

# Gaussov model disperzije tvari u proizvodnji cementa

---

Đurinec Ter, Lidija

Undergraduate thesis / Završni rad

2017

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University North / Sveučilište Sjever**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:122:838904>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-09**



Repository / Repozitorij:

[University North Digital Repository](#)





Završni rad broj: 294/GR/2017

## **GAUSSOV MODEL DISPERSIJE TVARI U PROIZVODNJI CEMENTA**

Student:

Lidija Đurinec Ter 3452/601

Mentor:

dr.sc. Lovorka Gotal Dmitrović, pred.

Varaždin, srpanj 2017.

# Prijava završnog rada

## Definiranje teme završnog rada i povjerenstva

ODJEL	Odjel za graditeljstvo		
PRISTUPNIK	Lidija Đurinec Ter	MATIČNI BROJ	3452/601
DATUM	26. 4. 2017.	KOLEGIJ	Zaštita okoliša
NASLOV RADA	Gaussov model disperzije tvari u proizvodnji cementa		
NASLOV RADA NA ENGL. JEZIKU	Gauss model of substances dispersion in cement production		
MENTOR	dr.sc. Lovorka Gotal Dmitrović	ZVANJE	predavač
ČLANOVI POVJERENSTVA	1. prof.dr.sc. Božo Soldo		
	2. doc.dr.sc. Milan Rezo		
	3. dr.sc. Lovorka Gotal Dmitrović, pred.		
	4. Nikola Hrnčić, pred.		
	5. _____		

VŽKC

MMI

## Zadatak završnog rada

BROJ	294/GR/2017
OPIS	<p>U radu je potrebno opisati tehnološki postupak dobivanja klinkera, kao i opis onečišćenja zraka. Budući da se rad bazira na Gaussovom modelu disperzije potrebno je u drugom dijelu opisati vrste i načine matematičkih modela za širenje efluenta u atmosferi, uz objašnjenje viševolumnih modela atmosfere, matematičkog modela za širenje efluenta iz točkastog izvora, stanja atmosfere, disperzije polutanata u atmosferi, kao i pokazatelja stupnja stabilnosti prema Pasquillu.</p> <p>Postavljanjem tih osnova, pristupa se opisu teorije Gaussovog modela, na koji se veže eksperimentalni dio u kojem se izrađuje model disperzije suporovog (IV) oksida u emisiji onečišćenja iz cementare.</p> <ol style="list-style-type: none"><li>1. Tehnološki postupak dobivanja klinkera</li><li>2. Matematički modeli za širenje efluenta u atmosferi</li><li>3. Viševolumni modeli atmosfere</li><li>4. Matematički model širenja efluenta iz točkastih izvora</li><li>5. Model disperzije sumorovog (IV) oksida u emisiji onečišćenja iz cementare</li></ol>

ZADATAK URUČEN

07.07.2017.



POTPIS MENTORA

*Lidija Đurinec Ter*

## **Zahvala**

*Zahvaljujem svojoj profesorici dr. sc. Lovorki Gotal Dmitrović koja je svojim savjetima pomogla pri izradi ovog rada i što je uvijek imala strpljenja i vremena za moje upite.*

*Zahvaljujem prijateljima i kolegama koji su bili uz mene i bez kojih studij ne bi prošao tako zabavno.*

*Najveće hvala mojim roditeljima i suprugu koji su me podržavali, bez obzira da li se radilo o teškim ili lijepim trenucima i bez kojih sve što sam dosad postigla ne bi bilo moguće.*

## SAŽETAK

U završnom radu napravljena je usporedba vrijednosti koncentracija štetnih plinova na ispustu iz dimnjaka cementare, te koncentracije štetnih plinova na mjernoj postaji koja je zadužena za kontinuirano praćenje koncentracija štetnih plinova kako bi se osigurala kvaliteta života ljudstva u okolini. Podaci su u svakom trenu dostupni javnosti, a mijenjaju se svaki sat. Mjerenja koncentracija i meteoroloških uvjeta se arhiviraju, te se na godišnjoj razini rade izvještaji. Na temelju tih podataka izlaznih vrijednosti koncentracija iz ispusta (vrijednosti emisije), te podatku o stanju atmosfere i vjetra izrađen je Gaussov model disperzije.

Gaussov model disperzije izrađen je na temelju podataka arhiviranih na Hrvatskom hidrometeorološkom zavodu za mjernu postaju Zoljan, te cementare u neposrednoj blizini, a koja je prema dužnosti objavila podatke koji su izmjereni na ispustima štetnih plinova tokom godina. Za prikaz su uzeti podaci za jednu godinu (uključena sva godišnja doba, prema tome i različite vrijednosti vlažnosti zraka, jačine i smjera vjetra i temperature, kao i kapaciteta proizvodnje).

Prikazane su koncentracije na ispustu (dimnjaku), mjernoj postaji i maksimalna prizemna koncentracija.

Izrada Gaussovog modela disperzije onečišćujućih tvari važna je za razumijevanje toka kojim onečišćujuće tvari nakon emisije iz zagađivača dolaze u našu neposrednu blizinu, te kako te tvari utječu na životinjski i biljni svijet, pa i mogućeg ugrožavanja ljudskog života. Također, bitno je za budući razvoj tehnologija, korištenja recikliranih materijala i slično.

U ovom radu pažnja je usmjerena emisijama plinova sumporovog (IV) oksida  $SO_2$  koje se emitiraju iz dimnjaka cementare prilikom tehnološkog procesa. Opisana su štetna djelovanja ove onečišćujuće tvari, njezin utjecaj na nastanak kiselih kiša itd.

**KLJUČNE RIJEČI:** Gaussov model disperzije, koncentracije štetnih plinova cementare

## **SUMMARY**

In the final work is made a comparison of values of the concentration of harmful gases at the outlet from the chimney cement, and the concentration of harmful gases in the measuring station, which is responsible for continuously monitoring the concentration of harmful gases in order to ensure the quality of life of the people in the environment.

The datas are at all times available to the public, and are changed every hour.

Measurements of concentrations and meteorological conditions are archived, and are showed in the annualized operating reports.

Gaussian dispersion model is made based on these data of the output values of the concentration of discharge (emission), and the data on the state of the atmosphere and the wind.

Gaussian dispersion model is developed based on the data archived at the Croatian Meteorological and Hydrological Service for measuring station Zoljan and cement plants in the vicinity, which has under duty published data measured at the output of harmful emissions during the year.

For display are taken datas which were collected for one year (including all seasons, and therefore different values of humidity, wind direction and intensity and temperature, and the capacity).

The concentration values at the stack, the measuring station and the maximum ground concentrations are showed.

Creating a Gaussian dispersion model of pollutants is important to understand the flow of pollutants that after the emission are coming in our immediate vicinity, as well as how these substances affect animal and plant life, and even are possible threat to human life.

Also, it is important for the future development of technology, the use of recycled materials and etc. In this work, attention is focused on greenhouse gas emissions of sulfur (IV) oxide SO<sub>2</sub> emitted from the chimney cement during the technological process.

The detrimental effects of these pollutants, the influence on the formation of acid rain, etc are described.

**KEY WORDS:** Gaussian dispersion model, concentration of harmful gases

## Sadržaj

1. UVOD .....	7
2. TEORETSKI DIO .....	8
2.1. TEORETSKI POSTUPAK DOBIVANJA KLINKERA .....	8
2.1.1. PRIPREMA SIROVINA .....	8
2.1.2. PEČENJE SIROVINA .....	9
2.1.3. MLJEVENJE KLINKERA .....	9
2.1.4. PAKIRANJE I TRANSPORT .....	10
2.2. ONEČIŠĆENJE ZRAKA .....	11
2.2.1. POVIJESNE ČINJENICE .....	11
2.2.2. SASTAV ZRAKA .....	11
2.2.3. IZVORI ONEČIŠĆENJA ZRAKA .....	12
2.2.4. GRANIČNE VRIJEDNOSTI EMISIJA ŠTETNIH PLINOVA .....	14
2.2.5. KISELE KIŠE .....	15
2.2.6. EFEKT STAKLENIKA .....	16
2.2.7. SMANJIVANJE OZONSKOG OMOTAČA .....	18
3. MATEMATIČKI MODELI .....	21
3.1. METODE RJEŠAVANJA SUSTAVA DIFERENCIJALNIH JEDNADŽBI .....	21
3.1.1. EULEROVA METODA .....	21
3.1.2. METODA RUNGE-KUTTA .....	22
3.2. MATEMATIČKI MODELI ZA ŠIRENJE EFLUENTA U ATMOSFERI .....	23
3.2.1. VIŠEVOLUMNI MODELI ATMOSFERE .....	24
3.2.2. MATEMATIČKI MODEL ZA ŠIRENJE EFLUENATA IZ TOČKASTOG IZVORA	24
4. GAUSSOV MODEL DISPERZIJE .....	30
5. MODEL DISPERZIJE SO <sub>2</sub> PREMA GAUSSOVOJ METODI .....	34
5.1. MJERNA POSTAJA .....	34
5.2. IZRAČUNAVANJE KONCENTRACIJE SO <sub>2</sub> PO GAUSSOVOJ METODI .....	35
6. ZAKLJUČAK .....	38
7. LITERATURA .....	40

**Popis slika:**

Slika 2.1. Rotacijska peć za proizvodnju klinkera

Slika 2.2. Unutrašnjost mlina s kuglama za mljevenje klinkera

Slika 2.3. Primjeri pakiranja

Slika 2.4. Svojstva Zemljine atmosfere

Slika 2.5. Primjer, izvještaj mjerenja kvalitete zraka

Slika 2.6. Kruženje kisele kiše

Slika 2.7. Staklenički efekt

Slika 2.8. Razaranje ozona iznad Antartika

Slika 2.9. Slika najveće ozonske rupe nad Antarktikom ikad snimljena (rujan 2006)

Slika 2.10. Polarni stratosferni oblaci

Slika 2.11. Promjena oblika disperzije dimnih plinova ovisno o promjeni okolne temperature po visini

Slika 2.12. Koeficijenti vertikalne disperzije  $\sigma_z$  u funkciji udaljenosti od izvora emisije za atmosferska stanja prema Pasquillu

Slika 2.13. Koeficijenti horizontalne disperzije  $\sigma_y$  u funkciji udaljenosti od izvora emisije za atmosferska stanja prema Pasquillu

Slika 3.1. Shematski prikaz Gaussovog modela.

Slika 3.2. Profili koncentracije onečišćenja

Slika 4.1. Mjerna postaja Zoljan

**Popis tablica:**

Tablica 2.3.5.1. Vrijednost horizontalnog koeficijenta

Tablica 2.3.5.2. Vrijednost vertikalnog koeficijenta

Tablica 2.2.4.1. Granične vrijednosti količina sumporov (IV) oksida ( $\text{SO}_2$ ) u zraku obzirom na zaštitu zdravlja ljudi( Nastavni zavod za javno zdravstvo)



# 1. UVOD

Cilj ovog rada je prikazati kolika je potrebna udaljenost emisije plinova u okoliš (u ovom slučaju radi se o cementari) do najbliže stambene građevine.

Proizvodnja klinkera u cementarama dijeli se u 4 postupka:

- Priprema sirovine
- Pečenje klinkera
- Mljevenje klinkera
- Skladištenje i transport

U navedenom procesu dolazi do ispuštanja štetnih plinova, koja štetno utječu na okoliš i potrebno ih je kontrolirati radi pridržavanja zadanih ciljeva i propisanih graničnih vrijednostima.

Visoke koncentracije onečišćujućih tvari u zraku snažno utječu na biljni i životinjski svijet, te na zdravlje ljudi. Izrada modela onečišćenja važan je dio studije utjecaja industrijskih procesa (u ovom radu cementare) kako bi se moglo kontinuirano pratiti onečišćenje zraka. Ukoliko bi se došlo do većeg zagađenja zraka, koje može biti opasno za okoliš, životinje i ljude potrebno je utvrditi točan uzrok tome, te tražiti rješenje (smanjivanje kapaciteta proizvodnje, prelazak na ekološki pristupačnija goriva...).

Podaci se dobivaju iz lokalnih i državnih mjernih stanica. U ovom radu pratimo lokalnu stanicu Zoljan koja prati onečišćenja prouzrokovana proizvodnjom cementa u obližnjoj cementari.

Najčešće korišten model u ovakvim situacijama radi se prema Gaussovom modelu disperzije koji u izračun obuhvaća koncentraciju na zadanom položaju, visinu ispusta, poziciju uz dimnjak, poziciju simetrane dimne perjanice i poziciju uz tlo, te difuzijske koeficijente. Model koji je izrađen u ovom radu napravljen je također prema Gaussovom modelu disperzije, te je uspoređen sa izmjerenim podacima iz postaje Zoljan.

Za model je korišten sumporov (IV) oksid ( $\text{SO}_2$ ) zbog njegovog velikog negativnog utjecaja na okoliš. Izračunate su koncentracije na sljedećim pozicijama:

- Koncentracija na ispustu
- Maksimalna prizemna koncentracija
- Koncentracija u mjernoj postaji

Sumporov (IV) oksid ili sumporov dioksid ( $\text{SO}_2$ ) je plin koji u gradovima i industrijskim područjima nastaje izgaranjem fosilnih goriva koja sadrže sumpor. Uzrokuje smog, štetno djeluje na biljke, životinje i ljude, korozivno na materijale, te je glavni uzročnik kiselih kiša.

## 2. TEORETSKI DIO

### 2.1. TEORETSKI POSTUPAK DOBIVANJA KLINKERA

Klinker se dobiva sljedećim postupcima.

- Priprema sirovina
- Pečenje sirovina
- Mljevenje klinkera
- Pakiranje i transport

#### 2.1.1. PRIPREMA SIROVINA

Osnovne sirovine su vapnenici i pijesci. Alternativne sirovine su otpad ili nusprodukti u drugim procesima koji se iskorištavaju u proizvodnji klinkera, a vrlo su važni, jer čuvamo sirovine za buduće generacije, smanjujemo emisije ugljikovog (IV) oksida ( $\text{CO}_2$ ) i iskorištavamo otpad. Alternativne sirovine su na primjer: troska iz čeličana, pepeo termoelektrana, industrijski gips.

Prirodna ili umjetna smjesa vapnenca i gline mora se samljeti u vrlo sitan prah, jer o finoći dobivenog praha ovisi kvaliteta cementa. Važno je odrediti odnos masa bazičnih i kiselih oksida sirovine koji se naziva hidrauličnim modulom, a dan je izrazom:

$$\frac{m(\text{CaO})}{m(\text{SiO}_2) + m(\text{Al}_2\text{O}_3) + m(\text{Fe}_2\text{O}_3)} \geq 1,7$$

u kojem je:

$m(\text{CaO})$  – masa kalcijevog oksida (g),

$m(\text{SiO}_2)$  – masa silicijevog (IV) oksida (g),

$m(\text{Al}_2\text{O}_3)$  – masa aluminijevog (III) oksida (g),

$m(\text{Fe}_2\text{O}_3)$  – masa željezovog (III) oksida (g).

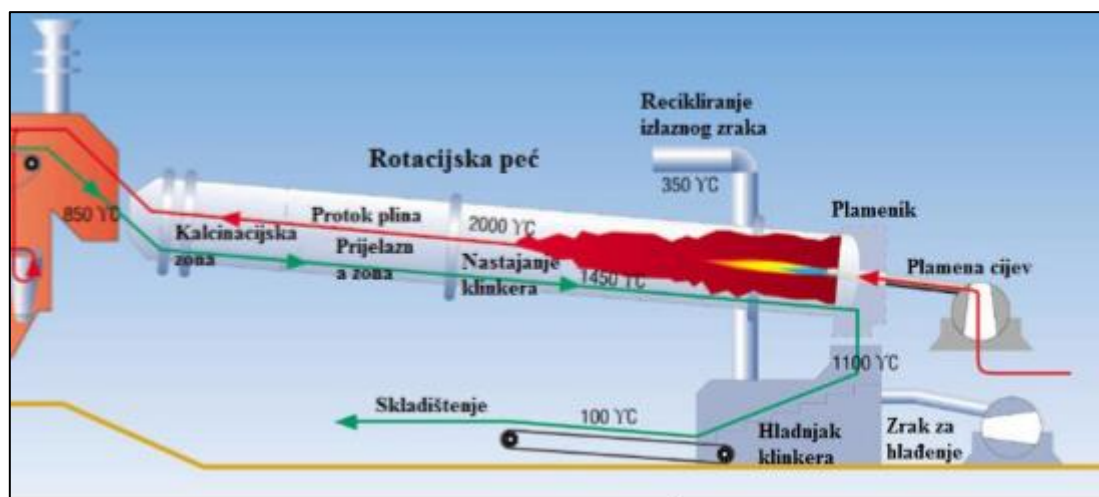
Hidraulični modul propisan je standardom za cement. Njegova gornja granica nije standardom određena, ali je praksa pokazala da ne smije biti veći od 2,1. Ako hidraulični modul sirovina nije u ovim granicama, mora se dodati samljevena glina ili vapnenac. O hidrauličnom modulu ovisi postojanje betona prema vodi. (N. Stričević, 1987.)

### 2.1.2. PEČENJE SIROVINA

Peče se na 1 400°C – 1 450°C. Na 100°C se suši, na 900°C dolazi do raspada kalcijevog karbonata ( $\text{CaCO}_3$ ), a iznad 1 000°C dolazi do spajanja nastalog „živog vapna“, odnosno kalcijevog oksida ( $\text{CaO}$ ) sa silicijevim oksidom ( $\text{SiO}_2$ ), aluminijevim (III) oksidom ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) i željezovim (III) oksidom ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) pri čemu nastaj kalcijevi silikati ( $\text{Ca}_2\text{SiO}_4$   $\text{Ca}_3\text{SiO}_3$ ), kalcijev aluminat ( $\text{Ca}_3\text{Al}_2\text{O}_6$ ) i kalcijev aluminoforit ( $\text{Ca}_2\text{AlFeO}_5$ ). Na 1 400°C – 1 450°C čestice omekšavaju i spajaju se u krupnije komade veličine 10 mm koje se zovu klinker. (N. Stričević,1987.) Za proizvodnju 1 t klinkera u pećima potrebno je 320 kg ugljena s energetsom vrijednosti 250 000 kJ/kg.

Danas se primjenjuju rotacijske peći (Slika 2.1.). Peć ima oblik cijevi, duljine 50 – 80 m, promjera 2 – 3 m. Cijev je opasana s nekoliko željeznih prstena kojim se oslanja na rotirajuće valjke. Na sredini cijevi nalazi se zupčanik pomoću kojeg elektromotor rotira peć. Peć je blago nagnuta, a sirovina se dodaje kontinuirano na njezinu višem kraju. Budući da peć rotira, sirovina polako klizi prema donjem kraju peći. (N. Stričević,1987.)

Kao gorivo koriste se ugljena prašina, tekuća i plinovita goriva. Izgaranjem goriva nastaje plamen i tu je najviša temperatura. Ispod peći nalazi se kraća cijev koja služi kao hladilo i također rotira. Vrući klinker poslije pečenja prolazi kroz hladilo i na taj način dio topline vraća u peć i smanjujući gubitak energije.



Slika 2.1. Rotacijska peć za proizvodnju klinkera (Ćurković 2015.)

### 2.1.3. MLJEVENJE KLINKERA

Usitnjavanje je operacija kojom se mijenja stanje disperznosti (obično) u čvrstim sustavima mehaničkim djelovanjem, pri čemu iz većih nastaju sitnije čestice. (M. Hraste, 1990.)

Usitnjavanje se može podijeliti na drobljenje i mljevenje. Kapacitet ovisi o materijalima koji se melju, a mogu varirati od 750 kg/s, pa do nekoliko kg/h kod finih materijala. Energija utrošena u proces ovisi od količine materijala i veličini i vrsti čestica, tj materijala.

Mehanička opterećenja u čvrstoj tvari uzrokuju naprezanja i deformacije, a kod prelaska granice čvrstoće dolazi do loma. Klinker je vrlo tvrd, pa se na njegovo mljevenje koristi mnogo mehaničke energije.

Za mljevenje klinkera se upotrebljava spojni mlin. To je horizontalno postavljena cilindrična, čelična posuda podijeljena sitima na tri dijela. Prvi i drugi dio napunjeni su do 1/3 čeličnim kuglama (Slika 2.2.), a treći dio kockicama ili valjčićima. Posuda rotira oko svoje osi, a zbog njezine rotacije kugle, kocke i valjčići penju se uz oplošje posude do neke visine, a zatim zbog Zemljine sile teže padaju i udarajući usitnjuju klinker.(N. Stričević,1987.) Na završetku postupka klinker je u stanju brašna.

Klinkeru se dodaje prije mljevenja i 3% sadrenca da uspori vezivanje. Kvaliteta cementa ovisi o finoći mliva. Dobar cement ne smije ostaviti na situ sa 900 rupica na 1 cm<sup>2</sup> više od 3%, a na situ sa 4 900 rupica više od 25% mliva.



Slika 2.2. Unutrašnjost mlina s kuglama za mljevenje klinkera (Ćurković 2015.)

#### 2.1.4. PAKIRANJE I TRANSPORT

Nakon mljevenja cement se pakira u vreće (Slika 2.3.) ili skladišti u silose. Kod potražnje za istim, transportira se do krajnjeg kupca.



Slika 2.3. Primjeri pakiranja, (preuzeto: <http://www.celox-gradnja.com/gradevinski-materijal/>, 1.7.2017.)

## 2.2. ONEČIŠĆENJE ZRAKA

### 2.2.1. POVIJESNE ČINJENICE

Kroz povijest se događalo mnoštvo incidenata povezanih sa zagađenjem zraka, te se iz njih učilo i dovelo do spoznaja koje imamo danas, uz modernu tehnologiju i stručnjake na tom području. Prvom žrtvom preminulom od posljedica onečišćenja zraka smatra se Gaj Plinije Sekunda (admiral rimske flote), a razlog je bila erupcija Vezuva 79. god. Rimski državnik Seneka također je umro od posljedica zagađenosti zraka.

U Londonu je zrak bio toliko zagađen da je 1285. god. Kralj Edvard I. izdao pravni akt o zagađenju zraka, a 1308. god. gorenje ugljena proglasio ilegalnim. Također, primjer londonskog Velikog smoga 1952. god. gdje je u 7 dana od posljedica zagađenog zraka umrlo 4 000 ljudi, a 100 000 ljudi oboljelo je od respiratornih bolesti. Veliki smog se smatra najgorim onečišćenjem u Velikoj Britaniji, ali i najznačajniji, jer je doveo do promjene zakona i podizanja svijesti među građanima.

Koliko su ozbiljne posljedice onečišćenja zraka govori Izvješće UNEP-a (United Nations Environment Programme), koje procjenjuje da smrtnost diljem svijeta od svih vrsta onečišćenja zraka za 2001. god. iznosi 2,7 - 3,0 milijuna ljudi, a vrijednost može narasti i do 8 milijuna ljudi 2020. god. Istraživanje također pokazuje da onečišćeni zrak u Europi svake godine odnosi približno 500 000 života, a njegove posljedice koštaju porezne obveznike oko 790 milijuna eura. (N. Herceg, 2013.)

### 2.2.2. SASTAV ZRAKA

Atmosfera je plinoviti omotač koji okružuje Zemlju. Omogućuje život bićima snabdjevajući ih kisikom ( $O_2$ ), a zelene biljke ugljikovim (IV) oksidom ( $CO_2$ ). Ozonom nas štiti od UV zračenja, osigurava kruženje vode, smanjuje temperaturne razlike između dana i noći.

Atmosfera se dijeli na pojedine sfere: troposferu, stratosferu, mezosferu, termosferu i egzosferu i međuslojeve: tropopauzu, stratopauzu, mezopauzu i termopauzu. Na slici 2.4. prikazana je podjela atmosfere prema temperaturi.

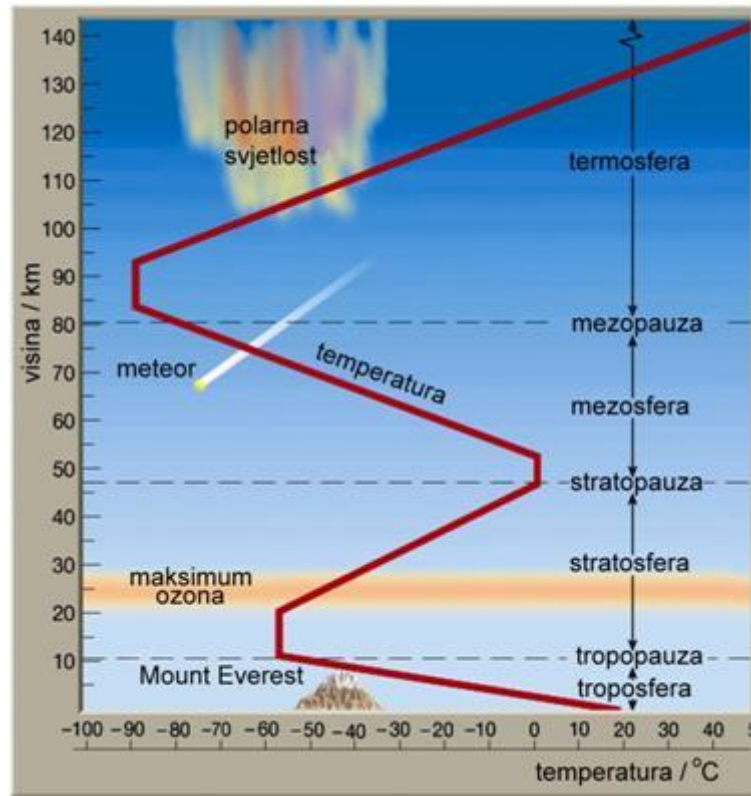
Troposfera je sloj atmosfere koji leži uz površinu Zemlje. Prosječna visina mu je od 10-12km. Visina na ekvatoru iznosi 16-18km, dok na polovima samo 6-8km. U troposferi se nalazi sva vodena para, najgušći je i najniži sloj atmosfere. Pad temperature iznosi 0,65 stupnja Celzijeva na 100m visine, a prosječna temperatura na površini Zemlje iznosi 14 stupnja Celzijeva. Tropopauza je granica između troposfere i stratosfere. U tropopauzi temperatura počinje rasti.

Stratosfera se prostire od 18km na ekvatoru, 8km na polovima pa do 55km visine. U njoj se nalazi 90% ozona ( $O_3$ ) koji nastaje raspadanjem kisika ( $O_2$ ) pod utjecajem ultraljubičastog zračenja. Temperatura raste od -55 stupnjeva Celzijeva na polovima, -85 stupnjeva na ekvatoru, te doseže 0 stupnja Celzijeva.

U mezosferi se temperatura smanjuje s visinom, te iznosi do -100 stupnjeva Celzijeva, te na granici sa termosferom, u području mezopauze nalazi se najhladniji dio atmosfere na visini od 50-100km. U tom području dolazi do raspadanja meteorita.

Termosfera se proteže od 90-500km visine. Temperatura raste sa visinom i doseže 1500 stupnja Celzijeva. U ovom sloju dolazi do pojave polarne svjetlosti. Zrak je veoma rijedak na toj visini atmosfere.

Egzosfera se nalazi iznad termosfere, na visini 800-3000km. Temperatura dostiže +1500 stupnja Celzijeva. Čestice se kreću vrlo sporo ( do 11km/h) i na velikim su međusobnim udaljenostima (do 100m).



Slika 2.4. Svojstva Zemljine atmosfere(preuzeto sa [http://eskola.chem.pmf.hr/udzbenik/web\\_Sikirica/index.htm](http://eskola.chem.pmf.hr/udzbenik/web_Sikirica/index.htm)), 1.7.2017.

Zrak je jedan od osnovnih uvjeta života, potreban prije svega za disanje i fotosintezu. Suhi zrak po obujmu sadrži 78,08% dušika ( $N_2$ ), 20,95% kisika ( $O_2$ ), 0,93% argona (Ar) i ostalih plinova u manjim količinama (0,036%), kao što su staklenički plinovi od kojih su najznačajniji vodena para ( $H_2O$ ), ugljikov (IV) oksid ( $CO_2$ ), metan ( $CH_4$ ), dušikovi oksidi ( $NO_x$ ) i ozon ( $O_3$ ). Dušik ( $N_2$ ), kisik ( $O_2$ ) i plemeniti plinovi nepromjenjive su sastavnice zraka, a promjenjive su ugljikov (IV) oksid ( $CO_2$ ), vodena para ( $H_2O$ ), veće ili manje suspendirane čestice prašine. (N. Herceg, 2013.)

### 2.2.3. IZVORI ONEČIŠĆENJA ZRAKA

Izvori onečišćenja zraka su sve tvari koje uzrokuju štetu za ljude i okoliš. Mogu biti prirodni i umjetni. Umjetni stvaraju posebne probleme, a u najvećoj mjeri su izraženi u velikim gradovima i industrijskim naseljima.

Bitno je dijeljenje izvora je na pokretne i nepomične:

Pokretni – izvori onečišćenja emitiraju onečišćenje u kretanju (npr. automobili, vlakovi, brodovi, zrakoplovi i ostala prijevozna sredstva) (N. Herceg, 2013.)

Nepomični – mogu biti točkasti (s iste lokacije, npr. termoelektrane), povremeni (emitiraju onečišćenje s određene otvorene površine pod djelovanjem vjetra, npr. farme) i površinski (emitiraju onečišćenje s nekoliko lokacija unutar definiranog područja, npr. industrijske zone).

Onečišćujuće tvari u zraku koje su posljedica ljudskih aktivnosti dijele se na (N. Herceg, 2013.):

- Plinovi – sumporovi oksidi ( $\text{SO}_x$ ), ugljikov (IV) oksid ( $\text{CO}_2$ ), ugljikov (II) oksid (CO), dušikovi oksidi ( $\text{NO}_x$ ), sumporovodik ( $\text{H}_2\text{S}$ ), ozon (troposferski) ( $\text{O}_3$ ), metan ( $\text{CH}_4$ ), freoni ( $\text{C}_x\text{Cl}_y\text{F}_z$ ), haloni ( $\text{CF}_2\text{BrCl}$ ,  $\text{CF}_3\text{Br}$ ,  $\text{C}_2\text{F}_4\text{Br}_2$ ), metaklorid ( $\text{CH}_3\text{Cl}$ ), ugljikov tetraklorid ( $\text{CCl}_4$ ),
- Lebdeće čestice – krute tvari i/ili kapljice tekućine raspršene u zraku (promjer čestica od 1 nm do 1 mm), prvenstveno prašina, dim i leteći pepeo,
- Metali i metaloidi – olovo (Pb), živa (Hg), kadmij (Cd), berilij (Be), telur (Tl), nikalj (Ni), krom (Cr) i dr., metaloidi (arsen (As), selen (Se) i antimon (Sb)),
- Postojane organske tvari – pesticidi, policiklički aromatski ugljikovodici, industrijske kemikalije,
- Radioaktivne tvari – svi izotopi plutonija (Pu), izotopi urana (U), stroncij-90 (Sr-90), cezij-137 (Cs-137), tricij (H-3), ugljik-14 (C-14), jod-131 (I-131) i dr.,
- Ostale onečišćujuće tvari – azbest, fluoridi, formaldehid i dr.
- Otpadna toplina – specifičan oblik onečišćenja atmosferskog zraka.

Kvalitetu zraka ocjenjujemo mjerenjem sumporovih oksida ( $\text{SO}_x$ ), dušikovih oksida ( $\text{NO}_x$ ) i ugljikovog (II) oksida (CO), odnosno u industrijskim područjima ovisno o vrsti onečišćenja (Slika 2.5.).



POKAZATELJI KVALITETE ZRAKA U SLAVNSKOM BRODU ZA 2012. GODINU NA OSNOVI VALIDIRANIH PODATAKA				
ONEČIŠĆUJUĆA TVAR	KATEGORIJA KVALITETE ZRAKA ( I   II   III )	BROJ PREKORAČENJA 24-SATNIH GV	BROJ PREKORAČENJA SATNIH GV	SREDNJA GODIŠNJA VRIJEDNOST
Sumporov dioksid, SO <sub>2</sub>	I	n <sub>mjereno</sub> = 0 125 µg/m <sup>3</sup> , n = 3	n <sub>mjereno</sub> = 0 350 µg/m <sup>3</sup> , n = 24	C <sub>mjereno</sub> = 10.2 Propisano - 50 µg/m <sup>3</sup>
Dušikov dioksid, NO <sub>2</sub>	I	n <sub>mjereno</sub> = 1 80 µg/m <sup>3</sup> , n = 7	n <sub>mjereno</sub> = 0 200 µg/m <sup>3</sup> , n = 18	C <sub>mjereno</sub> = 16.27 Propisano - 40 µg/m <sup>3</sup>
Lebdeće čestice, PM <sub>2.5</sub>	II			C <sub>mjereno</sub> = 25.17 Propisano - 25 µg/m <sup>3</sup>
Benzen, C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> (88%)	I			C <sub>mjereno</sub> = 2.38 Propisano - 5 µg/m <sup>3</sup>
Sumporovodik, H <sub>2</sub> S	II	n <sub>mjereno</sub> = 5 5 µg/m <sup>3</sup> , n = 7	n <sub>mjereno</sub> = 95 7 µg/m <sup>3</sup> , n = 24	C <sub>mjereno</sub> = 1.4 Propisano - 2 µg/m <sup>3</sup>
Ozon, O <sub>3</sub>	II	NAJVIŠA DNEVNA OSMOSATNA SREDNJA VRIJEDNOST: 164.03 n <sub>mjereno</sub> = 42, 120 µg/m <sup>3</sup> , n = 25 PREKORAČENJE PRAGA OBJAVJEŠĆIVANJA ZA OZON OD 180 µg/m <sup>3</sup> : 2		

Slika 2.5. Primjer, izvještaj mjerenja kvalitete zraka (preuzeto sa <http://www.sbperiskop.net/drustvo/dopis-poruka-zamjenici-ravnatelja-dhmz-a-u-vezi-alarmantne-kvalitete-zraka-u-slavonskom-brodu>) 25.06.2017.)

#### 2.2.4. GRANIČNE VRIJEDNOSTI EMISIJA ŠTETNIH PLINOVA

Granična vrijednost emisije (GVE) – predstavlja koncentraciju onečišćujućih tvari u emisijama iz nekog izvora tijekom određenog razdoblja koja ne smije biti prekoračena. Izražava se u mg/m<sup>3</sup> ili u mg po jedinici mase proizvoda (N. Herceg, 2013.).

Prema zakonu o zaštiti zraka, kvalitetu zraka dijelimo na sljedeći način:

Prema razinama onečišćenosti, s obzirom na propisane granične vrijednosti (GV), ciljne vrijednosti i dugoročne ciljeve utvrđuju se kategorije kvalitete zraka:

- prva kategorija kvalitete zraka – čist ili neznatno onečišćen zrak: nisu prekoračene granične vrijednosti (GV), ciljne vrijednosti i dugoročni ciljevi za prizemni ozon,
- druga kategorija kvalitete zraka – onečišćen zrak: prekoračene su granične vrijednosti (GV), ciljne vrijednosti i dugoročni ciljevi za prizemni ozon.

Kategorije kvalitete zraka utvrđuje se za svaku onečišćujuću tvar posebno i odnosi se na zaštitu zdravlja ljudi, kvalitetu življenja, zaštitu vegetacije i ekosustava.

Kategorije kvalitete zraka utvrđuju se jedanput godišnje za proteklu kalendarsku godinu.

Godišnje izvješće o praćenju kvalitete zraka na teritoriju Republike Hrvatske s popisom kategorija kvalitete zraka izrađuje Agencija i objavljuje na internetskim stranicama. (Nastavni zavod za javno zdravstvo)



U tablici 2.2.4.1. nalaze se granične vrijednosti i dopuštena prekoračenja za sumporov (IV) oksid (SO<sub>2</sub>) koji je praćen u nastavku rada.

Onečišćujuća tvar	Vrijeme usrednjavanja	Granična vrijednost (GV)	Učestalost dozvoljenih prekoračenja
Sumporov dioksid (SO <sub>2</sub> )	1 sat	350 µg/m <sup>3</sup>	GV ne smije biti prekoračena više od 24 puta tijekom kalendarske godine
	24 sata	125 µg/m <sup>3</sup>	GV ne smije biti prekoračena više od 3 puta tijekom kalendarske godine

Tablica 2.2.4.1. Granične vrijednosti količina sumporov (IV) oksida (SO<sub>2</sub>) u zraku obzirom na zaštitu zdravlja ljudi (Nastavni zavod za javno zdravstvo)

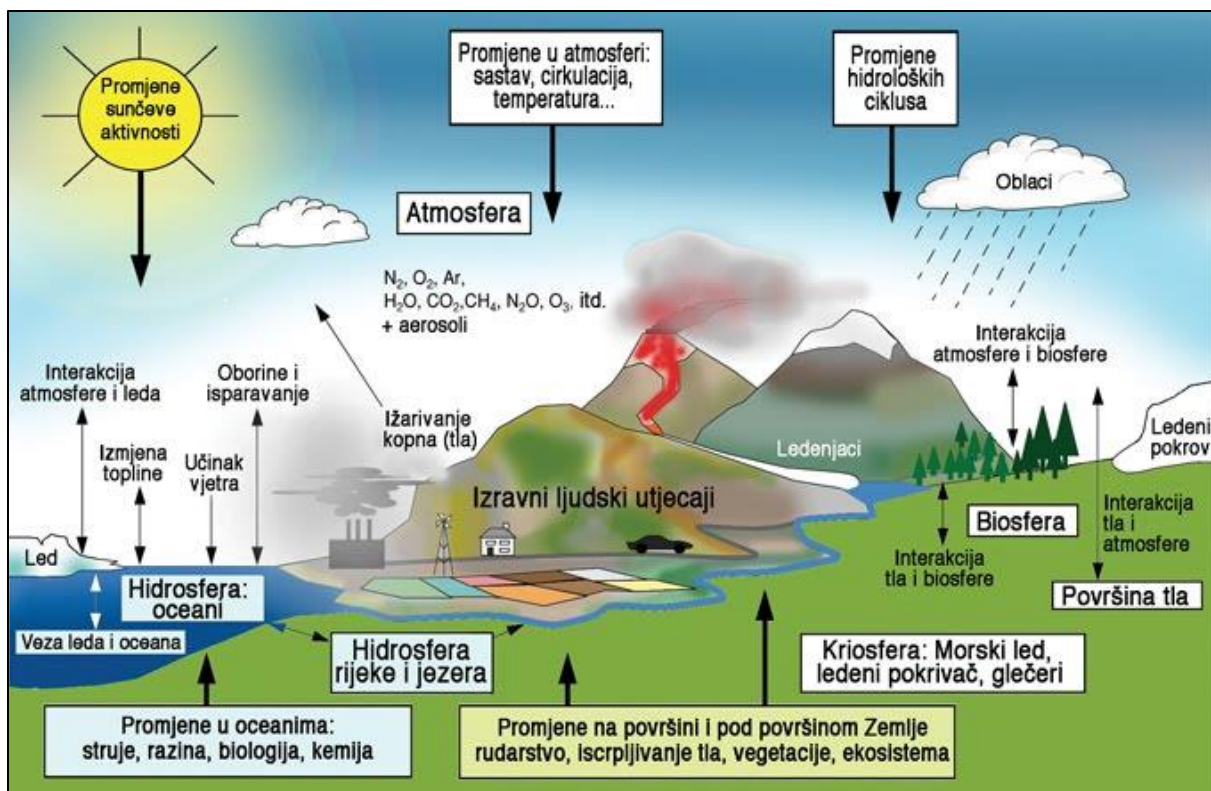
#### 2.2.5. KISELE KIŠE

Kisele kiše nastaju zbog onečišćene atmosfere, a povezane su sa razvojem industrije (Slika 2.6.). Imaju u sebi štetne spojeve sumporov (IV) oksid (SO<sub>2</sub>), sumporna kiselina (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), ugljikov monoksid (CO), ugljikov (IV) oksid (CO<sub>2</sub>), dušikovi spojevi sa teškim metalima). Ti spojevi u atmosferi reagiraju s vodom (H<sub>2</sub>O), kisikom (O<sub>2</sub>) i drugim kemikalijama, te stvaraju kisele kiše.

Normalna pH-vrijednost kiše je otprilike oko 5,5, dok je pH vrijednost kisele kiše u prosjeku od 4 do 4,5. (N. Herceg, 2013.). Zbog djelovanja kiselih kiša propadaju šumske vegetacije, poljoprivredne površine i ribarstvo. Također pogađa korozijom spomenike, fasade itd.

Iako postoje naznake da većina država (ponajprije europskih) odlučno nastoji smanjiti štetne emisije sumporov (IV) oksid (SO<sub>2</sub>), ugljikov (IV) oksid (CO<sub>2</sub>) i dušikovi oksidi (NO<sub>x</sub>), najveći zagađivač – SAD – i dalje se slabo odaziva. (N. Herceg, 2013. god.)

Konferencija o klimatskim promjenama, održana u japanskom gradu Kyotu u prosincu 1997., pokušala je postaviti pravno obvezujuća ograničenja emisije, kako za industrijalizirane, tako i za države u razvoju. SAD je pokušao zadržati svoju razinu emisije prijedlogom da se uvedu kvote na temelju kojih bi države mogle ispustiti određene količine onečišćujućih tvari ili takvo svoje pravo prodati drugim državama. (N. Herceg, 2013. god.) Taj prijedlog naišao je na kritiku ekologa koji jedino rješenje vide u smanjenju emisija štetnih plinova što je moguće ostvariti samo reguliranjem emisija industrija, korištenjem alternativnih izvora energije i programima za smanjenje onečišćenja.



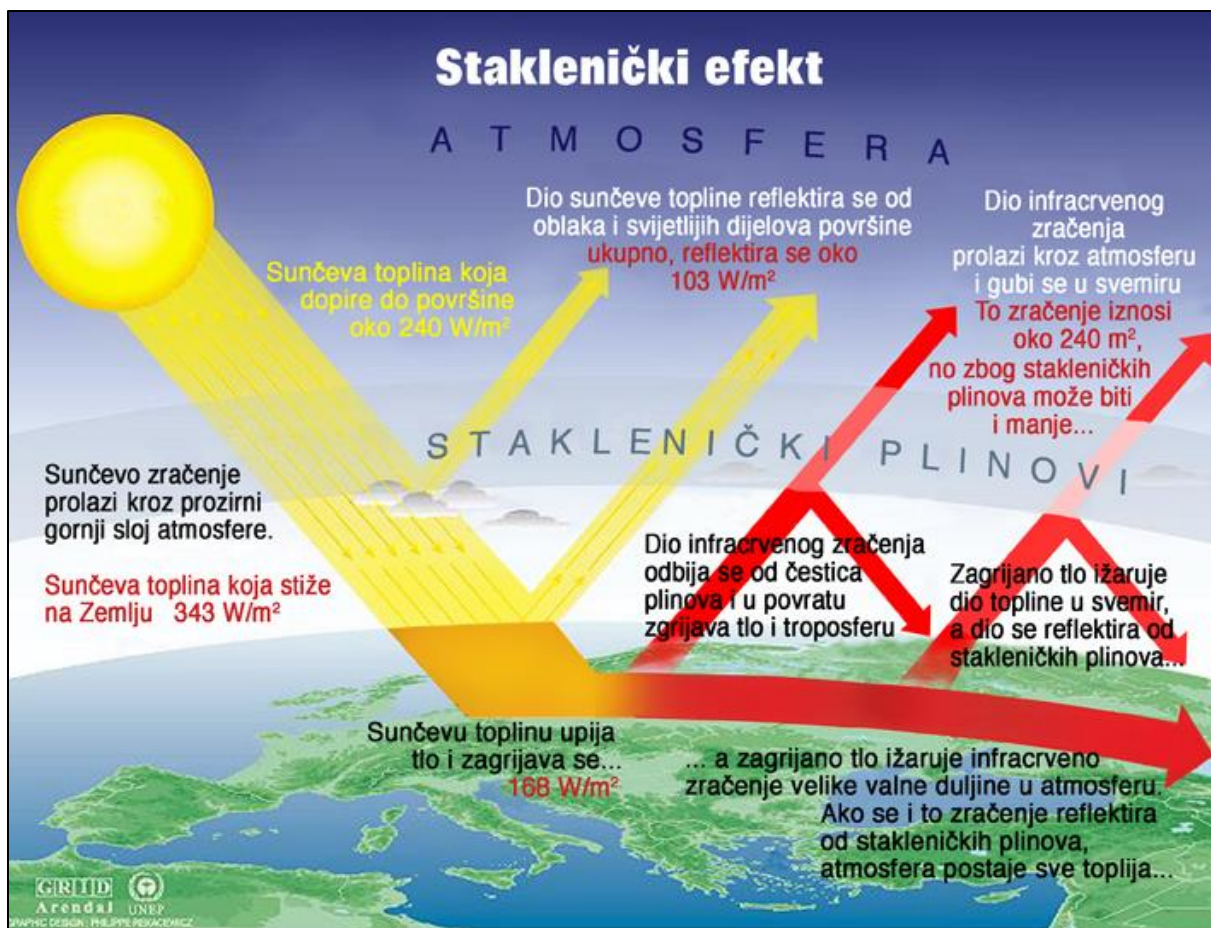
Slika 2.6. Kruženje kisele kiše (preuzeto sa [http://os-veliko-trojstvo.skole.hr/energija\\_i\\_okoli/\\_kisele\\_ki\\_e](http://os-veliko-trojstvo.skole.hr/energija_i_okoli/_kisele_ki_e))

### 2.2.6. EFEKT STAKLENIKA

Efekt staklenika je porast temperature zraka izazvan stakleničkim plinovima. Najvažniji staklenički plinovi su (Slika 2.7.):

- vodena para (H<sub>2</sub>O) – 60-70%
- ugljikov (IV) oksid (CO<sub>2</sub>) – 25%
- metan (CH<sub>4</sub>) – 5%
- dušikov (IV) oksid (N<sub>2</sub>O) – 2%
- freoni – 1%
- ostali (CO, SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>) – svaki pojedinačno manje od 1%

Iako voda predstavlja najznačajniji staklenički plin, zanemarujemo ju, jer je varijabilna i teško ju procjenjujemo. Također, najveća pažnja posvećena je stakleničkim plinovima iz antropogenih izvora.



Slika 2.7. Staklenički efekt (preuzeto s <https://www.cloudschool.org/activities/ahFzfmNsb3Vkc2Nob29sLWFwcmHI5CxIEVXNlchiAgICA1PCKCgwLEgZDb3Vyc2UYgICAgMT8kAoMCxIIQWN0aXZpdHkYgICAgNTwigkMogEQNTcyODg4NTg4Mjc0ODkyOA>), 25.06.2017.)

Zbog zračenja prikazanog na slici 2.7. Zemlja ima „previše“ topline, dok atmosfera „premalo“. Tu značajnu ulogu imaju oblaci koji sa svoje gornje površine reflektiraju kratkovalnu sunčevu radijaciju, a s donje površine apsorbiraju Zemljinu infracrvenu radijaciju i emitiraju radijaciju prema površini Zemlje. Ta radijacija ponovo sudjeluje u zagrijavanju Zemlje. Tako oblaci pojačavaju efekt staklenika. Utjecaj naoblake na kretanje dnevne temperature dobro je poznat.

Oblaci više energije reflektiraju u svemir, nego što u sklopu protuzračenja atmosfere reflektiraju na površinu. Zato oblaci imaju ukupni ohlađujući efekt. Staklenički efekt je vrlo važan, jer bez njega bi temperatura na Zemlji bila  $30^\circ\text{C}$  niža, tj temperatura bi iznosila  $-18^\circ\text{C}$ .

Ipak, zbog povećanja koncentracije stakleničkih plinova temperatura na Zemlji se povećava. Samim time otapa se ledeni pokrivač, diže razina mora, a to utječe na biljni, životinjski svijet pa i na zdravlje ljudi. U zadnjih 200 god. fosilna se goriva koriste kao glavni izvor energije, te se zbog toga mijenjala koncentracija stakleničkih plinova koja je uzrokovala promjenu klime.

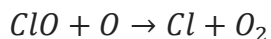
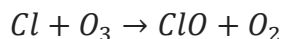
Mjere za smanjenje emisije stakleničkih plinova uključuju:

- obnovljivi izvori energije
- povećanje energetske učinkovitosti
- energetske korištenje otpada
- promjenu tehnologije u industriji
- korištenje javnog prijevoza
- pošumljavanje

#### 2.2.7. SMANJIVANJE OZONSKOG OMOTAČA

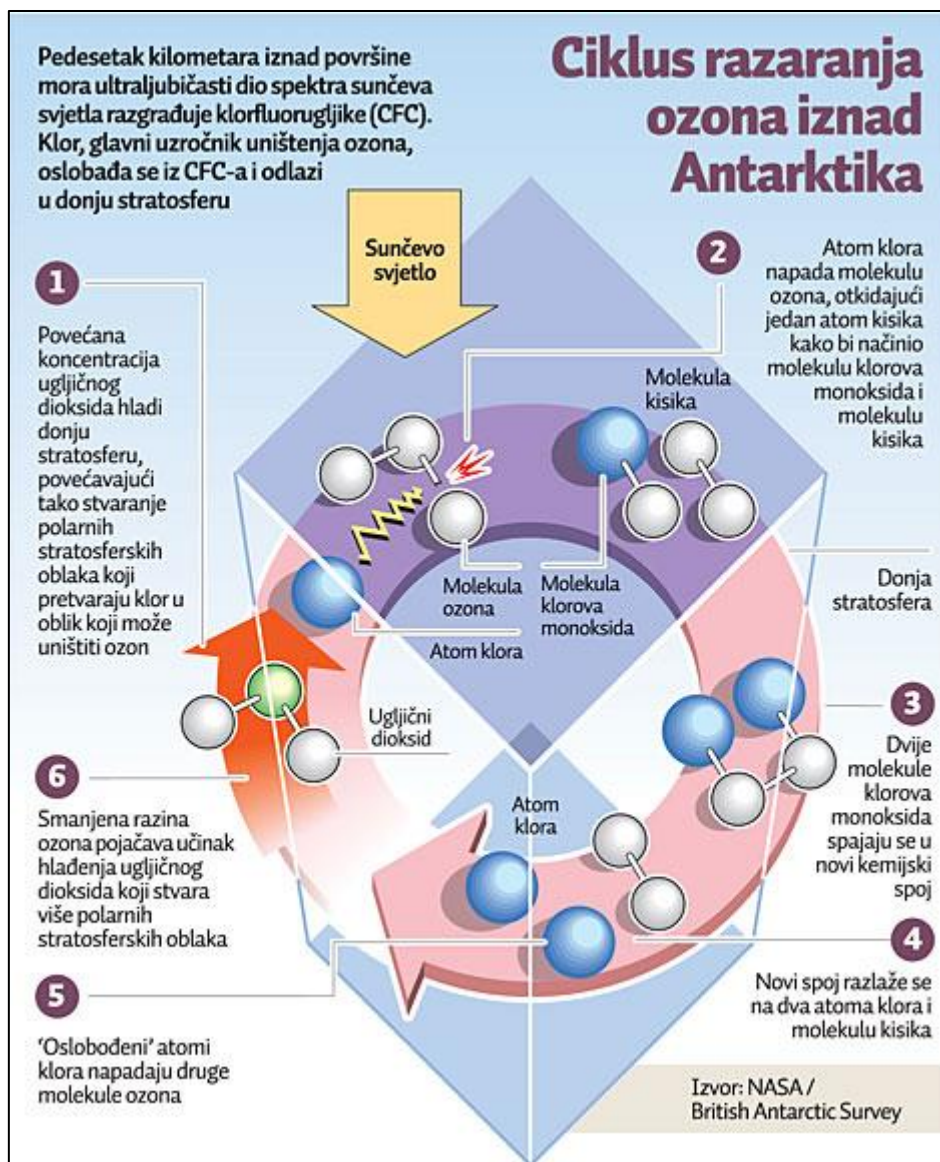
Ozon nastaje rastavljanjem molekule kisika ( $O_2$ ) pod djelovanjem UV zračenja na 2 atoma kisika (O), koji potom reagiraju s molekulom kisika ( $O_2$ ) i nastaje ozon ( $O_3$ ). Ozonski omotač nalazi se u Zemljinoj atmosferi (stratosferi) 10 - 50 km iznad Zemljine površine. Njegovo značenje za život na Zemlji je veliko, jer filtrira UVB i UVC zračenja. Kada bi to zračenje došlo do Zemljine površine bio bi uništen DNA i fotosinteza bi bila onemogućena, a bez kisika nema život na Zemlji.

Hipoteza iz 1974. god. objašnjava fotodisocijaciju freona u atmosferi i nastanak klora, koji potiče lančanu reakciju koja dovodi do smanjenja ozona. Procjenjuje se da tijekom jedne do dvije godine, koliko je srednje vrijeme zadržavanja klora u atmosferi, jedan atom klora može uništiti do 100 000 molekula ozona. (N. Herceg, 2013. god)

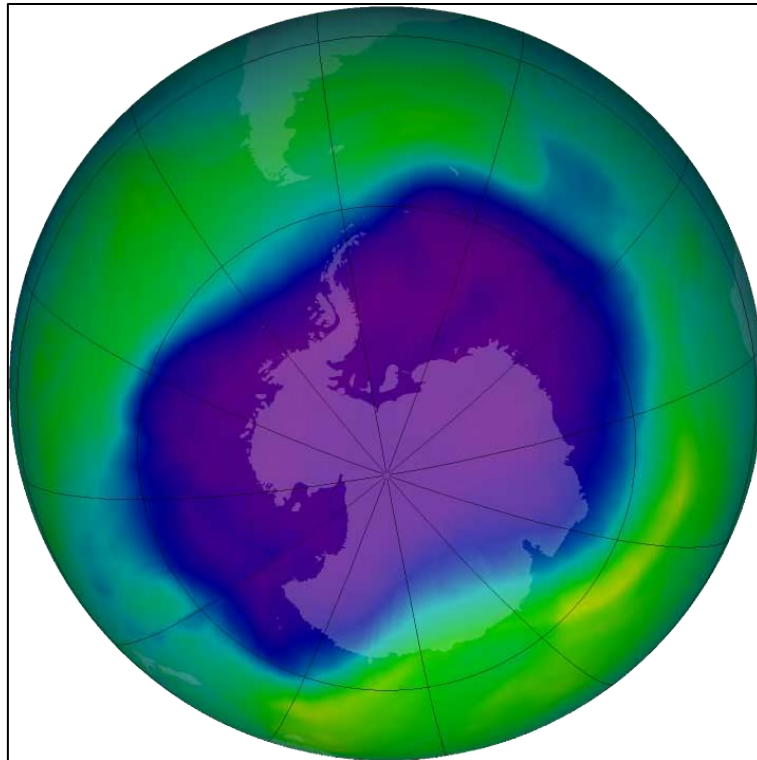


Ozonske rupe kao okolišni problem datira iz 70-tih godina 20. st., kada je uočeno da neki kemijski proizvodi koje je stvorio čovjek mogu razgraditi ozon i oštetiti ozonski omotač Zemlje. (N. Herceg, 2013. god.). U polarnim područjima u vrijeme kasne zima i ranog proljeća javlja se u visokim koncentracijama reaktivni plin klorov (II) oksid (ClO). Kako u stratosferi Antartike vladaju niske temperature stvaraju se ledeni stratosferni oblaci (Slika 2.10.). Ove pojave omogućavaju da reakcije klora i broma dovedu do nastanka ozonskih rupa (Slika 2.9.) tijekom antarktičkog proljeća (Slika 2.8.). Gubitak ozona vrlo je malen na području ekvatora i raste s povećanjem geografske širine prema polovima.





Slika 2.8. Razaranja ozona iznad Antarktika (preuzeto sa <http://www.svevesti.com/a102906-ozonska-rupa-nesta%C4%87e-do-kraja-21-veka> 22.6.2017.)



Slika 2.9. Slika najveće ozonske rupe nad Antarktikom (rujan 2006.) (preuzeto s [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/ea/NASA\\_and\\_NOAA\\_Announce\\_Ozone\\_Hole\\_is\\_a\\_Double\\_Record\\_Breaker.png](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/ea/NASA_and_NOAA_Announce_Ozone_Hole_is_a_Double_Record_Breaker.png), 22.06.2017.)



Slika 2.10. Polarni stratosfenski oblaci (preuzeto sa [https://hr.wikipedia.org/wiki/Ozonske\\_rupe#/media/File:Nacreous\\_clouds\\_Antarctica.jpg](https://hr.wikipedia.org/wiki/Ozonske_rupe#/media/File:Nacreous_clouds_Antarctica.jpg), 22.06.2017.)

### 3. MATEMATIČKI MODELI

Zbivanja u složenim sustavima mogu se opisati matematičkim modelima. Matematički model prikazuje uvjetovanost promjene vrijednosti izlaza u ovisnosti o vremenu od ostalih varijabli. Ti odnosi između varijabli prikazuju se diferencijalnim i/ili diferencijskim jednadžbama, odnosno sustavom jednadžbi. Za rješavanje sustava diferencijalnih jednadžbi prvog reda postoji nekoliko metoda: Eulerova metoda, metoda Runge-Kutta...(Gotal Dmitrović et al 2017). Modeli prikazuju rezultate s prihvatljivom točnošću, a točnost je moguće provjeriti mjerenjem sustava neke pojave.

Model mora prikazivati analizirani sustav, tako da eksperimenti provedeni modelom zamjenjuju eksperimentiranje sa samim sustavom. Dva su osnovna koraka u stvaranje povjerenja u model (Gotal Dmitrović et al 2017):

- vrednovanje konceptualnog modela – ispituje se slaganje ponašanja konceptualnog modela i realnog sustava i
- verifikacija računalnog modela – ispitivanje slaganja ponašanja računalnog modela i konceptualnog modela.

Vrednovanje je stupanj zadovoljavanja, a ne određivanje zadovoljava li ili ne zadovoljava model. Ispitivanje o tome opisuje li dobro model stvarni sustav, radi se usporedbom stvarnih vrijednosti na izlazu iz sustava s vrijednostima na izlazu iz modela i to za nezavisne, prijelazne i zavisnu varijablu. Znatna dio testova zahtijeva normalnu (Gaussovu) raspodjelu rezultata. U praksi često raspodjela nije Gaussova. To je npr. slučaj kad je vjerojatnost pojavljivanja nekog događaja vrlo mala ( $P < 0,10$ ), pa je razdioba Poissonova, ili kad postoji donja ili gornja granica čije su vrijednosti nedopuštene. U tehničkim sustavima krivulja razdiobe vjerojatnosti je vrlo često asimetrična, odnosno krivulja „s repom“. One metode koje se služe mjerljivim podacima, koji se distribuiraju normalno, su parametrijske metode, dok se metode kod kojih nije važno je li populacija normalno distribuirana nazivaju neparametrijskim metodama (katkad ih nazivaju i "statistika slobodna od distribucije (razdiobe)") (Gotal Dmitrović et al 2017).

#### 3.1. METODE RJEŠAVANJA SUSTAVA DIFERENCIJALNIH JEDNADŽBI

##### 3.1.1. EULEROVA METODA

Eulerova metoda je najjednostavnija metoda za rješavanje jednadžbe  $y' = f(x, y)$ ,  $y(a) = y_0$ . Prema Scitovski, R. 2004. metoda se zasniva na ideji da se  $y'$  zamijeni s podijeljenom razlikom (Gotal Dmitrović et al 2017):

$$y'(x) = \frac{y(x+h) - y(x)}{h} + \mathcal{O}(h)$$

pa rješenje diferencijalne jednadžbe zadovoljava:

$$y(x+h) = y(x) + hy'(x) + \mathcal{O}(h^2) = y(x) + hf(x, y(x)) + \mathcal{O}(h^2)$$

Zanemarivanjem kvadratnog člana u gornjem razvoju dobije se aproksimacija:

$$y(x+h) \approx y(x) + hf(x, y(x))$$

Ova formula je točnija što je h manji, tako da za  $h = b - a$  aproksimacija:

$$y(b) \approx y(a) + (b - a) f(a, y(a)) = y_0 + hf(a, y_0)$$

može biti jako neprecizna, stoga se interval  $[a, b]$  dijeli na n jednakih dijelova te je:

$$h = \frac{b - a}{n}, x_i = a + ih, i = 0, \dots, n$$

Korištenjem gornjeg izraza za aproksimaciju, prvo se aproksimira rješenje u točki  $x_1 = a + h$ , na način:

$$y(x_1) \approx y_1 = y_0 + hf(x_0, y_0)$$

Dobivena aproksimacija  $y_1$  koristi se za računanje aproksimacije rješenja u točki  $x_2 = x_1 + h$  prema:

$$y_2 = y_1 + hf(x_1, y_1)$$

Postupak se ponavlja sve dok ne dođe do kraja intervala  $b = x_n$ . Opisani postupak može se kraće zapisati rekurzijom:

$$y_{i+1} = y_i + hf(x_i, y_i), i = 1, \dots, n$$

gdje je početni uvjet  $y_0$  zadan kao inicijalni uvjet diferencijalne jednačbe. Dobivene vrijednosti  $y_i$  su aproksimacije rješenja diferencijalne jednačbe u točkama  $x_i$ .

### 3.1.2. METODA RUNGE-KUTTA

Metoda Runge-Kutta, prema F. Sced, 1968., je numerički postupak za rješavanje jednačbe  $y' = f(x, y)$ . Polazi od početne vrijednosti  $y_0 = y(x_0)$ . Računa se nova vrijednost  $y_1 = y(x_0 + h) = y(x_1)$  prema relaciji (Gotal Dmitrović et al 2017):

$$y_1 = y_0 + \Delta y_0$$

Vrijednost  $y_0$  računa se prema formulama koje slijede. Te formule, su prema Scitovski, R. 2004. razvijene su za i-ti korak, odnosno za relaciju:

$$y_{i+1} = y_i + \Delta y_i \quad (i=0, 1, 2, \dots)$$

Vrijednost  $\Delta y_i$  računa se prema formuli:

$$\Delta y_i = \frac{1}{6} (K_1^{(i)} + 2K_2^{(i)} + 2K_3^{(i)} + K_4^{(i)})$$

dok se vrijednosti  $K_1^{(i)}, K_2^{(i)}, K_3^{(i)}, K_4^{(i)}$  računaju prema jednačbama:

$$K_1^{(i)} = hf(x_i, y_i)$$



$$K_2^{(i)} = hf(x_i + \frac{h}{2}, y_i + \frac{1}{2}K_1^{(i)})$$

$$K_3^{(i)} = hf(x_i + \frac{h}{2}, y_i + 1/2K_2^{(i)})$$

$$K_4^{(i)} = hf(x_i + h, y_i + K_3^{(i)})$$

Ocjena pogreške za prvi korak metode je reda veličine  $h^5$ .

### 3.2. MATEMATIČKI MODELI ZA ŠIRENJE EFLUENTA U ATMOSFERI

Rasprostiranje i koncentracija nekog efluenata ovisi o više faktora, a to su:

- Vjetrovi,
- Brzina taloženja,
- Kemijskim reakcijama efluenata,
- Miješanju efluenata po visini,
- Radioaktivnom raspadu.

Kretanje atmosferskim masa može se mijenjati, a ovisi o:

- Tlaku,
- Kondenzaciji vlage,
- Zagrijavanju i hlađenju atmosfere.

Kompletni volumen miješanja efluenata teško je pratiti, zbog njegove veličine, stoga se često prati manji ograničeni dio – kontrolni volumen. Veličina kontrolnog volumena se bira u ovisnosti da li se radi o analizi lokalnih, regionalnih ili globalnih atmosferskih promjena. (D. Feretić, Ž. Tomšić, D. Škanata, N. Čavlina, D. Subašić, 2000 god.)

Cilj matematičkog modeliranja je postavljanje mase i momenta gibanja unutar svakog kontrolnog volumena, kao i fizikalne interakcije između susjednih kontrolnih volumena. U praksi se analize pojednostavljuju. Najjednostavniji su slučajevi analize kod kojih se zadaje konstantna brzina kretanja atmosfere i kada imamo poznatu brzinu taloženja. Takve se vrste emisije događaju kod analize rasprostiranja krutih čestica i aerosola.

Razlikujemo 2 vrste matematičkih modela koje se koriste u ove svrhe:

- Eulerov jednovolumni model atmosfere - promatra promjenu koncentracije eflueneta unutar stacionarnog volumena (D. Feretić, Ž. Tomšić, D. Škanata, N. Čavlina, D. Subašić, 2000 god.)
- Langrengoev jednovolumni model atmosfere – promatramo promjenu koncentracije unutar jednog volumena zraka u kretanju (D. Feretić, Ž. Tomšić, D. Škanata, N. Čavlina, D. Subašić, 2000 god.)

### 3.2.1. VIŠEVOLUMNI MODELI ATMOSFERE

Jednodimenzionalni model:

- proračun koncentracije eflueneta u volumenima koji je određen po principu jedan iznad drugog, tj po visini
- određivanje promjene koncentracije nekog plina u atmosferi, npr. ozona

Dvodimenzionalni model:

- proračun koncentracije eflueneta u smjeru paralelnom s površinom zemlje, u većini slučajeva ovisi o smjeru vjetra
- primjenjuje se često kod proračuna visinske i prizemne koncentracije efluenata koji uzrokuju kisele kiše ( $\text{SO}_2$  i  $\text{NO}_x$ ) koje se emitiraju na nekom području (na površini grada ili industrijskog kompleksa) (D. Feretić, Ž. Tomšić, D. Škanata, N. Čavlina, D. Subašić, 2000 god.)

Trodimenzionalni model:

- najkompleksniji proračun raspodjela koncentracije efluenata, a odnosi se na proračun raspodjele efluenata koje imaju globalne učinke
- imaju velik broj kontrolnih volumena i veliku količinu podataka, od kojih mnogi nisu dovoljno definirani

U svim modelima postoji problem što se brzine vjetrova uzimaju kao unaprijed određene veličine dobivene iz meteoroloških postaja i na temelju tih podataka se radi proračun koncentracije efluenata, a iste možda neće odgovarati stvarnom stanju.

### 3.2.2. MATEMATIČKI MODEL ZA ŠIRENJE EFLUENATA IZ TOČKASTOG IZVORA

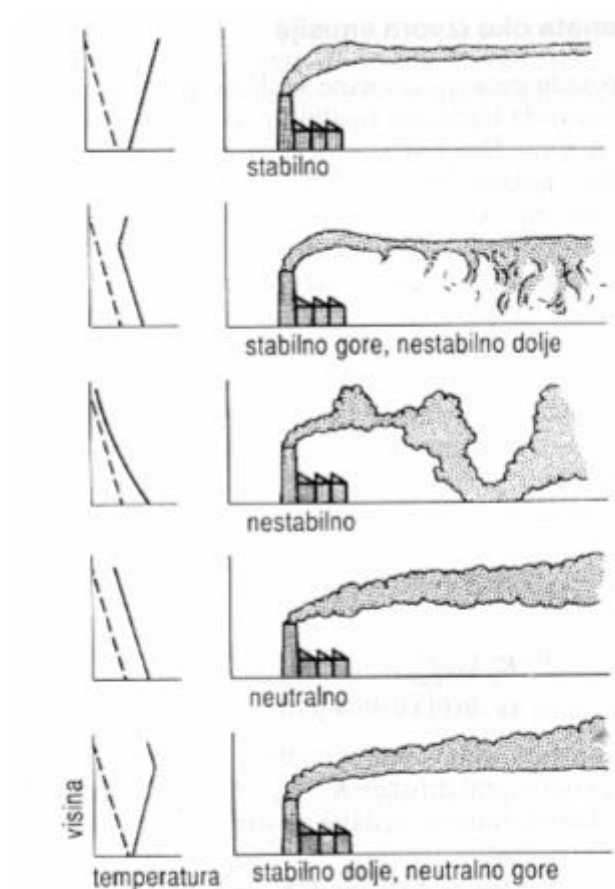
Koristi se kada izvor efluenata nije rasprostranjen po većoj površini tla nego se smatra praktički točkastim (primjerice emisije efluenata iz dimnjaka jednog postrojenja). (D. Feretić, Ž. Tomšić, D. Škanata, N. Čavlina, D. Subašić, 2000 god.). Plinovi koji nastaju izgaranjem fosilnih goriva šire se u okoliš i emitiraju u atmosferu. Radi utjecaja tih plinova na atmosferu i njihovih prizemnih koncentracija na biljni i životinjski svijet, bitno je poznavati promjenu koncentracije efluenata, kao i stanje atmosfere.

Disperzija efluenata u atmosferi ovisi o fizikalnom stanju atmosfere koje uključuje raspodjelu temperature i tlaka po visini, turbulenciju i vjetrove. (D. Feretić et al 2000.) Adijabatske promjene karakterizira smanjenje temperature zraka za  $1^\circ\text{K}$  svakih 100 m. U slučajevima kada temperatura pada brže od adijabatske govorimo o superadijabatskom stanju atmosfere. Kada temperatura pada sporije, kažemo da je stanje atmosfere stabilno, a ako temperatura s visinom raste govorimo o inverziji. Neke specijalne slučajeve konstantne temperature po visini označavamo izotermom. Stanje atmosfere uzrokovano je mnogim čimbenicima (grijanje i hlađenje Zemljine površine, vjetrovi, oblaci). Postoji razlika u stanju atmosfere i između dana i noći.

Temperaturno stanje atmosfere je vrlo važno poznavati kako bi se odredila disperzija dimnih plinova u atmosferi. Na slici 2.11. prikazan je dimnjak visine  $h$ . Zračna sila povlači dim prema gore ili dolje. Ukoliko ispušteni volumen pod utjecajem zračne struje kreće prema gore on se hladi i njegov profil odgovara adijabatskom.

U slučaju da je temperatura okolnog zraka superadijabatska, temperatura u ispuštenom dimu će postati veća od okolnog zraka i također se kretati prema gore. Ako je početno kretanje prema dolje, gustoća mu postaje veća, temperatura manja i on se nastavlja kretati prema dolje. Taj slučaj nazivamo nestabilnim, jer se na zaustavlja na nekoj razini. Iz navedenog razloga kažemo da je superadijabatski temperaturni profil zraka izrazito nestabilan i pogoduje atmosferskoj disperziji polutanta. (D. Feretić, et al 2000.)

Inverzni profil karakterizira stabilnost koja ne pogoduje atmosferskoj disperziji. Ako je profil temperature zraka adijabatski, ispušteni zrak će uvijek biti u temperaturnoj ravnoteži sa okolnim zrakom i neće imati tendenciju kretanja u bilo kojem smjeru. Adijabatski profil temperature zraka u odnosu na atmosfersku je neutralan. (D. Feretić, et al 2000.)



Slika 2.11. Promjena oblika disperzije dimnih plinova ovisno o promjeni okolne temperature po visini (D. Feretić, 2000. god.)

Na slici 2.11. prikazana je promjena oblika disperzije dimnih plinova ovisno o promjeni okolne temperature po visini. Oblici se mijenjaju redom:

Stabilno – topli zrak nakon emisije iz dimnjaka postaje gušći i teži, te ima tendenciju kretanja prema dolje. Otežano je raspršivanje onečišćivača, te koncentracija može dosegnuti visoke vrijednosti.

Nestabilno stanje – topli zrak koji izlazi iz dimnjaka se ne hladi brzo i ne postiže gustoću od okolnog zraka. Širi se prema gore i dispergira visoko i daleko od izvora. Ovakav tip ispuštanja može djelovati nepovoljno i na okolinu koja se nalazi daleko od izvora onečišćenja.

Temperaturna inverzija - ispušteni volumen dima će se kod kretanja prema gore zbog ekspanzije hladiti, te će biti hladniji od okolnog zraka i gušći, te ima tendenciju kretanja prema dolje. U obratnoj situaciji, kod kretanja prema dolje on postaje topliji i rjeđi i ima tendenciju kretanja prema gore.

Kvantitativno određivanje koncentracije emitiranih efluenata ovisi o koeficijentima horizontalne i vertikalne disperzije  $\sigma_y, \sigma_z$ . (D. Feretić, et al, 2000). Smjerovi y i z određuju se eksperimentalno za svaki tip atmosferskih uvjeta. Izračunati koeficijenti koriste se za izračunavanje koncentracije efluenata. Ukoliko je atmosfera nestabilna, koeficijent disperzije bit će veći s obzirom na udaljenost.

Pasquill je eksperimentalno postavio 6 tipova atmosferskih uvjeta (od nestabilnijih prema stabilnoj). Nazvani su A, B, C, D, E, F. Tip G predstavlja potpuno stabilnu atmosferu, a nastaje iz tipa F.

$$\sigma_z(G) = \frac{3}{5} \sigma_z(F)$$

$$\sigma_y(G) = \frac{2}{3} \sigma_y(F)$$

Atmosferska stanja se mijenjaju tijekom dana ovisno o temperaturi zraka i zemljišta. Pasquill je atmosferska stanja definirao s 2 parametra:

- Temperatura zraka po visini (pouzdaniji parametar) i
- Lopatica postavljena u struju zraka, a oscilira s obzirom na smjer vjetrova, s povećanjem nestabilnosti kut je veći.

#### Računsko određivanje Pasquillovog koeficijenta

$$\sigma_y = ax^{0,894} \quad (1)$$

$$\sigma_z = cx^d - f \quad (2)$$

Formule 1 i 2 prikazuju ovisnosti koeficijenta horizontalne i vertikalne disperzije o udaljenosti od izvora i vrijednostima za određeni tip atmosfere.

a, b, c, d, f – vrijednosti za stabilnost atmosfere koje su određene eksperimentalno, a moguće ih je naći u određenim računalnim programima

$\sigma_y$		
Stabilnost atmosfere	"a" iznosi	ostale varijable
A	213	"x" = the distance downwind
B	156	"f" = 0
C	104	"c" = 0.894
D	68	
E	50.5	
F	34	

Tablica 2.3.5.1. Vrijednost horizontalnog koeficijenta disperzije

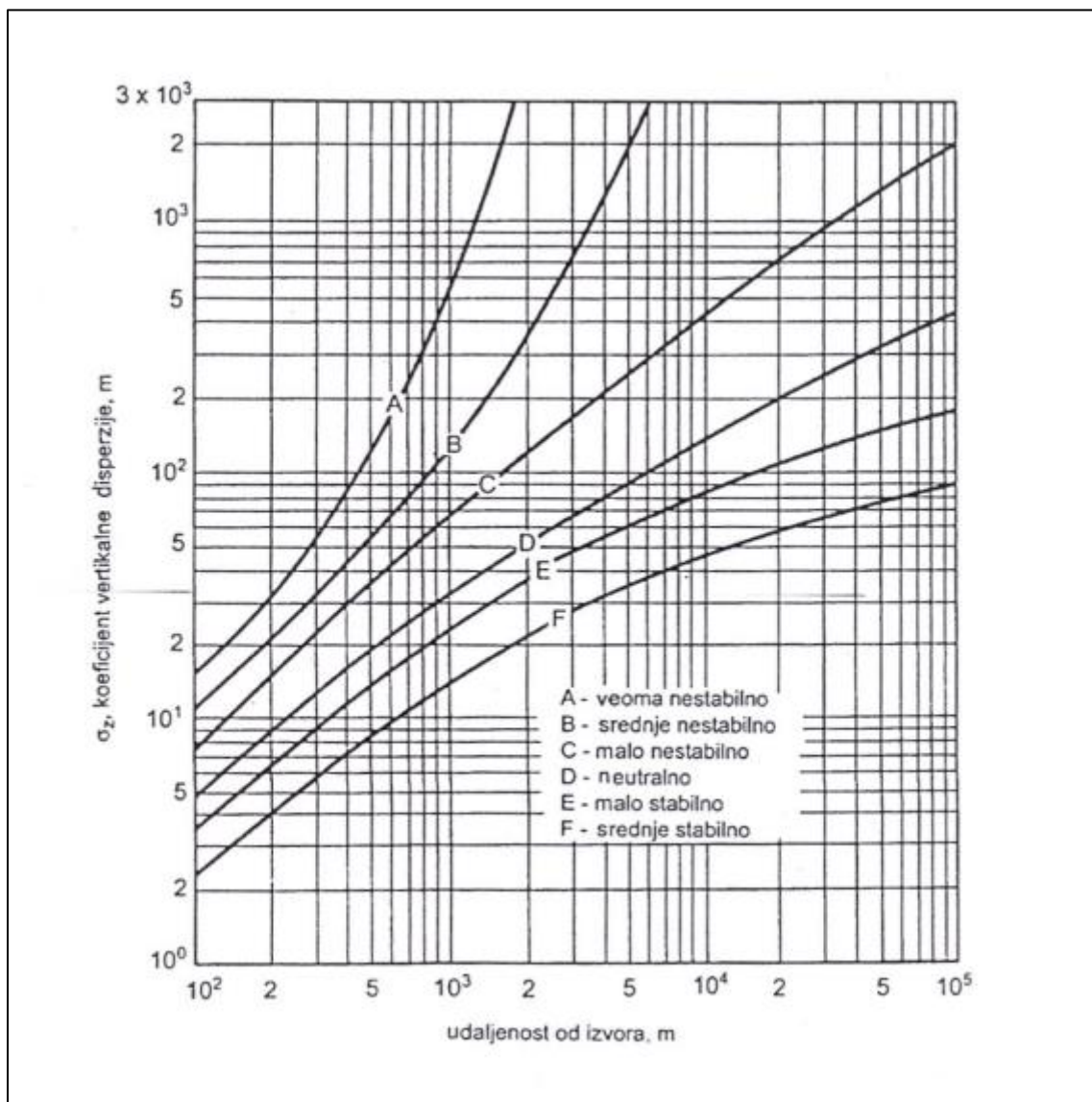
$\sigma_z$						
Stabilnost atmosfere	x<1 km			x>1 km		
	"a" is:	"c" is:	"f" is:	"a" is:	"c" is:	"f" is:
A	440.8	1941,00	-9.27	459.7	2094,00	42895,00
B	106.6	1149,00	-3.3	108.2	1098,00	-2,00
C	61,00	0.911	0,00	61,00	0.911	0,00
D	33.2	0.725	42917,00	44.5	0.516	13,00
E	42969,00	0.678	42795,00	55.4	0.305	34,00
F	14.35	0.74	0.35	62.6	0.18	48.6

Tablica 2.3.5.2. Vrijednost vertikalnog koeficijenta disperzije

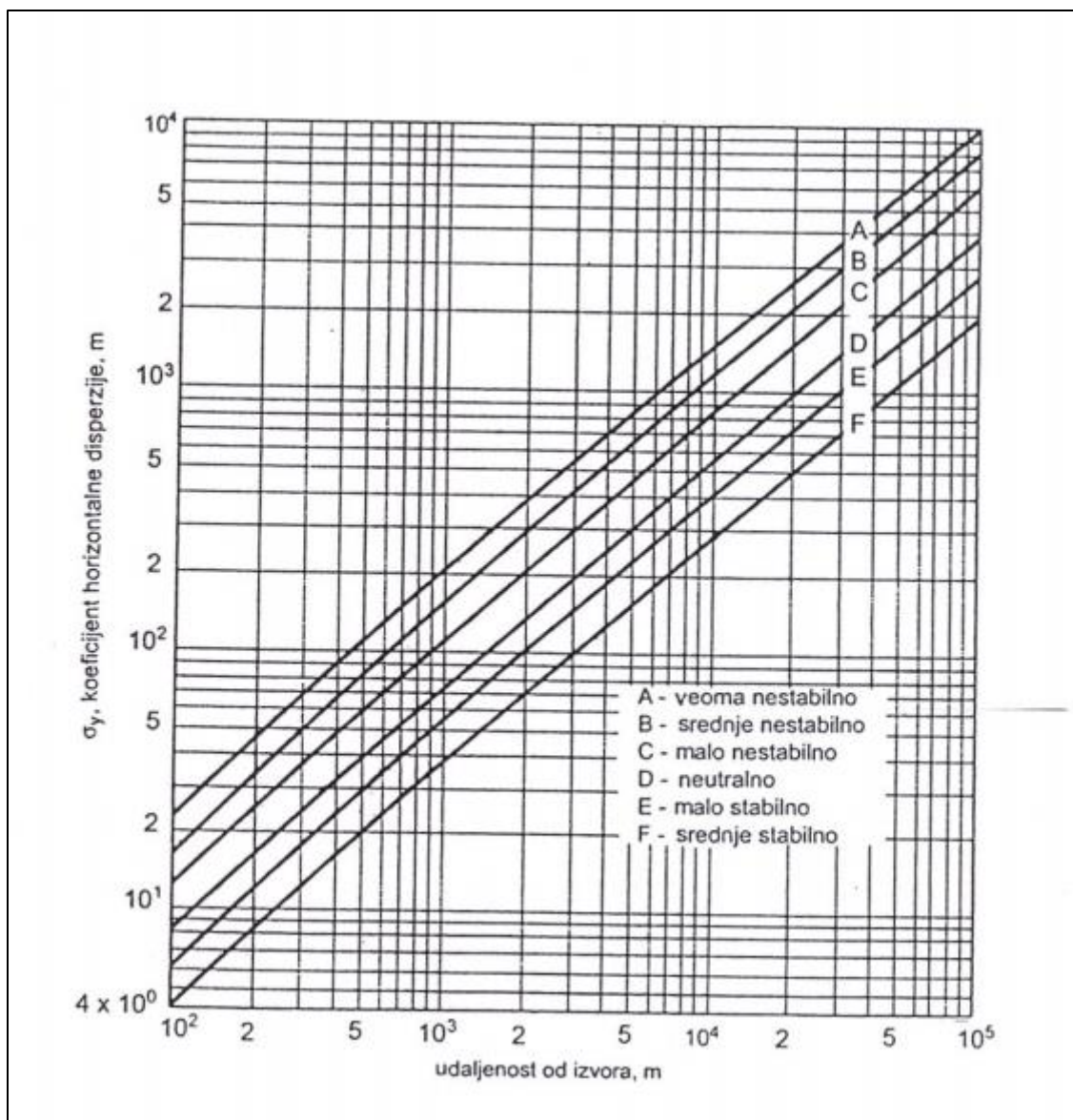
U tablici 2.3.5.1. prikazane su eksperimentalno dobivene vrijednosti za pojedine tipove atmosfere, a iste koristimo u izračunavanju horizontalnog koeficijenta disperzije, prema formuli (1).

U tablici 2.3.5.2. prikazane su također eksperimentalno dobivene vrijednosti za pojedine tipove atmosfere za slučajeve  $x > 1 \text{ km}$  i  $x < 1 \text{ km}$ , a te se vrijednosti koriste za izračunavanje vertikalnog koeficijenta disperzije, prema formuli (2).

## Grafičko određivanje Pasquillovog koefecijenta



Slika 2.12. Koeficijenti vertikalne disperzije  $\sigma_z$  u funkciji udaljenosti od izvora emisije za atmosferska stanja prema Pasquillu (slika Elektrane i okoliš, D. Feretić, Ž. Tomšić, D. Škanata, N. Čavlina, D. Subašić, 2000 god.)



Slika 2.13. Koeficijenti horizontalne disperzije  $\sigma_y$  u funkciji udaljenosti od izvora emisije za atmosferska stanja prema Pasquillu (D. Feretić, et al, 2000.)

Grafovi prema kojima možemo isčitati stanja atmosfere A, B, C, D, E, F prikazani su na slikama 2.12. i 2.13. Isti pokazuju ovisnost disperzijskih koeficijenta o udaljenost od izvora emisije od 100m do 100km.

## 4. GAUSSOVOV MODEL DISPERZIJE

Turbulentna difuzijska jednačba je parcijalna diferencijalna jednačba koja se može riješiti numeričkim metodama. Uz pretpostavku da je homogeni tlak u stabilnom stanju i stacionarni izvor stacionarne točke, jednačba također se može analitički integrirati i rezultira poznatom Gaussovom distribucijom:

$$c(x, y, z) = \frac{Q}{2\pi\sigma_y\sigma_zU} \exp\left(\frac{-y^2}{2\sigma_y^2}\right) \left( \exp\left(\frac{-(z-H)^2}{2\sigma_z^2}\right) + \exp\left(\frac{-(z+H)^2}{2\sigma_z^2}\right) \right)$$

u kojoj su:

$c$  – koncentracija na zadanom položaju (g/s)

$Q$  – protok (g/s)

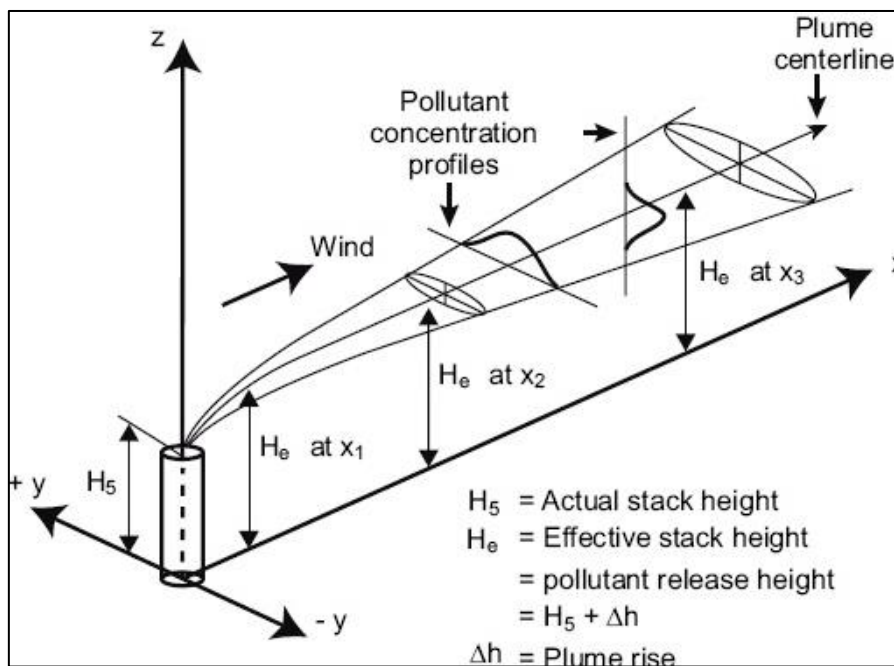
$x$  – pozicija uz dimnjak (m)

$y$  – pozicija simetrane dimne perjanice (m)

$z$  – pozicija uz tlo (m)

$H$  – visina otpuštanja (m)

$\sigma_y, \sigma_z$  – difuzijski koeficijenti, ovise o stanju atmosfere i udaljenosti od  $x$

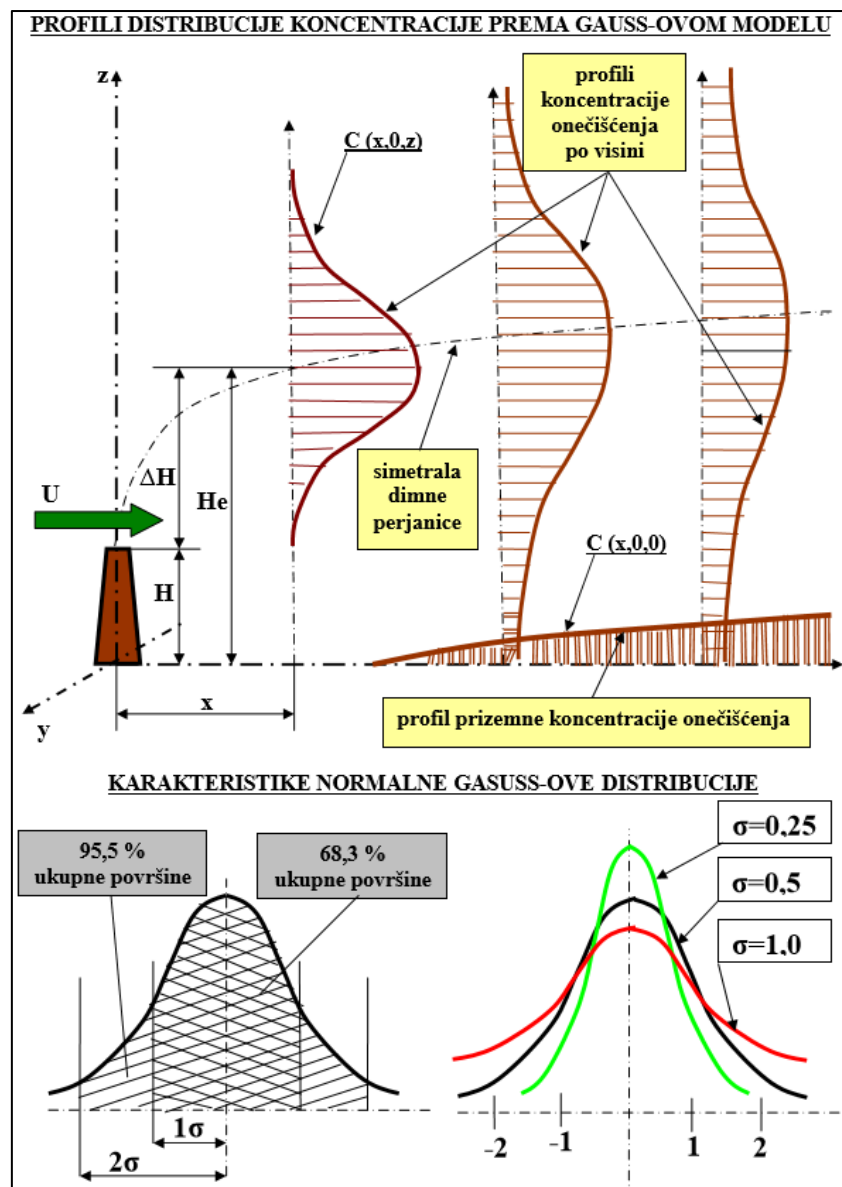


Slika 3.1. Shematski prikaz Gaussovog modela (preuzeto s <http://elte.prompt.hu/sites/default/files/tananyagok/AtmosphericChemistry/ch10s03.html>, 10.06.2017.)



Na slici 3.1. prikazan je shematski prikaz Gaussovog modela. Ključni parametri su visina i poprečna i vertikalna odstupanja. Vidljivo je širenje dimne perjanice u smjeru vjetra, udaljenosti  $x$  od izvora onečišćenja, visina onečišćivača  $H_5$ , te visina od središta dimne perjanice do tla  $H_e$ . Visina središta dimne perjanice  $H_e$  od tla se računa na način da visini onečišćivača  $H_5$  pribrojimo visinu  $\Delta h$  koja predstavlja polumjer dimne perjanice.

Gaussov model koristi se za prikaz disperzije iz točkastog izvora (npr. dimnjaka). Utvrđuju se prizemne koncentracije u nekom trenutku. Model uzima u obzir konfiguraciju terena te radi toga daje preciznije rezultate. Gaussov model računa koncentracije na unaprijed određenim mjestima i prema unaprijed definiranim meteorološkim uvjetima te se koristi za predviđanje utjecaja meteoroloških prilika na širenje onečišćenja. Formiranje perjanice dima (podizanje, transport, difuzija i taloženje) je pod utjecajem satno definiranim meteorološkim uvjetima koji mogu biti mjereni ili procijenjeni.



Slika 3.2. Profili koncentracije onečišćenja (M. Čavrak et al 2007.)

Slika 3.2. prikazuje širenje koncentracije onečišćenja u ovisnosti o udaljenosti od izvora i visini širenja dimne perjanice. Najveća koncentracija ispušnih plinova nalazi se u središtu dimne perjanice koja se širi po modelu Gaussove distribucije. Prikazan je i profil prizemne koncentracije onečišćenja koja počinje rasti tek nakon određene udaljenosti, nakon što onečišćivač dođe do tla.

Korištenje modela disperzije za konstantno mjerenje prizemnih koncentracija onečišćujućih tvari zahtijeva domenu za modeliranje. Optimalna veličina domene izabire se tako da se korištenjem izmjerenih emisija onečišćujućih tvari iz izvora, te meteoroloških podataka iz najbliže meteorološke postaje, izvrše simulacije za niz prethodnih godina i utvrdi područje unutar kojeg su prizemne koncentracije iznad godišnjih graničnih vrijednosti za zaštitu ljudi, ekosustava i vegetacije (M. Čavrak et al 2007.).

Domenom je potrebno obuhvatiti i lokacije mjernih postaja radi utvrđivanja onečišćenja promatranog izvora u odnosu na ukupno onečišćenje, te stvoriti receptorsku mrežu. Ulazni podaci potrebni za modeliranje uključuju podatke o emisiji promatranog plina i podatke o meteorološkim uvjetima (temperatura, vjetar, klasa stabilnosti atmosfere...). Podatke je moguće dobivati kontinuirano, ako uspostavimo računalne postupke za interpolaciju podataka na domenu za modeliranje.

Podaci se skupljaju u emisijsku i meteorološku bazu, te se na temelju njih rade godišnji izvještaji. Ovisno o postignutim rezultatima, donose se ciljevi smanjenja emisija za naredno vrijeme.

- Difuzijska(disperzijska) jednadžba prema Gaussovoj metodi

Vrijedi za širenja u x, y i z smjeru iz točkastog izvora u neograničenu okolnu atmosferu.

$$c(x, y, z) = \frac{Q}{2\pi\sigma_y\sigma_zU} e^{-\left(\frac{y^2}{2\sigma_y^2} + \frac{z^2}{2\sigma_z^2}\right)}$$

gdje su:

x = 0 - pozicija uz dimnjak (m)

y = 0 - pozicija simetrane dimne perjanice (m)

z = 0 - pozicija uz tlo (m)

Q – protok (g/s)

C – koncentracija (g/s)

- U slučaju kada je emisija iz dimnjaka visine H, koordinata simetrane dimne perjanice biti će z-H, tada jednadžba glasi:

$$c(x, y, z) = \frac{Q}{2\pi\sigma_y\sigma_zU} e^{-\left(\frac{y^2}{2\sigma_y^2} + \frac{(z-H)^2}{2\sigma_z^2}\right)}$$

- Uz postavku o očuvanju emitirane mase polutanta, cjelokupni se dim u kontaktu sa tlom reflektira te se taj dio također pribraja koncentraciji koja se tako, u prizemnom sloju udvostručuje. (Z. Prelec, 2009. god.) Prizemna koncentracija emisije iz dimnjaka visine H iznosi:

$$c(x, y, 0) = \frac{Q}{2\pi\sigma_y\sigma_z U} e^{-\left(\frac{y^2}{2\sigma_y^2} + \frac{H^2}{2\sigma_z^2}\right)}$$

- Maksimalna prizemna koncentracija iznosi:

$$c(x, 0, 0) = \frac{Q}{2\pi\sigma_y\sigma_z U} e^{-\frac{H^2}{2\sigma_z^2}}$$

- Koncentracija onečišćenja za slučaj emisije s tla(požari, eksplozije...)

$$c(x, y, 0) = \frac{Q}{2\pi\sigma_y\sigma_z U} e^{-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}}$$

## 5. MODEL DISPERZIJE SO<sub>2</sub> PREMA GAUSSOVOJ METODI

### 5.1. MJERNA POSTAJA

Mjerna postaja Zoljan smještena je na granici šume i obrađivanog poljoprivrednog zemljišta. Udaljena je cca 500 m od najbliže veće prometnice srednjeg intenziteta. Postaja je smještena u blizini sela Zoljan. Postavljena je s ciljem mjerenje emisija plinova ispuštenih iz obližnje cementare, koja se nalazi cca 2 km sjeveroistočno od postaje.



Slika 4.1. Mjerna postaja Zoljan(preuzeto sa <http://iszz.azo.hr/iskzl/postaja.html?id=37>

25.5.2017.)

#### **Podaci o mreži:**

Naziv: mreža za praćenje kvalitete zraka Nešicecement

Tip mreže: lokalna

Tijelo odgovorno za upravljanje: Nexe grupa, Cementara Našicecement

Obavijest o vremenu: lokalno vrijeme

#### **Podaci o postaji:**

Ime postaje: Zoljan

Ime grada: Našice

Ime stručne institucije koja odgovara za postaju: EKONERG d.o.o.

Tijelo ili programi kojima se dostavljaju podaci: Županija Osječko baranjska

Ciljevi mjerenja: praćenje onečišćenja zraka uzrokovano radom cementare Našicecement

Onečišćujuće tvari: SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub>

Meteorološki parametri: temperatura, relativna vlažnost, smjer i brzina vjetrova

Područje za koje je postaja reprezentativna: radius od 2 000m

### **Mjerna oprema:**

Analitička ili mjerna metoda

SO<sub>2</sub> – automatski analizator – UV fluorescencija

NO<sub>2</sub> – automatski analizator – Kemiluminescencija s modulacijom unakrsnim protocima

PM<sub>10</sub> – automatski analizator – apsorpcija beta zračenja

### **Značajke uzorkovanja:**

Visina mjesta uzorkovanja: 3 m

Učestalost integriranja podataka: 1 sat

Vrijeme uzorkovanja: kontinuirano

## 5.2. IZRAČUNAVANJE KONCENTRACIJE SO<sub>2</sub> PO GAUSSOVOJ METODI

Podaci su uzeti iz arhive Državnog hidrometeorološkog zavoda i arhive cementare.

Poznate vrijednosti:

$$Q = 11\,100\,000\,000 \text{ g/s}$$

$$U = 10 \text{ km/h} = 2,778 \text{ m/s}$$

$$X = 2\,000 \text{ m}$$

$$\text{ATM} = F$$

### ODREĐIVANJA KONCENTRACIJE SO<sub>2</sub> NA ISPUSTU:

Određujemo koeficijente vertikalne i horizontalne disperzije prema standardnim formulama, poznatim udaljenostima x i eksperimentalno dobivenim vrijednostima za stanja atmosfere. Kada imamo poznate koeficijente vertikalne i horizontalne disperzije računamo koncentraciju prema formuli (3).

$\sigma_y$  i  $\sigma_z$  - koeficijenti horizontalne i vertikalne disperzije (m)

x – udaljenost od ispusta (m)

a, c, d, f – vrijednosti za stanja atmosfere

c – koncentracija ( $\frac{\mu\text{g}}{\text{s}}$ )

$$\sigma_y = ax^{0,894}$$

$$\sigma_y = 34 * 2^{0,894}$$

$$\sigma_y = 63,183$$

$$\sigma_z = cx^d - f$$

$$\sigma_z = 62,6 * 2^{0,18}$$

$$\sigma_z = 22,319$$

$$C = Q / (2 * 3,14159 * U * \sigma_z * \sigma_y) \quad (3)$$

$$C = 11\,100\,000\,000 \frac{g}{s} / (2 * 3,14159 * 2,778 \frac{m}{s} * 22,319 * 63,183)$$

$$C = 450638 \frac{\mu g}{s}$$

NAJVEĆA(MAKSIMALNA) PRIZEMNA KONCENTRACIJA SO<sub>2</sub> JE U SIMETRALI DIMNE PERJANICE, ODNOSNO NA POZICIJI y=0, z=0:

$$C(x, 0, 0) = \frac{Q}{\pi * \sigma_y * \sigma_z * U} e^{-\frac{H^2}{2\sigma_z^2}}$$

$$C(x, 0, 0) = \frac{11100000000 g/s}{\pi * 63,183 * 22,319 * 2,778 m/s} e^{-\frac{(27m)^2}{2 * 22,319^2}}$$

$$C(x, 0, 0) = 433576,154 \mu g/s$$

JEDNADŽBA ONEČIŠĆENJA U NEKOJ TOČKI (U OVOM SLUČAJU MJERNA POSTAJA) UZROKOVANA ISPUŠTANJEM SO<sub>2</sub> IZ PROMATRANOG DIMNJAKA

$$C(x, y, z) = \frac{Q}{2\pi * \sigma_y * \sigma_z * U} e^{-\left(\frac{y^2}{2\sigma_y^2} + \frac{(z-H)^2}{2\sigma_z^2}\right)}$$

$$C(x, y, z) = \frac{11100000000 g/s}{2\pi * 63,186 * 22,319 * 2,778 m/s} e^{-\left(\frac{(2000m)^2}{2 * 63,183^2} + \frac{(0-27 m)^2}{2 * 22,139^2}\right)}$$

$$C(x, y, z) = 0 \mu g/s$$

Prema poznatim podacima kojima smo raspolagali, a isti su objavljeni na godišnjim izvještajima o ispušnim plinovima cementare, te godišnjim izvještajima mjerne postaje koja prati koncentracije ispušnih plinova spomenute cementare došli smo do sljedećih vrijednosti:

- Koncentracija SO<sub>2</sub> na ispustu prema našim izračunima iznosi  $450638 \frac{\mu g}{s}$  što odgovara objavljenim vrijednostima cementare  $449700 \frac{\mu g}{s}$
- Maksimalna prizemna koncentracija SO<sub>2</sub> prema izračunu iznosi  $433576,154 \mu g/s$ , te predstavlja vrijednosti koncentracije koja se nalazi u simetrali dimne perjanice
- Onečišćenje u postaji prema izračunu iznosi  $0 \mu g/s$ , dok je u mjernoj postaji izmjerena  $5,0342 \mu g/s$ .

Dobivene vrijednosti ne predstavljaju opasnost za ljude, životinje i biljni svijet. Cementara poštuje zakon o zaštiti zraka, te također objavljuje potrebne podatke, kako bi se u slučaju prekomjernog zagađenja nastalog u industriji moglo na vrijeme reagirati, pronaći uzrok zagađenja kao i moguća rješenja. Postoje ciljevi koji su postavljeni za smanjenje ispušnih plinova, te je vidljivo zanimanje industrije za područje zaštite okoliša.

## 6. ZAKLJUČAK

Uzimajući u obzir razvoj proizvodnje, građenje industrijskih zona i širenja stambenih naselja potrebno je izvršavati praćenja kakvoće zraka. Svako biće ima pravo živjeti u okolišu koji štetno ne utječe na njegovo zdravlje, a samim time moramo smanjiti i štetne utjecaje po okoliš. Sve emisije štetnih tvari iz industrija onečišćuju osim zraka i tlo i vodu.

Atmosfera sadrži kisik ( $O_2$ ) koji je neophodan za živa bića, te ugljikov (IV) oksid ( $CO_2$ ) koji je neophodan za biljke. Sadrži i ozon ( $O_3$ ) koji nas štiti od UV zračenja, osigurava kruženje vode, smanjuje temperaturne razlike između dana i noći.

Cementare u postupku dobivanja klinkera onečišćuju zrak ispuštanjem štetnih plinova u okolinu. U svojoj strukturi cementare su dužne pratiti ispuštanje štetnih plinova koja i vrše mjerenjem na dimnjaku, u dvorištu i sl. Također u funkciji praćenja koncentracije štetnih plinova postavljene su mjerne stanice u blizini naseljenih područja kako bi se kontrolirala kvaliteta zraka.

Prekomjernim ispuštanjem štetnih plinova dolazi do pojave kiselih kiša koje štetno djeluju na vegetaciju, ribarstvo i poljoprivredu. Također dolazi do efekta staklenika čime se temperatura na Zemlji povećava, a isto uzrokuje otapanje ledenjaka, promjenu klime itd. Potrebne su mjere za smanjenje emisije stakleničkih plinova, a to su:

- obnovljivi izvori energije
- povećanje energetske učinkovitosti
- energetska korištenje otpada
- promjenu tehnologije u industriji
- korištenje javnog prijevoza
- pošumljavanje

Javlja se i problem nastanka ozonskih rupa koji se javio u 20. st., a predstavlja veliku opasnost za zdravlje ljudi. Smanjenje ozona nastaje reakcijama klora (Cl) i broma (Br), a najveće ozonska rupa nalazi se na Antartiku. Ozon je na području ekvatora, u stratosferi najgušći, dok se prema polovima rijedi.

Zakon propisuje primjenu složenih matematičkih referentnih sustava kako bi se moglo procijeniti onečišćenje zraka, te se takvi matematički modeli moraju koristiti i kod planiranja gradnje prometnica (ispušni plinovi iz vozila), kao i kod gradnje industrijskih kompleksa. U radu je prikazan Gaussov model disperzije koji je izrađen na temelju podataka o koncentraciji štetnih ispušnih plinova iz cementare.

- Prikazane su koncentracije:
- Na ispustu iz dimnjaka
- Maksimalna prizemna koncentracija
- U točki (našem slučaju mjerna postaja)



Bitno je konstantno pratiti kakvoću zraka, ali i prognozirati pomoću matematičkih modela, naročito prizemne koncentracije, kako bi se u slučaju nedopuštenih koncentracija ispušnih plinova moglo reagirati i otkriti uzrok zagađenja. Takvi modeli se primjenjuju i u okolini gdje nema mjernih stanica, a u svrhu držanja zakonskih ograničenja.

Prikazali smo vrijednosti ispušnih plinova na dimnjaku cementare, te vrijednosti koncentracije štetnih plinova izmjenjenih na mjernoj postaji koja prati rad cementare. Prema poznatom protoku, meteorološkim uvjetima, te jačini vjetra napravljen je izračun prema Gaussovom modelu disperzije tvari u proizvodnji cementa. Dobivene vrijednosti odgovaraju izmjenjenim vrijednostima. Takve vrijednosti nisu opasne za zdravlje ljudi, životinja i biljnog svijeta, no te se vrijednosti u budućnosti moraju smanjivati prema ciljevima i zakonu o zaštiti zraka.

Potrebno je koristiti što više obnovljivih izvora, kako bi se budućim naraštajima omogućio opstanak na Zemlji kakvu poznamo.

U Varaždinu, 07.07.2017.

## 7. LITERATURA

1. ČAVRAK M., ČARIJA Z. , MRŠA Z., Modeliranje disperzije onečišćujućih tvari, 2007. g.
2. Feretić D., Tomšić Ž., Škanata D., Čavlina N., Subašić D., Elektrane i okoliš, Element, Zagreb 2000. god.
3. Gotal Dmitrović, L.; Dušak, V.; Milković, M.; Razvoj informacijskih sustava za zaštitu površinskih voda, Sveučilište Sjever, 2017.
4. Herceg, N: Okoliš i održivi razvoj, Synopsis d.o.o., Zagreb 2013.
5. Hraste M., Mehaničke operacije – Inženjerstvo disperzivnih sustava, Sveučilišna naklada d.o.o., Zagreb 1990. god.
6. Nastavni zavod za javno zdravstvo
7. Prelec Z., Inženjerstvo zaštite okoliša, 2009. god.
8. Stričević N., Tehnologija s poznavanjem robe, Školska knjiga ,Zagreb 1987. god.
9. Šulc, D. Projekt „Inovativna škola za zelenu budućnost“, Primjer dobre prakse - Našicecement d.d., „Tehnologija proizvodnje cementa”, 2013. God.
10. xxx,<https://www.cloudschool.org/activities/ahFzfmNsb3Vkc2Nob29sLWFwcHI5CxlEVXNlchiAgICA1PCKCgwLEgZDb3Vyc2UYgICAgMT8kAoMCxIIQWN0aXZpdHkYgICAgNTwigMogEQNTcyODg4NTg4Mjc0ODkyOA>, preuzeto: 15.06.2017.
11. xxx, [https://hr.wikipedia.org/wiki/Ozonski\\_omota%C4%8D](https://hr.wikipedia.org/wiki/Ozonski_omota%C4%8D), preuzeto: 15.06.2017.
12. xxx,[https://hr.wikipedia.org/wiki/Zemljina\\_atmosfera#Podjela\\_atmosfere\\_prema\\_temperaturi](https://hr.wikipedia.org/wiki/Zemljina_atmosfera#Podjela_atmosfere_prema_temperaturi), preuzeto 08.07.2017.
13. xxx,<http://elte.prompt.hu/sites/default/files/tananyagok/AtmosphericChemistry/ch10s03.html>, preuzeto: 08.07.2017.
14. xxx, [http://eskola.chem.pmf.hr/udzbenik/web\\_Sikirica/index.htm](http://eskola.chem.pmf.hr/udzbenik/web_Sikirica/index.htm) , preuzeto: 08.06.2017.

**IZJAVA O AUTORSTVU  
I  
SUGLASNOST ZA JAVNU OBJAVU**

Završni/diplomski rad isključivo je autorsko djelo studenta koji je isti izradio te student odgovara za istinitost, izvornost i ispravnost teksta rada. U radu se ne smiju koristiti dijelovi tuđih radova (knjiga, članaka, doktorskih disertacija, magistarskih radova, izvora s interneta, i drugih izvora) bez navođenja izvora i autora navedenih radova. Svi dijelovi tuđih radova moraju biti pravilno navedeni i citirani. Dijelovi tuđih radova koji nisu pravilno citirani, smatraju se plagijatom, odnosno nezakonitim prisvajanjem tuđeg znanstvenog ili stručnoga rada. Sukladno navedenom studenti su dužni potpisati izjavu o autorstvu rada.

Ja, LIDIJA ĐURINEC TER (ime i prezime) pod punom moralnom, materijalnom i kaznenom odgovornošću, izjavljujem da sam isključivi autor/ica završnog rada pod naslovom

GAUSSOV MODEL DISPERZIJE TVARI U PROJEKTOVANJU CEMENTA (upisati naslov) te da u navedenom radu nisu na nedozvoljeni način (bez pravilnog citiranja) korišteni dijelovi tuđih radova.

Student/ica:  
(upisati ime i prezime)

Lidija Đurinec Ter  
(vlastoručni potpis)

Sukladno Zakonu o znanstvenoj djelatnosti i visokom obrazovanju završne/diplomske radove sveučilišta su dužna trajno objaviti na javnoj internetskoj bazi sveučilišne knjižnice u sastavu sveučilišta te kopirati u javnu internetsku bazu završnih/diplomskih radova Nacionalne i sveučilišne knjižnice. Završni radovi istovrsnih umjetničkih studija koji se realiziraju kroz umjetnička ostvarenja objavljuju se na odgovarajući način.

Ja, LIDIJA ĐURINEC TER (ime i prezime) neopozivo izjavljujem da sam suglasan/na s javnom objavom završnog rada pod naslovom GAUSSOV MODEL DISPERZIJE TVARI U PROJEKTOVANJU CEMENTA (upisati naslov) čiji sam autor/ica.

Student/ica:  
(upisati ime i prezime)

Lidija Đurinec Ter  
(vlastoručni potpis)