

# FIZIKA I EKOLOGIJA

## ENVIRONMENTAL PHYSICS

Prof. dr Dragoljub Belić, Fizički fakultet,  
Beograd

- ULOGA FIZIKE U ZAŠTITI ŽIVOTNE SREDINE
- ZAGADJIVANJE, ZAŠTITA I PREČIŠĆAVANJE VAZDUHA
- GLOBALNI EFEKTI ZAGADJENJA: STAKLENA BAŠTA,  
KISELE KIŠE, OZONSKE RUPE
- REŠAVANJE PROBLEMA NASTALIH RADOM  
TE “NIKOLA TESLA” U OBRENOVCU

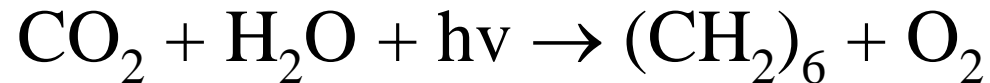
“Aer plus occidit quam gladius”  
- Vazduh ubija više nego mač -



- 
- 

Simbol	Sastojak	% zapreminski	% težinski
N <sub>2</sub>	azot	78,088	75,527
O <sub>2</sub>	kiseonik	20,949	23,143
Ar	argon	0,930	1,282
CO <sub>2</sub>	ugljendioksid	0,0318	0,0456
Ne	neon	1,80E-3	1,25E-3
He	helijum	5,24E-4	7,24E-4
CH <sub>4</sub>	ugljovodonici, metan	1,40E-4	7,75E-5
Kr	kripton	1,14E-4	3,30E-4
N <sub>2</sub> O	oksid azota	5E-5	7,6E-5
Xe	ksenon	8,6E-6	3,90E-5
H	vodonik	5E-5	3,48E-6
NO <sub>2</sub>	azotdioksid	1E-7	3E-7
O <sub>3</sub>	ozon	2E-6	6E-6
SO <sub>2</sub>	sumpordioksid	2E-8	9E-8
CO	ugljenmonoksid	1E-5	2E-5
NH <sub>3</sub>	amonijak	1E-6	1E-6

- Najvažniji sastojak vazduha je kiseonik. Bez njega nije moguć život živih organizama, pa ni čoveka. Smatra se da je najveći deo kiseonika biološkog porekla, potiče iz fotosinteze:



# NAJISTAKNUTIJI POLUTANTI VAZDUHA

- - CO emisija oko 15 mlrd. tona godišnje
- - CO<sub>2</sub> 1960 259 mil t/g; 1980 5-6 mlrd t/g (za 20 godina povećanje 30 puta, 1 t po stanovniku Zemlje)
- - SO<sub>2</sub> 150 mil t/g
- - sitne čestice u vazduhu 30 mil t/g
- - NO<sub>x</sub> 53 mil t/g
- - isparljivi ugljovodonici, hlorovani CH, policiklični-aromatični ugljovodonici
- - fluoridi
- - teški metali: Hg, Pb, As, ...
- - nitrati, nitriti, fosfati
- - nafta i njeni derivati...
- **PREKO 13000 DRUGIH JEDINJENJA**
- **PREKO 600 OBUHVAJENO NA[IM NORMAMA GVE**

# Izvori zagadjenja vazduha

Vrsta zagadjenja	Izvor
<ul style="list-style-type: none"> <li>• CO<sub>2</sub> goriva, životinje</li> <li>• CO sagorevanjem, vulkani, srodne industrije.</li> </ul>	<p>Vulkani, sagorevanje fosilnih (disanjem).</p> <p>Motori sa unutrašnjim hemijska i</p>
Sumporna jedinjenja goriva, vulkani, industrija.	Bakterije, sagorevanje fosilnih morski talasi, hemijska
Ugljovodonici bakterije,	Motori sa unutrašnjim sagorevanjem, biljke.
Jedinjenja azota atmosferska industrijski procesi.	Bakterije, procesi sagorevanja, električna pražnjenja,

# Najveći izvori zagađivanja u SAD (mlrd. kg/god)

---

Izvor	Oksidi sumpora	oksidi azota	ugljen-monoks	čestice	ugljovodonici
termoelektrane	12	4	1	4	1
grejanje	6	1	2	1	1
motorna vozila	1	6	60	1	10
industrija	10	2	2	6	4
deponije smeća	1	1	1	1	1

---

Za razvijenu zemlju najveći izvori zagađivanja, veštačkim polutantima su:

- a) ložišta u gradovima,
- b) industrija i energetika,
- c) saobraćaj i
- d) deponije smeća.

# Uticaj zagađenog vazduha na zdravlje ljudi

- - Hronični bronhitis
- - Bronhijalna astma
- - Pojava rahitisa
- - Oštećenje očiju
- - Smrtonosna trovanja ugljenmonoksidom
- - Razni oblici raka
- - Radjanje fizički i psihički retardirane dece
- - Profesionalna oboljenja (azbestoza, ...)



# Uticaj pojedinih polutanata na ljude (pri osmočasovnom izlaganju sa GVI)

## GASOVI

<u>Materija</u>	<u>Prvi utisci</u>	<u>ppm zapreminski</u>
• Hlorovodonična kiselina	nadražaj grla	5
• Fluorovodonična kiselina	krvarenje zuba, nadražaj grla	3
• Amonijak	nadražaj očiju	100
• CO <sub>2</sub>	nadražaj grla i pluća	5000
• SO <sub>2</sub>	nadražaj grla i pluća	10
• SO <sub>3</sub>	nadražaj grla i pluća	10
• Benzol	gadjenje, vrtoglavica	35
• Hlor	nadražaj grla, pluća, očiju	1
• Arsenovodonik	vrtoglavica, nesvestica	0.05
• Sumporvodonik	paraliza	20
• NO <sub>x</sub>	nadražaj grla, pluća, očiju	25
• CO	glavobolja, vrtoglavica, muka, povraćanje	100
• Ozon	nadražaj sluznica, teško disanje, astenija	1

## Uticaj pojedinih polutanata na ljude (pri osmočasovnom izlaganju sa GVI)

PRAŠINE, DIMOVI		mg/m <sup>3</sup>
• H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	opekotine, nadražaj nosa, grla, očiju, gušenje, glavobolja	1
• Fluoridi	nadr. grla, očiju, zapaljenje bronhija i kože	2.5
• Dim oksida gvo`dja	nadražaj nosa i grla	15
• Dim oksida cinka	nadražaj očiju, groznica nerava	15
• Olovo	anemija, slabost, gubitak apetita metalni ukus, konstipacija i olovno čupanje	15

# Uticaj nekih gasova u zavisnosti od koncentracije

Koncentracija (ppm)

Izazvani utisci

---

## Hlor ( $\text{Cl}_2$ )

- 600 smrtonosan
- 10-600 gadjenje
- 1 nadražaj
- 0.05 olfaktivna granica

## Sumporvodonik ( $\text{H}_2\text{S}$ )

- 700 brzo smrtan
- 400-700 opasan (30 min. i manje)
- 170-300 lokalno jako nadraženje
- 70-150 laki simptomi
- 2-30 jako osetan miris
- 0.3 osetljiv miris
- 0.1 slabo osetljiv miris
- 0.025 granica osetljivosti

## Sumpordioksid (SO<sub>2</sub>)

- 100 jak nadražaj
- 10-50 nadražaj
- 1-10 protivrečni simptomi
- 0.3-1 granica osetljivosti

## Azotovi oksidi (NO<sub>x</sub>)

- 40-80 plućni edem
- 10-20 obrazovanje metemoglobina
- 1-2 manji nadraćaj
- 0.1 granica osetljivosti

## Ugljendioksid (CO<sub>2</sub>)

- 4815 smrtonosan
- 3210-3850 opasan
- 1150 jaki simptomi trovanja
- 320-510 simptomi
- 160-230 lak ili nikakav uticaj

## Ozon (O<sub>3</sub>)

- 1700 smrtonosan za nekoliko minuta
- 1-10 glavobolja, nadražaj, nesvestica
- 0.4-1 otežano disanje
- 0.1 nadražaj
- 0.04 MDK
- 0.01-0.015 granica osetljivosti

## Ugljenmonoksid (CO)

- 4000 smrtonosan
- 1500-2000 opasan
- 1000-1200 neprijatni simptomi
- 600-700 vidan uticaj posle jednog časa
- 400-500 bez vidnog uticaja
- 100 dopuštena višečasovna koncentracija

## Amonijak (NH<sub>3</sub>)

- 5000-10000 brzosmrtan
- 2500-6500 opasan
- 400-700 nadražuje
- 300-500 MDK za jedan čas
- 100 MDK za duže vreme

# Principi za definisanje granica doza

- Pod dozom se podrazumevati određenu količina neke materije koja može da izazove odgovarajuće efekte (povoljne ili štetne).
- Maksimalno dozvoljena doza MDD je količina koja izaziva određeni štetni efekat. Ako se ova količina usrednji na prosečnog čoveka dolazimo do definicije maksimalno dozvoljenog unošenja-MDU. Odavde se relativno lako izračunava maksimalno dozvoljena koncentracija-MDK ili po novijim propisima granična vrednost emisije GVI date štetne materije (u vodi, vazduhu,...), ako se znaju čovekove potrebe za određeno vreme. Pomenućemo još i granične vrednosti emisije GVE, koje predstavljaju meru količine polutanta koju određeni objekat ispušta u okolinu.

# Granične vrednosti imisije - GVI

- Da bi vazduh (voda) bio upotrebljiv za disanje (piće) i uopšte za ljudsku upotrebu, mora imati određene osobine, tj. određene sastojke, a ne sme imati neke druge sastojke preko određene granice. Granica koja određuje maksimalno dozvoljenu količinu neke štetne materije u jedinici zapremine posmatrane sredine naziva se Granična vrednost imisije **GVI** (ranije MDK). Očigledno je da je GVI po svojoj suštini NORMA KVALITETA, granica tolerisanja. Najčešće se primenjuje na vodu, vazduh u atmosferi i radnim prostorijama, na životne namirnice, radioaktivno zračenje i drugo.
- Osnovna prednost ove norme je što može lako i neprekidno da se meri. Jedinice su: mg/ml, mg/cm<sup>3</sup>, ml/m<sup>3</sup>, ppm, Ci/m<sup>3</sup>, itd.

## Zakonska regulativa o zagadjenju vazduha

- **Pravilnik o graničnim vrednostima emisije, načinu i rokovima merenja i evidentiranja podataka; *Službeni glasnik RS*; br.: 30/1997.g. i 35/1997.g.**
- **Pravilnik o graničnim vrednostima, metodama merenja emisije, kriterijuma za uspostavljanje mernih mesta i evidenciji podataka; *Sl. glasnik R. Srbije*; br.: 54/1992.g.; str.: 1696.- 1697. i br.: 30/1999.g.**



# Izvodi iz Pravilnika o GVI

## Član 3.

- Zagadjujuće materije za koje se vrši sistematsko merenje:
- 1) neorganske materije
- 1.1. sumpordioksid
- 1.2. čadj
- 1.3. suspendovane čestice
- 1.4. azotdioksid
- 1.5. prizemni ozon
- 1.6. ugljenmonoksid
- 1.7. hlorovodonik
- 1.8. Hlor
- 1.9. Fluorovodonik
- 1.10 amonijak
- 1.11 vodoniksulfid

- 2) taložne materije iz vazduha
- 3) teški metali u suspendovanim česticama
- 3.1. kadmijum
- 3.2. mangan
- 3.3. olovo
- 3.4. živa
- 4) organske materije
- 4.1. ugljendisulfid
- 4.2. spiren
- 4.3. tetrahloretilen
- 4.4. toluen
- 4.5. formaldehid
- 4.6 1,2 dihloretan
- 4.7. akrolein

- 5) kancerogene materije
- 5.1. akrilonitril
- 5.2. arsen
- 5.3. benzen
- 5.4. hrom (šestovalentni)
- 5.5. nikel
- 5.6. policiklični aromatični ugljovodoni (benzopiren)
- 5.7. vinilhlorid
- 5.8. azbest

Red. broj	MATERIJA	srednjodnevna konc. mg/m <sup>3</sup>	pojedinačna konc. mg/m <sup>3</sup>
• 1.	Sumpordioksid	0.15	0.5
• 2.	Čadj	0.05	0.15
• 3.	Olovo	0.0007	-
• 4.	Olovosulfid	0.0017	-
• 5.	Arsen kao neorg. jedinjenja	0.003	-
• 6.	Ugljendisulfid	0.01	0.03
• 7.	Ugljenmonoksid	1	3.0
• 8.	Azotni oksid kao NO <sub>2</sub>	0.085	0.085
• 9.	Fluorovodnik	0.006	0.02
• 10.	Oksidansi	-	0.135
• 11.	Uljovodonici korigovani na metan -		0.125
• 12.	Pepeo i inertna prašina	do 300 mg/m <sup>3</sup> na dan	

# Izvodi GVI gasova i para u radnom prostoru (600 supstanci-tabela)

Red. broj	NAZIV SUPSTANCE	Vrednosti MDK u	
		mg/m <sup>3</sup>	ppm
1.	Acetaldehid (etanat)	360	200
2.	Acetilhlorid	3,3	1
3.	Aceton	800	336
4.	Arsenik	0,5	-
5.	Cijanovodonik	0,3	0,27
6.	Etilmerkurihlorid	0,005	-
7.	Karbonilnikla	0,007	0,001
8.	Metilizocijanat	K	-
9.	Nikotin	K	-
10.	Olovo	0,15	-
11.	Ozon	+	-
12.	Radijum, rastvorljive soli	0,001	-
13.	Sumpordioksid	+	4

14. Ugljendioksid		9000	5000
15. Ugljenmonoksid		58	50
16. Ugljendisulfid	K	50	15
17. Volfram, rastvorljivi		1	-
18. Vodoniksulfid		10	7
19. Živa	K	0,1	-
20. Živina organska jedinjenja	K	0,01	-

---

Znak + obeležava materije koje imaju akutno toksično dejstvo, pa se granične vrednosti ne bi smele prekoračiti ni za kratko vreme.

Znak ++ obeležava materije koje pri povoljnoj ekspoziciji deluju kumulativno.

Znak +++ obeležava kancerogene ili senzibilišuće materije za koje nije data granična vrednost, no ne sme se dopustiti kontakt bilo kojim putem i unošenje u organizam ni u tragovima.

Oznaka K se odnosi na kancerogene materije.

## Kancerogene materije

- azbest, svi oblici 5 vlakana/cm<sup>3</sup> dužih od 5 mikrona
- arsen (trioksid), proizvodnja As<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: 0.05 mg/m<sup>3</sup>
- antimon SbO<sub>2</sub>: 6 ppm-plafonska vrednost
- Sb<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: 0.05 mg/m<sup>3</sup>
- hrom (ruda), obrada (CrO) 0.1 mg/m<sup>3</sup>
- organska policiklična jedinjenja  
    (rastvorljiva frakcija u benzolu) 0.2 mg/m<sup>3</sup>
- nikel (niklsulfid), dimovi, prašina,  
    izraženi kao Ni 1 mg/m<sup>3</sup>
- simetrični dihlordimetiloksid 1 ppm

# Savremene metode ispitivanja zagađenosti vazduha

## HEMIJSKE METODE (I generacija)

- Kolorimetrija (Draeger – cevčice)
- Turbidimetrija ili nefelometrija (zamućenost)
- Hromatografija

## FIZIČKO-HEMIJSKE METODE (II generacija)

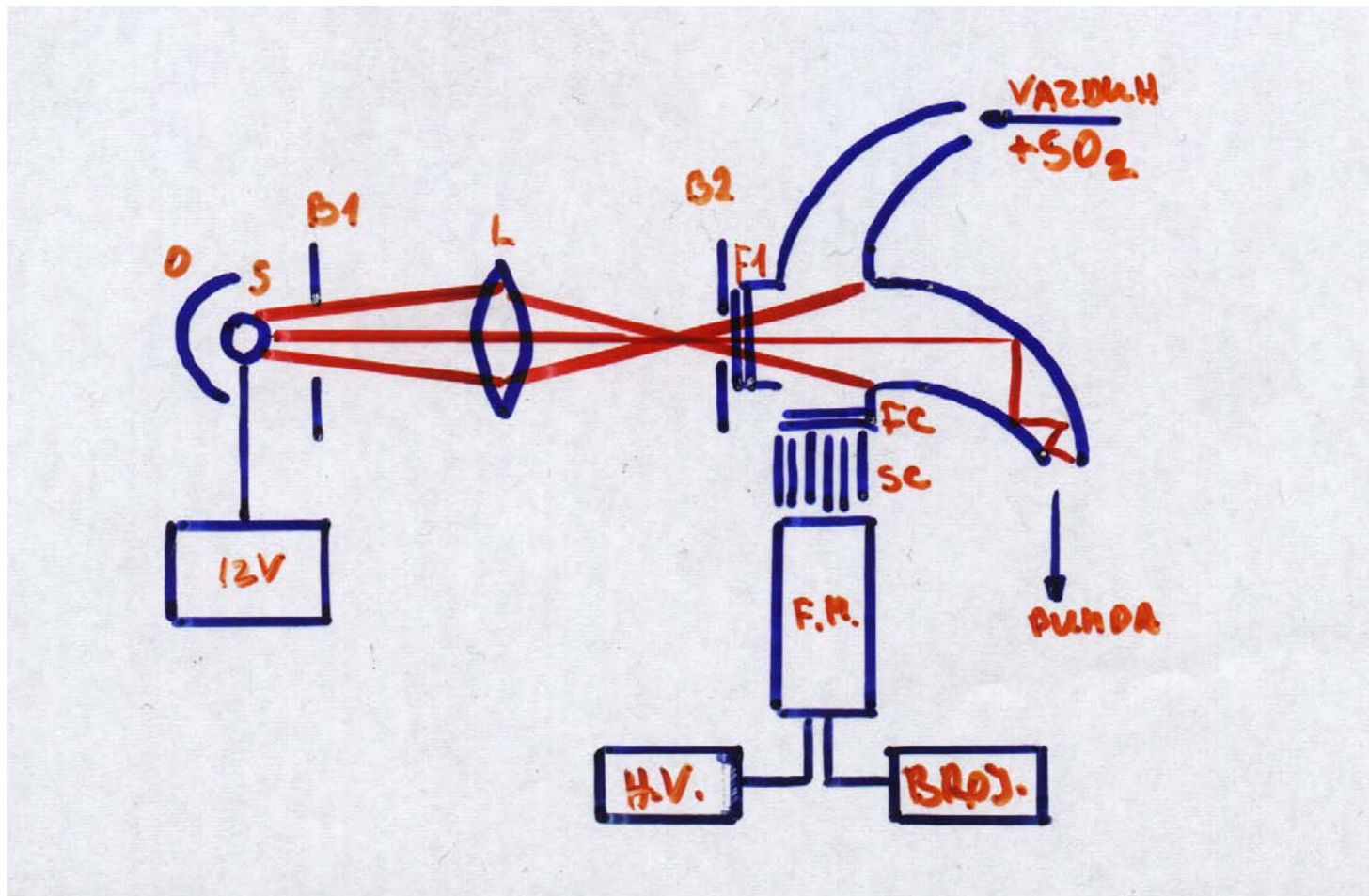
- Kolorimetrija
- Spektrofotometrija
- Kulometrija
- Konduktometrija



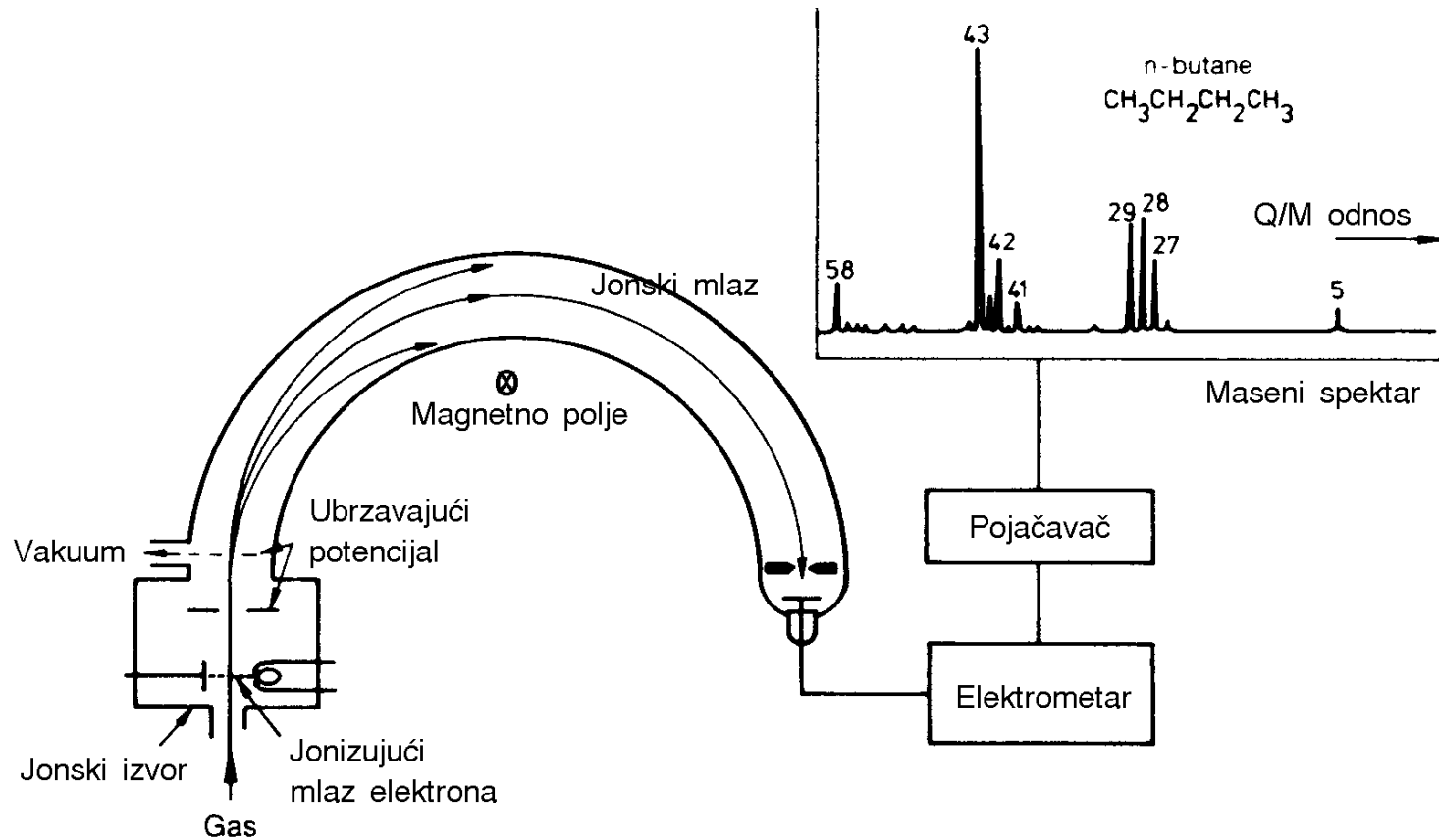
# FIZIČKE METODE ZA ISPITIVANJE ZAGADJENOSTI VAZDUHA (III generacija)

1. Spektrofotometrija, apsorpcija i rasejanje (CO, TENT)
2. Fluorescentna metoda (SO<sub>2</sub> M.Zaki }
3. Plamena apsorpciona spektrometrija
4. Metoda laser i lidar tehnike
5. Fotoelektronska spektrometrija
6. Interakcija elektrona sa atomima i molekulima
7. Masena spektrometrija
8. Poluprovodnički senzori
9. Optogalvanski efekat
10. Optoakustička spektroskopija
11. Ultrazvučna dijagnostika...

# FLUORESCENTNI DETEKTOR SO<sub>2</sub>



# Masena spektrometrija



-elektromagneti

-kvadrupolni

-vreme preleta (time-of-flight)

# POSTUPCI ZA PREČIŠĆAVANJE VAZDUHA

- HEMIJSKI POSTUPCI

- Proste hemijske reakcije (neutralizacija, redukcija, oksidacija)
- Katalitičke reakcije (homogena i heterogena kataliza)
- Proliza (šaržne i protočne peći)
- Sagorevanje (prosto i katalitičko)

- FIZIČKO-HEMIJSKI POSTUPCI

- Toplotni izdvajači, kondenzatori
- Apsorberi (kapljičasti, s punjenjem, sa podovima)
- Adsorberi (sa pokretnim i nepokretnim adsorbensom)

# FIZIČKI POSTUPCI ZA PREČIŠĆAVANJE VAZDUHA

- MEHANIČKI IZDVAJAČI

- Gravitacioni

- Taložni kanali
    - Taložne komore

- Centrifugalni

- Cikloni
    - Multicikloni
    - Mehanički penasti izdvajači

- Inercioni

- Udarni
    - Obilazni (žaluzinski)
    - Venturi – kapljičasti
    - Penasti

- Filtri

- Nepokretno cedilo, vrećasto, ravno, sa punjenjem
    - Pokretno, namotajno, sa beskrajnom trakom

- DIMNJACI

- ELEKTROSTATIČKI IZDVAJAČI

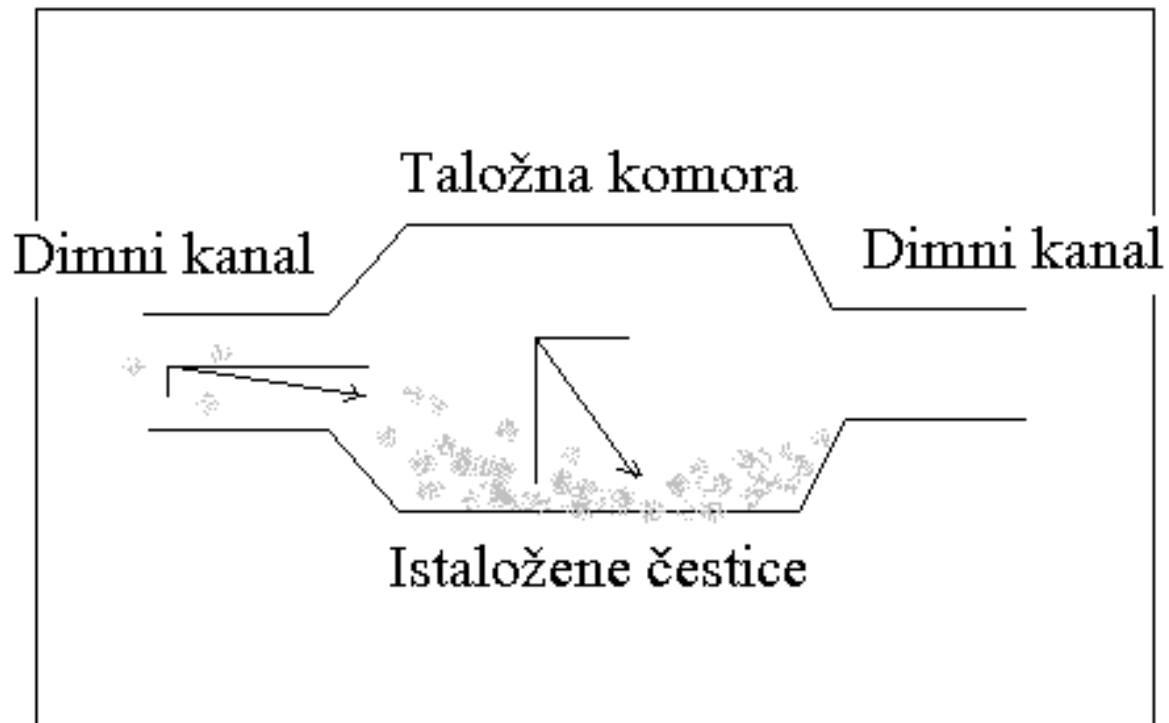
- Jednozonalni
  - Dvozonalni
  - Kombinovani

## Sile koje deluju na čestice polutanata

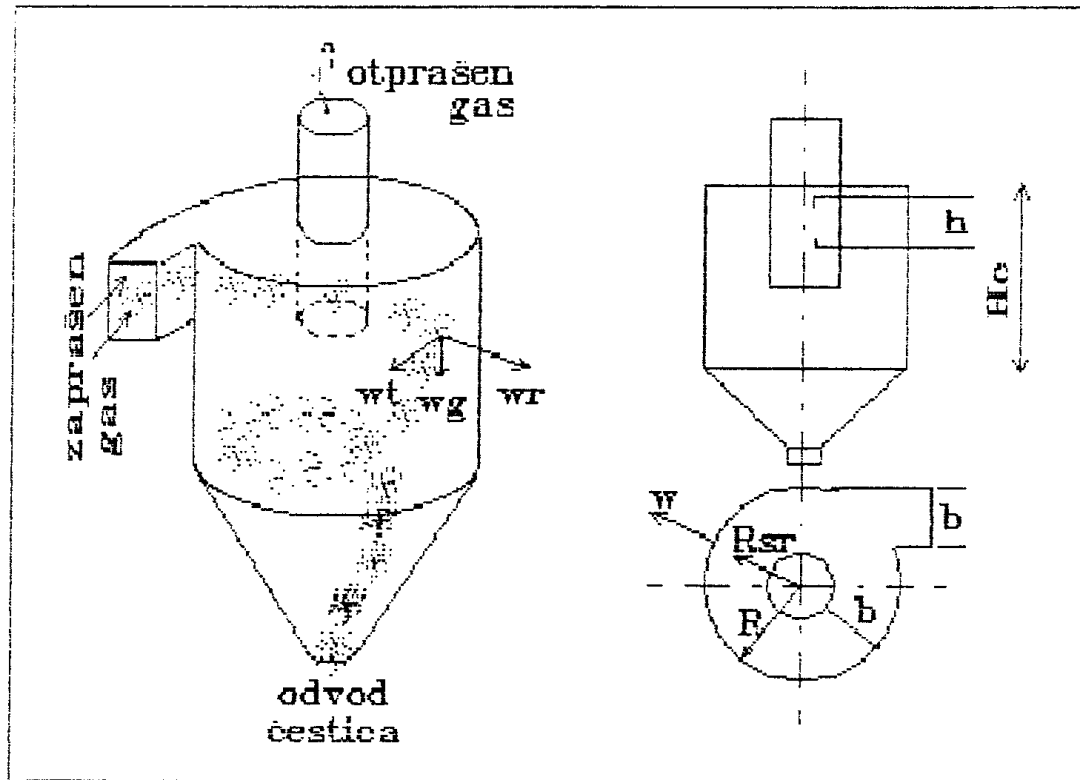
- Sila Zemljine teže
- Sila potiska
- Sila inercije
- Centrifugalna sila
- Sila pritiska
- Sila otpora
- Termodinamička sila
- Sila turbulentnih udara
- Elektrostatička sila

# Gravitacioni prečistači

- Taložni kanali
- Taložne komore

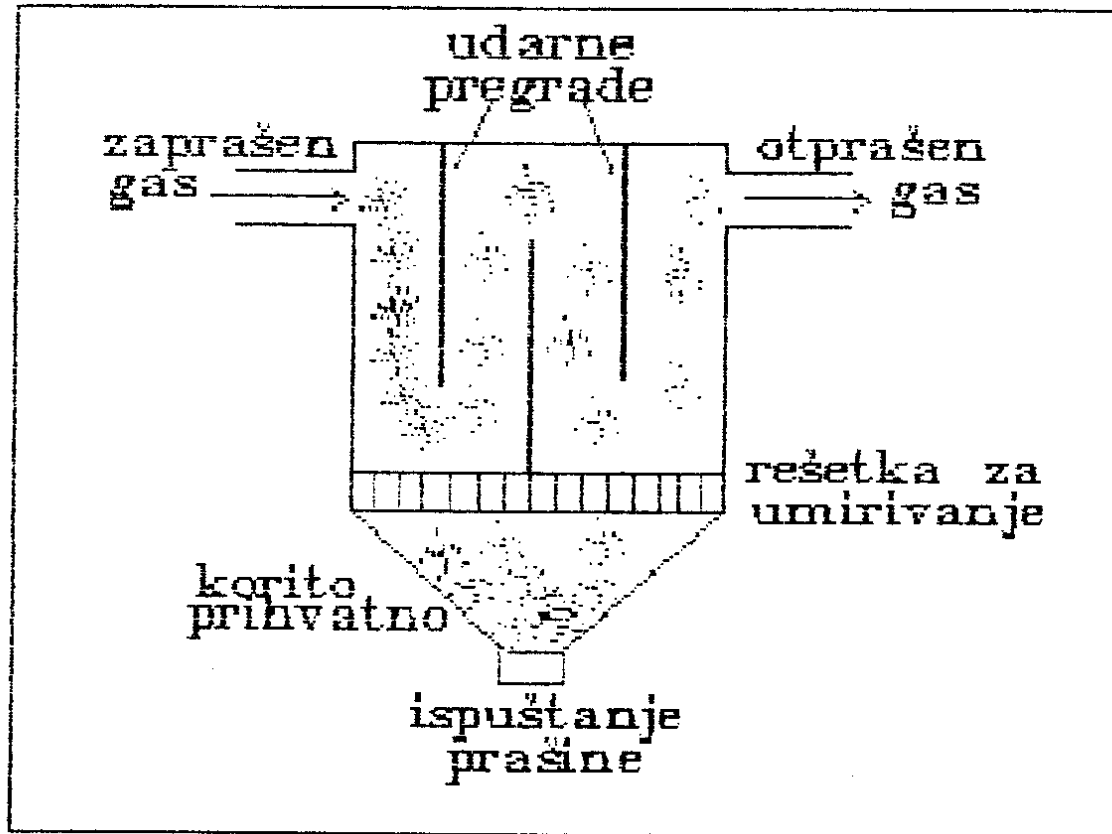


# Centrifugalni prečistači – CIKLONI MULTICIKLONI

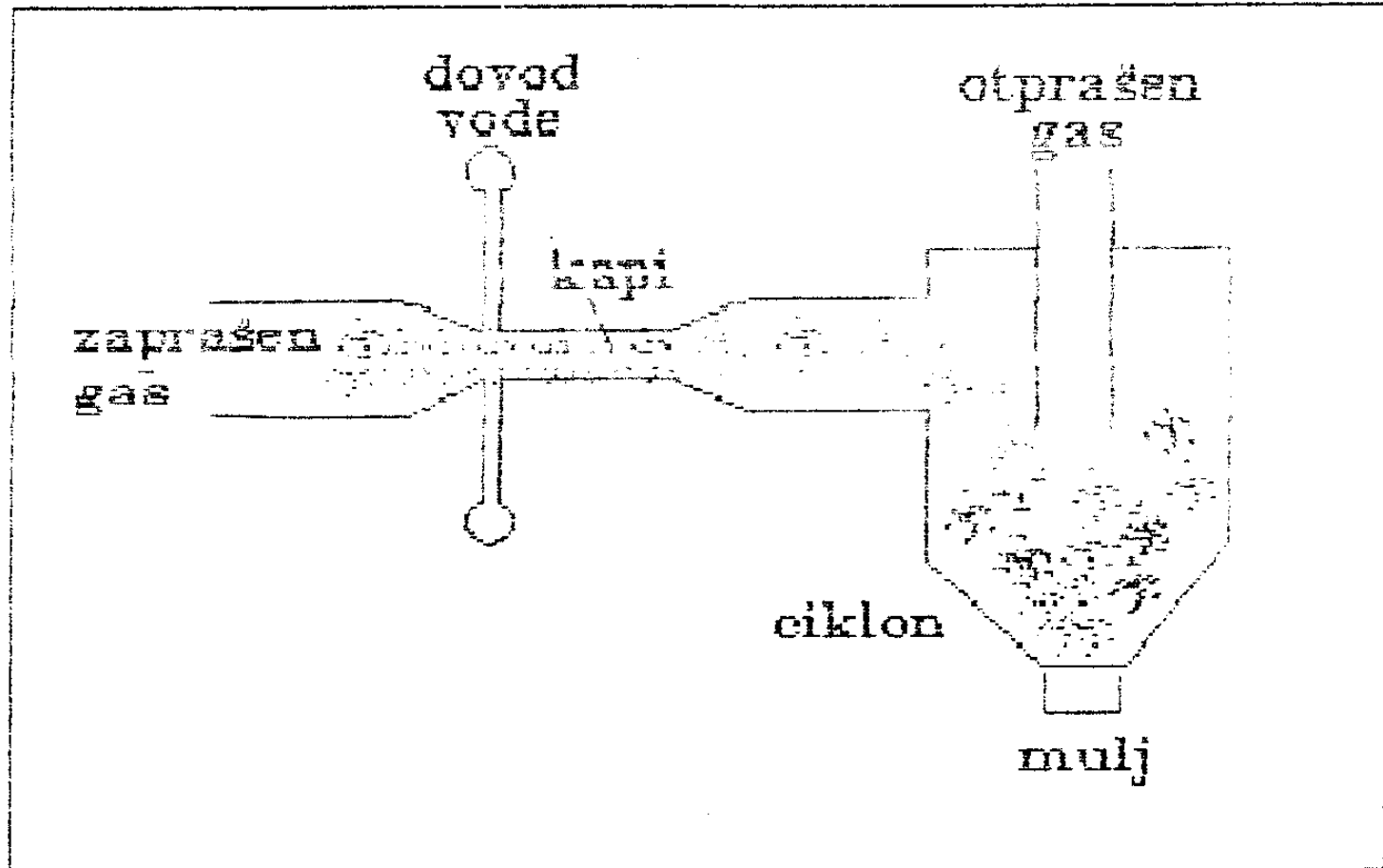




# Inercioni-udarni višestepeni otprašivači

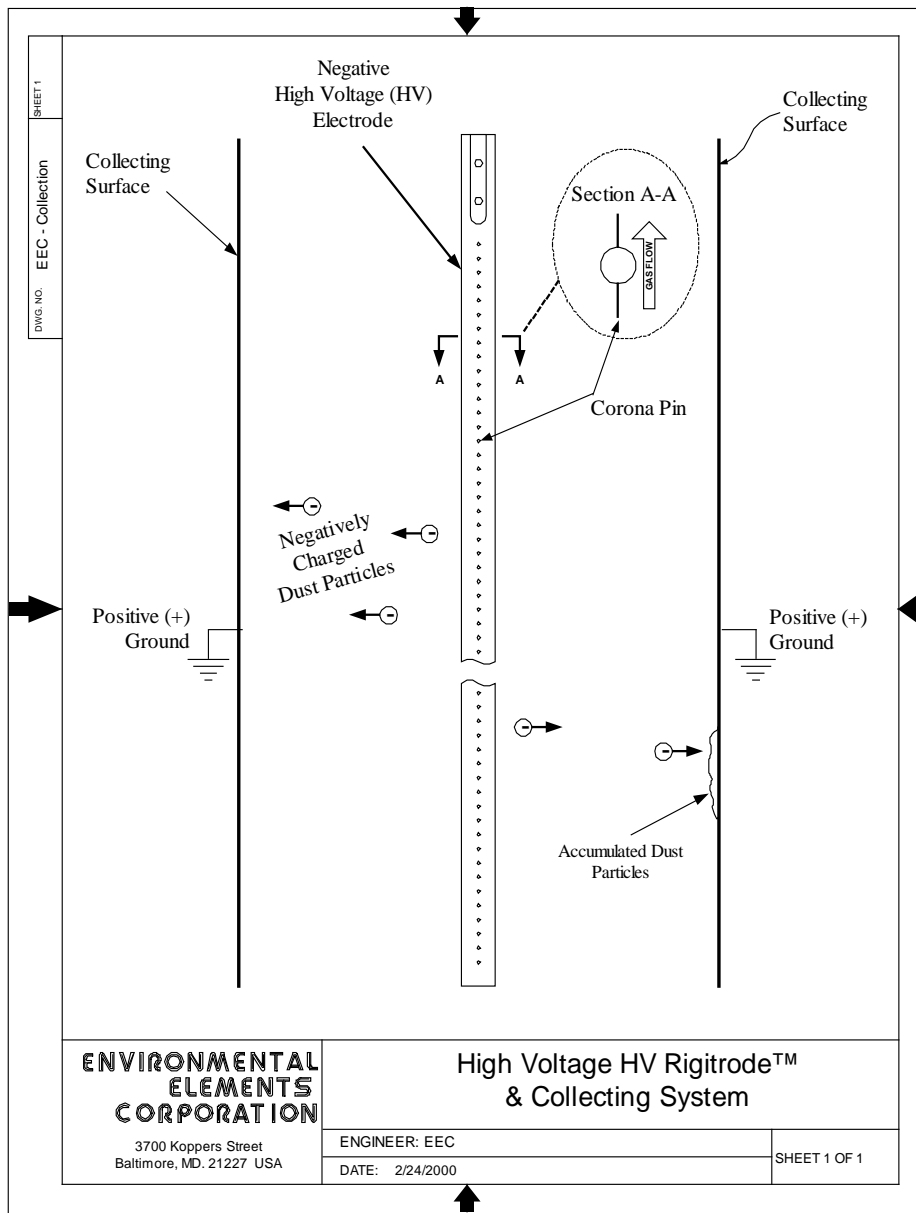


# Kapljičasti Venturi otprašivači (skraber)

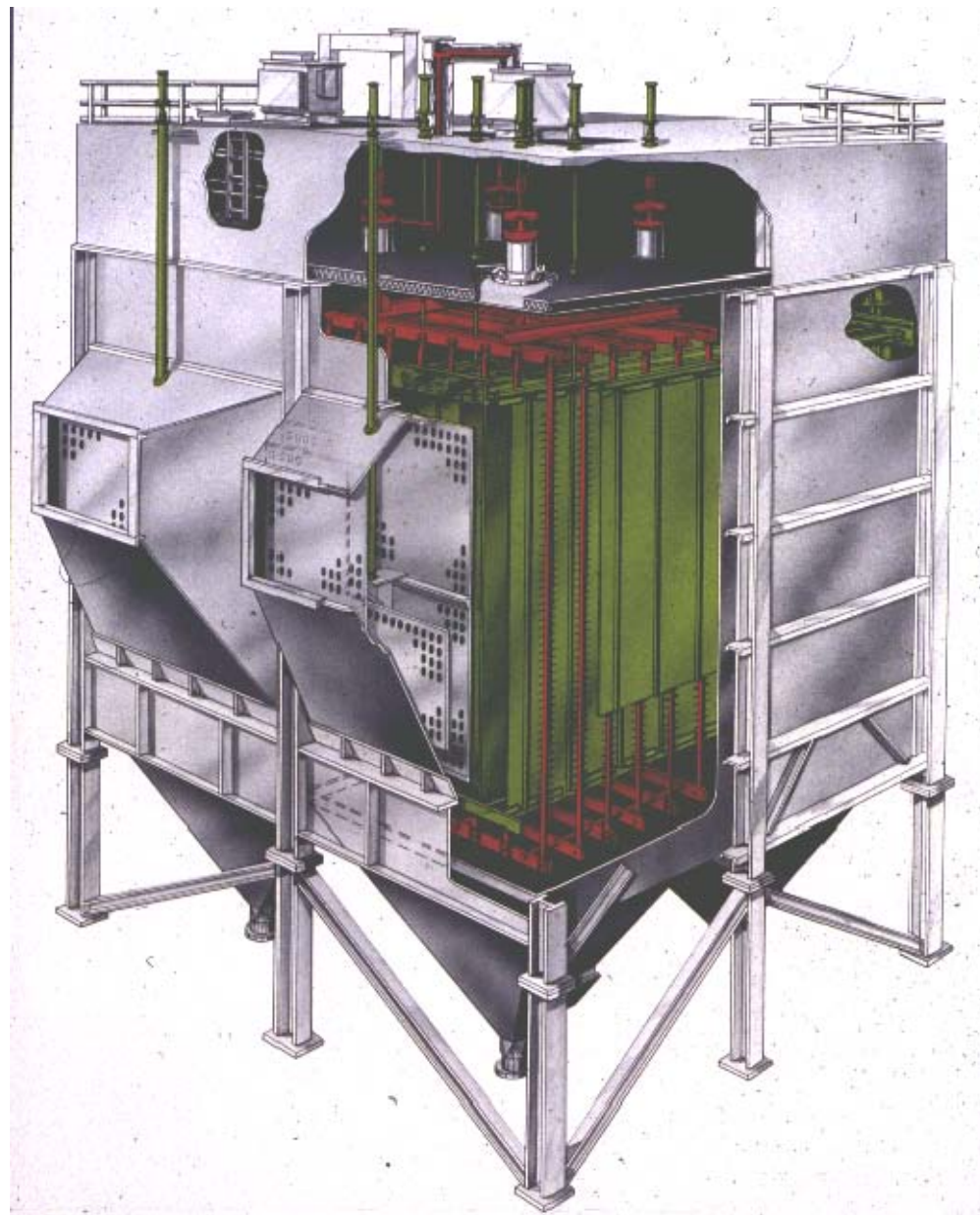


Slika IV.16. Venturi-otprašivač (venturi-otprašivač)

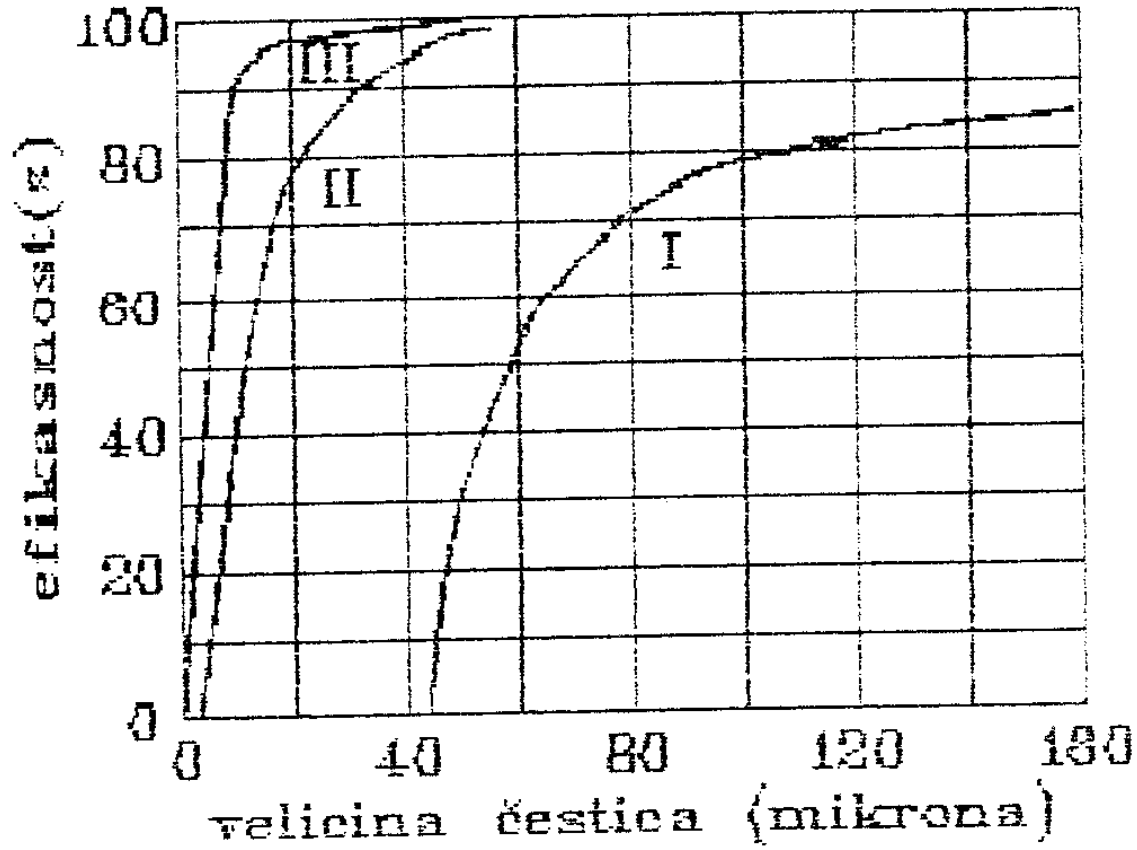
# Elektrostatički taložnici



Princip rada elektrofiltra



## Poredjenje efikasnosti izdvajača

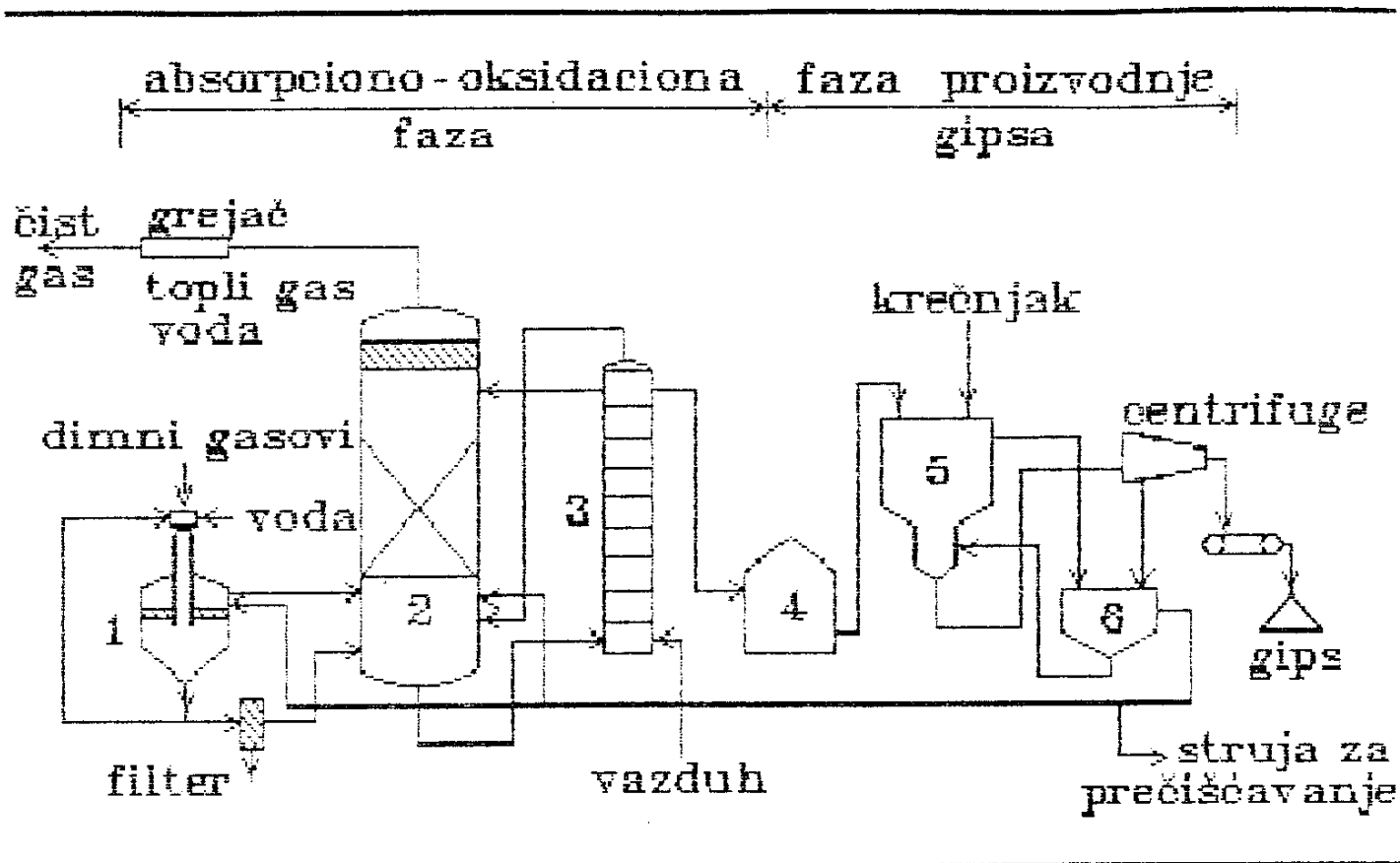


I gravitacioni

II centrifugalni

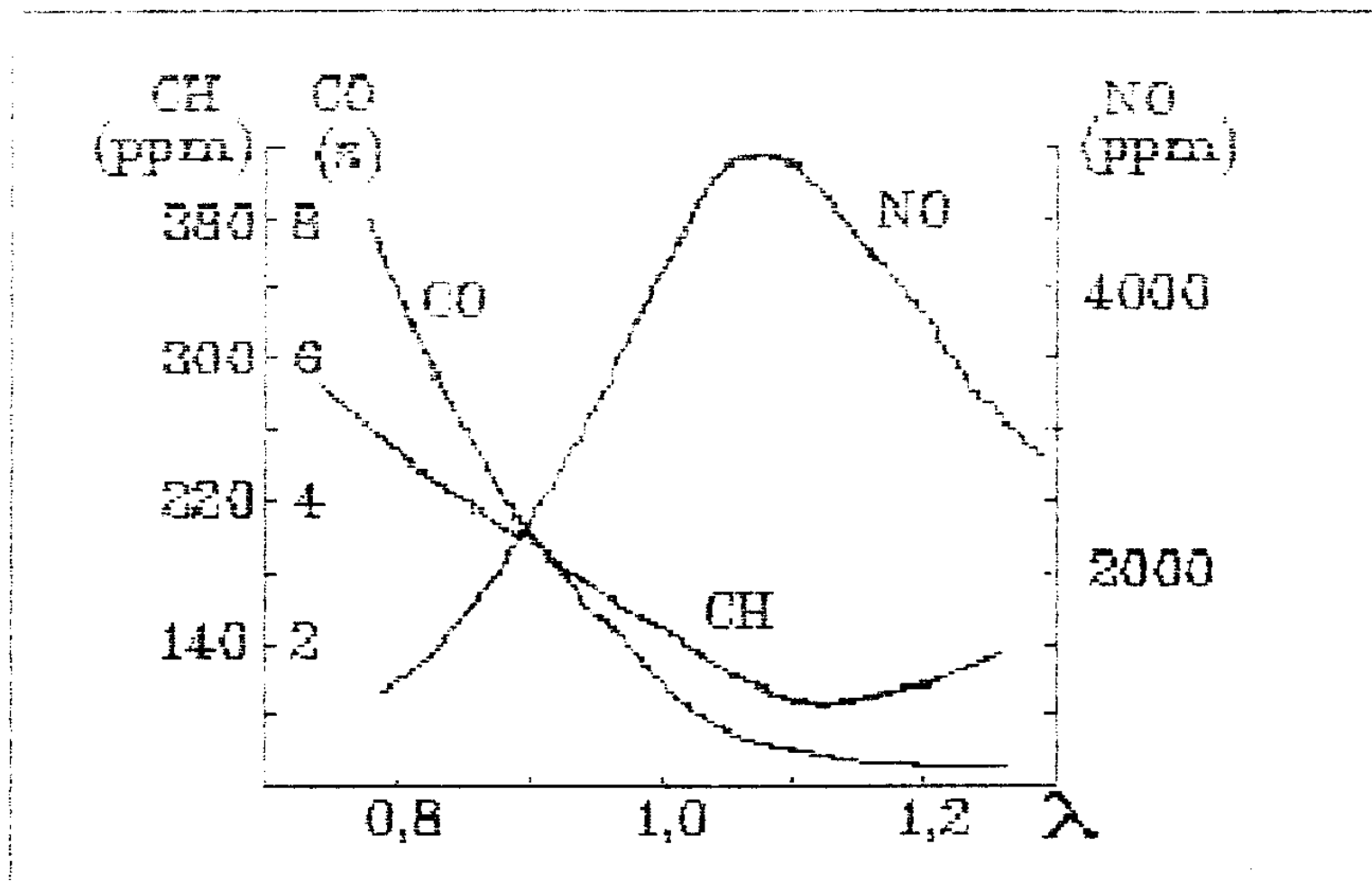
III elektrostatički

# Postrojenje za izdvajanje SO<sub>2</sub>



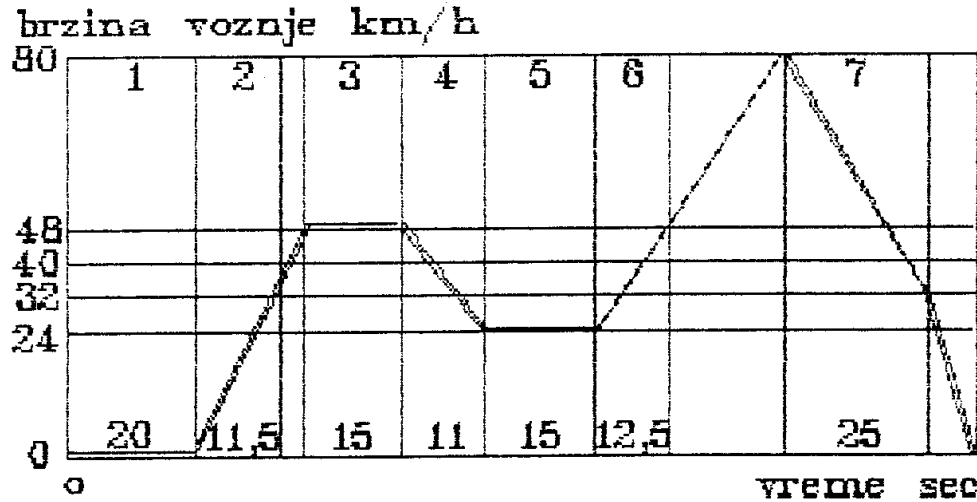
Slika IV.19. Chyoda-japanski postupak za izdvajanje SO<sub>2</sub>.  
 1-predskraber, 2-absorber, 3-oksidacija, 4-H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> rezervoar, 5-kristalizator, 6-rezervoar za matičnu lužinu.

# Prečiščavanje izduvnih gasova motornih vozila



Količina emitovanih polutanata u funkciji koeficijenta količine vazduha (odnosa količine vazduha i goriva u procesu sagorevanja- $\lambda$ )

# Uslovi uzimanja uzorka



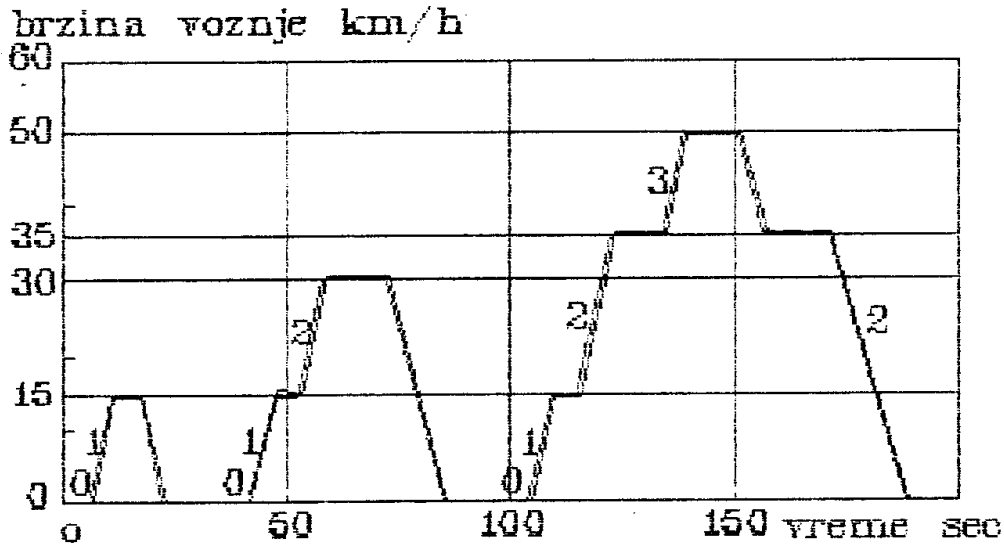
Šematski prikaz rada motora pri uzimanju uzoraka u Kalifornija testu.

Kalifornija test

CO

CH

NO<sub>x</sub>



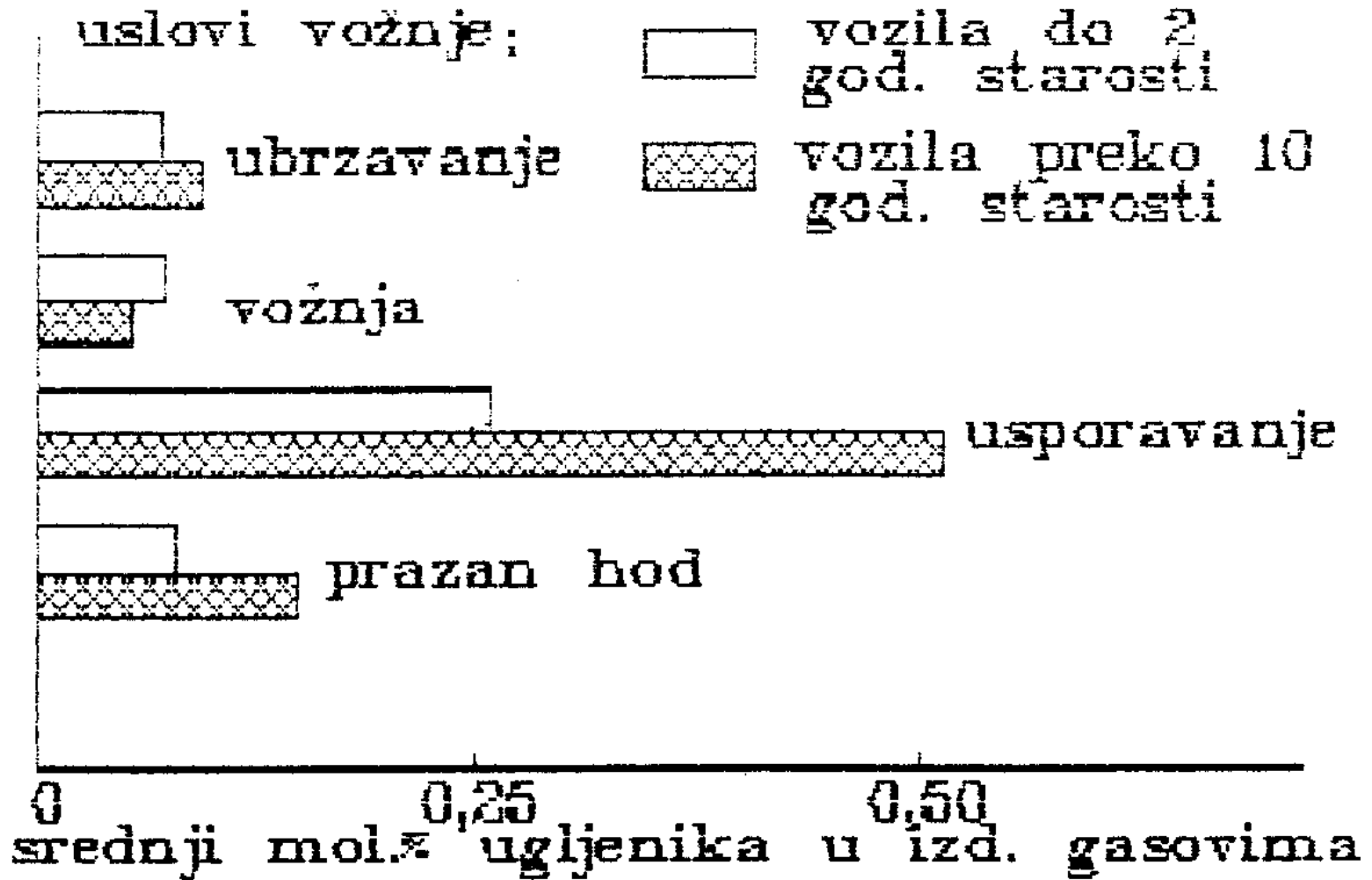
Evropa test

CO

CH



# Uticaj starosti vozila na emisiju

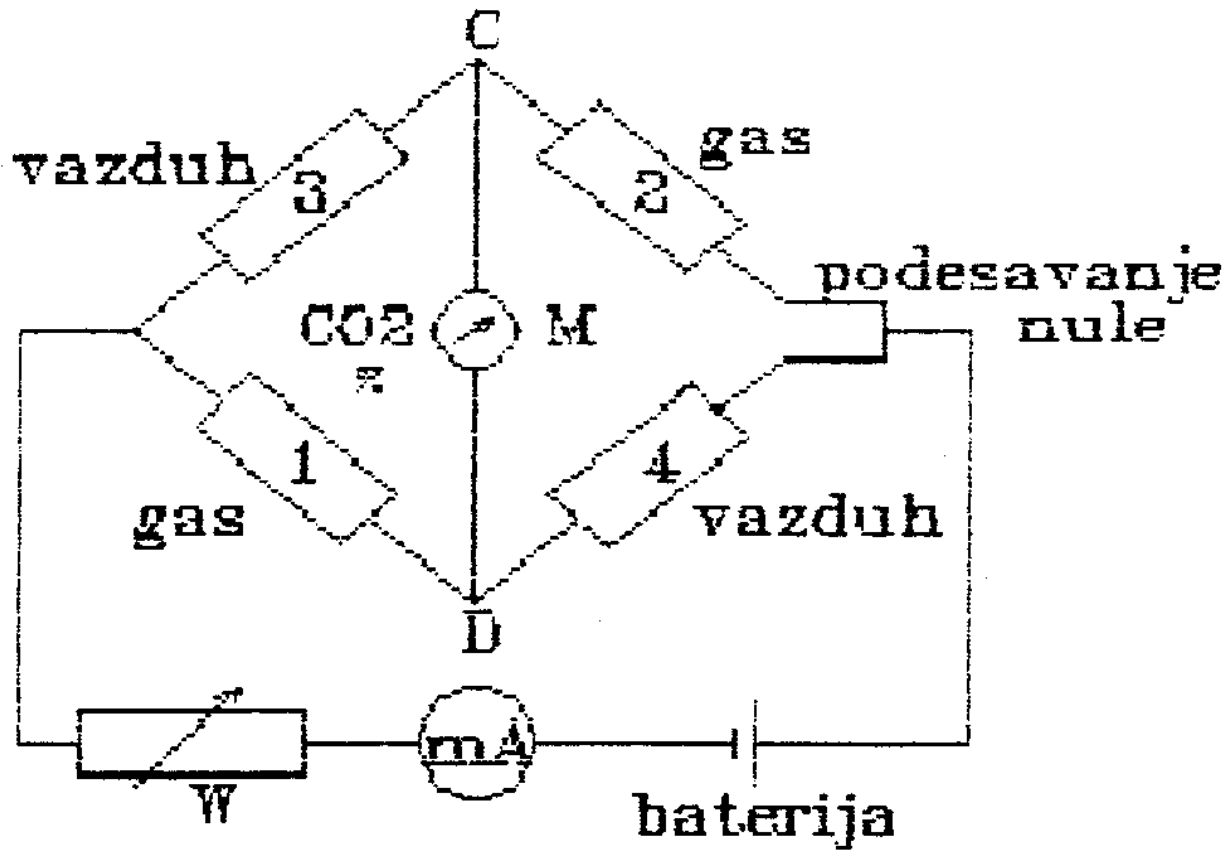


Uticaj starosti vozila na količinu ispusnih gasova u različitim uslovima rada motora.

# ISPITIVANJE SASTAVA IZDUVNIH GASOVA MOTORNIH VOZILA

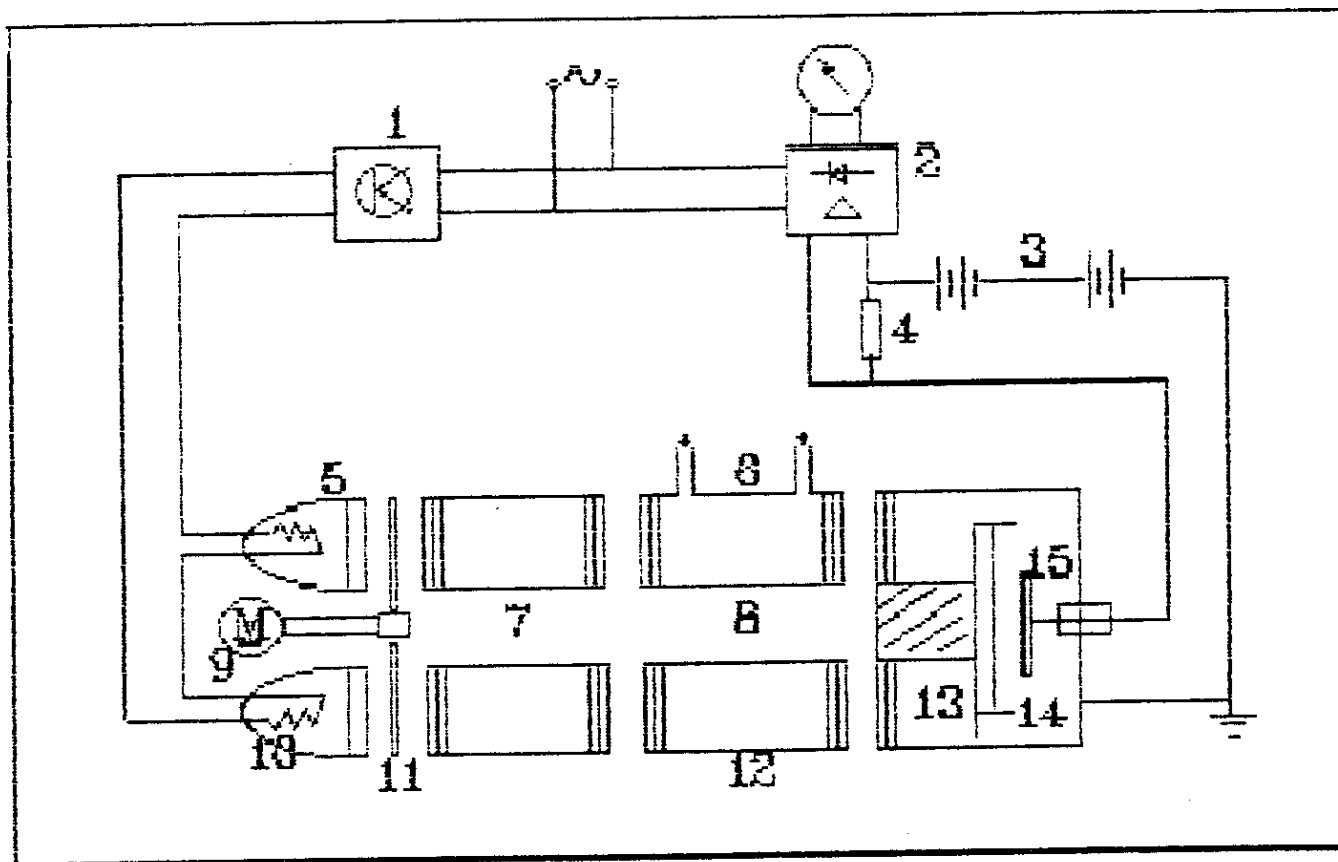
- Odredjivanje koncentracije CO
  - Termokonduktivni analizator
  - Nedisperzivni IC analizator (4.6 mikrona)
- Odredjivanje koncentracije CO<sub>2</sub>
  - Infracrveni analizator (4,2 mikrona)
- Koncentracija ugljovodonika CH
  - Plameno-jonizaciona metoda
- Azotni oksidi No<sub>x</sub>
  - Ultravioletni fotometrijski analizator
  - Hemiluminiscentna metoda (NO+O<sub>3</sub> - O<sub>2</sub>+NO<sub>2</sub>+10%NO<sub>2</sub>\*)
- Koncentracija nesagorelog kiseonika O<sub>2</sub>
  - Termomagnetni analizator

# Termokonduktivni analizator



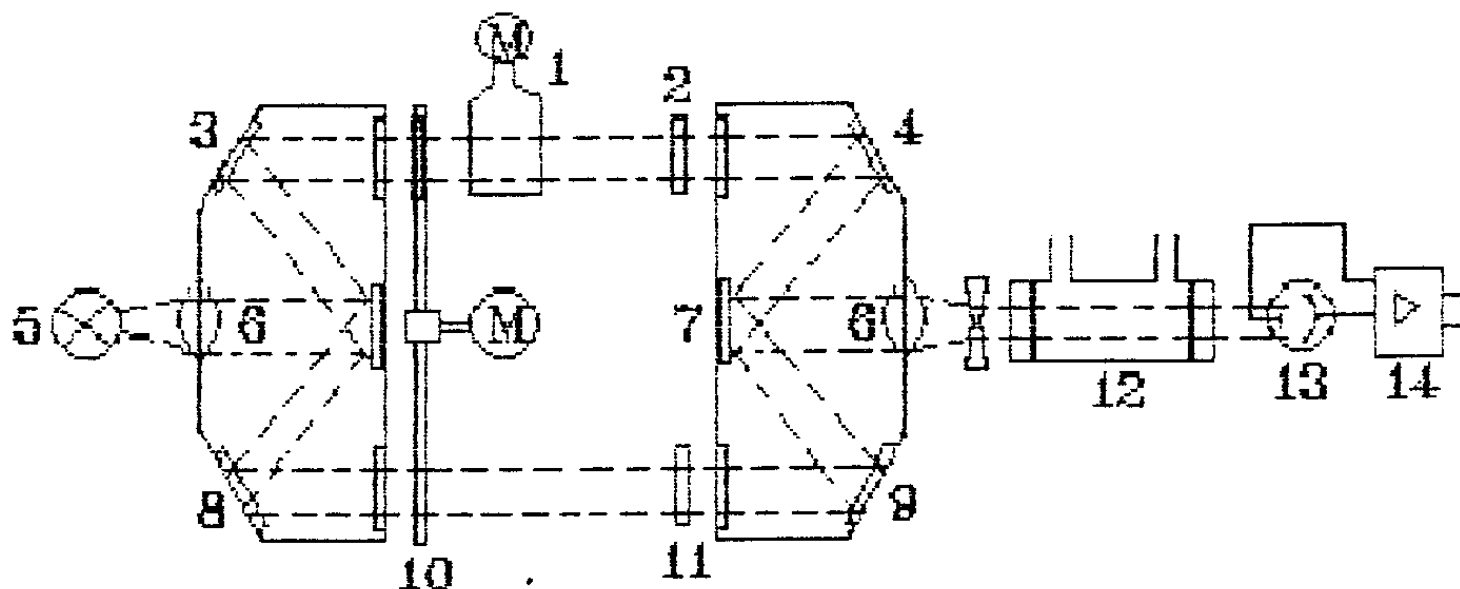
Šema termokonduktivnog analizatora.

# Infracrveni analizator



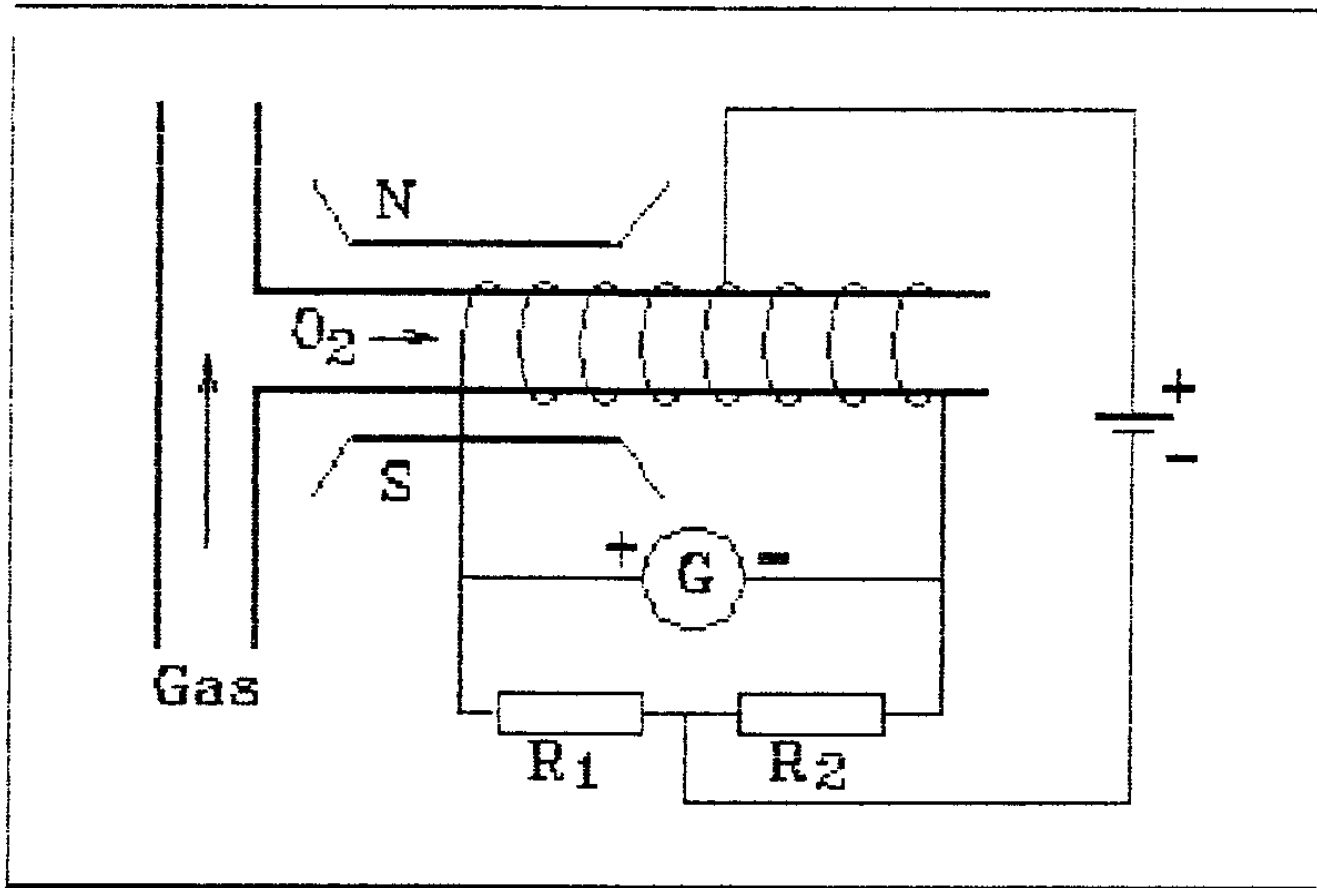
Šema infracrvenog analizatora CO: 1-stabilizator napona; 2-pojačavač; 3-izvor jednosmernog napona; 4-otpornik; 5-izvor mernog zraka; 6-apsorpciona komora; 7-filtrirajuće komore; 8-merne komore; 9-elektromotor; 10-izvor referentnog zraka; 11-rotirajuća blenda; 12-uporedna komora; 13-prijemnik; 14-membrana; 15-pol kondenzatora.

# Ultraljubičasti analizator

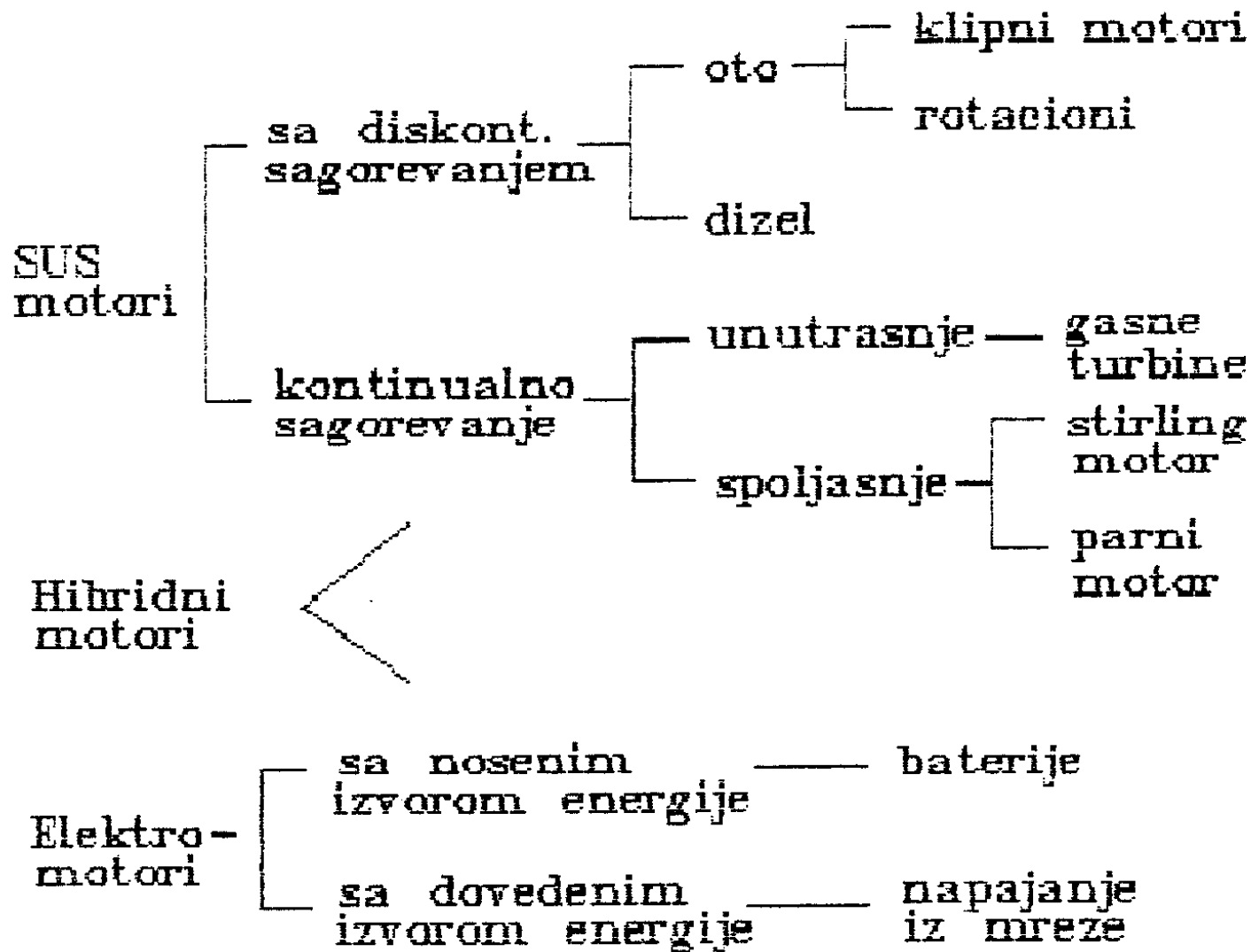


Šema fotometrijskog analizatora za NO<sub>2</sub>: 1-baždarni element; 2-merni filter; 3- 4- 8- 9- ravno ogledalo; 5-svetlosni izvor; 6-sočivo; 7-ožljebljeno ogledalo; 10-rotirajuća blenda; 11-referentni filter; 12-merna komora; 13-foto-ćelija; 14-pojačavač signala.

# Termomagnetni detektor O<sub>2</sub>



# Vrste pogona vozila u drumskom saobraćaju



Slika VIII.12. Vrste pogona vozila u drumskom saobraćaju

## Rešenja i mere za smanjenje emisije motornih vozila

- Sistem raspršivanja goriva
- Bezolovno gorivo
- Poboljšanje sagorevanja goriva
- Prečišćavanje izduvnih gasova
- Katalizatori (platina)
- Električni pogon
- Vodonični pogon