

FIZIKA I EKOLOGIJA

ENVIRONMENTAL PHYSICS

Prof. dr Dragoljub Belić, Fizički fakultet, Beograd

III

ZAGADJIVANJE, ZAŠTITA I PREČIŠĆAVANJE VAZDUHA

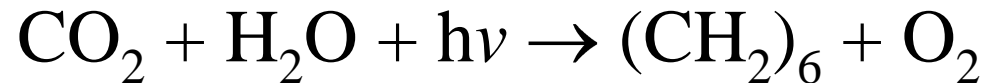
“Aer plus occidit quam gladius”
- Vazduh ubija više nego mač -



SASTAV ČISTOG VAZDUHA

Simbol	Sastojak	% zapreminski	% težinski
• N ₂	azot	78,088	75,527
• O ₂	kiseonik	20,949	23,143
• Ar	argon	0,930	1,282
• CO ₂	ugljendioksid	0,0318	0,0456
• Ne	neon	1,80E-3	1,25E-3
• He	helijum	5,24E-4	7,24E-4
• CH ₄	ugljovodonici, metan	1,40E-4	7,75E-5
• Kr	kripton	1,14E-4	3,30E-4
• N ₂ O	oksid azota	5E-5	7,6E-5
• Xe	ksenon	8,6E-6	3,90E-5
• H	vodonik	5E-5	3,48E-6
• NO ₂	azotdioksid	1E-7	3E-7
• O ₃	ozon	2E-6	6E-6
• SO ₂	sumpordioksid	2E-8	9E-8
• CO	ugljenmonoksid	1E-5	2E-5
• NH ₃	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
- - CO₂ 1960 259 mil t/g; 1980 5-6 mlrd t/g (za 20 godina povećanje preko 20 puta, 1 t po stanovniku Zemlje)
- - SO₂ 150 mil t/g
- - sitne čestice u vazduhu 30 mil t/g
- - NO_x 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
• CO ₂	Vulkani, sagorevanje fosilnih goriva, životinje (disanjem).
• CO	Motori sa unutrašnjim sagorevanjem, vulkani, hemijska i srodne industrije.
Sumporna jedinjenja	Bakterije, sagorevanje fosilnih goriva, vulkani, morski talasi, hemijska industrija.
Ugljovodonici	Motori sa unutrašnjim sagorevanjem, bakterije, biljke.
Jedinjenja azota	Bakterije, procesi sagorevanja, atmosferska električna pražnjenja, industrijski procesi.
^estice	Vulkani, dejstvo vatre, procesi sagorevanja, industrijski procesi, meteori, morski talasi, šumski požari

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 ₂	nadražaj grla i pluća	5000
• SO ₂	nadražaj grla i pluća	10
• SO ₃	nadražaj grla i pluća	10
• Benzol	gadjenje, vrtoglavica	35
• Hlor	nadražaj grla, pluća, očiju	1
• Arsenovodonik	vrtoglavica, nesvestica	0.05
• Sumporvodonik	paraliza	20
• NO _x	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 ³
• H ₂ SO ₄	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 (Cl_2)

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

Sumporvodonik (H_2S)

- 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 (SO₂)

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

Azotovi oksidi (NO_x)

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

Ugljendioksid (CO₂)

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

Ozon (O₃)

- 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 (NH₃)

- 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/cm³, ml/m³, ppm, Ci/m³, 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 ugljovodonici (benzopiren)
- 5.7. vinilhlorid
- 5.8. azbest

Red. broj	MATERIJA	srednjodnevna konc. mg/m ³	pojedinačna konc. mg/m ³
• 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 ₂	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 ³ na dan	

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

Red. broj	NAZIV SUPSTANCE	Vrednosti MDK u	
		mg/m ³	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	+	0,1
12.	Radijum, rastvorljive soli	0,001	-
13.	Sumpordioksid	+	10

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/cm³ dužih od 5 mikrona
- arsen (trioksid), proizvodnja As₂O₃: 0.05 mg/m³
- antimon SbO₂: 6 ppm-plafonska vrednost
- Sb₂O₃: 0.05 mg/m³
- hrom (ruda), obrada (CrO) 0.1 mg/m³
- organska policiklična jedinjenja
 (rastvorljiva frakcija u benzolu) 0.2 mg/m³
- nikel (niklsulfid), dimovi, prašina,
 izraženi kao Ni 1 mg/m³
- simetrični dihlordimetiloksid 1 ppm

Savremene metode ispitivanja zagađenosti vazduha

HEMIJSKE METODE (I generacija)

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

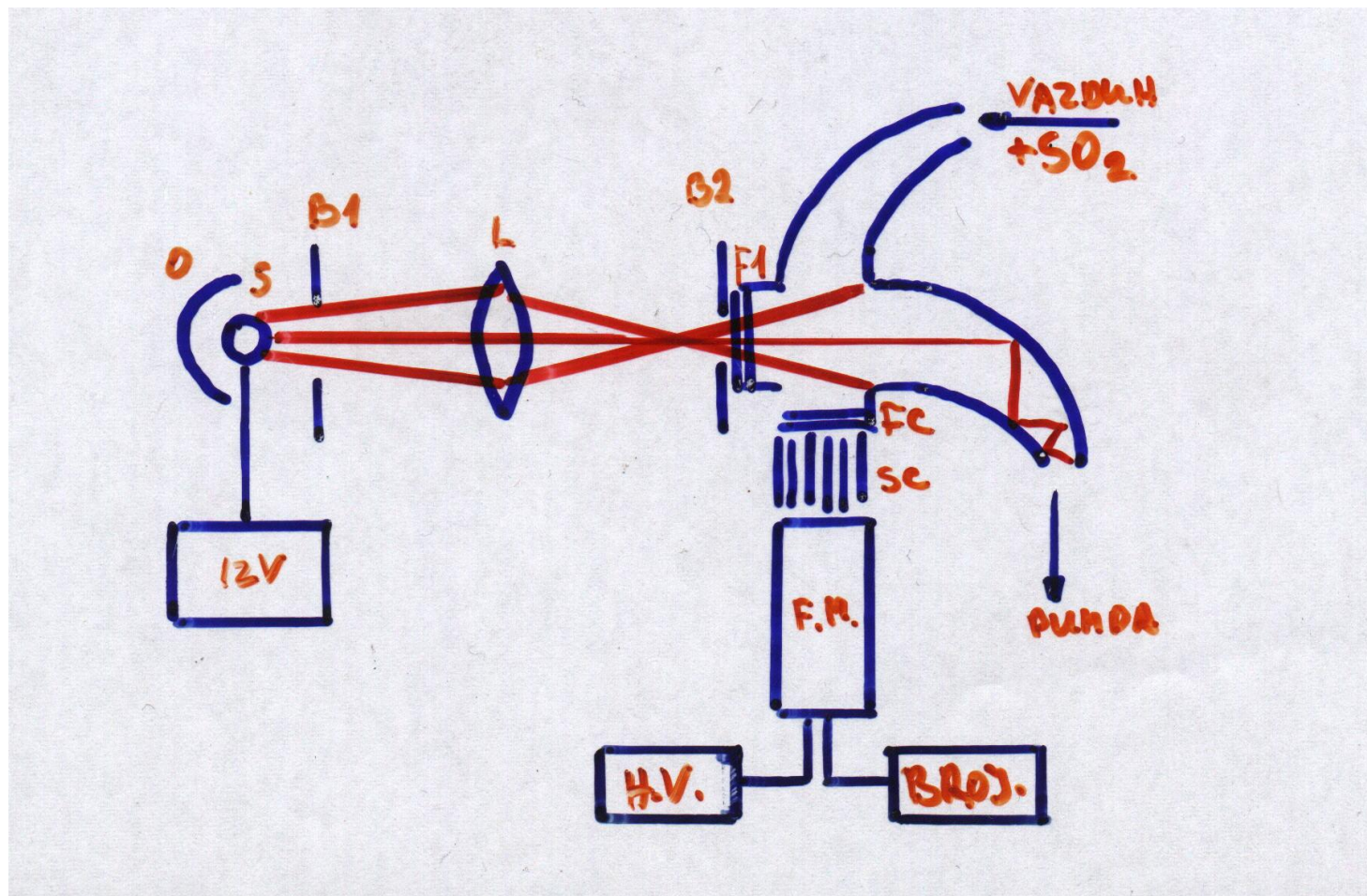
FIZIČKO-HEMIJSKE METODE (II generacija)

- Kolorimetrija
- Spektrofotometrija
- Kulometrija
- Konduktometrija

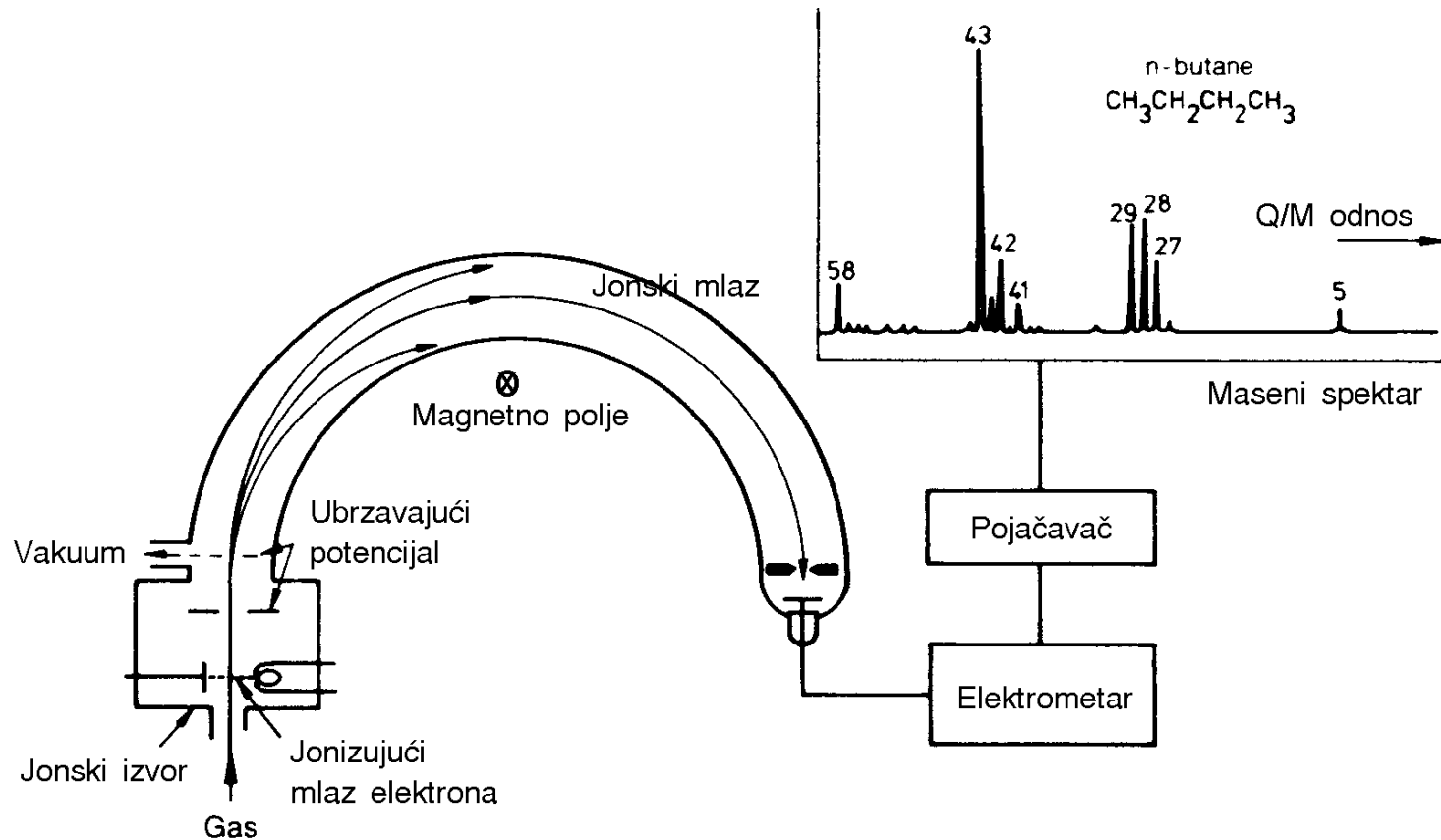
FIZIČKE METODE ZA ISPITIVANJE ZAGADJENOSTI VAZDUHA (III generacija)

1. Spektrofotometrija, apsorpcija i rasejanje (CO, TENT)
2. Fluorescentna metoda (SO₂ 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 SO₂



Masena spektrometrija

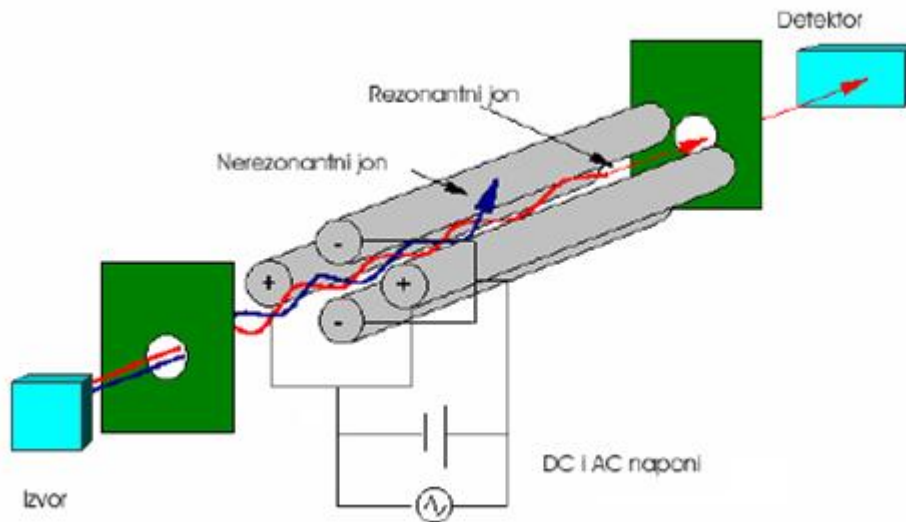


-elektromagneti

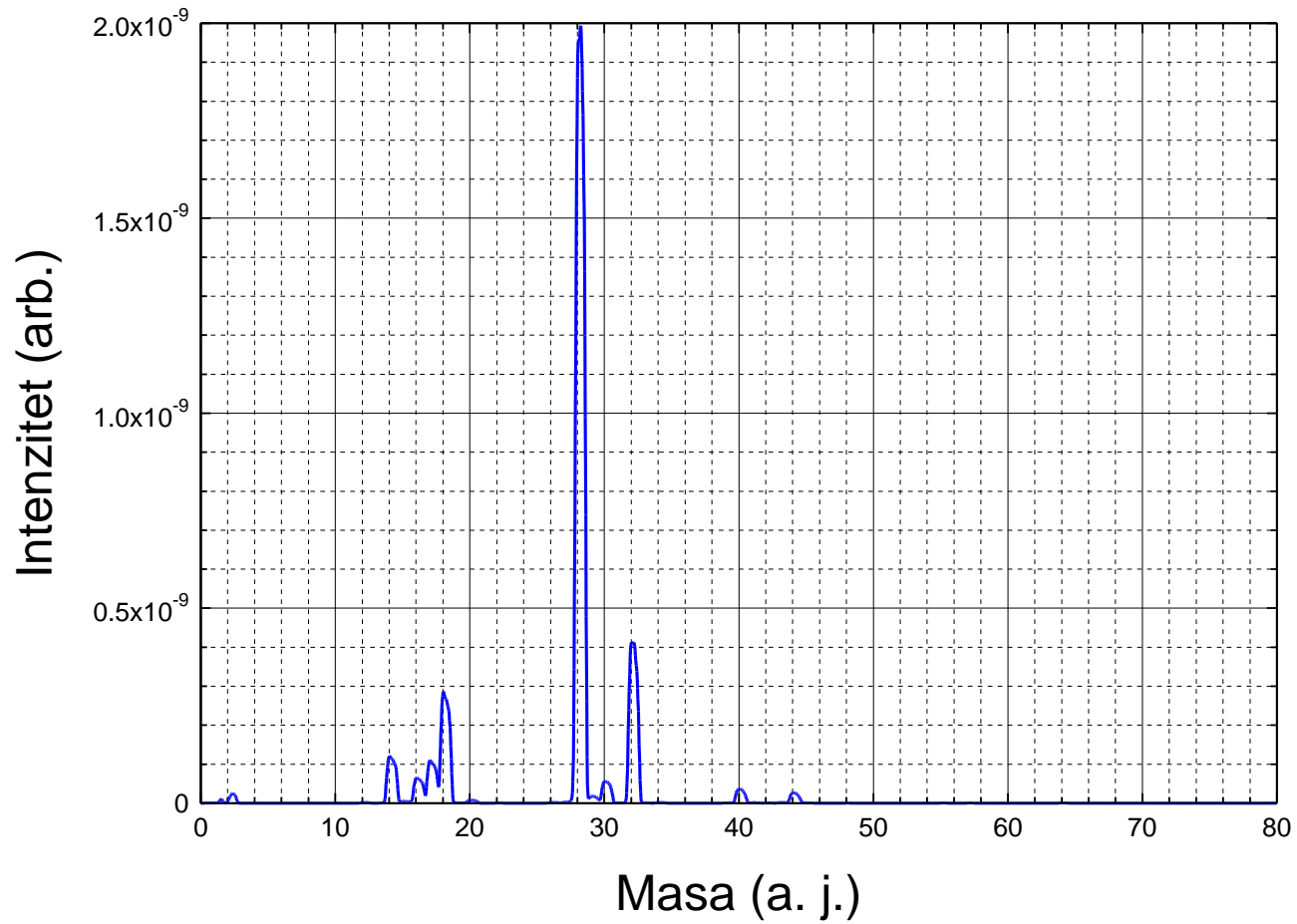
-kvadrupolni

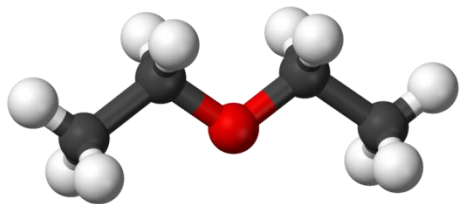
-vreme preleta (time-of-flight)

Kvadrupolni maseni spektrometar

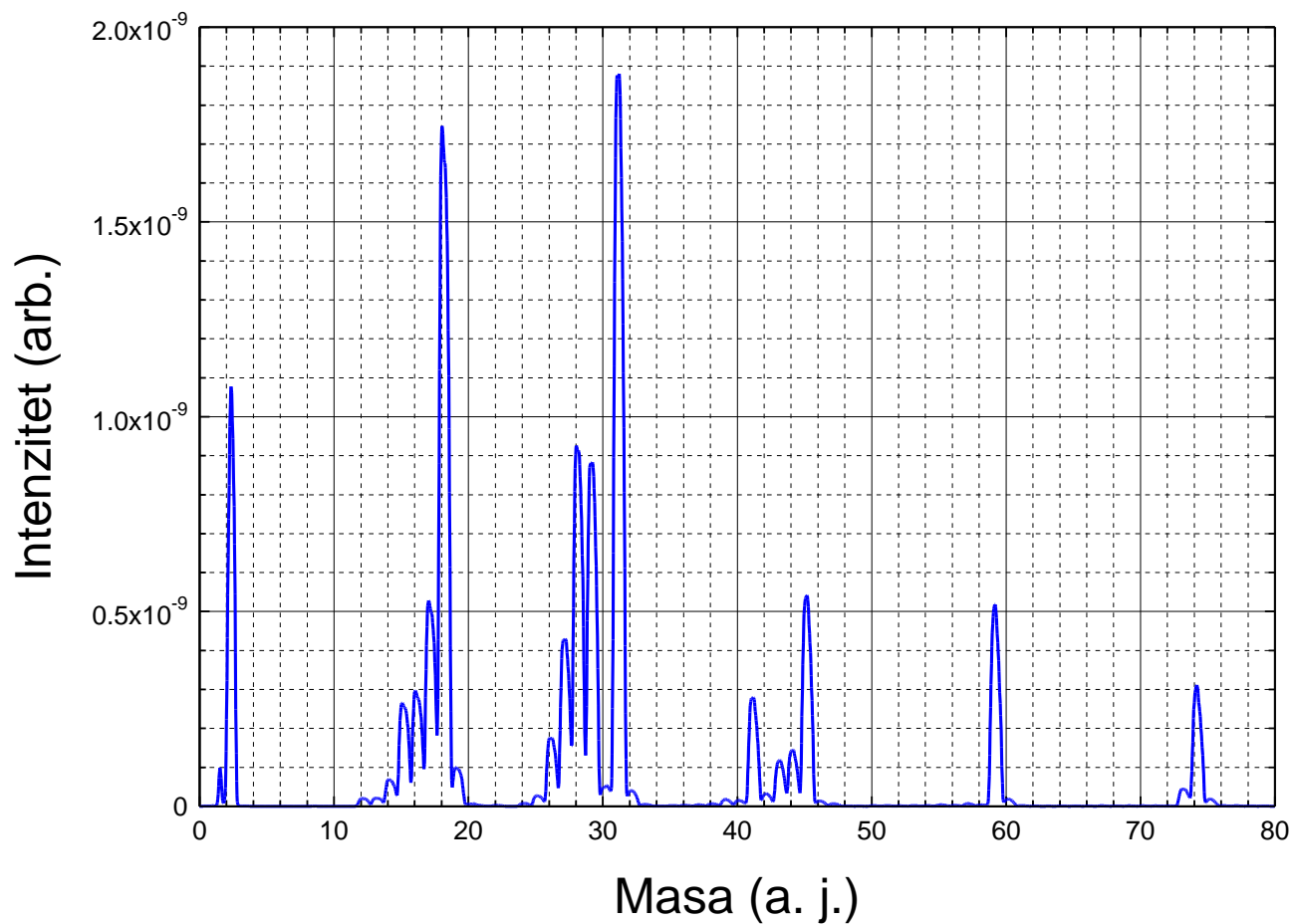


Maseni spektar vazduha

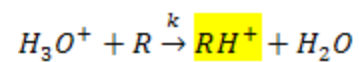
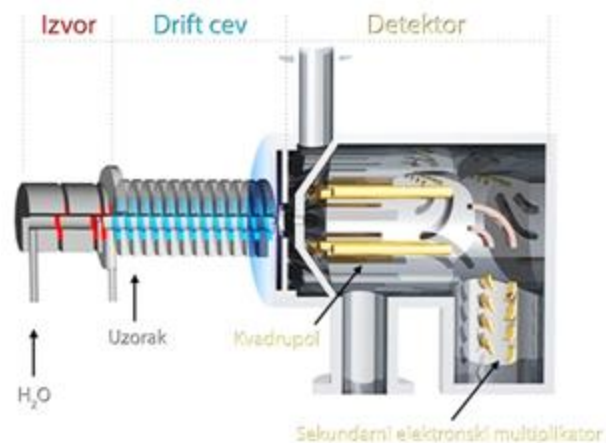
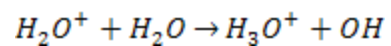
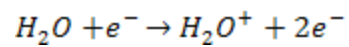




Maseni spektar etra – $(C_2H_5)_2O$ / $C_4H_{10}O$



Maseni spektrometar sa transferom protona (PTR-MS)



POSTUPCI ZA PREČIŠĆAVANJE VAZDUHA

- HEMIJSKI POSTUPCI
 - Proste hemijske reakcije (neutralizacija, redukcija, oksidacija)
 - Katalitičke reakcije (homogena i heterogena kataliza)
 - Piroliza (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

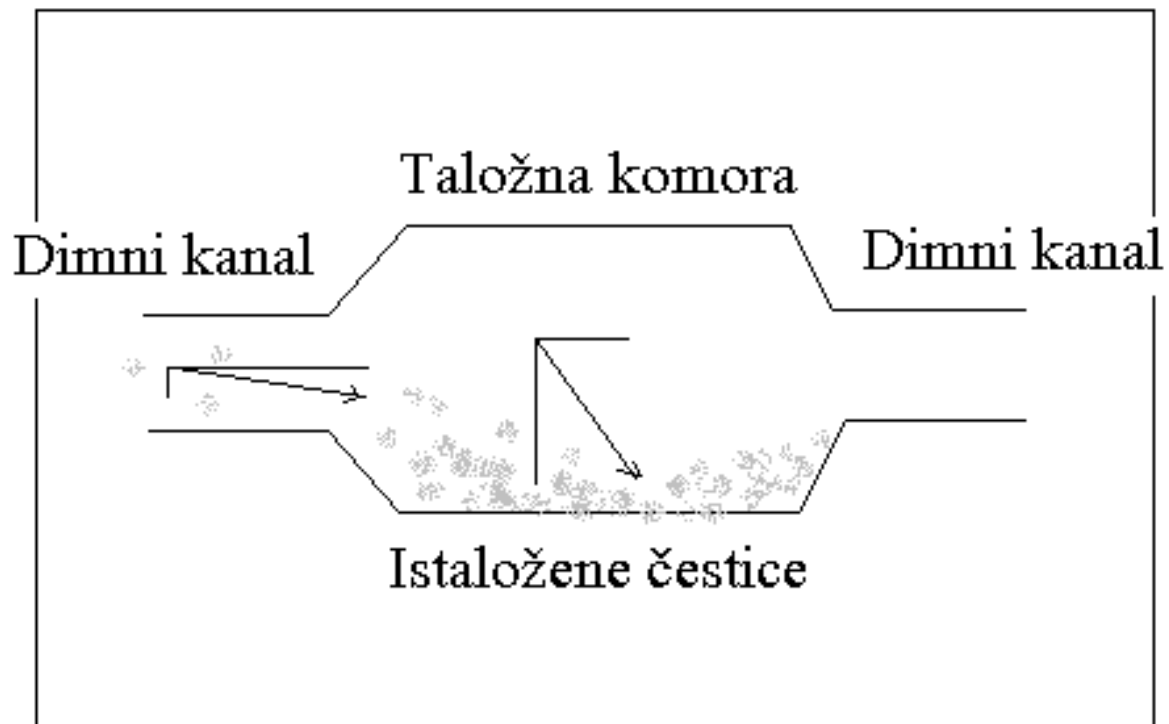
- MEHANIČKI IZDVAJAČI
 - Gravitacioni
 - Taložni kanali
 - Taložne komore
 - Centrifugalni
 - Cikloni
 - Multicikloni
 - Mehanički penasti izdvajači
 - Inercioni
 - Udarni
 - Obilazni (žaluzinski)
 - Venturi – kapljičasti
 - Penasti
 - Filtri
 - Nepokretno cedilo, vrećasto, ravno, sa punjenjem
 - Pokretno, namotajno, sa beskrajnom trakom
- DIMNJACI
- ELEKTROSTATIČKI IZDVAJAČI
 - Jednozonalni
 - Dvozonalni
 - Kombinovani

Sile koje deluju na čestice polutanata

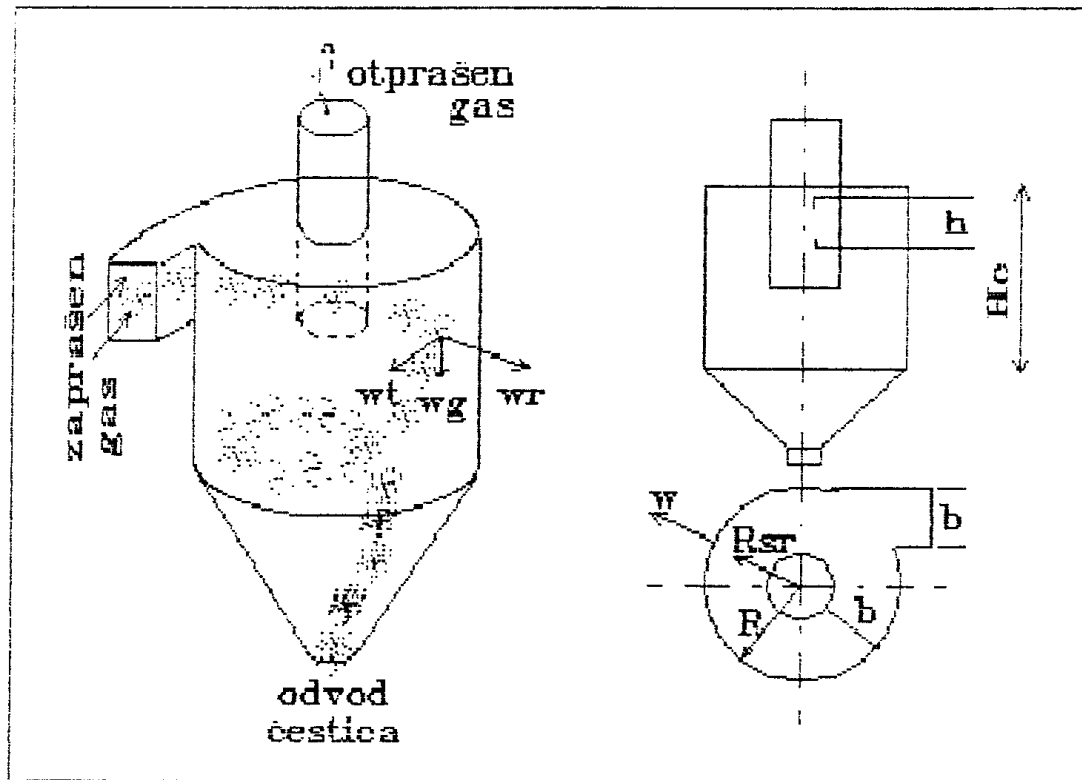
- Sila Zemljine teže
- Sila potiska
- Sila inercije
- Centrifugalna sila
- Sila pritiska
- Sila otpora
- Termodinamička sila
- Sila turbulentnih udara
- Elektrostatička sila

Gravitacioni prečistači

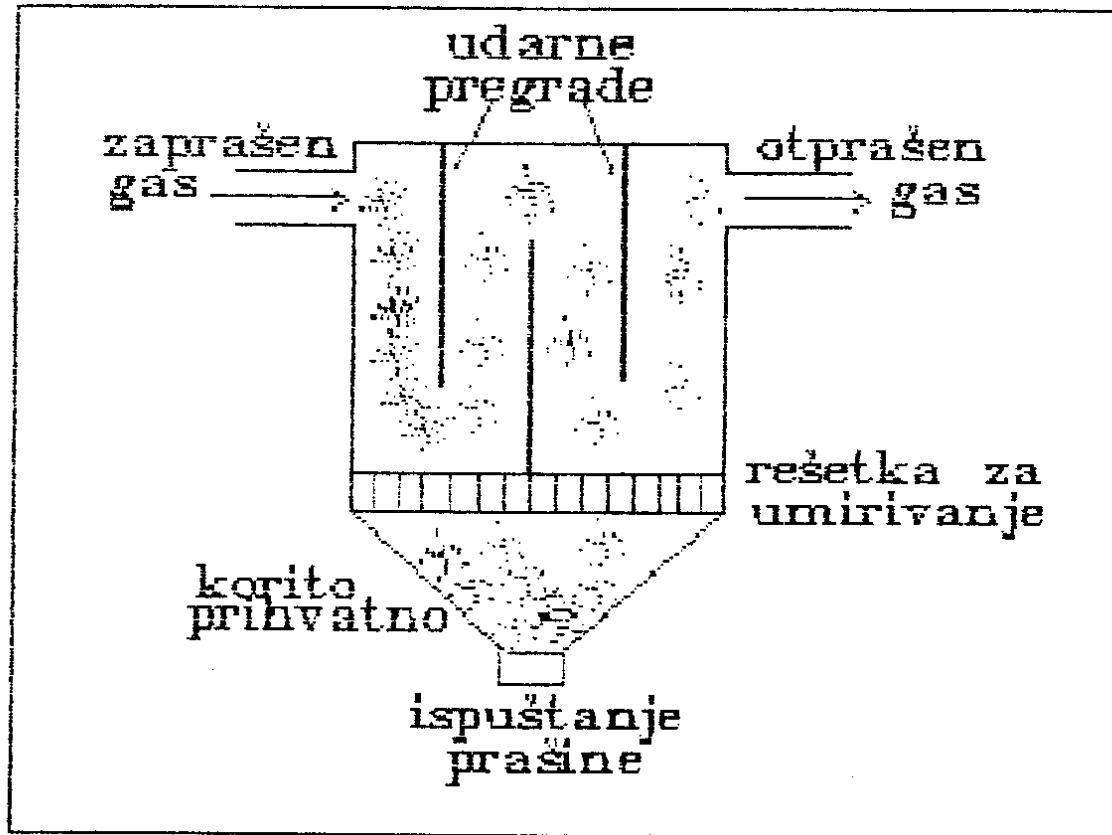
- Taložni kanali
- Taložne komore



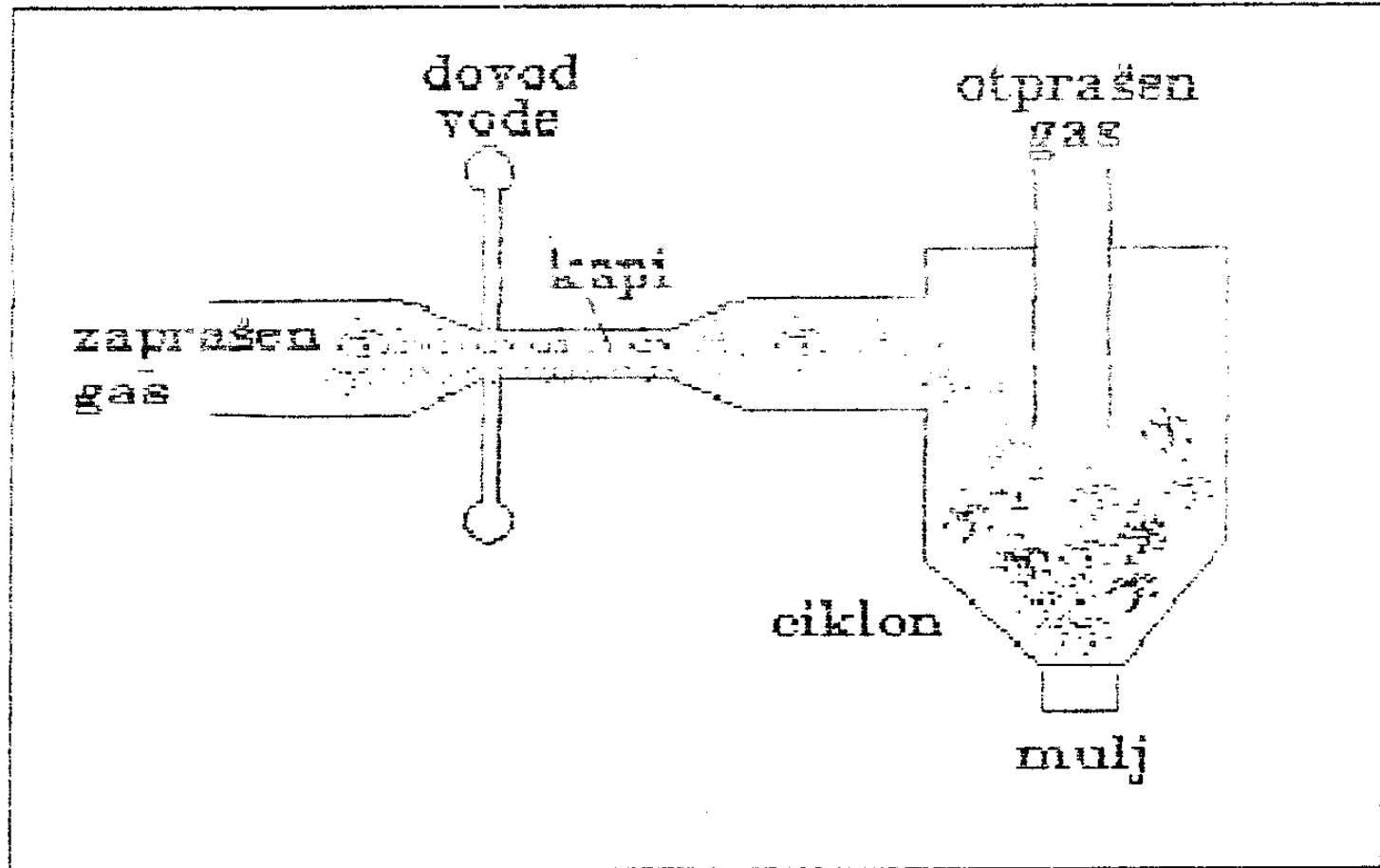
Centrifugalni prečistači – CIKLONI MULTICIKLONI



Inercioni-udarni višestepeni otprašivači

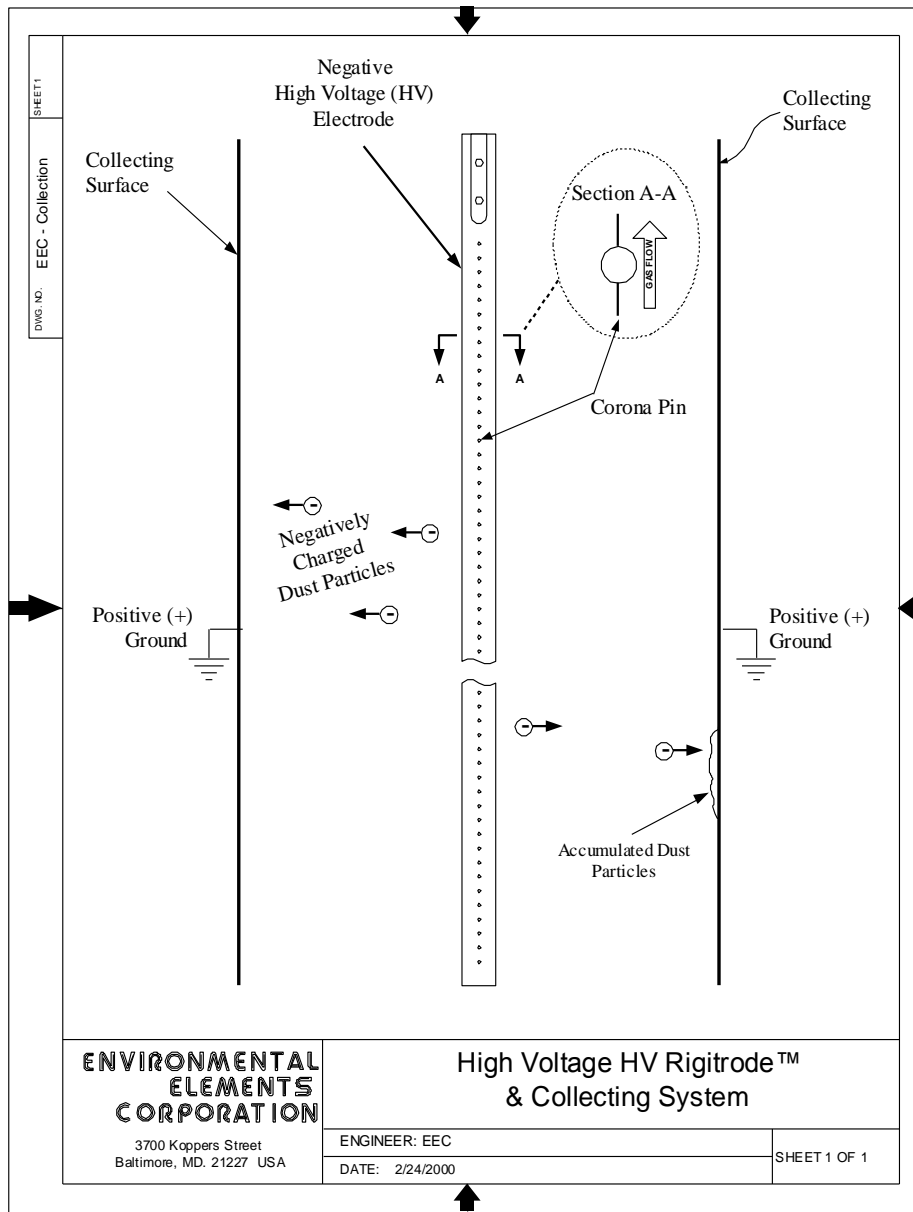


Kapljičasti Venturi otprašivači (skraber)



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

Elektrostatički taložnici



Princip rada elektrofiltra

Efikasnost izdvajanja (Deutsch 1922):

$$\eta = 1 - e^{-w(A/Q)}$$

w – brzina migracije gasa

A – površina kolektorskih elektroda

Q – protok gasa

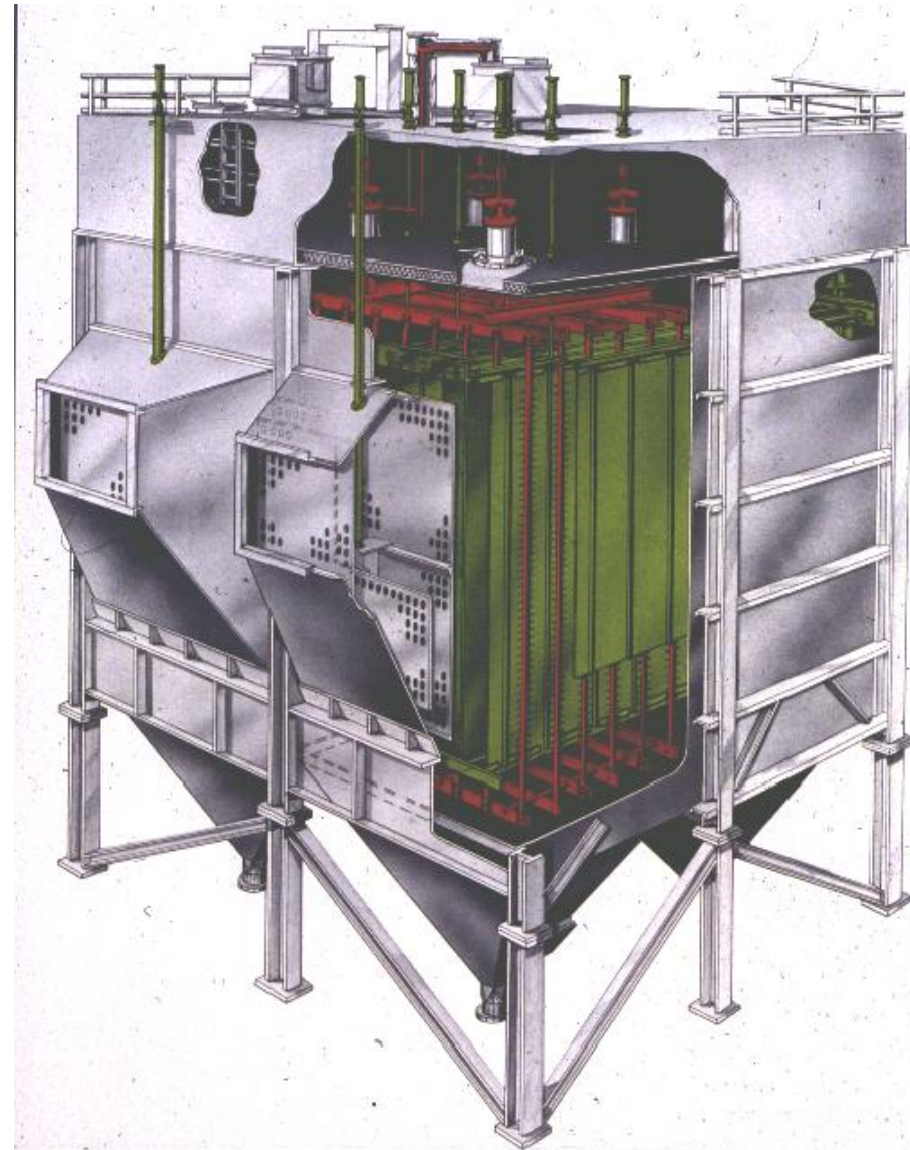
Na osnovu važeće domaće i EU regulative
za sve blokove TENT A i B

**GRANIČNA VREDNOST EMISIJE
(GVE)**

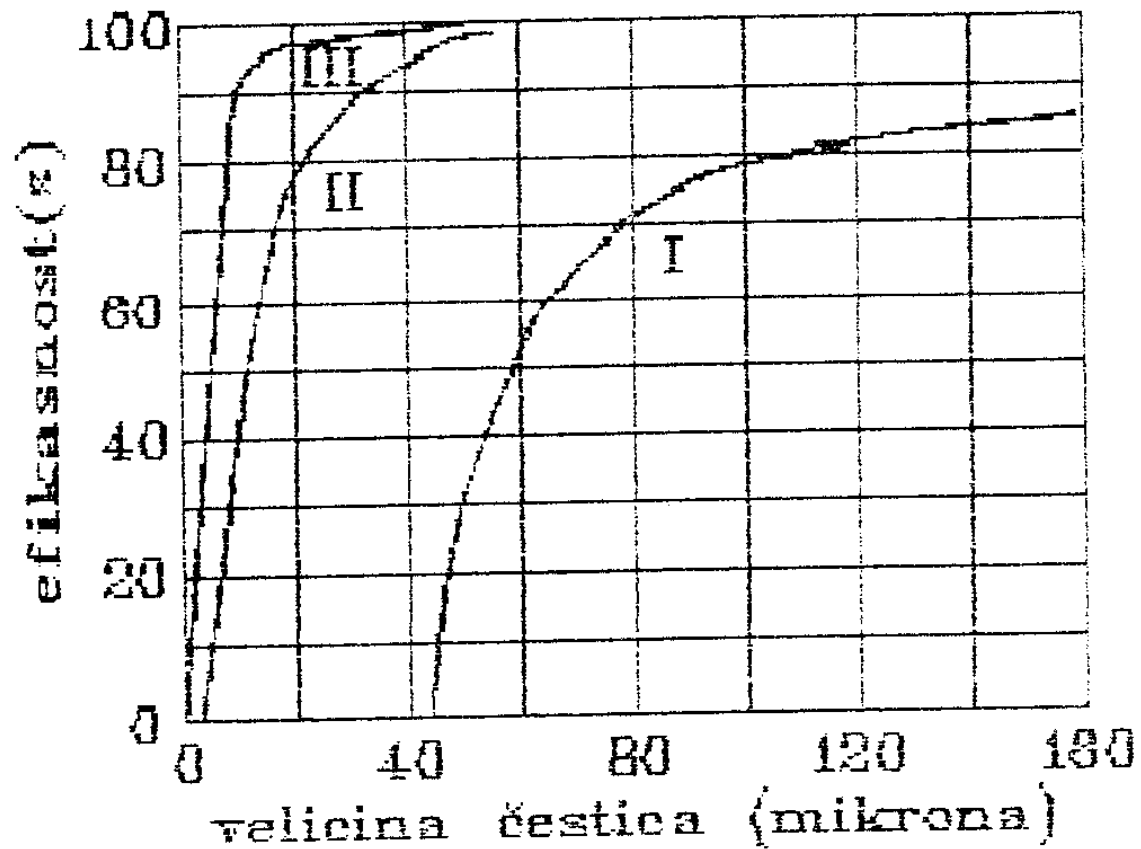
iznosi 50 mg/m³

(svedeno na 0 C, 1013 mbar,
6% O₂ i suv gas).

Na nekim starijim blokovima TENT A
emisija je prelazila 2500 mg/m³!



Poredjenje efikasnosti izdvajača

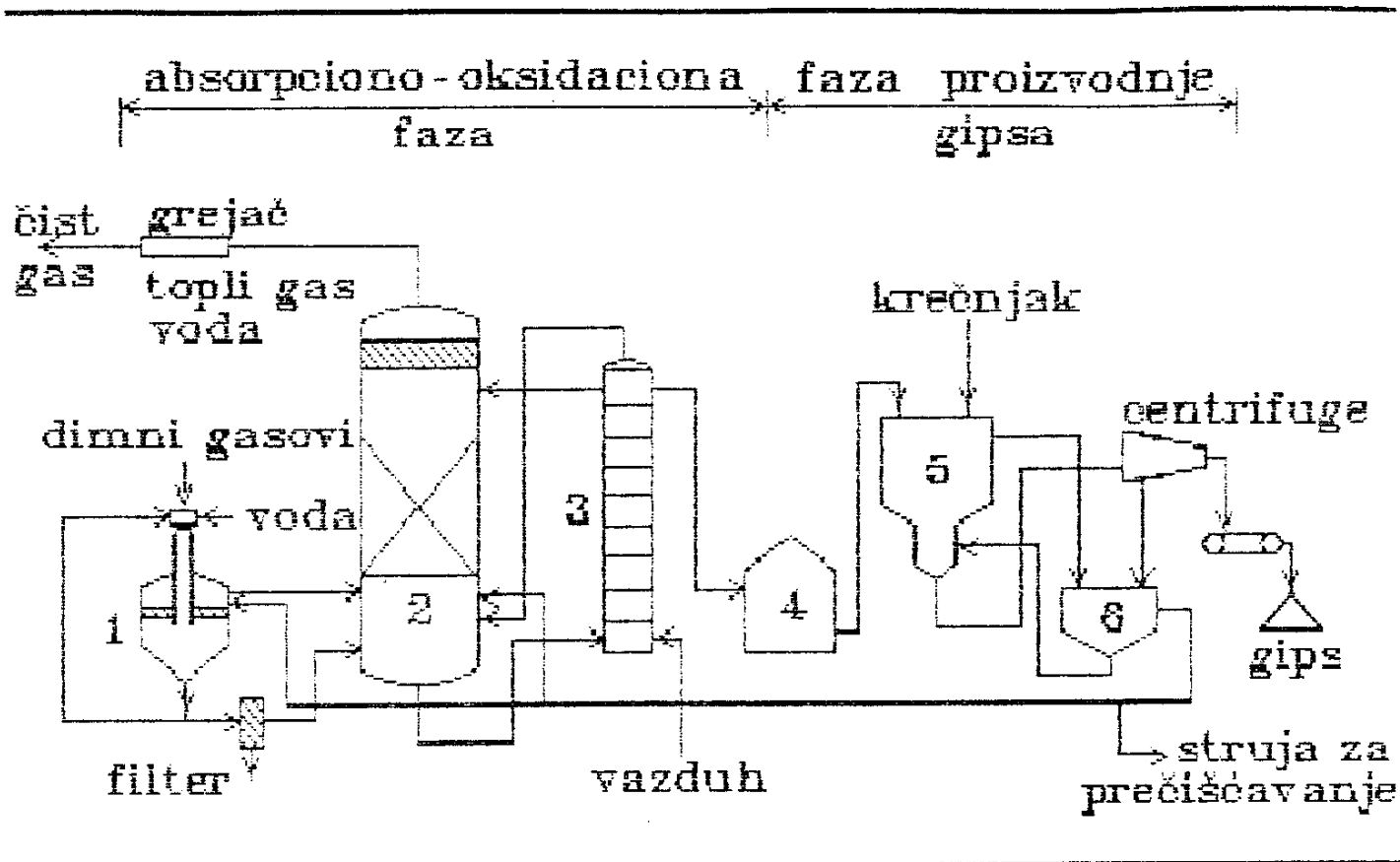


I gravitacioni

II centrifugalni

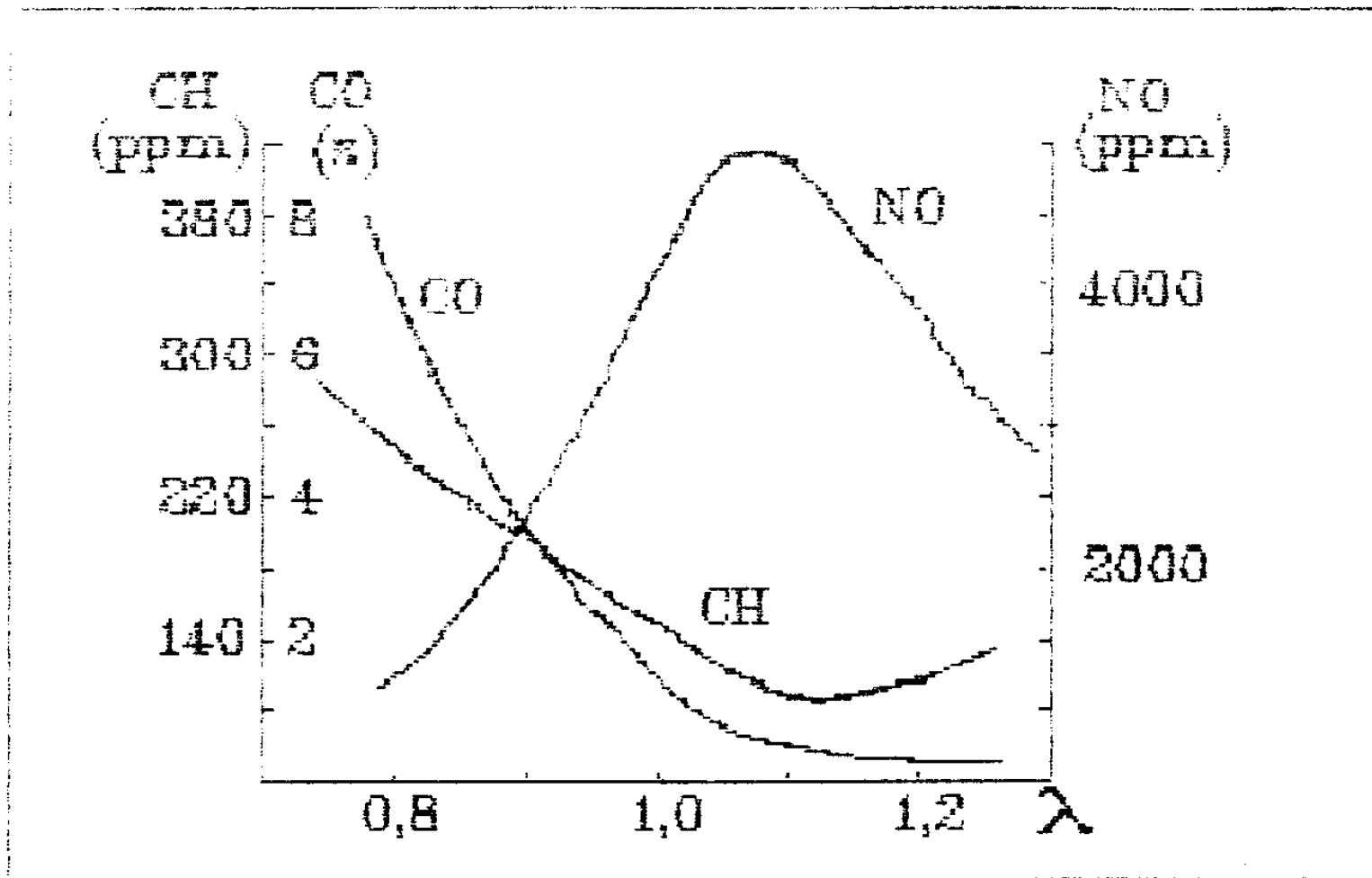
III elektrostatički

Postrojenje za izdvajanje SO₂



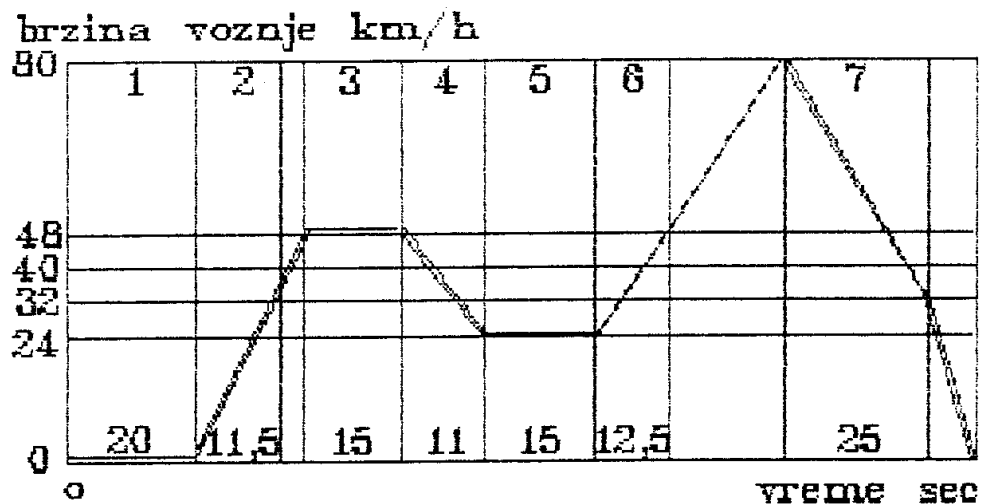
Slika IV.19. Chyoda-japanski postupak za izdvajanje SO₂.
1-predskraber, 2-absorber, 3-oksidacija, 4-H₂SO₄ rezervoar, 5-kristalizator, 6-rezervoar za matičnu lužinu.

Prečiščavanje izduvnih gasova motornih vozila



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

Uslovi uzimanja uzorka



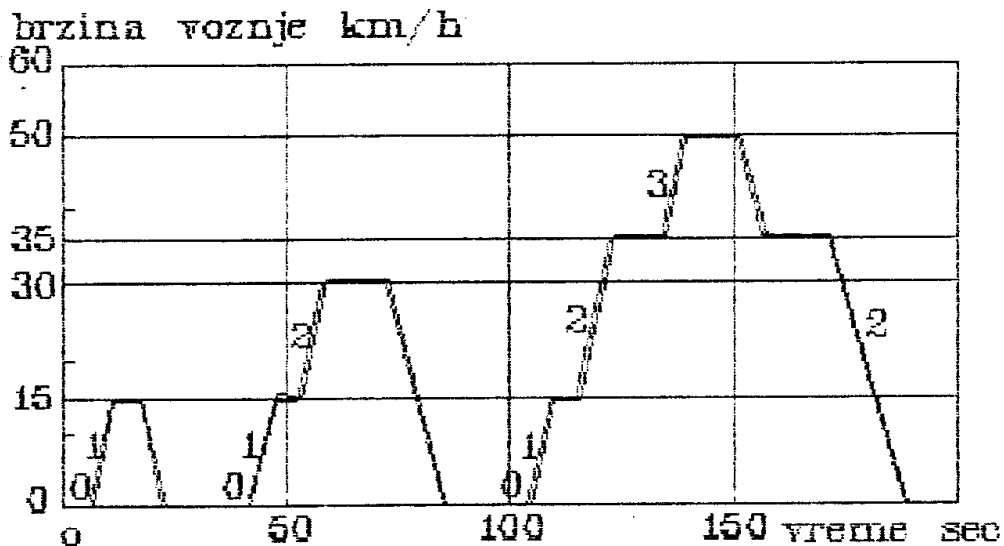
Šematski prikaz rada motora pri uzimanju uzoraka u Kalifornija testu.

Kalifornija test

CO

CH

NO_x

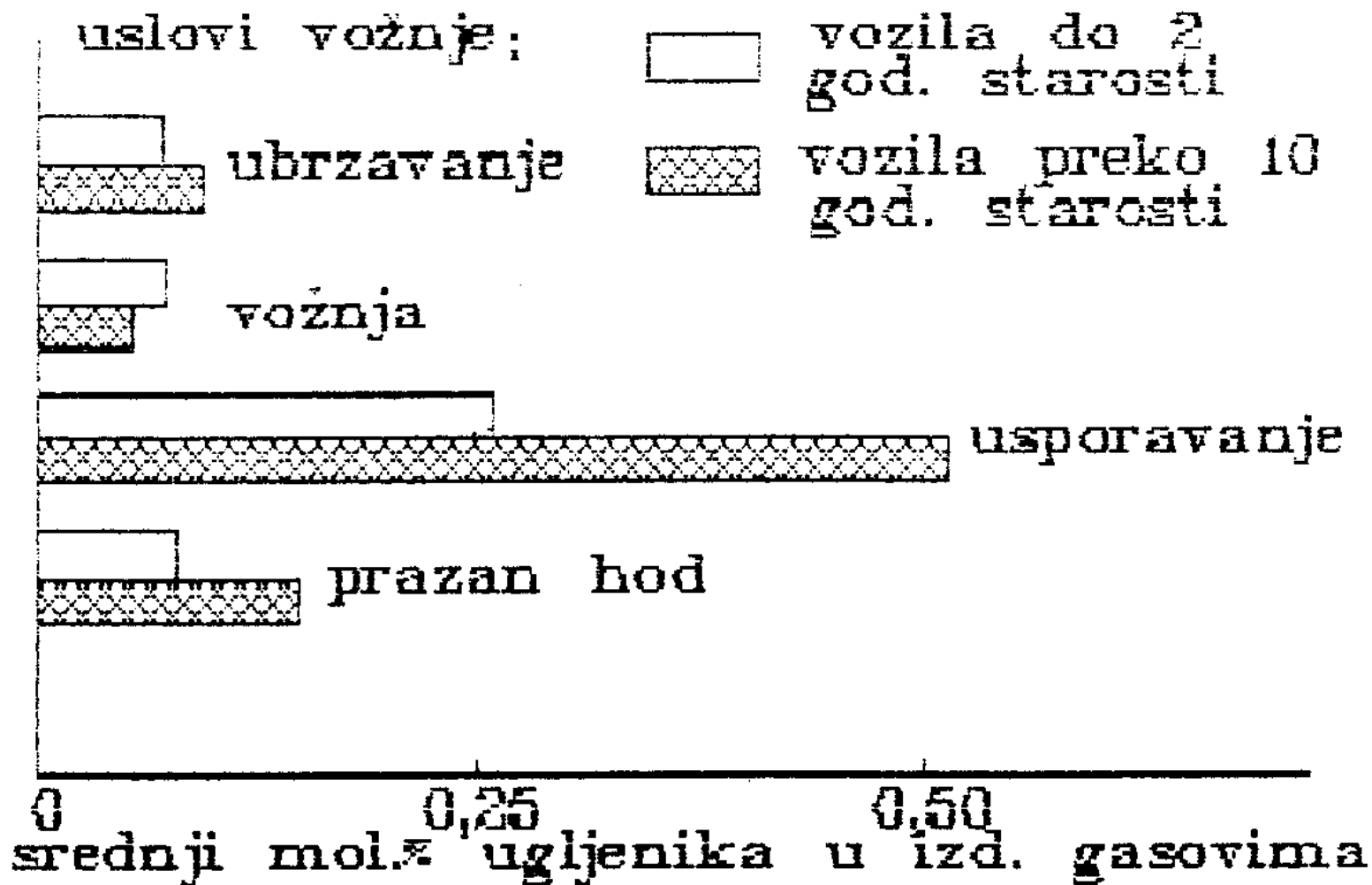


Evropa test

CO

CH

Uticaj starosti vozila na emisiju

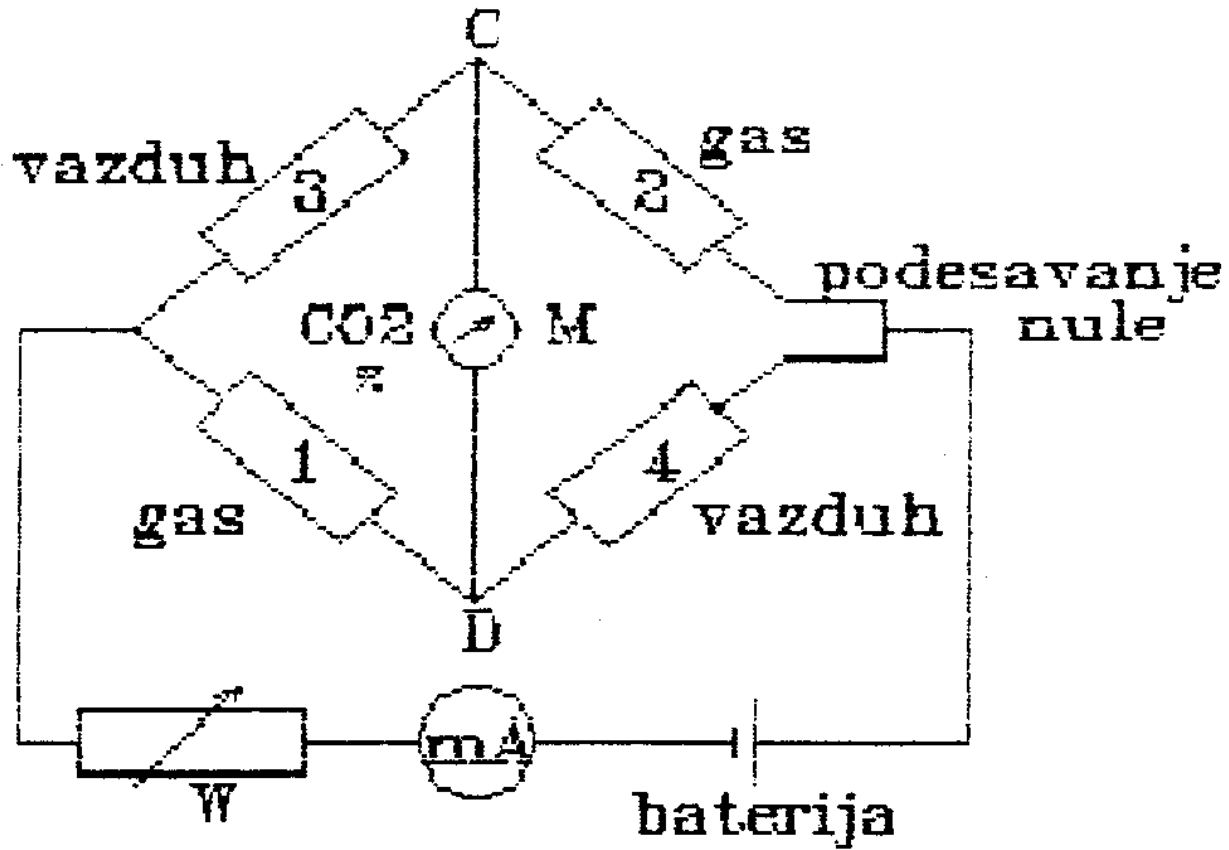


Uticaj starosti vozila na količinu ispusnih gasova u različitim uslovima rada motora.

ISPITIVANJE SASTAVA IZDUVNIH GASOVA MOTORNIH VOZILA

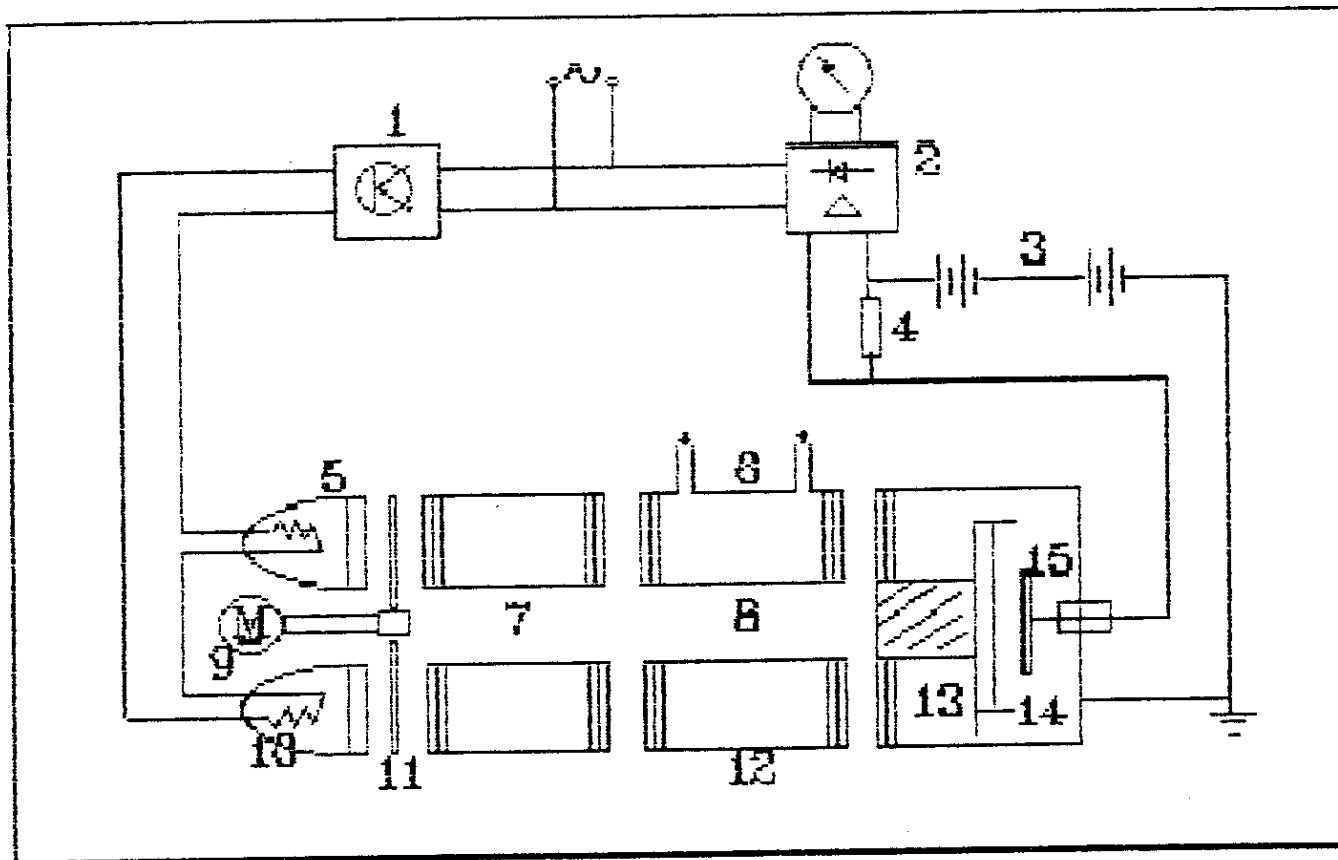
- Odredjivanje koncentracije CO
 - Termokonduktivni analizator
 - Nedisperzivni IC analizator (4.6 mikrona)
- Odredjivanje koncentracije CO₂
 - Infracrveni analizator (4,2 mikrona)
- Koncentracija ugljovodonika CH
 - Plameno-jonizaciona metoda
- Azotni oksidi No_x
 - Ultravioletni fotometrijski analizator
 - Hemiluminiscentna metoda (NO+O₃ - O₂+NO₂+10%NO₂*)
- Koncentracija nesagorelog kiseonika O₂
 - Termomagnetni analizator

Termokonduktivni analizator



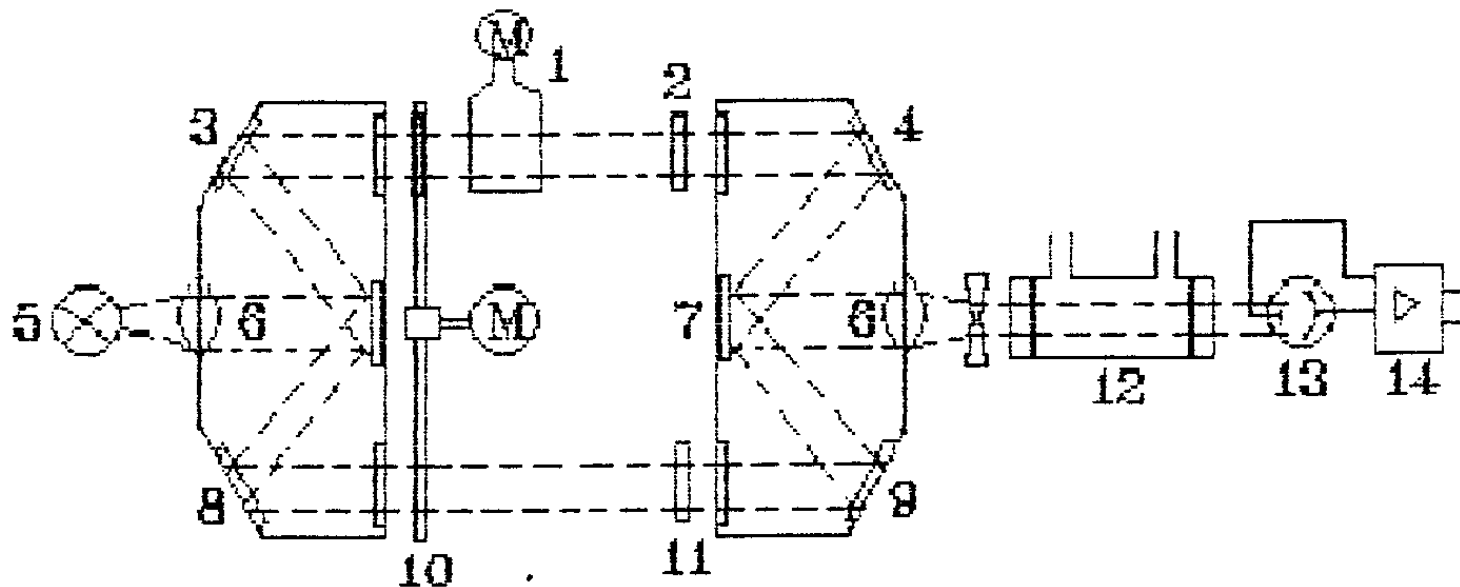
Šema termokonduktivnog analizatora.

Infracrveni analizator



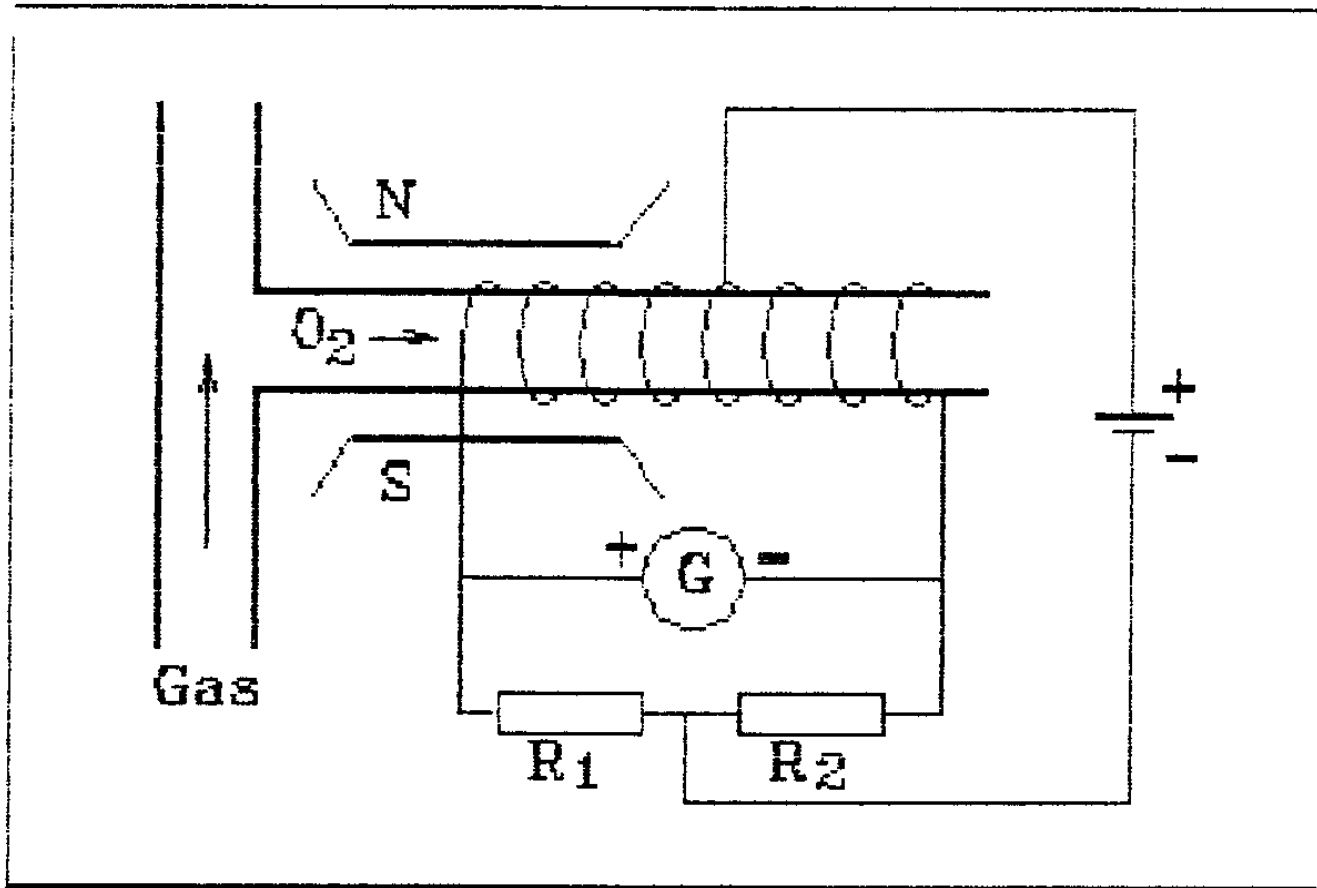
Šema infracrvenog analizatora CO: 1-stabilizator napona; 2-pojačavač; 3-izvor jednosmernog napona; 4-otpornik; 5-izvor mernog zraka; 6-apsorpciona komora; 7-filtrirajuće komore; 8-merne komore; 9-elektromotor; 10-izvor referentnog zraka; 11-rotirajuća blenda; 12-uporedna komora; 13-prijemnik; 14-membrana;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

Ultraljubičasti analizator

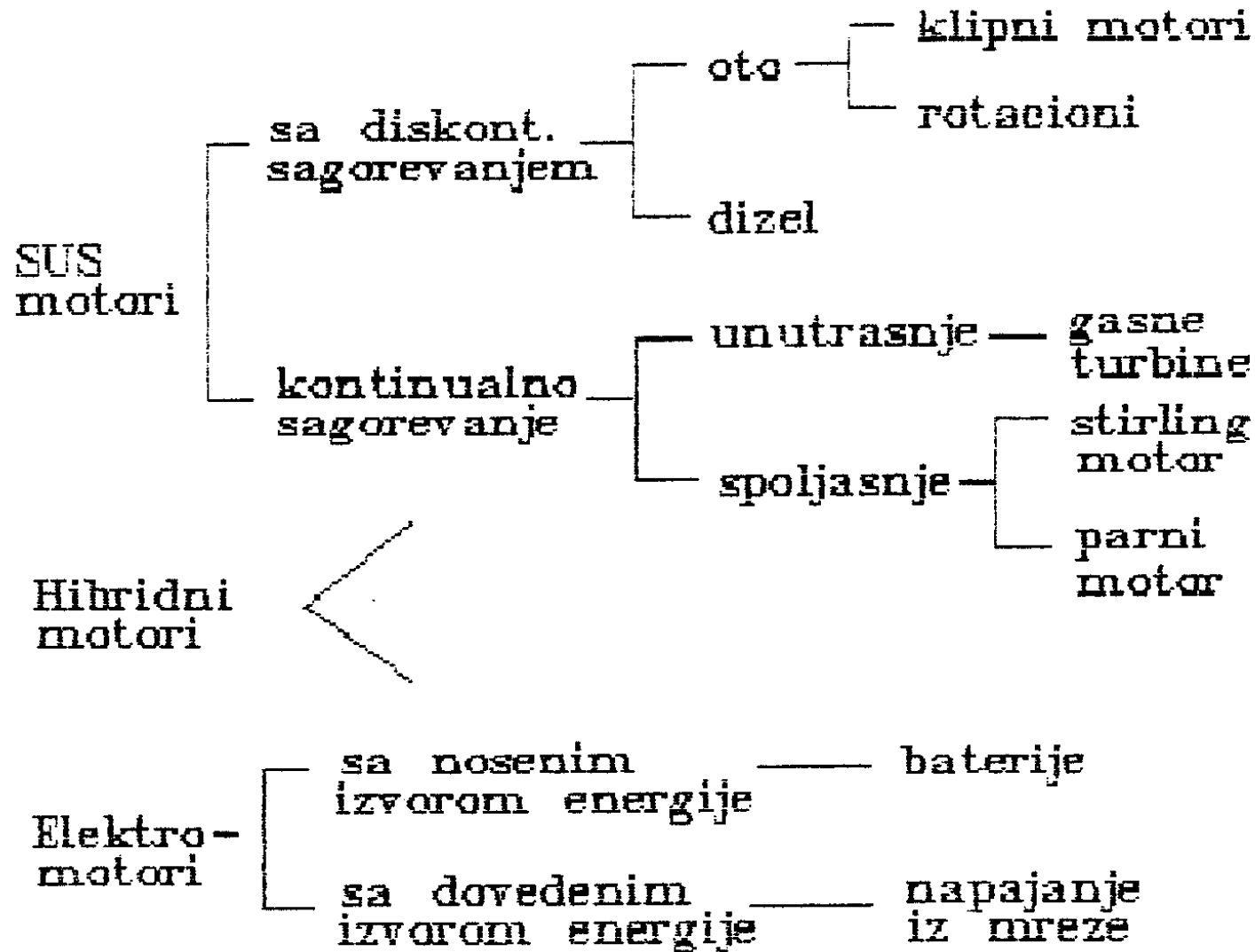


Šema fotometrijskog analizatora za NO₂: 1-baždarni element; 2-merni filter; 3- 4- 8- 9- ravno ogledalo; 5-svetlosni izvor; 6-sočivo; 7-ožljebljeno ogledalo; 10-rotirajuća blenda; 11-referentni filter; 12-merna komora; 13-foto-ćelija; 14-pojačavač signala.

Termomagnetni detektor O₂



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