

C. N. DAVIES

DUST SAMPLING AND LUNG DISEASE*

Sampling of airborne dust by means of a selective instrument having a retention similar to that of the lungs would greatly facilitate the evaluation of dust hazards. The author discusses the principles on which the design of such a instrument should be based. His conclusions are founded on recent experimental data on dust retention in alveoli.

No instrument for sampling airborne dust and mist collects a fraction of the cloud which is truly representative of all the particles present during its operation. Errors due to the sampling apparatus cannot be entirely eliminated and, as a result, the assessment of airborne particles is always biased according to their size. Fine particles, coarse particles, or both, may be deficient in the final analysis and the original airborne particles may be changed by precipitation.

In favourable cases a good picture of the total dust can be obtained by combining several methods of securing the samples and using a variety of techniques for their evaluation.

So laborious a reconstruction, however, is seldom necessary for gauging risk to health because certain sizes of particles have greater significance in this respect and it is only those which need to be sampled accurately. This is particularly the case when the dust is only slowly absorbed, or reacts only slowly in the tissues of the body, because harmful effects can then be ascribed with confidence to particles which are small enough to penetrate deeply into the lungs. Many industrial dusts fall into this category.

The action of soluble or reactive particles of dust or liquid is complicated by many factors and its dependence on particle size may be less important; mass concentration is then likely to be a better measure of health risk than for relatively insoluble dusts such as those of the preceding group.

If samples of dusts which react only in the alveoli are collected with an instrument which accepts particles according to the same law as the lung alveoli, then the mass of material sampled should be a reliable indication of the risk to health. This is not true of total samples because they commonly contain an overwhelming mass of material in the coarse

* A paper read at the Xth International Congress of Industrial Medicine, Lisbon, 1951.

sizes which are unable to penetrate deeply into the lungs. A selective sampling instrument would simplify the measurement of health hazards because the laborious microscopic analysis of the samples would become less necessary.

A knowledge of the alveolar retention is an essential preliminary to the design of a selective sampling instrument. Two experimental methods have been used to study this. In one, an analysis is made of the air exhaled by living subjects and its content of particles is compared with the quantity inhaled. Alternatively, undissolved dust can be extracted from the lungs of deceased miners and rock workers and its size distribution compared with that of dust in the former workplace.

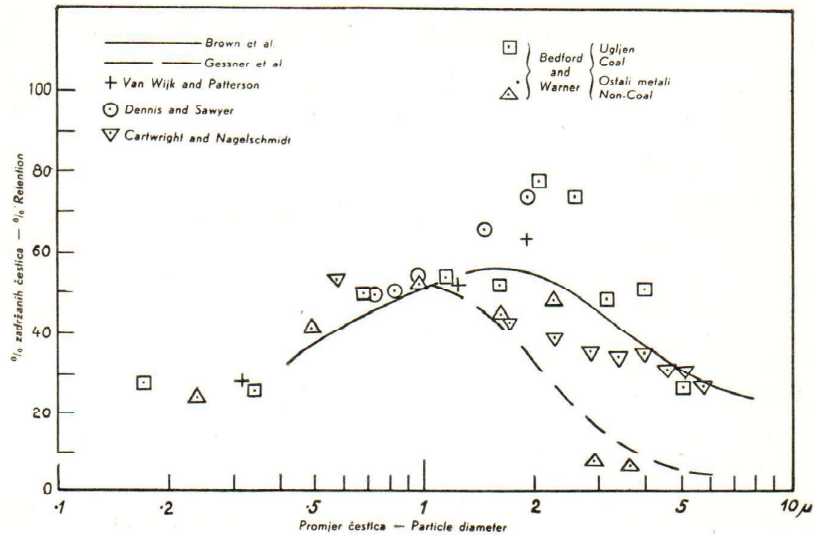


Fig. 1. Alveolar retention (particles of unit density)
Sl. 1. Zadržavanje prašine u alveolama

The two methods should yield different results for particles which fall in the range of sizes which is effectively dealt with by phagocytes. Exhaled air analysis should record that a greater proportion of these sizes is retained in the lung than does the analysis of lung residues from which material has been lost by phagocytosis to the bronchial epithelium, where it is eliminated by ciliary action.

Results of recent experiments on alveolar retention are shown on figure 1. To make comparison possible, the original particle diameters, d , have been corrected to values for particles of unit density by multiplying by the square root of the density, ρ . This gives a good basis of comparison because particles are deposited by impingement in the upper

bronchial tubes, with a gradual transition to sedimentation in the finest bronchioles and alveoli, and the effectiveness of both these processes is measured by the value of ρd^2 for particles of similar shape.

Data secured from the analysis of lung residues, which are shown on figure 1, have been taken from the papers of GESSNER, RÜTTNER and BÜHLER (1949), of BEDFORD and WARNER (1950) and of CARTWRIGHT and NAGELSCHMIDT (1951). It is only possible to compare the particle size distribution in the lung residue with that from samples taken in the workplace; no conclusions can be drawn regarding relative numbers of particles. Hence, in order to obtain the particle retention as a function of particle size it is necessary to make an assumption about the absolute retention at some point on the curve. In plotting these results it has been assumed that the retention of particles of unit density in the alveoli and fine bronchioles is 52% at 1 μ diameter, a figure based on breathing experiments.

The breathing results obtained by comparing the size distributions and concentrations in inhaled and exhaled clouds are due to VAN WIJK and PATTERSON (1940), DENNIS and SAWYER (1950) and BROWN, COOK, NEY and HATCH (1950).

Below 1 μ it will be seen that there is a fair measure of agreement between the retention figures of different workers using widely different techniques. For larger particles the scatter increases, but it rather appears as if the retention of non-coal particles is less than coal for which the points are fairly evenly distributed about the exhaled air analysis curve of BROWN et al. Such a difference, if proved, might be accounted for on the hypothesis that coal particles were less effectively eliminated by phagocytes.

In figure 2 we see the retention of dust above the respiratory bronchioles according to the experiments of BROWN, COOK, NEY and HATCH. DENNIS and SAWYER measured total lung retention without attempting to define the site of deposition. Below 1.5 μ the dust is almost all deposited in the alveoli but a proportion of particles, which increases with their size, lodges higher up. By using the data of BROWN et al. we have corrected DENNIS and SAWYER's figures for total retention to give retention above the respiratory bronchioles. These points are also plotted on figure 2; they fall reasonably near to BROWN's curve.

The maximum alveolar retention is about 50–60% and occurs between 1.5 and 2 μ . There is no need to make the selective sampler collect only a fraction of the cloud at this size and if 100% collection is arranged here, then 50% must be collected at 5 μ , according to slide 1.

If size separation is performed by elutriation of the air taken into the sampling apparatus, the fraction of particles of diameter d originally present which is found in the air finally collected in the sample is equal to $1 - (d/D)^2$ where D is the upper limit of size in the sample. For 50% acceptance at 5 μ diameter (unit density) this formula has a cut-off at 7.1 μ . The corresponding acceptance curve is shown on figure 3.

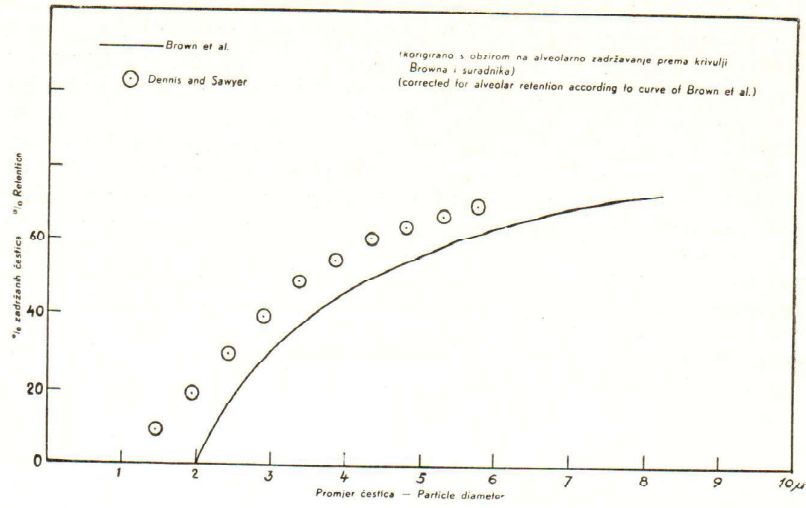


Fig. 2. Percentage of dust inhaled retained above respiratory bronchioles
 Sl. 2. Procenat udahnute prašine, koja je zadržana iznad malih bronha

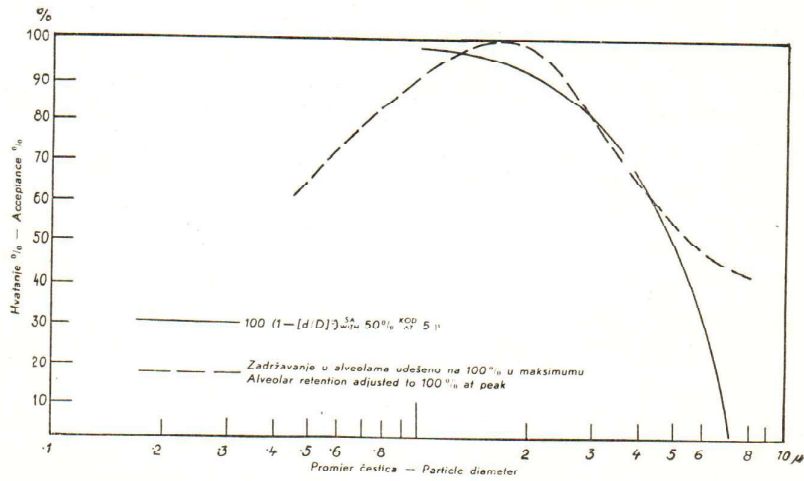


Fig. 3. Acceptance curve of selective sampler
 Sl. 3. Krivulja hvatanja selektivnog instrumenta za uzimanje uzoraka

An instrument designed to this curve would accept more particles below 1μ and fewer above 5μ than the human lung alveoli but between these sizes a similar distribution of dust would be accepted. Probably, in practice, so sharp a cut-off could not be realised, nor could any allowance be made for a toxicity factor, depending on particle size; this would impair the correlation between weight of dust collected and the risk of disease. The elutriator formula is a simple one for design purposes, however, and it is considered that a much clearer picture of the dust hazard could be secured by carrying out dust surveys in mines with a selective sampling instrument having the acceptance curve described above.

The author of this paper is a member of the scientific staff of the Medical Research Council.

London School of Hygiene and Tropical Medicine,
London

REFERENCES

1. *T. Bedford and C. G. Warner.* 1950. *Brit. J. Indust. Med.* 7. 187.
2. *J. H. Brown, K. M. Cook, F. G. Ney and T. Hatch.* 1950. *Am. J. Pub. Health.* 40. 450.
3. *T. Cartwright and G. Nagelschmidt.* 1951. *Safety in Mines Res. Est. Min. of Fuel & Power.* London. Res. Rep. No 24.
4. *C. N. Davies.* 1949. *Brit. J. Indust. Med.* 6. 245.
5. *W. L. Dennis and K. F. Sawyer.* 1950. Unpublished Report. Min. of Supply, London.
6. *H. Gessner, J. L. Rüttner and H. Bühler.* 1949. *Schweiz. Med. Wochenschrift.* 79. 1241 and 1258.
7. *T. F. Hatch.* 1950. I. L. O. 3rd. Int. Conf. Silicosis. Sidney, Australia.
8. *A. M. Van Wijk and H. S. Patterson.* 1940. *J. Indust. Hyg. and Toxicol.* 22. 31.

C. N. DAVIES

UZIMANJE UZORAKA PRAŠINE I OCJENA OPASNOSTI OD PLUĆNIH OBOLJENJA

Upotreba instrumenta za uzimanje uzoraka prašine, koji bi zadržavao prašinu selektivno, slično kao što je zadržavaju pluća, znatno bi olakšala ocjenu opasnosti od prašine s medicinskog stajališta. Autor raspravlja principe, na kojima bi trebalo osnivati konstrukciju takvog selektivnog aparata za skupljanje uzoraka prašine. Autorovi zaključci osnivaju se na nekim novijim eksperimentalnim podacima o zadržavanju prašine u alveolama.

Nijedan uzorak u zraku suspendirane prašine ili magle, uzet bilo kojim instrumentom, nije potpuno reprezentativan za sve čestice, koje se nalaze u zraku pri uzimanju uzoraka.

Pogreške, koje zavise od konstrukcije aparata za uzimanje uzoraka, ne mogu se potpuno eliminirati, te je stoga određivanje u zraku suspendiranih čestica uvijek netočno s obzirom na njihovu veličinu. U konačnoj analizi možemo naći manji broj sitnih čestica ili krupnih čestica, ili i jednih i drugih, a prvotne u zraku suspendirane čestice mogu se izmijeniti pri taloženju.

U pogodnim slučajevima možemo dobiti dobru sliku cjelokupne prašine, ako spojimo nekoliko metoda za uzimanje uzoraka i ako upotrebimo različite tehnike za analizu tih uzoraka.

Takva je mučna rekonstrukcija, međutim, vrlo rijetko potrebna, ako se želi ocijeniti opasnost po zdravlje, budući da čestice nekih veličina imaju u tom pogledu veće značenje, te uzorke treba uzimati točno samo s obzirom na čestice te veličine. To je naročito slučaj, ako se prašina apsorbira u organizmu sporo i tek polako reagira s tkivima u tijelu. Tako se može štetno djelovanje sa sigurnošću pripisati česticama, koje su dovoljno malene, da prodru duboko u pluća. Mnoge industrijske prašine pripadaju toj kategoriji.

Mnogi faktori kompliciraju djelovanje topljivih ili reaktivnih čestica prašine ili tekućine, i zavisnost tog djelovanja od veličine čestica nema tolike važnosti; u takvim slučajevima bit će težinska koncentracija bolja mjera za opasnost po zdravlje nego kad se radi o relativno netopljivim prašinama, o kojima smo prije govorili.

Ako uzimamo uzorke prašine, koja reagira tek u alveolama, i to instrumentom, koji skuplja čestice po istom zakonu kao plućne alveole, onda bi masa materijala, koji je skupljen, trebala da bude pouzdana indikacija za opasnost po zdravlje. To nije točno s obzirom na čitav uzorak prašine, budući da u takvom uzorku obično prevladava masa materijala, koji se sastoji od grubih čestica, koje ne mogu prodrijeti duboko u pluća. Instrument, koji bi selektivno skupljao uzorke prašine, pojednostavio bi mjerenje opasnosti po zdravlje, budući da mukotrpna mikroskopska analiza uzoraka ne bi bila toliko potrebna.

Za konstrukciju instrumenta, koji bi skupljao selektivne uzorke, bitan je preduvjet da se zna, kako se zadržavaju čestice u alveolama. Za proučavanje tog pitanja upotrijebljene su dosada dvije eksperimentalne metode. Jedna se metoda osniva na analizi

izdahnutog zraka živih ispitanika. Sadržaj čestica u izdahnutom zraku upoređuje se s brojem udahnutih čestica. Kod druge metode ekstrahiraju se neotopljene čestice prašine iz pluća preminulih rudara ili radnika, koji buše stijene, pa se raspodjela veličine čestica upoređuje s raspodjelom čestica prašine na prijašnjim radnim mjestima tih radnika.

Te dvije metode trebalo bi da daju različite rezultate za čestice, što padaju u područje veličina čestica, koje s uspjehom proždiru fagociti. Analiza izdahnutog zraka trebala bi da pokaže, da je u plućima zadržan veći dio tih čestica, nego što to pokazuje analiza plućnih ostataka, jer je iz tog materijala već odstranjen određen broj čestica i fagocitozom prenesen u bronhijalni epitel. Tamo se te čestice eliminiraju djelovanjem trepetljika.

Rezultati nedavnih eksperimenata o zadržavanju prašine u alveolama prikazani su na slici 1. Da bi se omogućilo upoređivanje, korigirani su prvobitni promjeri čestica (d) na one vrijednosti, koje bi ti promjeri imali, kad bi čestice imale jediničnu gustoću. Korekcija je izvršena množenjem tih prvobitnih promjera s drugim korijenom gustoće (ρ). To daje dobru osnovu za upoređivanje, budući da se u gornjim bronhijalnim cijevima čestice odlažu udaranjem (impingement) uz postepeni prijelaz na sedimentaciju, koja se zbiva u najsitnijim bronhima i alveolama, a efikasnost jednog i drugog procesa mjeri se vrijednošću $\rho \cdot d^2$, ako su čestice slična oblika.

Podaci, dobiveni iz analiza plućnih ostataka, koji su prikazani na slici 1., uzeti su iz radova GESSNERA, RÜTTNERA i BÜHLERA (1949), BEDFORDA i WARNERA (1950), CARTWRIGHTA i NAGELSCHMIDTA (1951). Upoređivanje se može izvesti samo s obzirom na raspodjelu veličine čestica u plućnim ostacima i u uzorcima uzetim na radnom mjestu; nikakvi se zaključci ne mogu izvesti s obzirom na broj čestica. Prema tome, da bismo dobili zadržavanje čestica u plućima kao funkciju veličine čestica, treba da pretpostavimo neku određenu vrijednost za apsolutno zadržavanje čestica na nekoj točki krivulje. Pri unošenju tih rezultata u dijagram pretpostavili smo, da je zadržavanje čestica jedinične gustoće u alveolama i sitnim malim bronhima 52% pri veličini čestica od 1 μ ; ta se brojka osniva na mjerenjima u izdahnutom zraku.

Podatke dobivene upoređivanjem raspodjele veličine čestica i koncentracija u udahnutom i izdahnutom zraku dali su VAN WIJK i PATERSON (1940), DENNIS i SAWYER (1950) i BROWN, COOK, NEY i HATCH (1950).

Vidi se, da se za veličine čestica ispod jednog mikrona vrijednosti zadržavanja čestica, prema podacima različitih istraživača, koji su upotrebili različite eksperimentalne tehnike, prilično dobro slažu. Za veće se čestice rasipanje rezultata povećava, ali se čini, da je zadržavanje čestica od neugljenog materijala manje nego zadržavanje ugljenih čestica. Rezultati za te čestice prilično su jednolično raspodijeljeni oko krivulje analize izdahnutog zraka, koju su dali BROWN i suradnici. Ta bi se razlika, ako se doista dokaže, mogla objasniti hipotezom, da fagociti ne odstranjuju ugljene čestice tako efikasno.

Na slici 2. vidimo, kako se zadržavaju čestice prašine u dijelovima respiratornog trakta iznad bronhiola. Ti su podaci uzeti iz eksperimenata BROWNA, COOKA, NEYA i HATCHA. DENNIS i SAWYER mjerili su ukupno zadržavanje prašine u plućima, a da pritom nisu pokušali definirati mjesto odlaganja. Ispod veličine od 1,5 mikrona prašina se gotovo potpuno odlaže u alveolama, ali jedan dio čestica, koji raste s porastom veličine, odlaže se u gornjim dijelovima respiratornog trakta. Upotrebišći podatke BROWNA i suradnika korigirali smo vrijednosti DENNISA i SAWYERA za ukupno zadržavanje prašine u plućima, i tako smo dobili podatke u područjima iznad malih bronha. Te su točke također nanesene na slici 2., i padaju prilično blizu BROWNOVOJ krivulji.

Maksimalno alveolarno zadržavanje iznosi 50-60% i odnosi se na čestice između 1,5 i 2 mikrona. Nije potrebno, da aparat za selektivno skupljanje prašine skuplja u tom području samo određeni dio čestica (50-60%); ako se aparat konstruira na taj način, da zadržavanje u tom području bude 100%, onda će u području veličine od 5 mikrona sigurno skupljati 50% (sl. 3.).

Ako se odjeljivanje čestica prema veličini izvrši elutriacijom zraka, koji ulazi u aparat za skupljanje uzoraka, onda broj čestica, izražen kao razlomak ukupnog broja čestica s promjerom d , koje se nalaze u zraku, iznosi $1 - (d/D)^2$, gdje je D gornja granica veličine čestica u uzorku. Ako se traži, da aparat hvata samo 50% čestica veličine 5 mikrona (jedinična gustoća), onda prema toj formuli aparat ne će hvatati čestice, koje su veće od 7,1 mikrona. Krivulja hvatanja čestica prikazana je na slici 3.

Instrument, koji bi bio konstruiran prema toj krivulji, hvatao bi više čestica ispod 1 mikrona, a manje iznad 5 mikrona nego plućne alveole kod čovjeka, ali bi između tih veličina uhvaćeni uzorak imao sličnu raspodjelu veličina. Vjerojatno se u praksi ne bi mogla realizirati takva selektivnost instrumenta, a isto se tako ne bi mogao uzeti u obzir faktor toksičnosti za pojedine veličine čestica. To bi pogoršalo korelaciju između težine prašine, koju smo skupili, i opasnosti od oboljenja. Ipak, ta je formula elutriatora jednostavna za konstruktivne svrhe, i mislim, da bi se dobila mnogo jasnija slika o opasnosti od prašine, kad bi se mjerenja koncentracije prašine u rudnicima vršila selektivnim instrumentom za uzimanje uzoraka, koji bi, s obzirom na hvatanje čestica prašine, odgovarao naprijed opisanoj krivulji.

Autor ove radnje je naučni suradnik Savjeta za medicinska istraživanja (Velika Britanija).

*London School of Hygiene and Tropical Medicine,
London*