

# Еколошки инжењеринг

## Проблем загађења ваздуха

Драган Милић, дипл. грађ. инж.

### Преглед

- Увод
- Атмосфера – састав и особине
- Нечистоће у ваздуху
- Извори аерозагађења
- Прорачун аерозагађења
- Ефекти аерозагађења

### УВОД

### ИСТОРИЈАТ



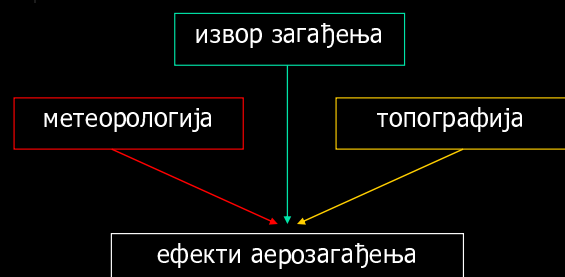
увод...

### ДЕФИНИЦИЈА

Аерозагађење подразумева присуство једне или више непожељних чврстих, течних или гасовитих супстанци у ваздуху, у одређеној количини, одређених особина у одређеном временском периоду, а угрожава човека или његову околину.

увод...

### ДЕФИНИЦИЈА - ШЕМА



увод...

## АЕРОЗАГАЂЕЊЕ



унутрашње загађење...

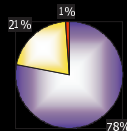
## АТМОСФЕРА

атмосфера...

## ОСОБИНЕ АТМОСФЕРЕ

$m = 5.1 \cdot 10^{18} \text{ kg} \sim 10^{-8}$  масе Земље  
 $R = 35000 \text{ km}$  али је 99.999% унутар 90km

### Чист ваздух



■ azot (N)  
 ■ kiseonik (O)  
 ■ ostali

атмосфера...

## ЗНАЧАЈНЕ ПОЈАВЕ У АТМОСФЕРИ

- ветар
- температура
- падавине
- Сунчево зрачење

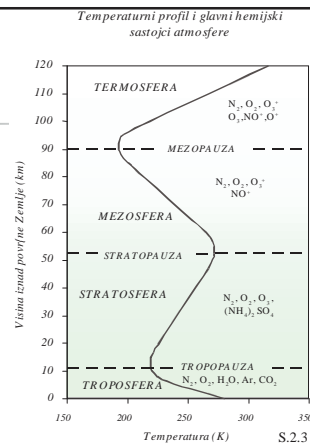
атмосфера...

## време постојања неких састојака атмосфере

постојање	састојак
око 1 s	OH
до 1 min	CH <sub>3</sub> , CCl <sub>3</sub> , HO <sub>2</sub>
до 1 dan	H <sub>2</sub> CO, H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> , NO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> S
до 1 godina	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , HNO <sub>3</sub> , SO <sub>2</sub> , O <sub>3</sub> , CO
до 10 godina	CH <sub>4</sub> , H <sub>2</sub>
до 100 godina	N <sub>2</sub> O

атмосфера...

## ТЕМПЕРАТУРНИ ПРОФИЛ



# НЕЧИСТОЋЕ У ВАЗДУХУ

## - ПОЛУТАНТИ -

полутанти...

### ДЕФИНИЦИЈА

ЧИСТ ВАЗДУХ ...

нечистоћа (полутант) је свака материја која се нађе у чистом ваздуху и својим присуством смањи удео компоненти чистог ваздуха.

полутанти...

### ПОДЕЛА ПОЛУТАНТА:

Према саставу

- органског састава
- неорганског састава

Према агрегатном стању полутанта

- гасовито
- течност
- чврсто

полутанти...

### ПОДЕЛА ПОЛУТАНТА:

Према димензијама:

- микроскопски
- макроскопски

Према облику полутанта:

- гасови
- честице

полутанти...

### ПОЈАВНИ ОБЛИЦИ ПОЛУТАНТА

*честица* је мала количина материје у чврстом или течном агрегатном стању пречника од  $0,001 \mu\text{m}$  до  $1 \text{ mm}$ .

*гасови* су стишљиви флуиди који при нормалним условима теже да заузму сав простор.

*аеросоли* су квазистабилне мале честице у течном или чврстом агрегатном стању, распршене у ваздуху или неком гасу.

*прашина* су чврсте честице веће од  $1 \mu\text{m}$ , које су способне да неко време лебде у ваздуху, а не теже сједињавању у хомогену масу.

*суспензије* су честице величине око  $1 \mu\text{m}$  настале кондензацијом гасова директно у чврсто стање, садрже језгро (кристално) око кога се прикупљају честице формирајући ланац.

полутанти...

### ПОЈАВНИ ОБЛИЦИ ПОЛУТАНТА

*дим* је фино концентрисан аеросол састављен од чврстих и течних честица пречника до  $5 \mu\text{m}$ .

*магла* је аеросол сачињен од капљица течности сферног облика, може бити невидљива до  $10 \mu\text{m}$  и видљива од  $10 \mu\text{m}$ .

*смог* мешавина природног и вештачког аеросола: дим (smoke) + магла (fog). фотохемијски смог је смог настао трансформацијом под утицајем Сунчевог зрачења.

*чађ* су честице на бази угљеника натопљене катраном.

*аероалергени* су све ваздушне нечистоће које изазивају непожељне реакције организма, најчешће за време њиховог излагања.

полутанти...



## Гидингс: XVI прълавих елемената

Водоник - H	Стронцијум - Sr
Угљеник - C	Кадмијум - Cd
Азот - N	Јод - J
Кисеоник - O	Цезијум - Cs
Фосфор - P	Жива - Hg
Сумпор - S	Олово - Pb
Хлор - Cl	Уранијум - U
Арсен - As	Плутонијум - Pu

полутанти...



## ЗНАЧАЈНИЈИ ПОЛУТАНТИ

- Једињења сумпора:  $\text{SO}_2$ ,  $\text{SO}_3$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$
- Једињења азота:  $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{NH}_3$
- Угљен моноксид и угљен диоксид:  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$
- Угљоводоници:  $\text{C}_n\text{H}_{n+2}$
- Озон:  $\text{O}_3$
- Олово: Pb
- Суспендоване честице:  $\text{PM}_{10}$ ,  $\text{PM}_5$

полутанти...



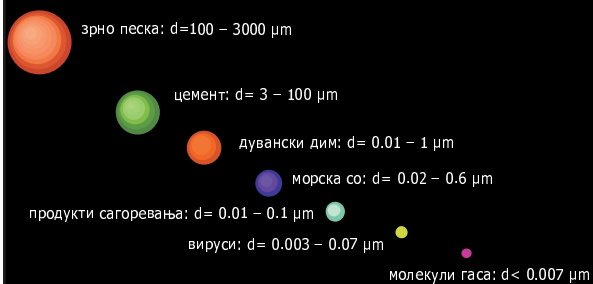
## Настанак (потенцијалних) полутаната

$\text{SO}_2$	сагоревање фосилних горива, обрада руде, природне појаве
$\text{SO}_3$	
$\text{NO}_2$	сагоревање фосилних горива, сагоревање органских материја, електрично пражњење
NO	
CO	непотпуно сагоревање чврстог и течног горива, разлагање органских супстанци, индустријски процеси
$\text{CO}_2$	
$\text{O}_3$	електрично пражњење, дифузија из стратосфере, фотохемијски смог
$\text{C}_n\text{H}_{n+2}$	испаривање течних горива, издувни гасови
$\text{PM}_{10}$	сагоревање фосилних горива, индустријски процеси, распаѓање органских материја, природне појаве

полутанти...



## ПРЕЧНИЦИ НЕКИХ НЕЧИСТОЋА

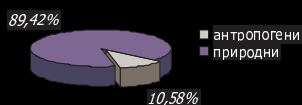


полутанти...



## Суспендоване честице

Учешће природних и антропогенних извора у емисији честица



полутанти...



## Суспендоване честице

Учешће појединих антропогенних извора

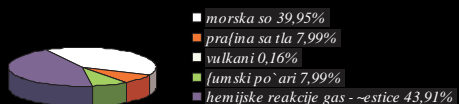


полутанти...



## Суспендоване честице

Учешће појединих природних извора

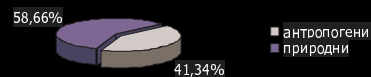


полутанти...



## Једињења сумпора

Учешће природних и антропогенних извора у емисији сумпора

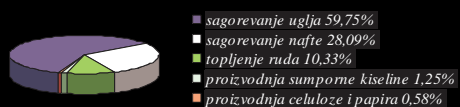


полутанти...



## Једињења сумпора

Учешће појединих антропогенних извора



полутанти...



## Једињења сумпора

Учешће појединих природних извора



полутанти...



## Угљоводоници

Класе:

Алкани (парафини):

метан  $\text{CH}_4$

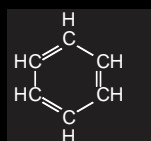
етан  $\text{CH}_3\text{--CH}_3$

Алкени (олефини):

етилен  $\text{CH}_2=\text{CH}_2$

Ароматски угљоводоници:

бензен  $\text{C}_6\text{H}_6$

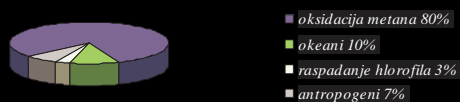


полутанти...



## Угљен моноксид

Учешће појединих извора угљен монооксида

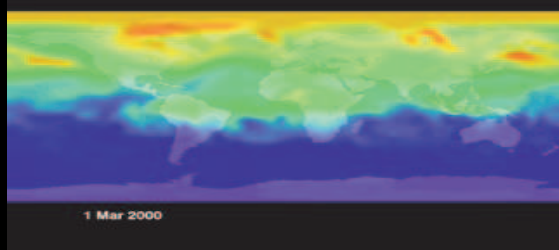


полутанти...



## Угљен диоксид

Снимак концентрације угљен диоксида



## ИЗВОРИ АЕРОЗАГАЂЕЊА



извори...



## ДЕФИНИЦИЈА

Извор је објекат или процес који под унутрашњим или спољашњим утицајима одаје (емитује) нечистоће у атмосферу.



извори...



## ПОДЕЛА ИЗВОРА:

Према пореклу

- природни
- вештачки

Према просторном распореду

- тачкасти
- линијски
- површински

извори...



## ПОДЕЛА ИЗВОРА:

Према месту емисије:

- стационарни
- мобилни

Према трајању емисије:

- трајног карактера
- повремениг карактера

извори...



## ЕМИСИОНИ ФАКТОРИ

Емисиони фактор је показатељ одавања нечистоћа из неког извора и представља однос количине насталог полутанта према количини материје коју у одређеном процесу трансформишемо.

Изражава се у  $\text{kg/kg}$ ;  $\text{kg/m}^3$  и слично, или преко степена временске емисије, као количина насталог полутанта у јединици времена:  $\text{kg/s}$ ;  $\text{m}^3/\text{s}$

извори...



## Методе мерења емисије полутанта

### Честице:

гравитационе таложне коморе  
циклонски сепаратори  
мокри сепаратори  
електронски таложници  
врећасти филтри

### Гасови:

гравиметријски метод  
волуметријски метод  
инфрацрвени метод  
масена спектрометрија  
ацидиметрија

извори...



## Топлана Нови Београд



извори...



## ТЕ Никола Тесла Б



извори...



## ТЕ Костолац Б



извори...



## ТЕ Косово Б



извори...



## Велики загађивачи у Европи

SO <sub>2</sub>		CO <sub>2</sub>		NO <sub>x</sub>	
Country	Emission in tonnes	Country	Emission in tonnes	Country	Emission in tonnes
Spain	521 769	Poland	27 716	United K	87 966
Bulgaria	444 991	Greece	26 578	Poland	87 944
Bulgaria	421 996	Germany	23 915	Greece	61 600
Poland	402 412	Germany	23 661	United K	47 894
Spain	321 331	United K	22 561	United K	47 633
Germany	316 976	Poland	14 336	United K	46 350



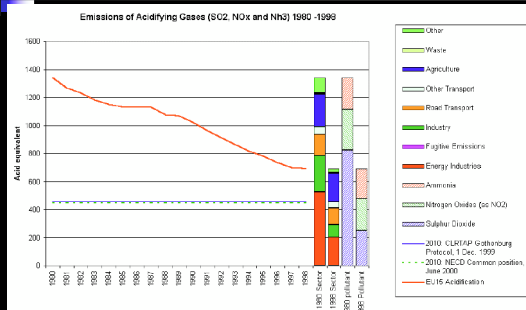
## Велики загађивачи у Европи

SO <sub>2</sub>		CO <sub>2</sub>		NO <sub>x</sub>	
Country	Emission in tonnes	Country	Emission in tonnes	Country	Emission in tonnes
United K	269 283	Germany	12 876	United K	45 310
Germany	265 144	United K	12 284	Spain	45 034
Germany	205 480	United K	12 217	United K	42 098
Germany	198 440	Germany	12 137	Italy	40 900
Others	10 323 469	Others	971 995	Others	2 763 695
Total Public Power Plants	13 691 291	Total Public Power Plants	1 160 276	Total Public Power Plants	3 316 424

извори...



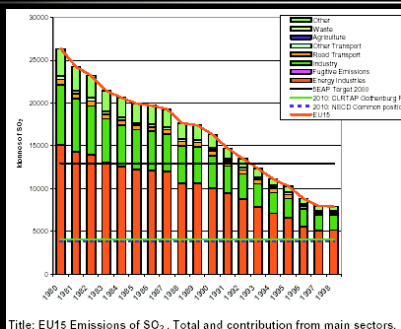
## Емисија SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> и NH<sub>3</sub> у Европи



извори...



## Емисија SO<sub>2</sub> у Европи од 1980 до 1998

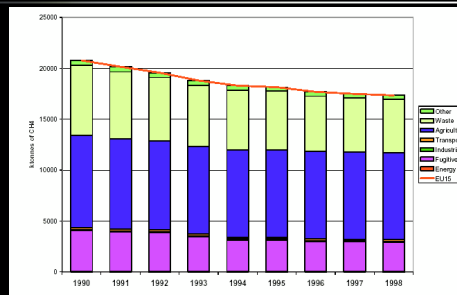


Title: EU15 Emissions of SO<sub>2</sub>, Total and contribution from main sectors.

извори...



## Емисија CH<sub>4</sub> у Европи

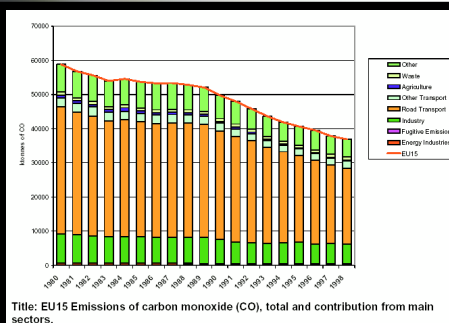


Title: EU15 emissions of Methane (CH<sub>4</sub>), total and contribution from main sectors.

извори...



## Емисија CO у Европи



Title: EU15 Emissions of carbon monoxide (CO), total and contribution from main sectors.

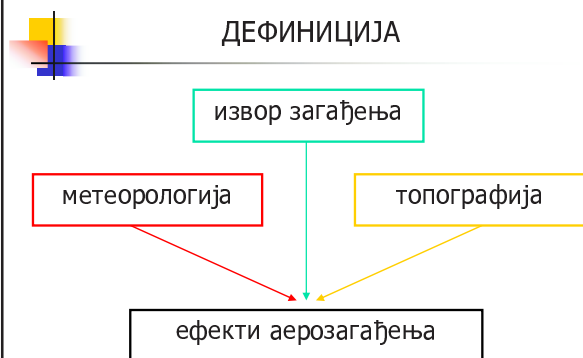
## ПРОРАЧУН АЕРОЗАГАЂЕЊА

- СИНТЕЗА -



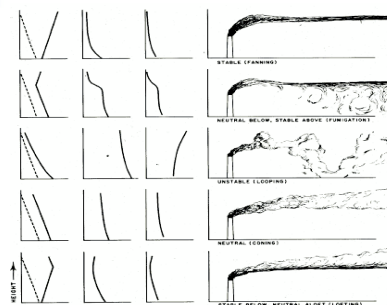
прорачун...

## ДЕФИНИЦИЈА



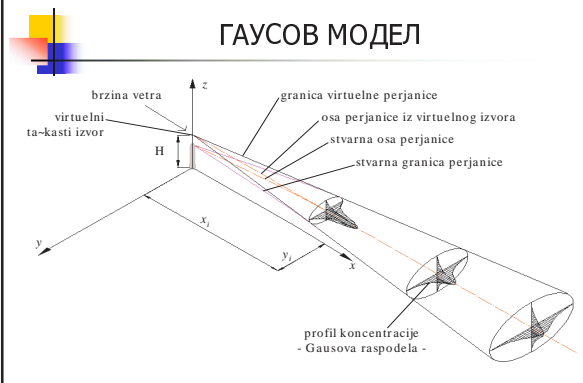
прорачун...

## МОГУЋЕ ВАРИЈАНТЕ КРЕТАЊА ОБЛАКА ЗАГАЂЕЊА



прорачун...

## ГАУСОВ МОДЕЛ



прорачун...

## ПРЕТПОСТАВКЕ ГАУСОВОГ МОДЕЛА

- Емисија полутанта је константна и устаљена кроз време
- Време емитовања полутанта је дужи од времена његовог путовања до било које тачке на Земљи
- Ветар је константан по висини и кроз време и увек дува у истом правцу
- Полутант је стабилан (не разграђује се и сл.)
- Терен је раван
- Промена температуре је константна по висини
- Загађење се унутар перјанице понаша по Гаусовој расподели
- Дисперзија у правцу низ ветар је занемарљива
- Дисперзија је равномерна и у хоризонталном и у вертикалном правцу

прорачун...

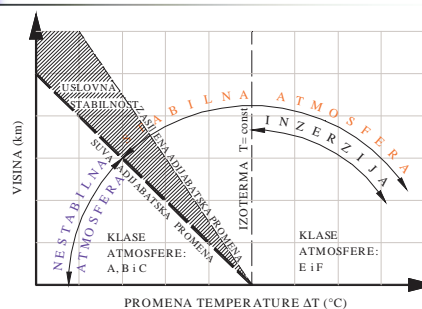
## ДЕФИНИСАЊЕ ДИСПЕРЗИЈЕ

Пасквилова класификација:

- А – екстремно нестабилна атмосфера
- Б – умерено нестабилна атмосфера
- Ц – незнатно нестабилна атмосфера
- Д – неутрална атмосфера
- Е – незнатно стабилна атмосфера
- Ф – умерено стабилна атмосфера

прорачун...

## Графички приказ Пасквилове класификације



прорачун...

## Дефинисање класе атмосфере

Brzina vetra na visini od 10m	Osun-anost – dan			Obla-nost – no	
$u_{10}$	Jaka	Umerena	Slaba	>1/2	<3/8
< 2	A	A - B	B		
2 – 3	A – B	B	C	E	F
3 – 4	B	B - C	C	D	E
4 – 6	C	C - D	D	D	D
> 6	C	D	D	D	D

прорачун...

## КОНЦЕНТРАЦИЈА

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

прорачун...

## Графици...

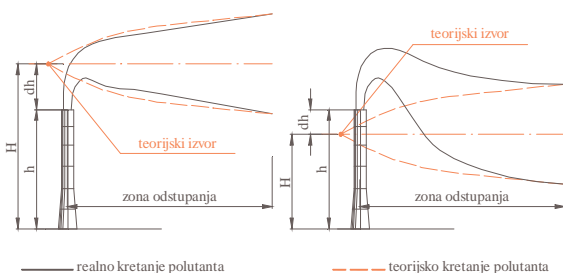
прорачун...

## Аналитички изрази за прорачун коефицијентата дисперзије

$$\begin{aligned} \text{A : } \sigma_y &= 0.22 \cdot x \cdot \frac{1}{\sqrt{1+0.0001 \cdot x}} & \sigma_z &= 0.2 \cdot x \\ \text{Б : } \sigma_y &= 0.16 \cdot x \cdot \frac{1}{\sqrt{1+0.0001 \cdot x}} & \sigma_z &= 0.12 \cdot x \\ \text{Ц : } \sigma_y &= 0.11 \cdot x \cdot \frac{1}{\sqrt{1+0.0001 \cdot x}} & \sigma_z &= 0.08 \cdot x \cdot \frac{1}{\sqrt{(1+0.0002 \cdot x)}} \\ \text{Д : } \sigma_y &= 0.08 \cdot x \cdot \frac{1}{\sqrt{1+0.0001 \cdot x}} & \sigma_z &= 0.06 \cdot x \cdot \frac{1}{\sqrt{(1+0.0015 \cdot x)}} \\ \text{Е : } \sigma_y &= 0.06 \cdot x \cdot \frac{1}{\sqrt{1+0.0001 \cdot x}} & \sigma_z &= 0.03 \cdot x \cdot \frac{1}{\sqrt{(1+0.0003 \cdot x)}} \\ \text{Ф : } \sigma_y &= 0.04 \cdot x \cdot \frac{1}{\sqrt{1+0.0001 \cdot x}} & \sigma_z &= 0.0016 \cdot x \cdot \frac{1}{\sqrt{(1+0.0003 \cdot x)}} \end{aligned}$$

прорачун...

## Ефективна висина димњака



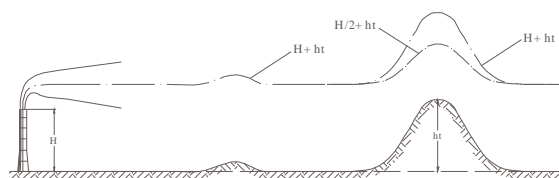
прорачун...

## Предлог за прорачун ефективне висине димњака

$$\begin{aligned} \text{Нестабилна атмосфера: } \Delta h &= \frac{3.47 \cdot v_g \cdot d}{u} + \frac{5.14}{u} \cdot Q^{0.5} \\ \text{Неутрална атмосфера: } \Delta h &= \frac{0.35 \cdot v_g \cdot d}{u} + \frac{2.64}{u} \cdot Q^{0.5} \\ \text{Стабилна атмосфера: } \Delta h &= \frac{-1.04 \cdot v_g \cdot d}{u} + \frac{2.23}{u} \cdot Q^{0.5} \end{aligned}$$

прорачун...

### Утицај топографије



## ЕФЕКТИ АЕРОЗАГАЂЕЊА

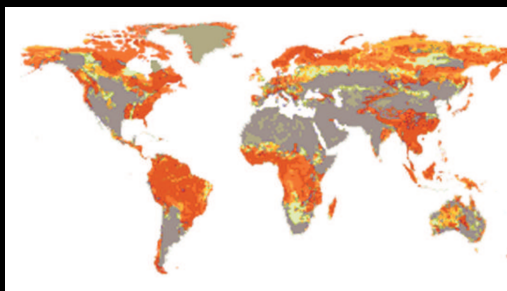
ефекти...

### ЕФЕКТИ ЗАГАЂЕЊА ВАЗДУХА

- ЛОКАЛНО-РЕГИОНАЛНИ  
повећање температуре изнад градова  
смањење Сунчевог зрачења  
повећање облачности  
промена влажности  
киселе кише

ефекти...

### Зоне високе осетљивости на утицај киселих киша



ефекти...

### ЕФЕКТИ ЗАГАЂЕЊА ВАЗДУХА

- ГЛОБАЛНИ  
оштећење слоја озона  
глобално повећање температуре  
ефекат стаклене баште  
...

ефекти...

### Утицај на човека

#### Полутанти:

суспендоване честице, оксиди сумпора, угљен моноксид, оксиди азота, флуориди, полициклична органска материја, олово, цинк, азбест, водоник сулфид, манган, берилијум, кадмијум, жива, радиоактивне супстанце, пестициди, аероалергени.

#### Последице:

надражај очију, надраживање дисајног система, разарање ткива дисајног система, тровање услед недостатка кисеоника у крви, смањење видљивости, не пријатни мириси, канцерогена обољења, хронична обољења.

ефекти...



## Утицај на животиње

### Полутанти:

суспендоване честице, оксиди сумпора, оксиди азота, водоник сулфид, флуориди, полициклична органска материја, олово, цинк, азбест, манган, берилијум, кадмијум, жива, радиоактивне супстанце, пестициди, хлор.

### Последице:

надраживање дисајног система, разарање ткива дисајног система, тровање услед недостатка кисеоника у крви, обољења нервног система, зависе од врсте.

ефекти...



## Утицај на вегетацију

### Полутанти:

суспендоване честице, оксиди сумпора, оксиди азота, хлороводонична киселина, флуориди, оксиданти, олово, цинк, манган, берилијум, кадмијум, жива, сумпорна киселина пестициди, хлор.

### Последице:

различита обољења, опадање лишћа, сушење и разарање ткива, смањење степена фотосинтезе, зависе од врсте.

ефекти...



## Утицај на материјална добра

### Полутанти:

суспендоване честице, оксиди сумпора, оксиди азота, хлороводонична киселина, флуориди, оксиданти, жива, сумпорна киселина, хром, хлор.

### Последице:

корозија, смањење отпорности, промена боје, изблеђивање, прљање, и друго.

ефекти...



## Стандарди о пожељном квалитету ваздуха

- Краткорочне концентрација
- Дугорочне концентрације

### Утицаји

- Независни
- Додатни
- Узајамни
- Супротни

ефекти...



## ЕЕА Агенција за заштиту животне средине ЕУ

Pollutant	Average period	Protect	Value ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	no. of exceedances
PM <sub>10</sub>	24 hour 1 year	Health Health	50 40	< 36 times none
CO	8 min	Health	10 000	none
Lead	1 year	Health	0.5	none
NO <sub>2</sub>	1 hour 1 year 1 year	Health Health Ecosystems	200 40 30	< 19 times none none
O <sub>3</sub>	8 hour	Health	120	< 26 days
SO <sub>2</sub>	1 hour 24 hour 1 year / winter	Health Health Ecosystems	350 125 20	< 25 times < 4 times none

ефекти...



## WHO светска здравствена организација

Pollutant	Exposure time	Annual ambient air concentration ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Guideline value ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Concentration at which effects on health start to be observed ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
CO	15 min 30 min 1 hour 8 hours	500-7000	100 000 60 000 30 000 10 000	Not applicable
Lead	1 year	0.01-2.0	0.5	Not applicable
NO <sub>2</sub>	1 hour 1 year	10-150	200 40	365-565
O <sub>3</sub>	8 hour	10-100	120	Not applicable
SO <sub>2</sub>	10 min 24 hour 1 year	5-400	500 125 50	1000 250 100

ефекти...

## USEPA

Агенција за заштиту животне средине САД

POLLUTANT	STANDARD VALUE *		STANDARD TYPE
Carbon Monoxide (CO)			
8-hour Average	9 ppm	(10 mg/m³)	Primary
1-hour Average	35 ppm	(40 mg/m³)	Primary
Nitrogen Dioxide (NO <sub>2</sub> )			
Annual arithmetic Mean	0.053 ppm	(100 µg/m³)	Primary & Secondary
Ozone (O <sub>3</sub> )			
1-hour Average	0.12 ppm	(235 µg/m³)	Primary & Secondary
8-hour Average **	0.08 ppm	(157 µg/m³)	Primary & Secondary
Lead (Pb)			
Quarterly Average	1.5 µg/m³		Primary & Secondary

ефекти...

## USEPA

Агенција за заштиту животне средине САД

POLLUTANT	STANDARD VALUE *		STANDARD TYPE
<b>Particulate (PM 10)</b> <i>Particles with diameters of 10 micrometers or less</i>			
Annual Arithmetic Mean	50 µg/m³		Primary & Secondary
24-hour Average	150 µg/m³		Primary & Secondary
<b>Particulate (PM 2.5)</b> <i>Particles with diameters of 2.5 micrometers or less</i>			
Annual Arithmetic Mean **	15 µg/m³		Primary & Secondary
24-hour Average **	65 µg/m³		Primary & Secondary
<b>Sulfur Dioxide (SO<sub>2</sub>)</b>			
Annual Arithmetic Mean	0.03 ppm	(80 µg/m³)	Primary
24-hour Average	0.14 ppm	(365 µg/m³)	Primary
3-hour Average	0.50 ppm	(1300 µg/m³)	Secondary

ефекти...

## Глобални договори Кјото протокол 1997

Децембра 1997 у Јапану, 38 развијених земаља је постигло договор о контроли емисије гасова "стаклене баште", у првом реду контроли емисије угљендиоксида насталог сагоревањем фосилних горива.

Договор нису потписале САД, као ни земље у развоју: Кина, Индија, Бразил, Мексико и још око 100 других земаља.

Образложење САД је да оне не желе да контролом смањују конкурентност своје привреде. Процена је да би директни трошкови у периоду од 2008 до 2012. године били око 65 милијарди долара годишње.

Земље у развоју не желе да ограничавају свој развој, тим пре што је њихов удео у глобалној емисији још увек далеко мањи од индустријских земаља.

ефекти...

## Глобални договори Кјото протокол 1997

**Table 1: Carbon Intensity of Industries**  
(MMT/ Billions of Dollars of Output)

Region	Industry				
	Agriculture	Chemicals and Allied Products	Other Energy-Intensive Sectors	Electricity	All Other Goods
China & India	0.0618	0.6993	0.7560	7.1954	0.1175
European Union 15	0.0469	0.1155	0.0763	1.1444	0.0187
Eastern Europe & Former Soviet Union	0.4612	0.6654	0.5570	7.7644	0.1378
Japan	0.0359	0.0637	0.0628	0.4792	0.0106
Mexico & OPEC	0.1331	0.3643	0.2898	3.4071	0.0986
Other Asia	0.0296	0.2458	0.2037	1.2530	0.0454
Other OECD	0.0689	0.1864	0.1266	1.2358	0.0358
Rest of World	0.0535	0.1372	0.1708	1.2793	0.0529
Southeast Asia	0.0484	0.2159	0.1487	1.6072	0.0387
United States	0.1645	0.2503	0.1254	2.5257	0.0367

ефекти...

## Глобални договори Кјото протокол 1997

**Table 5: Emissions by Region in 1995 and 2020**

Region	1995 Emissions		2020 Emissions
	% of Total	% of Total	Cumulative %
United States	24.2%	18.9%	18.9%
Europe	15.1	11.3	30.1
Japan	5.7	4.3	34.5
Other OECD	4.1	3.2	37.7
Former Soviet Union	14.1	11.4	49.1
Southeast Asia	4.2	5.0	54.1
Other Asia	1.0	1.6	55.7
Mexico and OPEC	7.2	8.0	63.7
China and India	16.9	26.5	90.2
Rest of the World	7.5	9.8	100.0