ljudi danas komuniciraju. Upravo iz ovih razloga komunikacijski sistemi se konstantno prilagođavaju novim zahtjevima kao što su obimi prijenosa informacija i brzina. Ovako brz razvoj komunikacijskih tehnologija omogućuje integraciju različitih sistema, a što podržava inovacije u svim segmentima društva i doprinosi unapređenju kvaliteta života ljudi. Olakšana međunarodna saradnja i razmjena znanja dodatno omogućuju implementaciju ovih tehnologija u privredni i društveni sistem ljudi. Funkcija saobraćajnih i komunikacijskih sistema nije samo da zadovolje potrebe za kretanjem i komuniciranjem već i da podrže ekonomski rast i razvoj društva. Međutim, uprkos svojim brojnim prednostima, saobraćajni i komunikacijski sistemi imaju negativne efekte i posljedice na okoliš. Također, buka iz saobraćaja ima štetan utjecaj na ljudsko zdravlje i ekosisteme u urbanim i ruralnim područjima.

Više robe nego ikad prije se prevozi kamionima, jer je aktivnost teretnog prijevoza nastavila rasti, prelazeći 120 biliona tona-kilometara u 2017. godini. Ovaj porast se uglavnom pripisuje rastućoj potražnji za potrošačkom robom, koja se prevozi cestovnim teretnim prijevozom i pomorskim transportom. U 2017. godini, ukupna aktivnost putničkog prijevoza u svijetu iznosila je 55 biliona putnika-kilometara, od čega je 78% bilo iz cestovnog prijevoza (SLOCAT, 2021). Iako je željeznica daleko najefikasniji način transporta s najnižim emisijama CO₂ po

putniku, predstavljala je manje od 8% aktivnosti putnika te godine. Komunikacije kao vid saobraćaja omogućavaju brz i efikasan prijenos informacija i podataka između različitih lokacija i ljudi. Uz pomoć raznih tehnologija i infrastrukture poput telekomunikacijskih mreža, satelitskih veza i digitalnih platformi, komunikacijski sistemi podupiru globalnu povezanost, olakšavajući razmjenu ideja, poslovnih poruka i ličnih informacija. Osnovne karakteristike ovog vida transporta su: brzina prijenosa informacija, globalno povezivanje, fleksibilnost i mobilnost, ekonomičnost i dr.

2. SAOBRAĆAJ I ZAGAĐENJE OKOLIŠA

Utjecaj saobraćaja na okoliš sve više raste zbog povećane potrebe za kretanjem ljudi i većeg broja ličnih vozila, a što za sobom svakako povlači i izgradnju nove saobraćajne infrastrukture. Razvojem i povećanjem saobraćaja povećava se negativan utjecaj na okoliš, posebno na zrak, tlo i vodu, što direktno ugrožava biljni i životinjski svijet te zdravlje ljudi. Saobraćajni sektor se posmatra kao mobilni izvor emisija koje zagađuju okolinu. Saobraćajni sektor je usko vezan za korištenje fosilnih goriva, kao što su benzin i dizel. Zbog nepotpunog sagorijevanja goriva nastaju gasovite štetne materije koje kroz izduvni sistem vozila dopijevaju u atmosferu.

Dva najčešće korištena goriva (dizel i benzin) generišu različite mješavine zagađujućih tvari (Ghaffarpasand et al., 2020; Ćulov, Kavazović, 2024; Li, 2020; Forehead, Huynh, 2018):

- benzinska vozila su uglavnom odgovorna za emisije ugljenmonoksida (CO), isparljivih organskih komponenti (VOC), amonijaka (NH₃) i teških metala;
- dizelska vozila proizvode većinu suspendovanih čestica veličine od 2.5 mikrona i manje (PM_{2.5}) i okside azota (NOX);
- za efekat globalnog zagrijavanja značajne su i emisije ugljendioksida (CO₂).

Emisije štetnih tvari iz cestovnih vozila ograničene su u prvom redu obvezujućim smanjenjem ukupnih emisija stakleničkih gasova usvojenim Kyotskim protokolom, zatim na temelju njega usvojenim obvezujućim ciljevima Europske unije te naposljetku homologacijskim propisima implementiranim kroz direktive EU-a (Ćulov, Kavazović, 2024).

Prirodni i urbani prostor se sve više vizualno narušava, životinjska staništa se razdvajaju na manje dijelove, a zelene površine u gradovima se smanjuju. Saobraćaj kao industrija, a posebno cestovni saobraćaj, smatra se jednim od glavnih izvora zagađujućih materija, kao što su ugljenmonoksid CO, azotni oksid NO_x, čvrste čestice, sumpor dioksid SO₂, nestabilna organska jedinjenja (VOC), kao i bitan izvor emisije ugljendioksida CO₂. Šteta na okolišu zbog zagađujućih materija koje dolaze iz zraka kao rezultat saobraćaja i njihov utjecaj su dati u Tabeli 1. u nastavku.

Tabela 1. Zagađujuće materija koje dolaze iz zraka kao rezultat saobraćaja

Zagađujuća materija	Izvor / uzrok
Ugljenmonoksid – CO	Nepotpuno sagorijevanje
Ugljendioksid – CO ₂	Sagorijevanje
Ugljeno-vodonici – HC	Nepotpuno sagorijevanje, karburacija, ispravljanje
Oksidi azota (NOX)	Oksidacija N ₂ i azotnih komponenti
u gorivu	Incomplete combustion, road dust
Čestice, čađ (PM2.5 i PM 10)	Nepotpuno sagorijevanje, cestovna prašina
Ozon nastao interakcijom sa drugim zagađujućim materijama	Fotohemijska oksidacija sa NOX i
Ugljikovodici	11.14 x10 ⁻⁴
Olovo i drugi teški metali	Sagorijevanje
Kripton (Kr)	11.14 x10 ⁻⁴
Dušikov oksid (N ₂ O)	5x10 ⁻⁵
Xenon (Xe)	8.6x10 ⁻⁶
Hidrogen (H)	5x10 ⁻⁵
Dušikov dioksid (NO ₂)	2x10 ⁻⁸
Ozon (O ₃)	2x10 ⁻⁶
Sumpor dioksid (SO ₂)	2x10 ⁻⁸
Ugljenmonoksid (CO)	2x10 ⁻⁵
Amonijak (NH ₃)	1x10 ⁻⁶ -trag

Negativni utjecaji saobraćaja na životnu sredinu (zagađenje zraka i tla, buka, prevoz opasnih materijala, potrošnja prirodnih resursa itd.) variraju od jednog do drugog oblika saobraćaja, ali se može reći da status glavnog zagađivača pripada cestovnom i zračnom saobraćaju, dok ostale vrste saobraćaja karakterišu povoljnije ekološke performanse. Pregled utjecaja pojedinog vida saobraćaja na zrak, vodu, zemlju i prirodu dat je u Tabeli 2. u nastavku.

Tabela 2. Pregled utjecaja pojedinih vidova saobraćaja na zrak, vodu, zemlju i prirodu (Lindov, 2011)

Vid saobraćaja	Utjecaj na zrak	Utjecaj na vodu	Utjecaj na zemlju/tlo	Utjecaj na prirodu i divljač	Utjecaj na zrak
Cestovni	Emisije CO ₂ , NOx, PM čestice, buka	Otpadna voda od pranja cesta, hemikalije iz vozila	Izgradnja cesta, oštećenje tla zbog građevinskih radova, buka	Eksploatacija materijala za izradu cesta i izgradnja cesta, ugrožavanje divljih životinja	Emisije CO ₂ , NOx, PM čestice, buka
Željeznički	Proizvodnja električne energije za pogon, dizelske lokomotive	Mogući ispusti ulja i drugih hemikalija iz lokomotive	Transport opasnih materija	Manji utjecaj na staništa zbog relativno uskih trasa	Proizvodnja električne energije za pogon, dizelske lokomotive
Vodeni	Emisije CO ₂ , otpadna voda od brodova, buka	Ispuštanje vode korištene kao opterećenje iz brodova, moguća curenja goriva, kanalizacija i otpadne vode iz brodova, farbe za zaštitu brodova i dr.	Erozija obala zbog jačih struja, buka od motora	Utjecaj na morske ekosisteme, ugrožavanje vodenih vrsta	Emisije CO ₂ , otpadna voda od brodova, buka
Zračni	Velike emisije CO ₂ , NOx, vođena para, buka, sagaranja na stratosferskom ozonu i na višim nivoima, kondenzacioni tragovi	Odvod vode s aerodroma koja sadrži ulja i dr., otpadne vode iz aviona	Erozija zemljišta na aerodromskim površinama	Eksploatacija materijala za izgradnju aerodroma	Velike emisije CO ₂ , NOx, vođena para, buka, sagaranja na stratosferskom ozonu i na višim nivoima, kondenzacioni tragovi
Cjevovodni	Uništavanje ekoloških područja kroz izgradnju				Uništavanje ekoloških područja kroz izgradnju

Različiti vidovi saobraćaja imaju različite utjecaje na životnu sredinu. Cestovni saobraćaj značajno zagađuje zrak emisijama CO₂, NOx i PM česticama (Duan et al., 2021), te izaziva buku. Također, utječe na vodu i zemlju kroz otpadne vode i građevinske radove, te fragmentira staništa i ugrožava divljač. Kao najzastupljeniji vid saobraćaja, cestovni saobraćaj (Hu et al., 2023) ima primat u zagađivanju okoliša. Od ukupnog zagađenja saobraćajnim sektorom, cestovni saobraćaj učestvuje sa 75-95%, dok ostali vidovi saobraćaja učestvuju u preostalom procentu zagađenja (Lindov, 2011). Željeznički saobraćaj ima manji utjecaj na zrak i staništa u poređenju s cestovnim, ali može izazvati manje zagađenje vode i tla. Vodeni saobraćaj zagađuje zrak i vodu ispuštanjem otpadnih voda i goriva, te negativno utječe na morske ekosisteme. Zračni saobraćaj je veliki izvor emisija CO₂ i buke, te može utjecati na atmosferu i klimu. Cjevovodni transport, iako manje vidljiv, može izazvati zagađenje zraka i tla, posebno tokom gradnje i u slučaju curenja. Svi ovi faktori naglašavaju potrebu za održivim praksama i tehnologijama u saobraćaju kako bi se umanjio negativni utjecaj na životnu sredinu. Transport stvara još jedan negativan učinak, a to je buka. Pretpostavlja se da oko 135 milijuna ljudi koji žive u urbanim područjima pate od buke uzrokovane transportom. Slika u nastavku

pokazuje nivo buke koju proizvode različiti oblici izvora, uključujući i vozila kao što su motocikli, vlakovi (90 dB) i zrakoplovi pri polijetanju (120 dB).

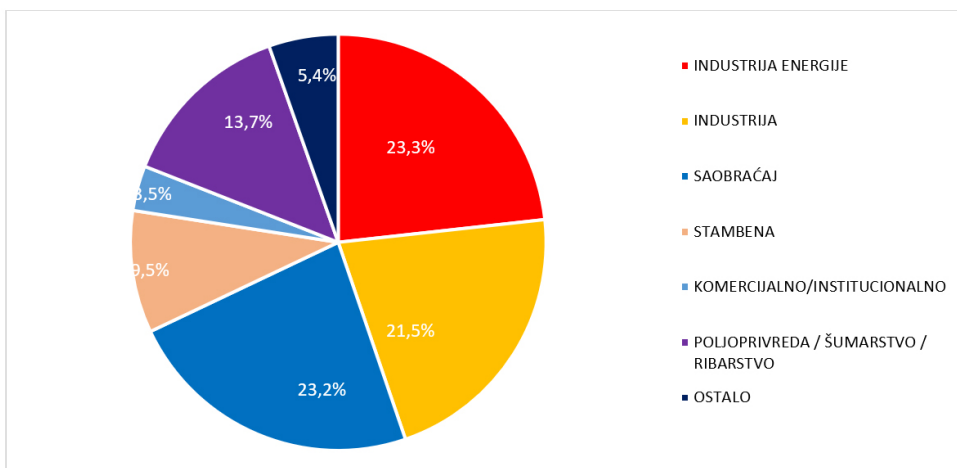
Nivo zvuka (dB)	Izvor	Nivo
120	Avion pri polijetanju	Ekstremno glasno
110	Autosirena	
100		
90	Kamion, motocikl, voz	Veoma glasno
80	Autobus	
70	Buka uz autocestu	Glasno
60		Umjereno
50	Cestovna ulica u gradu	
40		Tiho ili bez buke
30		
20		
10		
0		

Slika 1. Nivo buke koju proizvode različiti oblici izvora, uključujući vozila

3. EMISIJE IZ RAZLIČIH VIDOVA SAOBRAĆAJA

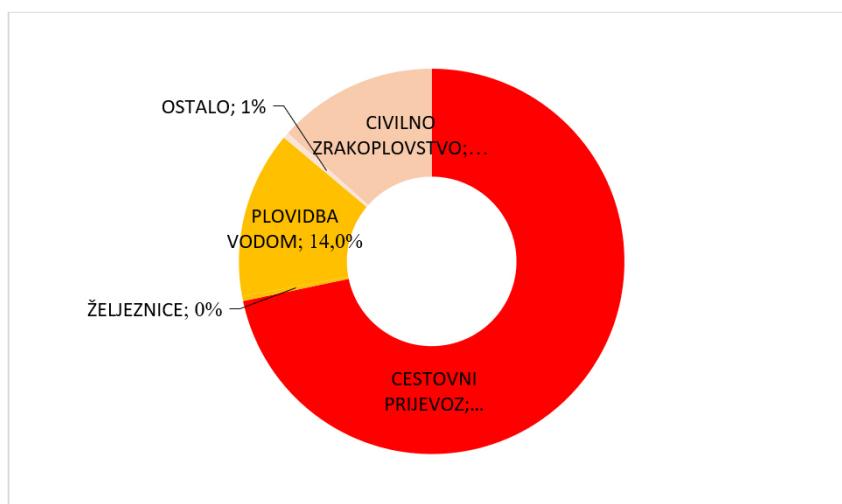
Emisije iz saobraćaja predstavljaju značajan izvor zagađenja u urbanim i ruralnim područjima širom svijeta. Različiti vidovi saobraćaja, kao što su cestovni, željeznički, zračni, vodeni i cjevovodni, imaju specifične utjecaje na okoliš, emitirajući različite količine CO₂, azotnog oksida (NOx), čestica, sumpor dioksida i drugih zagađujućih tvari. U 2019. godini, cestovni transport je činio 71,7% emisija sektora transporta EU-27 (EEA, 2022). Emisije gasova staklene bašte iz transporta prvenstveno dolaze od sagorijevanja fosilnih goriva za automobile, kamione, brodove, vozove i avione. Preko 94% goriva koje se koristi za transport je na bazi nafte, što uključuje prvenstveno benzin i dizel i rezultira direktnim emisijama.

Na slici u nastavku je dat pregled emisije stakleničkih plinova (CO₂) po sektorima u EU-27 za 2022. godinu, što daje uvid u raznolikost i utjecaj različitih industrijskih i sektorskih aktivnosti na ukupne emisije u ovom regionu.



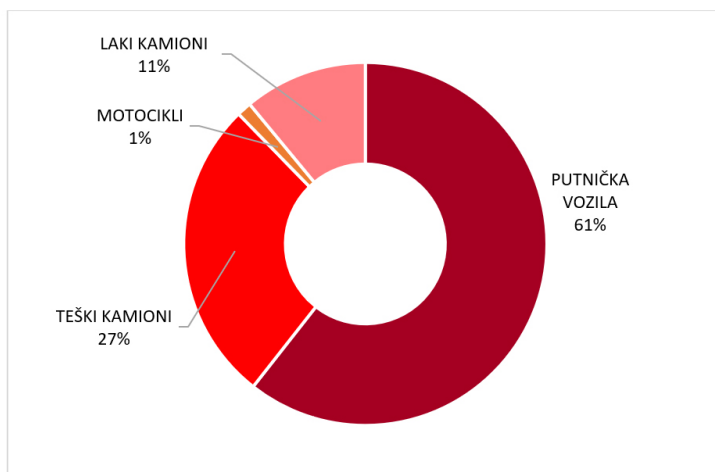
Slika 2. Pregled emisije stakleničkih plinova u EU-u (EU Commission, 2022)

Za razliku od drugih sektora, emisije stakleničkih plinova u sektoru transporta povećale su se u protekla tri desetljeća. Nakon kratkotrajnog pada nakon privredne krize 2008.-2009., emisije su ponovno počele rasti. Preliminarni podaci pokazuju da su emisije u 2020. godini, kao rezultat krize COVID-19, smanjene. Među načinima cestovnog transporta, automobili imaju dominantnu ulogu, čineći 60,6% emisija, slijede ih teški kamioni i autobusi, koji zajedno predstavljaju 27,1% emisija cestovnog transporta u 2019. godini (EEA, 2022). Pregled udjela emisija stakleničkih plinova iz transporta EU-27 prema modovima transporta i udjelu u % dat je na slici u nastavku.



Slika 3. Udio emisija stakleničkih plinova iz transporta EU-27 prema modovima transporta (EU, 2023)

Slika 3. prikazuje podjelu emisija stakleničkih plinova po različitim kategorijama unutar cestovnog transporta u EU-27.



Slika 4. Analiza emisija stakleničkih plinova po kategorijama cestovnog transporta u EU-27 (Ibid.)

Emisije CO₂ iz putničkog prijevoza značajno se razlikuju ovisno o načinu prijevoza. Lični automobili glavni su zagađivači i čine 60,7% ukupnih emisija CO₂ iz cestovnog saobraćaja u Evropi, s prosječnom stopom popunjenosti od 1,6 ljudi po automobilu u Evropi u 2018 (Ibid.). Cestovni transport (putnički i teretni zajedno) doprinio je gotovo tri četvrtine (74%) stakleničkih plinova iz transporta te godine, dok je željeznica predstavljala samo 5% (vidi sliku ispod). Oko 36% emisija CO₂ iz transporta događa se u urbanim područjima, pri čemu 31.6% dolazi od putničkog transporta, a 4.7% od teretnog (SLOCAT, 2021). Porast cestovnog saobraćaja u posljednjih nekoliko decenija doveo je do značajnog porasta emisija stakleničkih plinova, posebno u zemljama u razvoju gdje se obično koriste vozila sa visokim emisijama. Dok emisije putničkog saobraćaja dominiraju ukupnim emisijama u urbanim područjima, teretni saobraćaj također igra ključnu ulogu u zagađenju vazduha, posebno u gradovima sa visokim nivoom industrijske aktivnosti.

4. KOMUNIKACIJE I OKOLIŠ

Kao ljudska vrsta, obavezni smo i odgovorni da ne narušavamo ekosistem ukupnim odnosom prema okolini, posebno s obzirom na našu ulogu inovatora, pokretača i realizatora tehnološkog razvoja. Naša odgovornost za posljedice koje ovaj razvoj povlači za sobom je izuzetno velika. Primjena informaciono-komunikacijskih tehnologija (ICT), pri čemu telekomunikacijski saobraćaj posmatramo kao dio rješenja, vodi ka smanjenju štetnog utjecaja saobraćaja na čovjekovu okolinu. Intenzitet ovih fenomena i veoma nepovoljne prognoze za budućnost utjecali su na stvaranje novih razvojnih ciljeva, uključujući nekad nezamisliv pojam „održivi razvoj“ (engl. *sustainable development*), te pojam „zeleni“, koji podrazumijeva određeni stepen usmjeravanja i ograničavanja u korist mogućnosti razvoja budućih generacija.

Integracija naprednih komunikacijskih tehnologija u različite aspekte društva omogućava smanjenje emisija stakleničkih plinova i drugih štetnih tvari. Primjera radi, telekonferencije i videopozivi smanjuju potrebu za poslovnim putovanjima, što direktno smanjuje emisije iz avionskog i cestovnog saobraćaja. Pametne mreže (engl. *smart grids*) i internet stvari (IoT) omogućavaju efikasnije korištenje resursa i energije, što dodatno smanjuje negativan utjecaj na okoliš (Kumar et al., 2023).

Razvoj i implementacija tehnologija kao što su 5G mreže, koje omogućavaju bržu i efikasniju

komunikaciju, igraju bitnu ulogu u razvoju pametnih gradova (Gohar, Nencioni, 2021). Pametni gradovi koriste senzore i napredne analitike za optimizaciju saobraćaja, smanjenje zagađenja i poboljšanje kvaliteta života stanovnika. Na taj način, komunikacijske tehnologije postaju neizostavan alat u borbi protiv klimatskih promjena i zaštiti okoliša.

Uvođenje zelenih ICT rješenja, također, uključuje razvoj energetske efikasne podatkovnih centara i korištenje obnovljivih izvora energije za njihovo napajanje. Primjena ovakvih rješenja omogućava smanjenje ugljičnog otiska ICT sektora i doprinosi održivijem razvoju. Iako je savremeno društvo svjesno potrebe za promjenom mnogih prošlih praksi u korist okoliša, sektor tehnologije i dalje ima negativne utjecaje koje treba ublažiti.

Proizvodnja elektroničkih uređaja, uz programiranu zastarjelost i razvoj sve moćnijih infrastruktura, zahtijeva veliku količinu prirodnih resursa, uključujući minerale, metale i fosilna goriva (Dou et al., 2023). Ova potreba dovodi do značajnih ekoloških utjecaja, kao što su deforestacija, degradacija tla i zagađenje voda.

Brza zastarjelost tehnologije i stalna ponuda novih proizvoda stvaraju veliku količinu elektroničkog otpada. Ovi uređaji sadrže toksične supstance, kao što su olovo, živa i arsen, koje mogu procuriti u podzemne vode i zagađivati ih ako se ne zbrinjavaju pravilno. Nepravilno rastavljanje elektroničkog otpada može osloboditi opasne supstance i predstavljati zdravstveni rizik.

Energija potrebna za napajanje servera, podatkovnih centara i uređaja također doprinosi emisiji stakleničkih gasova, što je već viđeno u slučajevima poput rudarenja kriptovaluta (Sarkodie et al., 2023). Ove emisije doprinose globalnom zagrijavanju i dodatno opterećuju okoliš. Nedostatak pravilnog upravljanja elektroničkim otpadom, uključujući proizvodnju elektroničkih komponenti, često podrazumijeva intenzivne industrijske procese koji emitiraju zagađivače u zrak i vodu. Ovi zagađivači mogu imati negativne efekte na kvalitet zraka i vode, kao i na zdravlje ljudi i opstanak vrsta (Zhang et al., 2022).

Tehnologija ima značajan potencijal da zaštiti okoliš kroz niz inovativnih primjena. Obnovljivi izvori energije kao što su solarna, vjetrena, geotermalna i hidroelektrična energija bitni su u tranziciji prema održivom energetskom sistemu. Upravljanje otpadom postaje efikasnije zahvaljujući tehnološkim inovacijama kao što su automatizirani sistemi za reciklažu i senzorsko praćenje otpada. Pametni sistemi za upravljanje zgradama omogućuju smanjenje potrošnje energije putem automatskog upravljanja osvjetljenjem, grijanjem i hlađenjem. Tehnologije kao što su Internet stvari (IoT) omogućuju precizno praćenje i optimizaciju potrošnje vode, energije i ostalih resursa. 5G mreže unapređuju energetske učinkovitost telekomunikacijskih infrastruktura, smanjujući ukupnu potrošnju energije. Istraživanja pokazuju da ICT može značajno doprinijeti smanjenju emisije stakleničkih plinova i povećanju energetske efikasnosti u kućanstvima i industriji. Međutim, postoji i izazov u tome da povećana upotreba ICT-a može povećati ukupnu potrošnju energije u nekim slučajevima. Integracija umjetne inteligencije i mašinskog učenja optimizira poljoprivrednu proizvodnju i smanjuje potrebu za pesticidima (Mahdavi, Sojoodi, 2021).

Emisije CO₂ koje su izazvane nekim ICT uslugama već su procijenjene i upoređene s emisijama koje proizvode odgovarajuće konvencionalne usluge, kako bi se procijenila smanjena društvena ekološka opterećenja. Tabela u nastavku prikazuje procijenjenu stopu smanjenja CO₂ postignutu korištenjem ICT tehnologija.

Tabela 3. pokazuje procentualno smanjenje utjecaja na životnu sredinu, postignuto korišćenjem različitih ICT usluga u poređenju sa tradicionalnim uslugama, kao što su poslovna putovanja, obuka i konvencionalne metode učenja.

Tabela 3. Smanjenje ekološkog uticaja putem ICT usluga

ICT tehnologije	Konvencionalne usluge	Smanjenje u (%)
Videokonferencija	Poslovni putevi i sastanci	60-90
e-učenje	Treninzi i obuke	85
Online studiranje	Tradicionalni način studiranja	30

Prema istraživanju (Riehl, n.d.), prosječan pametni telefon ima emisiju CO₂ od 55 do 95 kg tokom svog životnog ciklusa. Ovo uključuje emisije od dobijanja resursa potrebnih za proizvodnju, same proizvodnje, distribucije, korištenja i konačno recikliranja uređaja. Samo za punjenje i korištenje prosječno se 12 kg/godini emituje (Ibid.). Također, prema istom istraživanju, za prosječan laptop se procjenjuje da emisija CO₂ tokom njegovog životnog ciklusa iznosi od 200 do 300 kg. Ovo uključuje emisije od ekstrakcije resursa, proizvodnje, korištenja energije tokom korištenja, transporta i na kraju recikliranja ili zbrinjavanja uređaja. Samo tokom korištenja (punjenje i korištenje) emituje se oko 50kg CO₂/godinu.

5. KLIMATSKE PROMJENE I SAOBRAĆAJ

Klimatske promjene i saobraćaj su međusobno povezani na različite načine, pri čemu saobraćaj značajno doprinosi klimatskim promjenama, dok klimatske promjene istovremeno utječu na efikasnost i funkcionalnost saobraćajnog sistema. Saobraćaj je odgovoran za približno 25% globalnih emisija stakleničkih gasova, a u Evropskoj uniji ovaj sektor čini 23,2% ukupnih emisija CO₂ (EU Commission, 2022). Od toga, cestovni saobraćaj ima najveći udio, generišući oko 71,7% emisija iz transportnog sektora (EU, 2023).

Emisije iz saobraćaja uključuju ugljendioksid (CO₂), azotne okside (NOx), čestice (PM) i sumpor dioksid (SO₂). Posebno su problematične emisije CO₂ zbog njihovog doprinosa globalnom zagrijavanju. Ove emisije doprinose globalnom zagrijavanju, zagađenju zraka i negativnim efektima na zdravlje ljudi i okoliš (Lelieveld et al., 2015). Naprimjer, emisije stakleničkih gasova iz transporta u EU-27 su porasle za 33,5% od 1990. do 2019. godine (EEA, 2022). Klimatske promjene, uključujući porast nivoa mora i ekstremne vremenske uslove, značajno utječu na sve vidove saobraćaja. Promjene u nivou vode otežavaju poslovanje vodenog saobraćaja, dok oluje i poplave ometaju cestovni i željeznički saobraćaj. Prilagođavanje infrastrukture postaje neophodno za održavanje efikasnosti saobraćajnih sistema. Zbog klimatskih promjena, nivo vode na mnogim plovnim rutama značajno se smanjio, što predstavlja ozbiljan izazov za prevoznike i globalnu logistiku. Niske vode otežavaju plovidbu, smanjujući kapacitet i broj plovila koja mogu sigurno prolaziti kroz kanale i rijeke. Ova situacija najviše pogađa Panamski kanal, jednu od najprometnijih pomorskih ruta na svijetu. Usljed suše, nivo vode je toliko nizak da je smanjen broj plovila koja mogu prolaziti kanalom, a također je smanjeno i njihovo maksimalno opterećenje, što znači da mogu nositi manje tereta. Ovo dovodi do formiranja dugih redova brodova koji čekaju na prolaz, što dodatno usporava globalne lance snabdijevanja.

Ove promjene ističu potrebu za prilagođavanjem transportnih strategija i infrastrukturnim ulaganjima kako bi se smanjili negativni utjecaji klimatskih promjena na globalni transport. Ekstremni vremenski uslovi, kao što su oluje, poplave i suše, dodatno narušavaju transportnu infrastrukturu. Tokom zime 2019. godine, snježne oluje u Evropi prouzrokovala su prekide u zračnom i cestovnom saobraćaju, uzrokujući značajne ekonomske gubitke (Hsu et al., 2024). Manji kapacitet i duže čekanje povećavaju troškove transporta i mogu uzrokovati kašnjenja

u isporuci robe. Ovo dodatno povećava potrebu za efikasnim i održivim pristupima u saobraćajnom planiranju i implementaciji mjera koje će smanjiti negativne utjecaje klimatskih promjena na saobraćaj.

6. POLITIKE I REGULATIVE

S razvojem politike zaštite okoliša razvijala se i svijest o ograničenosti prirodnih resursa. Upravljanje ovom politikom u društvu podrazumijeva odgovorno postupanje prema prirodi i životnoj sredini, kako bi se one zaštitile i očuvala od zagađenja. Politika zaštite okoliša nudi odgovore na pitanja poput upravljanja i usmjeravanja ekoloških procesa, zaštite ključnih resursa neophodnih za opstanak života na Zemlji i stvaranja održive budućnosti (Blagojević, 2019).

U kontekstu saobraćaja, ova politika obuhvata strategije za smanjenje emisija štetnih plinova, promoviranje održivih oblika transporta, te unapređenje infrastrukture za niskoemisijska vozila. Održiva mobilnost i odgovorno upravljanje transportnim sistemima bitni su za smanjenje ekološkog otiska i postizanje dugoročnih ciljeva zaštite okoliša.

Politike i regulative koje su povezane s utjecajem saobraćaja na zagađenje i zaštitu okoliša uključuju širok spektar mjera i inicijativa koje se primjenjuju na lokalnom, nacionalnom i međunarodnom nivou. U tom kontekstu su uvedeni:

- Emisijski standardi za vozila - uvođenje i primjena strožih emisijskih standarda za vozila, koji se odnose na ograničavanje emisija štetnih plinova poput CO₂, NOx, SOx i čestica (Direktiva 70/220/EEC, Euro 1 - Direktiva 91/441/EEC, Euro 2 - Direktiva 94/12/EC, Euro 3 - Direktiva 98/69/EC, Euro 4 - Direktiva 2002/80/EC, Euro 5 - Regulative (EC) br. 715/2007, Euro 6 - Regulative (EU) br. 459/2012) (Singh et al., 2023).
- Propisi koji regulišu kvalitet goriva, čime bi se smanjile emisije štetnih gasova prilikom sagorijevanja u motorima vozila (Direktiva 98/70/EZ o kakvoći benzinskih i dizelskih goriva).
- Uvođenje cestarina i posebnih poreza za vozila s visokim emisijama (Direktiva 1999/62/EC, poznata kao Eurovinjeta, omogućava naplatu cestarina temeljenih na emisijama vozila), te politika ograničenog pristupa određenim područjima gradova s ciljem smanjenja gužvi, buke i zagađenja (Zone niskih emisija – engl. *Low Emission Zone* – LEZ) (Moliner et al., 2013).
- Politike koje promoviraju korištenje javnih gradskih prijevoza, pješačenja i biciklizma (*Bijela knjiga o saobraćaju iz 2011. godine promovira održivi urbani razvoj i smanjenje emisija kroz integrirane prometne strategije*).
- Politike i mjere za finansijski podsticaj i subvencije za korištenje i kupovinu vozila sa niskim emisijama (Direktiva 2014/94/EU Evropskog parlamenta i Vijeća od 22. listopada 2014. o uspostavi infrastrukture za alternativna goriva).

Evropski zeleni plan (engl. *European Green Deal*) je strateški okvir Evropske unije (EU) usmjeren na transformaciju EU-a u klimatski neutralno društvo do 2050. godine (*UN General Assembly, n.d.*). Ovaj okvir podrazumijeva postizanje nulte neto emisije stakleničkih plinova i održivog privrednog rasta, istovremeno osiguravajući da prijelaz bude pravedan i uključiv za sve građane i regije. Osnovni ciljevi Evropskog zelenog plana su (Gervasi et al., 2024):

- klimatska neutralnost do 2050. godine kroz smanjenje emisija stakleničkih plinova i postizanje nulte neto emisije,

- povećanje cilja za smanjenje emisija do 2030. godine (najmanje 55% smanjenje emisija u odnosu na nivo iz 1990. godine),
- privredni rast odvojen od upotrebe resursa kroz poticanje cirkularne ekonomije i održivih industrijskih praksi, i
- zaštita i obnova ekosistema i bioraznolikosti kroz očuvanje prirodnih resursa i biološke raznolikosti.

Jedna od komponenti strateškog okvira *Evropskog zelenog plana* je zeleni transport, koji uključuje strože emisijske standarde za vozila, poticanje korištenja električnih vozila i razvoj potrebne infrastrukture. Također se fokusira i na održivu urbanu mobilnost kroz razvoj biciklističkih staza, unapređenje javnog prijevoza i smanjenje zagađenja u gradovima.

Bosna i Hercegovina ima zakone i pravilnike koji prate EU regulative iz oblasti utjecaja saobraćaja na okoliš i mjere za poboljšanje. Zakon o zaštiti okoliša i Zakon o zrakoplovstvu sadrže odredbe usklađene sa standardima EU-a za smanjenje emisija iz vozila i promociju održivog transporta. Također, Pravilnik o graničnim vrijednostima emisija iz motornih vozila usklađen je s EU-ovim emisijskim standardima, čime se dodatno podržava smanjenje zagađenja iz saobraćaja.

7.RJEŠENJA, TEHNOLOŠKE INOVACIJE I ODRŽIVI RAZVOJ

Rješenja, tehnološke inovacije i održivi razvoj imaju značajan utjecaj na transformaciju i oblikovanje saobraćaja i komunikacija prema održivijoj budućnosti. Saobraćaj predstavlja jedan od najvećih izvora emisija stakleničkih plinova i zagađenja zraka, zbog čega su neophodna inovativna rješenja za smanjenje ovog negativnog utjecaja, te se konstantno radi na rješavanju ovih problema. Veliki gradovi izrađuju Plan održive urbane mobilnosti (engl. *Sustainable Urban Mobility Plan – SUMP*) (Arsenio et al., 2016), koji predstavlja strateški plan kreiran kako bi se zadovoljile potrebe za mobilnošću ljudi i kompanija u gradovima i njihovoj okolini na održiv način. SUMP integrira različite oblike transporta i promovise održivost u saobraćaju, što je direktno povezano sa ciljevima održivog razvoja (SDG).

Uvođenje praktičnih i održivih rješenja u saobraćajnim i komunikacijskim sistemima ima za cilj smanjenje emisija i poboljšanje kvalitete života u urbanim sredinama. Fokus na unapređenju javnog prevoza, izgradnji biciklističkih staza i promociji pješaćenja pokazuje značajne rezultate u smanjenju emisija zagađenja zraka u poređenju s upotrebom privatnih automobila. Tehnološke inovacije u saobraćajnim i komunikacijskim sistema se koriste za modernizaciju i povećanje efikasnosti, a koje mogu direktno ili indirekto smanjiti zagađenje okoliša. Kroz korištenje i upotrebu tehnoloških inovacija mogu se bitno smanjiti gužve u gradovima, povećati sigurnost i smanjiti emisije štetnih gasova. Neke od tehnoloških inovacija u oblasti saobraćaja i komunikacija, koje direktno utječu na smanjenje emisija zagađenja, su: električna (Džananović et al., 2022) i hibridna vozila, inteligentni transportni sistemi (ITS), autonomna vozila, mobilne aplikacije, virtuelna stvarnost, optičke mreže i dr.

Održivi razvoj u saobraćaju i komunikacijama zahtijeva integraciju ekoloških, ekonomskih i društvenih aspekata. Ove inicijative doprinose smanjenju ekološkog otiska i stvaranju zdravijih, otpornijih zajednica. Održivi razvoj u saobraćajnim i komunikacijskim sistemima se provodi kroz: razvoj strategija za smanjenje emisija stakleničkih plinova, planiranje gradova koji integiraju različite oblike prijevoza i potiču na urbanu mobilnost, izgradnju infrastrukturnih projekata koji minimiziraju ekološki otisak (zeleni krovovi na stanicama i korištenje materijala prihvatljivih s aspekta ekologije), te kroz edukaciju i podizanje svijesti

svih učesnika. Svaki čovjek, kompanija, država bi morala sagledati kroz koje procese sudjeluju u stvaranju stakleničkih plinova i s određenim strategijama smanjiti ih ili potpuno ukloniti. Postoji nekoliko generalnih strategija koje većina ljudi može učiniti, a to su (Li, 2020):

- Korištenje obnovljivih izvora energije za napajanje kuća i zgrada. To bi dovelo do smanjenja topline koja se diže u atmosferu. Najkorišteniji oblici obnovljive energije su solarna energija i energija vjetra.
- Korištenje električnih automobila umjesto onih koje pokreću fosilna goriva.
- Korištenje javnog gradskog prijevoza.
- Bolja toplinska izolacija kuća i zgrada.
- Tamo gdje je moguće, uravnotežiti godišnje emisije ugljendioksida ulaganjem u komercijalne usluge koje izvlače ugljendioksid iz atmosfere.
- Poticati lokalna poduzeća koja koriste i promiču održive, klimatski povoljne prakse.
- Postavljanje gornje granice količine ugljendioksida, koja se može emitirati u atmosferu.

8. PRIMJERI DOBRE PRAKSE

Danas se može naći dosta primjera dobre prakse koji su imali pozitivne efekte na smanjenje štetnih gasova. U nastavu su navedeni primjeri dobrih praksi.

Kopenhagen je postao primjer uspješne implementacije održivog javnog prevoza. Grad je značajno uložio u razvoj biciklističkih staza, poboljšanje javnog prevoza, te uvođenje električnih autobusa. Gotovo polovica svih stanovnika idu na posao biciklom, dok 35% svih ljudi koji rade u Kopenhagenu, uključujući i one koji žive u predgrađima, putuju biciklom. Biciklisti imaju 390 km označenih biciklističkih staza, što je rezultiralo smanjenjem emisija stakleničkih plinova za oko 70.000 tona CO₂ godišnje (Nomago, n.d.).

London je uveo niskougljične zone (engl. *Low Emission Zones - LEZ*) koje ograničavaju ulazak vozila s visokim emisijama u određene dijelove grada. Londonska niskougljična zona (LEZ) je implementirana kako bi se smanjile emisije PM10 iz dizelskih vozila s visokim emisijama. Politika se provodila u nekoliko faza, od kojih je svaka imala strože kriterije emisija za obuhvaćena vozila. Prva faza LEZ-a, koja je bila manje stroga, rezultirala je kratkotrajnim povećanjem PM10 emisija unutar zone za 14.8%, dok je druga faza, koja je bila stroža, značajno smanjila PM10 emisije za 5.5%. Ovi rezultati pokazuju različite učinke politike u zavisnosti od faze (Zhai, Wolff, 2021).

Barcelona je instalirala pametne ulične svjetiljke koje koriste senzore za otkrivanje prisutnosti ljudi i vozila, što omogućava prilagođavanje osvjetljenja prema potrebi. Ovaj sistem smanjuje potrošnju energije za 30% i godišnje šteti gradu više od 36 miliona eura (*Smart City Barcelona, 2024*).

LITERATURA

1. Arsenio, E., Martens, K., and Di Ciommo, F. (2016). *Sustainable urban mobility plans: Bridging climate change and equity targets? Research in Transportation Economics*, 55, 30–39. <https://doi.org/10.1016/j.retrec.2016.04.008>.
2. Blagojević, M. (2019). *Politika zaštite okoliša*.
3. Čulov, A., Kavazović, S. (2024). *Proračun emisije zagađujućih tvari iz mobilnih izvora - cestovnog saobraćaja u Federaciji Bosne i Hercegovine za 2022. godinu*. Sarajevo.

4. Dou, S., Xu, D., Zhu, Y., and Keenan, R. (2023). Critical mineral sustainable supply: Challenges and governance. *Futures*, 146, 103101. <https://doi.org/10.1016/j.futures.2023.103101>.
5. Duan, L., Hu, W., Deng, D., Fang, W., Xiong, M., Lu, P., Li, Z., and Zhai, C. (2021). Impacts of reducing air pollutants and CO₂ emissions in urban road transport through 2035 in Chongqing, China. *Environmental Science and Ecotechnology*, 8, 100125. <https://doi.org/10.1016/j.esse.2021.100125>.
6. Džananović, A., Dacić, S., and Muharemović, E. (2022). Key evaluation criteria for assessing the introduction of electric vehicles into the logistics operators fleet. *Science, Engineering & Technology*, 2, 1–<https://doi.org/10.54327/set2022/v2.i2.39>.
7. EEA. (2022). Decarbonising road transport - the role of vehicles, fuels and transport demand. Luxembourg.
8. EU Commission. (2022). Statistical Pocketbook. <https://doi.org/10.2832/928929>.
9. EU. (2023). Emisije CO₂ u prometu EU-a: Činjenice i brojke.
10. Forehead, H., Huynh, N. (2018). Review of modelling air pollution from traffic at street-level: The state of the science. *Environmental Pollution*, 241, 775–786. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.06.019>.
11. Gervasi, O., Murgante, B., Garau, C., Tanar, D., Rocha, A.M.A., and Lago, M.N.F. (Eds.). (2024). *Computational Science and Its Applications – ICCSA 2024 Workshops*. Springer Nature Switzerland, Cham. <https://doi.org/10.1007/978-3-031-65273-8>.
12. Ghaffarpasand, O., Beddows, D.C.S., Ropkins, K., and Pope, F.D. (2020). Real-world assessment of vehicle air pollutant emissions subset by vehicle type, fuel, and EURO class: New findings from the recent UK EDAR field campaigns, and implications for emissions restricted zones. *Science of The Total Environment*, 734, 139416. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139416>.
13. Gohar, A., Nencioni, G. (2021). The role of 5G technologies in a smart city: The case for intelligent transportation system. *Sustainability*, 13, 5188. <https://doi.org/10.3390/su13095188>.
14. Hu, M., Sha, Q., Jia, G., Liu, Y., You, Y., and Zheng, J. (2023). Assessing the co-benefits of emission reduction measures in the transportation sector: A case study in Guangdong, China. *Urban Climate*, 51, 101619. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2023.101619>.
15. Hsu, C.-W., Liu, C., Liu, Z., and Mostafavi, A. (2024). Unraveling extreme weather impacts on air transportation and passenger delays using location-based data. *Data Science in Transportation*, 6, 9. <https://doi.org/10.1007/s42421-024-00094-1>.
16. Kumar, S., Pathak, U., Astha, Bhatia, B. (2023). Achieving peak energy efficiency in smart grids using AI and IoT. In *Sustainable Development through Machine Learning, AI, and IoT* (pp. 123–135). Communications in Computer and Information Science, vol 1939. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-47055-4_11.
17. Lelieveld, J., Evans, J.S., Fnais, M., Giannadaki, D., and Pozzer, A. (2015). The contribution of outdoor air pollution sources to premature mortality on a global scale. *Nature*, 525, 367–371. <https://doi.org/10.1038/nature15371>.
18. Li, W.-W. (2020). Air pollution, air quality, vehicle emissions, and environmental regulations. In *Traffic-Related Air Pollution* (pp. 23–49). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818122-5.00002-8>.
19. Lindov, O. (2011). Transport i okoliš. Fakultet za saobraćaj i komunikacije, Sarajevo.
20. Mahdavi, S., and Sojoodi, S. (2021). Impact of ICT on Environment. *Research Square*.
21. Moliner, E., Vidal, R., and Franco, V. (2013). A fair method for the calculation of the external costs of road traffic noise according to the Eurovignette Directive. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 24, 52–61. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2013.05.007>.
22. Nomago. (2024). Top 15 svjetskih gradova za bicikliste. <https://www.nomago.hr/blog/top-15-svjetskih-gradova-za-bicikliste/>, last accessed 2024/08/24.
23. Ogryzek, M., Adamska-Kmieć, D., and Klimach, A. (2020). Sustainable transport: An efficient transportation network—Case study. *Sustainability*, 12, 8274. <https://doi.org/10.3390/su12198274>.
24. Riehl, L. (2021). The carbon footprint of everyday technology. Medium. <https://medium.com/@laurariehl/the-carbon-footprint-of-everyday-technology-57d97db6c2e4>.
25. SLOCAT. (2021). Tracking trends in a time of change: The need for radical action towards sustainable transport decarbonisation.
26. Sarkodie, S.A., Amani, M.A., Ahmed, M.Y., and Owusu, P.A. (2023). Assessment of Bitcoin carbon

- footprint. *Sustainable Horizons*, 7, 100060. <https://doi.org/10.1016/j.horiz.2023.100060>.
27. Singh, S., Kulshrestha, M.J., Rani, N., Kumar, K., Sharma, C., and Aswal, D.K. (2023). An overview of vehicular emission standards. *MAPAN*, 38, 241–263. <https://doi.org/10.1007/s12647-022-00555-4>.
 28. Smart City Barcelona. (2024). <https://www.aboutsmartcities.com/smart-city-barcelona/>, last accessed 2024/06/01.
 29. UN General Assembly. (n.d.). TRANSFORMING OUR WORLD: THE 2030 AGENDA FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT. <https://doi.org/10.1201/b20466-7>.
 30. Zhang, C., Khan, I., Dagar, V., Saeed, A., and Zafar, M.W. (2022). Environmental impact of information and communication technology: Unveiling the role of education in developing countries. *Technological Forecasting and Social Change*, 178, 121570. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2022.121570>.
 31. Zhai, M., and Wolff, H. (2021). Air pollution and urban road transport: Evidence from the world's largest low-emission zone in London. *Environmental Economics and Policy Studies*, 23, 721–748. <https://doi.org/10.1007/s10018-021-00307-9>.

Ublažavanje klimatskih promjena i poboljšanje kvaliteta zraka

Azrudin Husika

Sažetak: Sa sve većim negativnim utjecajem klimatskih promjena na cijelu planetu Zemlju uvode se pravila i ograničenja s ciljem prilagođavanja i ublažavanja klimatskih promjena. Tako su se u decembru 2019. na sastanku u okviru Evropskog vijeća predstavnici zemalja Evropske unije složili da Evropska unija treba postići klimatsku neutralnost do 2050. To znači da će do 2050. zemlje Evropske unije morati drastično smanjiti emisije stakleničkih plinova i pronaći načine za kompenzaciju preostalih i neizbježnih emisija kako bi se postigle neto nulte emisije. Europsko vijeće je u svojim zaključcima zaključilo da prijelaz na klimatsku neutralnost donosi značajne prilike za privredni rast, tržišta i radna mjesta, kao i tehnološki razvoj. Bosna i Hercegovina je potpisala Sofijsku deklaraciju u novembru 2020. godine i na taj način se pridružila cilju EU-a da postane klimatski neutralna do 2050. godine. Glavni izvor emisija stakleničkih plinova i zagađujućih materija u Bosni i Hercegovini je proizvodnja električne energije, koja ima udio od oko 60% u ukupnim emisijama stakleničkih plinova. Ključni izazov u procesu ublažavanja klimatskih promjena je iskoristiti prelaz na niskouglijčnu (niskoemisionu) ekonomiju za postizanje ciljeva održivog privrednog razvoja i socijalne kohezije, uzimajući u obzir postojeću strukturu privrede i vrijeme potrebno za dekarbonizaciju. Glavni uzrok lošeg kvaliteta zraka su kućna ložišta zbog velikih energetske potrebe za grijanje i lošeg kvaliteta korištenih peći i kotlova kao i lošeg kvaliteta goriva.

Ključne riječi: emisije stakleničkih plinova, zagađenost zraka, mjere smanjenja emisija

1. UVOD

1.1 Historijski tok problematike klimatskih promjena i zagađenosti zraka

Nakon početka industrijske revolucije krajem 19. stoljeća počinje negativan utjecaj čovječanstva na okoliš. Iz godine u godinu sve se više osjeća utjecaj čovječanstva i njegovog djelovanja na Zemlji. Prvenstveno se očituje kroz promjene u okolišu koje, bez obzira na njihove temeljne uzroke, rezultiraju prirodnom neravnotežom, izumiranjem brojnih životinjskih vrsta, zagađenošću zraka i tla te općim padom kvaliteta života. Iako su efekti emisija stakleničkih plinova (GHG) na globalni klimatski sistem prvi put postali vidljivi krajem 19. stoljeća, naučno istraživanje ove problematike počelo je tek u drugoj polovici 20. stoljeća.

Dugo vremena ni države ni preduzeća nisu učinile ništa da smanje ili snose odgovornost za emisije stakleničkih plinova. Danas se smatra da industrijski i energetskektor snose najveću odgovornost za negativne utjecaje na okoliš, kako lokalno tako i globalno.

Historijski gledano, problematika emisija zagađujućih materija u atmosferu ima tri karakteristične faze:

- lokalno zagađivanje produktima nepotpunog sagorijevanja, karakteristično za period 1870 – 1970. godine,
- regionalno (razmjera kontinenata) zagađivanje kiselim gasovima, karakteristično za period 1950 – 2000. godine, te globalne klimatske promjene uzrokovane antropogenim emisijama stakleničkih gasova, kao i zagađivanje gasovima koji stanjuju ozonski sloj, posebno karakteristično za period nakon 1990. godine i
- globalni nivo (klimatske promjene) uzrokovan antropogenim emisijama stakleničkih plinova, posebno karakteristične za razdoblje nakon 1990-ih.

Pristup zaštiti kvaliteta zraka ukazuje na tri generacije. To su:

- regulisanje zagađivanja zraka,
- upravljanje kvalitetom zraka i
- održivi razvoj.

Pristup svake generacije problematici zagađivanja zraka sadrži u sebi prethodnu generaciju, ali djeluje šire i dublje. Prva generacija se odlikuje ekološkim, druga tehnološkim, a treća društveno-razvojnim pristupom. U trećoj generaciji se ponovo pojavljuje i ekološki pristup u funkciji razvoja društva na prirodnim osnovama.

Regulisanje zagađivanja zraka kao pristup problematici zagađivanja zraka ima tradiciju dugačku preko 150 godina. Ekolozi i medicinari su ustanovili utjecaje lošeg kvaliteta zraka i upozorili na opasnost. Rezultat je ograničavanje zagađenosti zraka, a da bi se to postiglo, istovremeno i ograničavanje zagađivanja zraka. Na taj način stvorena je prva strategija zaštite zraka, koja se zasnivala na ograničavanju zagađivanja i ograničavanju zagađenosti, a što je osnov i savremenog pristupa.

Upravljanje kvalitetom zraka je širi koncept od koncepta regulisanja kvaliteta zraka. Ustvari, koncept regulisanja zagađivanja se proširuje na taj način što se vrši prognoziranje zagađenosti kod izgradnje novih naselja ili novih postrojenja koja emituju zagađujuće materije. Gradnja je dozvoljena samo ako su preduzete sve tehničko-tehnološke mjere da zagađenost bude u

dozvoljenim granicama, kao i to da se koristi savremena tehnologija koja će omogućiti da zrak bude čist koliko je to tehnički moguće, a ne koliko je to medicinski dozvoljeno.

Održivi razvoj postavlja pitanje zbog kakvog zadovoljavanja i kojih ljudskih potreba se zrak zagađuje, a kako je i kvalitetan zrak ljudska potreba, vrši se usklađivanje potreba – biološko-egzistencijalnih i onih koji se zadovoljavaju kroz proizvodnju. Usklađivanje se vrši u okviru više sektora, pri tome ne zaboravljajući primjenu savremenih tehnoloških mjera, niti osnovni koncept ograničavanja zagađivanja i zagađenosti.

Zagađivanje zraka se manifestuje kroz:

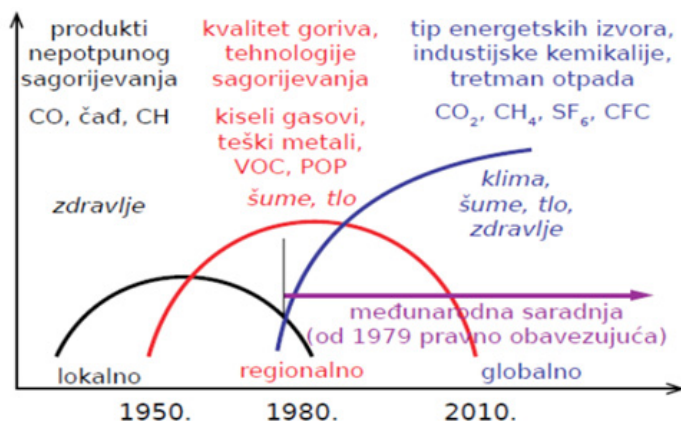
- zagađivanje produktima nepotpunog sagorijevanja,
- acidifikaciju (zakiseljavanje tla iz zraka) i eutrofikaciju (pretjerano hranjenje tla iz zraka),
- degradaciju kvaliteta zraka (vidljivost, estetika),
- razgradnju ozonskog sloja i
- izlaganje ljudskog zdravlja i ekosistema povišenim koncentracijama zagađujućih materija.

Emitovanje ugljendioksida i ostalih stakleničkih gasova u zrak ne predstavlja zagađivanje zraka, jer i znatno više koncentracije u atmosferi od današnjih ne bi imale posljedice po zdravlje ljudi i ekosisteme. Problem je što zbog antropogenih emisija stakleničkih gasova dolazi do povećanja atmosferskih koncentracija stakleničkih gasova, prije svih ugljendioksida, što uzrokuje manje emitovanje sa Sunca dozračene toplote u vasionu. Posljedica je uspostavljanje ravnotežne temperature atmosfere na višem temperaturnom nivou.

Korištenje uglja, a zatim i drugih fosilnih goriva osnov je industrijske (bolje reći: energijske) revolucije, ali i osnovni uzrok zagađivanja zraka, pa i okoline, uopšte. Problematika zagađivanja zraka prvo se pojavljuje na lokalnom nivou u pojedinim gradovima sa intenzivnim korištenjem uglja. Pored korisne energije, proizvodi energetske konverzije uglja bili su najkarakterističniji produkti nepotpunog sagorijevanja: ugljenmonoksid, čađ, čvrste čestice (leteći pepeo), te sumpor dioksid. Prisustvo čađi u atmosferi gradova pogodovalo je stvaranju magle, a magla je ometala zagrijavanje tla i stvaranje usponskog strujanja zraka, čime bi se prizemni slojevi atmosfere grada ventilirali, te dolazi do stvaranja smoga (engl. smoke – dim i fog - magla). Ako se stabilna atmosfera zadržavala duže od tri dana uzastopno, radilo se o pojavama epizoda pojačane zagađenosti zraka (London 1950 – 1955., Sarajevo 1965 – 1970.). Tada se u mnogim sredinama poduzimaju mjere za smanjenje zagađivanja, u prvom redu kroz poboljšanje efikasnosti sagorijevanja (ovim se ne samo smanjuje zagađivanje zraka, nego se smanjuje i potrošnja goriva), kroz uvođenje reonskog i daljinskog grijanja i upotrebom goriva sa nižim sadržajem sumpora. Ove mjere se realizuju i u Sarajevu (u periodu 1968 – 1978. poboljšanje efikasnosti sagorijevanja i zamjena uglja sa visokim sadržajem ugljem sa manjim sadržajem sumpora, a od 1978. uvodi se u upotrebu prirodni gas, koji ne sadrži sumpor, a može sagorijevati gotovo bez emitovanja čađi).

Dok se emisija čađi i ugljenmonoksida mogla jednostavno otkloniti (i to uz troškove koji su se amortizovali za nekoliko dana ili nekoliko mjeseci), emisija sumpor dioksida, koja je rasla porastom potrošnje energije, nije se mogla jednostavno (sa prihvatljivim troškovima) otkloniti. Problem se rješavao primjenom prirodnih mehanizama samočišćenja atmosfere, koji se pojačavaju izborom povoljne lokacije postrojenja i izgradnjom (dovoljno) visokog dimnjaka. Tako se postiže lokalno razblažavanje dimnih gasova (značajno zbog sumpor dioksida), a u širim razmjerama vrši spiranje sumpor dioksida na tlo (suha depozicija ili u obliku kiselih kiša). Poznato pravilo poteklo iz Velike Britanije bilo je: rješenje zagađivanja je razrjeđenje

(Solution of pollution is dilution). Međutim, poluživot sumpor dioksida je oko sedam dana i za to vrijeme vazdušne mase koje sadrže značajne količine sumpor dioksida mogu da pređu hiljade kilometara. Emisija sumpor dioksida je rasla u periodu od polovine prošlog vijeka do 1990-ih godina. Nakon toga je počela da opada, tako da je 1990. godine svjetska emisija ovog polutanta iznosila 120 miliona tona godišnje (upravo kolika je bila i njegova prirodna emisija), a 2010. godine emisija je iznosila 100 miliona tona godišnje (Klimont et al., 2013).



Slika 1. Tri generacije problematike emisija zagađujućih materija u atmosferu (Knežević, 2005)

Dok je prirodna emisija sumpor dioksida raspoređena po cijeloj planeti, emisija porijeklom od čovjekove aktivnosti bila je koncentrisana na Evropu i Sjevernu Ameriku, te nešto manje Aziju (Kina). Uz sumpor dioksid pojavljuje se, i djeluje zajedno s njim, još jedan gas koji sa kišom daje kiselinu – azot dioksid. Mjerom visokih dimnjaka pojedine zemlje su rješavale svoje probleme, da bi kiselim kišama (vrlo često sa pH vrijednosti koja odgovara kiselosti sirćeta) zagađivale druge zemlje, uništavajući im šume, smanjujući prinos od poljoprivrede i pojačavajući koroziju izgrađenog (metali), odnosno razjedaње građevina, posebno historijskih (sazidane od krečnjaka). Posebno su bile pogođene skandinavske države zagađivanjem iz Velike Britanije, te većeg dijela Evrope, iz bivše Njemačke Demokratske Republike, bivše Čehoslovačke i Poljske, socijalističkih zemalja sa vrlo ekstenzivnom energetikom. Bivša Jugoslavija je do 1990. godine bila neto uvoznik, da bi te godine postala neto izvoznik sumpornih spojeva. Zahvaljujući međunarodnoj saradnji i saglasno tome, poduzetim akcijama, svjetska emisija sumpor dioksida od kraja 20. vijeka opada.

Osnovni produkt sagorijevanja fosilnih goriva je ugljendioksid. Njegova emisija je srazmjerna količini energije koja se želi dobiti sagorijevanjem ugljika. Sadržaj ugljendioksida u atmosferi u predindustrijsko doba iznosio je oko 0,03%, a čak gotovo 100 puta veća koncentracija ne bi bila štetna za čovjeka i životinje. Stoga se ugljendioksid ne smatra zagađujućom materijom. Međutim, ovaj plin, kao i ostali tro- i višeatomni gasovi, izaziva klimatske promjene.

Problem koji se nagovještavao u devetoj, već je očigledno doživljen u posljednjoj deceniji prošlog vijeka. Tro- i višeatomni gasovi vraćaju na Zemljinu površinu dio infracrvenog zračenja, Sunčevu energiju koju Zemlja vraća u svemir. Prosječna temperatura na planeti Zemlja je 15 °C, a da u atmosferi nema ugljendioksida ona bi bila –18 °C, tj. čak za 33 °C niža.

Porast koncentracije ugljendioksida u atmosferi koji se opaža u drugoj polovini prošlog vijeka, sa ubrzanijim porastom krajem tog vijeka, dovodi do povećanja prosječne temperature na

Zemlji, mijenjajući klimu (na nekim dijelovima planete prosječna temperatura opada, na nekim raste, mijenja se režim padavina itd.).

Do klimatskih promjena dolazi i zbog promjene namjene prostora (smanjuju se površine pod šumama – rezervoarom ugljika, mijenja se boja tla). Problem je globalan, jer je ciklus ugljendioksida u atmosferi oko 10 godina. Ova pojava prijeti da izazove značajne posljedice, prvo po ekosisteme, a time i na privrede pojedinih država. Ljudska civilizacija dolazi pred svoj, do sada najveći, okolinski problem, za koga još uvijek nema potpunog rješenja. Problem je u tome što smanjenje emisije ugljendioksida zahtijeva korjenitu promjenu ekonomskog sistema. Neophodan je prelazak na niskokarbonsku privredu. Jedini praktičan način smanjenja antropogenih emisija ugljendioksida iz termoenergetskih postrojenja je smanjivanje količine ugljika koji je podvrgnut procesu oksidacije, tj. smanjenje potrošnje fosilnih goriva. Zbog toga, kada se govori o koracima za smanjenje emisije ugljendioksida iz termoenergetskih postrojenja, uglavnom se misli na zamjenu fosilnih goriva drugim izvorima energije.

1.2 Emisije ugljendioksida iz različitih izvora energije

Različita fosilna goriva uzrokuju različite količine ugljendioksida po jedinici energije sadržane u tom gorivu. Količina emitovanog ugljendioksida po jedinici energije u gorivu naziva se koeficijent emisije i izražava se u masi ugljendioksida po jedinici energije, tj. kgCO_2/GJ . Najmanji koeficijent ima prirodni gas, jer značajni dio energije se generiše iz vodonika, pri čemu se stvara vodena para. Najveći koeficijent emisije ima ugalj jer se energija generiše uglavnom sagorijevanjem ugljika. Tačna goriva imaju vrijednost koeficijenta između prirodnog gasa i uglja. Ako se gazduje biomasom na održiv način, energija iz biomase se smatra karbonski neutralnom, jer emitovana količina ugljendioksida prilikom sagorijevanja jednaka je apsorbovanoj količini ugljendioksida iz atmosfere prilikom rasta biomase. Gledajući direktne emisije, obnovljivi izvori energije se smatraju karbonski neutralnim. Direktne emisije su emisije koje nastaju prilikom rada nekog postrojenja, a indirektne su one koje nastaju prilikom izrade materijala i transporta za neko postrojenje.

Tabela 1. Direktne emisije iz različitih izvora energije (IPCC, 2019)

gorivo/izvor energije	koeficijent emisije (kgCO_2/GJ)
prirodni gas	56
benzin	69
kerozin	72
dizel	74
mazut	77
lignit	95
mrki ugalj	96
biomasa	0 (u životnom ciklusu)
hidroenergija	0
vjetroenergija	0
solarna energija	0

2. ENERGETSKI ZAKRET KA KLIMATSKI NEUTRALNOJ EKONOMIJI

Da bi se postigla klimatska neutralnost potrebno je primijeniti tehnologije i modele poslovanja koji će dovesti do toga da su zgrade neto proizvođači energije, što znači da na nivou godine više proizvode nego što troše energije. Pored toga, potrebno je energiju iz fosilnih goriva zamijeniti energijom iz obnovljivih izvora energije. Obnovljivi izvori (kao što su energija vjetra i solarna energija) nisu upravljivi izvori energije, što znači da njihova proizvodnja zavisi od prirodnih pojava. Zbog toga se javlja dodatna potreba za novim načinima skladištenja energije, kako električne tako i toplotne. Cilj je da se komercijalizira skladištenje energije iz jednog godišnjeg doba u drugo. Važan element su i pametne mreže koje upravljaju potrebama za energijom prema raspoloživosti energije iz obnovljivih izvora. Da bi se postigla klimatska neutralnost potreban je poticajan zakonski okvir, novi modeli poslovanja i razvoj tehnologija. Promjene koje su neophodne za klimatsku neutralnost su:

- Zgrade neto proizvođači energije (na nivou godine da zgrade više proizvode nego što troše energije)
- Proizvodnja energije iz obnovljivih izvora energije (OIE) (vremenom da se u potpunosti potisne energija iz fosilnih goriva)
- Novi načini skladištenja energije (sezonsko skladištenje pored skladištenja koje je već komercijalno – nekoliko dana)
- Pametne mreže (električna i toplotna energija)

Uslovi za prelazak na neto klimatsku ekonomiju su

- Poticajan zakonski okvir
- Novi modeli poslovanja (prosumeri, ESCO, JPP, crowdfunding itd.)
- Tehničke inovacije

Ključni elementi energetske tranzicije ili energetskeg zaokreta od energije fosilnih goriva ka obnovljivim izvorima energije su prelazak sa centraliziranog ka distribucijskom energijskom sistemu, što znači mnogo pojedinačno manjih izvora energije, zatim prelazak sa karbonski intenzivne energije na dekarboniziranu energiju. Karbonski intenzivna energija je energija iz fosilnih goriva.

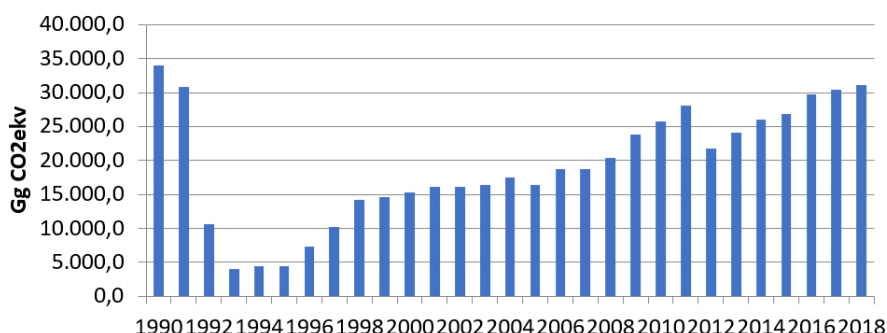


Slika 2. Elementi energetskeg zaokreta od fosilnih kao obnovljivim izvorima energije

Važan element je prelazak izvora energije iz vlasništva velikih kompanija u vlasništvo lokalne zajednice, što je omogućeno decentralizacijom, tj. trendom izgradnje mnogo relativno malih postrojenja. Da bi se desila ulaganja u energetska tranziciju, neophodno je prestati subvencionirati potrošnju energije, a ta sredstva usmjeriti na subvencioniranje energije efikasnosti.

3. EMISIJE I DEKARBONIZACIJA U BOSNI I HERCEGOVINI

BiH ima trend rasta emisija stakleničkih plinova. BiH ima inventare emisija od 1990. do 2018. godine. U 2018. godini emisije su iznose oko 30 miliona tona. Emisije po stanovniku su na nivou prosjeka Evropske unije. Ponori stakleničkih plinova u istoj godini su iznosili nešto manje od 6 miliona tona i imaju trend opadanja. Za klimatsku neutralnost, na šta se BiH obavezala potpisivanjem Sofijske deklaracije, potrebno je da se emisije i ponori izjednače. Postizanje klimatske neutralnosti je cilj do 2050. godine, a cilj za 2030. godinu je smanjiti emisije za oko 40% u odnosu na emisije iz 1990. godinu kada su iznosile oko 34 miliona tona CO₂ekv. U Integrisanom planu za energiju i klimu BiH definisane su mjere za smanjenje emisije koje se fokusiraju na podsticanje energetske efikasnosti i primjenu obnovljivih izvora energije u zgradarstvu, industriji i transportu, te u proizvodnji električne i toplotne energije.



Slika 3. Emisije stakleničkih plinova u Bosni i Hercegovini (UNDP, 2021)

Gledano po glavi stanovnika, BiH ima emisije na nivou prosjeka EU-a, iako je bruto domaći proizvod znatno manji u BiH. To ukazuje na neracionalnu potrošnju energije, a pri tome najveći dio te energije dolazi iz fosilnih goriva.

Potpisivanjem Deklaracije o zelenom programu za Zapadni Balkan, 10. novembra 2020. u Sofiji, zemlje regiona obavezale su se da će provoditi mjere u oblasti ublažavanja klimatskih promjena, energetske tranzicije, održive mobilnosti i cirkularne ekonomije kao i zaštiti biodiverziteta, održive poljoprivrede i proizvodnje hrane. Zemlje regiona obavezale su se na niz konkretnih akcija, uključujući uvođenje takse na emisije ugljendioksida i tržišnih modela za podsticanje obnovljivih izvora energije, kao i postupno ukidanje subvencija za ugalj.

Zeleni program je predviđen Evropskim zelenim planom, koji je skup mjera da EU bude klimatski neutralna do 2050. godine. Slijedom Sofijske deklaracije predstavljene su Smjernice za provođenje Zelenog programa, koje donose prijedlog aktivnosti i mjera koje bi EU i zemlje Zapadnog Balkana trebalo da zajednički usvoje. Osnovne mjere su:

- Usklađivanje sa klimatskim zakonom EU-a nakon njegovog usvajanja, čiji je cilj da EU bude klimatski neutralna do 2050. godine
- Definiranje energetske i klimatske ciljeve do 2030. u skladu sa pravnim okvirom Energetske zajednice i pravnom tekovinom EU-a, kao i razvoj i primjena Nacionalnih energetske i klimatske planova sa jasnim mjerama za smanjenje emisija stakleničkih gasova
- Nastavljanje usklađivanja sa Sistemom za trgovanje emisijama EU-a (EU ETS), kao i uvođenje drugih modela za oporezivanje emisija, kako bi se promovirala dekarbonizacija u regionu
- Analiziranje i revidiranje svih propisa koji podržavaju progresivnu dekarbonizaciju energetske sektora i njihova potpuna primjena, prije svega kroz Energetsku zajednicu
- Sarađivanje u pripremi procjene socio-ekonomskog utjecaja dekarbonizacije na svaku zemlju i na nivou regiona u cilju pravedne tranzicije
- Davanje prioriteta energetskej efikasnosti i njeno poboljšanje u svim sektorima
- Povećanje udjela obnovljivih izvora energije i obezbjeđivanje neophodnih uslova za investiranje, u skladu sa pravnim tekovinama EU-a i Energetske zajednice
- Smanjenje i postepeno ukidanje subvencija za ugalj, strogo poštujući pravila državne pomoći
- Aktivno učestvovanje u inicijativi Regionu uglja u tranziciji za Zapadni Balkan

Kako bi postigla ciljeve koji su sadržani u Zelenom programu za Zapadni Balkan, Bosna i Hercegovina mora da dodatno unaprijedi pristup strateškom planiranju, pogotovo u oblastima koje se odnose na dekarbonizaciju, tj. postepeno smanjenje korištenja fosilnih goriva sa ciljem postizanja klimatske neutralnosti do 2050. godine. Jasno je koliko je to veliki izazov za Bosnu i Hercegovinu. Aktuelni ciljevi smanjenja emisija stakleničkih gasova nisu dovoljni za postizanje klimatske neutralnosti koji se očekuju u skladu sa opredjeljenjem koje je iskazano potpisivanjem Zelenog programa. Stoga, kontinuirano, u skladu sa promjenama u relevantnim oblastima neophodno je stalno raditi na preispitivanju ciljeva za smanjenje emisije. U okviru izrade ovog dokumenta analizirana su dva scenarija smanjenja emisija stakleničkih gasova.

Dosadašnja i postojeća strateška opredjeljenja za smanjenje emisije stakleničkih gasova BiH je definisala kroz sljedeće dokumente:

- Početni utvrđeni nacionalni doprinos (INDC) za smanjenje emisija do 2030. godine,
- Utvrđeni nacionalni doprinos (NDC) za razdoblje 2020 – 2030. sa projekcijama do 2050. godine (dokument koji je usvojen u martu 2021. godine) i
- Integrirani energetske i klimatske plan (NECP, Nacrt, 2023. godina).

U NDC-u BiH je definisala cilj smanjenja ukupne emisije GHG od 17,5% do 2030. godine u odnosu na 2014. godinu. Ciljevi iskazani u NDC-u su ocijenjeni zadovoljavajućim od Sekretarijata UNFCCC-a. Međutim, ti su ciljevi nedovoljni kada se govori o ambicijama države članice Energetske zajednice i sa tim nivoom ambicija za smanjenje emisije ne može se očekivati značajnija međunarodna pomoć na dekarbonizaciji. Dodatno, NDC nije uzeo u obzir postizanje klimatske neutralnosti do 2050. godine. Zbog toga, cilj smanjenja emisija za 2030. godinu treba biti znatno ambiciozniji kako bi se do 2050. godine postigla klimatska neutralnost. Potencijali za smanjenje emisije stakleničkih plinova po sektorima u BiH su:

- Elektroenergetika (postepeno zatvaranje termoelektrana),
- Rast proizvodnje iz OIE,

- Dekarbonizacija i rast daljinskih grijanja,
- Dekarbonizacija u industriji (energijska efikasnost i prosumeri),
- Smanjenje korištenja fosilnih goriva u zgradarstvu (EE i OIE),
- Transport – rast obima uz nove tehnologije (sinergija sa dekarbonizacijom elektroenergetike – električna vozila i proizvodnja i korištenje hidrogena),
- Poljoprivreda – proizvodnja i korištenje biogasa,
- Upravljanje otpadom – smanjenje količinâ, recikliranje i upotreba, i
- Povećanje ponora GHG-a.

Dvije ključne mjere za smanjenje emisije stakleničkih gasova u BiH su uvođenje:

- Prosumera i
- Sistema trgovanja emisijama stakleničkih plinova.

Prosumer je koncept prema kojem svi potrošači električne energije mogu da budu i proizvođači. Pri tome postoje dvije varijante. Prva varijanta je neto mjerenje koje osigurava potrošačima, koji instaliraju generator (obično fotonaponski, PV sistemi), da dobiju kredit jedan za jedan za svaku električnu energiju koju njihovi sistemi generiraju i predaju u mrežu u toku obračunskog perioda. U tom slučaju se proizvodnja i potrošnja kompenziraju u dužem periodu (do jedne godine). Pri tome, svi proizvedeni kWh su jednako valorizirani.

Druga varijanta je neto obračun po kojem potrošač prima novčane kredite jedan za jedan za svaki kWh izvezen u mrežu. Svaki kWh se valorizuje ili po jedinstvenoj cijeni ili po cijeni koja odgovara vremenu proizvodnje. Krediti se dodjeljuju u određenom vremenskom okviru, obično godinu dana. To je ekvivalentno šemi neto mjerenja, ali s novčanom nadoknadom umjesto energetske kompenzacije.

Druga ključna mjera je uvođenje sistema trgovanja emisijama (ETS). Planirano je da se od 2026. godine uvede sistem trgovanja emisijama stakleničkih plinova, koji je kompatibilan sa sistemom u EU-u, gdje postoji od 2005. godine.

Postrojenja dobijaju kvote za emisije u skladu sa ciljevima smanjenja emisija države. Godinama se te kvote smanjuju. Kompanijama, koje smanje svoje emisije ispod dozvoljene kvote, omogućava se trgovina, tj. prodaja prava na emisije kompanijama koje emituju više nego što je njihova kvota. Kompanije koje proizvode električnu energiju u EU kupuju emisione dozvole, dok ostali sektori imaju određeni dio besplatnih emisijih dozvola. Takav model će biti i u BiH.

Da bi se izjednačili uslovi poslovanja i spriječilo tzv. curenje ugljika, EU je uvela mehanizam prekograničnog poravnanja ugljika (CBAM). To znači da se uvodi naknada za emisije koje nastaju prilikom proizvodnje određenih proizvoda van EU-a, a uvoze se u EU. Taj mehanizam EU je već uvela, a plaćanje naknada za emisije počinje od 2026. godine.

Pored navedenih mjera za smanjenje emisije potrebno je uvesti i nove modele poslovanja kao što su:

- Kompanije za pružanje usluga energijom (ESCO) – pilot-projekti u javnim zgradama i javnoj rasvjeti su u završnoj fazi implementacije
- Prosumeri (proizvodnja električne energije za vlastite potrebe)

- Zajednice obnovljive energije (građanska energija) i
- Javno-privatno partnerstvo

4. ZAKLJUČAK

BiH ima značajne potencijale za smanjenje emisije stakleničkih plinova. Rad na iskorištavanju tih potencijala treba vidjeti u prvom redu kao usmjerenje razvoja privrede u BiH, što će uz ublažavanje klimatskih promjena imati pozitivne učinke i na kvalitet zraka, konkurentnost privrede, veći broj radnih mjesta i bolji kvalitet radnih mjesta. Uz to, oslanjajući se na domaće resurse obnovljivih izvora energije poboljšava se i sigurnost snabdijevanja energijom.

Najveći resurs u ovom kontekstu u BiH je energijska efikasnost, koja treba da bude na prvom mjestu svih planova, jer je to najjeftiniji i najsigurniji „izvor“ energije. Potencijali obnovljivih izvora energije su više nego dovoljni, ali treba unaprijediti zakonski i poslovni okvir kako bi se lokalne zajednice aktivno uključile u iskorištavanje tih potencijala, na način da postanu donosioci odluka na koji način te potencijale koristiti.

Energetska tranzicija se često vidi kao prijetnja radnim mjestima. Međutim, ako se tranziciji pristupi na adekvatan način, ona dovodi ne samo do povećanja broj radnih mjesta nego i do boljeg kvaliteta radnih mjesta i porasta produktivnosti. U tom kontekstu potrebno je unaprijediti i usmjeriti obrazovni sistem (redovno školovanje i prekvalifikacija).

Na tom putu neophodan je transfer novih tehnologija, kao što su solarne elektrane, toplotne pumpe, savremeni kotlovi na biomasu, tehnologije proizvodnje, skladištenja i korištenja hidrogena, tehnologije skladištenja energije (električne i toplotne) itd.

LITERATURA

1. Klimont Z., Smith S.J., Cofala J. (2013). *The last decade of global anthropogenic sulfur dioxide: 2000–2011 emissions*, *Environmental Research Letter*, IOP Science.
2. Knežević A. (2005). *Kvalitet zraka, skripta za predmet Kvalitet zraka na Mašinskom fakultetu Univerziteta u Sarajevu*.
3. *Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2019). Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*
4. *United Nation Development Programme (UNDP). (2021). Third biannual emission report – TBUR for Bosnia and Herzegovina*

Kvalitet zraka u BiH - uzroci, posljedice i preporuke

Ismar Jamaković

Sažetak: Kvalitet zraka u Bosni i Hercegovini (BiH) je problem već duže vrijeme, a ovaj rad se bavi historijatom borbe za poboljšanje kvaliteta zraka, kao i izvorima emisija i posljedicama koje uzrokuju. Rad naglašava ozbiljne posljedice po javno zdravlje, napominjući da je Bosna i Hercegovina na petom mjestu u Evropi po smrtnim slučajevima uzrokovanim zagađivanjem zraka. Implementacija organizacijskih i tehničkih mjera, poboljšanje energijske efikasnosti i korištenje obnovljivih izvora energije su rješenja za poboljšanje kvaliteta zraka. Pored toga, davanje prioriteta kontroli kvaliteta zraka i promociji održivog života u BiH zahtijeva koordinirane napore u cijelom društvu i vladi, kao što je naglašeno u zaključku.

Ključne riječi: *kvalitet zraka, energija, emisija*

1. UVOD

Historija emisija zagađujućih materija u atmosferu može se podijeliti u tri ključne faze, svaka sa svojim specifičnostima i utjecajem na okoliš. Razumijevanje ovih faza omogućava bolje sagledavanje trenutne situacije i razvoj učinkovitih strategija za poboljšanje kvaliteta zraka.

- Prva faza (1870–1970) obilježena je lokalnim zagađivanjem zraka uzrokovanim proizvodima nepotpunog sagorijevanja fosilnih goriva. Gradovi i industrijska područja tog vremena suočavali su se s visokom koncentracijom čađi, ugljenmonoksida i drugih zagađujućih materija, što je imalo značajne posljedice za zdravlje ljudi i okoliš.
- Druga faza (1950–2000) karakteriše regionalno zagađivanje zbog emisija kiselih gasova poput sumpor dioksida (SO₂) i nitrogen oksida (NO_x). Ovi zagađivači uzrokovali su kiseljenje tla i voda, što je imalo ozbiljne posljedice na ekosisteme i ljudsko zdravlje, te je zahtijevalo šire mjere kontrole kvaliteta zraka.
- Treća faza, koja počinje nakon 1990. godine, označava globalne klimatske promjene izazvane antropogenim emisijama stakleničkih gasova. Emisije poput ugljendioksida (CO₂) povezuju se s globalnim zagrijavanjem i razgradnjom ozonskog sloja, što utječe na globalnu temperaturu i klimatske uvjete.

Kroz ove tri faze, pristupi regulaciji kvaliteta zraka su se razvijali. Prva generacija strategija fokusirala se na regulisanje zagađivanja, postavljajući temelje za savremene metode kontrole. Druga generacija proširila je pristup na prognožiranje zagađenosti i implementaciju tehničko-tehnoloških mjera za održavanje kvaliteta zraka unutar dozvoljenih granica. Treća generacija, koja se oslanja na održivi razvoj, integrira ekološke pristupe u društveni i ekonomski razvoj, balansirajući ljudske potrebe s očuvanjem okoliša.

Zagađivanje zraka se manifestuje na različite načine, uključujući lokalno zagađivanje produktima nepotpunog sagorijevanja, acidifikaciju (zakiseljavanje), eutrofikaciju (npr. zasićenost vodenih površina, jezera i mora sa ugljendioksidom), degradaciju kvaliteta zraka, razgradnju ozonskog sloja, te utjecaj na ljudsko zdravlje i ekosisteme. Iako staklenički gasovi poput CO₂ ne predstavljaju direktno zagađivanje u konvencionalnom smislu, njihov utjecaj na globalnu temperaturu i klimatske promjene čini ih ključnim faktorima u savremenom razumijevanju kvaliteta zraka i zaštite okoliša (CETEO, 2011).

2. NASTANAK EMISIJA ZAGAĐUJUĆIH MATERIJIA I UGLJENDIOKSIDA U ZRAK I UTJECAJ NA OKOLIŠ

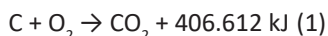
Emisija je izbacivanje određenih materija iz izvora u atmosferu, koje u određenim koncentracijama mogu biti štetne za ljude, biljke i životinje, te dobra stvorena prirodnim putem i radom čovjeka. Ove materije se, stoga, nazivaju zagađujuće materije. Emisije se mogu podijeliti na prirodne i emisije antropogenog porijekla. Prirodne emisije nastaju emitovanjem materija od živih bića (disanje), truljenjem, kao i iz drugih prirodnih procesa (eolske erozije, šumski požari) (HEIS i IPSA, 2008).

Izvori emisija u zrak koji su antropogenog porijekla su:

- Energetski objekti – grijanje,
- Tehnološki procesi - industrijska postrojenja,
- Stambeni sektor i
- Saobraćaj.

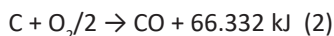
U energetske objekte spadaju termoelektrane, toplane, kotlovnice za proizvodnju energije za grijanje i za tehnološke potrebe. Emisije iz ovakvih postrojenja nastaju klasičnim sagorijevanjem fosilnih goriva (uglja, nafte, plina). Kao produkti sagorijevanja, u svim navedenim izvorima, pojavljuju se najčešće sljedeći polutanti u zrak:

- ***Ugljendioksid (CO₂) nastaje oksidacijom atoma ugljika (Husika, Jamaković i Toljević, 2017)***



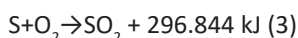
Ugljendioksid nije zagađujuća, tj. opasna materija već je hranjiva za biljke. Ugljendioksid mnogi smatraju zagađujućom materijom, jer uzrokuje zagrijavanje Zemljine površine, tzv. efektom staklene bašte, te je zbog toga napoznatiji staklenički gas i najveći uzročnik klimatskih promjena.

- ***Ugljenmonoksid (CO) nastaje nepotpunim sagorijevanjem goriva (Ibid.)***



Ugljenmonoksid je neželjeni produkt sagorijevanja, jer se njegovim nastankom oslobađa dosta manji dio toplote nego što bi se oslobodio da se ugljik oksidacijom pretvorio u ugljendioksid. Pored toga, on je otrovan i bez mirisa. Danas on nije veliki problem, jer se savremenim tehnologijama (prije svega automatske regulacije dovoda kisika) CO iz velikih postrojenja praktično ne emituje. Najveći emiteri ugljenmonoksida su kućna ložišta i saobraćaj.

- ***Sumpordioksid (SO₂) nastaje oksidacijom sumpora u gorivu (Ibid.)***

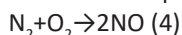


Sumpor dioksid je bezbojan, nezapaljiv i neeksplozivan gas, karakterističnog oštrog mirisa, vrlo topiv u vodi i vrlo reaktivan u malim koncentracijama. Nastaje potpunim sagorijevanjem sumpora uz oslobađanje toplote.

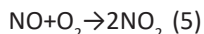
Prirodni izvori SO₂ u atmosferi su vulkanske aktivnosti i procesi biološkog raspadanja, te more kada pod djelovanjem vjetra nastane „morska maglica“ koja sadrži čestice sulfata metala. Antropogeni izvori sumpor dioksida su sagorijevanje fosilnih goriva u ložištima, iz automobila, te u metalurgiji obojenih metala (Zn, Pb, Cu), gdje sagorijevanjem sulfidnih ruda, pored pojedinih metala, nastaju i velike količine SO₂. Sumpor dioksid vrlo je štetan po ljudsko zdravlje, jer udisanjem u plućima s vlagom stvara sumporastu, H₂SO₃, i sumpornu, H₂SO₄ kiselinu. Čak i umjerene koncentracije mogu dovesti do smanjenja funkcije pluća kod astmatičara. Pri visokim koncentracijama izazivaju stezanje u prsima i kašalj.

- ***Nitro oksidi (NO_x)***

Iako nitro oksidi čine veću grupu, izraz NO_x obično se upotrebljava za smjesu NO i NO₂ koji se smatraju značajnijim polutantima. Ova dva oksida azota nastaju sagorijevanjem fosilnih goriva, posebno pri visokim temperaturama (više od 1.000 °C) (Ibid.).



NAzot monoksid (NO) je blago obojen plin, slabo topiv u vodi, a važan je jer se vrlo lahko spaja s kisikom, pa pod djelovanjem Sunca prelazi u NO₂:



Iako nisu zabilježena trovanja ljudi dušikovim monoksidom (NO), spoj je štetan za ljude, jer se kao i ugljikov monoksid (CO) veže za hemoglobin. Pri koncentracijama od 1 do 3 ppm osjetiti se prodoran miris, a smeta ljudima pri koncentraciji od 2.5 ppm i izloženosti od jednog sata.

NO₂ je plin karakterističnog mirisa, tamnocrvene boje i najotrovniji od svih azotnih oksida. Spada u fitotoksične tvari, što znači da izaziva nepovoljne posljedice po vegetaciju. Dušikov dioksid, također, vrši nadražaj pluća i izaziva manju otpornost na respiratorne infekcije poput gripe. Kontinuirano ili često izlaganje koncentracijama koje su obično mnogo veće od onih koje se normalno nalaze u zraku može uzrokovati povećanu učestalost akutnih respiratornih bolesti pogotovo kod djece.

- **Ugljenvodonici (VOC)**

Ugljenvodonici su organski spojevi koji se sastoje samo od atoma vodika i ugljika. Među njima su važni policiklički aromatski ugljenvodonici, i to zbog kancerogenosti i zbog toga što su sastavni dio tzv. lakoisparljivih organskih spojeva. Oni hemijski reagiraju sa sumpornim i azotnim oksidima i radikalima. U reakcijama se stvara ozon tvoreći različite sekundarne onečišćujuće spojeve (sulfinske i sulfonske kiseline, organske nitrite i nitrate, epoksidi, alkohole, peroksidi). Prirodni izvori emisija ugljenvodonika su šumski požari i vulkanske erupcije, te nepotpuno sagorijevanje fosilnih goriva i organskih tvari. Antropogeni izvori emisija su industrijski procesi (proizvodnja koksa, aluminijska i prerada nafte), spaljivanje komunalnog i industrijskog otpada, kućna ložišta, te naravno izduvni gasovi automobila kao glavni izvor ugljenvodonika. Izlaganje visokim koncentracijama ugljenvodonika može za posljedicu imati kronične učinke na zdravlje, uključujući nastanak raka, poremećaja središnjeg živčanog sistema, jetre i oštećenja bubrega, poremećaji reproduktivnog sistema i urođene mane (Ibid.).

- **Čvrste čestice (PM)**

Pod pojmom čvrste čestice podrazumijeva se kompleksna mješavina jako sitnih čestica i tečnih kapljica. Sastav čvrstih čestica često može da bude jako različit i da uključuje određen broj komponenti, uključujući kiseline (kao što su nitrati i sulfati), organske hemikalije, metale, zemljane ili čestice prašine. Veličina čestica je direktno povezana sa njihovim potencijalom da izazovu zdravstvene probleme. Čestice veličine 10 µm u promjeru i manje (PM₁₀) mogu dospjeti kroz nos i grlo u pluća gdje mogu prouzrokovati značajne zdravstvene probleme. Stoga se praćenje emisije čvrstih čestica svodi na praćenje emisije PM₁₀ i manjih.

Čestice veličine između 2.5 - 10 µm mogu se pojaviti u blizini puteva, te industrijskih postrojenja, iz kojih se može pojaviti emisija prašine. Fine čestice, veličine 2.5 µm i manje, mogu se naći u dimu i sumaglici. Ove čestice se mogu direktno emitovati iz izvora kao što su požari, ili mogu nastati kada emitovani dimni gasovi iz industrije, termoelektričnih postrojenja, automobila, reaguju sa odgovarajućim hemijskim spojevima u zraku.

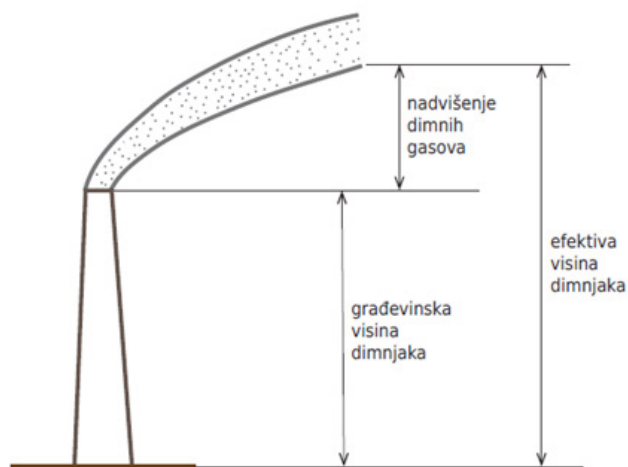
Kao produkt nepotpunog sagorijevanja, pretežno čvrstih goriva, smješa karboniziranih produkata materijala koji sadrže ugljik naziva se čađ. Po fizičkim svojstvima čađ spada u čvrste čestice. Jedan dio čestica PM_{2.5} čine čestice čađi, tj. čađ nastala sagorijevanjem drva ili biomase (Ibid.).

3. RASPROSTIRANJE I DEPOZICIJA ZAGAĐUJUĆIH MATERIJIA (IBID.)

Nakon napuštanja izvora emisije dolazi do rasprostiranja zagađujućih materija, pri čemu dolazi do razblaženja koncentracija i hemijskih transformacija. Dva su osnovna mehanizma razblaženja koncentracija: (i) konvekcija i (ii) difuzija.

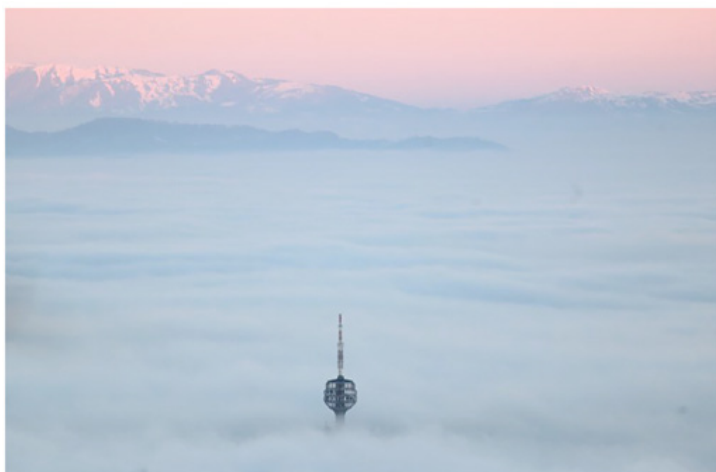
Konvekcija predstavlja mehanizam rasprostiranja zagađujućih materija pri kojem razblažavanje nastaje usljed duvanja svježeg zraka (vjetar), a difuzija je miješanje zagađenog i svježeg zraka uslijed pojave vrtloga u atmosferi.

Za rasprostiranje je od značaja i način emitovanja. Kod dobro projektovanih dimnjaka dolazi do nadvišenja dimne struje zbog dinamičkog (brzina dimnih gasova) i statičkog (temperatura dimnih gasova) uzgona. Tako se fiktivno povećava visina dimnjaka (tačka iz koje započinje rasprostiranje, jer efektivna visina dimnjaka postaje veća od građevinske za vrijednost nadvišenja) (slika 1.). Pri brzini vjetra većoj od brzine dimnih gasova na izlazu iz dimnjaka, dimna perjanica mijenja prvobitni smjer kretanja i počinje se kretati paralelno površini Zemlje.



Slika 1. Efektivna visina dimnjaka

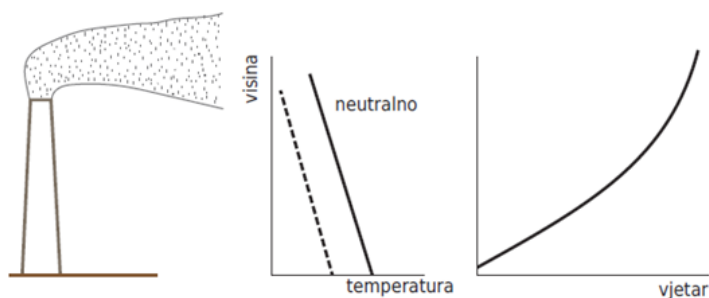
Efekti nadvišenja mogu biti smanjeni ukoliko temperatura zraka raste sa visinom (tada atmosferski uzgon djeluje ka površini Zemlje). Ova pojava je poznata kao temperaturna inverzija. Jasno je da je što je efektivna visina dimnjaka veća, to je duži i put rasprostiranja zagađujućih materija dok one ne dospiju do zemlje, te će prizemne koncentracije biti manje. Međutim, u tom slučaju zagađujuće materije se rasprostiru na velike udaljenosti, na svom putu one doživljavaju hemijske transformacije tvoreći nove spojeve, njihove koncentracije se sabiraju iz više izvora, a na kraju dopijevaju na tlo i u vodu, djelujući na taj način na ljude, objekte i živi svijet u cjelini. Dok se upotrebom visokih dimnjaka eliminiše opasnost od vršnih kratkotrajnih koncentracija na užem području, s druge strane se javljaju posljedice dugotrajnog djelovanja zagađujućih materija u malim koncentracijama, kao i depozicija na tlo zagađujućih materija. Složeni mehanizam transporta i interakcije može uzrokovati značajno povećanje sekundarnih zagađujućih materija na lokacijama znatno udaljenim od samog izvora.



Slika 2. Snimak grada Sarajeva s planine iznad inverzionog sloja

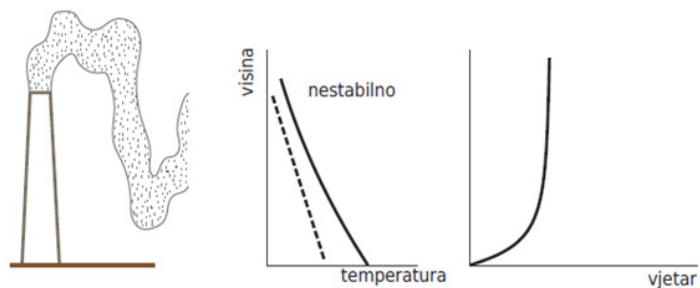
Dimna perjanica je putanja koju opisuje određena količina dimnih plinova ispuštenih u atmosferu u nekoj tački prostora i koja se proteže u smjeru vjetra. Perjanicu definira turbulentna atmosferska difuzija, ovisno o temperaturnom profile, i širi se s povećavanjem udaljenosti od mjesta ispuštanja. Perjanice se mogu grupisati u nekoliko karakterističnih oblika, i to:

1. Konusna perjanica (engl. Coning Plume) javlja se pri neutralnim i umjereno nestabilnim uvjetima, i to najčešće pri oblačnom vremenu ili tijekom sunčanih dana nakon prestanka radijacijske inverzija, a prije početka nestabilnih dnevnih uvjeta.



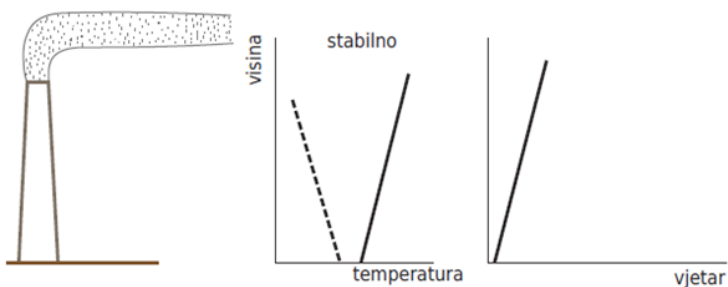
Slika 3. Konusna perjanica

2. Savijajuća perjanica (engl. Looping Plume) nastaje pri nestabilnoj atmosferi pod snažnim konvektivnim uvjetima, kada su dimni plinovi uhvaćeni u krivudanje gore-dolje, uslijed vertikalnog kretanja zraka izazvanog uspinjanjem toplih čestica u zraku i spuštanjem hladnih čestica u zraku; obično se javlja za vrijeme vedrih dana sa jakim sunčanim zračenjem i laganim vjetrom.



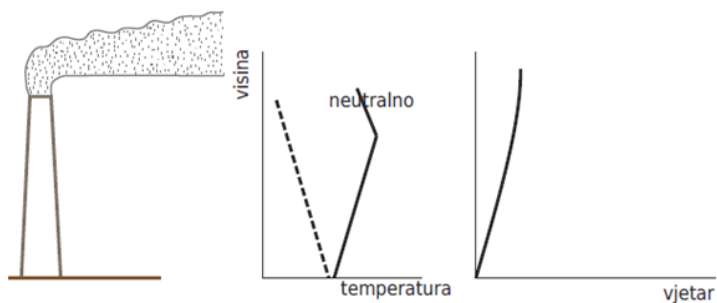
Slika 4. Savijajuća perjanica

3. Lepezasta perjanica (engl. Fanning Plume) je prisutna pri stabilnim uslovima atmosfere odnosno pri inverziji.



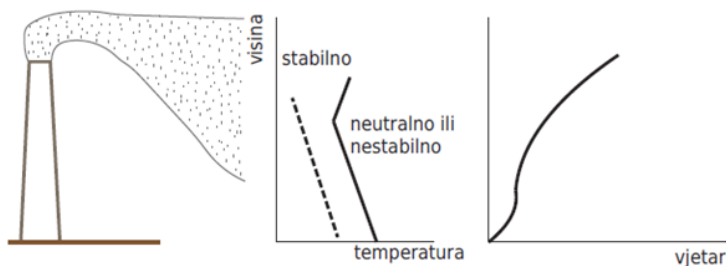
Slika 5. Lepezasta perjanica

4. Uzvišena perjanica (engl. Lofting Plume) se javlja pri ispuštanju dimnih plinova u atmosferu, čiji je donji dio u stabilnom sloju (inverziji), a iznad njega se nalazi nestabilni sloj.



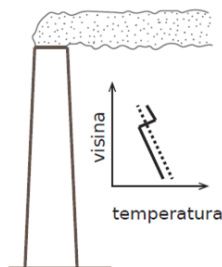
Slika 6. Uzvišena perjanica

5. Zadimljena perjanica (engl. Fumigating Plume) se dešava u slučaju kada je inverzioni sloj iznad sr



Slika 7. Zadimljena perjanica

6. Zarobljena perjanica (engl. Trapped Plume) sličan je slučaj zadimljenoj perjanici kod kojeg je nestabilni sloj malo slabiji te je difuzija prema dolje sporija.



Slika 8. Zarobljena perjanica

4. KVALITET ZRAKA U BIH

Kvalitet zraka nekog područja ovisan je o prirodnim karakteristikama (orografske, klimatske, lokalna cirkulacija vjetrova i vremenske promjene), količini emisije i vrsti izvora emisije (površinski, tačkasti, linijski, zapreminski, visina dimnjaka, brzina emisije dimnih gasova itd.).

Uprkos niskom stepenu industrijalizacije i urbanizacije, problematika kvaliteta zraka u BiH je u periodu 1970 – 1990. bila značajna. Prestankom rada nekih postrojenja, kao posljedica rata, zatim kroz proces vlasničke transformacije, koja je u nekim slučajevima obuhvaćala i tehnološku tranziciju, problematika gubi zamah, međutim i dalje je veoma značajna.

Osnovni uzroci zagađivanja zraka u BiH su:

- Karakter industrije (bazna industrija naslijeđena od bivše Jugoslavije) - izraženo u bh. gradovima kao što su Zenica, Maglaj i Lukavac
- Emisije zbog transformacije energije, tj. rada termoelektrana - izraženo u gradovima Kakanj, Tuzla, Gacko i Ugljevik

- Visoki toplotni gubici u stambenom sektoru - izraženo u gradovima Sarajevo, Kakanj, Banja Luka, Banovići, Zenica, Tuzla itd.
- Neodgovarajuće konstrukcije ložišta (sobne peći i kotlovi male snage su uglavnom pravljeni po zapadnoevropskim licencama), konstruirani za druge vrste ugljeva, što ne omogućava efikasno i malozagađujuće sagorijevanje domaćih ugljeva
- Loženje vlažnog ogrjevnog drveta i uglja u individualnim ložištima
- Vozila koja se kreću po gradovima u BiH su u prosjeku stara preko 13 godina, a broj vozila je neadekvatan projektovanom saobraćaju u gradovima, pa se stvaraju velike gužve, odnosno velika emisija iz saobraćaja, a posebno u jutarnjim i popodnevnim satima

Zagađenost zraka u Bosni i Hercegovini je znatno ispod standarda kvaliteta definisanog na nivou WHO-a, Evropske unije i domaće legislative. Česta prekoračenja vrijednosti se javljaju u toku zimskog perioda, a naročito zbog emisija iz industrije, saobraćaja i domaćinstava, koji za zagrijavanje koriste ugalj i ostala čvrsta goriva, kao što je ogrjevno drvo. Bitan utjecaj na kvalitet zraka je i geografski položaj pojedinih predjela u BiH koje karakterišu pojave prizemnih temperaturnih inverzija te slaba cirkulacija vjetera u zimskim mjesecima. Jedna od geografskih karakteristika BiH je ta da u periodima temperaturnih inverzija ne postoje međusobne zračne veze između pojedinih kotlina. Zbog navedenog se u periodima povišenih koncentracija kvalitet zraka razlikuje u sarajevskoj kotlini, prostoru Kaknja, Tuzle, Zenice, Travnika itd., te su lokalne emisije u ovim periodima uzrok povišenih koncentracija za svaku pojedinačnu kotlinu. Uz slab vjetar ili stabilnu anticiklonu, lebdeće čestice i zagađujuće materije se duže zadržavaju u prizemnim slojevima kotlina čime uzrokuju pojavu smoga, te se u nekim modelima, kojima se računa porijeklo zagađivanja, često pogrešno tumače kao zagađivanje uzrokovano transportom iz drugih predjela. Izražen kotlinski karakter terena glavni je uzrok čestih pojava magli, pogotovo u jutarnjem i večernjem periodu.

Prema istraživanju GAHP objavljenom u decembru 2019. godine, Bosna i Hercegovina se po broju umrlih na 100.000 stanovnika nalazi na petom mjestu u Evropi od posljedica izazvanih zagađenim zrakom u svijetu. Izvještaj WB iz 2019. godine procjenjuje da prosječno 3.300 stanovnika umre svake godine od posljedica zagađenja čvrstim česticama PM2.5. Prema istom izvještaju WB-a, troškovi narušavanja zdravlja u BiH se kreću između 1.8 i 3.3 milijarde KM godišnje.

Utjecaje na kvalitet zraka moguće je podijeliti na nekoliko različitih nivoa. Najjednostavnija podjela je na četiri nivoa: lokalni, regionalni, državni i globalni utjecaji. Svaki nivo je vremenski i prostorno definisan. Upravo ovakva podjela utjecaja na kvalitet zraka omogućava jednostavnije posmatranje problema, te razvoj rješavanja problema. Dalja podjela utjecaja omogućava preciznije posmatranje izvora emisija. Tako, lokalni i regionalni nivo uključuje emisije iz kućnih ložišta, industrije te saobraćaja, dok državni i globalni nivo uključuje tešku industriju i termoelektrane, odnosno izvore sa visokim dimnjacima i većom disperzijom štetnih čestica.

U Bosni i Hercegovini upravljanje kvalitetom zraka je u nadležnosti entiteta i kantona (u FBiH). Mjerenja koncentracije zagađujućih materija, tj. polutanata, vrše se prema referentnim ili ekvivalentnim metodama propisanim entitetskim aktima (Uredba o uslovima za monitoring i zahtjevima kvaliteta vazduha, 2010) i (Federalni hidrometeorološki zavod, 2023). Propisane granične vrijednosti kvaliteta zraka su usklađene sa zahtjevima direktiva i smjernica EU-a (Tabela 1.).

¹https://gahp.net/wp-content/uploads/2019/12/PollutionandHealthMetrics-final-12_18_2019.pdf

Tabela 1. Granične vrijednosti za pojedine zagađujuće materije propisane važećim propisima u BiH

POLUTANT	VRIJEME UZORKOVANJA (PROSJEČENJA)	GRANIČNE VRIJEDNOSTI	MINIMALNA RASPOLOŽIVOST PODATAKA
SO ₂	1 sat	350 ⁽¹⁾ µg/m ³	75 %
	1 dan	125 ⁽²⁾ µg/m ³	90 %
	godina	50 µg/m ³	90 %
NO ₂	1 sat	200 ⁽³⁾ µg/m ³	75 %
	1 dan	85 µg/m ³	90 %
	godina	40 µg/m ³	90 %
CO	8 sati	10 mg/m ³	75 %
	1 dan	5 mg/m ³	75 %
	godina	3 mg/m ³	90 %
PM ₁₀	1 dan	50 ⁽⁴⁾ µg/m ³	75 %
	godina	40 µg/m ³	90 %
PM _{2.5}	godina	25 µg/m ³	90 %

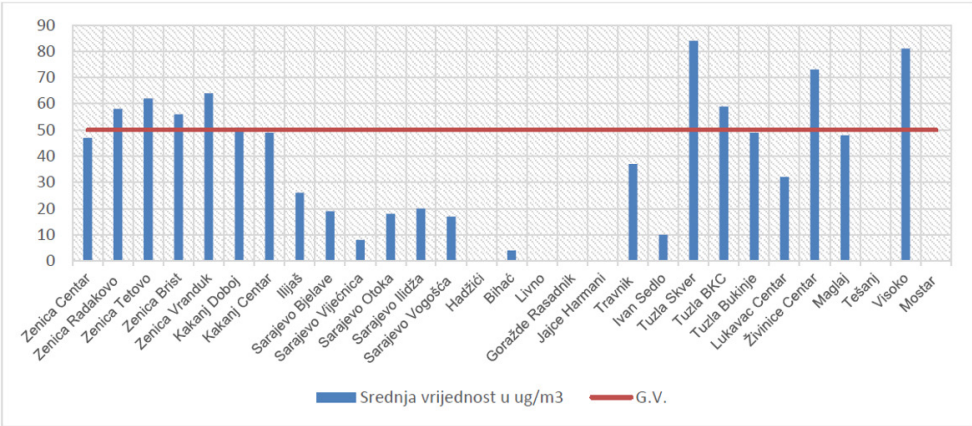
1) Vrijednost je propisana za jednočasovne srednje vrijednosti i ne smije se prekoračiti više od 24 puta u jednoj kalendarskoj godini za SO₂

2) Vrijednosti su propisane za jednodnevne prosjeke i ne smiju se prekoračiti više od 3 puta u jednoj kalendarskoj godini

3) Vrijednost je propisana za jednočasovne srednje vrijednosti i ne smije se prekoračiti više od 18 puta u jednojkalendarskoj godini za NO₂

4) Vrijednosti propisane za dnevne srednje vrijednosti i ne smije se prekoračiti više od 35 puta u toku godine za PM₁₀

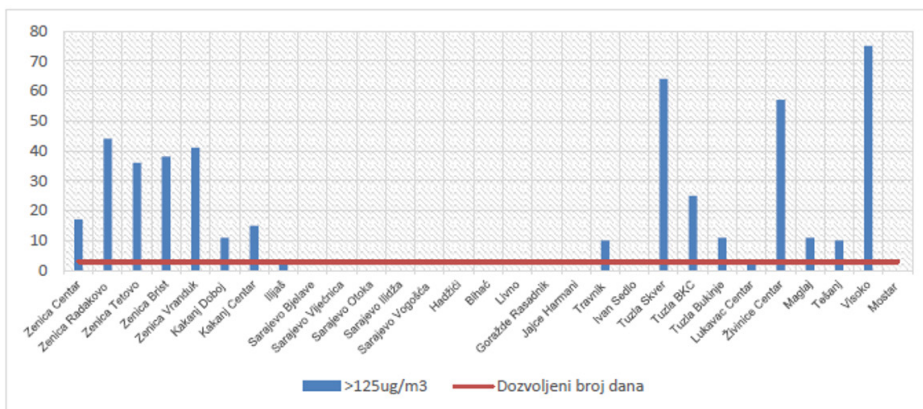
U većini gradova u BiH, gdje se prati kvalitet zraka, izmjerene vrijednosti su značajno iznad graničnih vrijednosti, pogotovo za zagađujuće materije čvrste čestice i sumpor dioksid. Primjer dijagrama koji prikazuju kvalitet zraka u BiH u 2023. godini je prikazan na slikama od 8 do 12 [6].



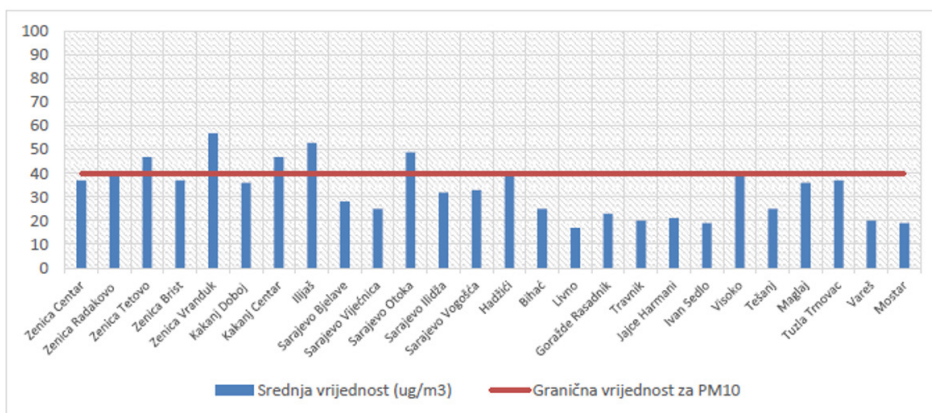
Slika 9. Srednje godišnje koncentracije sumpor dioksida na mjernim mjestima u Federaciji BiH u 2023. godini, (stanice koje su ostvarile više od 75% validnih mjerenja). Granična vrijednost iznosi 50 µg/m³

¹https://gahp.net/wp-content/uploads/2019/12/PollutionandHealthMetrics-final-12_18_2019.pdf

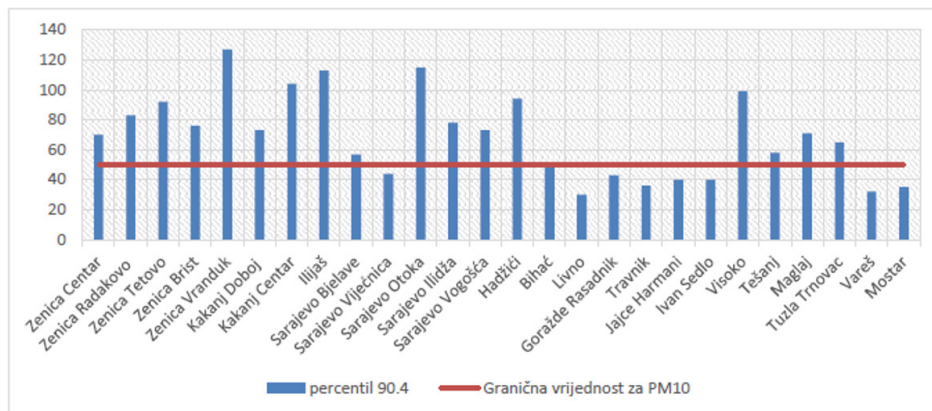
²<https://pubdocs.worldbank.org/en/896881579547479740/Air-Quality-Management-in-Bosnia-and-Herzegovina-Executive-Summary-bos.pdf> <https://wmo.int/topics/climate>



Slika 10. Broj dana sa dnevnom koncentracijom sumpor dioksida višom od granične vrijednosti (>125 µg/m³) u 2023. godini (stanice koje su ostvarile više od 75% validnih mjerenja). Dozvoljena su tri dana sa prekoračenjem GV-a



Slika 11. Srednje godišnje koncentracije lebdećih čestica PM10 na stanicama za praćenje kvaliteta zraka u FBiH koje su ostvarile više od 75% validnih mjerenja u toku 2023. godine (u µg/m³)



Slika 11. Srednje godišnje koncentracije lebdećih čestica PM10 na stanicama za praćenje kvaliteta zraka u FBiH koje su ostvarile više od 75% validnih mjerenja u toku 2023. godine (u µg/m³)

Iz prethodnih dijagrama vidljivo je da je kvalitet zraka prekomjerno zagađen u većini gradova u FBiH, gdje se vrše mjerenja stanja kvaliteta zraka. Slična situacija je i u gradovima u RS-u. Posebno su izražene visoke kratkotrajne i srednje godišnje koncentracije polutanata sumpor dioksida i čvrstih čestica.

5. MJERE POBOLJŠANJA KVALITETA ZRAKA

Poboljšanje kvaliteta zraka podrazumijeva, prije svega, smanjenje emisija zagađujućih materija u zrak. Za to postoje određene mjere na strani proizvodnje i na strani potrošnje. Na strani proizvodnje to su tehničke mjere koje mogu biti primarne i sekundarne. Primarne mjere su mjere koje se odnose na mjere smanjenja emisija u samom ložištu, dok su sekundarne mjere, mjere smanjenja emisije iza kotla, npr. na dimovodnoj cijevi. Jedna od takvih mjera je ugradnja filtera za smanjenje emisije čvrstih čestica [9]. Također, povećanje efikasnosti kotlova je jedna od mjera smanjenja emisija u zrak iz energetskih i tehnoloških izvora emisija, zato što za manji utrošak energije, a samim time i emisije, dobijete istu količinu usluge ili proizvodnje.

Pored mjera iz energetskih i tehnoloških postrojenja, koja emituju čvrste čestice, sumpor dioksid, azotne okside itd., nameću se mjere smanjenja emisija čvrstih čestica na strani potrošnje (u saobraćaju i zgradarstvu). U saobraćaju je problem emitovanja emisija u zrak izražen tokom čitave godine, dok je emisija zagađujućih materija nastala sagorijevanjem goriva u svrhu grijanja stambenog prostora pojava koja se dešava samo za vrijeme sezone grijanja. Moguće mjere za smanjenje emisije iz saobraćaja su:

- Izgradnja zaobilaznica u gradove i iz njih
- Ubrzanje saobraćaja na postojećim saobraćajnicama (npr. rekonstrukcija i proširenje cesta), jer zastoji u saobraćaju povećavaju emisije
- Strožiji tehnički propisi za uvoz automobila i strožiji tehnički pregledi zbog neovlaštenog uklanjanja katalizatora
- Poboljšanje usluga javnog gradskog saobraćaja
- Zabranjivanje i kažnjavanje parkiranja automobila na nepropisnim mjestima (ovim se podstiče upotreba gradskog saobraćaja umjesto vlastitih automobila)
- Smanjenje potrebe za vožnjom automobile i
- Korištenje alternativnih prevoznih sredstava (npr. bicikli, trotineti, električni skuteri, pješačenje i sl.)

U zgradarstvu se mjere mogu podijeliti na:

1. Organizacijske mjere
2. Mjere prostornog planiranja
3. Mjere energijske efikasnosti

Neke od organizacijskih mjera su sljedeće:

- Povećanje svijesti kroz edukaciju građana o važnosti smanjenja emisija putem obrazovnih programa u vrtićima, osnovnim i srednjim školama.
- Promocija alternativnih goriva, umjesto čvrstih, kroz javne kampanje koje informiraju o prednostima ovih opcija.
- Organizacija kampanja za podizanje svijesti o utjecaju zagađujućih materija na zdravlje i potrebi za njihovim smanjenjem.

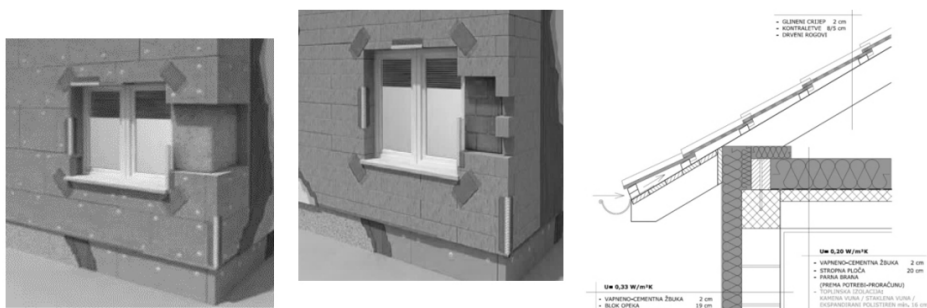
- Promocija projekata energijske efikasnosti kako bi se smanjila potrošnja energije i emisije.
- Edukacija građevinskih i projektantskih firmi o principima energijske efikasnosti i korištenju obnovljivih izvora energije u izgradnji i projektiranju.
- Uspostavljanje centara za edukaciju o energetske efikasnosti, gdje bi se provodile radionice i treninzi.
- Formiranje fonda za finansiranje projekata energetske efikasnosti, koji će omogućiti podršku za implementaciju inovativnih rješenja.
- Certificiranje peći i kotlova.
- Kontrola postavljanja i puštanja u rad novih peći i kotlova.
- Monitoring emisija iz ložišta itd.

Mjere prostornog planiranja mogu biti:

- Planiranje i očuvanje zelenih površina u gradovima (parkova, šuma) koje apsorbiraju zagađujuće materije i poboljšavaju kvalitet zraka.
- Uspostavljanje zona sa strožim pravilima za emitovanjem zagađujućih materija.
- Uključivanje mjera energetske efikasnosti u sve faze prostornog planiranja, od izgradnje do korištenja zgrada.
- Planiranje prostora za instalaciju solarnih panela, vjetroturbina i drugih obnovljivih izvora energije kako bi se smanjila ovisnost o fosilnim gorivima.
- Širenje sistema daljinskog grijanja u gradovima kako bi se izbjegla emisija iz stambenih i javnih objekata itd.

Mjere energijske efikasnosti u zgradarstvu se mogu podijeliti na arhitekonsko-građevinske mjere, mjere vezane za termotehničke sisteme i smanjenja potrošnje električne energije. Neke od navedenih mjera su:

- Termoizolacija fasade obuhvata ugradnju termoizolacijskog materijala na vanjske zidove. Izvođenje toplotne izolacije vanjskih zidova podrazumijeva dodavanje novog toplotno-izolacijskog sloja s vanjske strane zida. Preporučena debljina izolacije ne smije biti manja od 15 cm, čime se smanjuje koeficijent prolaska toplote U na približno $0,25 \text{ W/m}^2\text{K}$ (slika 13.).
- Termoizolacija stropa ili krova uključuje ugradnju mineralne vune unutar samog krovnog pokrivača ili na plafon prema negrijanom tavanu. Krovovi često uzrokuju velike toplotne gubitke zimi i pregrijavanje ljeti. Ako nije izoliran, toplotni gubici kroz krov mogu biti i do 30%. Ugradnja izolacije je ekonomski isplativa s povratom investicije od 1 do 5 godina. Preporučena debljina izolacije iznosi najmanje 20 cm (slika 13.).
- Zamjena otvora podrazumijeva zamjenu starih, dotrajalih, neefikasnih prozora i vrata s novim koji imaju minimalno dvostruko ostakljenje i "low" premaz. Gubici kroz stolariju mogu činiti više od 50% od ukupnih toplotnih gubitaka objekta. Ugradnja kvalitetnih prozora sa dobrim brtvljenjem i niskim koeficijentom prolaska toplote U (ispod $1,4 \text{ W/m}^2\text{K}$) značajno smanjuje potrošnju energije.
- Poboljšanje sistema grijanja, što može podrazumijevati zamjenu energenta, npr. čvrstih goriva sa okolinski prihvatljivijim, npr. peletom ili prirodnim plinom.
- Ugradnja sistema grijanja sa toplotnom pumpom velike efikasnosti čime se u potpunosti eliminiše izvor emisija na nekom lokalnom nivo.



Slika 13. Primjer izvedbe kompaktne fasade sa pločama i lamelama od mineralne vune i izolacije kosog krova (CETEOR, 2020).

Ove mjere se obično kombinuju, jer sama mjera zamjene energenta bez primjena mjera energijske efikasnosti, odnosno arhitektonsko-građevinskih mjera, može dovesti do povećanja troškova grijanja. Cilj mjera je da se troškovi za grijanje smanje ili barem ostanu jednaki u odnosu na troškove prije poduzimanja mjera. Smanjenjem potrošnje energije se za istu količinu smanjuje i emisija. Zamjenom načina grijanja može se emisija u potpunosti eliminirati s određenog područja ili objekta.

6. ZAKLJUČAK

Na osnovu navedenog može se konstatovati da se problem kvaliteta zraka veže za višestruke izvore emisija, uključujući industriju, saobraćaj i neadekvatno korištenje energenata u domaćinstvima. Iako je u BiH manje zastupljena industrijalizacija u poređenju s nekim drugim regionima, kvalitet zraka je i dalje ispod standarda definisanih od WHO-a i EU-a, zbog zastarjelih industrijskih postrojenja, te oslanjanja istih privrednih subjekata na uglj sa velikim udjelom prašine i sumpora. Posebno su izražene visoke koncentracije čvrstih čestica i sumpor dioksida tokom zimskih mjeseci, kada su meteorološke prilike pogodne za akumuliranje zagađujućih materija. Tada geografske karakteristike u nekim djelovima BiH dodatno pogoduju pojavama poput temperaturnih inverzija, što pogoršava situaciju stvarajući lokalne probleme sa kvalitetom zraka. S obzirom na visoke stope smrtnosti povezane sa lošim kvalitetom zraka, procijenjene troškove za zdravstvo i ekonomske posljedice, neophodne su hitne mjere za poboljšanje kvaliteta zraka.

Neophodno je uvođenje tehničkih, organizacijskih i mjera energijske efikasnosti, što - uz zamjenu konvencionalnih fosilnih goriva s obnovljivim izvorima energije - može značajno doprinijeti smanjenju emisija zagađujućih materija. Ove mjere, uključujući obnovljive izvore energije i poboljšanje javnog saobraćaja, mogu dovesti do održivijeg okruženja i zdravijeg života za stanovnike Bosne i Hercegovine. Ključ uspjeha leži u integraciji različitih pristupa i saradnji između različitih nivoa vlasti i društva kako bi se osiguralo da kvalitet zraka ne bude i dalje zapostavljena tema.

LITERATURA

1. CETEOR. (2011). Seminar: "Upravljanje kvalitetom zraka i suzbijanje klimatskih promjena". Vlašić, BiH.
2. CETEOR. (2020). E3: Strategija ograničavanja korištenja uglja i ostalih čvrstih goriva u Kantonu Sarajevo za period 2023 - 2033. godine, 2020-2023.
3. Federalni hidrometeorološki zavod. (2023). Godišnji izvještaj o kvalitetu zraka u Federaciji Bosne i Hercegovine za 2023. godinu.
4. Husika, A., Jamaković, I., Toljević, A. (2017). Kvalitet zraka. Mašinski Fakultet.
5. Pravilnik o načinu vršenja monitoringa kvaliteta zraka i definiranju vrsta zagađujućih materija, graničnih vrijednosti i drugih standarda kvaliteta zraka. (2012). Sl. novine FBiH, 01/12.
6. Studija ranjivosti prostora FBiH. (2008). HEIS, IPSA, BiH.
7. Uredba o uslovima za monitoring i zahtjevima kvaliteta vazduha. (2010). Sl. glasnik RS, br. 11/2010, 75/2010 i 63/2013.

Promišljanje o gradovima i zgradama za bolji kvalitet života i kvalitetniji unutrašnji zrak

Sanela Klarić

Nadir Spahić

Sažetak: Klimatske promjene duboko utječu na našu savremenu civilizaciju, mijenjajući okoliš u kojem živimo. Klimatske promjene zahtijevaju preispitivanje metoda gradnje i procesa stvaranja energije, s većim naglaskom na odgovornost prema okolišu i ljudskom zdravlju. Građevinski sektor odgovoran je za preko 40% ukupne potrošnje energije i više od 43% ukupnog zagađenja u Evropi. Direktive Evropske unije (EU) o energetskej efikasnosti razvijale su se od zahtjeva za zgradama s niskom potrošnjom energije do službenih obaveza za potpunu dekarbonizaciju građevinskog sektora do 2025. godine.

Inicijativa za zeleno certificiranje zgrada formira konzorcij koji uključuje sve zainteresovane strane koje zajednički rade na provjeri performansi projekata zelenih zgrada. Zeleno certificiranje osigurava da su ti projekti ekološki odgovorni, pružaju zdravije uslove, poštuju principe kružne ekonomije te su energetski efikasni i garantuju dekarbonizaciju. Mjerenje kvaliteta zraka u zatvorenim prostorima (engl. indoor air quality - IAQ) predstavlja ključni kriterij kod zelenog certificiranja zgrada, što čini značajan napredak u rješavanju specijaliziranih potreba zdravstvene zaštite.

Pilot-studija provedena u obrazovnim institucijama Kantona Sarajevo, u periodu od oktobra 2020. do marta 2021. godine, pokazala je da su, uprkos antiepidemijskim mjerama poput čestog provjetravanja i ograničenja broja učenika u učionicama, parametri kvaliteta zraka u zatvorenim prostorima tokom sezone grijanja često odstupali od vrijednosti koje preporučuje Svjetska zdravstvena organizacija (SZO). Pored toga, studija je otkrila da trenutne prakse energetske efikasnosti u renoviranju javnih zgrada nisu u skladu s postojećim propisima, te su neadekvatne, nezdrave, ne podržavaju lokalnu ekonomiju i neprihvatljivo su neodgovorne i neodržive. Nedostatak adekvatnog nadzora dodatno ometa napredak i postizanje odgovarajućih ušteda.

Neophodno je da buduće prakse izgradnje novih objekata ili renoviranja postojećih u Bosni i Hercegovini uključuju mjere za zeleno certificiranje. Ovaj pristup je ključan ne samo za zaštitu zdravlja građana već i za postizanje planiranih ciljeva EU-ovog zelenog dogovora i obaveza dekarbonizacije.

Ključne riječi: bolji kvalitet života, kvalitet unutrašnjeg zraka, energetska efikasnost, zeleno certificiranje, dekarbonizacija

1. BOLJI KVALITET ŽIVOTA U GRADOVIMA I ZGRADAMA

Danas smo u potpunosti svjesni svijeta u kojem živimo i činjenice da ljudi preferiraju život u gradovima. Ova preferencija dovodi do dnevnih migracija, uzrokujući gužve i prenapučenost u urbanim područjima (Asquith et al., 2023).

Sve je veća briga o klimatskim promjenama, što zahtijeva promišljanje načina na koji živimo, gradimo i proizvodimo energiju, s naglaskom na važnost zaštite okoliša i zdravlja. Klimatske promjene mijenjaju našu savremenu civilizaciju, a negativne posljedice čine temu klimatskih promjena najvažnijom temom našeg vremena.

Prema izvještaju Ujedinjenih nacija iz 2017. godine, očekuje se da će trenutna svjetska populacija od 7,6 milijardi do 2030. godine dostići 8,6 milijardi stanovnika, do 2050. godine 9,8 milijardi stanovnika, a do 2100. godine predviđa se da će dostići 11,2 milijarde stanovnika (United Nations, 2024). Za arhitekte i građevinske stručnjake, ovo znači da moraju prilagoditi svoje prakse građenja za potrebe za više od 2 milijarde dodatnih ljudi na našoj planeti do 2050. godine, odgovorno odgovarajući na ključna pitanja kako zadovoljiti sve potrebe, a da se dodatno ne ugroze resursi planete. Ovaj izazov zahtijeva mobilizaciju svih profesija i podizanje sveobuhvatne svijesti među relevantnim akterima i građanima.

Zeleni plan EU-a naglašava čist zrak kao strateški cilj za osiguranje kvaliteta života svih građana. Zeleni plan EU-a, također, predviđa akcioni plan za nultu zagađenost zraka, vode i tla kako bi se zaštitili građani i ekosistemi Evrope. (The European Green Deal).

Građevinski sektor je u 2018. godini bio odgovoran za 36% ukupne potrošnje energije i 39% emisija ugljičnog dioksida (CO₂) povezanih s procesima proizvodnje energije, od čega je 11% emisija rezultat proizvodnje građevinskih materijala i proizvoda poput čelika, cementa i stakla (IEA, 2024). Zbog toga građevinski sektor mora što prije ponuditi optimalna, odgovorna i održiva rješenja. Ovaj sektor također zagađuje više od 43% u poređenju s drugim sektorima, poput energetike, industrije, transporta ili poljoprivrede (European Commission, 2005). Prepoznat je veliki broj razloga zašto građevinski sektor igra značajnu ulogu u rješavanju problema klimatskih promjena, održivog razvoja, zelenih politika, kružne ekonomije te u stvaranju boljeg, zdravijeg okoliša i života.

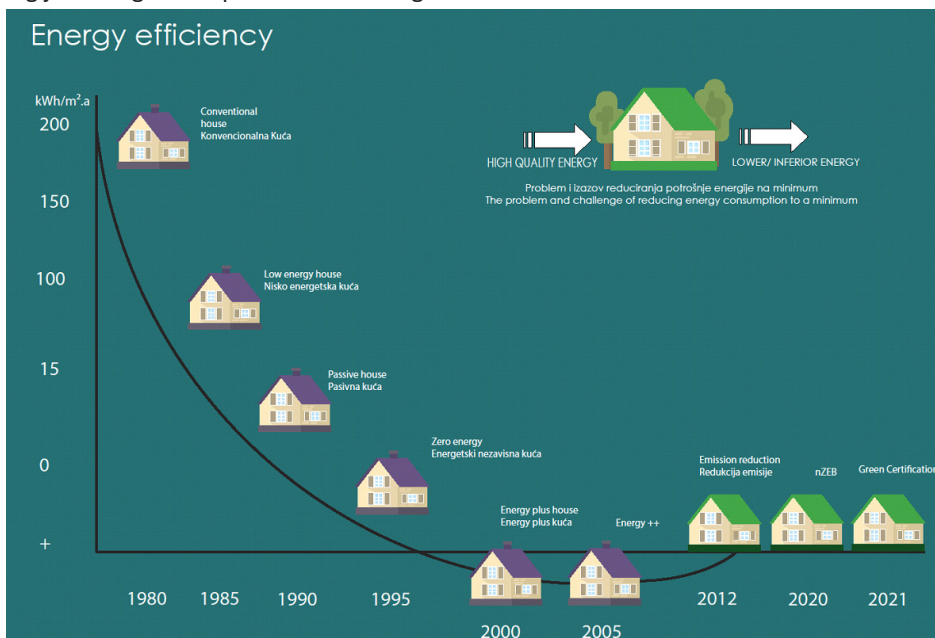
Pored materijala, primarne energije i zagađenja, promišljanje u građevinskom sektoru mora se fokusirati i na odgovorno urbanističko planiranje i održive projekte pejzažne arhitekture (Tatlić et al., 2022). Zbog neadekvatnog urbanističkog planiranja i investicijske arhitekture u Bosni i Hercegovini, uočava se nedostatak zelenih površina u gradovima, što dodatno utječe na pregrijavanje gradova povećanjem zagađenja vanjskog i unutrašnjeg zraka, tla, vode te smanjenjem kvaliteta života u gradovima.

Dodatno promišljanje zahtijeva se za obavezne mjere procjene životnog ciklusa, kružne ekonomije, odgovorno korištenje obnovljivih izvora energije, kao i mjere zdravlja, obrazovanja i transparentnosti.

Ovo istraživanje će se osvrnuti na trenutne prakse energetske efikasnosti i kvaliteta zraka u zatvorenim prostorima (engl. *indoor air quality - IAQ*) u Evropi i Bosni i Hercegovini (BiH). Poseban fokus bit će stavljen na zdravlje, kao i kvalitetu zraka u obrazovnim institucijama, zbog najnovijih istraživanja koja dokazuju da IAQ u učionicama značajno negativno utječe na zdravlje djece i njihov akademski uspjeh.

2. PRAKSE ENERGETSKE EFIKASNOSTI U EVROPI I U BOSNI I HERCEGOVINI

Održivi razvoj je dugogodišnja filozofija koja postaje sve važnija u rješavanju rastućih problema klimatskih promjena i zaštite okoliša. Da bi današnje društvo bilo smatrano održivim i odgovornim, moramo odmah početi prakticirati efikasnu i odgovornu upotrebu resursa, uzimajući u obzir ne samo sadašnje već i buduće generacije. Energetska efikasnost je ključni princip u građevinskom sektoru, koji se fokusira na značajno smanjenje količine energije potrebne za funkcionisanje građevinskog objekta, bez ugrožavanja kvaliteta životnih uslova. Glavni fokus vlasti, naučnika i stručnjaka u periodu 1985-2020. godina bio je na uštedama energije i energetske performansama zgrada.



Slika 1. Razvoj energetske efikasnosti objekata do danas, izvor: autori

Donosioci odluka i stručnjaci su od 2010. godine osim ušteda energije, intenzivno počeli razmatrati i preispitivati važne parametre koji utječu na kvalitetu života korisnika u zgradama. Ovi parametri uključuju kvalitet zraka u zatvorenim prostorima, zdravlje korisnika, zaštitu okoliša, održivu upotrebu resursa, procjenu životnog ciklusa, zagađenje i primarnu energiju. (Klarić, 2015). Tržište EU-a od 01. januara 2012. godine. u proces certificiranja, kako materijala tako i arhitektonskih objekata, uvodi dvije nove kategorije koje se ocjenjuju i ulaze u ukupnu ocjenu. Kao prvo, mjeri se ukupna potrošnja primarne energije koja je potrebna za svaki zasebni materijal ili element koji je ugrađen u objekat od momenta njegovog vađenja iz prirode, transporta, prerade, ugradnje do momenta korištenja. Druga kategorija je emisija CO₂ koja se također sada mjeri u toku prerade materijala, ugradnje i korištenja te recikliranja. (European Parliament and Council, 2010).

Ova direktiva napravila je preokret u procesu projektovanja objekata s linearnog na ciklarni pristup i zahtijeva snažan interdisciplinarni pristup u građevinskom sektoru. Direktiva je okupila sve zainteresovane strane kako bi se fokusirale na lokaciju, bioklimatsku arhitekturu, upravljanje otpadom, održivo i odgovorno upravljanje vodama, odgovorno upravljanje resursima, primarnu energiju, dekarbonizaciju, prirodne materijale, zdravlje, kvalitet zraka

u zatvorenim prostorima (IAQ), zagađenje bukom, obnovljive izvore energije i energetska efikasnost. Dodatno, Direktiva EU-a o energetskej efikasnosti evoluirala je kako bi se težilo proizvodnji više energije nego što zgrade zahtijevaju, kao što se vidi u Direktivama o energetskim zgradama, s fokusom na gotovo nulte energetske zgrade (nZEB) (ecee, n.d.) kao standard od juna 2021. godine. Od 2025. godine, EU direktive u građevinskom sektoru tražit će potpunu dekarbonizaciju i to će biti njihov glavni zahtjev za buduće odgovorne i održive prakse u građevini, (engl. *Zero emission buildings - ZEB*).

Nažalost, Bosna i Hercegovina je i danas na samom početku implementacije. Energetska efikasnost u Bosni i Hercegovini je, i pored preuzetih međunarodnih obaveza i značajnog potencijala, na početku implementacije, iako zakonske obaveze postoje od 2010. godine. Razlog za to je nepostojanje adekvatno koordinisanog sistema energetske efikasnosti u cijeloj Bosni i Hercegovini kroz sve nivoe vlasti, kao i nepostojanje sveobuhvatne strategije za održiv i odgovoran razvoj sektora te opšte nerazumijevanje potencijala i koristi (Klarić et al., 2016). U praksi se ulaganja u energetska efikasnost u BiH uglavnom fokusiraju na javne zgrade. Nedavna istraživanja (Klarić et al., 2021), poput onog pod nazivom "Studija o kvalitetu zraka u zatvorenim prostorima u školama u Kantonu Sarajevo", pokazala su da prilikom implementacije projekata energetske efikasnosti u BiH čak ni minimalni energetske zahtjevi, propisani postojećim zakonodavstvom, nisu postignuti, posebno u školama i vrtićima. U projektima energetske efikasnosti zgrada kolektivnog stanovanja u BiH, trenutne prakse također pokazuju mnoge nelogičnosti i nedostatke. Iako su stanari izrazili opšte zadovoljstvo renoviranjem, bili su razočarani što poboljšanja nisu rezultirala smanjenjem njihovih računa za energiju. Važno je napomenuti da javna kompanija Toplane, koja obezbjeđuje centralno grijanje, nije smanjila količinu energije isporučene zgradama nakon energetske efikasne renoviranja, iako je energija potrebna za grijanje stanova mnogo manja nakon renoviranja nego prije. Naophodno je mjeriti kvalitet zraka u zatvorenim prostorima, posebno jer energija za grijanje stanova ostaje ista u spomenutim zgradama kolektivnog stanovanja nakon renoviranja.

Praćenje svih projekata energetske efikasnosti trebalo bi biti obavezno i regulisano zakonima, što nije slučaj u praksi u Bosni i Hercegovini. Samo kroz praćenje i izvještavanje moguće je nelogičnosti i naučene lekcije transparentno učiniti dostupnim svim donosiocima odluka i drugim relevantnim akterima, čime bi se u budućnosti osigurale bolje praksa na terenu, te evidentirale stvarne uštede, a sve u skladu s praksama EU-a.

Dekarbonizacija i EU-ov zeleni dogovor predstavljaju veliku priliku za Bosnu i Hercegovinu. Neophodno je razviti lokalne potencijale, posebno lokalnu čistu i održivu proizvodnju, kroz korištenje lokalnih prirodnih, održivih sirovina kao što su drvo, ovčija vuna, glina, kreč, slama i drugi građevinski otpadni materijali koji, osim toplinskog efekta, imaju veliki utjecaj na zaštitu okoliša, smanjenje CO₂, ruralni razvoj, razvoj poljoprivrede, zapošljavanje i pružanje zdravijih i kvalitetnijih uslova života (Klarić et al., 2016). Također, postoji potencijal u obnovljivim izvorima energije u BiH koji treba optimalno koristiti u budućnosti.

3. PROMIŠLJANJE ZA ZELENO CERTIFICIRANJE ZGRADA

Inicijativa za zeleno certificiranje zgrada stvara konzorcij između inženjera arhitekture, pejzažne arhitekture, građevine, mašinstva, elektrotehnike i okolišnih inženjera, građevinskih firmi, građevinske industrije, banaka, investitora, korisnika, naučnih institucija, organizacija civilnog društva i certifikacijskih organizacija kako bi se verificirale performanse projekata

zelenih zgrada, koje su ekološki odgovorne i energetske efikasne. Pored toga, inicijativa za zeleno certificiranje zgrada osigurava kvalitet u odnosu na standardnu ponudu, generirajući finansijske, socijalne i ekološke koristi. Povećane uštede energije i druge finansijske koristi (kao što su poboljšano zdravlje korisnika i niži trošak održavanja objekta) značajno smanjuju rizik od neplaćanja hipotekarnih kredita, omogućuju smanjenje mjesečne kamatne stope uz održavanje profitnih marži. Ovo omogućava kupcima nekretnina da investiraju u energetske efikasniju i zeleniju nekretninu, smanjujući ukupan mjesečni trošak vlasništva u odnosu na standardno građenu nekretninu (SMARTER). Uvođenje modela zelenog certificiranja i zelenog financiranja pravovremeno je u kontekstu trenutnih i budućih evropskih direktiva koje zahtijevaju napredak prema dekarboniziranim zgradama, maksimalno smanjenje građevinskog otpada, kružnu ekonomiju, obnovljive izvore energije, kao i smanjenje toksičnosti građevinskih materijala, a što je obaveza za sve nove i postojeće zgrade.



Slika 2. Odgovornosti i koristi programa zelenog certificiranja, izvor: SMARTER_Finance_for_Families Toolkit.pdf (green-council.org)

Rastuće brige o energetskej sigurnosti i rastući troškovi energije nagrađuju projekte sa zelenim certifikatom i modele zelenog financiranja, koji zahtijevaju pristupačnije cijene i odgovorno korištenje prirodnih resursa za izgradnju i korištenje. Proces zelenog certificiranja vrlo je složen i sveobuhvatan, te zahtijeva punu posvećenost, transparentnost i interdisciplinarnost svih učesnika. Proces zelenog certificiranja počinje od prvih ideja, uključujući izbor lokacije i analize, kao i od najranijih trenutaka dizajna, stvaranja, diskusije i razvoja koncepta. U praksi, lista mjera za zeleno certificiranje mora se komunicirati od početka između svih učesnika u procesu.

Mjere za ekološko liderstvo počinju snažnim interdisciplinarnim timskim radom, diskusijom i obrazovanjem, što vodi ka izgradnji kapaciteta timova za sve nove zelene prakse. Integrirani dizajn, procjena životnog ciklusa i planiranje upravljanja građevinskim otpadom su obavezne mjere koje se moraju implementirati prema zahtjevanim standardima. Odgovorne građevinske prakse moraju smanjiti zagađenje i poremećaje izazvane građevinskim aktivnostima te prepoznati i obezbijediti ekološki i društveno odgovoran pristup upravljanju gradilištem (Ibid.). Informacije o novim praksama, zelenim performansama i zahtjevima ponašanja

korisnika transparentno se komuniciraju sa svim učesnicima putem službenih priručnika, da bi se osigurala održiva i odgovorna upotreba i održavanje zgrada u toku korištenja.

Mjere vezane za lokaciju i gradilište zahtijevaju održivu i odgovornu upotrebu lokacije, smanjenje efekta urbanog toplotnog ostrva, smanjenje svjetlosnog zagađenja, upravljanje kišnicom, jednostavan pristup sadržajima te podršku održivim modelima transporta i održivoj mobilnosti.

Mjere efikasnog korištenja vode u zgradama zahtijevaju punu podršku naporima za optimalnu upotrebu vode kroz praćenje i upoređivanje potrošnje vode tokom vremena, potpuno operativan sistem korištenja sive (tehničke) vode, navodnjavanja i pejzažnog uređenja, praksi zelenih zidova i krovova, te inovacija u održivim i odgovornim sistemima kanalizacije.

Mjere biodizajna, podrške korištenju prirodnih materijala i resursa postavljene su kako bi motivisale inovacije u korištenju lokalnih prirodnih resursa, recikliranju i ponovnoj upotrebi, principima kružne ekonomije i lokalnom razvoju. Svi učesnici u procesu zelene certifikacije podstiču se na korištenje prirodnih materijala s povoljnim ekološkim i ekonomskim utjecajima kroz životni ciklus, poput drveta, slame, kreča, cigle, gline, konoplje i ovčje vune. Također se potiče korištenje najmanje 30% obnovljenih materijala (otpad, obnovljenih ili ponovo upotrijebljenih materijala) u odnosu na ukupno korištenu količinu materijala na gradilištu. Potiče se upotreba materijala ili proizvoda iz lokalne proizvodnje, kroz korištenje lokalnih resursa uz praćenje i podršku da obrada i proizvodnja budu unutar radijusa od 160 km za 50% korištenih materijala; 30% unutar radijusa od 500 km i 20% unutar radijusa od 1000 km. Također, kod zelenog certificiranja drvo koje se koristi u gradnji mora biti legalno posječeno, što se dokazuje dokumentacijom o lancu nadzora (engl. *Chain-of-Custody - CoC*) i certifikatom FSC (engl. *Forest Stewardship Council*).

Svi učesnici u građenju moraju odgovorno smanjiti zdravstvene rizike za buduće korisnike objekata. Mjerama zelenog certificiranja se prati kvalitet korištenih materijala u gradnji te se traži da korišteni materijali budu s niskim udjelom (do 10 grama po litru VOC-a) ili bez udjela isparljivih organskih spojeva (VOC). Mjerama se traži maksimalno smanjenje koncentracija hemijskih zagađivača koji mogu oštetiti kvalitet zraka, ljudsko zdravlje, produktivnost i okoliš, te se insistira da se u gradnji isključivo koriste izolacioni materijali otporni na požar. Dodatno, svi učesnici građenja treba da smanje zavisnost od neobnovljivih materijala, koristeći najmanje 30% obnovljivih i brzo obnovljivih materijala (poput drveta, slame, pluta, pamuka, konoplje, agrofibera i prirodnog linoleuma) od ukupne količine materijala korištenih na gradilištu.

Mjere zelenog certificiranja su usmjerene na zdravlje i dobrobit ljudi te zahtijevaju smanjenje rizika od raka pluća. Mjere zahtijevaju testiranje kvaliteta zraka u zatvorenom prostoru na formaldehid, ukupne isparljive organske spojeve (VOC) i čestice (PM2.5, PM5, PM10 i manje) kako bi se osiguralo da su nivoi ovih zagađivača u unutrašnjem prostoru unutar granica odobrenih od SZO-a. Zeleno certificiranje također zahtijeva testiranje kvaliteta vode prije korištenja zgrade, kako bi se osiguralo da su bakterije, olovo, pesticidi, nitrati, hlor, pH i tvrdoća vode unutar prihvatljivih granica. Osim toga, potrebno je unaprijediti kvalitet udobnosti u unutrašnjem prostoru kroz rješenja koja obezbjeđuju ublažavanje buke, stresa i anksioznosti, što se mora potvrditi mjerenjima.

Zelena certifikacija motivira investitore da ulažu u bolje energetske karakteristike zgrada, s posebnim bodovima za one koji ulažu u zgrade s gotovo nultom potrošnjom energije (nZEB),

odnosno dekarbonizovane zgrade i dodatne inovacije.

Trenutne prakse zelenog certificiranja potvrđuju i dokazuju direktnu povezanost između energetske efikasnosti i zelenih performansi zgrade. Zeleno certificiranje garantuje bolji kvalitet života, udobnost i zdravlje, odgovorniji dizajn, odgovornu održivu izgradnju i odgovorno održivo funkcionisanjem te zgrade. Postoji više programa zelenog certificiranja širom svijeta; u BiH je trenutno operativan program akreditovan putem projekta EU SMARTER (SMARTER). Svi ovi programi zelenog certificiranja fokusirani su na zdravlje ljudi i zdraviju okolinu i zaštitu prirode. Trenutno, Savjet za zelenu gradnju u BiH implementira tri ugovora o zelenom certificiranju. Postoji velika potreba za promocijom ovog programa i uključivanjem većeg broja aktera kako bi se kolektivno povećalo razumijevanje i promovisale koristi za sve korisnike, investitore, prirodu, resurse, lokalnu ekonomiju i šire.

4. KVALITET UNUTRAŠNJEG ZRAKA KAO OBAVEZNA MJERA ZELENOG CERTIFICIRANJA

It is a generally accepted scientific fact that a high level of air pollution endangers human health in many ways. However, a special danger is air contamination in closed spaces, in which we spend 80 - 90% of our life and where the pollution can be significantly higher than outside. Such pollution, according to increasingly complex research and analysis, leaves not only health problems, but also significant economic consequences, especially in low and medium developed societies. Indoor Air Quality performances of the buildings as measures that must be implemented and proved for optimal characteristic in the Green building certification present an important breakthrough when we talk about special health care, which is becoming an important segment in the construction sector. That is why it is important in all future energy efficiency projects in BiH to include budget line and to plan the investment in planning and installing HVAC infrastructure to ensure IAQ in inner space besides all other measures for energy savings, decarbonization and circular economy. Additionally, the budget needs to plan for monitoring of IAQ in order to ensure the quality and durability of the measure, quality of the work, installations and equipment.

4.1 Strategies and policies for Indoor Air Quality in the EU and Bosnia and Herzegovina

Opšteprihvaćena je naučna činjenica da visok nivo zagađenja zraka na mnoge načine ugrožava ljudsko zdravlje. Međutim, posebnu opasnost predstavlja zagađenje zraka u zatvorenim prostorima, u kojima provodimo 80-90% svog života (Klarić et al., 2021), a gdje zagađenje može biti znatno veće nego na otvorenom. Takvo zagađenje, prema sve složenijim istraživanjima i analizama, ne uzrokuje samo zdravstvene probleme već predstavlja i značajne ekonomske posljedice, posebno u nerazvijenim ili srednje razvijenim društvima. Performanse kvaliteta zraka u zatvorenim prostorima (IAQ) zgrada, kao mjere koje se moraju implementirati i dokazati za optimalne karakteristike zgrada sa zelenim certifikatom, predstavljaju značajan napredak kada govorimo o specijalnoj zdravstvenoj zaštiti, koja postaje važan segment odgovornog građevinskog sektora.

Zbog toga je važno da svi budući projekti energetske efikasnosti u BiH uključuju budžetsku stavku kojom se planiraju ulaganja u sisteme grijanja, hlađenja i ventilacije kako bi se osigurao optimalni kvalitet unutrašnjeg zraka, uz sve druge mjere uštede energije, dekarbonizacije i kružne ekonomije. Osim toga, budžet mora predvidjeti monitoring kvaliteta unutrašnjeg zraka, kako bi se osigurao kvalitet i dugotrajnost mjera te kvalitet rada, instalacija i opreme.

4.1. Strategije i politike za kvalitet unutrašnjeg zraka u EU-u i u Bosni i Hercegovini

Klimatske promjene i degradacija okoliša predstavljaju egzistencijalnu prijetnju Evropi i svijetu. Kako bi se prevazišli ovi izazovi, Evropska unija je usvojila novu Strategiju rasta, koja će EU transformisati u modernu, efikasnu, odgovornu i konkurentnu ekonomiju sa nultom emisijom stakleničkih gasova do 2050. godine. Glavni strateški ciljevi Evropskog zelenog plana (engl. *EU Green Deal*) su: Evropa bez neto emisija stakleničkih gasova do 2050. godine, ekonomski rast uz optimalno korištenje resursa i osiguranje da niko i nijedno mjesto ne bude izostavljeno iz strategije. Prva stvar koja se primjećuje u Evropskom zelenom planu, za svaku oblast politike, jeste da je čist zrak jedan od važnih strateških ciljeva koji doprinosi glavnom cilju ovog strateškog dokumenta, a to je osiguranje kvaliteta života za sve građane EU-a.

Kvalitet zraka u zatvorenim prostorima (IAQ) predstavlja ključni aspekt građevinskog okruženja, koji značajno utječe na zdravlje korisnika i drugih živih organizama unutar tih prostora. Izloženost zagađivačima zraka u zatvorenim prostorima može imati štetne posljedice po zdravlje. Kao odgovor na ove izazove, Evropska unija je usvojila sveobuhvatnu legislativu koja postavlja zdravstvene standarde i ciljeve za različite zagađivače zraka. Ovi standardi i ciljevi primjenjuju se u različitim vremenskim periodima kako bi se adresirali različiti zdravstveni efekti povezani s različitim zagađivačima i dužinama izloženosti.

Zgrade sa gotovo nultom potrošnjom energije (nZEB) predstavljaju zahtjev uveden Direktivom o energetske karakteristika zgrada EU/31/2010 (revidirana 2018. godine) (*European Commission, n.d.*). Ova Direktiva nalaže da sve nove zgrade – počevši od 2020. godine – moraju imati visoke energetske karakteristike i vrlo niske energetske potrebe, koje se uglavnom zadovoljavaju iz obnovljivih izvora energije na licu mjesta ili u neposrednoj blizini. U junu 2021. godine standard gotovo nulte potrošnje energije (nZEB) postao je obavezan za sve javne investicije u nove zgrade ili renoviranja postojećih zgrada u EU-u. Trenutno, Evropska komisija preporučuje da sve države članice EU-a uvedu obavezu potpuno dekarbonizovanih zgrada (engl. Zero Emission Building - ZEB) do 2025. godine.

Rezolucija Evropskog parlamenta „Evropa koja štiti: Čist zrak za sve“ (2018/2792) naglašava važnost čistog zraka i obaveze država članica da osiguraju kapacitete za intervencije.

Direktiva 2008/50/EC (*European Parliament and Council, 2008*) uvela je dodatne ciljeve za PM_{2.5}, usmjerene na smanjenje izloženosti stanovništva ovim sistnim česticama. Ovi ciljevi postavljeni su na nacionalnom nivou i temelje se na indikatoru prosječne izloženosti (AEI). Također, prema ovoj regulativi EU-a, koncentracija ugljendioksida (CO₂) u stambenim prostorijama ne smije prelaziti 1500 ppm.

Rezolucija Evropskog parlamenta o okruženju bez dima iz 2009. godine definisala je okvir za prilagođavanje zakonodavstva kojim se zabranjuje pušenje u zatvorenim prostorijama (*European Commission, n.d.*).

Direktiva (2018/844) Evropskog parlamenta i Vijeća o energetske svojstvima zgrada i energetske efikasnosti vrlo detaljno propisuje korake koje države članice treba da poduzmu kako bi unaprijedile klimatske uslove tokom izgradnje novih i rekonstrukcije postojećih objekata (*European Parliament and Council, 2018*).

Godinu dana nakon Pete ministarske konferencije o okolišu i zdravlju, Evropski parlament i Vijeće Evrope usvojili su Uredbu (305/2011) [17] o uspostavi i usklađivanju uslova za stavljanje građevinskih proizvoda na tržište. Uredba definiše da se zgrade moraju projektovati i izgraditi na način da tokom svog životnog ciklusa ne predstavljaju prijetnju zdravlju i sigurnosti radnika, stanara ili susjeda, niti imaju izuzetno visok utjecaj na kvalitet okoliša ili klime tokom svoje izgradnje, upotrebe i rušenja. To se posebno odnosi na emisiju opasnih supstanci, isparljivih organskih spojeva ili stakleničkih gasova u unutrašnjem ili spoljašnjem zraku.

Evropski akcioni plan za okoliš i zdravlje djece (WHO, 2004) iz 2004. godine prepoznaje čist zrak kao obavezu. Evropski ured Svjetske zdravstvene organizacije (SZO) u dokumentu pod naslovom Smjernice za kvalitet zraka u zatvorenim prostorijama iz 1987., 2000. i 2010., definiše zagađivače i maksimalne dozvoljene količine u zraku, posebno u unutrašnjim prostorima. Međunarodno društvo za kvalitet zraka u zatvorenim prostorijama i klimu (ISIAQ) osnovano je 1992. godine.

Pristupanje Evropskoj uniji (EU) predstavlja strateški prioritet za Bosnu i Hercegovinu. Sporazum o stabilizaciji i pridruživanju EU-u, koji je stupio na snagu, intenzivirao je proces integracije zemlje i naglasio njenu punu odgovornost za ovaj proces.

Bosna i Hercegovina je usvojila Strategiju za usklađivanje svojih propisa s pravnom stečevinom Evropske unije u oblasti zaštite okoliša (EAS-BiH) (Službene novine Bosne i Hercegovine, broj 91/18). Potpisivanjem Sporazuma o osnivanju Energetske zajednice BiH je, između ostalog, preuzela obavezu preuzimanja dijelova EU-ovog *Acquisa*, odnosno usklađivanja i implementacije relevantnih direktiva i propisa EU-a u oblasti energije i emisije zraka.

Odluka o uslovima i načinu primjene Montrealskog protokola i postepenog smanjenja supstanci koje oštećuju ozonski sloj ("Službene novine Bosne i Hercegovine", broj 36/07 i 67/15) [19] nalaže Bosni i Hercegovini da se uskladi s odredbama Montrealskog protokola. Bosna i Hercegovina je ratificirala Bečku konvenciju o zaštiti ozonskog sloja na osnovu preuzetih međunarodnih obaveza iz bivše Socijalističke Federativne Republike Jugoslavije (SFRJ) (Službene novine SFRJ MU, br. 16/90 i Službene novine RBiH, br. 13/94).

Na svojoj 32. redovnoj sjednici 20. decembra 2016. godine, Predsjedništvo Bosne i Hercegovine usvojilo je Odluku o ratifikaciji Pariskog sporazuma. Ovaj Ugovor obavezuje zemlje EU-a da smanje emisiju gasova sa efektom staklene bašte za najmanje 40% u poređenju sa nivoima iz 1990. godine do 2030. godine. Glavni ciljevi Sporazuma su ograničavanje globalnog zagrijavanja na "znatno ispod" 2 °C, osiguranje bezbjednosti hrane, jačanje sposobnosti zemalja da se bore protiv posljedica klimatskih promjena, razvoj novih "zelenih" tehnologija i pomoć ekonomski slabijim državama članicama u postizanju njihovih nacionalnih ciljeva smanjenja emisije.

Otvoreni zeleni prostori imaju potencijal za pročišćavanje kako vanjskog tako i unutrašnjeg zraka. Inicijativa Zeleni gradovi pruža stratešku priliku za unapređenje ovog potencijala. Trenutno su u Bosni i Hercegovini gradovi Banja Luka, Zenica i Sarajevo usvojili Zelene akcione planove.

Evropska komisija je objavila radni dokument pod nazivom "Vodič za implementaciju EU-ovog zelenog dogovora za zemlje Zapadnog Balkana", koji detaljno opisuje aktivnosti vezane za Zeleni dogovor za region. Ovaj dokument uključuje komunikacijski, ekonomski i investicioni plan za Zapadni Balkan, koji je Evropska komisija usvojila 6. oktobra 2020. godine. Sve zemlje Zapadnog Balkana potpisale su ovaj dokument 10. novembra 2020. godine u Sofiji, obavezujući se da će ispuniti definisane mjere. Sofijska deklaracija pruža sredstva u iznosu od 9 milijardi eura za sve zemlje Zapadnog Balkana do 2030. godine.

Kompetencija za pitanja zaštite okoliša u BiH podijeljena je između entiteta, Brčko distrikta i kantona u Federaciji BiH. Ključno je sveobuhvatno revidirati sve zakone i regulative u različitim sektorima u BiH kako bi se uskladili standardi kvaliteta zraka, kako unutrašnjeg tako i vanjskog, sa najnovijim EU-ovim standardima i direktivama. Parlament Federacije BiH usvojio je Rezoluciju o unapređenju kvaliteta unutrašnjeg zraka 12. juna 2024. Godine (Parlament FBiH, 2024). Ova rezolucija obavezuje Vladu FBiH da, u roku od 12 mjeseci, uspostavi interdisciplinarni tim koji će zadužiti za pripremu i usvajanje akcionog plana za zaštitu djece i mladih od zagađenja unutrašnjeg zraka, Nacrt zakona o kvalitetu unutrašnjeg zraka u Federaciji Bosne i Hercegovine, Nacrt zakona o izmjenama i dopunama Zakona o građenju u Federaciji Bosne i Hercegovine, Izmjene Pravilnika o tehničkim svojstvima dimnjaka u

zgradama, Pravilnika o tehničkim svojstvima ventilacijskih sistema, parcijalnog klimatiziranja i klimatiziranja u zgradama, te Pravilnika o tehničkim svojstvima sistema grijanja i hlađenja u zgradama; kao i Analizu usklađenosti Pravilnika o granicama vrijednosti kvaliteta zraka (2005) i Pravilnika o načinu praćenja kvaliteta zraka i definiranja vrsta zagađivača, granica vrijednosti i drugih standarda kvaliteta zraka (2012) sa preporukama Svjetske zdravstvene organizacije u roku 12 mjeseci od usvajanja.

4.2 Pilot-istraživanje praksi energetske efikasnosti u obrazovnim institucijama Kantona Sarajevo

Djeca su posebno osjetljiva na negativne utjecaje zagađenog zraka i pate od različitih bolesti zbog zagađenja zraka. Trenutni podaci ukazuju na zabrinjavajuće posljedice, kako za zdravlje tako i za akademski uspjeh u Bosni i Hercegovini. Svjetska zdravstvena organizacija (SZO) definira zagađenje unutrašnjeg i vanjskog zraka kao kontaminaciju zraka hemijskim, fizičkim ili biološkim sadržajem koji prijeti normalnim karakteristikama atmosfere (European Commission, 2020). Zagađenje unutrašnjeg i vanjskog zraka globalno je prepoznat kao prijetnja ljudskom zdravlju, ekosistemima, okolišu i klimi (EEA, 2017). Prema podacima SZO-a, ukupno 12,6 miliona smrtnih slučajeva širom svijeta uzrokovano je nezdravim okolišem, što predstavlja 23% ukupne globalne smrtnosti i 26% smrtnosti kod male djece (Landrigan et al., 2017). Prema podacima SZO-a, 9 od 10 ljudi diše zagađeni zrak s koncentracijom zagađivača koja premašuje smjernice SZO-a. Nerazvijene i srednje razvijene zemlje najviše su izložene ovoj opasnosti (Oliveira et al., 2019).

Djeca školske dobi (obično od 4 do 12 godina) provode više vremena (oko 80%) unutar prostora (npr. u školama i domovima) nego vani. Nakon doma, drugo najvažnije okruženje za djecu je škola/učionica, gdje provode oko 25-30% svog života (do 10 sati dnevno), većinom unutra. Stoga, odgovarajući kvalitet zraka u školama predstavlja važan faktor za zdrav život i dobrobit školske djece (Klarić et al., 2021).

Više puta je potvrđeno da loš kvalitet unutrašnjeg zraka dovodi do različitih nepovoljnih zdravstvenih stanja koja su nedavno klasifikovana u sindrome: sindrom bolesne zgrade i sindrom povezan sa zgradama (USEPA, n.d.). Tačni podaci su oskudni, ali se pretpostavlja da koncentracija zagađivača unutrašnjeg zraka (IAP) direktno zavisi od unutrašnjih faktora, kao što su orijentacija učionice, ventilacija, sistemi grijanja i izolacioni materijali, materijali korišteni za uređenje enterijera, te od vanjskih faktora kao što su vanjske koncentracije zagađivača, blizina puteva, farmi, drugih izvora zagađenja, vlaga ili izloženost Suncu (Kulo et al., 2021).

Raniji podaci zasnovani na dokazima o kvalitetu unutrašnjeg zraka (IAQ) u osnovnim školama u Bosni i Hercegovini (BiH) potječu iz projekta SEARCH, međunarodnog istraživanja o školskom okruženju i respiratornom zdravlju djece, koji je ukazao na loš IAQ u školama BiH 2010. godine (Csobod et. al., 2010). Pilot-istraživanje o praksama energetske efikasnosti u obrazovnim institucijama Sarajeva provedeno je 2020. i 2021. godine, tokom perioda Covid pandemije, u Kantonu Sarajevo, BiH (Klarić et al., 2021). Cilj ovog pilot-istraživanja bio je da se utvrdi IAQ u osnovnim školama sa različitim unutrašnjim i vanjskim karakteristikama. Pandemija Covida dodatno je postavila različite kriterije koje je tim morao da slijedi.

Pilot-istraživanje je bilo dio šireg istraživanja o praksama energetske efikasnosti u obrazovnim institucijama Kantona Sarajevo (prirodni vs. umjetni građevinski materijali) tokom ne grijne i grijne sezone. Istraživanje je dizajnirao i proveo interdisciplinarni tim okupljen u Udruženju Savjet za zelenu gradnju u BiH. Zbog ograničenih resursa i vremena, tokom perioda od oktobra 2020. do marta 2021. mjereni su sljedeći parametri IAQ-a: temperatura (°C), relativna vlažnost (%), koncentracija mase PM_{2,5} (µg/m³) i koncentracija CO₂ (ppm).

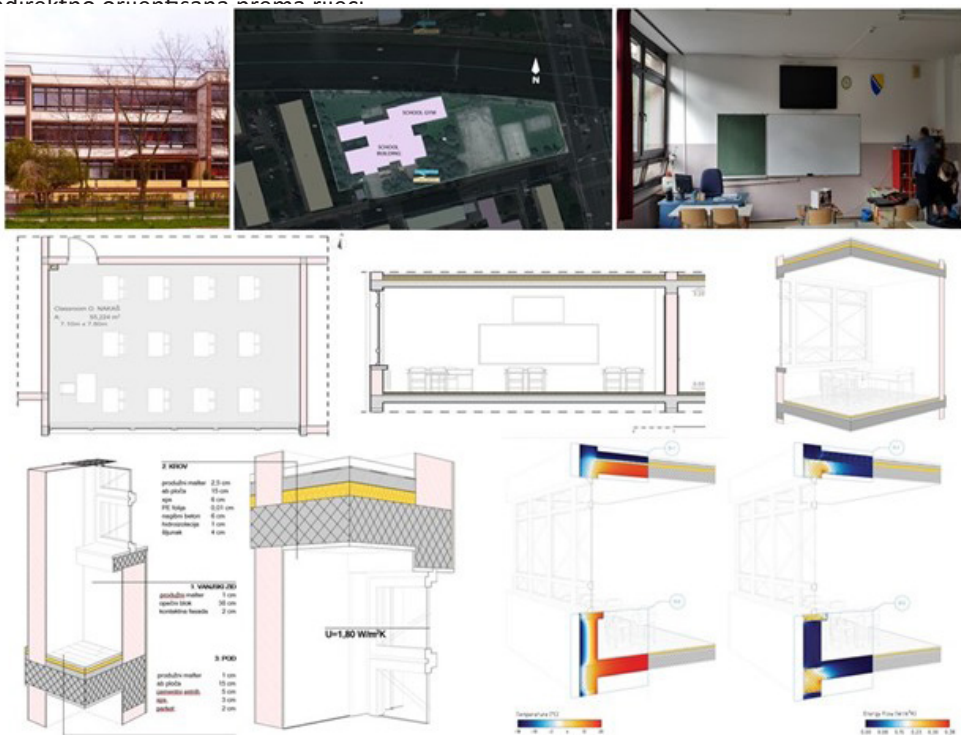
Analiza arhitektonskih karakteristika objekata obrazovnih institucija započela je analizom

postojeće dokumentacije kao i analizom nove projektne dokumentacije za intervencije energetske efikasnosti i energetskog audita predmetnih zgrada. Fokus arhitektonskog istraživanja bio je na vanjskim faktorima, kao što su lokacija, orijentacija, blizina puteva, rijeka, zelenih površina, izvora zagađenja, kao i unutrašnjim faktorima poput orijentacije učionica, ventilacionih i grijnih sistema, unutrašnjih materijala, opreme, izolacijskih materijala i karakteristika energetske efikasnosti. Sva fotodokumentacija, analiza terena, crteži i proračuni energetske efikasnosti pomogli su arhitektonskom timu da razumije odnose i utjecaje različitih arhitektonskih karakteristika na kvalitet unutrašnjeg zraka.

Od svih škola u Kantonu Sarajevo, četiri škole su odabrane za analizu ove studije. Glavni kriterij za odabir škola bio je različitost izolacijskih materijala korištenih za mjere energetske efikasnosti, što je predstavljalo osnovu za četiri različita scenarija za procjenu IAQ-a.

Škola 1. Osnovna škola "Osman Nakaš" (Slika 3.) nalazi se u Opštini Novi Grad, u stambenom naselju Čengić Vila 1 (urbana zona). Zgrada škole smještena je u blizini glavnih lokalnih cesta, benzinske stanice i rijeke Miljacke. Osnovna škola je izgrađena 1967. godine. Zgrada je prošla osnovne renovacije nakon rata i ostala je u tom stanju. Škola će biti dio programa za renoviranje javnih zgrada s ciljem energetske efikasnosti u Sarajevskom kantonu. Vanjski omotač zgrade je standardan, sa starim prozorima i fasadom bez termičke izolacije. Grijanje škole je dio centralnog gradskog sistema grijanja na prirodni plin.

Orijentacija analizirane učionice u ovoj školi je prema jugu, direktno okrenuta prema lokalnoj cesti i smještena je na prvom spratu. Sve učionice imaju drvene podove, okrečene zidove, drveni namještaj i drvene prozore. Izloženost Sunčevoj svjetlosti u učionici je visoka, ventilacija je prirodna, a trajanje otvaranja prozora u ovoj učionici bilo je svakog trećeg časa. Učionica je indirektno orijentirana prema rijeci.



Slika. 3. Škola 1. – Osnovna škola "Osman Nakaš" – arhitektonske analize (Klarić et al., 2021)

Škola 2. Osnovna škola “Porodice ef. Ramić” (Slika 4.) nalazi se u Opštini Vogošća u maloj stambenoj oblasti Semizovac (ruralno područje). Zgrada škole smještena je blizu glavne ceste, benzinske stanice i rijeke Ljubine. Osnovna škola je izgrađena u dvije faze: jedan dio 1914. godine (stara škola) i drugi dio 1957. godine (glavna zgrada), povezani hodnikom. Zgrada je renovirana 1998. godine, te ponovo 2011. godine u okviru Programa za renovaciju energetske efikasnosti javnih zgrada u Kantonu Sarajevo. Mjere renoviranja uključivale su postavljanje termoizolacije na fasadi (stiropor) i plastičnih prozora. Sportska dvorana izgrađena je 2014. godine, kao dodatna zgrada povezana hodnikom s ostatkom škole. Škola ima vlastiti plinski kotao za grijanje.

Orijentacija analizirane učionice u ovoj školi je južna, indirektno okrenuta prema glavnoj cesti i smještena na prvom spratu. Učionica ima vinilnu podnu oblogu, okrečene zidove, te je opremljena drvenim namještajem i plastičnim prozorima. Izloženost Suncu u učionici je visoka, ventilacija je prirodna, a trajanje otvaranja prozora u učionici bilo je svaki drugi i treći čas. Učionica je indirektno okrenuta prema rijeci.



Slika. 4. Škola 2. – Osnovna škola “Porodice ef. Ramić”, Semizovac: arhitektonske analize (Ibid.)

Škola 3. Osnovna škola “Mula Mustafa Bašeskija” (Slika 5.) nalazi se u Opštini Stari Grad, u stambenoj oblasti (urbana zona). Zgrada škole smještena je u blizini lokalnih puteva i uglavnom stambenih objekata. Škola je izgrađena u dvije faze: jedan dio je izgrađen 1928. godine (zgrada A), a drugi 1962. godine (zgrada B), oba dijela su povezana hodnikom. Zgrada je renovirana 2019. godine u okviru Programa energetske efikasnosti javnih zgrada u Kantonu Sarajevo. Mjere renoviranja uključivale su postavljanje termoizolacije na fasadi (mineralna

vuna) i plastičnih vrata i prozora. Škola ima vlastiti plinski kotao za grijanje. Orijentacija analizirane učionice u ovoj školi je prema jugu, indirektno orijentisana prema lokalnom putu i smještena na prvom spratu. Učionica ima vještački laminat na podu, okrečene zidove, a opremljena je drvenim namještajem i plastičnim prozorima. Izloženost Suncu u učionici je visoka, ventilacija je prirodna, a prozori su se otvarali svaki drugi čas.



Slika. 5. Škola 3. – Osnovna škola “Mula Mustafa Bašeskija”: arhitektonske analize (Ibid.)

Škola 4. Osnovna škola “Porodice ef. Ramić” u naselju Gora (slika 6.) nalazi se u Opštini Vogošća, u naseljenom području Gora (ruralno područje). Školska zgrada je smještena blizu glavne ceste, rijeke, lokalne farme i zelenih površina. Škola je izgrađena 1960. godine. Zgrada je renovirana 2004. godine, a ponovo je renovirana 2019. godine kao dio Programa za energetska efikasnost renoviranja javnih objekata u Kantonu Sarajevo. Renoviranje je obuhvatilo ugradnju prirodne termoizolacije na fasadi, proizvedene lokalno od lokalnih resursa (ovčija vuna i drvo) i ugradnju drvenih prozora. Škola ima vlastiti ekološki kotao na ulje za grijanje.

Orijentacija analizirane učionice u ovoj školi je prema jugu, indirektno orijentisana prema glavnoj cesti i farmi, te se nalazi u prizemlju. Učionica ima vinilnu podlogu, okrečene zidove i opremljena je drvenim namještajem i drvenim prozorima. Sunčevo svjetlo u učionici je indirektno i srednjeg intenziteta, ventilacija je prirodna, a prozori su se otvarali vrlo rijetko.



Slika. 6. Škola 4. – Osnovna škola u naselju Gora: arhitektonske analize (Ibid.)

Sve škole imaju učionice orijentisane prema jugu s prirodnom ventilacijom. Sve analizirane karakteristike škola/učionica tokom pilot-istraživanja 2020-2021. sažete su u Tabeli 1.

Tabela 1. Karakteristike školskih učionica koje su analizirane kroz pilot-studiju u periodu 2020-2021. (Kulo et al., 2021)

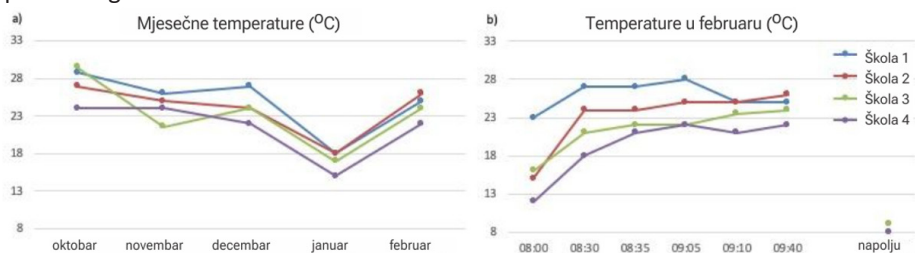
Karakteristike	Analizirane škole			
	Škola 1.	Škola 2.	Škola 3.	Škola 4.
Broj učenika u učionici	8	8	9	8
Razred	V	III	IV	II, III
Pozicija učionice	prvi spart	prvi spart	prvi spart	prizemlje
Volumen učionice (m3)	172,2	181,7	180,8	171,3
m3/učenik	19,7	20,2	18,1	19,0
Podna obloga	drvo	vinil pod	laminatni pod	vinil pod
Zidovi	okrečeni	okrečeni	okrečeni	okrečeni
Tip prozora	drveni	plastični	plastični	drveni
Dužina otvaranja prozora	treći čas			90 %
	drugi, treći čas	sva tri časa	nikada	75 %
Tip ventilacije	prirodna	prirodna	prirodna	prirodna
Orijentacija učionice	jug	jug	jug	sjever
Lokacija škole	urbana zona	ruralna zona	urbana zona	ruralna zone

Karakteristike	Analizirane škole			
	Škola 1.	Škola 2.	Škola 3.	Škola 4.
Blizina puta	da	da	da	da
Orijentacija učionice prema putu	direktna	indirektna	Indirektna	indirektna
Blizina farme	ne	ne	ne	da
Blizina rijeke	da	da	ne	da
Izloženost Suncu	direktna, visoka	direktna, visoka	direktna, visoka	indirektna, srednja
Tip grijanja	javni/prirodni gas	vlastiti/prirodni gas	vlastiti/prirodni gas	vlastiti/ulje
Tip termoizolacijskih materijala	nema	stiropor	mineralna vuna	ovčija vuna i drvo
Klasa energetske efikasnosti*	D	A	A	C
Dužina otvaranja prozora	treći čas			90 %
	drugi, treći čas	sva tri časa	nikada	75 %
Tip ventilacije	prirodna	prirodna	prirodna	prirodna
Orijentacija učionice	jug	jug	jug	sjever
Lokacija škole	urbana zona	ruralna zona	urbana zona	ruralna zone

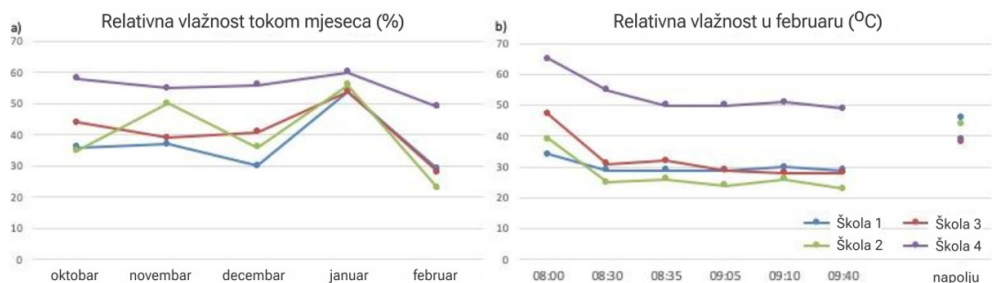
*Uredba o implementaciji energetske revizije i izdavanju energetskih certifikata, Službene novine FBiH, br. 87/18

Dodatno, analizirane energetske karakteristike zgrada pokazuju da koeficijenti prenosa toplote za vanjske zidove, krovove, podove i plafone, kako je propisano Pravilnikom o minimalnim zahtjevima za energetske karakteristike zgrada u Federaciji Bosne i Hercegovine (FBiH) za sjevernu klimatsku zonu, nisu ispunjeni u nijednoj od analiziranih škola koje su renovirane u okviru "Programa podrške investicijama u energetska objekata Kantona Sarajevo". Također, ovi elementi ne zadovoljavaju propisane uslove u pogledu odobrene vlažnosti površine. Simulacije termalnih mostova u vezi s energetskim tokom i temperaturom pokazuju da zgrade gube značajne količine energije kroz sve dijelove omotnice zgrade.

Rezultati pilot-studije o analizi kvaliteta unutrašnjeg zraka (IAQ) pokazali su da je uprkos antiepidemijskim mjerama, kao što su česta ventilacija i ograničavanje broja učenika u učionicama, kvalitet unutrašnjeg zraka ostao nizak, posebno tokom grijne sezone. Najveće koncentracije PM2.5 zabilježene su u Školi 1. i Školi 4., dok su najviši nivoi CO₂ bili zabilježeni u Školi 4., gdje prirodna ventilacija nikada nije bila korišćena tokom nastave. Međutim, Škola 4. također je imala optimalnu temperaturu i relativnu vlažnost, stvarajući najprijetnije mikrookruženje za učenike. S druge strane, gradske škole su pokazale najveća odstupanja u temperaturi, obično iznad preporučenog nivoa, i u relativnoj vlažnosti, obično ispod preporučenog nivoa.

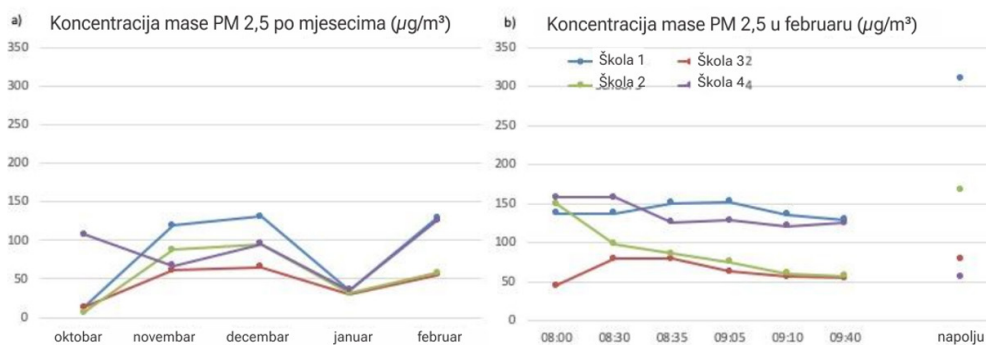


Slika 7. Upoređivanje temperature između škola: a) Na kraju trećeg časa kroz negrijnu sezonu i sezonu grijanja, i period raspusta u januaru, b) Na početku i na kraju svakog časa i na otvorenom u februaru, uporedba unutar dana mjerjenja. Obratite pažnju na razliku u dužini prikazanoj na x-osi: čas vs. pauza (30 vs. 5 minuta) (Ibid.)



Slika 8. Upoređivanje relativne vlažnosti između škola: a) Na kraju trećeg časa kroz negriju sezonu i sezonu grijanja i period raspusta u januaru, b) Na početku i na kraju svakog časa i na otvorenom u februaru, uporedba unutar dana mjerenja. Obratite pažnju na razliku u dužini prikazanoj na x-osi: čas vs. pauza (30 vs. 5 minuta) (Ibid.)

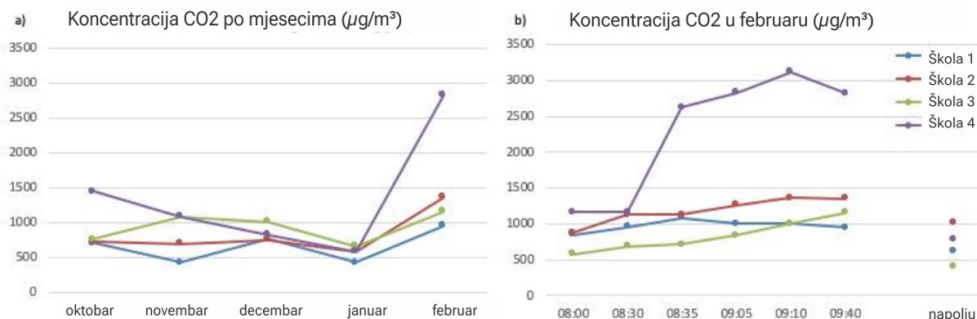
Koncentracije PM_{2.5} čestica unutar škola uglavnom se sastoje od mješavine organskog materijala (kao što su ljuska koža, vlakna tkanine i moguća kondenzacija isparljivih organskih spojeva), čestica od krede i propadanja zgrade. Ove čestice također mogu poticati iz vanjskih izvora, poput emisija iz saobraćaja, posebno ako su prozori i vrata orijentisani prema prometnim cestama ili industrijskim područjima, a obično ulaze u unutrašnjost kroz prirodnu ventilaciju. Najveće koncentracije PM_{2.5} u školama 1. i 4. bile su pod utjecajem nekoliko zajedničkih karakteristika. Uporedba koncentracija PM_{2.5} unutar škole, sa zatvorenim ili otvorenim prozorima na kratke periode, pokazala je da su nedostatak ventilacije u Školi 4. i kratko trajanje u Školi 1. bili značajni faktori u povišenim nivoima PM_{2.5} u tim školama. Zanimljivo je da su koncentracije PM_{2.5} u Školi 4. bile veće unutar škole nego vani. Budući da su prozori u Školi 4. bili stalno zatvoreni, njena direktna izloženost cesti i visoke vanjske koncentracije PM_{2.5} nisu utjecale na izmjerene visoke nivoe PM_{2.5} unutar učionice.



Slika 9. Upoređivanje koncentracije mase PM_{2.5} između škola: a) Na kraju trećeg časa kroz negrijanu i grijnu sezonu i period raspusta u januaru, b) Na početku i na kraju svakog časa i na otvorenom u februaru, uporedba unutar dana mjerenja. Obratite pažnju na razliku u dužini prikazanoj na x-osi: čas vs. pauza (30 vs. 5 minuta) (Ibid.)

Dodatno, povećanje koncentracije CO₂ uprkos ventilaciji primijećeno je u Školama 2. i 3. Visoke vanjske koncentracije CO₂ i/li neadekvatna ventilacija učionica tokom grijne sezone obično pogoršavaju unutrašnje nivoe CO₂. Slično kao i koncentracije PM_{2.5} u ovoj studiji, očekivale bi se visoke vrijednosti CO₂ u Školama 1. i 4. pod istim uslovima. Međutim, iznenađujuće, samo je Škola 4. pokazala visoke nivoe CO₂, dok je Škola 1. imala visoke koncentracije PM_{2.5}, ali najniže nivoe CO₂. Ova razlika sugerira utjecaj drugih faktora, osim nedostatka ventilacije, na nivo zagađenja. Razlike u nivou učionica, podovima, lokaciji škole, blizini cesta ili farmi, vrsti

grijanja i goriva, materijalima za izolaciju i različitim unutrašnjim aktivnostima mogu objasniti neočekivanu dinamiku u koncentracijama PM2.5 i CO₂.



Slika 10. Upoređivanje koncentracije CO₂ između škola: a) Na kraju trećeg časa kroz negrijnu i grijnu sezonu i period raspusta u januaru, b) Na početku i na kraju svakog časa i na otvorenom u februaru, uporedba unutar dana mjerenja. Obratite pažnju na razliku u dužini prikazanoj na x-osi: čas vs. pauza (30 vs. 5 minuta) (Ibid.)

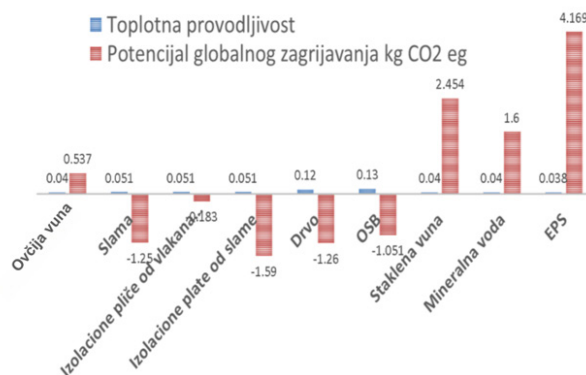
Uprkos antiepidemijskim mjerama poput česte prirodne ventilacije i ograničavanja broja učenika u učionici, parametri kvaliteta zraka unutar prostorija (IAQ), koji su mjereni tokom sezone grijanja, uglavnom su bili izvan preporučenih vrijednosti. S obzirom da učenici i njihove aktivnosti također mogu biti izvori PM2.5 i CO₂, kvalitet zraka bi se vjerovatno dodatno pogoršao da su svi učenici bili prisutni. Stoga, kako bi se osigurao zdrav školski okoliš tokom sezone grijanja, neophodno je optimizirati kako unutrašnje tako i vanjske uslove, bilo da se radi o pandemijskim ili nepandemijskim situacijama.

4.3 Promišljanja o građevinskim materijalima

Dostignuća tehnološkog razvoja čovjeku su, pored blagodati i komfora, donijela i osjećaj superiornosti nad prirodom. Nažalost, taj ničim opravdan osjećaj nadmoći čovjeka nad prirodom doveo je i do gubljenja niti - veze između njih. Otudjenje između njega i prirode dovelo je do ugrožavanja vlastitog opstanka na planeti i prouzrokovalo velike klimatske promjene, zagađenja te izumiranje određenih biljnih i životinjskih vrsta.

S druge strane, priroda je savršena. U njoj se mogu naći odgovori na sva pitanja, nedoumice, probleme, brige, ali savremeni čovjek tu prednost saradnje sa prirodom ne razumije niti koristi. Ako pogledamo u prošlost, naši preci su živjeli u harmoniji sa prirodom. Naslijeđe i tradicija kriju mnoge odgovore za savremenog čovjeka. Ponovno povezivanje s tim praksama moglo bi pomoći u rješavanju savremenih ekoloških izazova (Klarić, 2015).

Analize životnog ciklusa materijala koji se koriste u građevinskoj industriji pokazuju da građevinski materijali imaju značajan utjecaj na potrošnju energije i emisiju CO₂. Od obrade, transporta i ugradnje do operativne faze zgrade, ovi materijali mogu značajno utjecati na potrošnju energije i nivo zagađenja. Korištenje prirodnih, lokalnih materijala može doprinijeti potpunoj dekarbonizaciji, u skladu s ciljevima EU-ovog zelenog dogovora.



Slika 11. Odnos između toplotne provodljivosti i potencijala globalnog zagrijavanja za karakteristične termoizolacijske materijale (Klarić et al., 2016)

Prirodni materijali, koji su kontinuirano dostupni i obnovljivi, zahtijevaju plansko i održivo upravljanje. Ovi materijali posjeduju i odlična termička svojstva, što ih čini idealnim za upotrebu kao izolacionih materijala u projektima energetske efikasnosti. Materijali poput drveta, ovčije vune, slame, konoplje, gline i kreča imaju dugu tradiciju i ukorijenjeni su u našem kulturnom naslijeđu, nudeći održiva rješenja za modernu gradnju. Neophodno je da se osigura ravnoteža između upotrebe sirovina i energije, kao i između upravljanja otpadom i kontrole emisije stakleničkih gasova, jer se ekološki utjecaj svakog materijala ili proizvoda prati kroz cijeli njegov životni ciklus.

Veliki broj provedenih istraživanja jasno ukazuje na povezanost između izloženosti toksičnim ili zagađujućim supstancama iz vanjskih i unutrašnjih materijala u građevinskom okruženju i razvoja akutnih i hroničnih bolesti kod ljudi. Podaci Svjetske zdravstvene organizacije (SZO) pokazuju da devet od deset ljudi udiše zrak u kojem koncentracije zagađivača prelaze preporučene granice navedene u smjernicama SZO-a. Zbog toga moramo pažljivo razmotriti koje ćemo građevinske materijale koristiti u budućnosti kako bismo izbjegli štetne materijale u građevinarstvu. Zagađivači mogu ostati u zraku zatvorenog prostora duži vremenski period i na taj način utjecati na ljude putem različitih metoda izloženosti, poput udisanja, gutanja ili preko kože.

Toksične komponente (npr. formaldehid, benzen, trikloretnan, toluen, etil-benzen, ksileni i mnogi drugi), CO, CO₂ i drugi hemijski i biološki spojevi potiču iz unutrašnjosti zgrade. Najčešće se oslobađaju:

- iz materijala koji se koriste u procesu gradnje ili renoviranja, naprimjer podnih obloga od polivinil-hlorida (PVC), vještačkih parketa, linoleuma, gumenih tepiha, ljepila, lakova, boja, silikona, iverica itd.
- prilikom korištenja elektroničkih uređaja, kao što su računari, fotokopirni aparati, štampači i drugi uređaji te namještaj, koji ispuštaju ozon (O₃) i isparljive spojeve
- tokom unutrašnjih aktivnosti, npr. isparavanja iz proizvoda za čišćenje tokom čišćenja, isparavanja tokom kuhanja, isparavanja iz proizvoda za njegu itd.
- izgaranjem u kućnim kaminima i pušenjem cigareta
- ljudi, također, stvaraju povoljne uslove za razvoj miliona plijesni, gljivica, polena, grinja, bakterija, virusa i insekata (Klarić et al., 2021).

Prema nekim istraživanjima, kvalitet unutrašnjeg zraka u učionicama više je pod utjecajem unutrašnjih nego vanjskih zagađivača. U budućnosti je potrebno nastaviti s ciljanim istraživanjima koja bi posvetila posebnu pažnju materijalima koje koristimo u građevinskoj industriji, koji prema istraživanjima imaju jak utjecaj na kvalitet unutrašnjeg zraka, a sve da bi se osigurali potpuno zdravi i kvalitetni objekti, koji pružaju potpunu sigurnost svim korisnicima (Ibid.).

5. DISKUSIJA, ZAKLJUČCI I PREPORUKE

Klimatske promjene su realnost koja duboko utječe na naše živote i prirodno okruženje na Zemlji. Ključno je preispitati naše strategije i provesti značajne, tektonske promjene kako bismo osigurali odgovoran i održiv razvoj za budućnost. Građevinski sektor odgovoran je za više od 40% ukupne potrošnje energije i više od 43% ukupnog zagađenja u Evropi. Od 2002. godine, EU je prilagođavala i usvajala direktive o energetske efikasnosti, koje su postepeno pomjerale zahtjeve od zgrada s niskom potrošnjom energije, pasivnih zgrada, energetskih zgrada, ka odgovornijim, zdravijim i održivijim rješenjima, poput gotovo nultih energetskih zgrada, s ciljevima potpune dekarbonizacije, postavljenim za postizanje do 2025. godine.

Zelena certifikacija trebalo bi da bude obavezna za sve javne objekte, uključujući obrazovne, zdravstvene i socijalne ustanove. Ovaj pristup je ključan za osiguranje optimalnih i zdravijih uslova, posebno za oporavak i dobrobit ranjivih kategorija društva.

Loš kvalitet zraka u učionicama predstavlja značajnu prijetnju za zdravlje djece, njihov akademski napredak i opšte blagostanje. Nedostatak zelenih površina u urbanim područjima dodatno pogoršava zagađenje zraka i na otvorenom i u zatvorenom prostoru. Trenutni podaci iz Bosne i Hercegovine otkrivaju alarmantno visoke nivoe zagađivača zraka u zatvorenom prostoru i zabrinjavajuću učestalost simptoma astme i drugih bolesti među učenicima.

Postoji hitna potreba za usvajanjem praktičnih strategija i akcionih planova za poboljšanje okruženja u učionicama, čime bi se smanjili rizici povezani sa zagađenim zrakom u zatvorenom prostoru i osiguralo sigurno obrazovno okruženje za djecu. Takve mjere su ključne za podršku njihovom psiho-socijalnom razvoju i obrazovnom uspjehu. Također, hitna potreba za boljim praćenjem temperature i vlažnosti zraka u školama mora biti prepoznata i zahtijevana što je prije moguće.

Neadekvatno urbano planiranje i prakse ulaganja u Bosni i Hercegovini dovele su do primjetnog nedostatka zelenih površina u gradovima, što dodatno pogoršava zagađenje zraka i na otvorenom i u zatvorenom prostoru. Pored toga, neadekvatan odabir lokacija škola utječe na pogoršanje kvaliteta unutrašnjeg zraka i pogoduje velikom utjecaju zagađivača vanjskog zraka na unutrašnje prostore.

Projekti energetske efikasnosti, koji se prvenstveno fokusiraju na renoviranje ovojnice zgrada i unapređenje izvora energije, često pogoršavaju kvalitet zraka u zatvorenim prostorima. Ovi projekti obično čine zgrade hermetičnijima i ne podržavaju prirodnu ventilaciju. Važno je napomenuti da nijedan od javnih objekata renoviranih kroz Program energetske efikasnosti nije opremljen ventilacionim ili rekuperacijskim sistemima. Istraživanja pokazuju da, čak i nakon ovih energetskih renovacija, zgrade često ne zadovoljavaju zakonski određene minimalne potrebne energetske standarde. Istovremeno, EU standardi, koji nalažu da sve nove zgrade moraju biti gotovo nulte energetske potrošnje (nZEB) od juna 2020. godine, nisu

lokalno poštovani niti se naziru zahtjevi za dekarbonizovanim zgradama. Ovaj jaz ukazuje na značajan nedostatak u ispunjavanju kako lokalnih propisa tako i šire zakonske regulative usklađene sa EU-ovom.

Dodatno, izbor materijala za gradnju, renoviranje, energetske efikasnosti i unutrašnje uređenje je ključan, jer mnoge studije pokazuju da loše odabrani materijali mogu značajno pogoršati kvalitet zraka. Preporučuju se prirodni materijali za izolaciju, prozore i unutrašnje uređenje zbog njihovog pozitivnog utjecaja na kvalitet zraka.

Principi cirkularne ekonomije i zelenog certificiranja dodatno unapređuju ovaj pristup podržavajući lokalnu proizvodnju, jačajući lokalnu ekonomiju i smanjujući troškove transporta. Zelene javne nabavke su ključni mehanizam za promovisanje najboljih i najzdravijih građevinskih praksi.

Procjena socio-ekonomskih troškova zagađenja unutrašnjeg zraka u školama može pomoći u usmjeravanju stvaranja i implementacije efektivnih javnih politika za rješavanje ovih problema. Program zelene gradnje mora stvoriti snažan konzorcij, koji uključuje sve zainteresovane strane, kako bi se zajednički ocijenila i potvrdila izvedba projekata zelene gradnje. Ovo će osigurati da projekti budu ekološki odgovorni, pružaju zdravije uslove za življenje, poštuju principe cirkularne ekonomije, energetske su efikasni i podržavaju odgovornu lokalnu ekonomiju i dekarbonizaciju. Merenje performansi kvaliteta unutrašnjeg zraka (IAQ) predstavlja ključni kriterij za zeleno certificiranje zgrada, što predstavlja značajan napredak u rješavanju specijalizovanih potreba za zdravstvenom zaštitom. Bosna i Hercegovina mora uključiti ne samo IAQ već sve ostale mjere zelenog certificiranja u buduće energetske efikasne programe ulaganja, posebno kada govorimo o javnim ulaganjima.

5.1. PREPORUKE

Usklađivanje i ažuriranje propisa: Neophodno je uskladiti i izmijeniti postojeće zakone ili donijeti nove koji će biti usklađeni sa trenutnim standardima i propisima EU-a u oblasti zaštite životne sredine, građenja, urbanog planiranja i zelenog certificiranja u gradnji.

Usvajanje najboljih praksi EU-a: usvojiti najbolje prakse iz EU-a i aktivno učestvovati u implementaciji EU-ovog zelenog dogovora i Akcionog plana za zemlje Zapadnog Balkana. Osiguravanje sredstava za zeleno certificiranje zgrada: Osigurati dodatna sredstava za finansiranje mjera energetske efikasnosti u skladu sa dodatnim mjerama zelenog certificiranja zgrada. Poseban akcenat treba staviti na mjere koje poboljšavaju kvalitet unutrašnjeg zraka, nivo buke, osvetljenje i ukupnu udobnost unutar objekta.

Obavezno praćenje energetske efikasnosti projekata: Praćenje svih energetske efikasnosti projekata treba biti obavezno i regulisano zakonom, jer trenutno registar ovih projekata i njihova analiza nedostaje u Bosni i Hercegovini. Transparentno praćenje i izvještavanje o neslaganjima i naučenim lekcijama od ključne je važnosti za pružanje jasnih uvida i preporuka donosiocima odluka i zainteresovanim stranama, čime se promovišu unaprijeđene odgovorne zelene prakse, koje će biti usklađene sa standardima EU-a u budućnosti.

Odgovoran pristup održivom planiranju gradova i zgrada: Izgradnja kapaciteta treba obuhvatiti najbolje prakse korišćenja prirodnih resursa, prostora, lokalnih i recikliranih materijala u građevini kako bi se obezbijedio bolji kvalitet i zdraviji uslovi života.

Angažovanje zainteresovanih strana: U budućnosti je od ključne važnosti uključiti sve zainteresovane strane u razvoj i upravljanje rješenjima za probleme zagađenja unutrašnjeg zraka, osiguravajući kolaborativan i sveobuhvatan pristup.

Provođenje ciljanih istraživanja: Posebna istraživanja treba provesti kako bi se adresirali novi zahtjevi i standardi u građevini koji proizlaze iz zahtjeva dekarbonizacije, pandemija ili velikih epidemija.

Promovisanje i razvoj zelenih površina: Fokusrati se na podizanje svijesti o važnosti otvorenih zelenih površina u urbanim sredinama i zgradama. Također, izgraditi kapacitete za planiranje i razvoj ovih zelenih prostora kako bi se poboljšalo ukupno urbano zdravlje i održivost.

Razviti i usvojiti standarde kvaliteta unutrašnjeg zraka (IAQ): Neophodno je pripremiti i implementirati sveobuhvatan priručnik koji detaljno opisuje standarde i norme za kvalitet unutrašnjeg zraka u svim javnim, obrazovnim, zdravstvenim, stambenim i radnim okruženjima širom Bosne i Hercegovine.

Strateška lokacija za nove škole: Nove škole treba strateški locirati dalje od glavnih saobraćajnica, gustog saobraćaja, industrijskih zona, gradilišta, poljoprivrednih farmi, kućnih ložišta i drugih potencijalnih izvora zagađenja.

Izgradnja kapaciteta i podizanje svijesti: Osnovati programe za izgradnju ljudskih kapaciteta i podizanje svijesti o promovisanju zdravog školskog okruženja.

Održavanje zdravih školskih okruženja: Implementirati program za održavanje učionica i drugih školskih objekata korišćenjem prirodnih sredstava za čišćenje sa minimalnim isparavanjima štetnih supstanci.

Izjava interesa. Autori nemaju konkurentskih interesa koji su relevantni za sadržaj ovog članka.

LITERATURA

1. Asquith, B. J., Mast, E., and Reed, D. (2023). Local effects of large new apartment buildings in low-income areas. *Review of Economics and Statistics*, 105(2). https://doi.org/10.1162/rest_a_01055
2. Children's Environment and Health Action Plan for Europe: Fourth Ministerial Conference on Environment and Health: Budapest, Hungary, 23–25 June 2004. World Health Organization. <https://www.who.int>
3. Csobod, É., Rudnai, P., and Vaskovi, E. (2010). School environment and respiratory health of children (SEaRCH) International research project report within the "Indoor air quality in European schools: Preventing and reducing respiratory diseases program." Semantic Scholar. <https://www.semanticscholar.org>
4. Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings. European Commission. <https://europa.eu>
5. Directive (EU) 2018/844 of the European Parliament and of the Council of 30 May 2018 amending Directive 2010/31/EU on the energy performance of buildings and Directive 2012/27/EU on energy efficiency. European Commission. <https://europa.eu>
6. EEA. (2017). Air quality in Europe – 2017 report. European Environment Agency. Luxembourg. ISBN 978-92-9213-920-9
7. European Commission. (n.d.). Smoke-free environments. <https://europa.eu>
8. European Commission. (n.d.). The European Green Deal. <https://europa.eu>

9. European Commission. (n.d.). Nearly-zero energy and zero-emission buildings. <https://europa.eu>
10. European Commission. (n.d.). Regulation - 305/2011. <https://europa.eu>
11. European Commission. (n.d.). Official site: <https://ec.europa.eu/environment/air/quality/standards.htm>
12. International Energy Agency. (2019). *Global Status Report for Buildings and Construction 2019 – Analysis*. Official site. <https://www.iea.org>
13. Klarić, S. (2015). *Održivo stanovanje, drvo, ovčja vuna, slama izazovi i potencijali tradicionalnih prirodnih materijala*. Internacionalni BURCH Univerzitet. ISBN 978-9958-834-46-2
14. Klarić, S., Četković, A., Kulo, A., Blekić, A., Kusturica, J., Spahić, N., Šljivo, A., and Šečić, D. (2021). School children exposure to low indoor air quality in classrooms during COVID-19 pandemic: Results of a pilot study. *Psychiatria Danubina*, 3(Supl 1), S235-S398.
15. Klarić, S., Kulo Česić, A., Šečić, D., Spahić, N., Čerkez, A., Curin, V., Hamzić, L., and Škaljić, A. (2021). *Studija kvalitete unutrašnjeg zraka u odabranim zgradama obrazovnih institucija u Kantonu Sarajevo*. Green Building Council in BiH. <https://green-council.org>
16. Klarić, S., Šamić, D., Katica, J., Kurtović, A., Duerod, M., and Roso Popovac, M. (2016). *Guidelines for energy efficiency in buildings as a basis for sustainable social and economic development in Bosnia and Herzegovina*. Green Council. ISBN 978-9926-8106-3-4
17. Klarić, S., Šečić, D. (2021). *Uticaj zagađenosti unutrašnjeg zraka na zdravlje ljudi i ekonomiju u Bosni i Hercegovini*. The Westminster Foundation for Democracy in BiH. ISBN 978-9926-8580-0-1
18. Kulo, A., Klarić, S., Četković, A., Blekić, A., Kusturica, J., Spahić, N., Šljivo, A., and Šečić, D. (2021). School children exposure to low indoor air quality in classrooms during the COVID-19 pandemic: Results of a pilot study. *Psychiatria Danubina*, 3(Supl 1), S235-S398.
19. Landrigan, P. J., Fuller, R., Acosta, N. J. R., Adeyi, O., Arnold, R., Basu, N., et al. (2017). *The Lancet Commission on Pollution and Health*. The Lancet.
20. *Nearly zero energy buildings*. (n.d.). eceee.org. <https://www.eceee.org>
21. Oliveira, M., Slezakova, K., Delerue-Matos, C., Pereira, M. C., and Morais, S. (2019). Children environmental exposure to particulate matter and polycyclic aromatic hydrocarbons and biomonitoring in school environments: A review on indoor and outdoor exposure levels, major sources, and health impacts. *Environmental International*, 124, 180–204.
22. Official site. International Energy Agency - *Global Status Report for Buildings and Construction 2019*. Retrieved July 2024, from <https://www.iea.org>
23. Official site. *Nearly-zero energy and zero-emission buildings*. Retrieved July 2024, from <https://europa.eu>
24. Official site. Regulation - 305/2011. Retrieved July 2024, from <https://europa.eu>
25. Official site. EUR-Lex - 32008L0050. Retrieved November 2020, from <https://europa.eu>
26. Official site. Directive (EU) 2018/844. Retrieved May 2024, from <https://europa.eu>
27. Official Gazette BiH. *Sluzbenenovine.ba*.
28. *World population projected to reach 9.8 billion in 2050, and 11.2 billion in 2100*. United Nations. Retrieved July 15, 2024, from <https://www.un.org>

Bosna i Hercegovina u otpadocenu: Okvir za analizu ekološkog nasilja

Damir Arsenijević

Sažetak: U ovom tekstu se istražuje ekološko nasilje u Bosni i Hercegovini kroz teorijski okvir otpadocena i analizira kako je poslijeratna privatizacija, kroz etničku autoritarnu politiku, stvorila trajnu ekološku i društvenu traumu. Kroz studije slučaja hemijskog postrojenja HAK u Tuzli i industrijskog kompleksa Incel u Banjoj Luci, pokazuje se kako toksični industrijski otpad i degradacija okoliša predstavljaju nastavak ratnog nasilja drugim sredstvima. Etničke autoritarne elite u Bosni i Hercegovini održavaju vlastitu moć kroz eksploataciju okoliša, stvarajući ono što Marco Armiero naziva “toksičnim narativima”, koji normaliziraju ekološko nasilje i ljudsku potrošnost. U poglavlju se dokazuje da ovo ekološko nasilje djeluje kao oblik “kolonijalizma kroz otpad”, u kojem zajednice postaju potrošne kroz sistematsko izlaganje industrijskoj toksičnosti i degradaciji okoliša. Nasuprot toksičnim narativima, daje se okvir za ekološku humanistiku u Bosni i Hercegovini na primjeru uspostavljene digitalne platforme Zemlja-Voda-Zrak (zemljavodazrak.com) kao inicijative kontrarnarativa, koja kombinira umjetnost, aktivizam i akademiju u borbi protiv ovih destruktivnih praksi. Oslanjajući se na koncepte “sporog nasilja” i “preživljavanja van pozicije žrtve”, pokazuje se kako se lokalne zajednice, posebno kroz primjere poput otpora žena Kruščice hidroelektranama, bore protiv ekološke eksploatacije. Ovim tekstom daje se doprinos ekološkim humanističkim naukama u Bosni i Hercegovini kroz naročit presjek analize poslijeratne traume, ekološke pravde i otpora eksploatacijama u lokalnim zajednicama na primjeru postkonfliktnog društva.

Ključne riječi: *ekološko nasilje, kolonijalizam kroz otpad, klimatske promjene i mentalno zdravlje, Otpadocen, ekološka humanistika*

1. UVOD

Aldin Bejhanović skupljač je starog gvožđa. Dobio je plućnu emboliju uzrokovanu otrovima u bivšem Hemijsko-industrijskom postrojenju (HAK) i o tome ovako svjedoči: “Da se prehranimo, i porodica i mi smo (...) ventile gusane u cijevima u šahtovima skidali, bilo je posla, ali je došlo nakon nekog vremena do toga da su se bačve ovdje kopale. Počelo je smrdit’. Smrdjelo je jako da je klalo za oči, nije se moglo izdržat’. (...) Neko sam vrijeme prest’o, ali smo kasnije došli opet ja i otac i komšija i vadili cijevi. I tu smo našli. Nismo znali da je to otrov, nije bilo ni obilježeno mjesto”. Iskustvo trovanja opisuje ovako: „Prilikom saginjanja me gušilo i trpio sam jedno 14 dana, mislio sam da su cigare. Al’ kad me uhvatilo i bacilo i kad je crnilo na oči udarilo, nisam mog’o doći do kola svojih” (CIN, 2018). Bejhanovićev rođak je imao manje sreće; pluća mu je spržio udahnuti otrovni gas prilikom sječenja cijevi.

Dvije džinovske zahrđale kugle HAK-a nalaze se na samo nekoliko stotina metara od fabrike detrdženata “Dita”. Zahrđale cijevi HAK-ovog kostura još uvijek sadrže preko 47 tona visokozapaljivog propilen oksida. Ove su cijevi okružene gomilama napuštene i korodirajuće buradi iz kojih polako, sada skoro preko 25 godina, u zemlju cure živa, kadmij i arsen. Na tlu se između pripojenih krugova fabrike “Dita” i HAK-a može da vidi crni odsjaj sa grumenja kancerogenog otpada toluen diizocijanata (TDI), koje uokviruje mjesta deponije duž ničije zemlje između postrojenja. Tačnu veličinu i precizne lokacije ovih deponija nisu dokumentovale ni vlada ni bilo koja druga zvanična institucija. Jedini ljudi koji prilaze smrtonosnom HAK-ovom skeletu su otpušteni i osiromašeni bivši industrijski radnici koji traže i rastavljaju metalne dijelove u potrazi za starim gvožđem koje bi prodali. Kao rezultat ovog „posla“, konstantno su izloženi toksičnom otpadu što dovodi do statistički visoke učestalosti preuranjene smrti usljed kontakta sa njim; bilo da je u pitanju nesrećni slučaj i/li produžena spora smrt izazvana hroničnim stanjima koja su se kod oboljelih razvila.

Šta nalazimo u ovoj vinjeti? U njoj je sadržano jedno otjelovljeno iskustvo duboke **društvene nejednakosti** prouzrokovane takozvanom tranzicijom, **siromaštvom** i sveprisutnom nesigurnosti. Ovo je svjedočenje o jednim drugačijim socio-ekološkim odnosima, koji su od Dejtona naovamo uspostavljeni. **Zato je moja teza da je Bosna i Hercegovina zatravana mirom.** Mir koji je uspostavljen u BiH je antidruštveni mir koji je najočitiji u preispisanim socio-ekološkim odnosima.

Antidruštveni mir kao ekološko nasilje

Bosna i Hercegovina živi teror mira: ljudi, društveni odnosi i prirodni resursi se proizvode kao otpad u beščutnoj utrci za profitom koju vode autoritarne etničke elite u našoj zemlji. Ove elite su u krvi natopile tranziciju naše zemlje u neoliberalnu kapitalističku demokraciju. Nama koji smo preživjeli dnevno je dat lažni izbor: ili prihvatiti Dejtonski mirovni sporazum ili rizikovati ponovni rat. Balističku politiku rata samo je zamijenila postratna politika gušenja, politika u kojoj se upravlja stanovništvom i ekosistemima vladanjem kroz siromaštvo, nesigurnost i traumu.

Konkretna materijalnost ovog gušenja prisutna je u vinjeti i iskazu Ajdina Bejhanovića. Također, nalazimo je i u sljedećim podacima: UN-ov program za okoliš (engl. UN Environment Programme) rangira Bosnu i Hercegovinu kao drugu po smrtnosti u svijetu po broju smrti po glavi stanovnika uzrokovanih zagađenjem zraka (UNEP, 2018). U Tuzli i Zenici, koje su zagađene

sagorijevanjem uglja, registrovan je rekordan broj osoba oboljelih od karcinoma. Emisije sumpor dioksida prelaze dozvoljene granice preko stotine puta, kao što je recimo zabilježeno u Zenici 2015., da je pređena granica 166 puta viša od dozvoljene. (Geoghegan & Ahmetasevic, 2017); u Tuzli, Termoelektrana je jedan od 10 najvećih zagađivača u Evropi (Unmask My City, n.d.). Zagađenje zraka košta Bosnu i Hercegovinu 21.5% BDP-a godišnje (UNEP, 2018). Po broju godina izgubljenih, Evropska agencija za okoliš (engl. European Environment Agency) daje još gore podatke: u njenom Izvještaju o kvalitetu zraka u Evropi objavljenom 2020. za Bosnu i Hercegovinu stoji kako gubimo 60,500 godina života svake godine zbog zagađenja zraka (EEA, 2020, 109).

“Ovdje su djeca bolesna, rode se bolesna, i ljudi već kad počnu da žive znaju od čega će umrijeti. Ovdje niko ne želi da živi.” (Arnautović, 2021) Ovako govori Goran Stojak, iz mjesne zajednice Bukinje u Tuzli. Bukinje se nalazi odmah prekoputa Termoelektrane Tuzla i tu je 5 šljacišta koja pripadaju ovoj termoelektrani. Goran Stojak svjedoči o tome kako je njegova mjesna zajednica desetkovana, kako zbog raznih karcinoma tako i zbog zaglušujuće tišine nadležnih institucija javnog zdravlja, kao i vlasti o ovim preranim smrtima. Stopa smrtnosti od karcinoma u Bukinju je 53% veća od one u ostalim tuzlanskim naseljima (Pranić, 2018). Pet šljacišta pokriva područje 250 hektara (ili radi ilustracije 330 fudbalskih igrališta) i stalni su izvor zagađenja zemlje, vode i zraka. Šljaka koja nastaje sagorijevanjem uglja sadrži visoke koncentracije arsena, kadmija, hroma, olova i žive (Ibid.). Otpadne vode pored šljacišta zagađuju obližnje poljoprivredno zemljište. Ljeti, vjetar podiže i raznosi prašinu šljake.

Ovako Bosnu i Hercegovinu proganjaju stalne, ali javno nepriznate smrti, koje uzrokuje **ekološko nasilje**. Ovo nasilje se taloži postepeno, a njegov utjecaj se primijeti tek na većoj vremenskoj skali. Ovo je takozvano “sporo nasilje” (Nixon, 2011), nasilje koje se nakuplja i taloži i vrlo često se uopšte ne percipira kao nasilje. Smrtne manifestacije ovog nasilja vidljive su u minama, napuštenom ili skrivenom toksičnom otpadu, koje je preostalo i nezbrinuto nakon privatizacije fabrika, te nekažnjivom trovanju koje provode međunarodne korporacije, a čije nasilje odobravaju etničke autoritarne elite. Ovo je nastavak ratne logike u poraću u našoj zemlji.

Toksičnost – kao *materijalna*, u obliku raznih otrovnih supstanci, i kao simbolička, u obliku održavanja beznađa i nemogućnosti bilo kakve emancipacijske promjene u zemlji – aktivan je agens koji stalno proizvodi vrijednost koja može da se crpi, i subjekte koji su upregnuti u autoritarnu ekstraktivnu akumulaciju kapitala. Nisu zatrovani samo priroda i ljudska i više-od-ljudske vrste, niti su zatrovani samo naši društveno-ekološki odnosi – zatrovano je i sâmo vrijeme, kao *političko vrijeme* za mišljenje i djelovanje.

Ratnu logiku pojačava i trenutna strukturalna pozicija koju Bosna i Hercegovina ima, kao i druge zemlje takozvanog regiona Zapadnog Balkana, koje nisu u EU-u, ali su okružene EU-om. Ove zemlje funkcionišu kao politička deponija okružena Evropskom unijom. Ove zemlje održavaju se kao periferne prostorno-vremenske društvene laboratorije politike Evropske unije. Suspendovane u stalnoj tranziciji, ove zemlje depolitizacija truje. Mehanizmi koji uslovljavaju proces pristupanja bez ikakvih konsultacija sa građanima, iscrpljivanje ljudskih života humanitarnim pristupom životu, toksični narativi nestabilnosti i beznađa, toksičnost statusa quo (ne)dostižne demokratizacije, te konstantna sekuritizacija i pravljenje ovih zemlja de facto logorima za ljude u pokretu – sve nas ovo brutalizuje i poziva da budemo produžena ruka represivnih rasističkih mehanizama „čistih“ politika EU-a. Drugim riječima, mi ćemo biti regija-pakao koji održava EU-raj.

Ovoj "političkoj deponiji" slijedi novi talas ekstraktivizma, sad pod krinkom tzv. *European Green New Deal*. Evropska unija pati od gladi za električnom energijom i nastoji ubrzati tranziciju ka obnovljivim izvorima energije i ka zelenoj ekonomiji. EU ima planove da snizi ekološke standarde za iskopavanje sirovina u zemljama koje nisu EU. U avgustu 2022., portal Balkan Green Energy News objavio je članak čiji je naslov bio: "Is the EU to sacrifice [the] Balkans to secure resources for its energy transition?" (Todorović, 2022). Građanke i građani BiH ne treba da idu daleko da vide kako će biti žrtvovani. Iskopavanje litija u Jadru u Srbiji, bez obzira na veliku opoziciju lokalnog stanovništva i ekoaktivista, će da se nastavi, jer je Komisija EU-a sa Srbijom potpisala Pismo namjere za početak strateškog partnerstva u oblasti kritičnih sirovina, što uključuje litij. U Zakonu o kritičnim sirovinama (*engl. Critical Raw Materials Act*), EU se agresivno pozicionira u ekstrakciji metala, i ubrzo odobrava projekte koje koriste prljave tehnologije, kao i sumnjive investicije. Zbog toga su aktivisti iz Španije, Portugala, Čilea i sa Balkana pokrenuli peticiju protiv velikih rudarskih projekata. Ova peticija objašnjava kako EU, kroz ubrzano odobranje projekata vezanih za kritičke sirovine, omogućava kršenja ljudskih prava, kršenja domaćih zakona i eksproprijacije zemlje od domaćeg stanovništva (WeMove Europe, 2023). Kada se ovo stavi u kontekst da EU nastoji uspostaviti "institucionalna partnerstva čiji je cilj jačanje industrijske strategije u skladu sa dokumentom *European Green Deal 2020* i istovremeno jačanje lanaca dostave sirovina" (Kraske, 2024), potpuno je jasno ko će u ovakvom aranžmanu davati sirovine i biti u lancima. Jasno je da je pred nama borba da li ćemo ili ne ponovo biti gubitnici tranzicije - sada u takozvani „zeleni kapitalizam“.

Ovaj zeleni kapitalizam je više koljački kapitalizam, termin koji je razvila latinoamerička feministička filozofkinja Sayak Valencia. Bosnu i Hercegovinu, kako je pozicionirana na evropskom perifernom jugu, promatram i analiziram kao otjelovljenje ovog koljačkog kapitalizma, koji će biti pojačan kako budu jačali šokovi nove tranzicije. Valencia tvrdi kako ovaj oblik kapitalizma karakteriše: kolonijalizam, diskriminacija po klasnoj razlici i rasizam; nekropolitički maskulinitet; ekonomska i egzistencijalna prekarnost ljudi; bespogovorno prihvatanje neoliberalnih ideala; te spektralizacija realnosti kroz *fake news*" (Valencia, 2022). Svi ovi aspekti su destruktivno prisutni u BiH.

Gubici života – kroz politički i hijerarhijski upravljani pristup zraku koji može da se diše, vodi koja je pitka ili zemlji koja je može da održi život. To je dio repertoara "politike gušenja" ili politike iznurivanja – sve što proizvodi Drugog za koga su zrak, voda i zemlja uslovljeni, nepristupačni ili zatrovani. Ova politika iznurivanja je polivalentna: od vidljivih efekata, kroz kreiranje žrtvovanih zona – nenaseljivih područja do onih slabo vidljivih efekata, poput prezasićenošću emocijom nemogućnosti, što samo dalje vodi u rezignaciju i očaj i čime se slabe naši kapaciteti za održavanje života. Ovakva politika iznurivanja pokazuje kako se populacija tretira kao skup pukih tijela koja je mogu žrtvovati za profit. Sada naš radni dan traje cijeloga života: kao vrijeme koje naša tijela troše da budu filteri i da metabolišu toksine industrijskog otpada. Kada se rodimo, znamo od čega ćemo umrijeti: žrtvovanje i domen sudbine. Svođenje na ovakav život se može posmatrati kao simptom epohe otpadocena, kako je nazivaju Marco Armiero i Massimo De Angelis (2017).

Bosna i Hercegovina u *otpadocenu*: pristup prošlosti i sadašnjosti

Premda sâm naziv koncepta može upućivati kako je fokus otpadocena isključivo na materijalnosti otpada koji nas okružuje, ovaj koncept se ne odnosi na otpad kao objekat. Kako Armero navodi, „misli u skladu s otpadocenom prije znači vidjeti otpad kao odbacivanje,

to jest kao društveno-ekološke odnose koji stvaraju odbačene ljude i odbačena mjesta“ (Armiero, 2021, 30). Otpadocen redefiniše otpad kao dinamički proces odbacivanja (*engl. wasting*), i na taj se način usmjerava pažnja na društveno-ekološke odnose koji pokreću i održavaju degradaciju pojedinaca i njihove životne sredine.

Unutar širokog spektra “-cena” prisutnih u akademskom i aktivističkom diskursu, poput antropocena i kapitalocena, otpadocen služi kao dvojna oznaka: karakterizacija suvremenog stanja života pod kapitalizmom i heuristički alat za njegovu analizu. Za razliku od pristupâ koji žale zbog sveprisutnosti otpada ili nostalgично čeznu za idealiziranom čistoćom životne sredine, otpadocen funkcioniše kao analitički instrument koji omogućuje ispitivanje kako kapitalističke ekologije nameću apstraktne oblike dominacije. Kapitalocen nam govori koji su uzroci društveno-ekološke krize, a otpadocen naglašava koje su sve posljedice koje kapitalizam ostavlja na živote kako ljudske tako i na više-od-ljudskih vrsta.

U otpadocenu fokus se stavlja na društveno-ekološke odnose u kojima je neko ili nešto odstranjivo. Ako su društveno-ekološki odnosi u centru analize, onda otpadocen demaskira i odbacuje svaki oblik depolitizacije. Primjera radi, u okviru otpadocena ekološka kriza se ne analizira kao da su je stvorile emisije CO₂ nego upravo društveno-ekološki odnosi koji te emisije proizvode. Depolitizacija je često maskirana fokusom na tehničke aspekte: otpadu se često pristupa kao tehničkom problemu za koji postoje tehnička rješenja. Zato vrlo često imamo opsesiju “pragovima zagađenja” - kao o pragu štete koja je dozvoljena ili koja se može podnijeti. Većina nas koja žive u BiH često prati indeks zagađenja kroz razne aplikacije. Međutim, ako se samo fokusiramo na indeks zagađenja, već smo uhvaćeni u depolitizaciju u kojoj se briše da se upravo radi o ekološkom nasilju.

Otpadocen se fokusira na “efekte kapitalizma na život” i kako se nasilje kapitala, koje metabolišu ljudi, više-od-ljudskih vrsta i ekosistemi, konstantno briše i čini nevidljivim. Isticanjem društveno-ekoloških odnosa i zagovaranjem značaja tijela kao mjesta gdje se odvijaju metabolički procesi kapitalizma, otpadocen nastoji ponovno uvesti prave političke dimenzije u naše socio-ekološke krize. Pretpostavka otpadocena je da je odbacivanje relacijski fenomen, tj. pitanje društvenih veza, a ne tek puki problem koji treba samo riješiti. U centru otpadocena stavlja se tijelo kao indeks pretrpljenog nasilja, ali i kao polje borbe protiv ekološkog nasilja. Marco Armiero objašnjava presjek tijela i otpadocena na sljedeći način:

Ali središnjost otpadocena ne govori samo o ugnjetavanju i viktimizaciji. Tjelesno iskustvo otpadocena proizvodi i subjekte otpora. Pošto je odbacivanje društveni odnos koji reprodukuje nejednakosti moći, neizostavno je politička, a ne tehnička činjenica. Ulazeći u tijela i ekologije ljudi i ne-ljudi, odbacivanje politizuje tijela i ekologije. Potrošno tijelo postaje političko tijelo, a njegova borba za život postaje pobuna, ili više mimetički, sabotaža društvenih odnosa koji utjeruju tjelesne granice otpadocena (Ibid., 36).

Kako Armiero tvrdi, otpadocenu se suprotstavljamo područjavanjem (što je jedini prikladan prijevod za termin na engleskom jeziku *commons*). Područjavanje zahtijeva da zamislimo i materijalizujemo takvo društveno-ekološko djelovanje u kojem stvaramo zajedničko dobro, van privatizacijskih matrica koje se fokusiraju samo na stvari i predmete, u kojem ono što dominira jesu društveni odnosi. Pored toga što je i antidruštvena praksa, privatizacija je i toksični narativ. U BiH cirkuliše veliki broj toksičnih narativa - od toga kako je neizbježno da

prihvatimo korupciju i pljačkašku privatizaciju prirodnih resursa, do toga kako je naša zemlja bez ikakve perspektive u kojoj jedino vlada beznađe. Toksične narative proizvode razne pripovijedačke infrastrukture koje otpadocen razotkriva.

Armiero navodi primjer inženjeringa toksičnog narativa:

Prvi sastojak za kuhanje savršenog toksičnog narativa je skrivanje; prelijevanje logike otpadocena – bilo da je to katastrofa na brani ili polagano nasilje industrijske proizvodnje – mora iščeznuti iz kolektivnog pamćenja. Drugi sastojak je naturalizacija/normalizacija nepravde; ako se desi nešto loše, niko nije kriv. Tuga, a ne bijes, pravo je osjećanje. Kao treće, vitalno je da se odbaci svako znanje ili iskustvo koje bi moglo dokazati postojanje drugih stajališta. To se uvijek dogodi onima koji pokušaju razotkriti toksičnost dok se opiru otpadnim odnosima koji ih hoće učiniti zamjenjivim. I konačno, krajnji rezultat toksičnog narativa je da se okrive žrtve; ako je neko na pogrešnoj strani linije otpadocena, mora biti da je greška njihova. Otpad je ontološka kategorija, a ne proizvod nepravednih društveno-ekoloških odnosa – to je glavna poruka svakog toksičnog narativa. I protiv nje se mora dići svaki kontranarativ (ibid., 50-1).

Argument za konstrukciju kontranarativa osnova je za pravi politički odgovor odbacivanju koje danas provode autoritarne etničke elite u Bosni i Hercegovini. Za ovakvu repolitizaciju od pomoći će nam biti da kroz analizu skrivene vremenske skale, na kojoj sporo nasilje funkcioniše, otvorimo prostor za svjedočenja o ovom nasilju za koja još nema mjesta u javnom diskursu.

Mentalno zdravlje i otpadocen

Ontologizacija toksičnosti opasna je strategija upravljanja koja u Bosni i Hercegovini, traumatizovanoj ratom i tranzicijom i nepriznatim smrtima uzrokovanim zagađenjem zemlje, vode i zraka, pojačava društvenu traumu. Pod ovim pojmom podrazumijevam kako psihološke tako i relacijske posljedice traumatskog iskustva u okviru određenih društvenih pojava. Ključno je pitanje šta se prešućuje u nekom društvu i ko je sve prećutno žrtvovan.

U postratnom kontekstu BiH, gdje je granica između pobjede i poraza nejasna, vrijeme se percipira kao "zamrznuto vrijeme", kao da smo "na čekanju". Skoro 30 godina nakon kraja rata, mir je upitan u našoj zemlji. U BiH suspendovani smo između rata koji se nije završio i budućnosti koja nije započela. Istovremeno, živimo kao da nam je budućnost ukradena, a da su je ukrali oni koji su pobijedili u ratu - elite koje su profitirale iz rata i koje osiromašuju nas, građane naše zemlje. I kao da smo taoci: naša budućnost je talac neeksplozivnih mina, skrivenih masovnih grobnica i toksičnog otpada, i stalne proizvodnje zagađenja. Ove mine, skrivene masovne grobnice i zagađenje rade polako, imaju svoju vremensku logiku i konstantno proizvode prijetnju da je opasnost sveprisutna. Dejtonski mirovni sporazum je uspostavio svoje "međuvrijeme", kako ga antropolog Steff Jansen naziva. To je "beskonačni zatvoreni krug" depolitizacije, koji ljude stavlja u stalnu "tranziciju" u kapitalizam (Jansen, 2014). U ovoj tranziciji, ono što se proizvodi jeste "žrtva", kao privilegovana identitarna pozicija etnokapitalističkog poretka, koja žaluje beskonačno za izgubljenim objektom koji joj je uskraćen i koji je skriven od nje. Poruka koju autoritarne etničke elite šalju građanima BiH je da su oni bezvrijedni i da su potrošna roba. U ovakvom ponašanju, može se ustvrditi

kako ove elite odigravaju mafijaške fantazije i oblikuju mentalno funkcioniranje pojedinaca i cijelog društva, tako što okupiraju i nadjačaju libidinalni self – koji se ne može oduprijeti destruktivnim procesima – i na taj način održavaju status quo (Rosenfeld, 1971, 243).

Postavlja se pitanje: zašto se ljudi ne bune protiv ovakvog života i ne pokušavaju promijeniti *status quo*? Najprije, podređenost *statusu quo* treba ispitati i shvatiti u smislu prevladavajuće anksioznosti koja je prisutna u bosanskohercegovačkom društvu. Možemo govoriti o tome da postoji suvišak anksioznosti, kao što Weintrobe (2013, 40) tvrdi, u kojoj „mentalno zdravi *self* pati od anksioznosti preživljavanja ako progovori, a anksioznosti preživljavanja ako šuti. Ali mentalno zdravi *self* se također može osjećati slabšno pred društvenom grupom, koju treba, a koja mu prijeti odbacivanjem, socijalnom isključenošću ili nečim gorim”. Nadalje, postoji tendencija, kako unutar Bosne i Hercegovine tako i izvan njenih granica, da se percipirana neaktivnost i paraliza stanovništva u Bosni i Hercegovini u odnosu na *status quo* okarakterišu kao apatija. Apatija je, međutim, sama po sebi toksični narativ, koja samo podržava i jača eksploatatorske stavove. Kako Lertzman (2015, 9, 19) tvrdi, ovaj “mit o apatiji” patologizira ljude i zauzima se patronizirajuće prema njima, jer ih promatra kao nezainteresovane, sebične, ograničene ili da su u stanju poricanja. Pri tome se privilegira pojam racionalnog subjekta, što sve zamagľuje složene društvene i kulturne procese, kao i naše razumijevanje psihičkih odbrana. Diskurs apatije igra značajnu ideološku ulogu u održavanju stega viktimizirane pozicije u poslijeratnom društvu kao što je Bosna i Hercegovina. Ovo onda isključuje mogućnost da se u našoj zemlji počnu žalovati višestruki gubici koje smo pretrpjeli. Kako bismo nadišli opskurantizam koji promiče diskurs apatije, Lertzman (2015, 150) predlaže pristup poricanju i apatiji tako što smo „informisani uvidima izvedenim iz psihodinamičkih praksi, kao što je stvaranje ‘sigurnog prostora’ i *containment* – držanje teških osjećanja – kroz grupne razgovore. Ovo može i treba da informiše o tome kako dizajniramo platforme za razmjenu poruka, brendiranje poruka i generalno informisanje”.

Slična je situacija sa onim što se naziva ekoanksioznost. U vijestima često vidimo termin poput „klimatske katastrofe” ili „klimatskog vanrednog stanja”. Rastuća svijest o klimatskim promjenama dovela je do novog oblika psihološke patnje koja se naziva ‘ekoanksioznost’. Iako ovaj termin riskira patologizaciju legitimnih reakcija na uništavanje okoliša, analiza Anouchke Grose nudi vrijedne uvide u individualne i kolektivne odgovore na ekološke prijetnje, istovremeno preispitujući konvencionalne terapijske pristupe.

U svom predavanju koje je 8. jula 2021. godine održala za tuzlansku nevladinu organizaciju „Front slobode”, Grose fundamentalno preoblikuje sâm pojam anksioznosti i sugerije da su zapravo “ljudi koji su anksiozni na pravom putu. Treba da se zabrinemo za one koji nisu anksiozni”. Ovakva perspektiva zahtijeva da iznova promislimo tradicionalne terapijske pristupe koji ciljaju na ublažavanje anksioznosti, umjesto toga pozicionirajući ekoanksioznost kao racionalan odgovor na stvarne prijetnje, koji zahtijeva drugačiju vrstu psihološkog angažmana.

Manifestacije ekoanksioznosti su raznolike i duboko lične. Kako Grose primjećuje, “ljudi često opisuju kako ne mogu spavati, jer ih proganjaju slike ekološkog uništenja. Ili možda jednostavno imaju sveopšti osjećaj beznađa o budućnosti”. Posebno je među mlađim generacijama prisutno pitanje reprodukcije, pri čemu mnogi “u svojim dvadesetim i tridesetim godinama govore da osjećaju da nikada ne mogu imati djecu zbog užasnog stanja svijeta” (Grose, 2021).

U svom radu o ekoanksioznosti, Grose se fokusira na “funktionalno poricanje” kao mehanizam

suočavanja sa realnošću. Grose sugerije da kada stvarno shvatite realnost klimatskih promjena, to može biti toliko užasavajuće, toliko ogromno, da riskira potpuno zaustavljanje života. Umjesto da poricanje vidi kao isključivo problematično, predstavlja ga kao potencijalno potreban alat za održavanje psihološke funkcionalnosti pri suočavanju sa ekološkom realnošću koja je preplavljujuća.

U pristupu klimatskom zagovaranju, Grose naglašava psihološko razumijevanje u ekološkoj komunikaciji. Ona tvrdi da “kao ljudi zabrinuti za klimatske promjene moramo pridobiti ljude, ne otuđiti ih, a to može uključivati veliku toleranciju prema ljudima koji rade stvari koje smatramo uznemirujućima” (ibid.). Ovo zapažanje naglašava potrebu da razvijamo kapacitete za različita i ponekad sukobljavajuća mišljenja i stavove u ekološkom zagovaranju, čak i kada se suočavamo s ponašanjima koja smatramo problematičnima.

Snaga prorađivanja ekoanksioznosti leži u prepoznavanju da je “planeta Zemlja sada u stanju koje je savršeno za aktiviranje naših najprimitivnijih anksioznosti, ali nas također stavlja u iskušenje da investiramo u naše najomnipotentnije fantazije” (ibid.). Ovo zapažanje povezuje ekološku krizu s dubokim nesvjesnim obrascima. U BiH, jedini smisleni odgovor na ekološko nasilje, koje će se samo intenzivirati u kontekstu klimatskih promjena, mora uzeti u obzir i demistifikovati fantazije omnipotentnosti autoritarnih etničkih elita u prevazilaženju pojedinačnih i kolektivnih paraliza. Rješavanje ekoanksioznosti zahtijeva ne samo individualnu psihološku podršku već i šire društvene i kulturne promjene u načinu na koji pristupamo ekološkim izazovima s kojima se suočavamo i koje možemo da anticipiramo.

Ekološke humanističke nauke u Bosni i Hercegovini: antagoniziranje otpadocena

*Zemlja-Voda-Zrak*¹ je digitalna platforma koju sam pokrenuo 2019. godine s ciljem uspostavljanja i promocije ekoloških humanističkih nauka u Bosni i Hercegovini. Platforma se fokusira na osnove: zemlju, vodu i zrak – naše resurse koji su ograničeni i u kojima sve više oskudijevamo. Ovaj pristup izaziva etničke autoritarne imperativne neograničene eksploatacije ljudskog rada i prirodnih resursa. Platforma se suprotstavlja logici otpadocena kroz podsticanje kolektivnih društvenih praksi i kontratoksičnih narativa koji naglašavaju proživljeno iskustvo ekološkog nasilja. Cilj je razotkriti i proširiti pukotine unutar struktura moći koje održavaju logiku otpadocena. Ekološke krize se promatraju i analiziraju kao rezultat društvenih i ekonomskih nejednakosti koje perpetuiraju etničke autoritarne elite, koje prioritizuju profit kroz eksploataciju prirodnih resursa nauštrb ljudskog i ekološkog života.

Zemlja-Voda-Zrak spaja umjetnost, aktivizam i akademiju, potičući kreativne saradnje između aktivističkih organizacija, naučnih istraživanja i umjetničkih praksi za zaštitu, očuvanje i unapređenje okoliša. Platforma se naslanja na lekcije protesta i plenuma 2014. godine u Bosni i Hercegovini (Arsenijević 2014).

Rekonstrukcija zajednica duboko je isprepletena s umjetničkim i aktivističkim intervencijama, što je ključno za repolitizaciju situacije u kojoj se naše zajednice, pogođene ekološkim nasiljem, nalaze. *Zemlja-Voda-Zrak* se fokusira na ono što je zanemareno, uništeno ili oslabljeno od autoritarnih etničkih elita, uključujući naš kolektivni kapacitet da zamislimo i zahtijevamo inkluzivnu pravdu i društvenu transformaciju. Kroz obnovu zajednice, naglašavamo previđene oblike života, nove subjektivitete i one koji aktivno pružaju otpor nasilju otpadnog doba. Kroz vrednovanje, zaštitu i njegovanje ovih elemenata putem umjetničkih i aktivističkih

¹Više o platformi na www.zemljavodazrak.com

intervencija, nastojimo osnažiti naše zajednice da se oslobode logike rasipanja i antisocijalne volje za moć.

U srži otpora ekološkom nasilju je koncept *survivance* kao preživljavanje izvan pozicije žrtve (Hodžić, 2023), koji nadilazi viktimizaciju bosanskih građana od početka rata 1992. godine. Ovakvo preživljavanje utjelovljuju žene Kruščice, kod Viteza, koje su se uspješno suprotstavile izgradnji dvije mini hidroelektrane, koje su prijetile rijeci Kruščici i njenom ekosistemu. Njihov stav "Naše rijeke nas spajaju" odražava duboku svijest o međusobnoj povezanosti kroz zajedničke prirodne ekosisteme i naglašava solidarnost koja nadilazi identitarne politike na koje se oslanjaju etničke autoritarne elite. Na ovaj oblik povezanosti, koji promoviše solidarnost van etničkih podjela, obrušilo se nasilje policijskih snaga u Kruščici. Međutim, kao odgovor na policijsko nasilje, ono što se pojavilo nije bio puki bijes već politički produktivan i emancipatorski oblik otpora koji zagovara društvenu dobrobit i brigu za sve. Ovakva borba prijeti neokolonijalnim inicijativama, od međunarodnih napora tranzicijske pravde do lokalnih projekata koje podržavaju etničke autoritarne elite (Arsenijević, 2023). U takvim neokolonijalnim scenarijima, žene Kruščice bi bile svedene na žrtvene figure, rijeka uništena, a selo ostavljeno sa spomenikom i danom komemoracije. Ovo odražava širu situaciju u Bosni i Hercegovini, gdje se individualni životi priznaju kroz komemorativne događaje, gdje je žrtvama dozvoljeno da govore, ali su ograničene samo na tu ulogu. Nasilno, životi se ili žrtvuju, ili se prirodni resursi eksploatišu, što preživjele članove zajednice ostavlja u dugotrajnim pravnim bitkama. Na kraju, zajednica možda dobije komemorativnu ploču i veliki advokatski račun. Ovo predstavlja savremenu pravdu u njenom liberalno-demokratskom obliku.

Nasuprot tome, *survivance* kao preživljavanje van pozicije žrtve osvjetljava kritičnu potrebu za otporom, i nasilnim i nenasilnim, prema ekstraktivističkoj krađi prirodnih resursa i odbacivanju marginalizovanih populacija, uz aktivnu brigu za život kako ljudske vrste tako i više-nego-ljudskih vrsta.

LITERATURA

1. Armiero, M., De Angelis, M. (2017). *Anthropocene: Victims, narrators, and revolutionaries*. *South Atlantic Quarterly*, 116(2), 345–362. <http://doi.org/10.1215/00382876-3829445>.
2. Armiero, M. (2021). *Wasteocene: Stories from the Global Dump*. *Elements in Environmental Humanities*. Cambridge: Cambridge University Press. doi:10.1017/9781108920322.
3. Aranutović, Dž. (2021). "Broj oboljelih u Tuzli raste, zagađenje ne prestaje". [online] Dostupno na: <https://www.slobodnaevropa.org/a/tuzla-zagadenje-oboljenja/31052195.html>.
4. Arsenijević, D. (2014). *Unbriable Bosnia and Herzegovina: The Fight for the Commons*. Baden-Baden: Nomos.
5. Arsenijević, D. (2021). "Environmental Violence and Social Trauma in a Post-War Context: A Psychoanalytic Approach." in *Social Trauma – An Interdisciplinary Textbook*, edited by Andreas Hamburger, Camellia Hancheva and Vamik D. Volkan, pp. 287-294. Berlin: Springer, Cham. doi:10.1007/978-3-030-47817-9_3
6. Arsenijević, D. (2022). "Waste Colonialism in Bosnia and Herzegovina: The War-Time Logic Continues." *LeftEast*, January 4, 2022. <https://lefteast.org/waste-colonialism-in-bosnia-and-herzegovina-the-war-time-logic-continues/>.
7. Arsenijević, D. (2023). "Wasting as Social Wealth: Industrial Toxic Waste and the Limits of Environmental Politics." *Ecological Concerns in Transition: A Comparative Study on Responses to Waste and Environmental Destruction in the Region*, edited by Ninna Möerner, Centre for Baltic and East European Studies, pp. 82-91. <http://sh.diva-portal.org/smash/get/diva2:1746330/FULLTEXT01.pdf>

8. CIN. (22 June 2018). *Hazardous Waste Under the Feet of Tuzla Residents*. Retrieved from <https://www.cin.ba/en/otrovni-otpad-pod-nogama-tuzlaka/>.
9. EEA. (2020). "Air quality in Europe – 2020 Report." Luxembourg: Publications Office of the European Union. 2020. <https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2020-report>
10. Geoghegan, P., Ahmetasevic N. (14 February 2017). "Zenica, Bosnia: the steel town where even taking a breath can be a struggle." *The Guardian*. <https://www.theguardian.com/cities/2017/feb/14/arcelor-mittal-failing-emissions-air-pollution-zenica-bosnia>
11. Grose, A. (2021). *Responding to Eco-Anxiety*. [online lecture] Delivered on 8 July 2021.
12. Hodžić, S. (2023). "The Inheritance of Militarization: Toxic Gifts, Furtive Critique, and Survivance in Postwar Bosnia." *Catalyst: Feminism, Theory, Technoscience*, vol. 9, no. 1, pp. 1-22. <https://catalystjournal.org/index.php/catalyst/article/view/38457/31292>
13. Hoggett, P. (2013). *Climate change in a perverse culture*. In S. Weintrobe (ed.), *Engaging with climate change: psychoanalytic and interdisciplinary perspectives* (pp. 56-71). New York, NY: Routledge.
14. Jansen, S. (2014). 'Re-booting politics? or, towards a <Ctrl-Alt-Del> for the Dayton Meantime' in *Unbriable Bosnia and Herzegovina: The Fight for the Commons*, edited by Damir Arsenijević, 89-96. Baden Baden: Nomos.
15. Kraske, M. (2024). "Southeast Europe: Plundering the Western Balkans", Heinrich Böll Stiftung, 23 January. <https://ba.boell.org/en/2024/01/23/southeast-europe-plundering-western-balkans>.
16. Lertzman, R. (2015). *Environmental melancholia: psychoanalytic dimensions of engagement*. New York, NY: Routledge.
17. Nixon, R. (2011). *Slow Violence and the Environmentalism of the Poor*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
18. Porter, G., Brown, J. W., & Chasek, P.S. (2000). *Global Environmental Politics: Third Edition (Dilemmas in World Politics)*, Boulder, CO: Westview.
19. Pranjić, N. (2018). "Oboljevanje i umiranje ljudi izloženih teškim metalima u neposrednoj blizini odlagališta šljake i pepela Termoelektrane Tuzla". Tuzla: Centar za ekologiju i energiju.
20. Rosenfeld, H. (1971). *A clinical approach to the psychoanalytic theory of the life and death instincts: An investigation into the aggressive aspects of narcissism*. In E. Bott Spillius (ed.), *Melanie Klein Today: Developments in theory and practice* (pp.233-250). London: Routledge (1988)
- 21.
22. Todorović, I. (2022). "Is EU to sacrifice Balkans to secure resources for its energy transition?", *Balkan Green Energy News*, 16 August. <https://balkangreenenergynews.com/is-eu-to-sacrifice-balkans-to-secure-resources-for-its-energy-transition/>.
23. UNEP. (2 January 2018). *Coming up for clean air in Bosnia and Herzegovina*. Retrieved from <https://www.unenvironment.org/news-and-stories/story/coming-clean-air-bosnia-and-herzegovina>.
24. Unmask My City. n.d. <http://unmaskmycity.org/project/tuzla/>
25. Valencia, S. 2022. "Gore Capitalism, Borderization, And Fascism 2.0", in G. De Ferrari and M. Siskind (eds.), *The Routledge Companion to Twentieth and Twenty-First Century Latin American Literary and Cultural Forms* (London: Routledge): 51-59.
26. Weintrobe, S. (2013). *The difficult problem of anxiety in thinking about climate change*. In S. Weintrobe (ed.), *Engaging with climate change: psychoanalytic and interdisciplinary perspectives* (pp. 33-47). New York, NY: Routledge.
27. WeMove Europe. (2023). "Stop selling out people and nature to mining". <https://action.wemove.eu/sign/2023-10-eu-parliament-stop-selling-out-people-and-nature-to-mining-EN>.

Dio II

Interaktivno učenje: Radionice o klimatskim promjenama i zagađenje zraka

Analiza utjecaja interesnih strana u očuvanju prirode i klimatskim promjenama: Korištenje matrice interes-moć

Belma Nahić

Sažetak: Zaštićena područja predstavljaju izuzetno važan alat za očuvanje prirode i zaštitu biološke raznolikosti. Njihova uloga nije samo u očuvanju prirodnih vrijednosti već i u pružanju ključnih ekosistemskih usluga. Ova područja osiguravaju izvore pitke vode, doprinose regulaciji klime, smanjuju rizike od poplava i klizišta te skladište CO₂, što direktno podržava napore za ublažavanje klimatskih promjena i prilagođavanje njima. Ipak, proces uspostavljanja zaštićenih područja često je dugotrajan i zahtijeva podršku različitih interesnih strana. U Bosni i Hercegovini, proces zagovaranja i proglašenja zaštićenog područja može trajati više od deset godina. Glavni razlog za odgađanje i produživanje procesa leži u složenoj administrativnoj i geografskoj nadležnosti većine predloženih zaštićenih područja. Uspješan proces zahtijeva saradnju i uključivanje više interesnih strana, ali često ne uspijeva zbog nedostatka fokusa u identifikaciji i uključivanju ključnih aktera s odgovarajućim profilima vezanim za specifične izazove prilikom uspostave zaštićenih područja. Upravo zbog toga analiza interesnih strana postaje sve važniji alat u ovom području. Rano uključivanje interesnih strana može značajno ubrzati i olakšati proces uspostavljanja zaštićenih područja. Postoji niz metoda i alata za analizu utjecaja interesnih strana u projektima očuvanja prirode i borbe protiv klimatskih promjena. Ovaj rad se fokusira na tehniku analize utjecaja interesnih strana korištenjem matrice interes-moć.

Ključne riječi: zaštićena područja, klimatske promjene, analiza interesnih strana

1. UVOD

Prema Međunarodnoj uniji za očuvanje prirode (IUCN), **zaštita prirode** obuhvata sve odgovarajuće aktivnosti i mjere koje za cilj imaju sprečavanje štetnih aktivnosti, oštećenja ili zagađivanja prirode, smanjenje ili eliminisanje nastale štete te obnavljanje prirode i dovođenje u prvobitno stanje (IUCN, 2008). **Zaštićeno područje** predstavlja jasno definisano geografsko područje s utvrđenom namjenom (ciljem) koje je zaštićeno i kojim se upravlja zakonski ili drugim efikasnim sredstvima, s ciljem dugoročnog očuvanja prirode i pripadajućih ekosistemskih usluga te kulturnih vrijednosti (IUCN, 2008).

Na globalnom nivou postoji 270.361 zaštićeno područje, koja zauzimaju površinu od 19,8 miliona km², što čini 15,73% površine Zemlje. Ova područja igraju ključnu ulogu u očuvanju biološke raznolikosti, pružanju ekosistemskih usluga i očuvanju kulturnih vrijednosti.

2. Zaštićena područja u Bosni i Hercegovini

Bosna i Hercegovina (BiH) prostire se na 51.209 km² i sadrži različita zaštićena područja, uključujući nacionalne parkove, zaštićene pejzaže i prirodne spomenike. Međutim, samo 3,13% teritorije zemlje je zaštićeno, što je znatno ispod AICHI-evog cilja 11, koji je predviđao zaštitu 17% kopnenih i 10% morskih područja do 2020. godine. Novi cilj predviđa zaštitu 30% teritorije do 2030. godine, u skladu sa Zelenom agendom za Zapadni Balkan.

Uprkos malom procentu zaštite, zaštićena područja u BiH obiluju biološkom raznolikošću i prirodnim ljepotama. Prema IUCN-ovoj klasifikaciji, BiH ima 48 zaštićenih područja: 14 u Federaciji Bosne i Hercegovine i 34 u Republici Srpskoj. U 2024. godini proglašena su nova zaštićena područja: Zaštićeni pejzaž „Starača“ (površine 424,4 hektara) i Zaštićeni pejzaž „Tišina“ (površine 471,91 hektar).

Pravni proces zaštite prirodnih područja u BiH obuhvata niz koraka koji osiguravaju uspostavljanje, upravljanje i očuvanje tih područja. BiH ima složenu institucionalnu strukturu, sa više nivoa vlasti (državni, entitetski, kantonalni i općinski) koji su odgovorni za zaštitu okoliša. Zaštićena područja u BiH definirana su entitetskim zakonima, s precizno određenim geografskim lokacijama, pravno prepoznata i namijenjena za dugoročno očuvanje prirodnih i kulturnih vrijednosti. Ova kompleksna struktura otežava uspostavljanje zaštićenih područja, smanjujući efikasnost i mogućnost postizanja pravne zaštite i dugoročnog očuvanja značajnih područja. Glavni zakoni koji uređuju zaštitu prirode i zaštićenih područja u BiH uključuju: Zakon o zaštiti prirode Federacije BiH (Sl. novine FBiH, br. 66/13), Zakon o zaštiti prirode Republike Srpske (Sl. glasnik RS-a, br. 20/14) i Zakon o zaštiti prirode Brčko distrikta (Sl. glasnik Brčko distrikta BiH, br. 24/04).

U Federaciji BiH, kantonalne skupštine proglašavaju područja unutar jednog kantona zaštićenim, dok područja koja se prostiru na više kantona Parlament Federacije proglašava zaštićenim, uz saglasnost relevantnih kantonalnih skupština. U Republici Srpskoj, Narodna skupština proglašava nacionalne parkove, dok Vlada RS-a može proglasiti druge oblike zaštićenih područja, poput rezervata prirode ili zaštićenih pejzaža, na prijedlog nadležnog ministarstva (Ministarstvo za prostorno uređenje, građevinarstvo i ekologiju) i uz prethodnu konsultaciju s drugim relevantnim ministarstvima. Na lokalnom nivou, općinsko vijeće/skupština može proglasiti prirodni spomenik ili područje održivog korištenja prirode, uz odobrenje nadležnog ministarstva.

Za svako proglašenje neophodno je stručno obrazloženje koje uključuje procjenu prirodnih vrijednosti, metode upravljanja i izvore finansiranja za provođenje zaštitnih mjera. Proglašenja se objavljuju u službenim glasilcima, a područja se registriraju kao zaštićene prirodne vrijednosti. Složenost administrativnih procedura, uključujući potrebu za odobrenjima općinskih vijeća, često predstavlja značajne prepreke za uspostavljanje novih zaštićenih područja u BiH, produžavajući proces i smanjujući efikasnost zaštite prirodnih resursa (Zečić i dr., 2021).

Zaštićena područja u BiH igraju vitalnu ulogu u očuvanju prirodnog naslijeđa zemlje, promociji održivog turizma i podršci naučnim istraživanjima. Ova područja pružaju ključne ekosistemske usluge, uključujući regulaciju klime, zaštitu vodnih resursa, očuvanje tla i sprječavanje erozije te služe kao važna staništa za mnoge biljne i životinjske vrste. Uz povećane napore na proširenju mreže zaštićenih područja i unapređenju njihovog upravljanja, BiH može značajno doprinijeti globalnim ciljevima očuvanja prirode i održivog razvoja.

3. Uloga zaštićenih područja u ublažavanju klimatskih promjena i kvalitetu zraka

Zaštićena područja pružaju ogromne koristi ljudima kroz ekosistemske usluge. Ove usluge se mogu svrstati u četiri kategorije: usluge opskrbe, regulatorne usluge, kulturalne usluge i usluge podrške. Konkretno, to uključuje usluge poput oprašivanja, proizvodnje hrane, pročišćavanja zraka, rekreativnih aktivnosti, koristi za mentalno zdravlje i mnoge druge (Mestanza-Ramón i saradnici, 2023; Terraube i saradnici, 2017).

Za razliku od zaštićenih područja, urbana sredina često ima lošiji kvalitet zraka, više temperature u zonama sa nedovoljno zelenila, te zagađenje svjetlom i bukom, što sve doprinosi ekološkom stresu. Također, pretpostavlja se da nedostatak biološke raznolikosti u urbanim područjima doprinosi globalnom povećanju alergija i hroničnih upalnih bolesti kod ljudi. Ekosistemske usluge koje proizlaze iz očuvane biološke raznolikosti mogu djelovati kao zaštitni mehanizam protiv ekološkog stresa, posebno u kontekstu klimatskih promjena. Raznolikost staništa i biološka raznolikost u urbanim sredinama direktno doprinose poboljšanju kvaliteta zraka i regulaciji klime, naročito smanjenjem efekta urbanog toplotnog ostrva (Cook i saradnici, 2019).

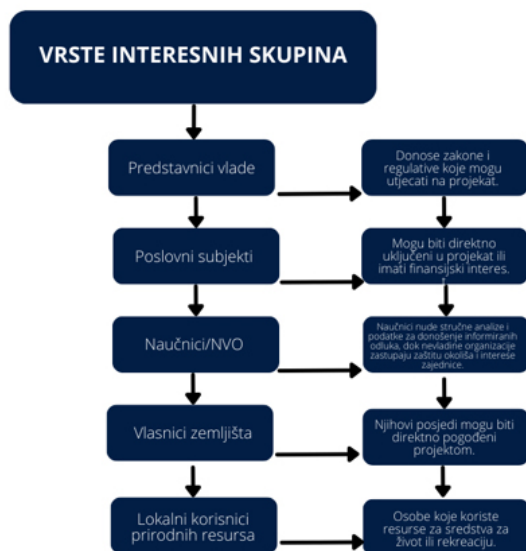
U kontekstu međunarodnih politika, Ciljevi održivog razvoja UN-a (SDG-ovi), odluke Okvirne konvencije UN-a o klimatskim promjenama (UNFCCC) i Konvencije o biološkoj raznolikosti (CBD) naglašavaju značaj zaštite staništa u procesima ublažavanja klimatskih promjena (Terraube i saradnici, 2017). Zaštićena područja, naročito šume, smanjuju emisije stakleničkih plinova kroz skladištenje i sekvstraciju ugljika. Procjene pokazuju da zaštićena područja skladište 238 Pg C, što čini oko 12% zaliha ugljika na kopnu. Od ovog ukupnog iznosa, 92 Pg C nalazi se u vegetaciji, dok je 146 Pg C u tlu (Melillo i saradnici, 2016).

S obzirom na to da su i zaštićena područja podložna utjecajima zagađenja zraka i klimatskih promjena, nedavne studije dovode u pitanje njihovu učinkovitost i sposobnost održavanja vrijednosti u okolišu koji se mijenja pod utjecajem klime. Jedno istraživanje pokazalo je da, iako se i u zaštićenim područjima bilježi pad i gubitak biološke raznolikosti, uz odgovarajuće upravljanje i vođenje, ona mogu usporiti gubitak vrsta uzrokovan klimatskim promjenama i održati značajnu biološku raznolikost unatoč tim izazovima. Ponašanje vrsta u odgovoru na promjene u ekosistemu unutar zaštićenih područja ukazuje na to da ona ostaju ključna za očuvanje biološke raznolikosti, dok proširenje mreže zaštićenih područja može značajno

doprinijeti ublažavanju klimatskih promjena (Gillingham i saradnici, 2024; Thomas i Gillingham, 2015; Duncanson i saradnici, 2023).

4. Analiza interesnih strana i matrica moć-interes

Interesne strane su pojedinci i organizacije koje su uključene u određenu akciju ili politiku, ili su pogođene njima, pri čemu imaju različite interese i utjecaj na donošenje odluka. U kontekstu zaštite okoliša, njihovo uključivanje je od ključne važnosti zbog raznovrsnih perspektiva koje unose u sami proces, od državnih agencija do lokalnih zajednica. Ova raznolikost često dovodi i do složenosti u procesima zaštite okoliša (Vogler i saradnici, 2017) (Slika 1).



Slika 1: Prikaz potencijalnih različitih interesnih strana u zaštiti okoliša

Analiza interesnih strana podrazumijeva skup različitih tehnika i alata koji se koriste za stjecanje uvida u relevantnost interesnih strana, njihove karakteristike, međusobne povezanosti i utjecaj na određeni problem. Ova analiza se prvi put pojavila u poslovnom menadžmentu 1980-ih godina, ali je danas popularan alat i u drugim oblastima, s prepoznatom važnosti u procesima zagovaranja, očuvanja prirode i održivog korištenja ekosistemskih usluga. Budući da se koristi u različitim disciplinama, to je zahtijevalo razvoj raznovrsnih pristupa i metoda za analizu interesnih strana. Čak i unutar iste discipline, kombinacije različitih tehnika prilagođavaju se specifičnim situacijama, projektima ili procesima zagovaranja. Izbor tehnika koje će se koristiti u analizi interesnih strana najviše zavisi od dva faktora: složenosti izazova koji se razmatra i razloga za uključivanje interesnih strana. Da bi analiza bila uspješna, potrebno je definirati ova dva faktora u ranim fazama razvoja projekta, procesa zagovaranja i sl. (Weperen, 2013; Vogler i saradnici, 2017).

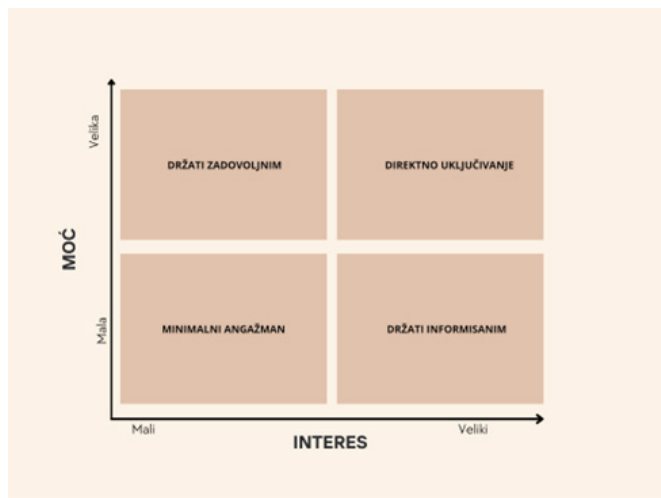
U procesima zagovaranja uspostave zaštićenih područja, očuvanja biodiverziteta ili projekata ublažavanja i prilagođavanja klimatskim promjenama, matrica moć-interes pokazala se kao koristan alat. Za pripremu efikasne matrice korisno je prethodno provesti analizu interesnih strana (Mayers, 2005). Ovaj proces može se provesti kroz tri jednostavna i učinkovita koraka.

Prvi korak je identifikacija i razumijevanje interesnih strana. Jasno definisanje svrhe i postupaka analize omogućava bolje razumijevanje procesa ili projekta u pitanju. Ovo podrazumijeva identifikaciju i istraživanje svih ključnih interesnih strana koje imaju interes ili utjecaj na projekt, njihovih interesa, karakteristika i okolnosti, što pomaže u razumijevanju njihovih perspektiva, ciljeva i potencijalnog utjecaja na proces.

Sljedeći korak je analiza interakcija i utjecaja interesnih strana. Ovo uključuje ispitivanje obrazaca, konteksta i dinamike njihovih interakcija koje oblikuju njihov utjecaj na proces. Procjenjuje se moć, utjecaj i potencijalne uloge svake interesne strane unutar procesa, uzimajući u obzir faktore poput njihovih resursa, stručnosti i nivoa angažmana, što pomaže u mapiranju dinamike moći i razumijevanju potencijalnih saradnji ili konflikata.

Posljednji korak je sinteza nalaza i strategija angažmana. S jasnim razumijevanjem interesnih strana i njihovog utjecaja, nalazi se koriste za procjenu mogućih opcija i strategija za angažman interesnih strana. Tokom ovog koraka razvijaju se akcioni planovi koji iskorištavaju moć i uloge interesnih strana kako bi se unaprijedili ciljevi procesa, smanjili rizici i podstakla saradnja, osiguravajući da se uvidi iz analize pretoče u praktične strategije koje potiču napredak i postižu željene rezultate.

Za vizualizaciju i pojednostavljenje ovih podataka može se koristiti matrica moći i interesa interesnih strana. Ova matrica je jednostavna reprezentacija relativnog utjecaja na jednoj osi i nivoa interesa (pozitivnog/negativnog) na drugoj osi, gdje se pozicioniraju identificirane interesne strane (kao što je prikazano na slici 2). Ovaj pristup omogućava lakše prepoznavanje interesnih strana koje, možda neočekivano, dijele zajedničke interese i stavove, omogućavajući im saradnju u zagovaranju zajedničkog stava (Mayers, 2005; Vogler i saradnici, 2017).



Slika 2: Primjer matrice interes-moć

5. Prednosti analize i uključivanja interesnih strana

Analize interesnih strana provedene u ranoj fazi projekata i inicijativa očuvanja prirode mogu značajno olakšati i ubrzati cijeli proces, osiguravajući dugotrajniju održivost inicijative/projekta. Ovo je posebno važno u zemljama sa složenom upravljačkom strukturom i velikim brojem interesnih strana sa značajnom moći koje mogu usporiti ili zaustaviti proces. U

kontekstu BiH, većina inicijativa za uspostavljanje zaštićenih područja, rješavanje problema klimatskih promjena i održivo korištenje resursa zahtijeva aktivno uključivanje i podršku različitih interesnih strana, od lokalnih zajednica i općinskih/kantonalnih vijeća do entitetskih i državnih vlasti. Stoga je ključno koristiti tehnike analize interesnih strana te osigurati pravovremeno, aktivno i ravnomjerno uključivanje svih relevantnih aktera kako bi se osigurala uspješnost ovih inicijativa.

U širem kontekstu, analiza interesnih strana donosi niz ključnih prednosti koje su od suštinskog značaja za uspjeh i održivost projekata i inicijativa. Prvo, ona poboljšava donošenje odluka integriranjem različitih perspektiva, osiguravajući da odluke budu cjelovite i uzimaju u obzir potrebe i zabrinutosti svih relevantnih strana. Ovaj inkluzivni pristup smanjuje vjerovatnoću konflikata, jer interesne strane uključene od početka procesa sklonije su podržati i pridržavati se odluka budući da su imale priliku doprinijeti procesu. Također, uključivanje interesnih strana razvija osjećaj odgovornosti prema zajedničkom cilju. Kada su interesne strane angažirane u procesu planiranja i donošenja odluka, veća je vjerovatnoća da će osjećati odgovornost za ishode, što vodi ka većoj posvećenosti i pridržavanju dogovorenih aktivnosti. Ovaj osjećaj ključan je za dugoročnu održivost inicijativa, jer interesne strane koje su uključene u proces imaju veću vjerovatnoću da osiguraju njegov uspjeh tokom vremena.

Još jedna važna prednost analize i uključivanja interesnih strana je promicanje jednakosti u donošenju odluka. Osiguravanjem da se svi glasovi čuju, analiza pomaže u balansiranju moći i pruža platformu marginaliziranim grupama da utječu na odluke koje se tiču njihovih života. Ovaj inkluzivni pristup ne samo da doprinosi pravičnosti već pomaže i u identifikiranju i rješavanju potencijalnih sukoba, čineći implementaciju odluka efikasnijom i pravednijom. Dugoročno, ovaj pristup je i isplativiji način za osiguranje uspjeha projekta. Iako angažiranje interesnih strana može potrajati duže od tradicionalnih pristupa „odozgo prema dolje“, često se pokazuje kao isplativije na duže staze. Kontinuirani proces uključivanja interesnih strana omogućava testiranje i prilagođavanje ideja prije nego što se usvoje, što dovodi do održivijih i otpornijih rješenja (Conde i Lonsdale, 2005).

ZAKLJUČNA RAZMATRANJA

Analiza interesnih strana i upotreba matrice moć-interes mogu značajno olakšati i ubrzati proces razvoja novih politika za ublažavanje i prilagođavanje klimatskim promjenama, uspostavljanje zaštićenih područja te inicijative za unapređenje kvaliteta zraka. Iako postoji mnoštvo tehnika za učinkovitu analizu interesnih strana, matrica moć-interes vizualno i jednostavno prikazuje potencijalni utjecaj svake interesne strane na proces. Ova matrica može pomoći u razvoju strategija angažmana, ukazujući na interesne strane koje treba direktno uključiti, zadovoljiti, informirati ili minimalno angažirati. U kontekstu Bosne i Hercegovine, ovaj pristup može doprinijeti efikasnijem upravljanju resursima i očuvanju okoliša.

LITERATURA

1. Conde, C., & Lonsdale, K. (2005). *Engaging stakeholders in the adaptation process*. In *Adaptation policy frameworks for climate change: Developing strategies, policies and measures*.
2. Cook, P. A., Howarth, M., & Wheeler, C. P. (2019). *Biodiversity and health in the face of climate change: Implications for public health*. In M. Marselle, J. Stadler, H. Korn, K. Irvine, & A. Bonn (Eds.), *Biodiversity and health in the face of climate change*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-96676-1_7

3. Duncanson, L., Liang, M., Leitold, V., et al. (2023). The effectiveness of global protected areas for climate change mitigation. *Nature Communications*, 14, 2908. <https://doi.org/10.1038/s41467-023-39628-4>
4. Gillingham, P. K., Britton, J. R., Jones, G., Miller-Rushing, A., Stafford, R., & Slater, H. (2024). Climate change adaptation for biodiversity in protected areas: An overview of actions. *Biological Conservation*, 275, 109750. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2023.109750>
5. Mayers, J. (2005). Stakeholder power analysis. *International Institute for Environment and Development*.
6. Melillo, J. M., Lu, X., Kicklighter, D. W., Reilly, J. M., Cai, Y., & Sokolov, A. P. (2016). Protected areas' role in climate-change mitigation. *Ambio*, 45(2), 133-145. <https://doi.org/10.1007/s13280-016-0806-7>
7. Mestanza-Ramón, C., Monar-Nuñez, J., Guala-Alulema, P., Montenegro-Zambrano, Y., Herrera-Chávez, R., Milanes, C. B., Arguello-Guadalupe, C., Buñay-Guisñan, P., & Toledo-Villacís, M. (2023). A review to update the protected areas in Ecuador and an analysis of their main impacts and conservation strategies. *Environments*, 10(5), 79. <https://doi.org/10.3390/environments10050079>
8. Terraube, J., Fernandez-Llamazares, A., & Cabeza, M. (2017). The role of protected areas in supporting human health: A call to broaden the assessment of conservation outcomes. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 25, 50-58. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2017.06.002>
9. Thomas, C. D., & Gillingham, P. K. (2015). The performance of protected areas for biodiversity under climate change. *Biological Journal of the Linnean Society*, 115, 718-730. <https://doi.org/10.1111/bij.12547>
10. Vogler, D., Macey, S., & Sigouin, A. (2017). Stakeholder analysis in environmental and conservation planning. *Lessons in Conservation*, 7, 5-16.
11. Weperen, E. (2013). A practical method for selecting stakeholders in local landscape planning for ecosystem services (MSc Thesis, Wageningen University, pp. 45).
12. Zečić, E., Anić, T., Džananović, A., & Vesnić-Smailagić, L. (2021). Preporuke za efikasno upravljanje zaštićenim područjima u Bosni i Hercegovini. In *Pripremljeno u okviru UNEP/GEF Projekta "Postizanje očuvanja biološke raznolikosti kroz uspostavljanje i efikasno upravljanje zaštićenim područjima i izgradnju kapaciteta za zaštitu prirode u Bosni i Hercegovini"* (pp. 167).

Radionica kao alat za podizanje svijesti o potrebi multidisciplinarnog pristupa problemima klimatskih promjena

Sajma Merdan

Sažetak: Ovaj rad istražuje efekte radionice kao alata za podizanje svijesti o potrebi multidisciplinarnog pristupa prilikom adresiranja tema koje se tiču klimatskih promjena. Fokus je na tri ključna sektora u Bosni i Hercegovini — energetika, saobraćaj i šumarstvo — od kojih svaki igra ključnu ulogu u dinamici klimatskih promjena. Sektor energije, koji se dominantno oslanja na ugalj, i dalje pridonosi lokalnom zagađivanju zraka i globalnim emisijama stakleničkih gasova. Saobraćajni sektor suočava se sa izazovima povezanim sa zastarjelom infrastrukturom i emisijama iz vozila, dok se sektor šumarstva bori sa prilagodbom ekstremnim klimatskim uslovima koji su posljedica sve većeg utjecaja globalnog zagrijavanja. Učesnice i učesnici radionice, prvenstveno mladi koji se pripremaju za ulazak na tržište rada, kroz participativni angažman, istraživali su sektorska rješenja i politike za suzbijanje klimatskih izazova i za prilagođavanje njima. Rezultati istraživanja naglašavaju važnost interdisciplinarne saradnje među stručnjacima i stručnjakinjama iz ekologije, inženjerstva, ekonomije i kreiranja politika za postizanje dugoročnih održivih rezultata. Uloga mladih stručnih osoba u ovom procesu ističe se kao ključna za pokretanje budućih inicijativa u borbi protiv klimatskih promjena.

Ključne riječi: *multidisciplinarni pristup, klimatske promjene, održivost, energijska efikasnost, angažman mladih*

1. SEKTOR ENERGIJE, SAOBRAĆAJA I ŠUMARSTVA U BOSNI I HERCEGOVINI

Tri glavna sektora koja su u fokusu ovog koncepta radionice za podizanje svijesti su sektori energije, saobraćaja i šumarstva. Sektor energije u Bosni i Hercegovini (BiH) oslanja se na nekoliko ključnih izvora energije koji imaju značajan utjecaj na klimatske promjene, uključujući elektrane na uglj, hidroelektrane i obnovljive izvore energije. Elektrane na uglj, koje su trenutno u pogonu, obično imaju zastarjele tehnologije koje ispuštaju velike količine zagađujućih materija i stakleničkih gasova, pridonoseći lokalnoj zagađenosti zraka i globalnom zagrijavanju. Hidroelektrane su značajne u proizvodnji električne energije na području BiH, ali njihova izgradnja i rad mogu imati značajan utjecaj na okolinu, uključujući promjene vodostaja rijeka i ekosistema. Potencijal za razvoj obnovljivih izvora energije, kao što su energija vjetra, solarna energija i biomasa, postoji u BiH. Međutim, njihov udio u ukupnom energetsom „miksi“ još uvijek je relativno mali. Sektor energije u BiH ima značajno negativan utjecaj na klimatske promjene zbog velikog udjela fosilnih goriva u energetsom „miksi“, gdje se posebno izdvaja učešće uglja (IRENA, 2023). Međutim, kao zemlja u razvoju, BiH nema kapacitete i organizacionu sposobnost za rješavanje složenih pitanja poput klimatskih promjena (United Nations, 1992). S obzirom na višestruku prirodu ovih izazova u rasponu od zastarjele infrastrukture i degradacije okoline do ekonomskih i društvenih implikacija, postalo je očito da je multidisciplinarni pristup neophodan. Ovaj pristup mora uključivati saradnju različitih zainteresiranih strana, uključujući državna tijela, privatni sektor, nevladine organizacije i naučnike i naučnice različitih profila, kako bi se razvila održiva rješenja. Integriranjem stručnog znanja iz oblasti kao što su nauke o zaštiti okoline, energijska politika, ekonomija i tehnologija, BiH može izgraditi kapacitete kojima će se bolje uhvatiti u koštac sa složenošću klimatskih promjena i implementirati efikasnije strategije za niskougljičnu budućnost.

Cestovna mreža u BiH spada među slabije razvijene u Evropi, što je jasno vidljivo iz podataka o gustoći cestovne mreže od 45 km/100 km², odnosno 5,7 km/1000 stanovnika, što je 2,5-4 puta manje nego u zapadnoevropskim zemljama. Trenutno u BiH ne postoje značajniji programi ili projekti usmjereni na smanjenje emisija u sektoru saobraćaja. Međutim, zakonodavstvo na državnom i entitetskom nivou u BiH u oblasti saobraćaja (npr. Zakon o osnovama sigurnosti prometa na cestama u BiH i drugi zakoni) i zaštite okoliša (zakoni o zaštiti zraka i prateći podzakonski akti) definiše okvire za uvoz, kupovinu i registraciju motornih vozila, homologaciju, kvalitetu goriva i obavezne godišnje preglede motornih vozila. Pored toga, zakonodavni okviri nameću obaveze nadležnim tijelima da spriječe vlasnike vozila da registruju vozila koja prekoračuju definisane pragove emisija. Dodatno, u Federaciji BiH (FBiH) vlasnici motornih vozila dužni su platiti posebnu naknadu prilikom registracije vozila ili tehničkog pregleda, ovisno o vrsti i obimu motora, vrsti goriva i starosti vozila. Navedene aktivnosti direktno ili indirektno doprinose smanjenju emisija CO₂ u sektoru saobraćaja. Očekuje se da će daljnja i nešto intenzivnija primjena EU direktiva, koje se odnose na smanjenje emisija, efikasnija motorna vozila i kvalitet goriva u saobraćajnom sektoru u BiH, doprinijeti smanjenju emisija zagađujućih materija. Poslove redovnog održavanja i izgradnje nove saobraćajne infrastrukture provode nadležne institucije (Bosnia and Herzegovina, 2016).

Kao posljedica globalnog zagrijavanja, očekuje se sve češća pojava klimatskih ekstrema koji ugrožavaju funkcionisanje šumskih ekosistema. Visoka genetička raznolikost određenih vrsta, a time i potencijal za različite sposobnosti tolerancije na klimatske promjene, ističe specifične vrste koje imaju prioritet u smislu kapaciteta za adaptacijom. Međutim, neophodno je procijeniti odgovor različitih vrsta, uz uobzirano geografsko porijeklo, na klimatske ekstreme i identifikovati odgovarajuće populacije ili ekotipove koji su bolje prilagodljivi projektovanim

klimatskim promjenama. Stanje sektora šumarstva u BiH pokazuje da su klimatske promjene prepoznate u strateškim dokumentima, ali još uvijek nedostaju konkretne mjere i njihova primjena u praksi. Strategija razvoja šumarstva Republike Srpske (RS) za period 2012.-2020. i Program očuvanja šumskih genetičkih resursa 2013.-2025. ističu značaj klimatskih promjena i potrebu očuvanja biodiverziteta. Međutim, u sektoru šumarstva nije došlo do značajnijih promjena, a mjere poput pojačanog pošumljavanja i zaštite od požara, bolesti i štetočina još uvijek se nedovoljno provode. Studija „Šume i klimatske promjene“ iz 2011. godine i nacionalni izvještaji ukazuju na potrebu jačanja kapaciteta i donošenja dodatnih strateških dokumenata kako bi se osiguralo da šume u BiH budu adekvatno prepoznate kao ključni faktor u suzbijanju posljedica klimatskih promjena. Trenutačno se sektorska strategija u ovom području kreće vrlo sporo i ne pridaje dovoljno značaja šumama u kontekstu klimatskih promjena (Bosnia and Herzegovina, 2016).

2. METODOLOGIJA

Radionice za podizanje svijesti, u kojima je neophodno posvećeno se baviti temama usko vezanim za kritična društvena pitanja, uspješno su pokazale svoju sposobnost motiviranja i promjene stavova učesnika (Caetano and Felgueiras, 2021). Ciljna grupa radionice sastojala se od 20 mladih ljudi, uglavnom studenata i studentica završnih godina studija, koji će uskoro biti spremni za ulazak na tržište rada. Izazov je bio približiti im njihovu potencijalnu ulogu u rješavanju problema vezanih za klimatske promjene, ali i kako kapaciteti koje posjeduju mogu postati izvor novih inicijativa. S tim ciljem, učesnice i učesnici radionice podijeljeni su u tri sektora: sektor energije, saobraćajni i šumarski sektor. U svakom su sektoru članicama i članovima dodijeljene sljedeće uloge: tehnički stručnjaci i stručnjakinje (inženjeri_ke), finansijski stručnjaci i stručnjakinje i donosioci i donositeljice odluka. Nakon što je svaki sektor odredio stručni sastav grupe, dobili su sljedeće zadatke:

- Analizirati, procijeniti i pregledati trenutno stanje svog sektora u BiH s aspekta utjecaja na klimatske promjene, okolinu, ljudsko zdravlje i biodiverzitet.
- Predložiti mjere prilagođavanja klimatskim promjenama i njihovog suzbijanja, koje se mogu provesti u njihovom sektoru na osnovu ekspertiza njihovog tima.

Tehnički stručnjaci i stručnjakinje posjeduju znanja i vještine za analizu trenutnog tehnološkog razvoja svog sektora. Koristeći kartografske prikaze BiH, grupa iz sektora energije može identificirati područja na kojima je moguće djelovati kroz predlaganje tehnoloških inovacija i rješenja za suzbijanje efekata klimatskih promjena, poput suša, toplotnih valova, poplava i sličnih pojava. Tehnički stručnjaci i stručnjakinje treba da objasne zašto predlažu primjenu određenog izvora energije u određenim regijama te kako njegova implementacija doprinosi ciljevima održivosti, energijske efikasnosti i zaštite okoliša. Ovo se ne treba posmatrati kao ograničenje, već kao smjernica, pri čemu su ohrabreni inovativni pristupi iz svake stručne oblasti.

Finansijski stručnjaci i stručnjakinje imaju zadatak kreirati finansijski plan koji će podržati daljnji razvoj dodijeljenog sektora unutar granica BiH. Njihov posao uključuje izradu različitih investicionih planova, analizu načina finansiranja projekata i razvoj plana za raspodjelu sredstava. Navedeni stručnjaci i stručnjakinje treba da identifiraju ključne projekte i inicijative za unapređivanje sektora u kojem djeluju, uključujući izgradnju novih postrojenja, modernizaciju postojeće infrastrukture, istraživanje i razvoj novih tehnologija te programe za poboljšanje efikasnosti. Pored toga, neophodno je da analiziraju različite metode finansiranja i kreiraju plan raspodjele sredstava koji osigurava efikasno korištenje dostupnih

resursa i optimizaciju povrata na investicije. Predložene metode finansiranja uključuju: samofinansiranje, kredite, javno finansiranje (kroz javne fondove, subvencije ili grantove od vlada na različitim nivoima – lokalnom, regionalnom, nacionalnom – ili od međunarodnih organizacija), privatno finansiranje (investicije privatnih investitora, korporacija, fondova privatnog kapitala) te model pod nazivom crowdfunding (prikupljanje sredstava od velikog broja ljudi putem online platformi, donacija u zamjenu za nagrade, vaučere i slično).

Osobe koje donose odluke odgovorne su za kreiranje ključnih politika i zakonodavnog okvira koji će oblikovati sektor unutar BiH u narednim godinama. Također, treba da razviju strategiju za dugoročni razvoj sektora kojim upravljaju, postavljajući jasne ciljeve za narednih 20 godina. Primjera radi, donosioci i donositeljice odluka mogu analizirati postojeće zakone koji regulišu funkcionisanje dodijeljenog sektora, ocijeniti koji su adekvatni, predložiti izmjene postojećih i usvajanje novih zakona. U prijedlozima politika fokus bi trebao biti na zakonima, regulativama i odlukama koje će se donositi, kao i na mjerama koje promovišu održivost, efikasnost i diverzifikaciju izvora energije u BiH. Strategija dugoročnog razvoja trebalo bi da uključuje jasne ciljeve i smjernice za razvoj sektora, uzimajući u obzir finansijski plan koji pokriva narednih 20 godina. Na primjer, u sektoru energije to bi moglo podrazumijevati postavljanje ciljeva za udjele različitih izvora energije u ukupnoj potrošnji, ciljeve smanjenja emisija, unapređivanje energijske efikasnosti i slične inicijative (Knežević i Suljić, 2012).

3. REZULTATI

Na posmatranom uzorku od 20 osoba, radionica je održana u pozitivnoj atmosferi, s interaktivnim pristupom i visoko motiviranim učesnicama i učesnicima. Svaka grupa dala je svoj jedinstveni doprinos, mišljenja i perspektive, dodatno oblikovane kroz njihovo učešće u programu Ljetne škole. Učesnice i učesnici iz sektora energije predložili su tranziciju s uglja na obnovljive izvore energije, fokusirajući se na energiju vjetra, Sunca i biomasu, uz naglasak na potrebu za tehnološkim inovacijama i finansijskim ulaganjima. Istaknuli su da je prirodni gas u BiH efikasan prelazni energent, te da bi obnovljivi izvori energije trebalo da budu geografski raspoređeni, kako bi se osigurala maksimalna energijska sigurnost, što je jedan od ključnih prioriteta pravedne energijske tranzicije. Pravedna energijska tranzicija podrazumijeva pristup postepenog prelaska sa fosilnih goriva na obnovljive izvore energije, koji osigurava ravnotežu između okolinskih ciljeva i socioekonomskih prava pojedinaca i zajednica. Grupa je pokazala inovativan pristup adresiranjem visokog rizika energijskog siromaštva u BiH, predlažući ozbiljne mjere za suzbijanje ove prijetnje.

Grupa iz sektora saobraćaja identificirala je ključne infrastrukturne izazove i zagovarala usvajanje standarda emisija Evropske unije radi značajnog smanjenja emisija CO₂. Jedna od predloženih mjera u ovom sektoru bila je uvođenje subvencija za osobe koje dijele prevoz u jednom vozilu. Na primjer, vozilo koje koristi četiri putnika moglo bi biti oslobođeno plaćanja putarina, čime bi se građanstvo potaknulo da smanji broj vožnji vozilom u kojem je samo jedna osoba.

S druge strane, grupa iz šumarskog sektora snažno je naglasila važnost pošumljavanja kao ključnog alata za suzbijanje klimatskih promjena. Predložili su projekte masovnog pošumljavanja s ciljem obnove šumskih područja, povećanja šumske pokrivenosti i jačanja kapaciteta za sekvestraciju ugljika. Grupa je također preporučila zaštitu biodiverziteta davanjem prioriteta autohtonim vrstama te primjenu tehnika adaptivnog upravljanja kao odgovore na klimatske prijetnje poput požara, štetočina i bolesti. Naglasili su da ove mjere

ne samo da pomažu u borbi protiv klimatskih promjena već i čuvaju okolinsku ravnotežu te promiču dugoročnu održivost šumskih ekosistema.

Tokom radionice, učesnice i učesnici su podstaknuti na konstruktivan dijalog, što je dovelo do zaključka da stručne osobe u svojim oblastima ne mogu donijeti značajne promjene sami; saradnja među različitim akterima i stručnjacima i stručnjakinjama je ključna za uspješno rješavanje izazova većih razmjera. Mladi ljudi su pokretači promjena, unoseći svježinu i energiju za nove perspektive. Pozitivni rezultati ove radionice naglašavaju njen potencijal kao modela koji se može replicirati u drugim regijama koje se suočavaju s izazovima klimatskih promjena.

LITERATURA

1. *Bosnia and Herzegovina. (2016). Third national communication and second biennial update report on greenhouse gas emissions of Bosnia and Herzegovina under the United Nations Framework Convention on Climate Change.*
2. *Caetano, N., Felgueiras, C. (2021). Teaching sustainable development in higher education: Changing attitudes in a digital era. Proceedings of the ACM on Human-Computer Interaction, 5, 1-19. <https://doi.org/10.1145/3486011.3486557>*
3. *International Renewable Energy Agency (IRENA). (2023). Renewables readiness assessment: Bosnia and Herzegovina. International Renewable Energy Agency. <https://www.irena.org>*
4. *Knežević, A., Suljic, V. (2012). Adaptacija klimatskim promjenama u Bosni i Hercegovini / Climate change adaptation in Bosnia and Herzegovina. <https://doi.org/10.5644/proc.bd-01.18>*
5. *United Nations. (1992). Paris Agreement. United Nations Framework Convention on Climate Change. https://unfccc.int/sites/default/files/english_paris_agreement.pdf*

Utisci nakon Ljetne škole “Klimatske promjene i zagađenje zraka”

Ljetna škola “Klimatske promjene i zagađenje zraka” donijela je izvanrednu priliku za edukaciju, povezivanje i razmjenu znanja među mladim stručnim osobama, naučnicima i naučnicama i aktivistima i aktivistkinjama, koje se bave klimatskim promjenama i zagađenjem zraka. Kao organizatori i učesnici svjedočili smo važnosti stvaranja platformi koje omogućavaju dubinsko razumijevanje ovih složenih tema, kroz teorijske osnove i praktične vještine.

*Škola je pružila temelje za daljnje djelovanje, ne samo kroz stjecanje znanja već i kroz podizanje svijesti o hitnosti klimatskih akcija. Učesnici su imali priliku sagledati globalne izazove kroz lokalnu prizmu, što im je omogućilo da identificiraju specifične probleme i potencijalna rješenja unutar svojih zajednica. S obzirom na različite perspektive koje su donijeli učesnici iz različitih zemalja i disciplina, Škola je pokazala moć **multidisciplinarnih i transdisciplinarnih pristupa** u rješavanju klimatskih promjena.*

Razmišljajući o onome što je postignuto, uvjereni smo da je ova Škola doprinijela stvaranju novih lidera i liderica na polju zaštite okoliša i klimatskih akcija. Njihova posvećenost, angažman i sposobnost da se nose sa izazovima su od najveće važnosti za budućnost borbe protiv klimatskih promjena i zagađenja zraka.

U budućnosti planiramo proširiti ovaj projekat kroz organizaciju novih škola i radionica, sa naglaskom na primjenu održivih tehnologija i praktičnih rješenja. Poseban fokus ćemo staviti na osnaživanje lokalnih zajednica, podršku inovacijama i podsticanje zajedničkih akcija na regionalnom i globalnom nivou. Također, radit ćemo na izgradnji mreža i programâ, koji će omogućiti da znanje stečeno u ovoj Školi nastavi rasti i djelovati kroz projekte i inicijative koje će učenici i učenice razvijati.

Na kraju, Ljetna škola “Klimatske promjene i zagađenje zraka” pokazala je da su obrazovanje i saradnja ključ budućnosti zasnovane na održivosti i poštovanju prirode. Vjerujemo da ćemo sa svakom novom generacijom mladih lidera i liderica biti bliže cilju održive i pravedne budućnosti za sve nas.

Autori



Grupna fotografija učesnica i učesnika Ljetne škole “Klimatske promjene i zagađenje zraka”, juli 2024.

“Učešće na Ljetnoj školi ‘Klimatske promjene i zagađenje zraka’, u organizaciji Centra za interdisciplinarnu studiju ‘Prof. dr. Zdravko Grebo’ Univerziteta u Sarajevu, pružilo je jedinstvenu priliku za produbljivanje znanja i razmjenu iskustava o temama vezanim za okoliš i klimatske promjene. Ova Ljetna škola ponudila je mogućnost povezivanja različitih univerzitetskih profesora, studenata i učenika koji dijele zajednički cilj - smanjenje zagađenja i prilagođavanje klimatskim promjenama. Kroz sveobuhvatne prezentacije specifičnih tema i njihovog utjecaja na ljudski život, Ljetna škola je pomogla proširiti razumijevanje izazova koje predstavljaju zagađenje zraka i klimatske promjene. Ljetna škola ne samo da je inspirisala nove ideje već je pružila i priliku za istraživanje potencijalnih rješenja kroz multidisciplinarnu saradnju i diskusije, što može doprinijeti boljoj budućnosti. Vjerujem da će znanje stečeno kroz predavanja, radionice i dostupne online materijale biti od velike važnosti u podizanju svijesti, ne samo među učesnicima već i unutar šireg društva, o zagađenju okoliša i klimatskim promjenama.”

Prof. dr. Ermin Muharemović

“U vrijeme kada su Bosna i Hercegovina i njeni gradovi na vrhu liste najzagađenijih zemalja/ gradova na svijetu, inicijativa za pokretanje projekta Ljetne škole koji se bavi pitanjem klimatskih promjena i zagađenja zraka je od velikog značaja. Posebno je zanimljiva interdisciplinarna struktura Ljetne škole u kojoj učesnice i učesnici (srednjoškolska i studentska populacija iz cijele Bosne i Hercegovine) prolaze kroz dobro osmišljene tematske cjeline, u kojima stručne osobe iz različitih naučnih i stručnih oblasti predstavljaju svoja znanja i iskustva. Bila mi je čast da kao redovna profesorica farmakologije i toksikologije, s iskustvom u provođenju istraživanja u području kvaliteta zraka u zatvorenom prostoru u osnovnim školama, podijelim svoje znanje i potencijalne perspektive. Sinteza radoznalosti učesnica i učesnika i iskustva predavača i predavačica može na ovaj način rezultirati novim inicijativama u ovoj oblasti, kao i rješenjima problema. U budućnosti, ovaj projekat bi trebalo proširiti na regionalni i širi nivo.”

Prof.dr Aida Ćesić-Kulo

“Učešće u Ljetnoj školi ‘Klimatske promjene i zagađenje zraka’ bilo je izuzetno inspirativno iskustvo. Imala sam priliku podijeliti svoje znanje kroz predavanje o analizi sudionika u očuvanju prirode i klimatskim promjenama, koristeći Interest-Power Grid. Bilo je nevjerovatno vidjeti motivaciju i entuzijizam mladih učesnica i učesnika, koje i su pokazale i izvrsno razumijevanje složenih ekoloških problema sa kojima se danas suočavamo. Njihova spremnost

da preuzmu aktivnu ulogu u očuvanju okoliša i rješavanju klimatskih izazova daje mi nadu za budućnost. Ovaj program ne samo da pruža vrijedno znanje već gradi mrežu mladih lidera i liderica, tj. osoba koje će pokretati promjene u godinama koje dolaze.”

Belma Nahić, nezavisna stručnjakinja

“Složenost klimatskih promjena i njihov utjecaj na zagađenje zraka može se posmatrati samo na interdisciplinarni način. Najveća vrijednost Ljetne škole leži u ovom pristupu, gdje su različiti aspekti predstavljeni od stručnih osoba iz različitih oblasti. Ljetna škola mi je omogućila da proširim svoje razumijevanje i preispitam postojeće stavove, gledajući na klimatske promjene iz drugačije perspektive. Globalni problemi zahtijevaju široke pristupe, a ova Škola nas je naučila kako ih pretvoriti u konkretne akcije.”

Mirza Selimović, student

“Ljetna škola o klimatskim promjenama i zagađenju zraka, održana u Centru za interdisciplinarnu studije, dala nam je uvid u trenutnu situaciju globalnih problema i pružila priliku da shvatimo kako mi, kao mladi ljudi, možemo doprinijeti zdravlju i budućnosti naše planete. Tokom pet dana intenzivnog rada slušali smo predavanja 12 stručnjaka i stručnjakinja o klimatskim promjenama sa različitih aspekata. Dakle, vidjeli smo važnost interdisciplinarnog pristupa problemu. Pored stečenog znanja, vidjeli smo i neposrednu opasnost koju predstavljaju klimatske promjene, te ćemo stoga nastojati djelovati i širiti znanje među mladom populacijom u bliskoj budućnosti.”

Tina Tadić, studentica

“Pohađanje Ljetne škole bilo je istinski transformativno iskustvo. Kao mlada osoba koja je već duboko uključena u klimatske akcije, posebno kroz moje učešće u Lokalnoj konferenciji mladih (LCOY) za klimatske akcije u Bosni i Hercegovini i moje zagovaračke napore na COP28 u Dubaiju kao predstavnice mladih Bosne i Hercegovine, ova Ljetna škola ponudila je jedinstvenu priliku da produbim svoje razumijevanje i proširim svoju perspektivu na izazove s kojima se suočavamo. Fokus programa na klimatske promjene i zagađenje zraka bio je posebno relevantan, s obzirom na goruća pitanja zaštite okoliša u Bosni i Hercegovini. Kombinacija teorije i prakse na predavanjima i radionicama pomogla mi je da shvatim složenost ovih pitanja i na lokalnom i na globalnom nivou. Od naučnih objašnjenja klimatskih procesa do rasprava o implikacijama na javno zdravlje, posebno u vezi sa zagađenjem zraka, imam vrijedne uvide u višestruku prirodu klimatskih promjena, što je dodatno potaknulo moju strast za zagovaračkim angažmanom u vezi s ovom temom. Jedan od najznačajnijih zaključaka za mene je bilo razumijevanje specifičnih utjecaja zagađenja zraka na ranjive populacije u našoj zemlji - posebno na djecu i trudnice - što je usko vezano za moja prethodna istraživanja o zdravlju majki i klimatskim promjenama u Bosni i Hercegovini. Ono što je ovu Ljetnu školu zaista izdvojilo bio je praktičan pristup. Ne samo da smo raspravljali o nauci, koja stoji iza klimatskih promjena, već smo se uključili i u praktične vježbe, kao što je procjena podataka o praćenju kvaliteta zraka i rasprava o stvarnim političkim rješenjima koja bi mogla ublažiti efekte zagađenja u našim zajednicama. Bilo je nevjerovatno osnažujuće primijeniti naučeno iz mojih prethodnih angažmana na ove rasprave i osjećati da su moji doprinosi cijenjeni. Sve u svemu, ovo iskustvo nije me samo obogatilo na akademskom nivou već i na ličnom. To je ojačalo moju posvećenost radu na održivoj i pravednoj tranziciji za Bosnu i Hercegovinu, gdje su glasovi mladih osoba, poput mene, ključni u oblikovanju budućnosti. Ljetna škola je potvrdila da kroz razmjenu znanja, saradnju i akciju možemo napraviti značajne korake ka rješavanju klimatske krize - i lokalno i globalno.”

Layla Jusko, studentica

Za više informacija o ljetnoj školi

“Klimatske promjene i zagađenje zraka”

