



Funded by the
European Union

ZAGAĐENJE I KVALITET ZRAKA 1

Doc.dr. Damir Spago
Univerzitet Džemal Bijedić u Mostaru
Mašinski fakultet

Inženjerstvo zaštite okoliša

"Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them."

**Partnership for Promotion and Popularization of Electrical Mobility through
Transformation and Modernization of WB HEIs Study Programs/PELMOB**

Call: ERASMUS-EDU-2022-CBHE-STRAND-2

Project Number: 101082860

TERMINOLOGIJA

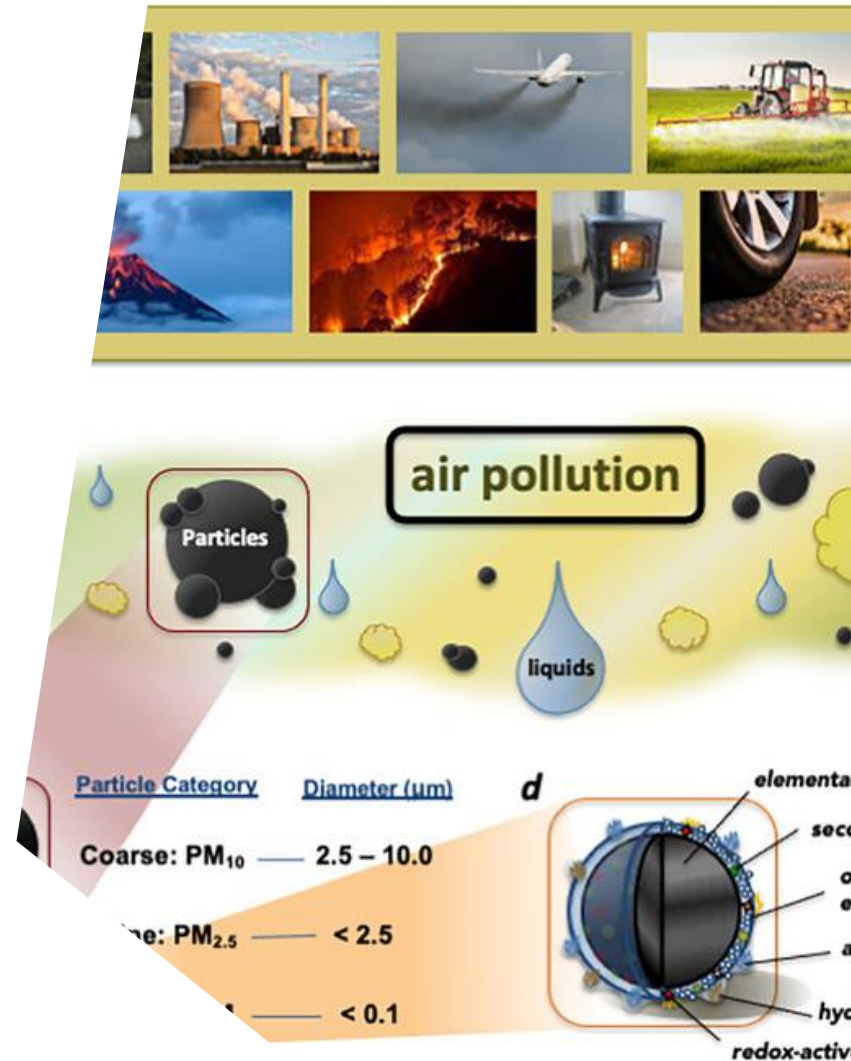
- Zagađujuća materija, polutant (engl. pollutant): materije antropogenog porijekla koje mogu izazvati zagađenost zraka. Razlikuju se primarni (u obliku kako su emitovani, CO, CO₂, SO₂, NO_x) i sekundarni (nastali hemijskim reakcijama u atmosferi PAN, HC, O₃) polutanti. Napomena: ne može se govoriti o štetnim materijama, jer se radi o prirodnim materijama koje stoga ne mogu biti štetne, štetne su povišene koncentracije tih materija.
- Zagađivanje, emitovanje (engl. emission, release): ispuštanje zagađujućih materija iz izvora.
- Zagađenost, kvalitet zraka (engl. air quality): Prizemne koncentracije zagađujućih materija. Napomena: u struci se, mada se često može naći, ne koristi termin „zagađenje“.
- Rasprostiranje zagađujućih materija (engl. disperzion of air pollutants): Nakon napuštanja izvora emisije dolazi do rasprostiranja zagađujućih materija, pri čemu dolazi do razblaživanja koncentracija.
- Depozicija zagađujućih materija (engl. deposition of air pollutants): Taloženje primarnih i sekundanih zagađujućih materija iz atmosfere na tlo ili vode. Može biti suha (npr. sulfati) ili mokra (ispiranje kišom gasovitih spojeva iz oblaka ili depozicija gasovitih spojeva iz samog oblaka).

- Granične vrijednosti emisije (zagađivanja) (engl. emission limit values): donose se na bazi tehno-ekonomskih kriterija; traži se praćenje tehnologija uz razumne troškove. Granične vrijednosti emisije i granične vrijednosti kvaliteta zraka – osnovne poluge u menadžmentu kvaliteta zrak.
- Karakteristike kvaliteta ambijentalnog zraka (engl. characteristics of ambient air quality): (i) godišnja raspodjela vrijednosti i (ii) pojava epizoda povećane zagađenosti zraka.
- Godišnja raspodjela vrijednosti kvaliteta zraka (engl. annual distribution of air quality values): Distribucija je u pravilu normalna logaritamska raspodjela koja se definiše preko aritmetičke sredine (indikator dugotrajnog djelovanja) i nekog visokog percentila (indikator djelovanja visokih koncentracija). Statističko vrednovanje kvaliteta zraka omogućuje poređenje vrijednosti jedne ili više mjernih stanica u toku više godina ili poređenje više lokacija među sobom.
- Epizode povećane zagađenosti zraka (engl. episodes of poor air quality): periodi kada su zbog veoma stabilne atmosfere (pojava temperaturne inverzije) značajno prekoračene granične vrijednosti kvaliteta zraka. Epizode sa trajanjem duže od pet dana su posebno značajne sa aspekta djelovanja na zdravlje.
- Ekspozicija (izloženost) (engl. exposure): izlaganje stanovništva, ekosistema i materijala zagađenom zraku.
- Izvori emisije (engl. emission sources): (i) pojedinačni (kada emisija iz jednog izvora premašuje neku zadanu vrijednost (na pr. 1 ili 2 %) emisije datog područja, (ii) površinski (emisija iz malih tehnoloških i energijskih izvora, domaćinstava i saobraćaja u mreži) i (iii) linijski (emisija od saobraćaja na frekventnim saobraćajnicama).
- Zagađujuće materije iz ložišta (engl. combustion air pollutants): (i) produkti nepotpunog sagorijevanja (čad, ugljen-monoksid, ugljikovodici), (ii) produkti zavisni od kombinacije gorivo-ložište (sumporni i azotni oksidi i dr.) i (iii) čvrste čestice (leteći pepeo i leteći koks izneseni iz ložišta velike snage, ili čvrste čestice iz industrijskih procesa). Napomena: ugljen dioksid nije zagađujuća materija nego staklenički gas (gas sa efektom staklene bašte).

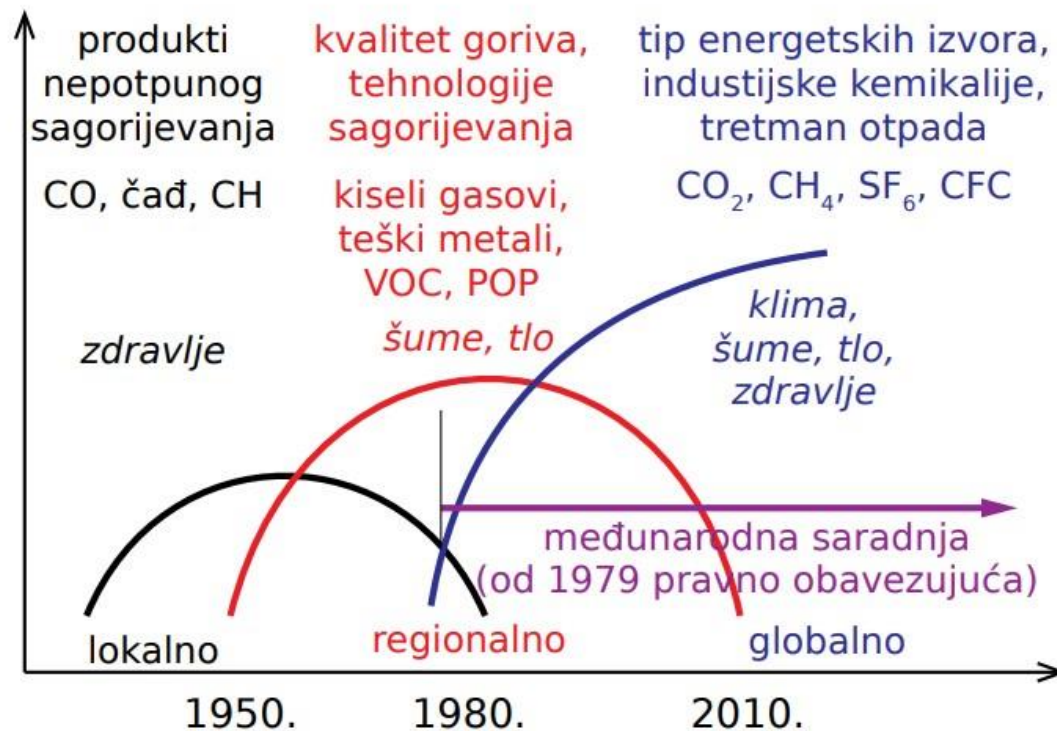
- Registar emisija (engl. emission registry): popis pravnih lica, operatora postrojenja, koja imaju emisije iznad neke vrijednosti; pored podataka o pravnom licu sadrži i podatke o izvorima emisije. Bilans emisija (engl. emission balance): godišnja veličina emisija datih polutanata na datom području. Katastar emisija (engl. emission inventory): prikaz veličina emisija datog područja data u mreži kvadranta (u gradovima veličine 500x500 ili 1.000x1.000 m).
- Disperzioni (atmosferski) model (engl. dispersion model): simulacija rasprostiranja zagađujućih materija za date veličine emisija i uslove emitovanja primjenom matematskih ili fizičkih modela. Model se primjenjuje za meteorološke podatke za niz godina.
- Monitoring kvaliteta zraka (engl. air quality monitoring): sistem praćenja kvaliteta zraka u datoj sredini. Podaci mogu biti generisani proračunom, mjerenjem ili kombinovano. Proračun se vrši na bazi katastra emisije primjenom disperzionog modela. Mjerenje se vrši uz pomoć mjernih stanica gdje se vrši uzorkovanje zraka. Obrada uzoraka može biti u laboratoriji ili automatska u samoj mjernoj stanici. Kombinovani sistem podrazumijeva proračun rasprostiranja, te kalibriranje modela na bazi izmjerenih podataka. Razlikuju se: (i) monitoring u realnom vremenu (za potrebe praćenje epizoda i reagovanja) i (ii) monitoring u integrisanom vremenu (za potrebe godišnjeg niza statističkih podataka vrijednosti kvaliteta zraka). Monitoring služi za prognoziranje kvaliteta zraka za slučaj da se poduzimaju mjere za smanjenje emisije ili za planiranje razvoja. Služi i za ocjenu efekata poduzetih mjera na smanjenju zagađivanja. Ocjena kvaliteta zraka se može dobiti i primjenom bioindikatora, najčešće prisustvom lišaja. [1]

PARAMETRI I GLAVNE ZAGAĐUJUĆE MATERIJE

- Kvalitet zraka je određen ambijentalnim uslovima poput toplotnog komfora, vlažnosti zraka, osvjetljenja i buke, te polutantima poput čestica (PM – particle matter), gasovima poput karbon dioksida CO₂, karbon monoksida CO, Sumpor dioksida SO₂, Azotnih oksida NO_x, CFC, hlapljivih jedinjenja – VOC, formaldehida HCHO itd.
- Loš kvalitet zraka u zatvorenim prostorijama ima brojne negativne efekte na zdravlje uopšte, a posebno na respiratorni sistem, kognitivne sposobnosti posebno kod djece zbog prisustva specifičnih zagađivača zraka iz različitih izvora, itd...



PROBLEMATIKA



Tri generacije problematike - Knežević 2005.god. (Kvalitet zraka, knjiga Husika i ostali [1])

Karbon monoksid CO

- gas bez boje, mirisa i ukusa
- Proizvod nepotpunog sagorijevanja ugljenih goriva, pri čemu se umjesto CO₂ dobija CO
- 70% svih CO dolazi iz sektora transporta, npr. vozila
- negativno utiče na zdravlje ljudi, zamjenjujući kiseonik u krvotoku



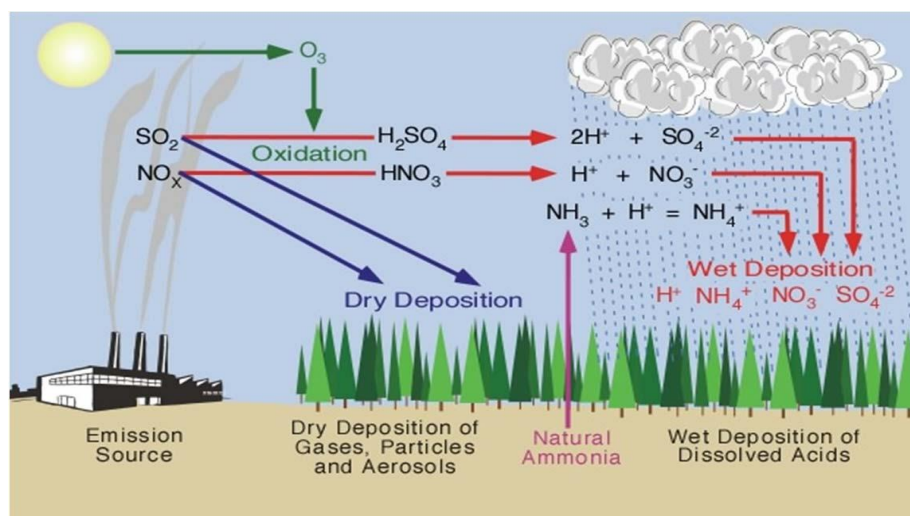
Dušikovi oksidi (NO_x)

- oksidi gasovitog azota: NO (dušikov oksid), NO₂ (dušikov dioksid)
- -NO_x nastaju tokom sagorjevanja fosilnih goriva (nafta, ugalj, drvo, gas)
- većina emisija NO_x je u obliku NO koji brzo oksidira u NO₂ u prisustvu O₂ ili O₃ ($2\text{NO} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{NO}_2$; $\text{NO} + \text{O}_3 \rightarrow \text{NO}_2 + \text{O}_2$)
- NO₂ je teži od vazduha i rastvorljiv u vodi i može:
- -disocirati na NO ili dalje oksidirati u HNO₃ ili HNO₂
- -reaguje sa organskim jedinjenjima (VOC) i proizvodi PAN
- -reaguju sa HC u prisustvu sunčeve svjetlosti i stvara smog
- **NO₂ → respiratorni problemi**
- **NO, NO₂ → smog → plućne, bronhijalne bolesti**
- **PAN → iritacija oka**
- **O₃ → respiratorni efekti, inhibirajući prinos useva**
- **NO₂ se odnose na mobilne (40-70%) i stacionarne izvore**

Oksidi sumpora (SO₂)

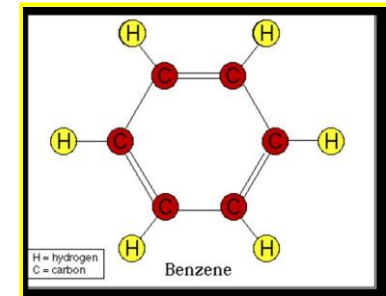
- SO₂ proizvod sagorjevanja fosilnih goriva (obično nafte i uglja)
- dominantna gasovita emisija: SO₂
- čestice sulfata SO₂- nalaze se u obliku vlažnog ili suhog taloženja
- vlažne kapljice kisele kiše (H₂SO₄), PH < 5,5
- SO₂ negativan utjecaj na ljude i biljke
- funkcionisanje bronha, rast šuma je inhibiran

- Emisije sumpornih oksida (SO_2), azotnih oksida (NO_x) i HC iz industrije, transporta, domaćinstava, proizvodnje energije, pretvaraju se u atmosferi u sulfatne ili nitratne čestice
- U kombinaciji sa sunčevom svjetlošću i vodenom parom nastaju hemijske reakcije odnosno sumporna ili dušična kiselina. Ove kiseline se vraćaju u zemlju kao rosa, kiša, magla, susnežica, snijeg ili kiša
- Normalna “čista” kišnica ima $\text{PH} \approx 5,7$



Hlapljiva organska jedinjenja (VOC)

- Oorganski zagađivači zraka uključuju HC i druge tvari
- mnogi su reaktivni (isključujući metan CH₄) u zračnom okruženju i imaju značajne implikacije na okoliš i zdravlje
- najzastupljeniji HC je metan (koncentracije u okruženju: 1-6 ppm)
- manje zastupljeni, ali reaktivniji VOC:
- – benzen (C₆H₆), CFC (hlorofluorouglenici) itd.
- nadražuju oči, grlo, pluća; inhibiraju rast biljaka
- 27% od drumskog saobraćaja



Proračun emisija u zrak

- Proračun emisija u zrak zagađujućih materija može se vršiti korištenjem sljedećih metodologija:
- *izračunavanje godišnjih emisija na osnovu kontinuiranog praćenja;*
- *proračun godišnjih emisija sumpordioksida na osnovu materijalnog bilansa procesa udjela sumpora u gorivu;*
- *izračunavanje godišnjih emisija na osnovu pojedinačnih godišnjih mjerenja;*
- *proračun emisija na osnovu faktora emisije.*

- b) Ukoliko na postrojenju nije instaliran automatski sistem za kontinuirani monitoring protoka dimnih gasova, ili ukoliko ne postoje validni podaci, tada se godišnja emisija u zrak može izračunati na osnovu jednačine:

$$E = \frac{Q \cdot c}{1.000.000} \left[\frac{kg}{a} \right]$$

gdje je:

- E [kg/a] – godišnja emisija u zrak;
- Q [mn³/a] – ukupna ispuštena količina dimnih gasova u toku obračunske godine, preračunata na normalne uslove (P=101,3 kPa i T=273,15 K) i referentni kisik;
- c [mg/mn³] – prosječna koncentracija zagađujuće materije u suhim dimnim gasovima, preračunata na normalne uslove i referentni kisik, izmjerena u razdoblju od godine dana, ili u slučaju kvarova, održavanja, ostalih prekida rada, prosječna koncentracija zagađujuće materije u suhim dimnim gasovima za kompletan period za koji postoje validni podaci.

- Ukupna ispuštena količina dimnih gasova, preračunata na normalne uslove i na referentni kisik, računa se po sljedećoj formuli:

$$Q = B \cdot V_{RS} \left[\frac{m_n^3}{a} \right]$$

gdje je:

- B [(kg/a) za čvrsta i tečna i (m³/a) za gasovita goriva] – ukupna količina potrošenog goriva u toku obračunske godine
- VRS [(m³/kg) za čvrsta i tečna i (m³/m³) za gasovita goriva] – jedinična količina suhih dimnih gasova, preračunata na normalne uslove i referentni kisik, koja nastaje sagorijevanjem jednog kilograma čvrstog ili tečnog goriva, ili jednog kubnog metra gasovitog goriva.

- Jedinična količina suhих dimnih gasova VRS, zavisi od donje toplotne moći goriva H_d (MJ/kg) i faktora dimnih gasova S [m³/MJ]:

$$V_{RS} = H_d \cdot S \left[\frac{m_n^3}{kg} \text{ ili } \frac{m_n^3}{m^3} \right]$$

- Faktor dimnih gasova S pokazuje kolika se količina suhих dimnih gasova stvara po jedinici toplotne moći goriva. U tabeli je prikazan faktor dimnih gasova S , za različita goriva i za različite vrijednosti referentnog udjela kisika u suhim dimnim gasovima

	Faktor dimnih gasova S (m ³ /MJ)								
Referentni kisik (%)	0	3	6	7	10	11	13	15	17
Čvrsto gorivo	0,256	0,299	0,359	0,385	0,491	0,540	0,677	0,907	1,372
Tečno gorivo	0,244	0,285	0,342	0,367	0,468	0,515	0,646	0,864	1,308
Gasovito gorivo	0,240	0,280	0,337	0,361	0,460	0,507	0,635	0,850	1,286

Izračunavanje godišnjih emisija sumpordioksida na osnovu osnovu udjela sumpora u gorivu (bilansa tvari)

- Proračun godišnjih emisija metodom bilansa tvari se može vršiti samo za zagađujuću materiju sumpor dioksid. Proračun emisije sumpor dioksida pomoću ove metode se računa prema:

$$E = 2 \cdot B \cdot \bar{w}(s) \cdot (1 - \eta_{od}) \left[\frac{kg_{SO_2}}{a} \right]$$

- gdje je:
- 2 – stehiometrijski omjer molekularnih masa SO₂/S (64/32=2);
- B [kg/a] – ukupna količina potrošenog goriva u toku obračunske godine;
- w(s)- srednji ponderirani maseni udio sumpora u gorivu;
- η_{od} - stepen djelovanja postrojenja za odsumporavanja dimnih gasova od 0 do 1 (ukoliko nije instalirano nikakvo postrojenje za odsumporavanje η_{od}=0);

- Srednji ponderirani maseni udio sumpora u gorivu $w(s)$ se računa na osnovu jednačine:

$$\bar{w}(S) = \frac{w_1(S) \cdot B_1 + w_2(S) \cdot B_2 + \dots + w_n(S) \cdot B_n}{B_1 + B_2 + \dots + B_n}$$

- gdje je: B_1, B_2, \dots, B_n - količina utrošenog goriva u jednoj pošiljci (šarži) goriva (kg) $w_1(S), w_2(S), w_n(S)$ - maseni udio ukupnog sumpora u gorivu u jednoj pošiljci (šarži) goriva.
- Za primjenu ove metode potrebno je posjedovati sljedeće podatke:
- Ukupna potrošnju energenata za period za koji se vrši proračun emisije, po svakom izvoru emisije, ukoliko ih ima više;
- Količinu goriva i hemijsku analizu goriva od svake pošiljke goriva (šarže), u toku posmatrane godine, iz kojeg je vidljiv udio ukupnog sumpora u gorivu (ne u suhoj tvari);
- Pojedinačna potrošnju goriva iz svake pošiljke za svaki izvor emisija.

Izračunavanje emisija u zrak na osnovu koeficijenata emisije

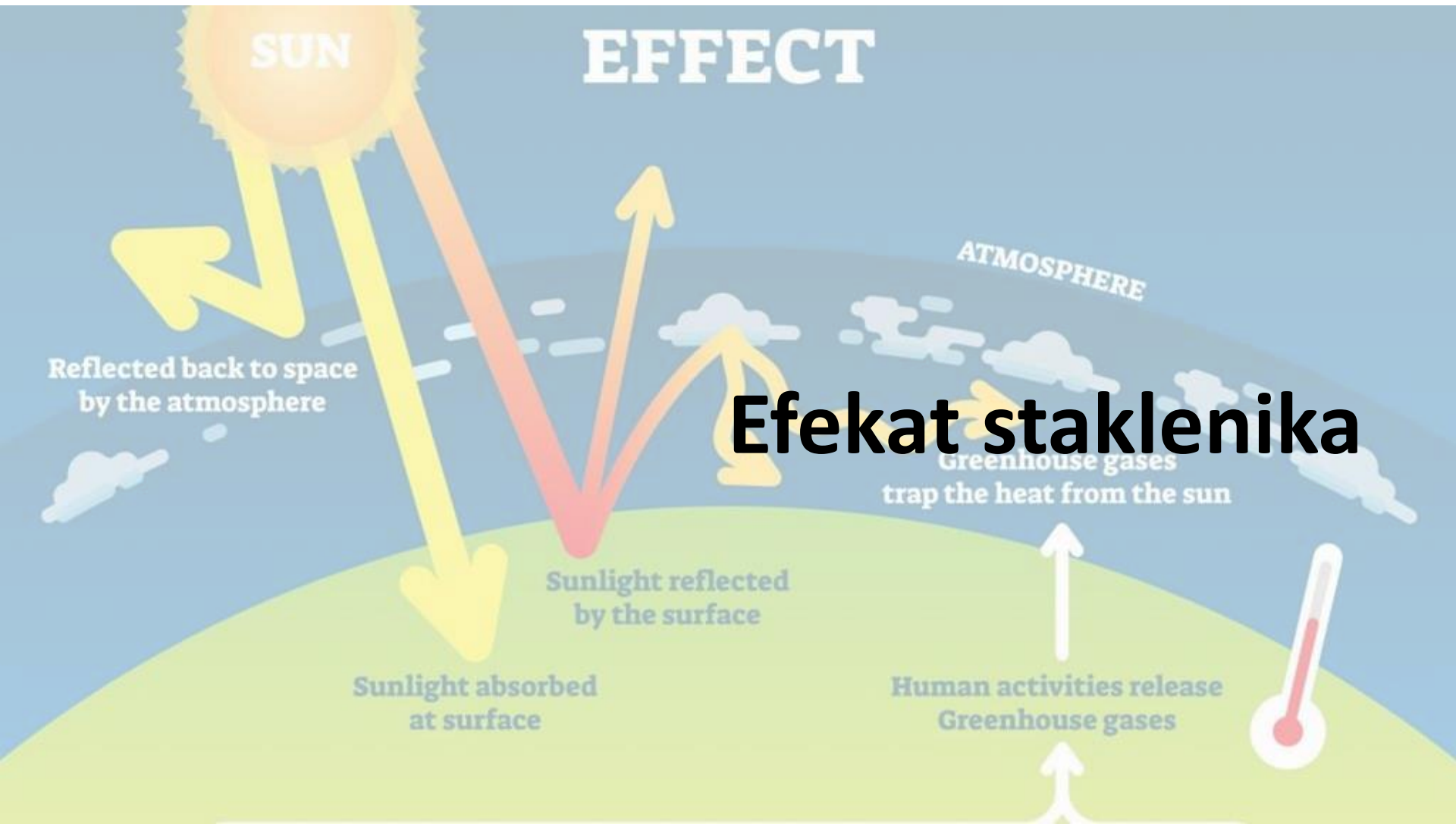
- Na osnovu ove metode proračun emisija u zrak se vrši na osnovu jednačine:

$$E = \frac{B \cdot Hd \cdot EF}{1.000.000} \left[\frac{kg}{a} \right]$$

- gdje je:
- B (kg/a za čvrsta i tečna i m³/a za gasovita goriva) – ukupna količina potrošenog goriva u toku godine;
- Hd (MJ/kg za čvrsta i tečna ili MJ/m³ za gasovita goriva) – donja toplotna moć goriva;
- EF - (g/GJ) – faktor emisije NO_x ili čvrstih čestica koji zavisi od vrste goriva i postrojenja i može biti na graničnim vrijednostima.

- Primjer vrijednosti koeficijenta emisije baziranih na graničnim vrijednostima za azotne okside i čvrste čestice (ČČ) su dati u tabeli

Postrojenje	Snaga (MWth)	gorivo	Faktor emisije	
			NOx (g/GJ)	ČČ (g/GJ)
mala postrojenja	≤ 1	Čvrsta goriva	143,60	53,85
		Ekstra lako lož ulje		8,55
	≤ 5	Lako lož ulje	128,25	14,25
		Srednje i teško lož ulje		17,10
srednja postrojenja	≤ 10	Gasovita goriva	35,00	0,00
	od 1 do 50	Čvrsta goriva	143,60	17,95
		Ekstra lako lož ulje		8,55
	od 5 do 50	Lako lož ulje	99,80	14,25
		Srednje i teško lož ulje		17,10
od 10 do 50	Gasovita goriva	28,00	0,00	

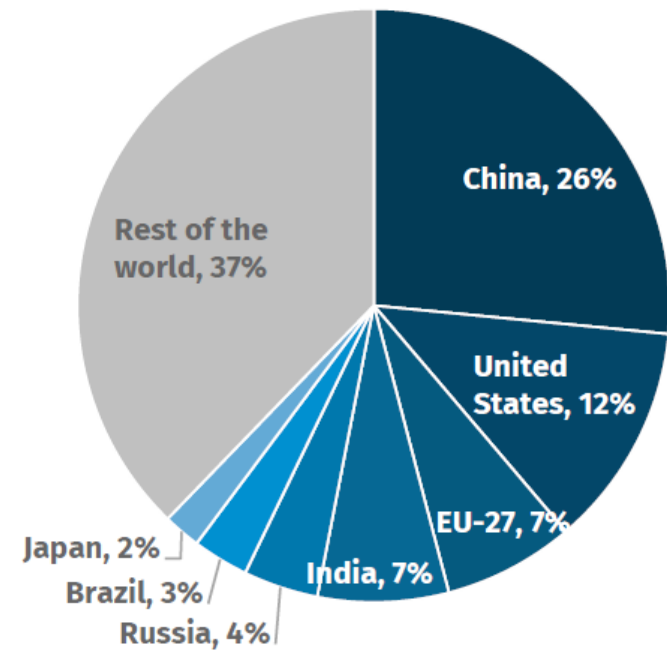


GHG Emisije i carbon footprint

- GAS GWP
- CO2 1
- CH4 21
- N2O 310
- HFC-23 12000
- HFC-32 2100
- SF6 22300
-

E 3

net GHG emissions from the world's largest emitters
percent share of global total



Rhodium Group

Specifične emisije ugljen dioksida

Emisije karbon dioksida (CO₂) mogu se podijeliti na direktne i indirektne. Prilikom proračuna direktnih emisija plina CO₂ moguće je koristiti ili potrošenu godišnju masu energenta ili dobijenu korisnu energiju koja se množi s faktorom emisija definisanim za svaki energent. Formula za proračun direktnih emisija glasi:

$$E_D = k \cdot M$$

gdje je:

E_D – ukupne direktne emisije karbon dioksida [kg CO₂/god.],

k – faktor emisije goriva [kg CO₂/kWh],

M – ulazna energija u gorivu [kWh/god.].

kg CO₂ / GJ

natural gas	56
petrol	69
kerosene	72
diesel	74
heavy fuel oil	77
lignite	95
coal	96
biomass	0 (in LC)
hydro	0
wind	0

- Prilikom proračuna indirektnih emisija CO₂ koje se koriste za proračun emisija vezanih za potrošnju električne energije, koristi se formula:
- $E_{ID.} = k \cdot N$
- gdje je:
- k – koeficijent električne mreže za gas CO₂ [$k=0,726$ kg CO₂/kWh za BiH],
- N – potrošnja električne energije [kWh/god.].

Energent	Koeficijenti emisija CO ₂	
	Po energijskoj jedinici goriva [kg CO ₂ /kWh]	Po jedinici korisne toplote [kg CO ₂ /kWh]
Ekstra lako lož ulje	0,26	0,32
Lož ulje	0,27	0,33
Ukapljeni gas	0,20	0,26
Kameni ugalj	0,33	0,44
Mrki ugalj	0,33	0,44
Lignit	0,35	0,47
Prirodni plin	0,2	0,24

Ekstra lako i lako ulje su grupisani u Ekstra lako lož ulje, dok su srednje i teško ulje grupisani u Lož ulje

Welcome to Mostar



www.unmo.ba
international@unmo.ba