

V. Vadić*

MJERENJE CRNOG DIMA U ZAGREBU

UDK 504.3.054(497.5 Zagreb)
PRIMLJENO: 7.3.2006.
PRIHVACENO: 8.5.2006.

SAŽETAK: Crni dim je uz sumporov dioksid, kao produkt izgaranja goriva, prisutan u zraku svakog naselja, pa se ubraja u opća onečišćenja zraka naseljenih mjesta. Uobičajeno se crnim dimom nazivaju fine krute i/ili tekuće čestice, reda veličine od nekoliko mikrona, nastale nepotpunim izgaranjem, a koje se sakupljaju iz malih volumena zraka. Količina uzorka je tako mala da se ne može odrediti gravimetrijski nego optički i zato je neobično važno da se ne poistovjećuje masena koncentracija dima s masenom koncentracijom lebdećih čestica. U radu su prikazani značajnost i nedostaci mjerenja dima na nekom području. Također je prikazan povijesni pregled mjerenja crnog dima u Zagrebu, trendovi izmjerenih koncentracija tijekom godina mjerenja, te kategorizacija dijelova grada u kojima se mjerenja provode prema stupnju onečišćenosti zraka na osnovi Zakona o zaštiti zraka i Uredbe o preporučenim i граниčnim vrijednostima kakvoće zraka.

Ključne riječi: kakvoća zraka, kategorizacija područja, crne čestice, opća onečišćenja

UVOD

Crni dim su crne, vrlo sitne čestice, najčešće od 1 do 2 μm , ali i manje, koje se dugo, odnosno više sati zadržavaju u zraku. On je štetan za zdravlje ljudi, jer čestice koje čine sastav crnog dima, a to su smolaste tvari, fini pepeo, metalni oksidi i drugo, mogu biti karcinogene. Visoke koncentracije crnog dima ukazuju na nepotpuno, neekonomično izgaranje fosilnih goriva, te su i s ekonomskog gledišta vrlo nepovoljne. Crni dim se ubraja u opća onečišćenja zraka naseljenih mjesta (*Measurement of Air Pollution, 1957., Methods of Measuring Air Pollution, 1964., Šega, 2004.*).

Uobičajeno je da se dimom nazivaju fine, krute i/ili tekuće čestice reda veličine od nekoliko mikrona, nastale nepotpunim izgaranjem koje se sakupljaju iz malih volumena zraka. Količina

uzorka je tako mala da se ne može odrediti gravimetrijski nego optički, te je zato neobično važno da se ne poistovjećuje masena koncentracija dima s masenom koncentracijom ukupnih lebdećih čestica.

Metode koje su u literaturi poznate za određivanje koncentracije dima svode se na fotometrijsko mjerenje transmitirane ili reflektirane svjetlosti mrlje pojedinih uzoraka dima. Da bi se koncentraciju dima moglo izraziti kao masenu koncentraciju, mora se napraviti baždarenje kako bi se dobio odnos između koncentracije izražene u masenim i fotometrijskim jedinicama. U literaturi je navedeno nekoliko načina za dobivanje ovakvih baždarnih krivulja. Međutim, kod svih tih modifikacija postoji načelo da se na istom mjestu, i u isto vrijeme, uzimaju paralelni uzorci za gravimetrijsko i fotometrijsko mjerenje.

Da bi se mogli uspoređivati rezultati masene koncentracije dima u različitim zemljama u svijetu, radna skupina za metode mjerenja onečišćenja atmosfere i mjerne tehnike, Organizacije

*Dr. sc. Vladimira Vadić, Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada (IMI), Ksaverska cesta 2, 10000 Zagreb.

za ekonomsku suradnju i razvoj (OECD), preporučila je metodu mjerenja refleksije uzoraka dima na filter papiru pomoću EEL reflektometra i preračunavanje u masenu koncentraciju, služeći se internacionalnom baždarnom krivuljom dobivenom na osnovi baždarnih krivulja eksperimentalno određenih u Velikoj Britaniji, Francuskoj i Nizozemskoj. Rezultati dobiveni na taj način ne predstavljaju stvarnu koncentraciju dima u atmosferi iz koje je sakupljen uzorak, već koncentraciju standardnog oblaka dima koji bi na filter papiru proizveo isto zacrnenje kao i mjereni uzorak. Prema tome, rezultati koji se dobivaju pomoću internacionalne baždarne krivulje, iako su izraženi u masenim jedinicama, predstavljaju samo jedan relativni indeks (*Smjernica SDČVJ 202, 1987.*).

UZORAK I METODA

Načelo metode je fotometrijsko mjerenje redukcije reflektirane svjetlosti od filter papira zbog istaloženog uzorka dima i preračunavanje rezultata u masenu koncentraciju služeći se internacionalnom baždarnom krivuljom.

Uzorci dima sakupljeni su na Whatman No. 1 filter papiru standardnim britanskim postupkom (*BS 1747, 1969.*) koji je prihvaćen i kao internacionalni standard (*ISO-4219, 1979.*). Internacionalna baždarna krivulja OECD za internacionalni standardni dim odnosi se na veličinu mrlje sakupljenog dima promjera 25 mm, te su uzorci sakupljeni pomoću držača s tom veličinom mrlje.

Aparatura za sakupljanje uzoraka dima sastoji se od ulaza zraka, plastičnih cijevi za povezivanje držača i filter papira za sakupljanje dima, te plinskog sata i sisaljke. Plinski sat može biti na kraju sustava ako se provjeravanjem utvrdi da je pumpa nepropusna. Nepropusnost sastavljene

aparature treba provjeriti kontrolirajući volumen zraka na početku i na kraju sustava. Ako se između držača filtera i plinskog sata stavi ispiralica s prikladnom apsorpcijskom tekućinom, uređaj se može upotrebljavati za istovremeno sakupljanje SO₂ ili drugih plinovitih onečišćenja zraka.

Analiza sakupljenih uzoraka dima provodi se pomoću EEL reflektometra koji se postavi prema uputi proizvođača i podesi na očitavanje 100 pomoću čistog filter papira. Ukloni se čisti papir i stavi papir s uzorkom, te zabilježi očitavanje koje se obavlja na tri različita mjesta na mrlji, pa se odredi srednja vrijednost. Da bi se dobili točni rezultati, očitavanje na reflektometru treba biti između 50 i 80 što odgovara indeksu zacrnenja 50 do 20, pa je poželjno da se dobije očitavanje unutar ovog raspona. Ako je zacrnenje veće, potrebno je primijeniti držače filtera promjera od 50 do 100 mm.

Preračunavanje izmjerenih vrijednosti refleksije mrlje promjera 25 mm u masene vrijednosti obavlja se pomoću internacionalne baždarne krivulje OECD za Whatman No. 1 filter papir (slika 1). Na apscisi je indeks zacrnenja $D = 100 - \text{refleksija, \%}$, a na ordinati površinska koncentracija dima $S \mu\text{g cm}^{-2}$ internacionalnog standardnog dima. Izmjerena vrijednost refleksije odbije se od 100, očita se odgovarajuća površinska koncentracija dima S u $\mu\text{g cm}^{-2}$, te se množenjem s površinom mrlje uzorka i dijeljenjem s prosisanim volumenom zraka izračuna masena koncentracija dima u $\mu\text{g m}^{-3}$ prema formuli:

$$C = \frac{SA}{V} \mu\text{gm}^{-3}$$

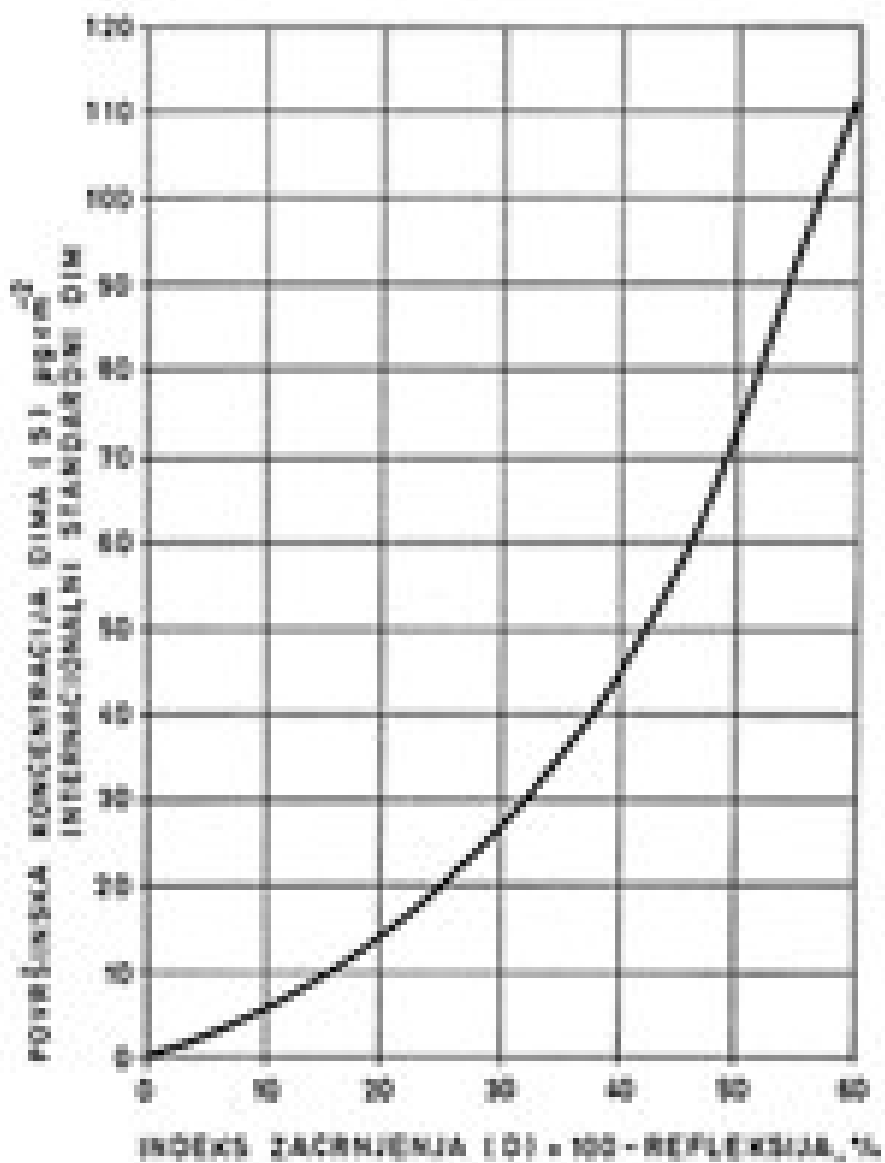
gdje je:

C = masena koncentracija dima u $\mu\text{g m}^{-3}$

S = površinska koncentracija dima u $\mu\text{g cm}^{-2}$

A = površina mrlje u cm^2

V = prosisani volumen zraka u m^3



Slika 1. O.E.C.D. internacionalna standardna krivulja
(EEL reflektometar, Whatman br. 1 filter papir, promjer mrlje 22,5 mm)

Figure 1. O.E.C.D. international standard curve
(EEL reflectometer, Whatman no. 1, filter paper, spot diameter 22.5 mm)

Zastupnički dom Sabora Republike Hrvatske prihvatio je u lipnju 1995. godine Zakon o zaštiti zraka, a Uredbu o preporučenim i graničnim vrijednostima kakvoće zraka u studenom 1996. godine i ti propisi su se primjenjivali za ocjenu kakvoće zraka u Republici Hrvatskoj do kraja 2005. godine i svi rezultati u ovome radu interpretirani su prema tim propisima. Preporučene vrijednosti kakvoće zraka (PV) i granične vrijednosti kakvoće zraka (GV) propisane Uredbom o preporučenim i graničnim vrijednostima kakvoće zraka složene su veličine čije su sastavnice:

1. Koncentracija onečišćujuće tvari u zraku
2. Statistički parametar:
 - aritmetička sredina
 - medijan ili 50. percentil
 - 98. percentil (vrijednost ispod koje se nalazi 98% izmjerenih vrijednosti)
 - maksimalna vrijednost
3. Vrijeme usrednjavanja
4. Razdoblje praćenja.

Na temelju usporedbe rezultata mjerenja tijekom najmanje godinu dana s PV i GV prema čl. 21. Zakona o zaštiti zraka, područja se po stupnju onečišćenosti zraka mogu svrstati u tri kategorije:

- I. kategorija** - čisti ili neznatno onečišćeni zrak: (nisu prekoračene PV)
- II. kategorija** - umjereno onečišćeni zrak: (prekoračene su PV, ali nisu prekoračene GV)
- III. kategorija** - prekomjerno onečišćeni zrak: (prekoračene su GV).

Novi Zakon o zaštiti zraka donesen je 2004. godine, a Uredba o graničnim vrijednostima onečišćujućih tvari u zraku 2005. godine, te će se od 1. siječnja 2006. godine kategorizacija kakvoće zraka provoditi prema tim propisima. U njima se uvode novi pojmovi granična vrijednost (GV) i tolerantna vrijednost (TV):

- *granična vrijednost (GV)* - granična razina onečišćenosti ispod koje, na temelju znanstvenih spoznaja, ne postoji, ili je najmanji mogući, rizik štetnih učinaka na ljudsko zdravlje i/ili okoliš u cjelini i jednom kada je postignuta ne smije se prekoračiti
- *tolerantna vrijednost (TV)* - granična vrijednost uvećana za granicu tolerancije.

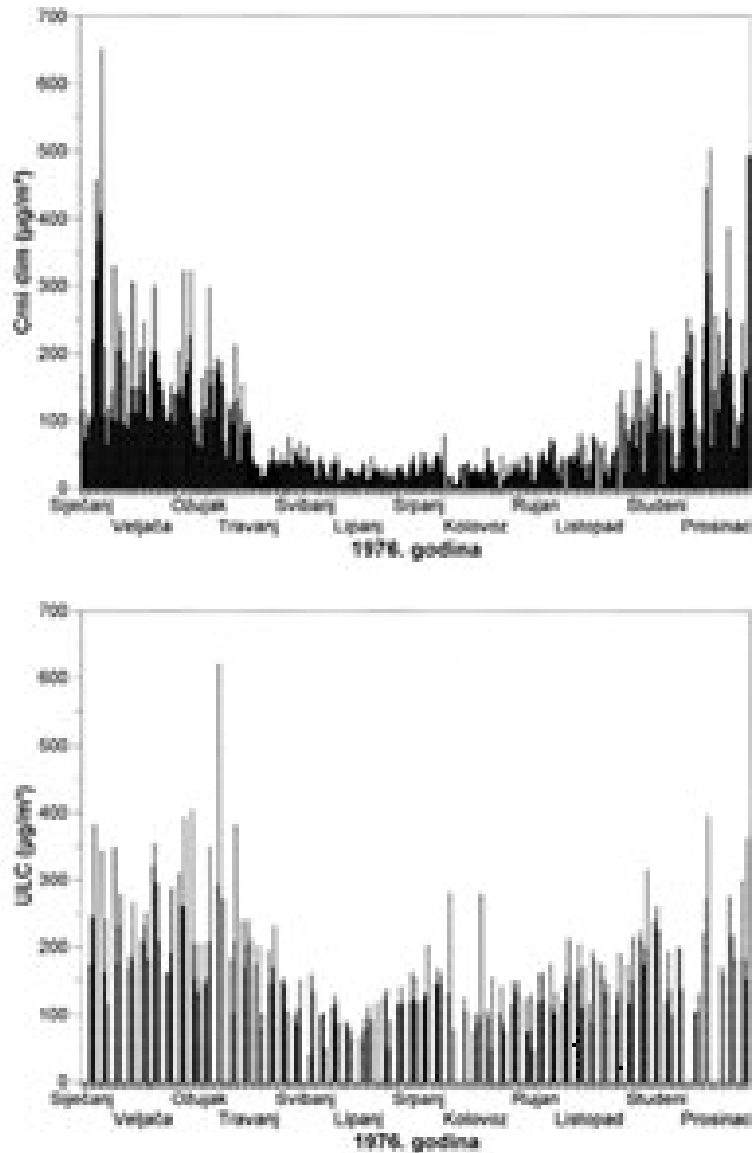
Prema razinama onečišćenosti s obzirom na propisane GV i TV utvrđuju se prema novom Zakonu i Uredbi također tri kategorije kakvoće zraka:

- I. kategorija** - čisti ili neznatno onečišćeni zrak: nisu prekoračene granične vrijednosti kakvoće zraka - GV niti za jednu onečišćujuću tvar
- II. kategorija** - umjereno onečišćen zrak: prekoračene su granične vrijednosti kakvoće zraka (GV) za jednu ili više onečišćujućih tvari, a nisu prekoračene tolerantne vrijednosti (TV) niti za jednu onečišćujuću tvar
- III. kategorija** - prekomjerno onečišćen zrak: prekoračene su tolerantne vrijednosti kakvoće zraka (TV) za jednu ili više onečišćujućih tvari.

Na slici 2 prikazan je položaj mjernih postaja za praćenje crnog dima i ukupnih lebdećih čestica u Zagrebu. Na slici 3 prikazani su gradovi i naselja u kojima se u okviru županijskih mjernih mreža prate koncentracije crnog dima i ukupnih lebdećih čestica.

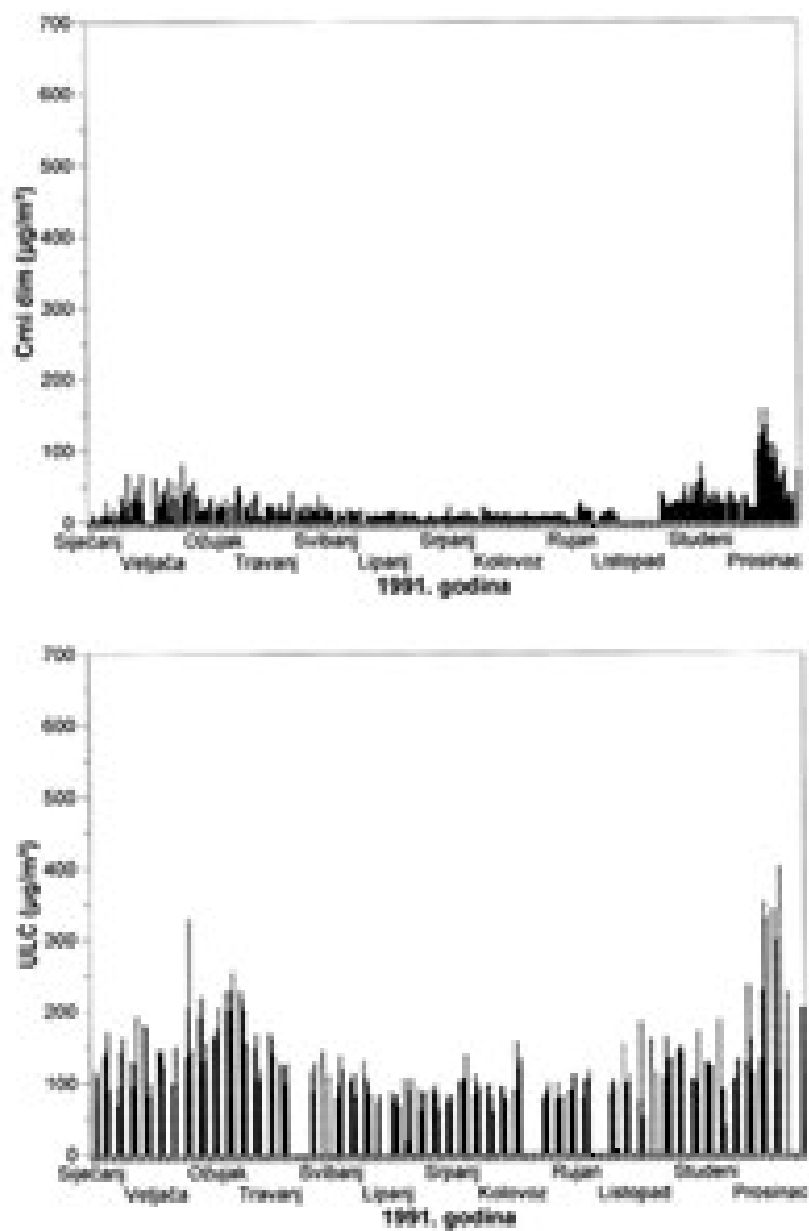
REZULTATI I RASPRAVA

Na slikama 4, 5 i 6 prikazane su srednje dnevne koncentracije crnog dima i ukupnih lebdećih čestica u centru grada izmjerene 1976., 1991. i 2004. godine u Zagrebu.



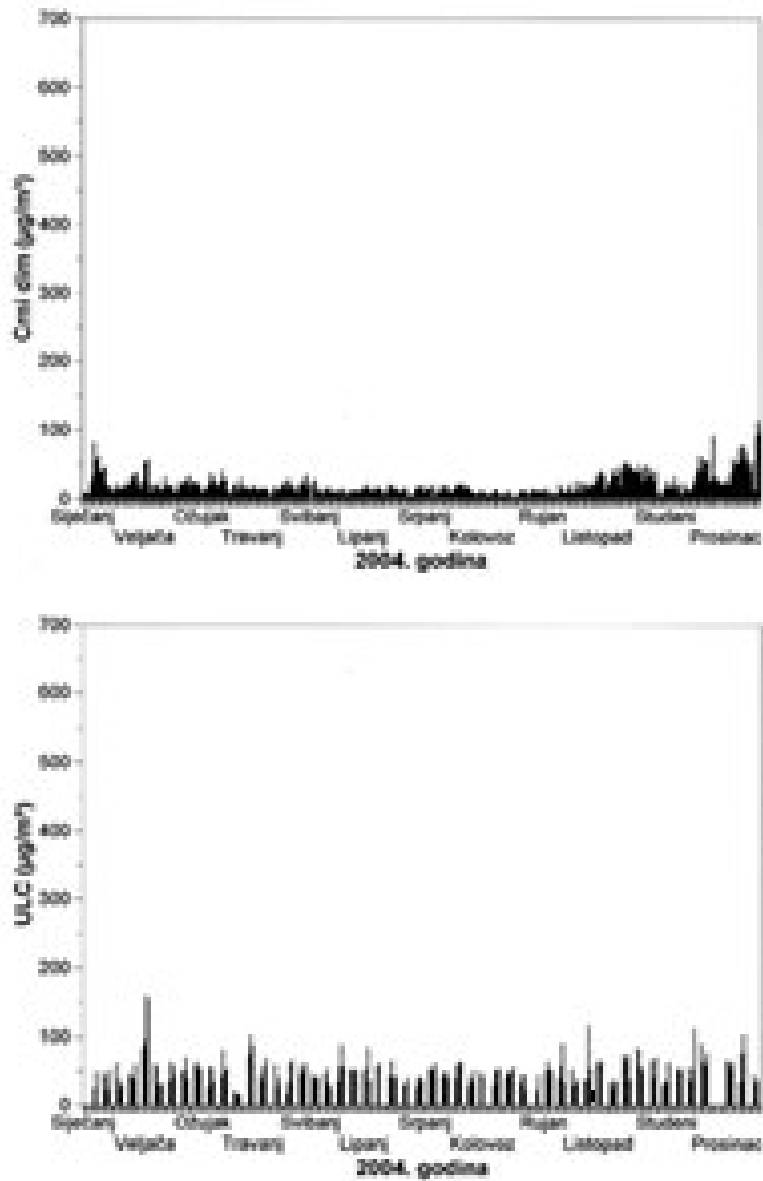
Slika 4. Srednje dnevne koncentracije crnog dima i ukupnih lebdećih čestica izmjerene 1976. godine u centru Zagreba

Figure 4. Mean daily concentrations of smog and suspended particles measured in Zagreb in 1976



Slika 5. Srednje dnevne koncentracije crnog dima i ukupnih lebdećih čestica izmjerene 1991. godine u centru Zagreba

Figure 5. Mean daily concentrations of smog and suspended particles measured in Zagreb in 1991

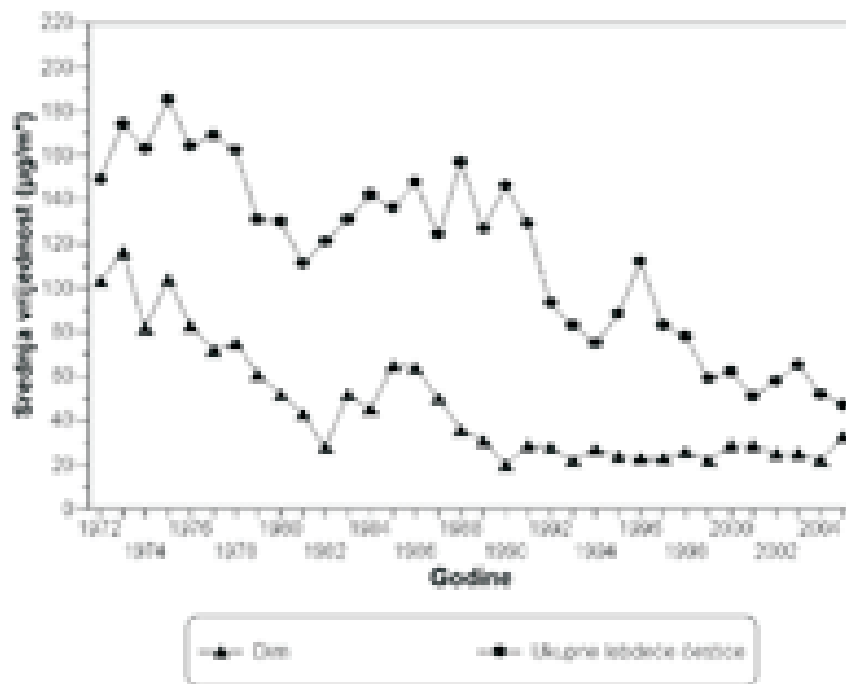


Slika 6. Srednje dnevne koncentracije crnog dima i ukupnih lebdećih čestica izmjerene 2004. godine u centru Zagreba

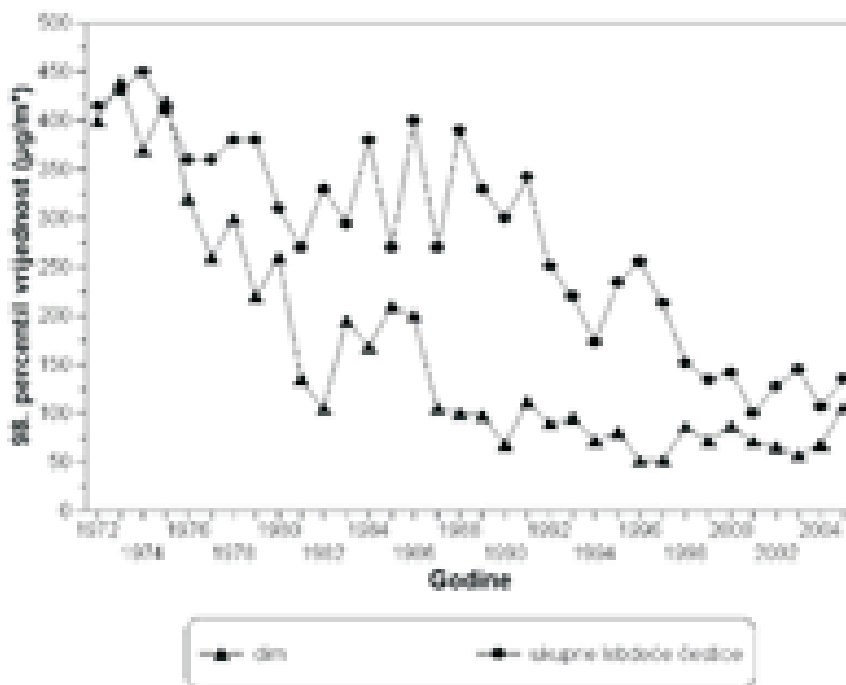
Figure 6. Mean daily concentrations of smog and suspended particles measured in Zagreb in 2004

Dobiveni rezultati pokazuju da su 1976. godine koncentracije oba mjerena onečišćenja bile relativno visoke. Kod crnog dima je jako izražen sezonski ritam s visokim vrijednostima u zimskim, a s niskim vrijednostima u ljetnim mjesecima, dok kod ukupnih lebdećih čestica sezonski ritam nije tako jako izražen.

Promjenom sustava zagrijavanja u Zagrebu, uvođenjem daljinskog grijanja, plinifikacijom centra grada, te kontrolom kvalitete goriva dolazi do sniženja koncentracija i crnog dima i ukupnih lebdećih čestica (slike 5 i 6), a sezonski ritam s visokim vrijednostima dima u zimskim mjesecima se znatno smanjuje.



Slika 7. Srednje godišnje vrijednosti crnog dima i ukupnih lebdećih čestica u centru Zagreba
 Figure 7. Mean annual values of smog and suspended particles in Zagreb centre



Slika 8. Trend 98.percentil vrijednosti crnog dima i ukupnih lebdećih čestica u centru Zagreba
 Figure 8. Trend 98.percentile value of smog and suspended particles in Zagreb centre

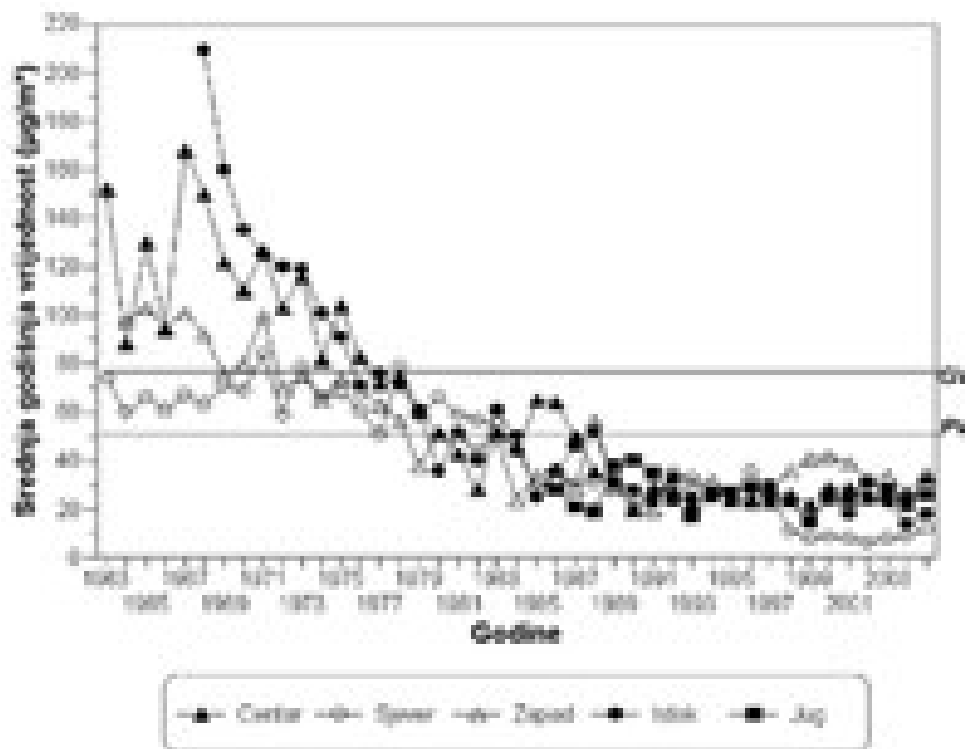
Na slici 7 prikazane su srednje godišnje vrijednosti, a na slici 8 trend 98. percentil vrijednosti crnog dima i ukupnih lebdećih čestica izmjerene u centru Zagreba. Mjerenja ukupnih lebdećih čestica započela su 1972. godine, pa su rezultati prikazani od te godine do danas.

Srednje godišnje koncentracije dima tijekom cijelog promatranog razdoblja mjerenja bile su niže od srednjih godišnjih koncentracija ukupnih lebdećih čestica.

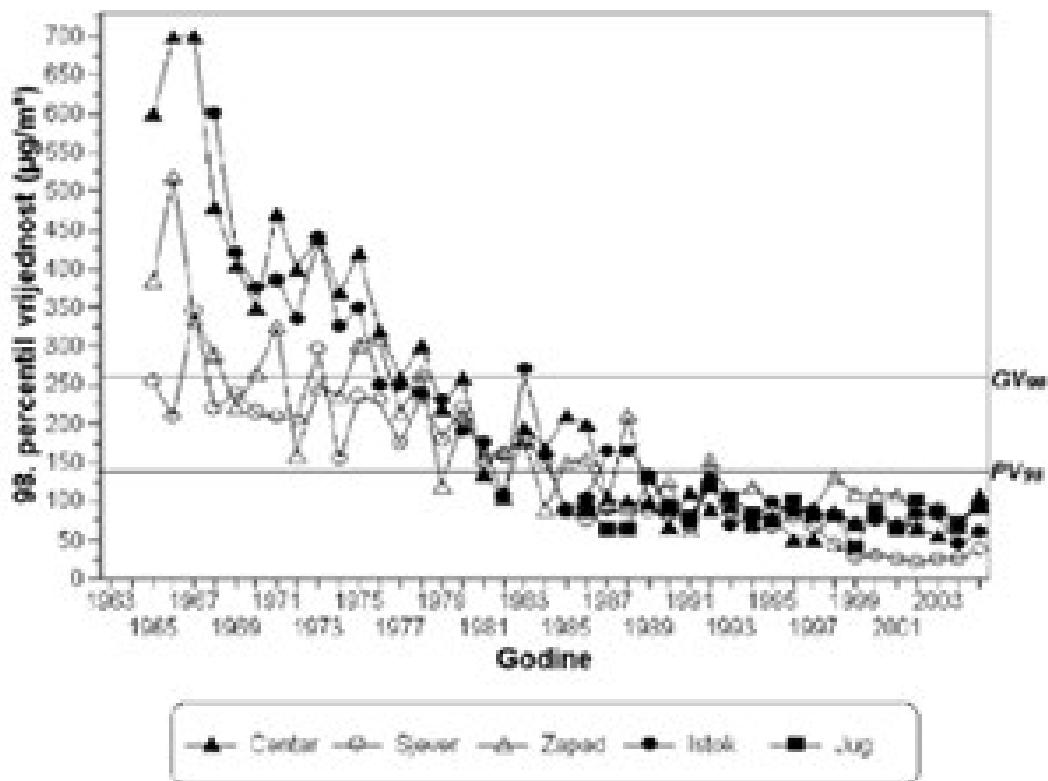
Na početku promatranog razdoblja mjerenja 1973. i 1975. godine, kada su povremeno u

zimskim mjesecima dnevne koncentracije dima bile više od koncentracija ukupnih lebdećih čestica, 98. percentil vrijednosti dima bile su više od 98. percentil vrijednosti ukupnih lebdećih čestica. Prestankom mjerenja visokih dnevnih koncentracija dima u zimskim mjesecima, od 1976. godine, i 98. percentil vrijednosti dima niže su od 98. percentil vrijednosti ukupnih lebdećih čestica.

Na slici 9 prikazan je trend srednjih godišnjih koncentracija, a na slici 10 trend 98. percentil vrijednosti dima na pet mjernih postaja u Zagrebu.



Slika 9. Trend srednjih godišnjih koncentracija dima na pet mjernih postaja u Zagrebu
Figure 9. Trend in mean annual smog concentrations at five measuring stations in Zagreb



Slika 10. Trend 98.percentil vrijednosti dima na pet mjernih postaja u Zagrebu
 Figure 10. Trend 98.percentile value of smog at five measuring stations in Zagreb

Na slici 9 vidi se padajući trend srednjih godišnjih koncentracija crnog dima tijekom godina mjerenja. Također je vidljiv (slika 10) i pad visokih srednjih dnevnih vrijednosti koje su se mjerile početkom šezdesetih, te u više od 2% izmjerenih rezultata prelazile $700 \mu\text{g m}^{-3}$.

U devedesetima srednje dnevne vrijednosti crnog dima uglavnom ne prelaze $125 \mu\text{g m}^{-3}$ u više od 2% izmjerenih rezultata.

U Tablici 1. prikazana je kategorizacija zagrebačkog područja s obzirom na stupanj onečišćenja zraka crnim dimom. Tijekom šezdesetih i sedamdesetih u centru grada, te u njegovom zapadnom i istočnom dijelu koncentracije crnog dima bile su na razini III. kategorije kakvoće, dok su u sjevernom dijelu grada uglavnom bile na razini II. kategorije kakvoće.

Tablica 1. Kategorizacija zagrebačkog područja s obzirom na stupanj onečišćenja zraka crnim dimom

Table 1. Categorisation for greater Zagreb area with respect to the level of smog air pollution

GODINE	I. KATEGORIJA $C < PV$	II. KATEGORIJA $PV < C < GV$	III. KATEGORIJA $C > GV$
1963.		●	▲
1964.		●	▲▼
1965.		●	▲▼
1966.		●	▲▼
1967.		●	▲▼
1968.		●	▲▼■
1969.		●	▲▼■
1970.		●	▲▼■
1971.			▲●▼■
1972.		●▼	▲■
1973.		●▼	▲■
1974.		●▼	▲■
1975.		●	▲▼■
1976.		●	▲▼■
1977.		●▼■	▲
1978.		●▼■	▲
1979.	▼	▲●■	
1980.		●▼■	▲
1981.		▲●▼■	
1982.	▲■	●▼	
1983.		▲●▼	■
1984.	●▼	▲■	
1985.	●■	▲▼	
1986.	●■○	▲▼	
1987.	▲●▼○	■	
1988.	▲●○	▼■	
1989.	▲●▼	■○	
1990.	▲●■○	▼	
1991.	▲●▼■○		
1992.	▲●○	▼■	
1993.	▲●▼■○		
1994.	▲●▼■○		
1995.	▲●▼■○		
1996.	▲●▼■○		
1997.	▲●▼■○		
1998.	▲●■○	▼	
1999.	▲●▼■○		
2000.	▲●▼■○		
2001.	▲●▼■○		
2002.	▲●▼■○		
2003.	▲●▼■○		
2004.	▲●▼■○		
2005.	▲●▼■○		

▲ - centar ● - sjever ▼ - zapad ■ - istok ○ - jug

Krajem sedamdesetih i početkom osamdesetih došlo je do pada koncentracija crnog dima, pa su u centru grada, te u njegovom zapadnom i istočnom dijelu zabilježene razine koncentracija uglavnom na razini II. kategorije kakvoće. U sjevernom dijelu grada, te u Novom Zagrebu, u južnom dijelu grada gdje su mjerenja započela 1986. godine, razine koncentracija bile su na razini I. kategorije kakvoće.

Od 1993. godine, uz iznimku zapadnog dijela grada, 1998. godine na svim mjernim postajama kakvoća zraka u Zagrebu je I. kategorije s obzirom na crni dim, te se može zaključiti da je grad Zagreb posljednjih godina neznatno onečišćen crnim dimom.

Ako se provede kategorizacija gradskog područja s obzirom na crni dim za 2005. godinu i prema novom Zakonu i Uredbi, kakvoća zraka bila je na svim mjernim postajama također I. kategorije.

ZAKLJUČAK

Uzorci crnog dima sakupljaju se iz malih volumena zraka (oko 2 m³). Analiza uzoraka sastoji se iz fotometrijskog mjerenja redukcije reflektirane svjetlosti od filtera papira zbog istaloženog dima.

Preračunavanje rezultata mjerenja u masenu koncentraciju provodi se služeći se internacionalnom baždarnom krivuljom OECD. Tako dobiveni rezultati ne predstavljaju stvarnu koncentraciju dima u zraku iz kojeg je uzorak sakupljen, već koncentraciju standardnog oblaka dima. Tako se izmjereni rezultati crnog dima mogu međusobno uspoređivati u svim dijelovima svijeta.

Koncentracije crnog dima u Zagrebu početkom mjerenja, šezdesetih i sedamdesetih godina, bile su visoke, na razini II. i III. kategorije kakvoće. Uvođenjem daljinskog grijanja, plinifikacijom grada, te kontrolom kvalitete goriva dolazi do pada razina koncentracija crnog dima, te posljednjih 12 godina u Zagrebu, na svim mjernim postajama, mjere se uglavnom koncentracije crnog dima na razini I. kategorije kakvoće.

LITERATURA

BS 1747, Part 2, Methods for the measurement of air pollution - Determination of concentration of suspended matter, 1969.

ISO-4219 - Air Quality, Determination of gaseous sulphur compounds in ambient air - Sampling equipment, 1979.

Measurement of Air Pollution, H.M. Stationary Office, London, 1957.

Methods of Measuring Air Pollution, OECD, Paris, 1964.

Smjernica SDČVJ 202, Određivanje masene koncentracije dima u zraku reflektometrijskom metodom, Savez društava za čistoću vazduha Jugoslavije, 1987.

Šega, K.: Lebdeće čestice (Aerosoli), *Gospodarstvo i okoliš*, 2004., br. 66, str. 11-16.

Uredba o preporučenim i graničnim vrijednostima kakvoće zraka, N.N., broj 101/96.

Uredba o graničnim vrijednostima onečišćujućih tvari u zraku, N.N., broj 133/2005.

Zakon o zaštiti zraka, N.N., broj 48/95.

Zakon o zaštiti na radu, N.N., broj 178/2004.

SMOG MEASURING IN ZAGREB

SUMMARY: Zakon o zaštiti zraka, N.N., broj 178/2004. Smog, together with sulphur dioxide, is as a product of combustion present in the air of every settlement and can be counted as a generally present pollutant in inhabited zones. Smog is commonly known as a collection of fine solid and/or liquid particles, in sizes varying from several microns produced in the course of incomplete combustion and gathered in small air volumes. The sample size is so small that it can not be determined gravimetrically but optically and that is why it is of extreme importance that mass concentration of smog is not confused with mass concentration of suspended particles. The paper presents the importance and shortcomings of smog measuring in a given area. Also presented is a historical overview of smog measuring in Zagreb, the trends in the measured concentrations over the years and categorisation of the city neighbourhoods with respect to the degree of air pollution done on the basis of the Air Protection Act and Decree on Recommended Air Quality Limit Values.

Key words: *air quality, area categorisation, black particles, general pollutants*

Original scientific paper

Received: 2006-03-07

Accepted: 2006-05-08