

Alternativne metode zbiranja prašnih delcev

B. Trivunčević¹, G. Jereb^{1,2}, M. Bizjak^{1,3}, S. A. Katz^{2,4}, B. Poljšak¹

¹ Univerza v Ljubljani, Zdravstvena fakulteta, Slovenija

² Univerza v Novi Gorici, Fakulteta za znanosti o okolju, Slovenija

³ Agencija Republike Slovenije za okolje, Ljubljana, Slovenija

⁴ Univerza Rutgers, Oddelek za kemijo, Camden, NJ 08102-1411, ZDA

IZVLEČEK

Razvita je bila nova naprava za spremljanje onesnaženosti okolja. Omogoča hitro oceno smeri razširjanja ter oceno količine lebdečih delcev in s tem identifikacijo glavnih emisijskih virov na opazovanem območju. Vzorčevalne naprave (tip plastična krogla) so bile postavljene 1,5 do 1,7 m nad zemljo na naseljenem področju okoli deponije premoga in železove rude v Luki Koper in izpostavljene okoljskim vplivom en mesec. Po izpostavitvi so bile krogle analizirane v laboratoriju. Število delcev je bilo določeno »ročno« s pomočjo povečevalnega stekla in računalniško s programom IT 3.0, in sicer za vse glavne smeri neba (S, J, V in Z) ter dodatno za smer deponije EET. Rezultati kažejo zelo dobro korelacijo med obema metodama štetja – ročno in računalniško.

IZHODIŠČA

Aerosoli so delci, ki so suspendirani v plinu in so lahko v trdni in/ali tekoči obliki. V zunanem zraku navadno predstavljajo kompleksne zmesi delcev, ki se med seboj razlikujejo glede na izvor, velikost, morfologijo delca in kemično sestavo (1, 2, 3, 4). Razlikujejo se tudi po aerodinamskih lastnostih delcev, ki so odvisne od njihove gostote, oblike ter linearne dimenzije (3, 4). Emitiranje delcev v atmosfero zato predstavlja nevarnost za zdravje ljudi in okolje. Glede na možne načine izločanja delcev iz atmosfere ločimo mokro in suho posedanje oziroma depozicijo. Suho posedanje je značilno za neposreden prenos plinskih in trdnih snovi na vegetacijo, vodo in druge zemeljske površine. Ta proces se lahko opravi kot posledica delovanja sile težnosti na delec, s pomočjo trkov, z razpršitvijo po površini, v primeru rastlin tudi s fiziološkim prevzemom atmosferskih onesnaževal. Mokro usedanje vključuje vse procese, v katerih so lebdeči plini in delci preneseni na zemeljsko površino v tekoči obliki (dež, sneg, megla, oblaki, rosa) (2, 3).

Emisije delcev v zraku, ki so lahko posledica različnih antropogenih (pa tudi naravnih) virov, predstavljajo moteč dejavnik predvsem v naseljenih območjih. Prebivalci naselij Ankaran in Rožnik, ki se nahajata v bližini Luke Koper, že vrsto let izražajo zaskrbljenost zaradi prašnih delcev, ki jih opažajo v svojem življenjskem okolju (slika 1) na različnih površinah, kot so fasade, perilo, zelenjava, sadje ipd. Zapršenost svojega bivalnega okolja povezujejo z dejavnostjo v Luki Koper, predvsem z dejavnostjo na terminalu EET (Evropski Energetski Terminal) za razsute tovore (manipulacija in skladiščenje premoga in železove rude). Na terminalu EET v Luki Koper se skladišči znatne količine premogove in



a



b

Slika 1: Naselje Rožnik (približno 1000 m od deponije premoga in železove rude) po močnem vetru, oktober 2006 (a - čista gaza, b - gaza po brisanju tal).

železove rude. Skladiščna zmogljivost znaša 500.000 ton za premog in 300.000 ton za železovo rudo. Deponijsko telo obsega 108.500 m² površine. Premog in železova ruda se skladiščita na prostem, izpostavljena različnim vremenskim vplivom.

Na obravnavanem območju so poleg deponije premoga in železove rude prisotni tudi drugi viri onesnaževal zraka: druga dejavnost znotraj Luke Koper (ladijski motorji, delovni stroji, pretovor sipkih tovorov - glinica, soja, žita..., pretovor avtomobilov itd.), veliko skladišče naftnih derivatov na Serminu in v bližnjem Trstu (emisije benzena, toluena), kemična industrija (emisije formaldehida, acetaldehida), sežigalnica odpadkov in železarna v Trstu (dioksini, furani, prašni delci), emisije iz prometa (tako tovarnega kot potniškega), prizemni ozon v poletnem obdobju, čezmejni transport onesnaženega zraka itd.

Goličnik in sodelavci (5) so za hitro določitev smeri in količine prašnih delcev razvili enostavno merilno napravo, ki temelji na odlaganju in/ali oprijemanju (adheziji) delcev na lepljivo površino merilne naprave. Na obravnavanem območju je bila izvedena študija (6) katere namen je bil ocena izbrane merilne naprave. Z omenjeno študijo je bilo dokazano, da je nova merilna naprava primerna za hitro oceno smeri glavnih virov onesnaževanja.

METODE

Za hitro oceno smeri in količine prašnih delcev, posledično tudi za določanje glavnih virov emisij prašnih delcev, je bila na obravnavanem območju razvita enostavna alternativna merilna naprava, ki temelji na osnovi odlaganja in/ali adhezije. Osnovna ideja je zbiranje trdnih delcev na lepljivo sredstvo (medicinski vazelin).



Slika 2: Alternativna merilna naprava (krogla)

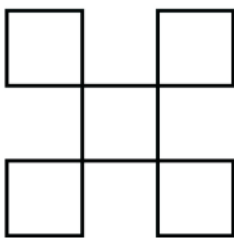


Slika 3: Lokacije merilnih mest in smer posamezne krogle orientirane proti deponiji EET

Uporabljena merilna naprava sestoji s plastične krogle premera 20 cm, premazana z medicinskim vazelinom (slika 2) in omogoča zbiranje prašnih delcev tako v vodoravni kot tudi v horizontalni smeri.

Merilne naprave so bile postavljene v okolico Luke Koper na višini 1,5 do 1,7 m (višina dihanja odrasle osebe). Vzorčevalna naprava je bila postavljena na merilna mesta 1, 2, 3, 4, 5 in 10. Na krogli so bile označene glavne smeri neba (S, J, V, Z) za lažjo interpretacijo dobljenih rezultatov. Poleg alternativne vzorčevalne naprave je bil postavljen tudi standardni Bergerhofferjev usedalnik. Lokacija merilnih mest z označeno smerjo proti deponiji premoga in železove rude v Luki Koper na posameznih kroglah je prikazana na sliki 3.

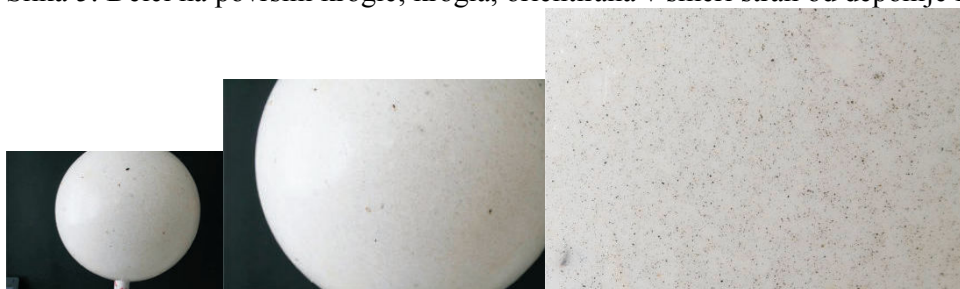
Premer krogle (merilna naprava) je 20 cm (0,20 m), izračunana površina krogle meri 1256 cm² (0,1256 m²). Po enomesečni izpostavljenosti je bila vsaka krogla analizirana v laboratoriju. Delci so bili prešteti ročno (s pomočjo povečevalnega stekla) na vsaki od glavnih smeri neba (S, J, V, Z) ter dodatno v smeri proti deponiji EET. Na posameznem mestu smo delce šteli s pomočjo posebne geometrijske šablone (slika 4).



Slika 4: Šablona za ročno štetje delcev



Slika 5: Delci na površini krogle; kroglja, orientirana v smeri stran od deponije EET



Slika 6: Delci na površini krogle; kroglja orientirana v smeri proti deponiji EET

Dodatno smo vsako kroglo fotografirali z digitalnim refleksno zrcalnim fotoaparatom Canon EOS 350D. Vzorci z obdobja od 15. oktobra do 15. novembra 2008 so bili prešteti tudi s pomočjo računalniškega programa, medtem ko smo ročno analizirali vzorce šestih enomesečnih obdobj.

Računalniški program, uporabljen za štetje delcev IT 3.0 (Image tool 3.0), verzija 3.0 je odprtokodni program za analizo in obdelavo slik. Program je razvila skupina strokovnjakov Don Wilcox, Brent Dove Doss McDavid in David Greer s centra za zdravstvene raziskave univerze v Teksasu (University of Texas Health Science center in San Antonio (UTHSCSA)). Program omogoča prikaz, urejanje, analizo, stiskanje, shranjevanje in tiskanje slik. S programom lahko obdelujemo različne oblike slikovnih zapisov, vključno z BMP, PCX, IF, GIF ter JPEG. Program omogoča avtomatsko štetje delcev (črne pike) na predhodno pripravljenih in obdelanih slikah. Rezultati štetja so bili predstavljeni kot število delcev na cm^2 .

Za analizo strukture in kemijske sestave delcev, ujetih na kroglo, je bil uporabljen presewni elektronski mikroskop (SEM/EDXS). Meritve so bile izvedene na Inštitutu Jožef Stefan v Ljubljani na Oddelku za nanostrukturne materiale. S krogle smo postrgali površino 1 cm^2 , vzorec prenesli na polikarbonatni membranski filter Macherey Nagel z velikostjo por $0,4 \mu\text{m}$ in premerom (2r) 47 mm in ga pripravili za analizo.

REZULTATI

Vizualna ocena

Na podlagi vizualne ocene krogel lahko zaključimo, da je vzorčevalna naprava relativno učinkovita. Na slikah 5 in 6 je predstavljena ista krogla po enomesečni izpostavljenosti na terenu. Na različnih smereh krogle se je ujelo različno število delcev, kar nam omogoča določitev smeri glavnih virov prašnih delcev na opazovanem območju. Da bi delce kvantitativno ovrednotili, so bili le-ti v nadaljevanju prešteti (število delcev na enoto površine).

Tabela 1: Število delcev na cm² (merilno mesto 1, 2, 3, 4, 5, 10)

	Merilno mesto 1					Merilno mesto 2					Merilno mesto 3				
	S	J	V	Z	JZ*	S	J	V	Z	JZ*	S	J	V	Z	JZ*
1.4. - 1.5.2008	14	72	29	158	155	22	14	18	134	76	2	89	19	31	155
1.5. - 1.6.2008	34	66	25	202	275										
1.8. - 1.9.2008	30	71	42	95	148	14	36	16	49	85	15	11	19	46	14
15.9. - 15.10.2008	28	34	85	160	/	- ni podatkov -									
15.10.- 15.11.2008	28	152	75	87	285	10	60	40	95	167	38	35	23	116	107
	Merilno mesto 4					Merilno mesto 5					Merilno mesto 10				
	S	J	V	Z	JZ*	S	J	V	Z	J*	S	J	V	Z	J*
1.4. - 1.5.2008	34	15	11	117	105	18	190	13	41	190	21	80	37	19	80
1.5. - 1.6.2008	- ni podatkov -					7	18	3	14	18	- ni podatkov -				
1.8. - 1.9.2008	56	21	28	73	47	23	32	23	16	32	11	32	36	23	32
15.9. - 15.10.2008	43	49	41	22	/	- ni podatkov -									
15.10.- 15.11.2008	29	45	34	63	83	33	125	18	25	125	33	116	45	16	116

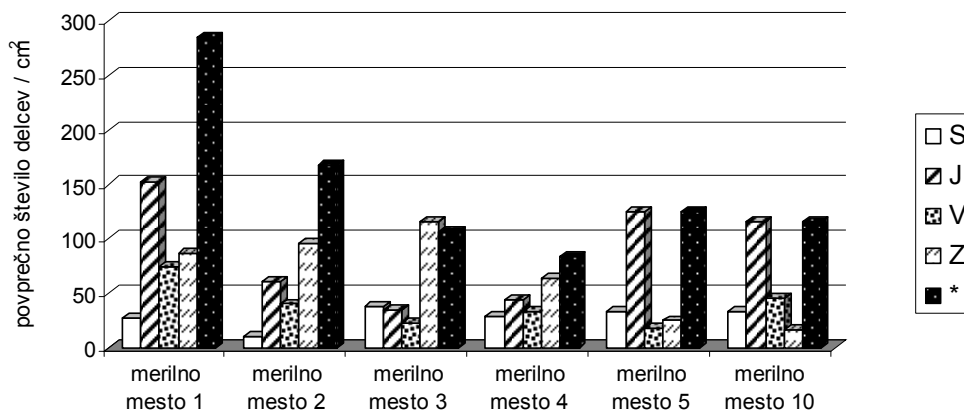
Ročno štetje

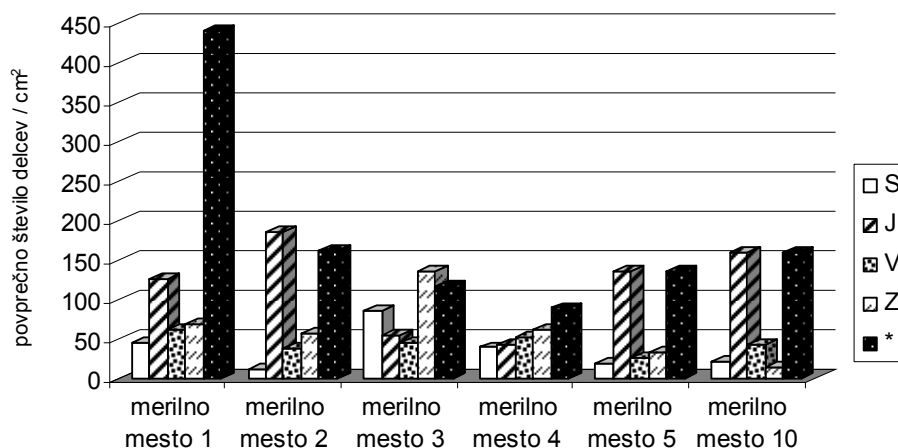
Z rezultatov lahko razberemo, da delci na krogli (alternativni merilnik) niso enakomerno razporejeni. Ugotavljamo, da je na posameznih delih krogle lahko tudi do desetkrat več delcev kot na drugih delih. Največ prešteti delcev smo zaznali na straneh krogel, ki so orientirane v smeri Luke Koper in deponije EET (tabela 1). V tabeli 1 in slikah 7 in 8 so z * (zvezico) označene smeri krogle, obrnjene proti deponiji premoga in železove rude v Luki Koper.

Z uporaba računalniškega programa IT 3.0 so bili obdelani le vzorci zbrani v časovnem obdobju od 15. oktobra do 15. novembra 2008. Na sliki 7 so zato prikazani rezultati ročnega štetja za enako časovno obdobje.

Štetje delcev s pomočjo programske opreme

S programsko opremo IT 3.0 so bili prešteti delci z vzorcev, zbranih v obdobju od 15.10. do 15.11.2008. Rezultati so prikazani na Sliki 8.


 Slika 7: Število delcev na cm² – alternativna merilna naprava (krogla) – ročno štetje



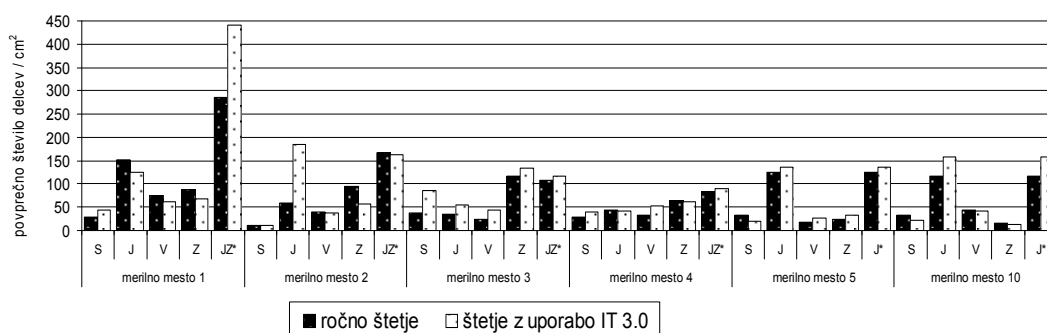
Slika 8: Število delcev na cm² – alternativna merilna naprava (krogla) – elektronsko štetje

Primerjava obeh uporabljenih metod

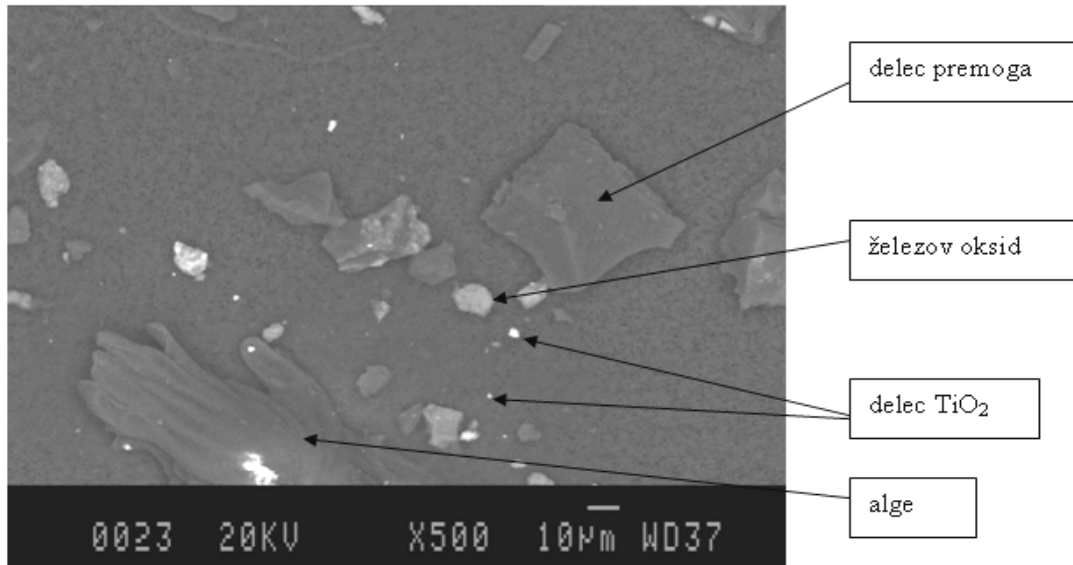
Trend številčne gostote ujetih prašnih delcev, prešteti s pomočjo računalniške programske opreme, je primerljiv s trendom ročno prešteti prašnih delcev (slika 7 in 8). Rezultati prikazujejo zelo dobro povezavo med obema uporabljenima metodama (ročnim in elektronskim štetjem). Kljub temu ugotovljamo, da je elektronsko štetje natančnejše (prešteje več delcev) v primerih, ko je bilo število ujetih delcev na 1 cm² zelo veliko. Tako razliko v rezultatih pojasnjujemo s tem, da je ročno štetje močno ovirano takrat, kadar je zasičenost s prašnimi delci velika. V takih primerih je napaka ročnega štetja lahko večja. Tak primer je opaziti na merilnem mestu 1, kjer je programska oprema preštela za 35% več delcev kot jih je bilo prešteti ročno (slika 9). Kljub temu trend številčne gostote ostaja enak, zato lahko sklepamo, da nam zadostne rezultate lahko poda tudi ročno štetje.

Identifikacija morfološke in kemijske sestave delcev z uporabo elektronskega mikroskopa SEM / EDXS

Z uporabo elektronskega mikroskopa smo na vzorcih, zbranih na površini krogle, identificirali posamezne prašne delce. Kot je razvidno s slike 10, so na krogli ujeti delci premoga, železovega oksida, titanovega oksida ter tudi delci naravnega organskega izvora iz okolja. Predvsem delce premoga, pa tudi delce železovega oksida lahko povežemo z dejavnostjo na terminalu za rzsute tovore in deponiji premoga in železove rude na EET v Luki Koper.



Slika 9: Primerjava med ročnim in elektronskim štetjem prašnih delcev



Slika 10: Vzorec s krogle pod elektronskim mikroskopom

RAZPRAVA

Kot je razvidno s slik 5 in 6, pa tudi s tabele 1, lahko z uporabo enostavne merilne naprave potrdimo vpliv deponije premoga in železove rude v Luki Koper na okolico (povečano število prašnih delcev v okolici). Poleg tega nam analiza z elektronskim mikroskopom potrди povezavo med zbranimi vzorci prašnih delcev in dejavnostjo, ki se odvija na EET.

Vizualna ocena krogel nam omogoča vrednotenje intenzivnosti pojavljanja posameznih prašnih delcev ter hitro oceno smeri, v kateri se nahajajo glavni izvori le-teh. Za natančnejše vrednotenje in primerjavo rezultatov je potrebna dodatna ocena. Enostavna metoda, ki to omogoča, je ročno štetje delcev s pomočjo povečevalnega stekla. Na podlagi rezultatov lahko sklepamo, da maksimalno število delcev, prešteti na krogli, prihaja s smeri deponije EET.

Z uporabo predstavljene metode smo zajeli in ovrednotili predvsem večje delce (ang. coarse particles), ki se zaradi svoje velikosti in posledično specifičnih aerodinamskih značilnosti po emitiranju relativno hitro (blizu vira) posedajo in s tem izločijo iz atmosfere. Zato dejstvo, da se število ujetih delcev z razdaljo od EET zmanjšuje, ni presenetljivo. Na merilnih mestih 1, 2 in 3, ki so bila postavljena v linearni smeri na različnih razdaljah, je možno izpostaviti povezavo med številom ujetih delcev in oddaljenostjo od EET. Največje število delcev je bilo odkritih na merilnem mestu 1 (najbližje deponiji), najmanjše število delcev na merilnem mestu 3, ki je od deponije premoga najbolj oddaljeno.

Da bi ocenili učinkovitost metode ročnega štetja smo rezultate ročnega štetja vzorcev, zbranih v obdobju od 15.10.2008 do 15.11.2008, primerjali z rezultati štetja delcev z uporabo programske opreme IT 3.0. Ugotavljamo, da bistvene razlike med obema uporabljenima metodama štetja ni bilo opaziti. V obeh primerih rezultati kažejo enak trend številčne gostote ujetih delcev na posameznih delih krogel. V primeru velikega števila delcev je elektronsko štetje preciznejše, saj je pri velikem številu delcev napaka ročnega

štetja lahko večja. Ker je osnovni namen uporabe enostavnih vzorčevalnih naprav (tudi alternativnega merilnika, predstavljenega v prispevku) določiti najprimernejšo lokacijo za postavitev dražjih, zahtevnejših vzorčevalnih naprav (npr. merilnih postaj ali mobilne ekološko - meteorološke postaje), je najpomembneje določiti smer, iz katere prihaja največ prašnih delcev. Z uporabo večjega števila enostavnih merilnikov lahko hitro, enostavno in poceni analiziramo izbrano območje ter tako izberemo najustreznejšo lokacijo. Te podatke pa nam podata tako metoda ročnega štetja kot tudi metoda elektronskega štetja, glede na namen uporabe podatkov rezultati ročnega štetja povsem zadoščajo.

Z uporabo vizualne ocene lahko torej ocenimo smer in lokacijo največjih prašnih emisij, izbrani merilnik omogoča tudi nadaljnje, podrobnejše analize. Uporaba metod ročnega in elektronskega štetja delcev nam omogoča ovrednotenje in medsebojno primerjavo rezultatov za daljše časovno obdobje. Tako zbrani podatki nam podajo grobo oceno o obremenjevanju okolja s prašnimi delci (zlasti z večjimi), kakor tudi podatke o najprimernejši lokaciji za postavitev bolj kompleksnih merilnih naprav, namenjenih natančnejšemu spremljanju kakovosti oziroma stanja okolja.

SKLEP

Sodeč po rezultatih lahko sklepamo, da je nova vzorčevalna naprava primerna za hitro oceno smeri večjih virov emisij prašnih delcev. Ker so stroški omenjene vzorčevalne naprave relativno nizki, bi bilo smiselno uporabiti več takih naprav istočasno. Na ta način bi lahko hitro določili najbolj reprezentativno lokacijo za postavitev bolj zahtevnih, natančnih in dragih merilnih naprav namenjenih monitoringu kakovosti zraka.

Drugi cilj izvedene študije je bil primerjava metode ročnega štetja z metodo elektronskega štetja zbranih delcev na krogli z namenom, da bi izbrali metodo, ki natančneje poda število zbranih delcev. Na podlagi rezultatov lahko trdimo, da zagotavlja zadovoljive rezultate že metoda ročnega štetja, ki je tudi enostavnejša. V prihodnosti bi bilo smiselno preveriti povezavo med številom delcev, ujetih na površino krogle in standardnimi metodami zbiranja prašnih delcev, kot je metoda spremljanja prašne usedline (7) ali koncentracija delcev PM₁₀.

LITERATURA

1. WHO (2003). Health aspects of air pollution with particulate matter, ozone and nitrogen dioxide. Report on a WHO Working Group. Bonn, 13–15 January 2003 <http://www.euro.who.int/document/e79097.pdf>. <12.11.2009>
2. Vallero D (2008). Fundamentals of air pollution. 4th ed. Amsterdam (etc.): Elsevier, Academic Press, 313 - 355.
3. Godish T (2004). Air quality. 4th ed. Boca Raton: Lewis.
4. Baron PA, Willeke K (2005). Aerosol measurement: principles, techniques, and applications. 2nd ed. Hoboken: Wiley Interscience.
5. Goličnik B, Jereb G, Poljšak B, Planinšek A, Katz SA, Bizjak M (2008). Alternative method for quick estimation of direction and quantity of particulate matter by its deposition. EAC 2008, Thessaloniki.

6. Goličnik B (2008). Razvoj alternativnega postopka zbiranja trdnih delcev v ozračju, ki bi omogočal hitro oceno smeri potencialnih virov onesnaženja = Development of the alternative method for collecting solid air-borne particles that enables quick assessment of potential pollution sources. Ljubljana, diplomsko delo - diploma thesis, VŠZ.
7. VDI und DIN Guideline VDI 2119 part 2 (1996) - Measurement of Particulate Precipitations – Determination of dust precipitation with collecting pots made of glass.