

LEBDEĆE ČESTICE I KRUTI  
FLUORIDI U ZRAKU POGONA ELEKTROLIZE  
I LJEVAONICE TVORNICE ALUMINIJA SIBENIK

K. Šega i N. Kalinić

*Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada, Zagreb*

*(Primitljeno 15. X. 1985)*

Radi utvrđivanja udjela respirabilnih čestica koje sadrže fluoride u lebdećim česticama kojima su izloženi radnici tvornice aluminijske, izvršena su mjerenja raspodjele mase čestica po veličini, kao i sadržaju fluorida po frakcijama veličine čestica stacionarnim uređajima u pogonima ljevaonice i elektrolize te osobne izloženosti radnika u pogonu elektrolize respirabilnim česticama i fluoridima u njima.

Rezultati pokazuju da su masene koncentracije ukupnih lebdećih čestica do 10 puta veće u pogonu elektrolize negoli u pogonu ljevaonice, ali s nešto manjim relativnim udjelom respirabilnih čestica. Sadržaj fluorida je veći u česticama manjim od 3  $\mu\text{m}$ .

Sadržaj fluorida u uzorcima dobivenim upotrebom osobnih sakupljača (8%) bio je značajno veći negoli u respirabilnoj frakciji uzoraka sakupljenih stacionarnim uređajima (2,6%), što se može pripisati aktivnom sudjelovanju radnika u operacijama pri kojima se stvara najveće onečišćenje zraka lebdećim česticama koje sadrže fluoride (rad na vozilu, mijenjanje anoda, probijanje peći itd.).

Na temelju orijentacijskog mjerenja količine taložne tvari procijenjeno je da se u toku dana u hali elektrolize istaloži oko 5 tona krutih tvari. Veći dio već nataloženih čestica se uslijed strujanja zraka i kretanja vozila ponovno redispersira i značajno doprinosi onečišćenju zraka u pogonu. Preporučuje se sanirati pogon redovitim čišćenjem površina i ograđivanjem elektrolitičkih peći.

Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada iz Zagreba provodi mjerenja izloženosti radnika Tvornice aluminijske u Šibeniku fluoridima u zraku od 1976. godine (1). Istraživanja su obuhvaćala mjerenja osobne izloženosti plinovitim fluoridima, određivanje sadržaja fluorida u lebdećim česticama, te određivanje koncentracije fluorida u mokraći radnika uzetoj prije početka, odnosno poslije završetka radne smjene.

Da bi se utvrdio udio respirabilnih čestica u ukupnoj masi lebdećih čestica, te sadržaj fluorida u njima, u listopadu 1984. godine započela su mjerenja raspodjele lebdećih čestica po veličini i određivanja sadržaja fluorida u pojedinim frakcijama veličina. Podaci o ovakvoj ili sličnoj vrsti istraživanja izloženosti radnika fluoridima u zraku nisu pronađeni u dostupnoj literaturi. Ujedno je započeto mjerenje osobne izloženosti radnika respirabilnim česticama, te određivanje sadržaja fluorida u tim česticama.

#### SAKUPLJANJE UZORAKA

Uzorci su sakupljeni u Ražinama tijekom tjedan dana u prvoj i drugoj radnoj smjeni.

Na dvije lokacije u pogonu elektrolize, te na jednoj u pogonu ljevaonice postavljeni su uređaji kojima se uzorci ukupnih lebdećih čestica u toku sakupljanja raspodjeljuju s obzirom na veličinu čestica. Vrijeme sakupljanje uzoraka u hali elektrolize kretalo se od 40 do 100 minuta, dok su uzorci u hali ljevaonice zbog niže koncentracije lebdećih čestica u zraku sakupljeni za vrijeme od 800 do 1050 minuta. Ukupno je sakupljeno 13 uzoraka, 10 u hali elektrolize i 3 u hali ljevaonice. Uzorci su sakupljeni u različito doba dana neovisno o proizvodnom procesu.

Skupina od 24 radnika nosila je osobne sakupljače uzoraka. Uzorci su sakupljeni u toku cijele radne smjene.

Za sakupljanje uzoraka taložne tvari postavljeno je pet sedimentatora u hali elektrolize na međusobnom razmaku od približno 100 metara. Vrijeme sakupljanja uzoraka iznosilo je 12 sati.

#### MJERNI UREĐAJI I METODE

Za određivanje masene raspodjele čestica po veličini, kao i sadržaja fluorida u pojedinim frakcijama veličina koristili smo se Andersеноvim kaskadnim impaktorima kojima se uzorak aerosola razdvaja na šest frakcija s obzirom na veličinu čestica u granicama:  $< 1,0$ ;  $1,0-2,0$ ;  $2,0-3,3$ ;  $3,3-5,5$ ;  $5,5-9,2$  te  $> 9,2 \mu\text{m}$  (2).

Razdvajanje čestica s obzirom na veličinu provodi se u prvih pet stupnjeva uređaja impakcijom čestica na podlogu, dok je zadnji, završni stupanj separacije filtracija preostalog aerosola. Navedene granice veličina čestica za pojedine stupnjeve separacije definirane su ekvivalentnim aerodinamičkim promjerom (EAP) čestice, koje vjerojatnost prolaza kroz dani stupanj separacije iznosi 0,5. Protokol zraka kroz uređaj iznosi 28,2 L/min.

Kao podloge za impakciju, odnosno filtri za završno filtriranje aerosola, upotrijebljeni su membranski celulozni filtri, proizvodnje Millipore, tip AA. Filtri i podloge za implikaciju čestica kondicionirani su u

eksikatoru tijekom 24 sata, prije i nakon uzimanja uzoraka, na relativnu vlažnost od približno 8%. Kao sredstvo za sušenje zraka upotrijebljen je  $\text{CaCl}_2$ . Mase uzoraka određivane su vaganjem na semimikrovagi Sartorius 2474.

Za određivanje osobne izloženosti respirabilnoj frakciji aerosola upotrijebljeni su osobni sakupljači proizvodnje Casella sa ciklonom za odjeljivanje ner respirabilne frakcije. Respirabilna frakcija sakupljena je na membranski filter uz protok zraka kroz uređaj od 1,9 do 2,0 L/min. Uzorci su također kondicionirani na konstantnu relativnu vlažnost na ranije opisani način. Mase uzoraka određivane su vaganjem na mikrovagi proizvodnje Cahn, Model G-2.

Uzorci taložne tvari hvatani su u sedimentacijske posude presjeka  $3,85 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$ . Nakon sakupljanja uzorci su kondicionirani na konstantnu vlažnost na ranije opisani način. Mase uzoraka određivane su vaganjem na semimikrovagi Sartorius 2474.

### REZULTATI

Na tablici 1. prikazane su srednje vrijednosti i standardne devijacije masenih koncentracija lebdećih čestica u  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , postotak mase u pojedinom području veličina čestica te postotak mase ispod određene

Tablica 1.  
Srednje vrijednosti koncentracija lebdećih čestica (C) u pogonima elektrolize (n = 10) i pogonu ljevaonice (n = 3)

Veličina čestica ( $\mu\text{m}$ )	Elektroliza			Ljevaonica		
	C ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	%	kum. %	C ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	%	kum. %
<1,0	4858 ± 1950	26,9	26,9	273 ± 104	15,0	15,0
1,0–2,0	769 ± 243	4,3	31,2	234 ± 37	12,9	27,9
2,0–3,3	1287 ± 590	7,1	38,3	185 ± 32	10,2	38,1
3,3–5,5	1562 ± 845	8,6	46,9	259 ± 47	14,2	52,3
5,5–9,2	2056 ± 1104	11,4	58,3	332 ± 39	18,2	70,5
>9,2	7552 ± 2236	41,7	100,0	538 ± 98	29,5	100,0
<b>Ukupno</b>	<b>18084</b>			<b>1821</b>		
Medijan ( $\mu\text{m}$ )	6,4			5,0		
Sg	nemoguće ocijeniti			4,8		
Raspodjela čestica po veličini	unimodalna MOD 30–40 $\mu\text{m}$			unimodalna MOD 8–12 $\mu\text{m}$		

granice veličina čestica. Analizirano je 10 skupova uzoraka sakupljenih u pogonu elektrolize te tri skupa uzoraka aerosola sakupljenih u pogonu ljevaonice. Raspodjele čestica po veličini su u oba pogona unimodalne s vrijednostima moda u području 30—40  $\mu\text{m}$  u pogonu elektrolize odnosno 8—12  $\mu\text{m}$  u pogonu ljevaonice. Raspodjela je u pogonu ljevaonice uža s vrijednošću medijana od 5  $\mu\text{m}$  i standardnom geometrijskom devijacijom od 4,8. Raspodjela čestica po veličini u pogonu elektrolize pokazuje vrijednost medijana od 6,4  $\mu\text{m}$  i mnogo je položajna sa standardnom geometrijskom devijacijom koju je iz dobivenih podataka nemoguće ocijeniti.

Ukupne koncentracije aerosola su u pogonu elektrolize približno 10 puta više od onih izmjerenih u pogonu ljevaonice.

Tablica 2.

Srednje vrijednosti koncentracije krutih fluorida izražene kao apsolutne vrijednosti ( $C_F$ ) i kao postotak u odnosu na lebdeće čestice

Veličina čestica ( $\mu\text{m}$ )	Elektroliza		Ljevaonica	
	$C_F$ ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	%	$C_F$ ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	%
<1,0	61,1	1,2	6,0	2,2
1,0—2,0	77,9	10,1	9,9	4,2
2,0—3,3	45,5	3,5	6,3	3,4
3,3—5,5	38,8	2,5	3,3	1,3
5,5—9,2	35,4	1,7	4,2	1,3
>9,2	36,4	0,5	2,8	1,9
Ukupno	295,1	1,4	31,5	1,8

Na tablici 2. prikazane su ukupne koncentracije fluorida, njihove koncentracije u pojedinim frakcijama veličina čestica, te udio koncentracije fluorida u koncentraciji aerosola i po frakcijama i ukupno, izražen u postocima. U oba se pogona pokazalo da čestice s najvišim sadržajem fluorida leže u području veličine od 1 do 3  $\mu\text{m}$ . Omjer ukupnih koncentracija fluorida u česticama između pogona elektrolize i pogona ljevaonice iznosi približno 9 : 1. Sadržaj fluorida u lebdećim česticama izražen u postotku je nešto veći u pogonu ljevaonice, a njegov raspodjela, s obzirom na veličine čestica, mnogo blaža.

Preračunavanje ovih rezultata u respirabilnu frakciju preko krivulje kojom se definira separacija ciklonom upotrijebljenim u osobnim sakupljačima daje rezultate prikazane na tablici 3. Ujedno su prikazani udjeli respirabilnih frakcija prema ukupnoj koncentraciji za lebdeće čestice i sadržaj fluorida u česticama u oba pogona. Udjeli su izraženi u postocima.

Tablica 3.  
Rezultati analize uzoraka sakupljenih stacionarnim uređajima

	Elektroliza	Ljevaonica
Ukupne čestice (UČ) $\mu\text{g m}^{-3}$	18084	1821
Respirabilne čestice (RČ) $\mu\text{g m}^{-3}$	7806	859
Fluoridi u ukupnim česticama (UF) $\mu\text{g m}^{-3}$	295	33
Fluoridi u respirabilnim česticama (RF) $\mu\text{g m}^{-3}$	201	23
RČ/UČ (%)	43,2	46,6
RF/UF (%)	68,1	71,4
UF/UČ (%)	1,6	1,8
RF/RČ (%)	2,6	2,7

Rezultati koncentracija respirabilnih lebdećih čestica i sadržaja fluorida u njima dobiveni upotrebom osobnih sakupljača prikazani su na tablici 4.

Ukupno su obrađena 24 para rezultata. Vidljiva su relativno velika odstupanja od srednje vrijednosti, što je posljedica nejednakog perioda vremena provedenog u hali elektrolize za vrijeme smjene u kojoj je nošen sakupljač. Srednji omjer u iznosu od 0,29 : 1 između koncentracija lebdećih čestica dobivenih osobnim sakupljačima i stacionarnim uređajima govori o postotku vremena provedenog u hali za vrijeme smjene i prema našim opažanjima odgovara stvarnom stanju. Razlike između pojedinih poslova i mikrolokacija unutar hale na kojima se ti poslovi obavljaju doprinose daljnjem raspršenju rezultata. Sadržaj fluorida u respirabilnim česticama je viši od onog dobivenog prera-

Tablica 4.  
Koncentracije respirabilnih lebdećih čestica i sadržaja fluorida u njima dobivene osobnim sakupljačima ( $\mu\text{g m}^{-3}$ ) (n = 24)

Koncentracija respirabilnih čestica	2242 ± 1596
Sadržaj fluorida	177 ± 72
RF/RČ	7,9%
Koeficijent korelacije	0,403 (P < 0,05)
Koeficijent determinacije	0,162

Jednadžba regresije  $Y = 0,0788 X$

X — respirabilne čestice

Y — sadržaj fluorida

čunavanjem rezultata stacionarnih sakupljača. Mogući razlog za to je aktivno sudjelovanje radnika u operacijama pri kojima se razvija prašina bogatija fluoridima (rad na vozilu, mijenjanje anoda, probijanje peći, itd.).

Rezultati određivanja taložne tvari u  $\text{g m}^{-2} \text{ dan}^{-1}$  prikazani su na tablici 5.

Tablica 5.  
*Iznosi sedimenta u hali elektrolize*

Uzorak	$\text{g m}^{-2} \text{ dan}^{-1}$
1.	228,9
2.	99,8
3.	86,6
4.	34,2
5.	233,6
Prosjek	136,6

Raspon rezultata je velik, a srednja vrijednost koncentracije sedimenta iznosi  $137 \text{ g m}^{-2} \text{ dan}^{-1}$ . Taloženje prašine je nejednoliko i ovisi kako o blizini izvora onečišćenja tako i o lokalnom strujanju zraka. Orijehtacijski proračun pokazuje da se u hali elektrolize dnevno istaloži oko pet tona prašine.

#### RASPRAVA I ZAKLJUČCI

Mjerenja pokazuju izrazito visoke koncentracije lebdećih čestica u hali elektrolize, približno devetput više od onih izmjerenih u hali ljevaonice. Masene raspodjele čestica po veličini se međusobno razlikuju, kao i sadržaj fluorida u česticama za različite frakcije veličina čestica, što je očito posljedica različitosti proizvodnih procesa.

Rezultati mjerenja osobne izloženosti radnika respirabilnim lebdećim česticama i fluoridima, dobiveni upotrebom osobnih sakupljača, razlikuju se od rezultata mjerenja pomoću stacionarnih uređaja.

Moguće objašnjenje se krije u položaju stacionarnih uređaja koji su bili smješteni uz zid na mjestima s vrlo dobrim vertikalnim provjetranjem, kako bi se izbjeglo ometanje radnika u radu i kretanje vozila unutar hale. Mikrolokacije na kojima borave radnici najčešće su uz same peći te se može zaključiti da je aerosol na tim mjestima bogatiji fluoridima. Ujedno treba naglasiti, što je već spomenuto, da radnici borave u hali prilikom probijanja peći i mijenjanja anoda što uzrokuje povišenje koncentracije aerosola, dok ostatak vremena pro-

vode na otvorenom ili u pokrajnjim prostorijama gdje je koncentracija aerosola mnogo niža. Kao što je već navedeno uzorci sakupljeni stacionarnim uređajima uzimani su neovisno o proizvodnom procesu.

U svrhu potvrđivanja ovih zaključaka i dobivanja reprezentativnijih rezultata potrebno je ubuduće izvoditi mjerenja pomoću stacionarnih i osobnih sakupljača na približno istim lokacijama i vremenski sinkronizirano. Radi upoznavanja raspodjele čestica u submikronskom području trebalo bi provesti mjerenja brojčanih koncentracija čestica optičkim brojačem te ujedno provesti mjerenje vremenskih varijacija koncentracija s obzirom na proizvodni proces.

Orijentacijska mjerenja pokazuju da masa sedimentirane tvari na ukupnu površinu hale elektrolize iznosi u jednom danu približno 5 tona. Uslijed dobrog provjetravanja hale i kretanja vozila unutar nje logično je pretpostaviti da se velik postotak istaložene prašine ponovno redispergira te na taj način daje značajan doprinos koncentraciji lebdećih čestica u zraku, kako merespirabilnoj tako i njezinoj respirabilnoj frakciji. Periodičko uklanjanje nataložene tvari vjerojatno bi znatno utjecalo na koncentraciju aerosola, dok bi ograđivanje (zatvaranje) peći bilo najbolji mogući način svođenja koncentracije lebdećih čestica u hali na iznose koji bi zadovoljavali higijenske norme.

#### Literatura

1. Kalinić, N.: Ocjena izloženosti fluoridima u radnoj atmosferi. Magistarski rad, Medicinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb 1982.
2. Andersen, A. A.: A Sampler for Respiratory Health Hazard Assessment. Am. Ind. Hyg. Assoc. J., 27 (1966) 160—165.
3. NIOSH Manual of Analytical Methods: Fluoride in Air. U. S. Department of Health, Education and Welfare, Cincinnati, Ohio 1974, 117—1, 117—6.

#### Summary

##### SUSPENDED PARTICULATE MATTER AND FLUORIDE CONTENT IN THE AIR IN AN ALUMINIUM PLANT

The purpose of this work was to evaluate occupational exposure to suspended particulate matter and fluorides in the air in workers employed in an aluminium plant. The concentration of total suspended particulate matter and the particle size distribution by mass, as well as fluoride content in each particle size fraction were determined using stationary devices located in the electrolysis and foundry sections. Personal exposure to the respirable particle fraction and its fluoride content were determined using personal samplers worn by the workers in the electrolysis section. The concentration of total suspended particulate matter in the electrolysis section was nine times as high as the concentration in the foundry section, but the fluoride content was slightly lower. Particles less than 3  $\mu\text{m}$  in

size had a higher fluoride content than the larger ones. The fluoride content in samples collected by personal samplers was higher (8%) compared with those collected by stationary devices (2.6%). This was probably the result of workers' activities in the production section during periods of highest emission of fluoride rich dust (driving vehicles, changing anodes, puncturing electrolytic beds, etc.).

The measurement of the settled dust showed that approximately five tons of dust settles each day on the total surface of the production section. Most of this dust is redispersed into the air, and highly contributes to the total particle concentration in the air. Better housekeeping and enclosure of furnaces is recommended.

*Institute for Medical Research  
and Occupational Health, Zagreb*

*Received for publication  
October 15, 1985*