

INZRAK

Jačanje inspekcije zaštite okoliša
radi učinkovite kontrole
praćenja kakvoće zraka i
sustava trgovanja emisijskim jedinicama
stakleničkih plinova,
kako bi se postigla bolja kvaliteta zraka
u Republici Hrvatskoj



REPUBLIKA HRVATSKA

MINISTARSTVO ZAŠTITE
OKOLIŠA I ENERGETIKE



 **safu** | SREDIŠNJA AGENCIJA ZA
FINANCIRANJE I UGOVARANJE



Ovaj projekt finančira Europska unija



EKONERG
EKOENERGIJA

Institut za energetiku i zaštitu okoliša



LEBDEĆE ČESTICE

Dr.sc. Krešimir Šega, dipl. ing. fiz. (u mirovini)
Jedinica za higijenu okoline, IMI-Zagreb

Opatija, 07.11.2017.

DVOKOMPONENTNI SUSTAVI

	Kontinuirana faza	Raspršena faza
Hidrosol	tekuća	tekuća i/ili kruta
Pjena	kruta ili tekuća	plin/mješavina plinova
AEROSOL	plin/mješavina plinova	kruta i/ili tekuća

Okolišni zrak promatramo kao **kompleksni aerosol**

**Kontinuirana faza
mješavina plinova**

**Raspršena faza
krute i/ili tekuće čestice**

VRSTE LEBDEĆIH ČESTICA

Pojedinačne čestice: male količine tvari, pravilnog oblika s gustoćom bliskom intrinsičnoj gustoći tvari od koje su sačinjene

Agregati: grupe čestica koje se drže zajedno snažnim atomskim i/ili molekularnim silama. U zraku se ponašaju poput pojedinačnih čestica.

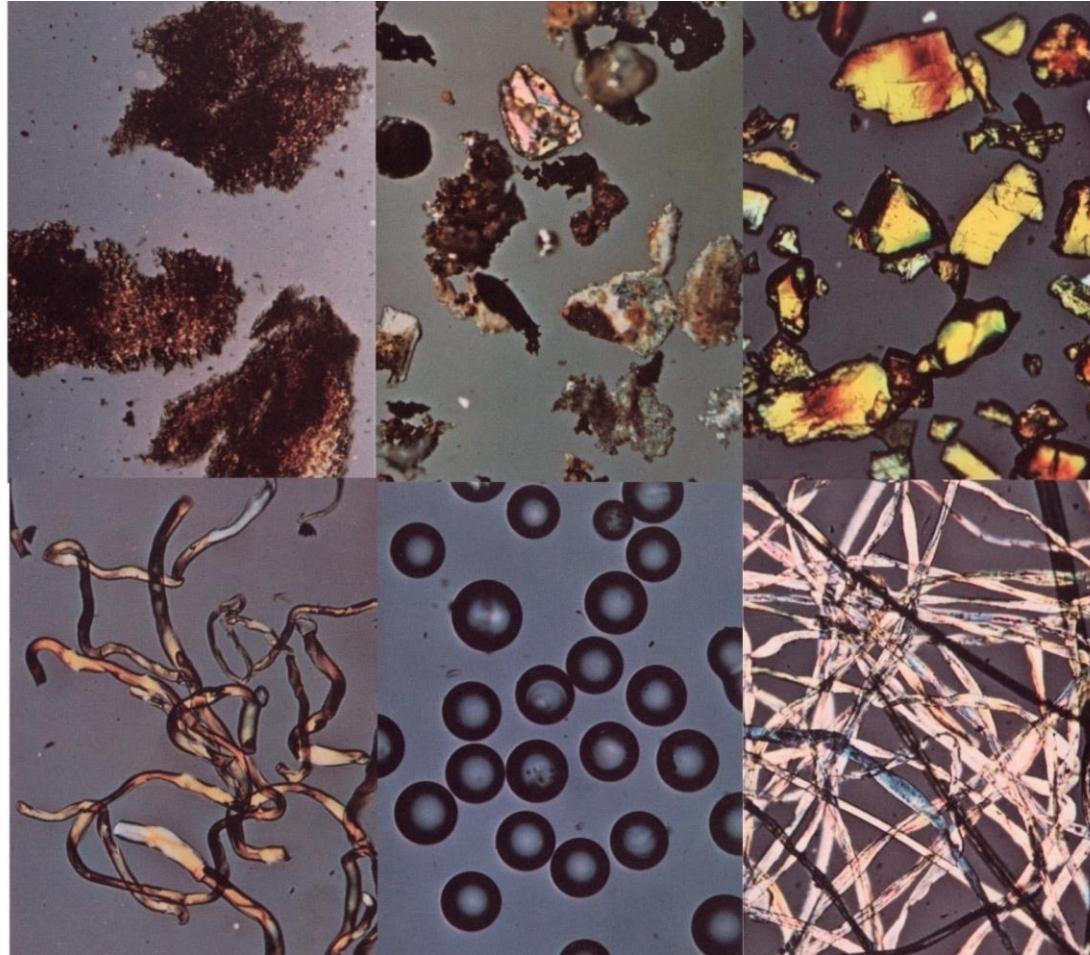
Aglomerati: grupe čestica koje se drže zajedno slabijim silama adhezije ili kohezije.

Flokulati: grupe čestica vezanih međusobno još slabijim silama, koje se lako razbijaju vibracijama, strujanjem zraka itd. U zraku se ponašaju potpuno različito od pojedinačnih čestica.

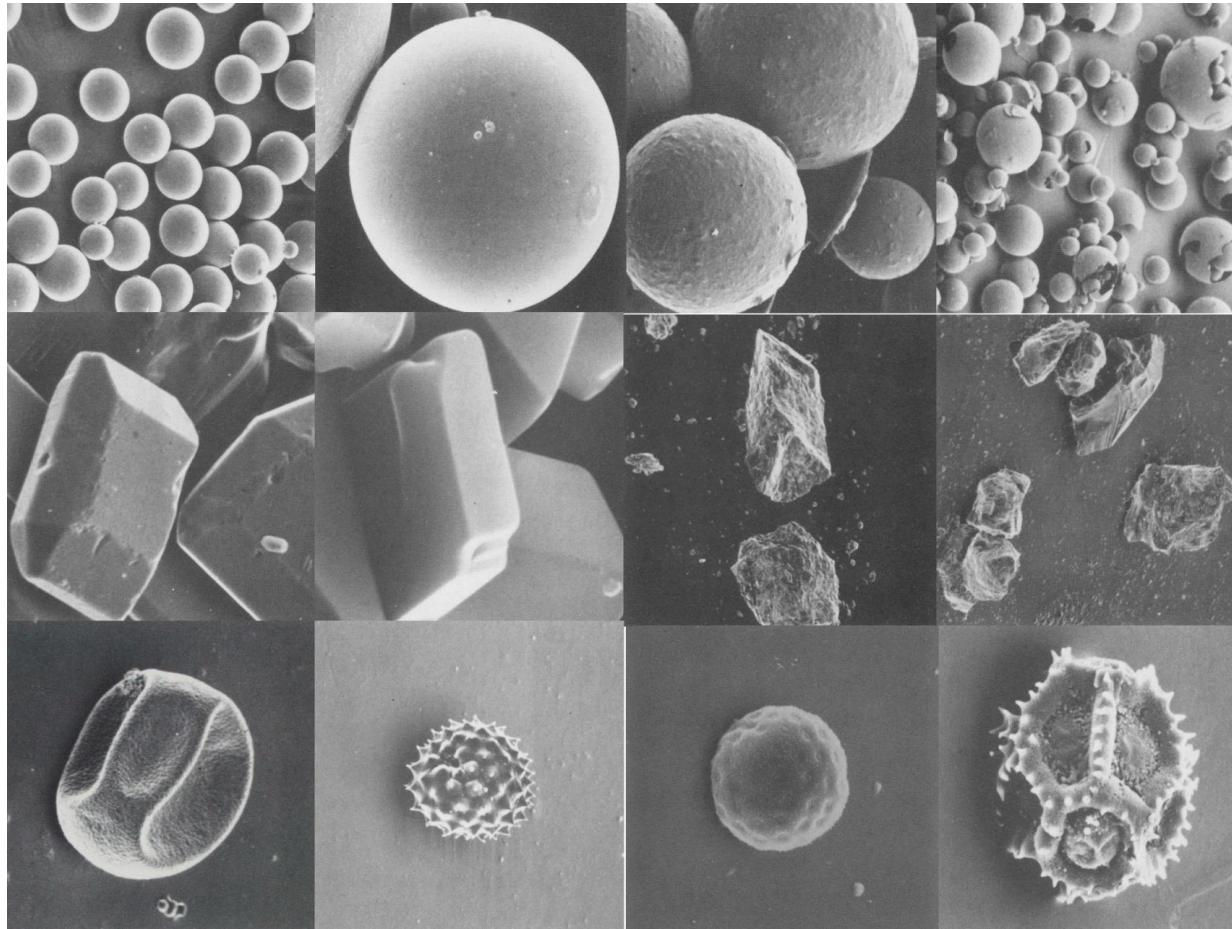
Vlakna: prirodna (biološkog ili mineralnog porijekla) ili umjetno proizvedena vlakna

Uvjet: $L > 5 \mu\text{m}$; $L / D > 3$

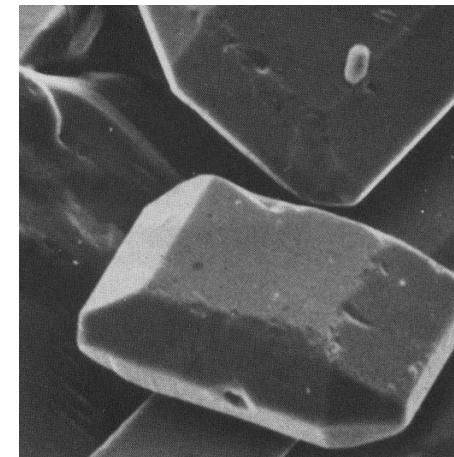
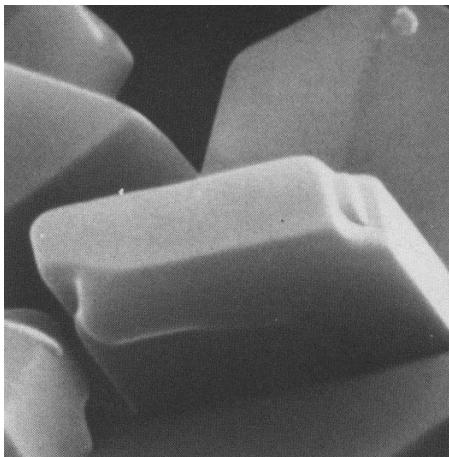
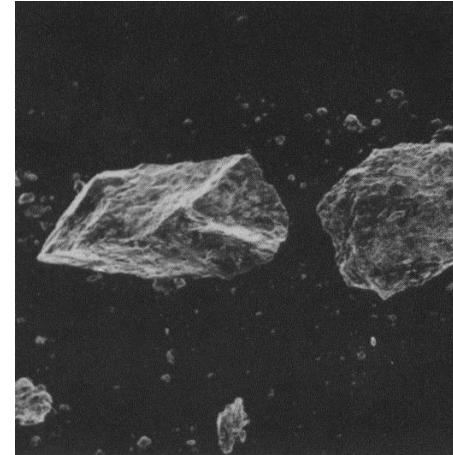
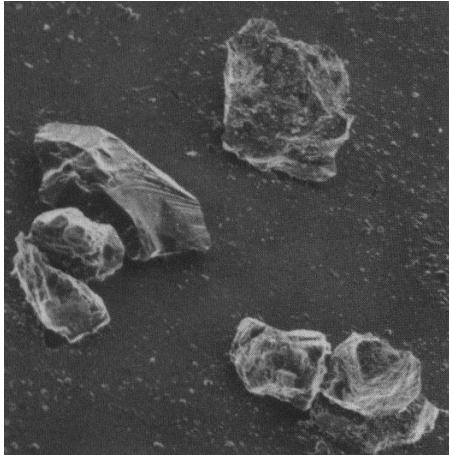
PRIMJERI LEBDEĆIH ČESTICA



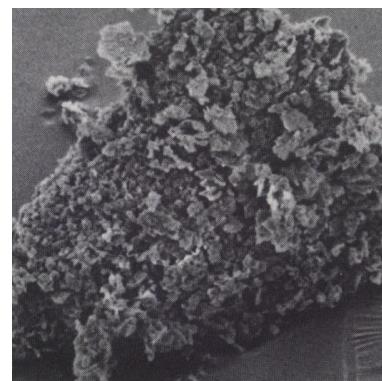
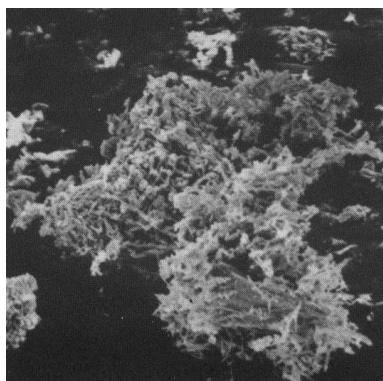
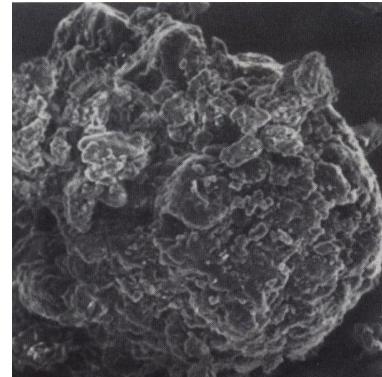
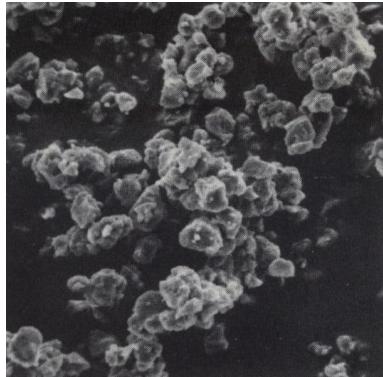
PRIMJERI LEBDEĆIH ČESTICA



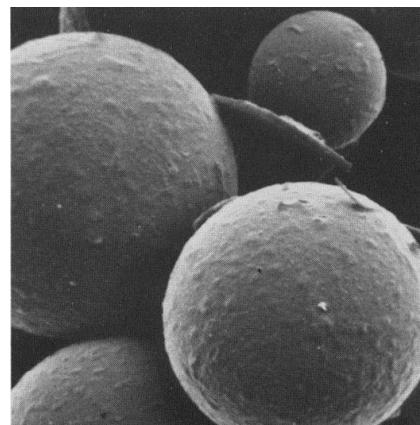
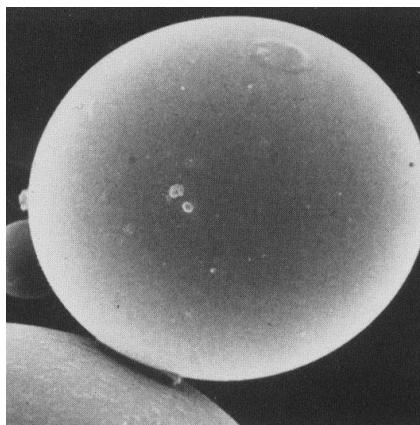
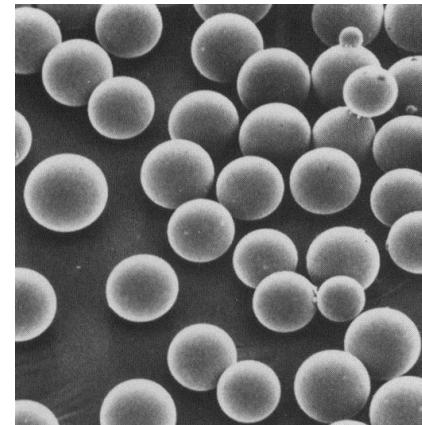
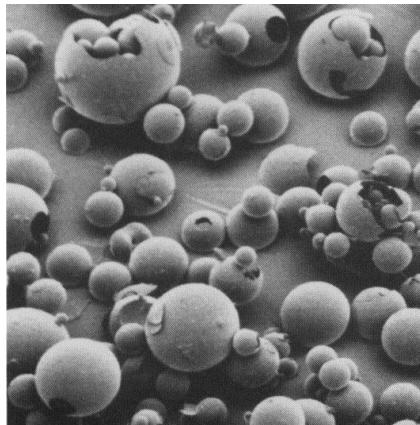
PRIMJERI POJEDINAČNIH LEBDEĆIH ČESTICA



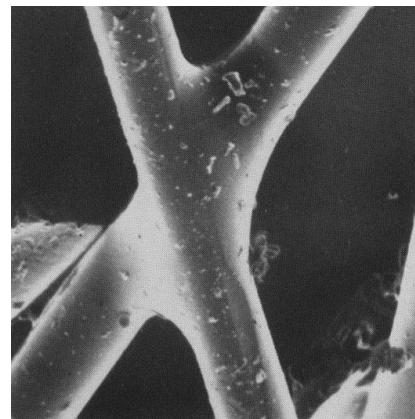
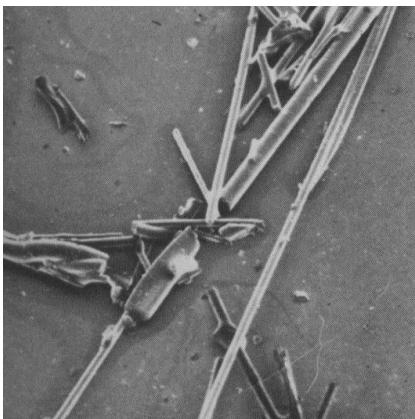
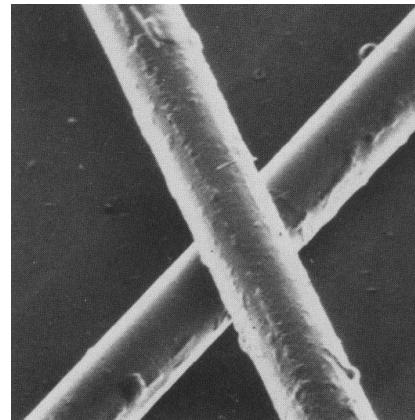
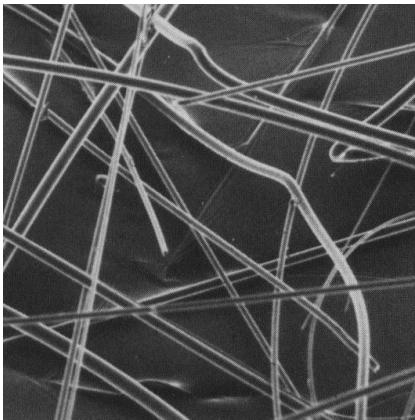
PRIMJERI AGREGATA



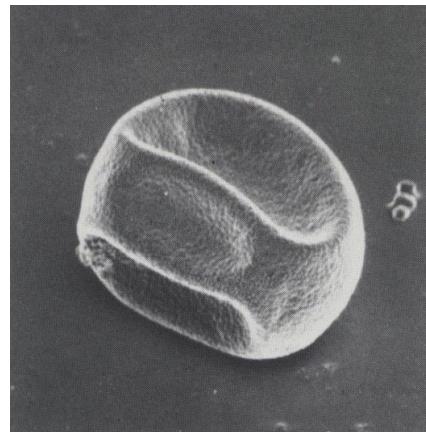
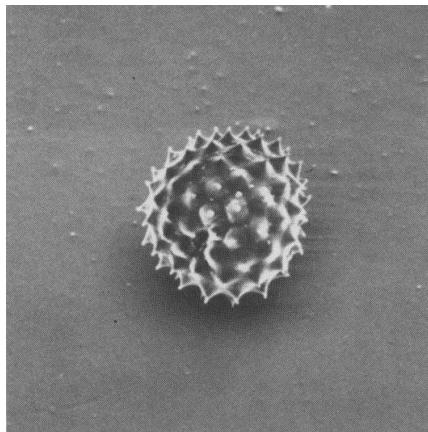
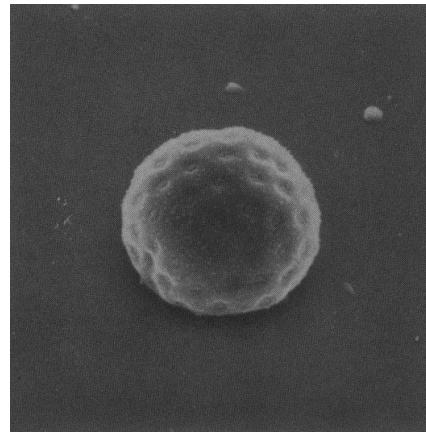
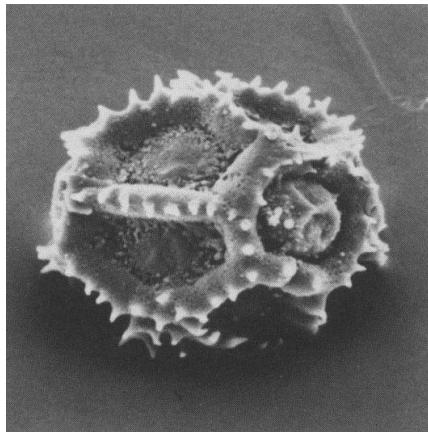
PRIMJERI SFERNIH ČESTICA



PRIMJERI VLAKANA



PRIMJERI PELUDI



ŠTO I KAKO DALJE?

- Različite veličine čestica
- Različiti oblici čestica
- Različiti sastav čestica
- Različite gustoće čestica
- Različite koncentracije čestica
- itd.

Sva ova svojstva određuju
ponašanje čestica u zraku.
Kako ih opisati?

LEBDEĆE ČESTICE

Volumni faktor(ϕ) – volumen čestica u odnosu na volumen plina.

Kako bi se mogla zanemariti interakcija između čestica taj omjer treba biti $\phi < 10^{-3}$ (masena koncentracija $\sim 1\text{g m}^{-3}$).

U okolišnom zraku ovaj je uvjet uvijek zadovoljen!

Veličina čestice – karakteristična *linearna dimenzija* trodimenzionalnog objekta.

LEBDEĆE ČESTICE

Monodisperzni aerosol:
sve čestice su jednakog oblika i veličine.

Dogovor u praksi: $D_p = D_{pavg}$ (1 ± 0.1)

Inače- **polidisperzni** aerosol

Lebdeće čestice u zraku su uvijek polidisperzni aerosol!

PROMJERI ČESTICA U RAVNINI

Definicija veličine i oblika su jednostavne za čestice sfernog oblika.

U stvarnosti čestice su uvijek različitih veličina i oblika!

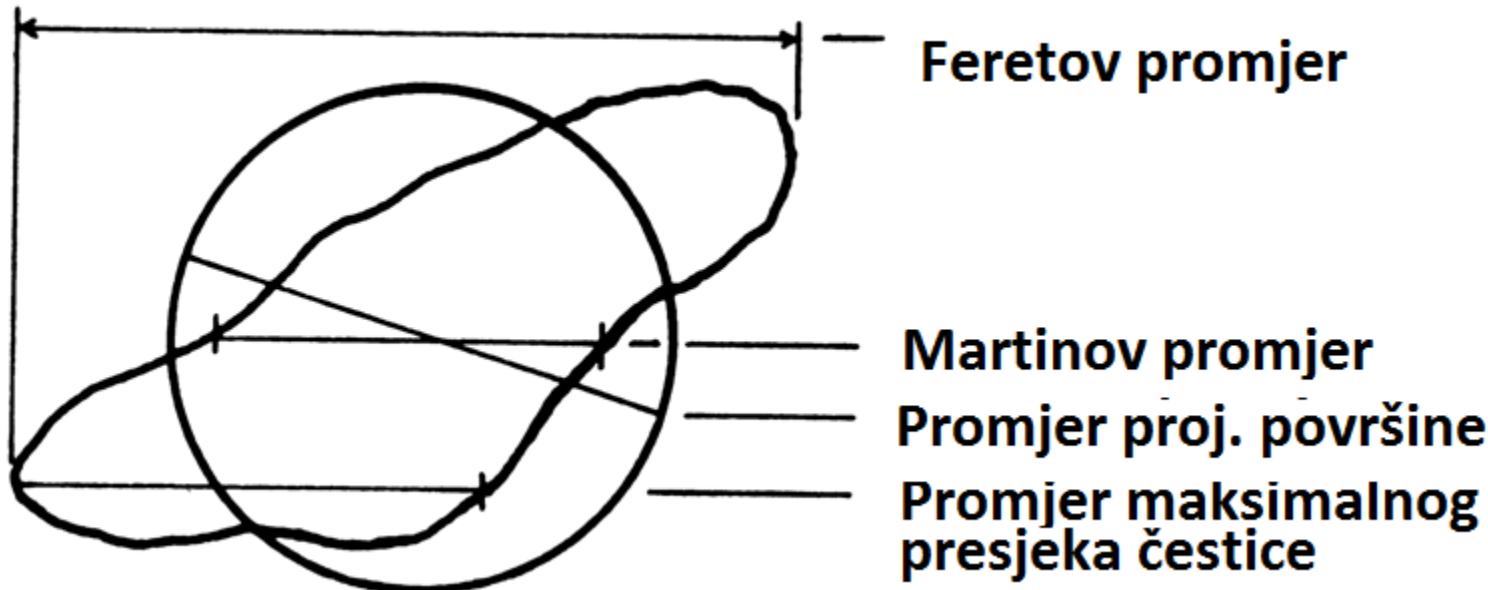
Definicije promjera

Martinov promjer (D_m): dijelimo svaku česticu (uvijek u istom smjeru) na dva dijela jednakе površine.

Ferretov promjer (D_f): mjerimo najdužu dimenziju čestica (uvijek u istom smjeru)

Pri proračunu prosječnih vrijednosti D_m and D_f uvijek moramo uzimati u obzir velik broj čestica kako bismo mogli zanemariti grešku zbog različitih Rotacijskih položaja čestica u ravnini.

PROMJERI ČESTICA U RAVNINI



EKVIVALENTNI PROMJERI

Promjer **ekvivalentne kugle** možemo bazirati na osnovi:

Projicirane površine – promjer kugle jednake projicirane površine poput ispitivane čestice (optički detektori – raspršenje svjetlosti)

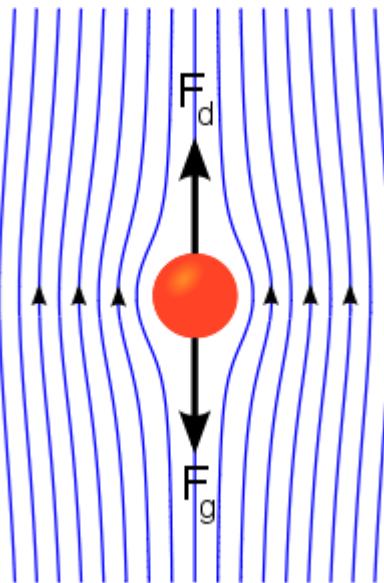
Površine kugle - promjer kugle jednake površine poput ispitivane čestice (ukupna površina aerosola, adsorpcija plinova)

Volumena kugle - promjer kugle jednakog volumena poput ispitivane čestice

Mase kugle - promjer kugle mase jednake masi ispitivane čestice

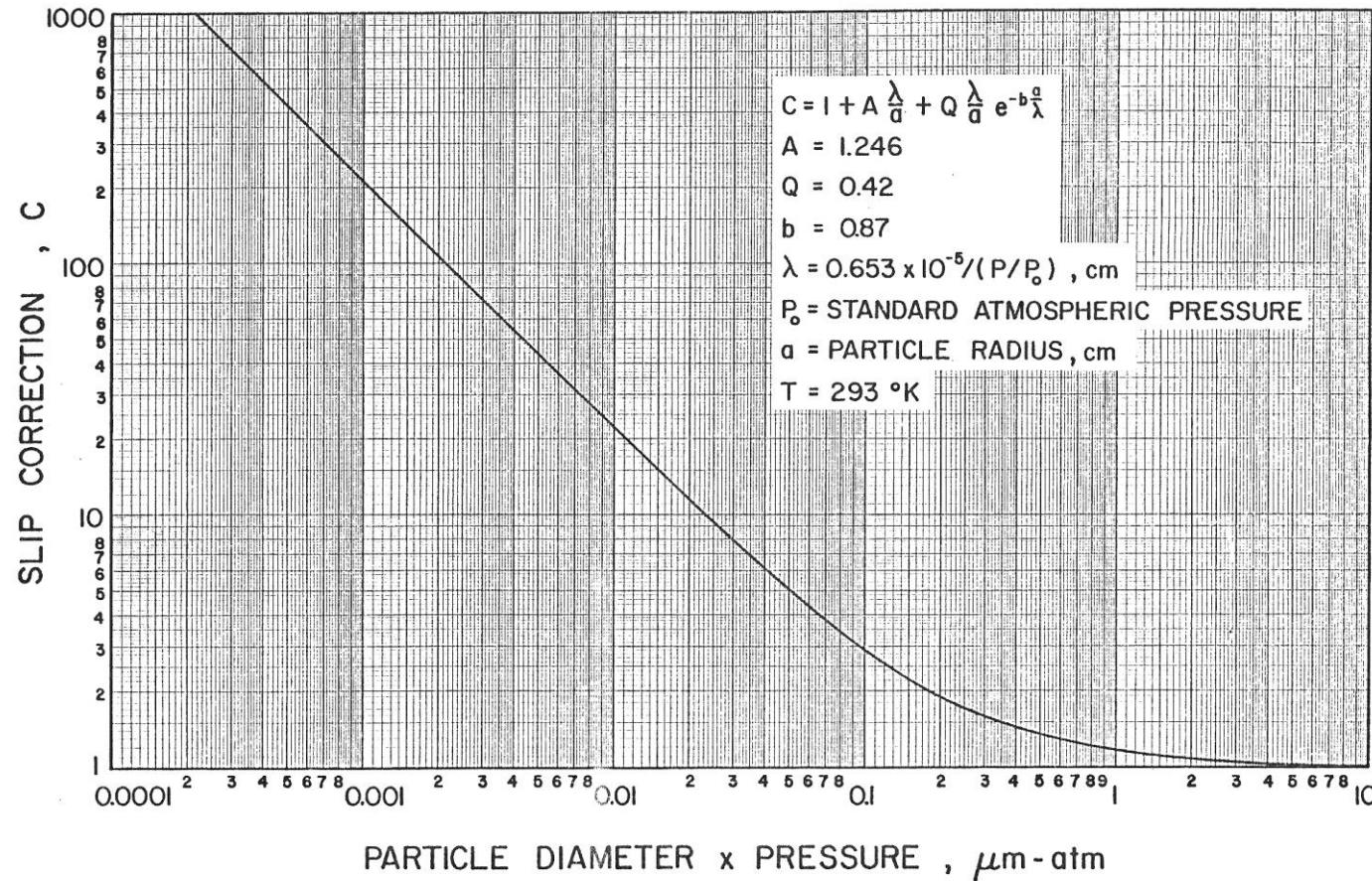
BRZINA TALOŽENJA

Terminalna brzina poniranja čestice u zraku uslijed gravitacije, nazivana još i **brzinom taloženja**, postiže se pri poništavanju sile teže s uzgonom i silom trenja.



$$v_s = \frac{D_p^2 \rho_p C g}{18 \mu}$$

BRZINA TALOŽENJA



EKVIVALENTNI PROMJERI

Promjeri bazirani na brzina taloženja:

Stokesov promjer – promjer kugle koja ima jednaku brzinu taloženja kao i promatrana čestica.

Aerodinamički promjer - promjer kugle *jedinične gustoće* koja ima jednaku brzinu taloženja kao i promatrana čestica.

DODATNE VRSTE PROMJERA ČESTICA

Za posebne svrhe koriste se još i promjeri bazirani na:

- Električkoj pokretljivosti
- Raspršenju svjetlosti
- Koeficijentu difuzije – TERMODINAMIČKI PROMJER
- itd.

Uporaba različitih vrsta promjera daje različite rezultate, stoga je nužno uvijek naznačiti koja je vrsta promjera korištena.

Pri sakupljanju, analizi i interpretaciji rezultata monitoringa lebdećih čestica, kojeg je prvenstvena svrha proračun zdravstvenih učinaka, **UVIJEK** koristimo **aerodinamički promjer** čestica, jer on najbolje opisuje **ponašanje čestica u dišnom sustavu**.

RASPON VELIČINA LEBDEĆIH ČESTICA

Raspon promjera $0.002 - 100 \mu\text{m}$

Omjer promjera $1 : 10^5$

Omjer površina $1 : 10^{10}$

Omjer volumena (masa) $1 : 10^{15}$

KONCENTRACIJE LEBDEĆIH ČESTICA

Brojčana koncentracija – broj čestica u jediničnom volumenu zraka. Koristi se najviše pri izučavanju zdravstvenih učinaka netopivih čestica (broj deponiranih čestica unutar dišnog sustava)

Masena koncentracija – masa čestica u jediničnom volumenu zraka. Koristi se najviše pri izučavanju zdravstvenih učinaka toksičnih topivih čestica (masa čestica deponirana u dišnom sustavu)

LEBDEĆE ČESTICE U OKOLIŠNOM ZRAKU

Mali volumni omjer $\sim 10^{-5}$

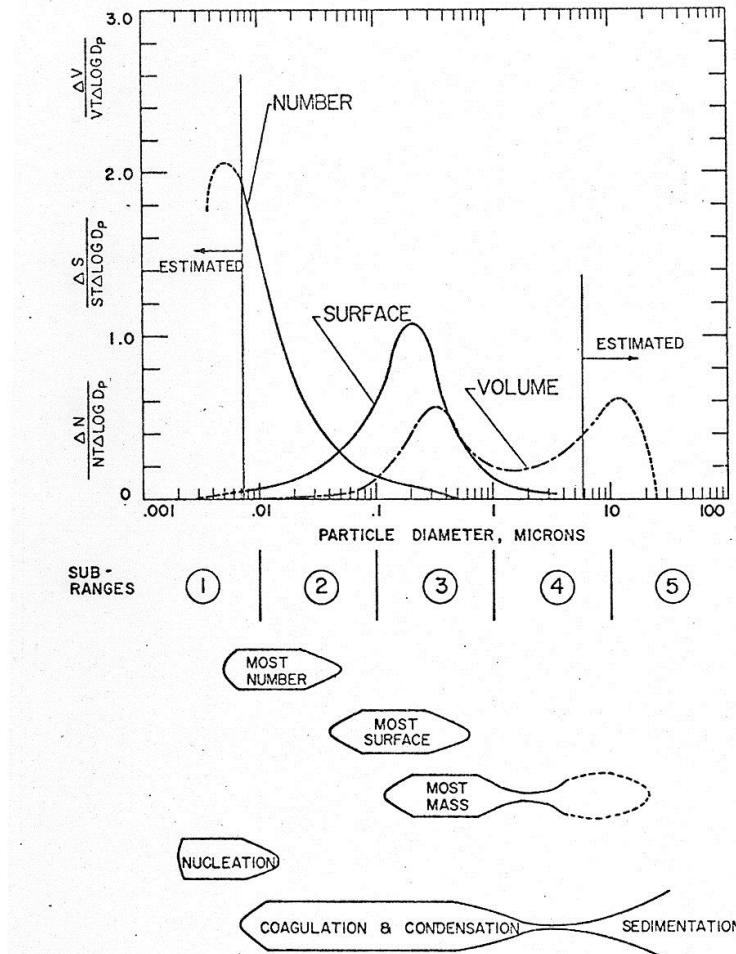
Tipične brojčane, površinske i volumne razdiobe po veličini čestica

Gruba podjela u tri kategorije:

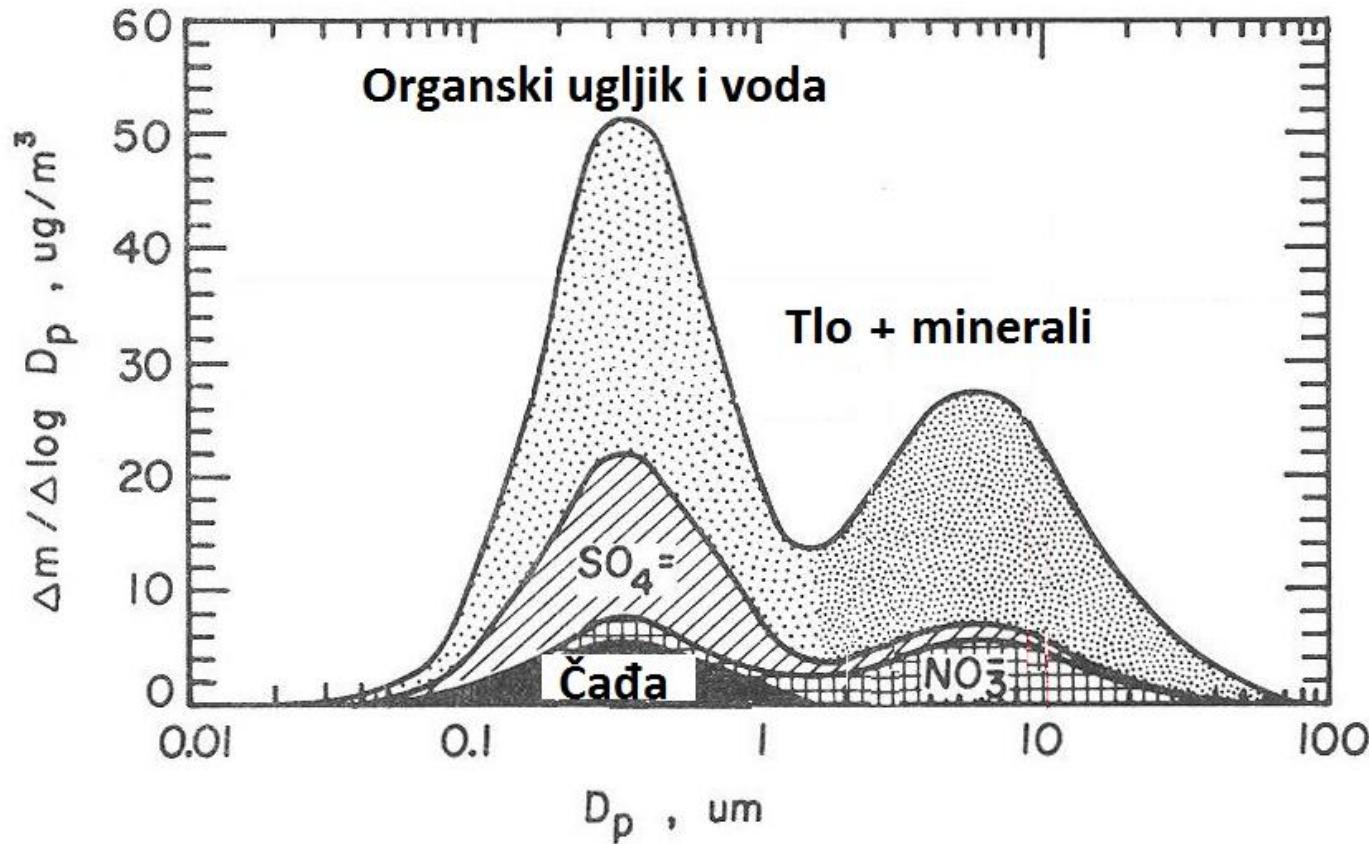
Nukleacijski mod: $\sim 0,01 - 0,04 \mu\text{m}$

Akumulacijski mod: $\sim 0,1 - 1 \mu\text{m}$

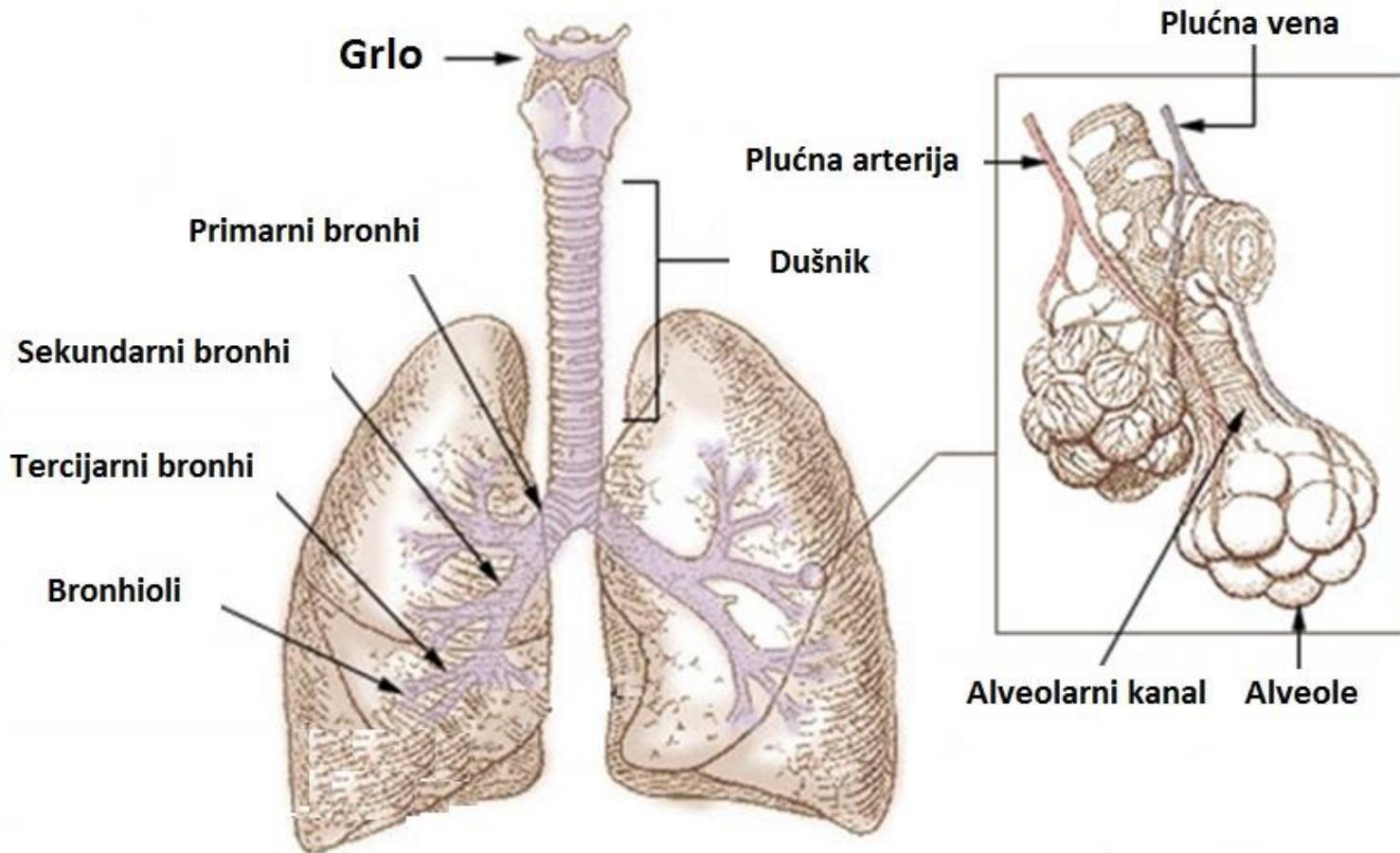
Krupne čestice: $\sim 5 - 50 \mu\text{m}$



TIPIČNI SASTAV LEBDEĆIH ČESTICA



SHEMATSKI PRIKAZ DIŠNOG SUSTAVA



DEFINICIJE FRAKCIJA LEBDEĆIH ČESTICA

Dugi niz godina sakupljeni su uzorci LČ ukupnih lebdećih čestica (TSP-total Suspended Matter). Rezultati masenih koncentracija i njihovog sastava su se značajno razlikovali s obzirom na dizajn ulaznog dijela sakupljača koji nije bio standardiziran. Na taj su način usporedbe razina onečišćenja lebdećim česticama sa različitih lokacija bile otežane, odnosno onemogućene. Povezanost sa zdravstvenim učincima je također bila teže uočljiva.

HRN ISO 7708:1998 Definicije frakcija čestica po veličini za uzorkovanje radi ocjene utjecaja na zdravlje (ISO 7708:1995)

Inhalacijska frakcija: masena frakcija ukupnih lebdećih čestica koju udišemo na nos ili usta (ovisi o smjeru i brzini strujanja zraka, frekvenciji udisaja itd.)

Inhalacijska konvencija: ciljna specifikacija uzorkivača inhalacijske frakcije.

Ekstratorakalna frakcija: masena koncentracija udahnutih čestica koje ne prodiru dublje od grla.

Ekstratorakalna konvencija: ciljna specifikacija uzorkivača ekstratorakalne frakcije.

DEFINICIJE FRAKCIJA LEBDEĆIH ČESTICA

Torakalna frakcija: masena frakcija lebdećih čestica koje prodiru niže od grla.

Torakalna konvencija: ciljna specifikacija uzorkivača inhalacijske frakcije (s obzirom na postojanje velikih razlika između pojedinaca ova konvencija predstavlja prosječnu vrijednost). Opisana je kumulativnom lognormalnom razdiobom s medijanom od $11,64 \mu\text{m}$ i geometrijskom standardnom devijacijom od 1,5.

DEFINICIJE FRAKCIJA LEBDEĆIH ČESTICA

Traheobronhijalna frakcija: masena frakcija lebdećih čestica koje prodiru niže od grla, ali ne prodiru u područja bez cilijarnog epitela.

Traheobronhijalna konvencija: ciljna specifikacija uzorkivača traheobronhijalne frakcije (s obzirom na postojanje velikih razlika između pojedinaca ova konvencija predstavlja prosječnu vrijednost).

DEFINICIJE FRAKCIJA LEBDEĆIH ČESTICA

Respirabilna frakcija: masena frakcija lebdećih čestica koje prodiru u područja bez cilijarnog epitela.

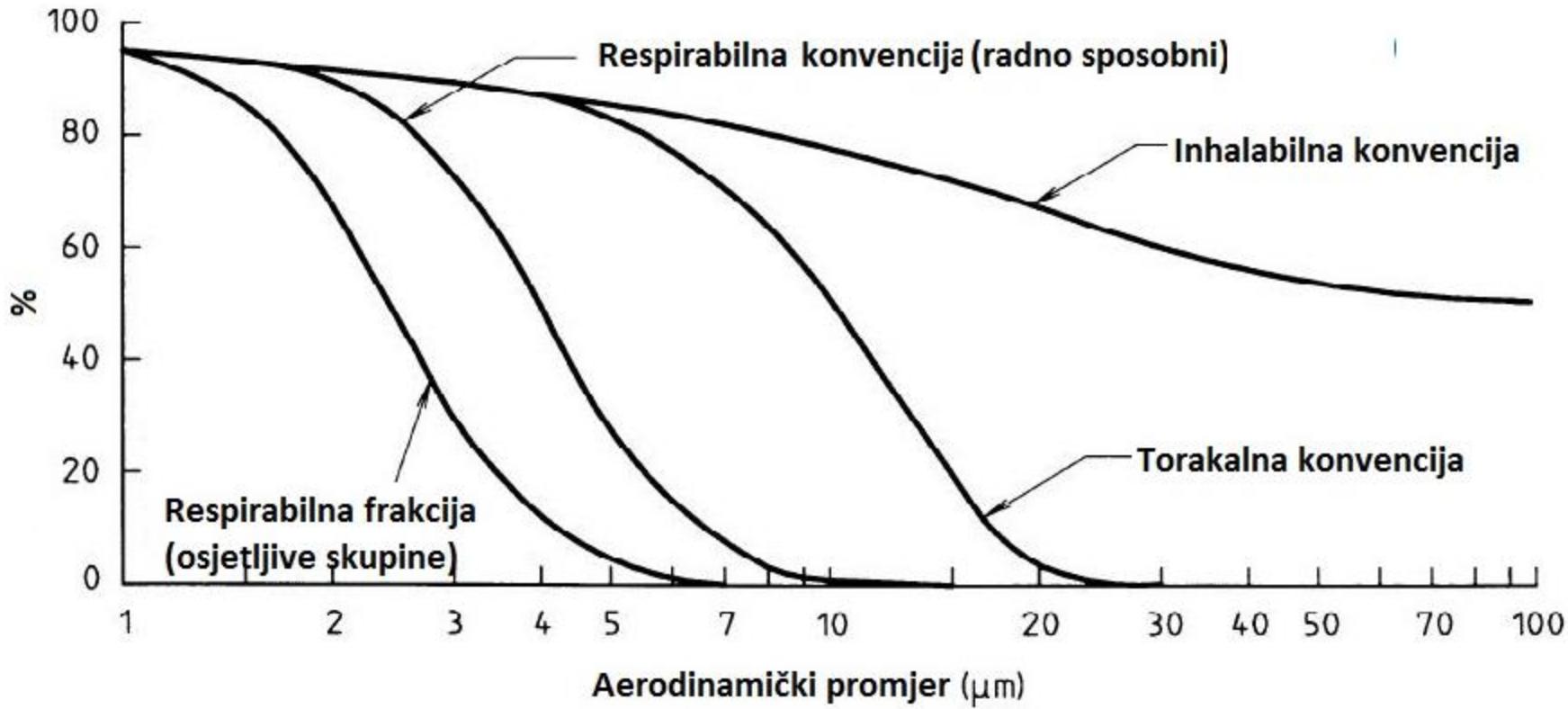
Respirabilna konvencija: ciljna specifikacija uzorkivača respirabilne frakcije (s obzirom na postojanje velikih razlika između pojedinaca ova konvencija predstavlja prosječnu vrijednost). Opisana je kumulativnom lognormalnom razdiobom s medijanom od $2,5\mu\text{m}$ i geometrijskom standardnom devijacijom od 1,5.

DEFINICIJE FRAKCIJA LEBDEĆIH ČESTICA

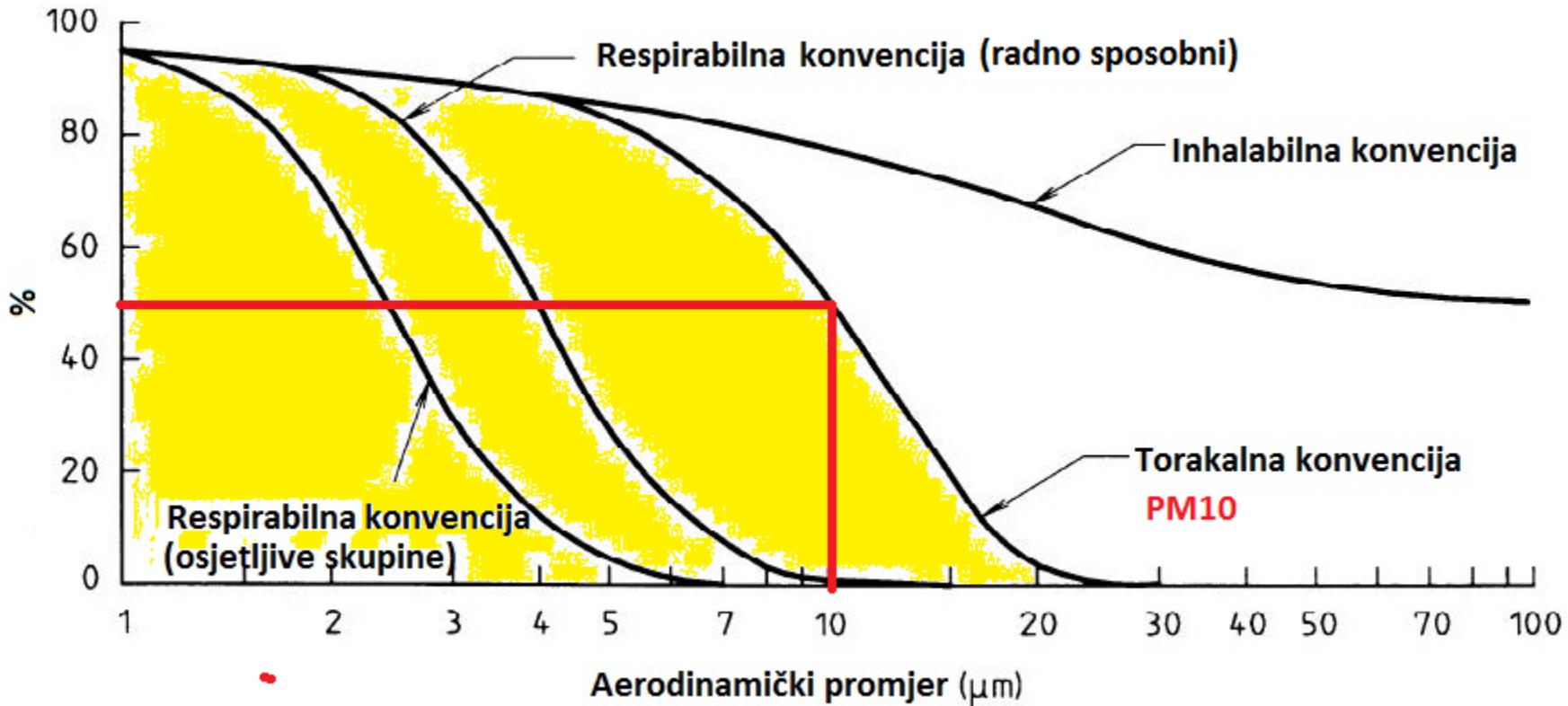
Svaka od navedenih konvencija aproksimira frakciju lebdećih čestica koje *prodиру* u pojedinu regiju dišnog sustava, a ne frakciju koja se *deponira* u toj regiji.

U tom smislu, navedene konvencije *precjenjuju zdravstvene učinke*, jer pretpostavljamo da ih mogu izazvati samo deponirane čestice.

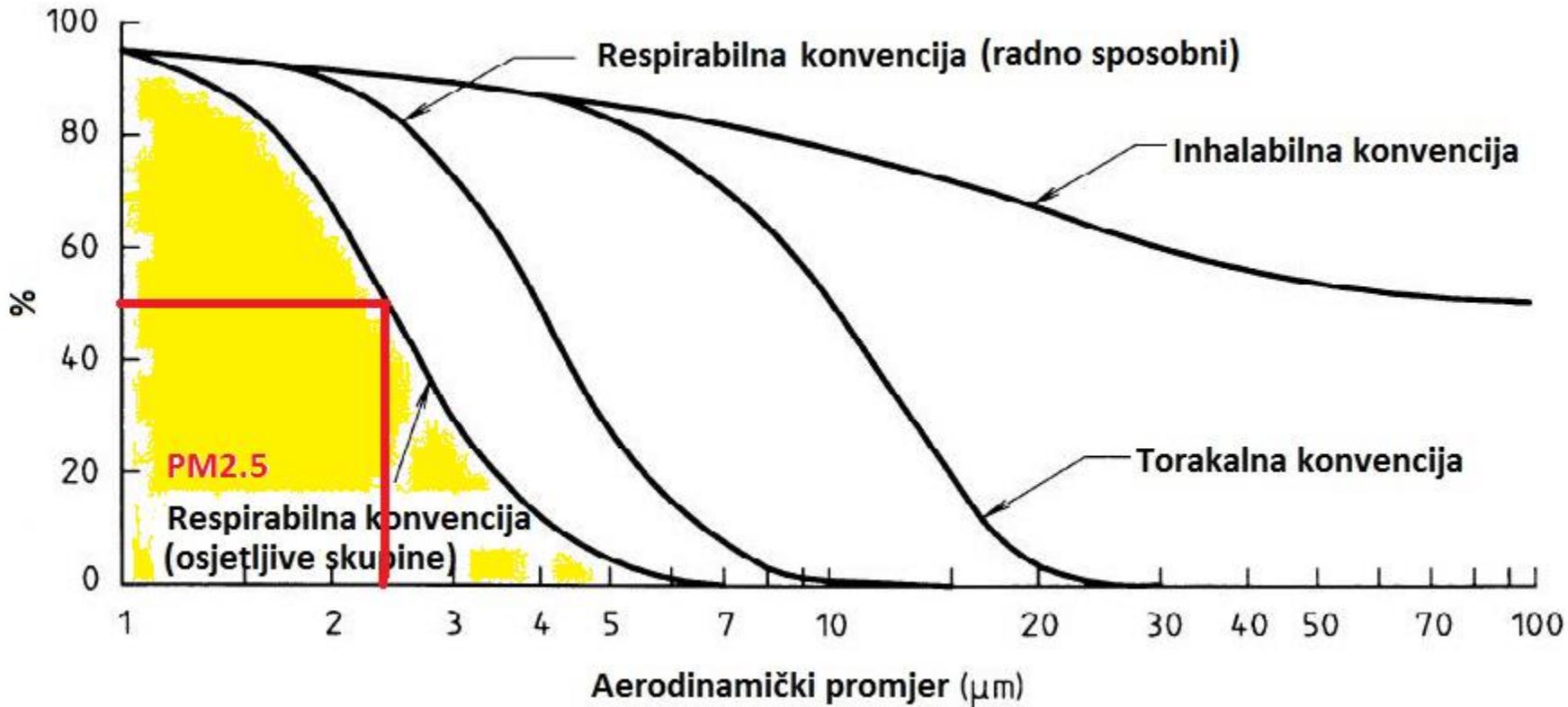
GRAFIČKI PRIKAZI KONVENCIJA



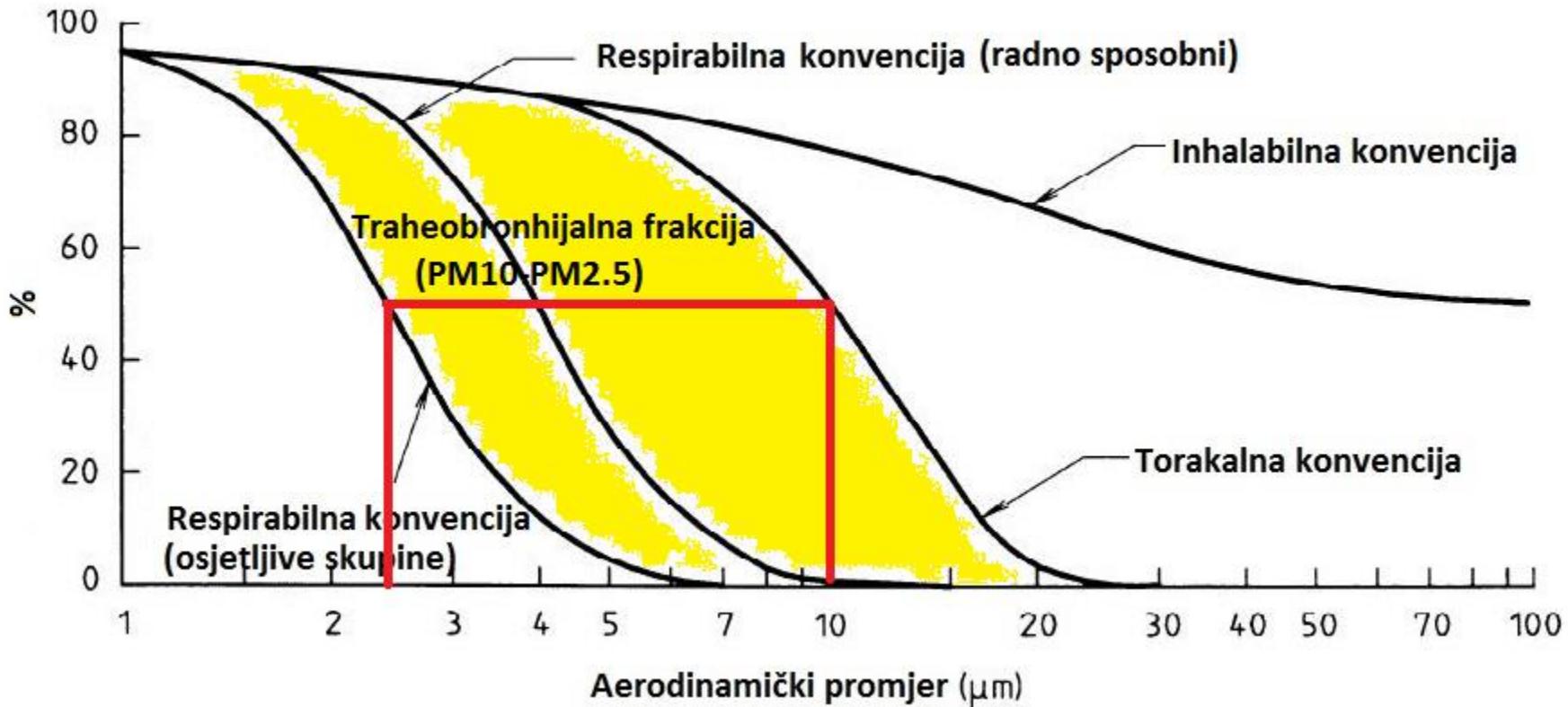
GRAFIČKI PRIKAZI KONVENCIJA



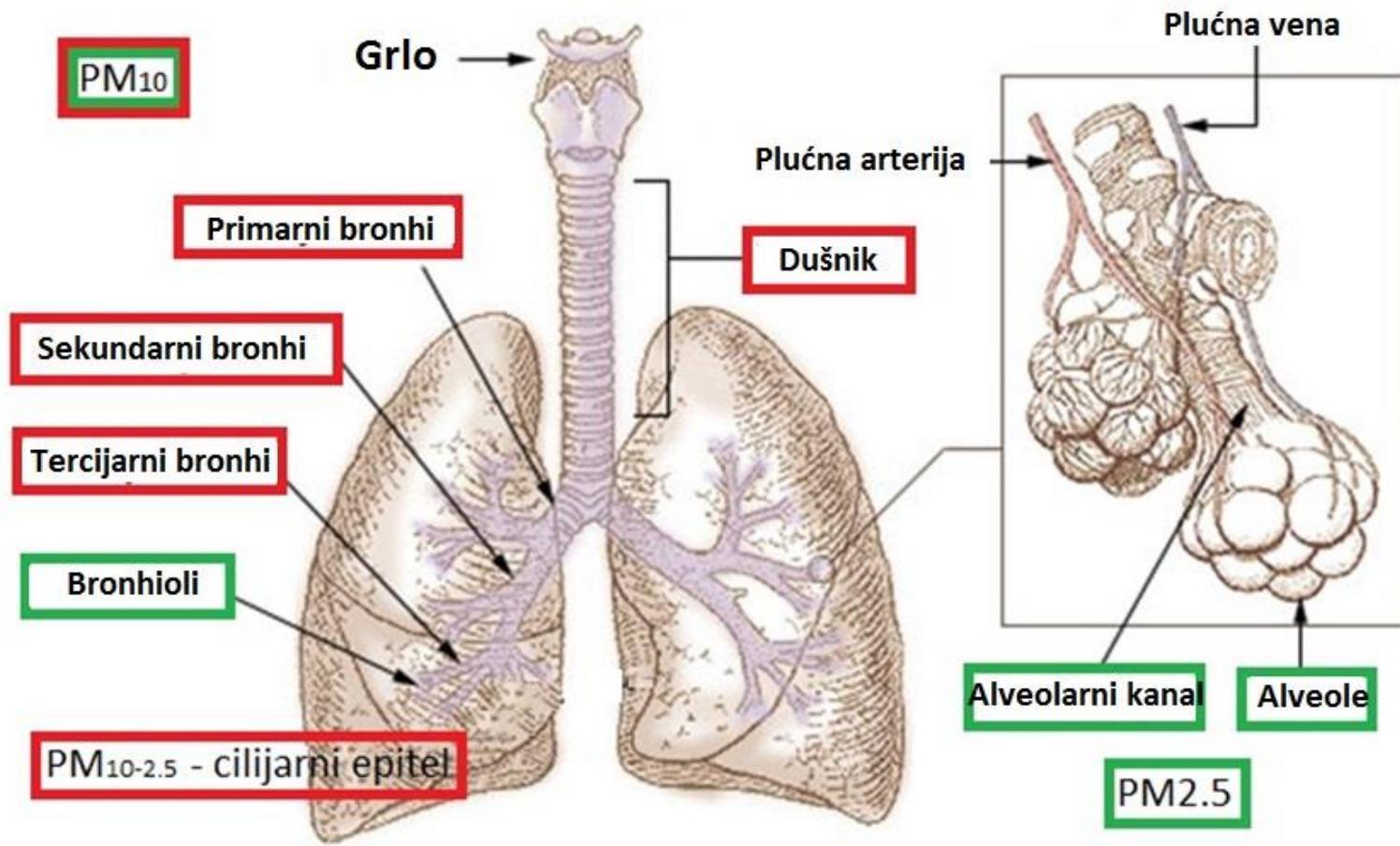
GRAFIČKI PRIKAZI KONVENCIJA



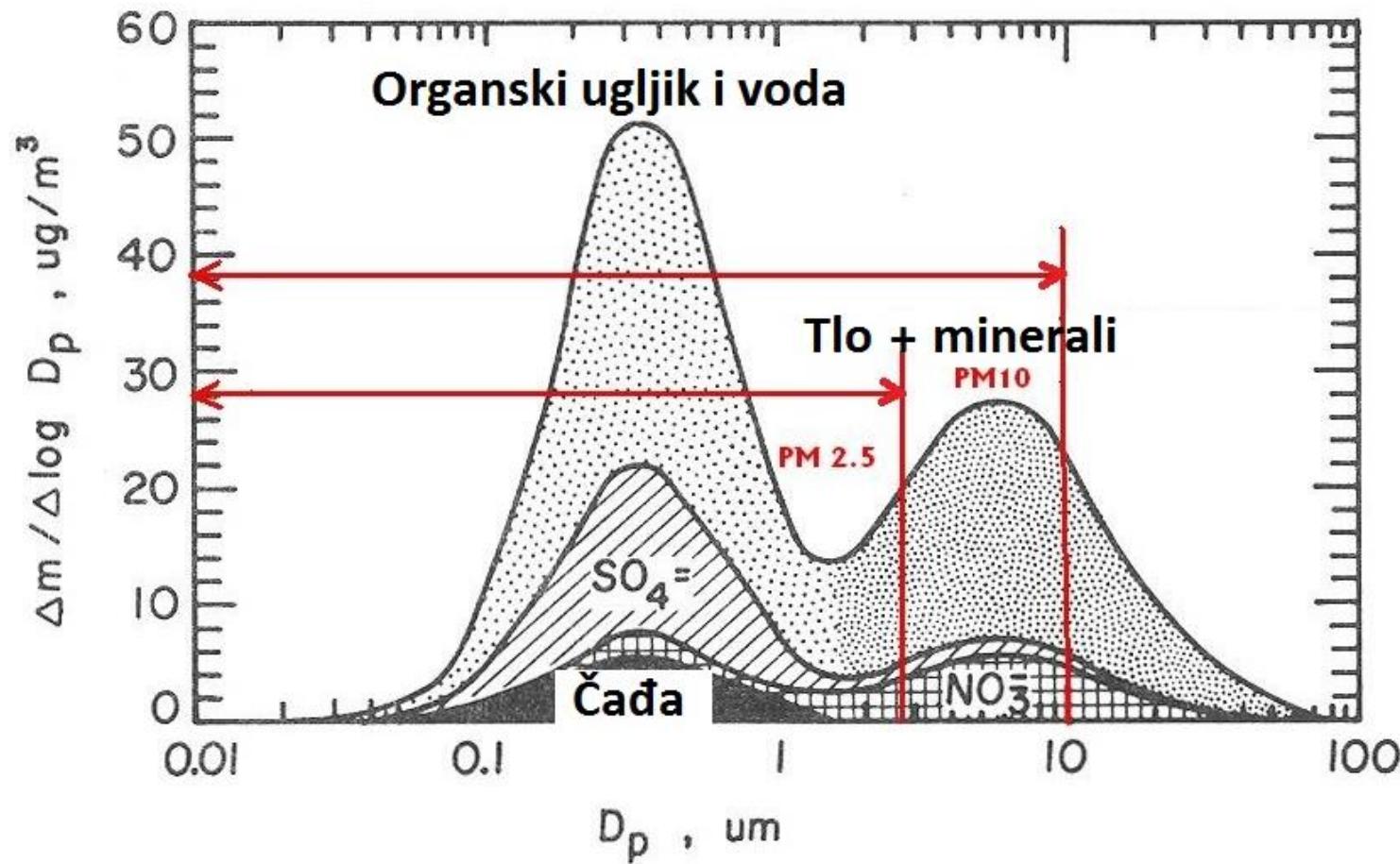
GRAFIČKI PRIKAZI KONVENCIJA



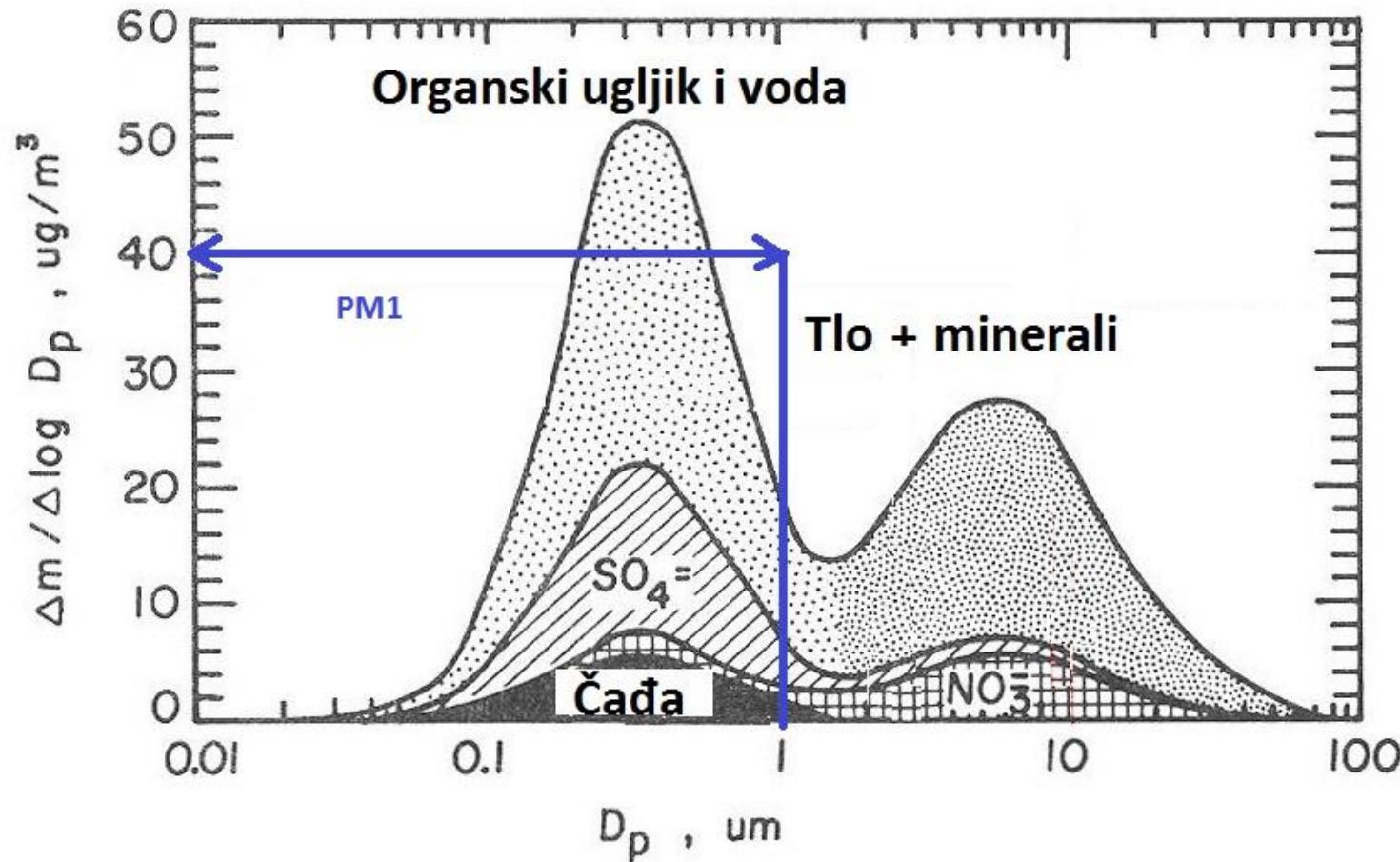
KONVENCIJE – ANATOMSKI PRIKAZ



TIPIČNI SASTAV PM₁₀, PM_{2.5} i PM_{10-2.5} FRAKCIJA LČ



TIPIČNI SASTAV PM₁ FRAKCIJE LEBDEĆIH ČESTICA



PRIMJERI MONITORINGA LEBDEĆIH ČESTICA

Mjerenja automatskim analizatorima (in situ analysis)

Prednosti:

- Dobivanje rezultata u realnom vremenu (potrebna validacija)
- Obilje podataka omogućava dobru statističku obradu rezultata
- Omogućava praćenje kratkotrajnih varijacija

Mane:

- Složeno i skupo
- Nužne česte kalibracije
- Vrlo ograničena ili nemoguća kemijska analiza uzorka

PRIMJERI MONITORINGA LEBDEĆIH ČESTICA

UZORKOVANJE I NAKNADNA ANALIZA

Prednosti:

Vremenski integriran uzorak koji daje prosječnu vrijednost

Mnogo materijala za analizu

Jednostavnija aparatura, lako prilagodljiva

Podobno za širok spektar kemijskih analiza

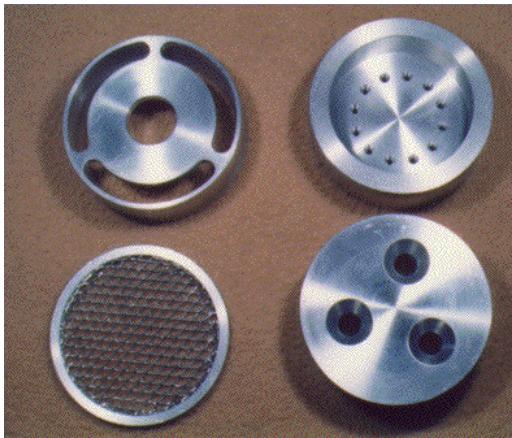
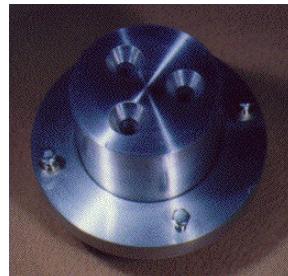
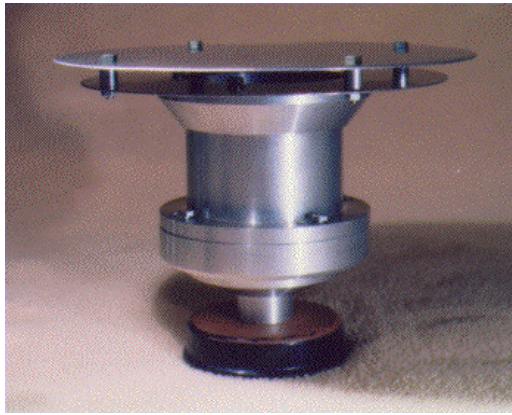
Nedostaci:

Čestice mogu aglomerirati

Mogućnost kemijskih reakcija između čestica ili između čestica i podloge

Moguće greške pri uzorkovanju i transportu uzorka

PRIMJERI SAKUPLJAČA FRAKCIJA LEBDEĆIH ČESTICA



“Domaća izrada”

PM10 i PM2.5

Ulagni separatori (1998.)

Volumen uzorka:

~ 100 m³ /dan

Promjeri mlaznicaeter:

11 mm i 2.5 mm

Broj mlaznica:

3 i 12

Reynoldsov broj: ~ 3 000

PRIMJERI SAKUPLJAČA FRAKCIJA LEBDEĆIH ČESTICA



AirMetrics uzorkivači

Pogodni za ad hoc i privremena istraživanja u blizini industrije i prometnica.

Napajanje: 220 V AC ; 12 V DC

Frakcije čestica: PM10 i PM2.5

Programabilni: vrijeme, dan dan u tjednu itd.

Lako se montiraju na stupove, drveće, zidove, ograde itd.

Snazna pumpa, protok zraka Od 5 L/min

Mogućnost sakupljanja plinova u vreće od Tedlara u trajanju do 8 h

PRIMJERI SAKUPLJAČA FRAKCIJA LEBDEĆIH ČESTICA



LVS3

Referentni uzorkivači

Frakcije: PM₁₀, PM_{2.5}, PM₁

Broj mlaznica: 8

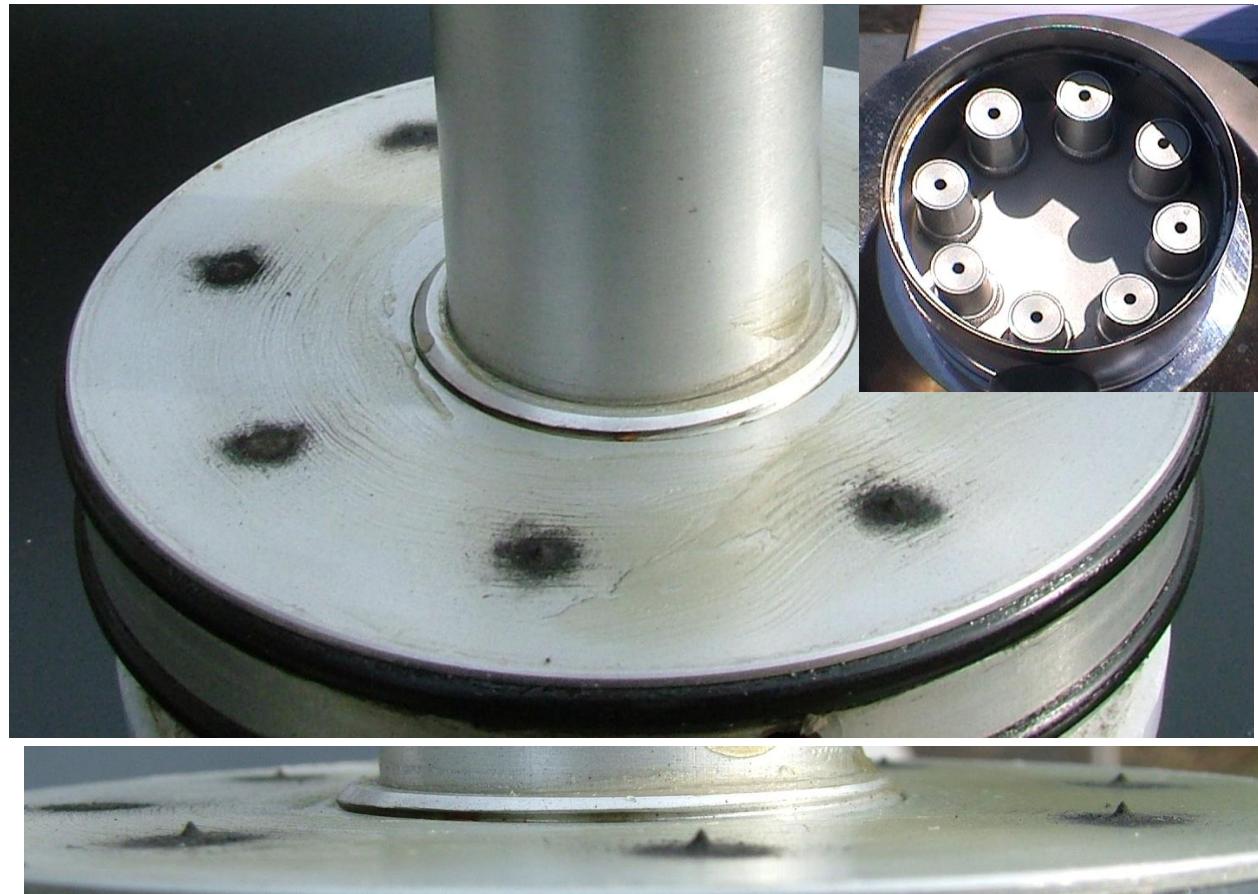
Protok zraka: 2.3 m³h⁻¹

Vrste filtara:
kvarc, teflon, staklena vlakna



SEQ47/50

PRIMJERI SAKUPLJAČA FRAKCIJA LEBDEĆIH ČESTICA



Mlaznice i impakcijske podloge(PM_{2.5})

PRIMJERI SAKUPLJAČA FRAKCIJA LEBDEĆIH ČESTICA



PRIMJERI SAKUPLJAČA FRAKCIJA LEBDEĆIH ČESTICA



PRIMJERI SAKUPLJAČA FRAKCIJA LEBDEĆIH ČESTICA



Digitel HVS Automat DHA-80

15 filtera promjera 150 mm

Frakcije: PM₁₀ ili PM_{2.5}

Protok zraka:

Ukupne LČ : 700 L/min (1008 m³ dan⁻¹)

PM₁₀, PM_{2.5}: 500 L/min (720 m³ dan⁻¹)

PRIMJERI AUTOMATSKIH ANALIZATORA



TEOM



β - gauge

TEOM - Tapered element oscillating microbalance

Mjeri promjenu frekvencije titranja uzrokovano povećanjem mase sakupljenih čestica.

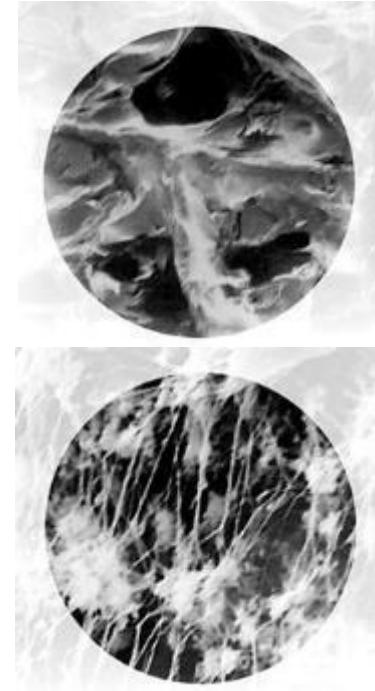
Beta Gauge Particulate Monitor

Mjeri atenuaciju β -zraka pri prolasku kroz uzorak sakupljenih čestica.

FILTARSKE PODLOGE

Teflonski filtri PTFE su:

- Jaki i otporni na kiseline, lužine i otapala
- Hidrofobni
- Vrlo čisti, podobni za kemijske analize
- Pogodni za gravimetrijske analize
- Otporni do 260°C
- Idealni za sakupljanje lebdećih čestica, naročito u vlažnoj okolini.
- Prilikom vaganja potrebno ih je elektrostatski izbjijati
- Visoka cijena



FILTARSKE PODLOGE

Filtri od kvarcnih vlakana

Pogodni za istraživanje onečišćenja zraka.

Sačinjeni od čistih kvarcnih (SiO_2) mikrovlakana(QMA), bez veziva i aditiva.
Vrlo nizak sadržaj alkalnih metala.

Odvajanje čestica: efikasno odvajanje sitnih čestica.

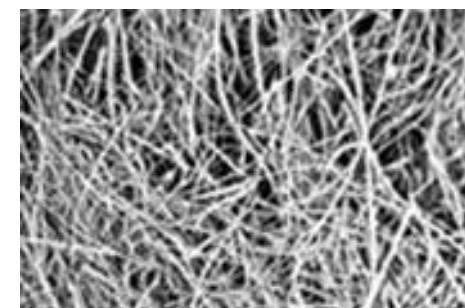
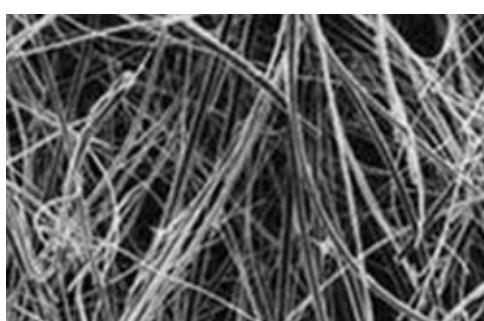
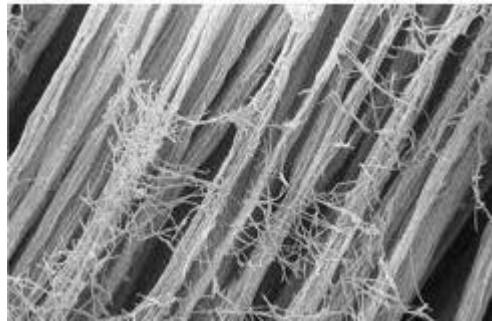
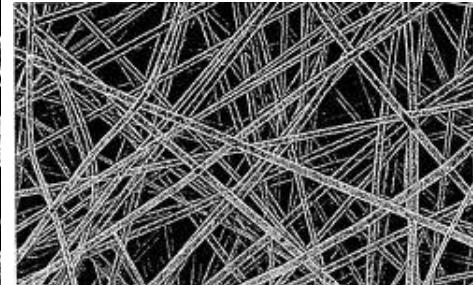
Propusnost: vrlo visoka. Omogućava velike protoke zraka.

Kemijska stabilnost: vrlo stabilni u prisustvu kiselih plinova (HCl , SO_2 , SO_3 , H_2SO_4 , NO and NO_3).

Otpornost na kemijske reagense: rezistentni na kiseline (osim HF) i lužine.

Temperaturna stabilnost: otporniji od filtera sačinjenih od staklenih vlakana.
Otporni do 950°C ; iznad te temperature počinju gubiti svoja dobra svojstva.

FILTARSKE PODLOGE



Filtri od kvarcnih vlakana

FILTARSKE PODLOGE

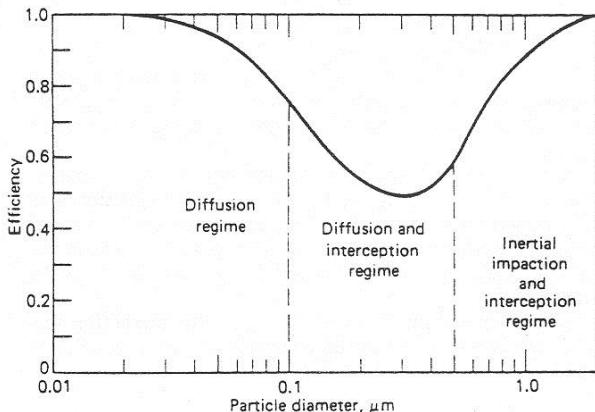


Figure 1. Schematic filter efficiency vs. particle size illustrating the different

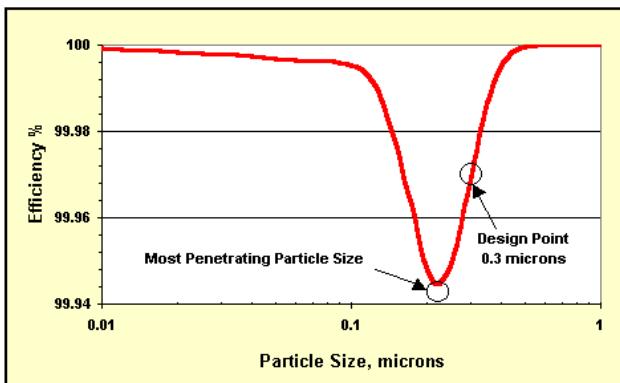


Figure 1: Typical Performance of a HEPA 99.97% Filter.

Tri su osnovna mehanizma odvajanja čestica iz struje zraka u vlaknastim filtrima:

- Difuzija
- Intercepcija
- Impakcija

Ukupna efikasnost filtra je zbroj efikasnosti ovih mehanizama odvajanja čestica.

Minimalna efikasnost (najveći prolazak čestica) je za čestice promjera $0.2 - 0.3 \mu\text{m}$ te se efikasnost filtara uvijek mjeri u tom području veličina.

MONITORING LEBDEĆIH ČESTICA

Zakon o zaštiti zraka

Narodne novine [130/11, 47/14, 61/17](#)

Uredba o razinama onečišćujućih tvari u zraku

Narodne novine [117/12](#)

Pravilnik o praćenju kvalitete zraka

Narodne novine [79/17](#)

**Uredba o određivanju zona i aglomeracija prema razinama
onečišćenosti zraka na teritoriju Republike Hrvatske**

Narodne novine [1/14](#)

**Program mjerenja razine onečišćenosti zraka u državnoj mreži
za trajno praćenje kvalitete zraka**

Narodne novine [73/16](#)

MONITORING LEBDEĆIH ČESTICA

HRN EN 12341:2006

Povučen

Kakvoća zraka -- Određivanje PM₁₀ frakcije po veličini lebdećih čestica -- Referentna metoda i terensko ispitivanje u svrhu dokazivanja jednakovaljanosti mjernih metoda (EN 12341:1998)

HRN EN 14907:2006

Povučen

Kvaliteta vanjskog zraka -- Standardna gravimetrijska metoda za određivanje PM_{2,5} masene frakcije lebdećih čestica (EN 14907:2005)

Ove su norme povučene 2014. godine i objedinjene u poboljšanu normu:

HRN EN 12341:2014

Vanjski zrak -- Određivanje masene koncentracije suspendiranih čestica PM₁₀ ili PM_{2,5} standardnom gravimetrijskom metodom (EN 12341:2014)

MONITORING LEBDEĆIH ČESTICA

Konačno, kakav to uzorak na kraju imamo?

Uzorak je sakupljen u skladu s očekivanim zdravstvenim učincima prema odabranoj konvenciji.

Sakupljamo integrirani uzorak kroz definirano razdoblje sakupljanja.

Čestice su nakupljene tjesno pa su moguće kemijske reakcije između čestica kao i između čestica i podloge.

Zbog normom HRN EN 12341:2014 propisanog kondicioniranja uzorka uvjeti temperature zraka, tlaka zraka i relativne vlažnosti su promijenjeni u odnosu na okolišne uvjete pa dozvoljavaju evaporaciju i kondenzaciju vode i hlapivih tvari.

Za vrijeme kondicioniranja uzorci su izloženi sedimentaciji i apsorpciji tvari iz zraka komore za kondicioniranje i vagaonice (npr. kondicioniranje paljenih filtara za sakupljanje organskog i elementnog ugljika).

MONITORING LEBDEĆIH ČESTICA

Sakupljeni uzorak se značajno razlikuje od “oblaka čestica” iz kojeg je uzet, pa se postavlja pitanje što smo postigli zadanim procedurama?

- Uniformnost procedura što omogućava usporedbu rezultata dobivenih “širom svijeta”.
- Dobru bazu za daljnje statističke obrade.
- Mogućnost provođenja uniformnih epidemioloških studija i meta studija.
- Planiranje i provođenje uniformnih i istovremenih mjera za smanjenje razina onečišćenja.
- Jedinstvena legislativa
- Jedinstvena kontrola razina onečišćenja zraka.

MONITORING LEBDEĆIH ČESTICA - EKVIVALENCIJA

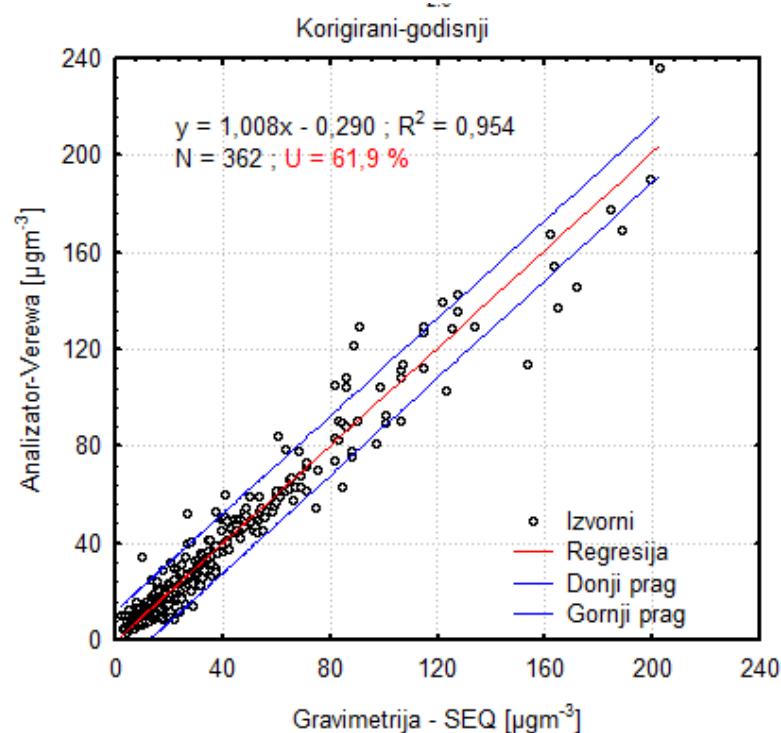
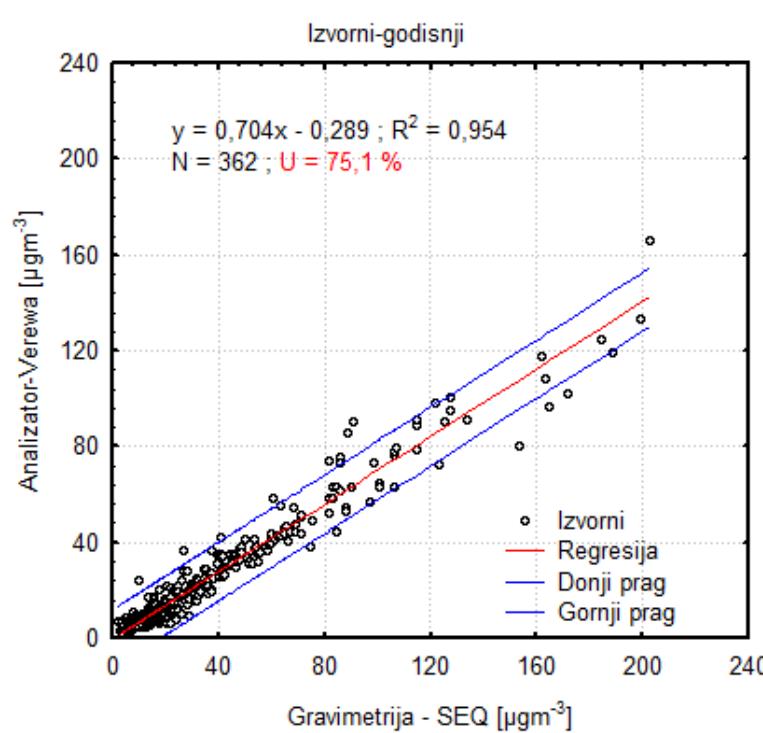
Ispitivanje ekvivalencije rezultata (PM2.5) – Primjer 1

Usporedba izvornih i sezonski korigiranih podataka određenih referentnim SEQ47/50 sakupljačem i automatskim analizatorom za PM_{2,5} frakciju tijekom 2014. i 2015. godine.

Izvorni podaci	Korigirani podaci	Korekcijska funkcija
Zima ; N = 90 ; R ² = 0,935		
$y = 0,699x + 1,880$ U = 76,2 %	$y = 1,012x - 0,705$ U = 89,2 %	$y_1 = 1,430y - 2,688$
Proljeće ; N = 91 ; R ² = 0,804		
$y = 0,591x + 0,747$ U = 77,5 %	$y = 1,058x - 0,840$ U = 30,4 %	$y_1 = 1,692y - 1,264$
Ljeto ; N = 92 ; R ² = 0,627		
$y = 0,512x + 1,826$ U = 85,7 %	$y = 1,173x - 2,663$ U = 48,3 %	$y_1 = 1,954y - 3,569$
Jesen ; N = 89 ; R ² = 0,945		
$y = 0,670x + 1,173$ U = 74,5 %	$y = 1,011x - 0,596$ U = 73,5 %	$y_1 = 1,492y - 1,750$
Godišnje razdoblje ; N = 362 ; R ² = 0,954		
$y = 0,704x - 0,289$ U = 75,1 %	$y = 1,008x - 0,290$ U = 61,9 %	$y_1 = 1,420y + 0,411$

MONITORING LEBDEĆIH ČESTICA - EKVIVALENCIJA

Ispitivanje ekvivalencije rezultata (PM_{2.5}) – Primjer 1



Referentna metoda	Ne-referentna metoda	Godišnja korekcija	Sezonska korekcija
$C = 35,6 \mu\text{g/m}^3$	$C = 24,8 \mu\text{g/m}^3$	$C = 35,6 \mu\text{g/m}^3$	$C = 35,6 \mu\text{g/m}^3$

MONITORING LEBDEĆIH ČESTICA - EKVIVALENCIJA

Ispitivanje ekvivalencije rezultata (PM_{2.5}) – Primjer 2

Usporedba izvornih i sezonski korigiranih podataka određenih referentnim SEQ47/50 sakupljačem i automatskim analizatorom za frakciju PM₁₀

Izvorni podaci	Korigirani podaci	Korekcijska funkcija
Ljeto ; N = 27 ; R ² = 0,929		
$y = 1,018x + 1,113$ U = 10,2 %	$y = 0,999x + 0,009$ U = 12,9 %	$y_1 = 0,983y - 1,094$
Jesen ; N = 28 ; R ² = 0,956		
$y = 0,998x + 0,820$ U = 6,9 %	$y = 1,000 - 0,001$ U = 10,9 %	$y_1 = 1,002y - 0,821$
Zima ; N = 45 ; R ² = 0,926		
$y = 0,843x + 2,821$ U = 22,4 %	$y = 1,007x - 0,138$ U = 13,9 %	$y_1 = 1,187y - 3,348$
Proljeće ; N = 30 ; R ² = 0,950		
$y = 0,947x + 0,792$ U = 11,1 %	$y = 1,001x - 0,029$ U = 12,5 %	$y_1 = 1,055y - 0,836$

MONITORING LEBDEĆIH ČESTICA - EKVIVALENCIJA

Ispitivanje ekvivalencije rezultata (PM_{2.5}) – Primjer 3

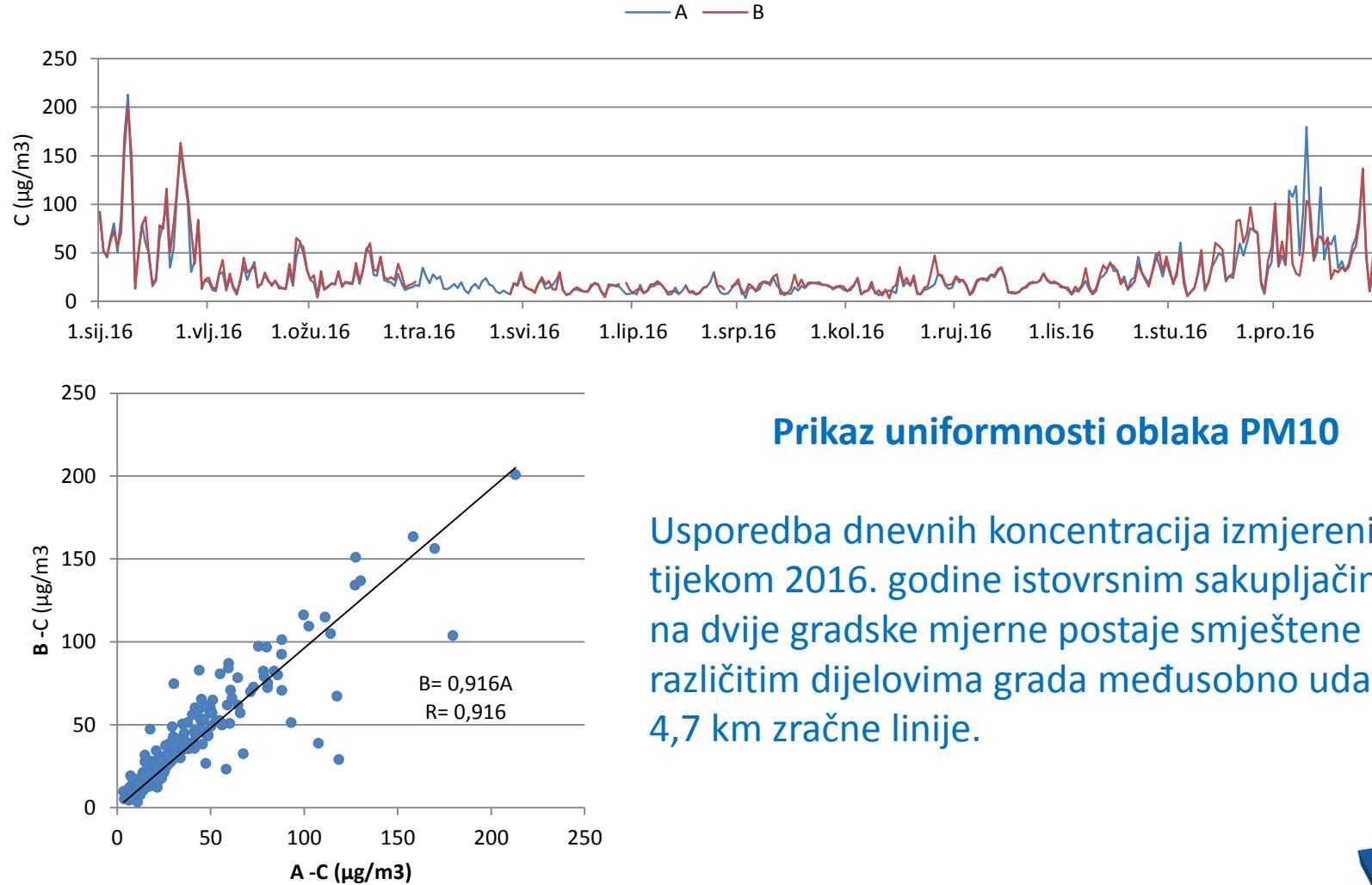
Usporedba izvornih i korigiranih podataka određenih referentnim **SEQ47/50** sakupljačem i sakupljačem **Digitel HVS Automat DHA-80** za frakciju PM₁₀

Nakon korekcije broj dnevnih prekoračenja porastao za ~ 50% (dozvoljeno 35)

Referentni LVS vs. HVS ; N = 125 ; R ² = 0,968		
Izvorni podaci	Korigirani podaci	Korekcijska funkcija
$y = 0,892x - 3,133$ U = 37,2 %	$y = 1,002x + 0,357$ U = 16,9 %	$y_1 = 1,122y + 3,514$

Parametar	Referentni LVS	HVS	Godišnje korigirani HVS	Sezonski korigirani HVS
C _{avg} [µg m ⁻³]	38,3	31,1	38,3	38,3
> 50 [µg m ⁻³]	83	56	80	83

MONITORING LEBDEĆIH ČESTICA



MONITORING LEBDEĆIH ČESTICA – PRIMJER 1

Monitoring PM_{2,5} frakcije lebdećih čestica na gradskoj pozadinskoj mjernoj postaji

Mjerno razdoblje 2000.-2015.

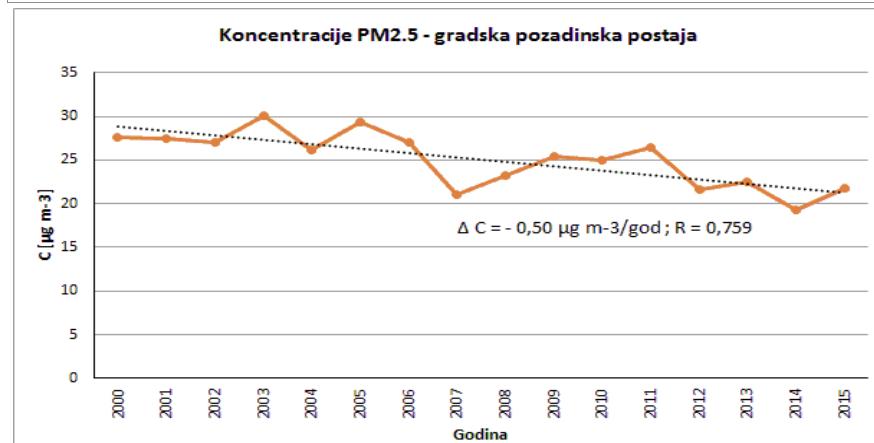
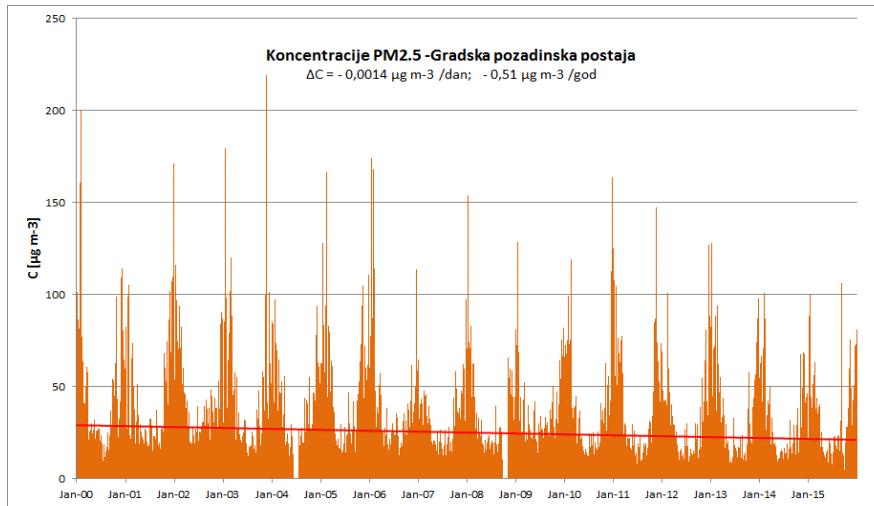
Mjerenja provedena sukladno propisanim normama

Obuhvat podataka >98%

Dnevni uzorci (od podneva do podneva)

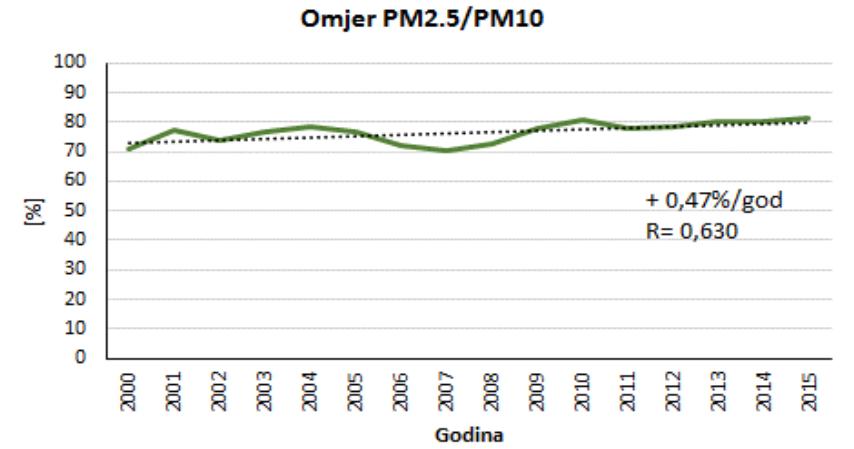
Korišteni referentni uređaji: LVS3, SEQ 47/50

MONITORING LEBDEĆIH ČESTICA – PRIMJER 1

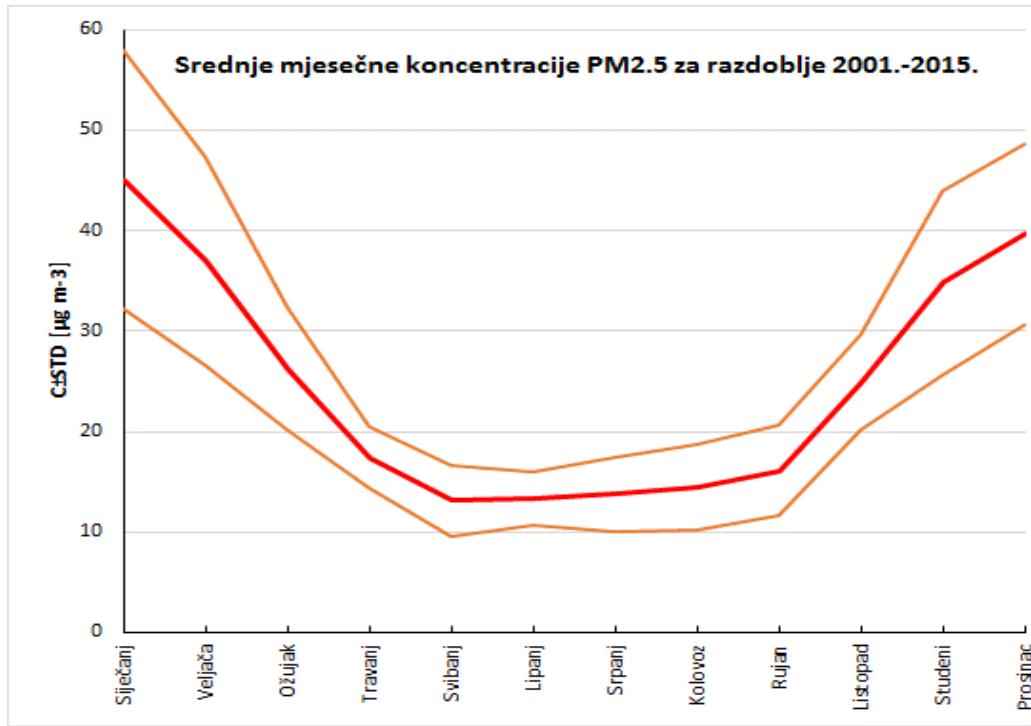


Godina	Izmjerena koncentracija (godišnji prosjek) $\mu\text{g m}^{-3}$	GV uvećana za GT $(\mu\text{g m}^{-3})$
2009.	25,4	29,3
2010.	25,0	28,6
2011.	26,5	27,9
2012.	21,7	27,1
2013.	22,5	26,4
2014.	19,3	25,7
2015.	21,8	25,0

2020. GV=20 $\mu\text{g m}^{-3}$



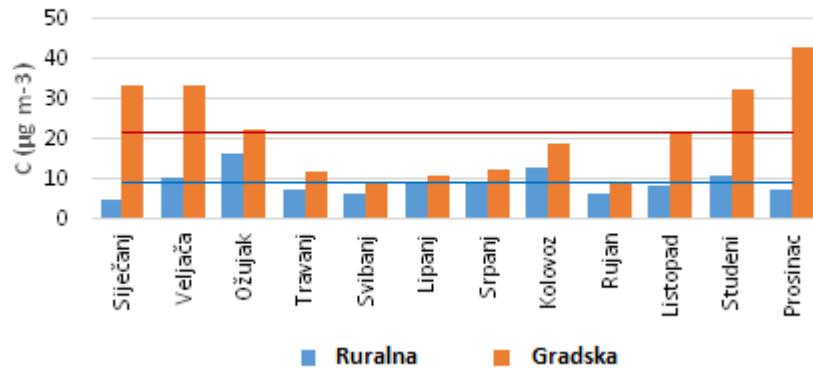
MONITORING LEBDEĆIH ČESTICA – PRIMJER 1



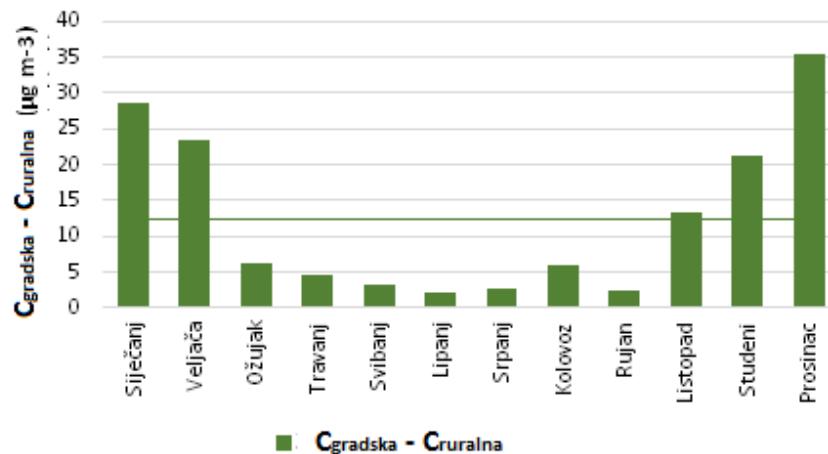
Izrazita sezonska ovisnost

MONITORING LEBDEĆIH ČESTICA – PRIMJER 1

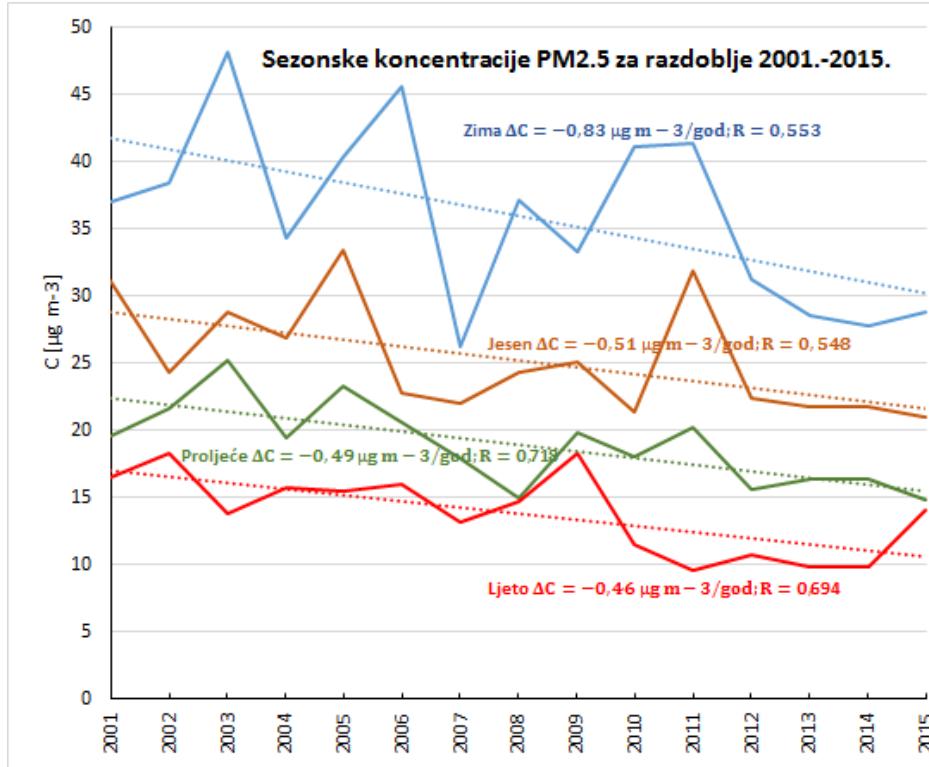
Srednje mjesecne i srednje godisnje koncentracije
PM2.5 za 2015. godinu



Mjesecne i godisnja razlika koncentracija

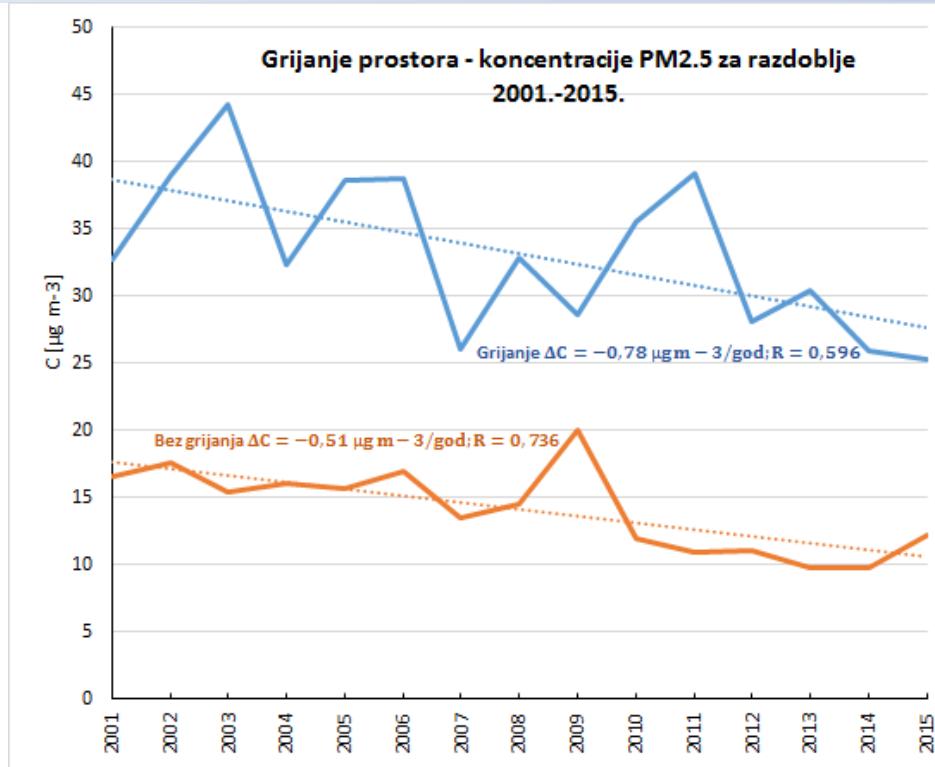


MONITORING LEBDEĆIH ČESTICA – PRIMJER 1



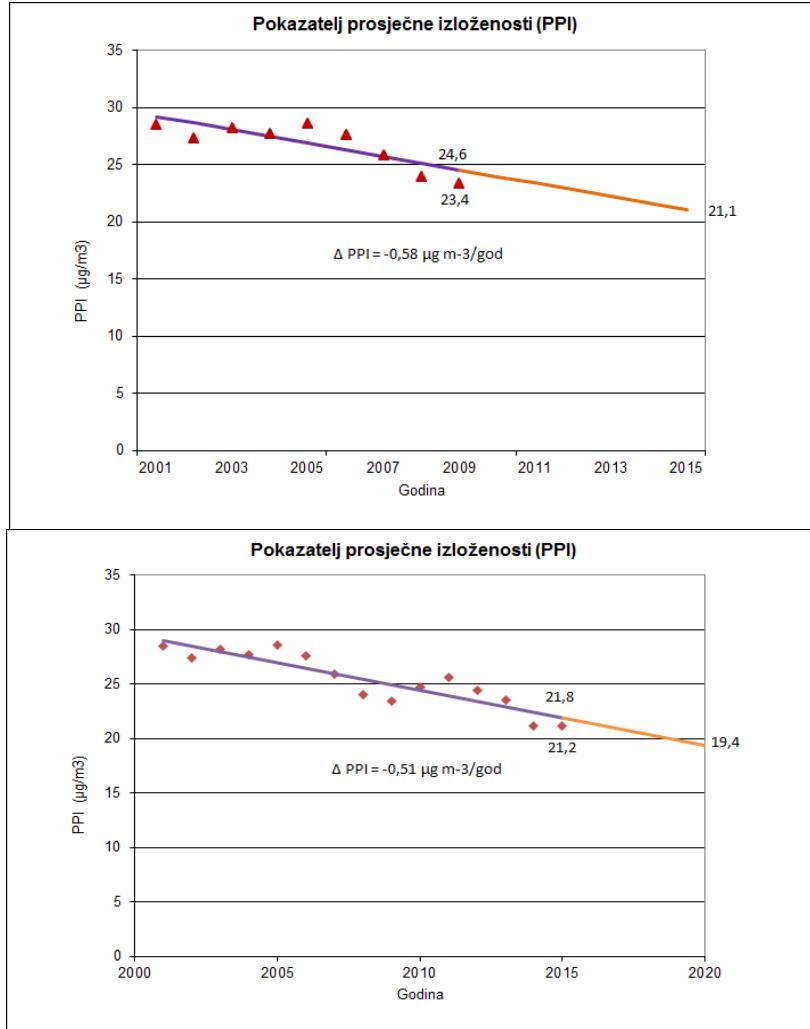
Trendovi sezonskih koncentracija kroz mjerno razdoblje

MONITORING LEBDEĆIH ČESTICA – PRIMJER 1



Trendovi koncentracija za razdoblja bez (svibanj-rujan) i sa grijanjem (studen-i-ožujak)

MONITORING LEBDEĆIH ČESTICA – PRIMJER 1



Pokazatelj prosječne izloženosti (PPI)

Trogodišnji prosjek srednjih godišnjih koncentracija unazad:

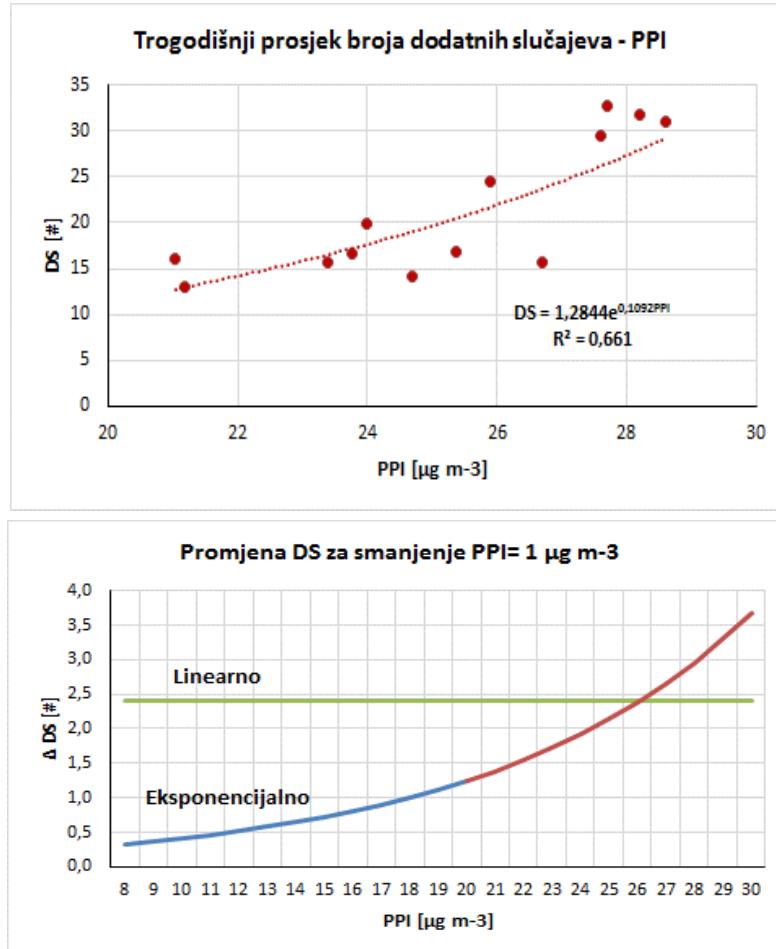
$$\text{PPI}_x = (C_x + C_{x-1} + C_{x-2}) / 3$$

Vrijednost PPI za 2015. godinu od $21,2 \mu\text{g m}^{-3}$ viša je od zahtijevane razine izloženosti od $20,0 \mu\text{g m}^{-3}$ za 2015. godinu.

Model je dao izvrsno predviđanje vrijednosti PPI za 2015. godinu.

Predviđanje za 2020. godinu iznosi $19,4 \mu\text{g m}^{-3}$ ukoliko se predviđanje ostvari to bi značilo o da cilj smanjenja izloženosti na nacionalnoj razini od 20% neće biti dostignut.

MONITORING LEBDEĆIH ČESTICA – PRIMJER 1



Ovisnost trogodišnjeg prosjeka broja dodatnih slučajeva ukupne smrtnosti (ΔDS) s obzirom na promjenu PPI.

Proračun pokazuje da je tijekom razdoblja od 2001. do 2015. godine ΔDS smanjen od 3,2 #/100 000 za 2001. na 1,4 #/100 000 Stanovnika za 2015. godinu. Procjena ΔDS za 2020. godinu iznosi 1,2 #/100 000 stanovnika.

MONITORING LEBDEĆIH ČESTICA – PRIMJER 2

Opažanje obojene oborine kada analiza sedimenta ukazuje na prisutnost saharske prašine je rijedak u unutrašnjosti Hrvatske. Većina tih događaja prolazi neopaženo, te ih je moguće dokazati samo složenim analizama elementnog sastava lebdećih čestica i modeliranjem postojanja i snage pojedinih izvora onečišćenja.

Vrsta onečišćenja: 24-satni uzorci PM2.5

Broj uzorka: 619

Filtarska podloga: PTFE

Mjerne metode: HRN EN 14907:2005; HRN EN 12341:2014

Razdoblje mjerenja: 20. siječnja 2014. – 30. rujna 2015.

Uzorkivač: SvenLeckel SEQ47/50

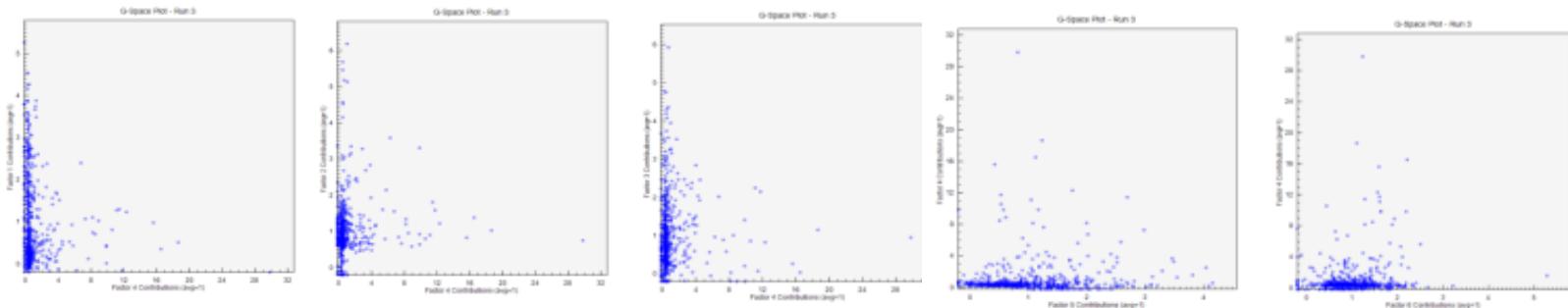
Elementna analiza: ED XRF

Analizator: EPSILON5, PanAnalytical

Analiza rezultata: EPA PMF5; NOAA HYSPLIT

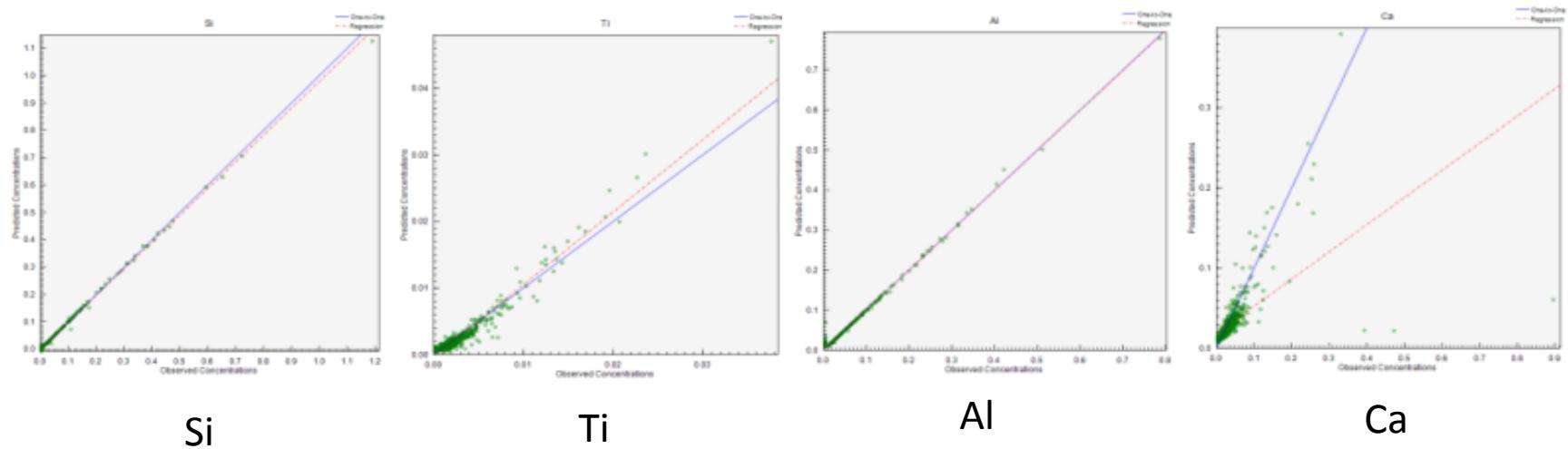
MONITORING LEBDEĆIH ČESTICA – PRIMJER 2

Analiza je ukazala na 6 značajnih Faktora (izvora onečišćenja PM_{2.5} frakcijom lebdećih čestica). Faktor 4 kojeg možemo nazvati Saharska prašina je potpuno samostalan i ne pokazuje ovisnost o ostalim faktorima (rotacija faktora ne pokazuje efekta)



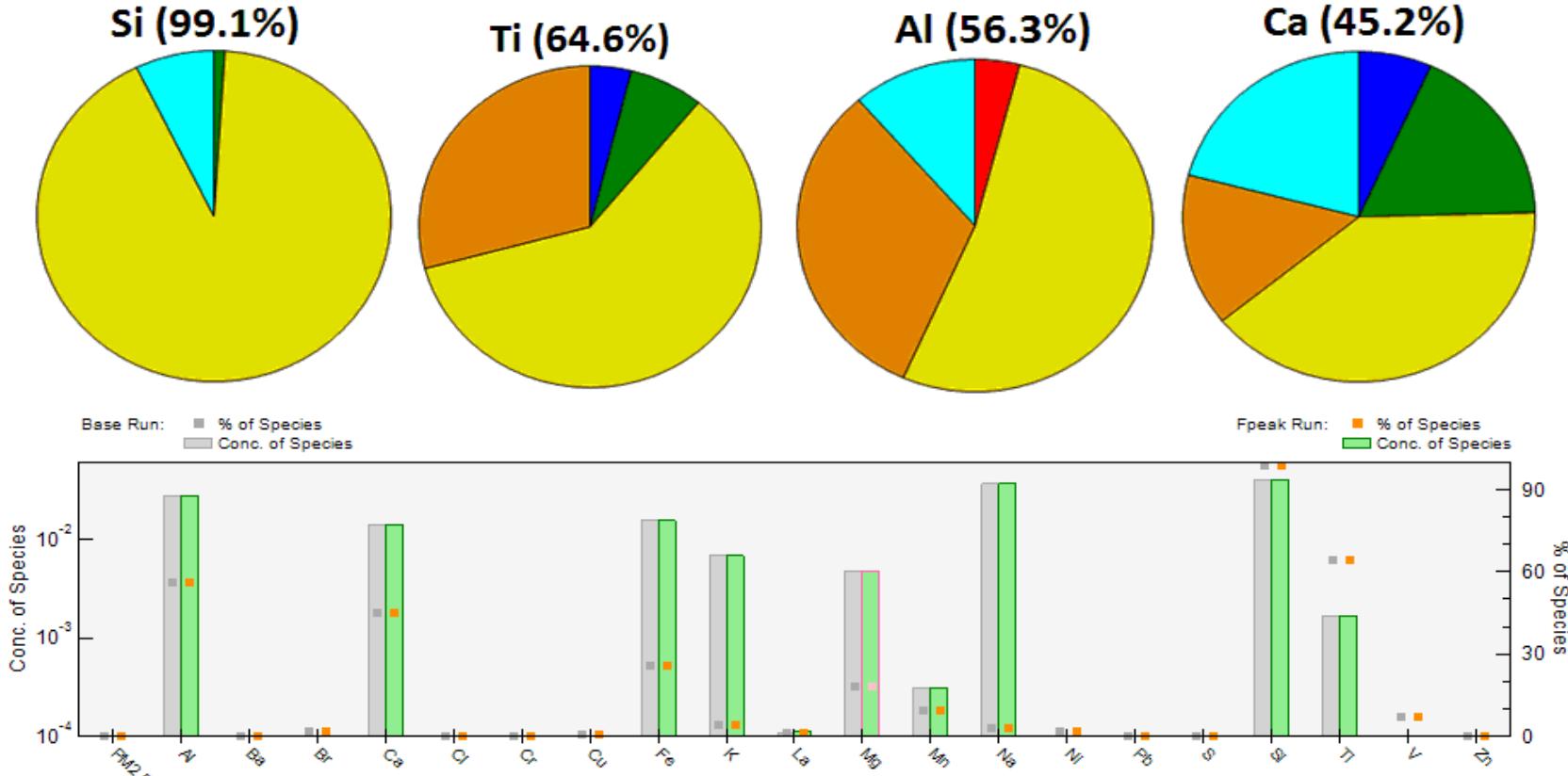
Ortogonalnost Faktora 4 na ostale faktore

MONITORING LEBDEĆIH ČESTICA – PRIMJER 2



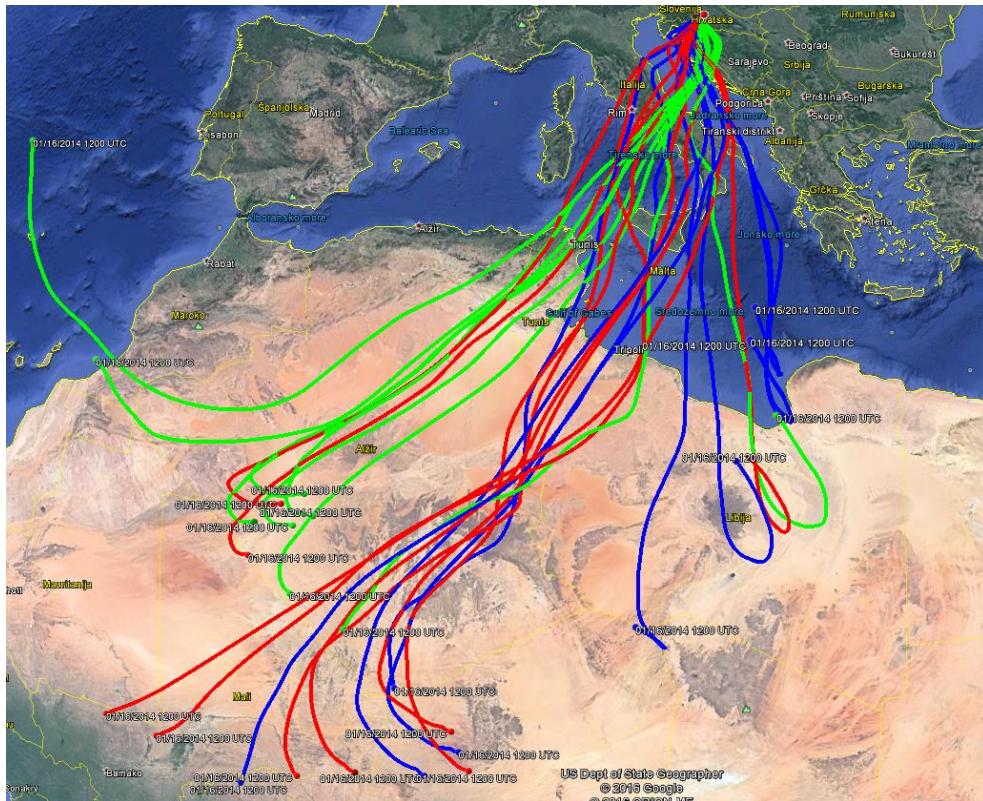
Slaganje modeliranih s izmjerenim vrijednostima za Si, Ti, Al i Ca

MONITORING LEBDEĆIH ČESTICA – PRIMJER 2



Postotak pojedinog elementa obuhvaćen Faktorom 4

MONITORING LEBDEĆIH ČESTICA – PRIMJER 2



Rezultati pokazuju da je u Zagrebu svaka pojava trajektorija zraka koje potječe iz Sjeverne Afrike (30-40 godišnje) registrirana kao doprinos sadržaju PM_{2.5} frakcije lebdećih čestica, predstavljajući transport onečišćenja iz Sahare u Srednju Europu.

Istraživanje je provedeno u sklopu projekta IAEA RER1/013 TC project "Supporting Air Quality Management (Phase II)"



EKONERG
ЕКОНЕРГ

Institut za energetiku i zaštitu okoliša



HVALA !