

ZAPRAŠENOST U FABRICI ZA PRERADU HRIZOTILNOG AZBESTA: REZULTATI SIMULTANOG MJERENJA SA VIŠE METODA

B. Peruničić i Lj. Jablanov

Institut za medicinu rada i radiološku zaštitu »Dr Dragomir Karajović«, Beograd

(Priljeno 10. IV. 1987)

U dva navrata, zimi i ljeti, u fabrici koja izrađuje tekstilne i frikционе proizvode od azbesta (hrizotil) izvršeno je mjerenje koncentracije prašine u vazduhu radne sredine sa dvije granulometrijske (koniometar i termoprecipitator) i dvije gravimetrijske metode (Stapex pumpa i SPG–210).

Nadene vrijednosti parametara zaprašnosti prelaze važeće MDK (JUS) u svim odjeljenjima fabrike izuzev tkačnice.

Broj vlakana (dužina veća od 5 i dijаметar manji od 3 mikrometra) i broj čestica u jedinici vazduha određivanih termoprecipitatorom i koniometrom značajno korelira. Takođe, značajno korelira broj vlakana i broj čestica u jedinici vazduha unutar mjerenja sa termoprecipitatorom i koniometrom. Nadena značajna korelacija odnosi se samo na tekstilni pogon.

Procjena, za date izvore prašine i tip azbesta, na osnovu jednačina regresije se grubo može iskazati sa četiri odnosa:

- (1) 7 vlakana/ccm (TP) = 5 vlakana/ccm (K),
- (2) 550 čestica/ccm (TP) = 450 čestica/ccm (K),
- (3) 5 vlakana/ccm (TP) = 200 čestica/ccm (TP) i
- (4) 5 vlakana/ccm (K) = 280 čestica/ccm (K).

Gravimetrijska mjerenja azbestne prašine u vazduhu zahtijevaju dalju evaluaciju u našim uslovima.

Iako mjerenja prašine u vazduhu radne sredine prate klasična pitanja (gdje, čime, kada, kako i koliko dugo uzimati uzorak?), njihovu suštinu određuje cilj i svrha mjerenja (1). Od tri osnovna cilja:

- utvrđivanja izvora prašine,
- procjene zaprašnosti u odnosu na MDK i za »vagane prosječne ekspozicije« grupa i pojedinaca pri epidemiološkim istraživanjima odnosa »doza – biološki učinak«, odnosno »ekspozicija – odgovor«, i
- kontrole i praćenja mjera zaštite i tehničkih inovacija, zavise i odgovori na klasična pitanja.

Evaluacija zaprašnosti vazduha u radnoj sredini gdje se stvara ili nakuplja azbestna prašina ozbiljan je problem higijene rada i profesionalne epidemiologije zbog prisutnih razlika u tehnikama uzimanja uzoraka vazduha, različitih analitičkih tehnika, različitog iskazivanja nivoa zaprašnosti i različitih, često i zastarjelih, higijenskih standarda. Problem

je dodatno opterećen saznanjima da se biološki učinak azbesta vezuje za vlakna određene veličine i oblika (2, 3). Naime, specifične fizičko-hemijske osobine azbestne prašine (oblik, veličina, specifična zapremina i površina, rastvorljivost, sastav i sl.) zavise od tipa azbesta i izvora azbestne prašine (4, 5), a uopšte, od fizičko-hemijskih osobina prašine zavisi njen ulazak, zadržavanje i klirens u respiratornom traktu (6), odnosno biološki učinak.

Razvoj novih metoda uzimanja uzoraka vazduha i tehnika mjerenja azbestne prašine (7, 8) zahtijeva unifikaciju ili bar korespondenciju njihovih rezultata (9), pri čemu su bitne i unificirane metode statističke obrade. Epidemiološka istraživanja, posebno retrospektivnog karaktera, koja kvantifikuju profesijski rizik traže pouzdane i komparabilne podatke o ekspoziciji, za što je neophodno iznalaženje brojčanih odnosa (i njihove jačine) između rutinskih i preporučenih metoda.

CILJ

Istovremenim uzimanjem uzorka vazduha sa četiri instrumenta i određivanjem parametara zaprtašenosti u fabrici koja izrađuje azbestno-tekstilne i azbestno-frikcione proizvode od hrizotila željeli smo da:

- utvrdimo nivoe zaprtašenosti po pojedinim pogonima i njihov odnos sa MDK (JUS) i
- iznađemo odnose definisanih parametara zaprtašenosti između primijenjenih mjernih tehnika.

MATERIJAL I METOD RADA

Ispitivanje zaprtašenosti obavljeno je sa dvije granulometrijske i dvije gravimetrijske metode u zimskom i ljetnjem periodu. Uzorci vazduha za gravimetrijska mjerenja uzimani su pomoću: (a) Stapexa, type LV-1A, kapaciteta 30 l/min na filtrima AF-PC-35 mm sa otvorom $3,5 \pm 5\%$ Kp/m² i (b) SPG-210 ZWG Mytron, Staubprobenahmegerät, DDR-563. Za granulometrijska mjerenja korišćeni su (a) Konimeter Zeiss - Jena, DDR sa 40 polja i (b) Casella Thermal Precipitator MK - III, London.

Prije uzimanja uzoraka procijenjen je tehnološki proces u oba pogona fabrike, tekstilnom i frikcionom, kao i izvori prašine. Uzorak je uziman tokom radnog procesa na strogo utvrđenim pozicijama tokom oba perioda mjerenja, i to na 6 do 10 pozicija po odjeljenju. Konimetrom (K), termoprecipitatorom (TP) i Stapex pumpom (S) na svakoj poziciji su uzeta po tri uzorka, dok je sa SPG-210 uziman opšti uzorak za svako odjeljenje tokom pune radne smjene (8 časova).

Parametri zaprtašenosti su prethodno definisani za obje metode mjerenja, i to vlakna, čestice, ukupna prašina, fina (respirabilna) i gruba frakcija. Pod vlaknom se razumijevaju partikule čiji je odnos dužine prema dijametru jednak i veći od 3:1 (3, 10), a posebno je izdvojena grupa vlakana sa dužinom većom od 5 i dijametrom manjim od 3 mikrometra (3, 7, 11). Čestice predstavljaju sva vlakna kraća od 5 mikrometara i ostale partikule. Ukupna prašina dobijana je na filtrima sa Stapexom i SPG-210, sa tim što posljednji instrument ima ugrađen aerodinamički selektor za veličinu čestica i prašinu razdvaja na respirabilnu (finu) i grubu frakciju. Prema ugrađenoj krivoj aerodinamičke selekcije gornja granica za partikule respirabilne frakcije je aerodinamički dijametar od 10 mikrometara.

Brojanje vlakana i čestica konimetrom izvršeno je pod uvećanjem od 200 X, a uzoraka dobijenih termoprecipitatorom pod svjetlosnim mikroskopom i uvećanjem od 1500 X.

Dobijene vrijednosti parametara zapašenosti izražene su kao aritmetičke sredine i njihove standardne devijacije (SD) po odjeljenjima oba pogona. Korelaciona i regresiona analiza (12, 13) definisanih varijabli rađena je za granulometrijska mjerenja sa tim što su elementi linije linearne regresije izračunati samo za tekstilni pogon.

REZULTATI

Tabela 1. prikazuje ukupan broj čestica po odjeljenjima tekstilnog pogona uporedno za TP i K, faktor prekoračenja MDK (F) i koeficijent korelacije (r) broja čestica izmjerenih sa TP i K. Prosječan broj čestica prelazi MDK (JUS) izuzev za odjeljenje tkačnice pri određivanju koniometrom.

Koeficijent korelacije varijabli TP i K je statistički visoko signifikantan za svako odjeljenje.

Tabela 1.
Broj čestica/cm³ vazduha u odjeljenjima tekstilnog pogona

Odjeljenje	Period	Termoprecipitator			Koniometar			r
		\bar{X}	SD	F	\bar{X}	SD	F	
priprema p = 6	zima	820	301	4,8	621	249	3,6	0,95
	ljeto	746	295	4,3	573	239	3,3	
vlačara p = 8	zima	707	106	4,1	565	88	3,3	0,97
	ljeto	790	137	4,6	626	136	3,6	
predionica p = 10	zima	829	175	4,8	737	176	4,3	0,92
	ljeto	774	98	4,5	678	137	3,9	
pletionica p = 8	zima	238	96	1,4	209	66	1,2	0,88
	ljeto	269	24	1,6	237	36	1,4	
tkačnica p = 7	zima	187	77	1,1	157	80	0,9	0,98
	ljeto	190	62	1,1	156	52	0,9	

p – broj mjernih pozicija; F – faktor prekoračenja MDK

Broj vlakana u jedinici vazduha za odjeljenja tekstilnog pogona (tabela 2) određenih pomoću TP i K statistički signifikantno korelira (r od 0,88 do 0,93), sa tim što je broj vlakana određenih putem koniometra manji.

Vrijednosti parametara zapašenosti dobijene granulometrijskim mjerenjima (tabele 3 i 4) pokazuju da prosječan broj čestica u jedinici vazduha prelazi MDK (JUS) a korelacija broja vlakana između TP i K nije statistički signifikantna.

Vrijednosti gravimetrijskih parametara zapašenosti (tabele 5. i 6) u prosjeku prelaze MDK (JUS) u svim odjeljenjima tekstilnog pogona, izuzev tkačnicu, dok u odjeljenjima frikcionog pogona postoji izraženo kolebanje u ljetnjem periodu. Zapaža se da respirabilna (fina frakcija) čini u prosjeku 23% do 42% ukupne prašine u tekstilnom i 16% do 29% u frikcionom pogonu. Vrijednosti parametara zapašenosti za odjeljenja tkačnice i pletionice određene putem SPG-210 nisu prikazane zbog nepouzdanosti.

Tabela 2.
Broj vlakana u cm^3 vazduha u odjeljenjima tekstilnog pogona

Odjeljenje	Period	Termoprecipitator		Koniometar		r
		\bar{X}	SD	\bar{X}	SD	
priprema p = 6	zima	12,7	5,0	6,3	1,5	0,93
	ljeto	10,7	5,3	5,7	2,1	
vlačara p = 8	zima	9,0	2,6	6,7	1,7	0,90
	ljeto	9,7	3,3	8,5	3,0	
predionica p = 10	zima	17,6	6,2	16,0	5,3	0,89
	ljeto	16,2	4,4	10,6	0,9	
pletionica p = 8	zima	6,3	2,1	6,0	2,0	0,90
	ljeto	8,0	2,4	6,2	1,9	
tkačnica p = 7	zima	2,3	1,5	2,3	1,6	0,88
	ljeto	3,0	0,8	2,3	0,9	

Tabela 3.
Broj čestica u cm^3 vazduha u odjeljenjima frikcionog pogona

Odjeljenje	Period	Termoprecipitator			Koniometar			r
		\bar{X}	SD	F	\bar{X}	SD	F	
priprema p = 10	zima	427	207	2,4	365	188	2,1	0,96
	ljeto	726	697	4,2	654	650	3,7	
obrada p = 6	zima	252	112	1,5	195	110	1,1	0,99
	ljeto	312	142	1,9	253	135	1,5	

Tabela 4.
Broj vlakana u cm^3 vazduha u odjeljenjima frikcionog pogona

Odjeljenje	Period	Termoprecipitator		Koniometar		r
		\bar{X}	SD	\bar{X}	SD	
priprema p = 10	zima	4,8	2,2	3,8	2,3	0,61*
	ljeto	8,0	6,8	5,8	5,3	
obrada p = 6	zima	4,7	0,6	3,0	1,3	0,26*
	ljeto	6,7	1,2	4,3	1,5	

* - nema statističke signifikantnosti

Tabela 5.
Masa prašine u mg/m^3 vazduha u odjeljenjima tekstilnog pogona

Odjeljenje	Period	Stapex		SPG-210		
		\bar{X}	SD	r. f.	%	g. f.
priprema p = 6	zima	6,3	1,5	1,86	42	2,60
	ljeto	5,7	2,1	1,89		2,54
vlačara p = 8	zima	6,7	1,7	1,86	40	2,60
	ljeto	8,5	3,0	1,61		2,61
predionica p = 12	zima	16,0	5,3	1,30	23	6,10
	ljeto	10,6	0,9	1,30		2,73
pletionica p = 8	zima	6,0	2,0	—	—	—
	ljeto	6,2	1,9	—		—
tkačnica p = 7	zima	2,3	1,6	—	—	—
	ljeto	2,3	0,9	—		—

r. f. – respirabilna frakcija; g. f. – gruba frakcija

Tabela 6.
Masa prašine u mg/m^3 vazduha u odjeljenjima frikcionog pogona

Odjeljenje	Period	Stapex		SPG-210		
		\bar{X}	SD	r. f.	%	g. f.
priprema p = 10	zima	3,8	2,3	0,75	16	3,80
	ljeto	5,8	5,3	0,65		3,50
obrada p = 6	zima	3,0	1,3	0,20	29	0,50
	ljeto	4,3	1,5	0,16		0,40

Tabela 7.
Koeficijenti korelacije i elementi jednačina linearne regresije za granulometrijske varijable

Broj jednačine i regresione varijable	p	Jednačina regresije	s. g. p.	r
(1) čestice TP : česticama K	39	$y = 178,3 + 0,825x$	61,1	0,98
(2) vlakna TP : vlaknima K	39	$y = 1,5 + 1,1x$	2,88	0,877
(3) vlakna TP : česticama TP	39	$y = 1,763 + 0,016x$	3,40	0,824
(4) vlakna K : česticama K	39	$y = 1,06 + 0,014x$	3,00	0,768

p – broj pozicija; s. g. p. – standardna greška prognoze regresije

Rezultati istraživanja odnosa među granulometrijskim parametrima zapršenosti dobijenim pomoću TP i K (tabela 7) dati su pomoću četiri odnosa:

- (1) broj čestica TP : broj čestica K,
- (2) broj vlakana TP : broj vlakana K,
- (3) broj vlakana TP : broj čestica TP i
- (4) broj vlakana K : broj čestica K.

Dobijene vrijednosti elemenata jednačine linearne regresije i njene »standardne« greške prognoze i koeficijenta korelacije odnose se na uzorke sa svih 39 pozicija tekstilnog pogona za oba perioda. Napominjemo da nije vršena stabilizacija varijanse po pozicijama mjerenja a pošlo se od pretpostavke o normalnoj distribuciji.

DISKUSIJA

Epidemiološka istraživanja koja kvantifikuju profesijski rizik pri radu u sredini koja u vazduhu sadrži azbestnu prašinu, zbog relativno dugog latentnog perioda (period vremena od početka ekspozicije do manifestacije biološkog učinka) fibroza a posebno malignih alteracija pluća i pleure (2, 15, 16, 17) vrše retrospektivnu procjenu ekspozicije (18, 19). Pri tome su podaci o ekspoziciji, kvantitativni, ili nepouzdati ili nekomparabilni ili neprecizni zbog različitih tehnika uzimanja uzoraka i određivanja azbestne prašine u njima. Posljednjih godina čine se ubrzani napori da se uočeni problemi otklone unifikacijama metoda i preporukama za traženje konverzionih faktora među preporučenim tehnikama i tehnikama koje su bile ili su i sada u upotrebi (7, 8, 11).

Poređenje granulometrijskih metoda međusobno (11) ili granulometrijskih sa gravimetrijskim (4, 11) pokazuje da je zadatak složen jer nađene distribucije veličine i oblika azbestne prašine zavise od izvora prašine, tipa azbesta i poznatih ograničenja mjernih tehnika (3). Metode sa svjetlosnom mikroskopijom nijesu izbjegle subjektivne greške ni automatskim brojačima varijabli, a metode elektronske mikroskopije, iako odličnih performansi, zbog skupoće nemaju šanse za korišćenje u rutinske svrhe (5, 19, 20). Gravitometrijsko određivanje respirabilne frakcije koje je zbog jednostavnosti i manjih subjektivnih grešaka zamijenilo granulometrijsko kod ostalih mineralnih prašina u slučaju azbesta ima niz ograničenja (6, 19, 22).

Zbog svega navedenog preporučeni metod brojanja vlakana na membranskom filtru pod faznokontrastrnim mikroskopom (7) sa čvrsto definisanom varijablom (vlaknom), opremom i analitičkom procedurom zahtijeva poređenje sa već primjenjivanim tehnikama, tim prije što važeći JUS uopšte ne definiše MDK s obzirom na vlakna.

Rezultati našeg mjerenja pokazuju da zapršenost u ispitivanoj fabrici prelazi MDK (JUS) kako u broju čestica tako i u masi prašine u jedinici vazduha. To se posebno odnosi na odjeljenja tekstilnog pogona izuzev tkačnicu. Ipak, vrijednosti parametara zapršenosti dobijene putem TP i K treba posmatrati u svjetlu dosadašnjih saznanja o ograničenjima ovih instrumenata za uzimanje uzoraka vazduha, primijenjenog stacionarnog načina uzimanja uzoraka vazduha, prisustva prašine drugog, a ne samo azbestnog porijekla i sl. Nađene vrijednosti parametara zapršenosti možemo shvatiti samo kao indikatore stvarnog broja vlakana i čestica. Kao ilustracija može poslužiti podatak da 75% vlakana hrizotila iz uzorka prašine jedne fabrike azbestno-tekstilnih proizvoda, čija je dužina veća od 5 mikrometara ima dijametar ispod detekcione moći preporučene faznokontrastrne mikroskopije. Uzorak je analiziran transmisionim elektronskim mikroskopom (5).

Statistički signifikantne korelacije i regresije između varijabli definisane četiri odnosa (tabela 7) omogućuju konstrukcije jednačina linearne regresije koje, ako se uzme u obzir i standardna greška prognoze regresije, mogu da posluže u retrospektivnim procjenama ekspozicije samo za azbestno-tekstilni pogon koji koristi hrizotilni azbest. Koniometarska mjerenja, koja su uobičajena u našoj praksi, s obzirom na to da postoje istraživanja odnosa TP i preporučenog metoda sa membranskim filtrom (MF) (19) mogu poslužiti za grubu retrospektivnu kvantifikaciju profesijskog rizika ako se koriste navedene regresije. U svjetlu ovih mjerenja treba ispitati dalje postojanje sadašnje MDK (JUS).

Nađene regresije se unekoliko razlikuju od drugih (4), ali treba uzeti u obzir da su uzorci vazduha uzeti u drugim uslovima, kod drugih izvora prašine i drugih tipova azbesta, a postoje izvjesne razlike i u analitičkoj i statističkoj obradi nađenih vrijednosti.

ZAKLJUČAK

Dobijene vrijednosti parametara zapršenosti sa obje primijenjene metode u svim odjeljenjima tekstilnog (izuzev odjeljenja tkačnic) i frikcionog pogona fabrike prelaze MDK (JUS) te je potrebno poboljšati mjere zaštite i kontrole.

Za tekstilni pogon postoji statistički značajna korelacija termoprecipitatorom i koniometrom određenih varijabli (broj čestica i broj vlakana dužine veće od 5 i dijametra manjeg od 3 mikrometra). Za date izvore prašine i tip azbesta (hrizotil) na osnovu jednačina linearne regresije dobijaju se odnosi koji se grubo mogu izraziti kao:

- (1) 7 vlakana/cm³ (TP) = 5 vlakana/cm³ (K),
- (2) 550 čestica/cm³ (TP) = 450 čestica/cm³ (K),
- (3) 5 vlakana/cm³ (TP) = 200 čestica/cm³ (TP) i
- (4) 5 vlakana/cm³ (K) = 280 čestica/cm³ (K).

Gravimetrijska određivanja ukupne prašine, a posebno respirabilne frakcije, azbestnog porijekla, u uzorcima vazduha radne sredine zahtijevaju dalju i širu evaluaciju u našim uslovima.

Literatura

1. Corn, M.: Strategies of air sampling. Scand. J. Work Environ. Health, 11 (1985) 173-180.
2. Selikoff, I. J., Lee, D. H. K.: Asbestos and disease. Academic Press, New York 1978.
3. Walton, W. H.: The nature, hazards and assessment of occupational exposure to airborne asbestos dust: a review. Ann. Occup. Hyg., 25 (1982) 117-247.
4. Du Toit, R. S. J., Isserow, L. W., Gilfillan, T. C., Robock, K., Teichert, U.: Relationships between simultaneous airborne dust samples taken with five types of instruments at South African asbestos mines and mills. Ann. Occup. Hyg., 27 (1983) 373-387.
5. Rood, A. P., Streeter, R. R.: Size distributions of occupational airborne asbestos fibres as determined by transmission electron microscopy. Ann. Occup. Hyg., 28 (1984) 333-339.
6. Wincent, J. H., Mark, D.: On the biologically-relevant sampling of airborne particles, Presented at BOHS Symposium on Inhaled Particles, Cambridge, 1985.
7. AIA, Asbestos International Association: Reference method for the determination of airborne asbestos fibre concentrations at workplaces by light microscopy (Membrane Filter Method), R1M 1 A.I.A., London 1979.
8. AIA, Asbestos International Association: Method for determination of airborne asbestos fibres and other inorganic fibres by scanning electron microscopy, RTM 2, A.I.A., London 1984.
9. Corn, M.: Asbestos and disease: An industrial hygienist's perspective, Am. Ind. Hyg. Assoc. J., 47 (1986) 515-523.
10. WHO, World Health Organization: Evaluation of exposure to airborne particles in the work environment, WHO offset publication No 80, WHO Geneva 1984.

11. ILO, *International Labour Organization: Safety in the use of asbestos*, ILO codes of practice, ILO Geneva 1984.
12. Petz, B.: *Osnovne statističke metode*, JAZU Zagreb, 1974.
13. Milošević, B.: *Statistika u medicinskom naučno istraživačkom radu*, Institut za stručno usavršavanje i specijalizaciju zdravstvenih radnika, Beograd 1976.
14. JUS Z.B0.001, Sl. list SFRJ, 35/1971.
15. Parkes, W. R.: *Occupational lung disorders*, second edition, Butterworths, London 1982.
16. Morgan, W. K. C., Seaton, A.: *Occupational lung disease*, W. B. Saunders, Philadelphia 1975.
17. Becklake, M. R.: *Asbestos-related diseases of the lung and other organs: Their epidemiology and implications for clinical practice*, *Am. Rev. Respir. Dis.*, 114 (1976) 187-227.
18. Berry, G., Gilson, J. C., Holmes, S., Lewinsohn, H. C., Roach, S. A.: *Asbestosis: a study of dose-response relationships in an asbestos textile factory*, *Br. J. Ind. Med.*, 36 (1979) 98-112.
19. WHO, *World Health Organization: Asbestos and other natural mineral fibers*, E. H. C. 53, WHO Geneva 1986.
20. Marconi, A., Menichini, E., Paoletti, L.: *A comparison of light microscopy and transmission electron microscopy results in the evaluation of the occupational exposure to airborne chrysotile fibers*, *Ann. Occup. Hyg.*, 28 (1984) 321-331.
21. Wincent, J. H., Mark, D.: *The basis of dust sampling in occupational hygiene: a critical review*, *Ann. Occup. Hyg.*, 24 (1981) 375-390.
22. Strošelj-Mrovca, G., Vencek, E.: *Opređeljenje koncentracije volokna azbesta u vazduhu radnih mesta*. U: »Izmerenje i normiranje aerosola fibrogennog dejstva«, Moskva 1982. str. 110-115.

Summary

AIRBORNE DUST LEVELS IN AN ASBESTOS PLANT USING CHRYSOTILE: RESULTS OF SIMULTANEOUS MEASUREMENTS WITH FOUR METHODS

Airborne dust levels were measured in a plant manufacturing textile and friction asbestos products in summer and in winter. Measurements were performed with four methods: two granulometric (koniometer (K) and thermal precipitator (TP) and two gravimetric (Stapex and SPG-210) ones. The number of fibres ($5 \mu\text{m}$), the number of particles down to the limit of detectability and two aerodynamic particle size fractions, respirable and coarse, in the dust mass, were determined.

Granulometric measurements showed a statistically significant correlation between fibres and particles for samples of air from asbestos-textile departments. The relations based on linear regression equations could be expressed roughly as:

- 550 particles/ccm (TP) = 450 particles/ccm (K)
- 7 fibres/ccm (TP) = 5 fibres/ccm (K)
- 5 fibres/ccm (TP) = 200 particles/ccm (TP) and
- 5 fibres/ccm (K) = 280 particles/ccm (K)

The results of gravimetric measurements of airborne asbestos dust need to be further evaluated.

»Dr Dragomir Karajović«
Institute for Medical Research and
Radiological Protection, Belgrade

Received for publication
April 10, 1987