

## Výpočet rizika prašnosti pre pracujúcich v prašnom prostredí

Pavel Slančo<sup>1</sup>, Milan Bobro<sup>1</sup> a Erika Geldová<sup>1</sup>

### Calculation of risk for workers in dust working site

The fibrogenous dust is considered as a specific harmful substance in the mine working site. Such kind of dust cumulates in lungs and this fact usually results in lungs dusting, so - called pneumoconiosis. Thus, dustiness risk poses a probability of lungs damage by pneumoconiosis. For the calculation of dustiness risk it is needed to know the following data: the value of average dustiness  $k_c$  in the working site per a definite time period, the dispersivity of dust "D" (it determines a portion of dust particles with a diameter under 5  $\mu\text{m}$ , so - called respirable particles) and the percentage content of quartz  $Q_r$  in the respirable grain size fraction.

The contribution presents the calculation of dustiness risk "R" according to the equation (1), where "R" is in percentage, " $\xi_a$ " is the analytically specific harmfulness and " $KD_c$ " is the total cumulative dust dose received by worker in time of its dust exposure.

The total cumulative dust dose is calculated on the basis of the equation (4), where " $k_c$ " is the average dust concentration in the assessed time period,  $t$  - time of exposure,  $V$  - average amount of air inspired by exposed worker per time unit (standardized on the value of  $1,2 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ ),  $10^6$  - recalculation from mg to kg for " $KD_c$ ".

If the values of " $Q_r$ ", "D" and " $k_c$ " during the worker exposure on a definite workplace are constant, the dustiness risk "R" is calculated according to the equation (1) and (5) respectively. In the case of "n" time intervals in that the values " $Q_r$ ", "D" and " $k_c$ " are known the dustiness risk "R" is calculated according to the equation (7). The total personal risk of worker is given by the equation (8).

Conclusively, the influence of parameters change namely " $Q_r$ ", "D" and " $k_c$ " on the value of dustiness risk per equal time period is reported.

**Key words:** dustiness risk, cumulative dust dose, respirable portion, factor of fibrogenous effect, specific harmfulness of mineral dust.

### Úvod

V procesoch banickej výroby vznikajú ľudskému organizmu škodlivé látky – škodliviny. Vyskytujú sa pritom plynné exhaláty z horninového masívu, napr. oxid uhľnatý, oxid uhličitý, oxid siričitý, oxidy dusíka, vodná para, radón a jeho rozpadové produkty a iné. Stroje a zariadenia vnášajú do pracovného prostredia ďalšie škodliviny (výfukové splodiny motorov). Na celkovú záťaž organizmu na pracovisku pôsobia aj iné faktory, ktoré spoluúčinkujú na vytváraní celkového rizika banickej práce (mikroklíma, hluk, vibrácie, stiesnené priestorové pomery a pod.). Dominantný rizikový vplyv však zohráva prach.

Špecifickou škodlivinou banského pracovného prostredia je tzv. fibrogénny prach. Jeho charakteristickým znakom je kumulácia v pľúcach – vzniká zaprášenie pľúc (pneumokonióza). Fibrogénny účinok prachu je podmienený obsahom fibrogénnych zložiek v ňom. Jedná sa o kremeň, prípadne ďalšie kryštalické modifikácie  $\text{SiO}_2$  a niektoré typy silikátov, najmä s vrstevnatou štruktúrou. Pre fibrogénny účinok je dôležitá tzv. respirabilná časť prachu (veľkosť prachových častíc je menšia ako 5  $\mu\text{m}$ ), ktorá môže preniknúť do alveol pľúc, kde sa fibrogénny proces odohráva.

### Teoretický výpočet rizika prašnosti

Podľa Smernice MZ SSR č.18/1987, § 9 sa riziko prašnosti hodnotí vzťahom

$$R = \xi_a \cdot KD_c, \quad (1)$$

kde R – riziko prašnosti [%] (predstavuje pravdepodobnosť poškodenia pľúc pneumokoniózou),

$\xi_a$  – merná škodlivosť prachu určená analyticky [ $\text{kg}^{-1}$ ],

$KD_c$  – kumulatívna dávka celkového prachu prijatá pracovníkom v dobe prašnej expozície [kg].

Metodika stanovenia mernej škodlivosti minerálnych prachov (Příloha č.2/1988 k Acta hygienica, epidemiologica et microbiologica) udáva pre výpočet  $\xi_a$  vzťah

$$\xi_a = M_f \cdot D, \quad (2)$$

kde D – priemerné hmotnostné percento respirabilného podielu prachu,

$M_f$  – faktor fibrogénneho účinku prachu [%].

Pre určenie  $M_f$  bola stanovená (Kupka., 1988) parabolická závislosť:

$$M_f = P_f + B \cdot Q_r^2, \quad (3)$$

<sup>1</sup> RNDr. Pavel Slančo, RNDr. Milan Bobro, PhD a RNDr. Erika Geldová, Ústav geotechniky SAV, Watsonova 45, Košice (Recenzovaná a revidovaná verzia dodaná 19.4.2004)

Kde  $Q_r$  – obsah kremeňa v respirabilnom podieli prachu [ % ],  
 $P_f$  – fibrogénne pozadie [ % ],  
 $B$  – koeficient úmernosti.

Po zhodnotení (Kupka, 1988) asi 200 vzoriek kremenného prachu a zmesných prachov z rôznych banských lokalít na Slovensku a na základe petrografického rozboru prachu a minerálov analyzovaných lokalít bolo vytvorených 7 kalibračných skupín fibrogenity, do ktorých môžu byť zaradené nové ťažobné lokality (tab.1). Z týchto kalibračných závislostí sa určuje hodnota fibrogénneho faktora  $M_f$  bez potreby nového testu fibrogenity, na základe obsahu kremeňa v respirabilnom prachu.

Tab. 1: Fibrogénny účinok banského prachu rôznych petrografických lokalít (Bobro, 2002).

Tab. 1: Fibrogenous effect of mining dust from various petrographical localities (Bobro, 2002).

P. č.	Geologická-petrografická skupina	Prevažujúce horniny a minerály	Obsah kremeňa [%]	Teor. závislosť $M_f = P_f + B \cdot Q_r^2$
1.	Staršie paleozoikum	porfýroidy, fylity, diabázy, kremeň, lydity	15-40	$151,1 + 0,067 \cdot Q_r^2$
2.	Granitoidy	greizenitické granity, granity, granodiority, diority, živce, kremeň, plagioklasy, biotit, muskovit, chlorit, ílovité	25-60	$181,9 + 0,063 \cdot Q_r^2$
3.	Neovulkanity stredoslovenské a východoslovenské	plagioklasy, K-živce, pyroxén, amfibol, epidot, zoizit, chlority, kremeň, vulkanické sklo, dacity, andezity, ryolity	5-50	$108,3 + 0,062 \cdot Q_r^2$
4.	Karbónske magnezity a permské arkózy	magnezit, kalcit, dolomit, ankerit, wolastonit, mastenec, kremeň, ílit, sericit	2-70	$102,7 + 0,055 \cdot Q_r^2$
5.	Postvulkanické kvarcité	kremeň, crystobalit, tridymit, opál, chalcedón, prekremenelý organický detrit, bentonit	40-90	$156,7 + 0,053 \cdot Q_r^2$
6.	Produktívny karbón	uhlie, pieskovce, zlepenca, ílovce, prachovce	1-40	$185,7 + 0,047 \cdot Q_r^2$
7.	Hnedouhoľné a lignitové lokality	hnede uhlie, lignit, andezity a medzisložové piesky	4-10	$144,2 + 0,042 \cdot Q_r^2$

Druhý člen vo vzťahu (1) určíme (Příloha č.2/1988 k Acta hygienica, epidemiologica et microbiologica) nasledovne:

$$KD_c = k_c \cdot t \cdot V \cdot 10^{-6}, \quad (4)$$

kde  $k_c$  – priemerná koncentrácia prachu za hodnotené obdobie v prašnom prostredí,

$t$  – expozičný čas,

$10^{-6}$  – prevod z mg na kg pre rozmer  $KD_c$

$V$  – priemerné množstvo vzduchu vdýchnutého exponovaným pracovníkom za časovú jednotku (štandardizované na hodnotu  $1,2 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ ),

Použitím rovníc (2), (3) a (4) môžeme rovnicu (1) napísať v tvare

$$R = C \cdot (P_f + B \cdot Q_r^2) \cdot D \cdot k_c \cdot t, \quad (5)$$

kde  $C = 1,2 \cdot 10^{-6} [\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}]$ .

Riziko prašnosti bude potom pre danú petrografickú skupinu (tab.1) funkciou

$$R = f(Q_r, D, k_c, t). \quad (6)$$

Z uvedeného je zjavné, že pre výpočet rizika prašnosti potrebujeme poznať hodnotu priemernej koncentrácie  $k_c$ , z ktorej analytickým rozborom stanovíme respirabilný podiel  $D$ , obsah kremeňa  $Q_r$  v respirabilnom podieli  $D$  a dobu expozície pracovníka  $t$  (pri danom  $k_c$ ,  $D$ ,  $Q_r$ ).

Ak sa v priebehu expozície pracovníka nemenia na určitom pracovisku hodnoty  $Q_r$ ,  $D$ ,  $k_c$ , riziko prašnosti vypočítame podľa rovnice (1), resp. (5). Hodnoty veličín  $Q_r$ ,  $D$ ,  $k_c$  sa na pracovisku vyhodnocujú v určitých časových intervaloch (rovnaký časový interval nie je nutnou podmienkou). V prípade, že máme  $n$  časových intervalov, v ktorých poznáme hodnoty  $Q_r$ ,  $D$ ,  $k_c$  a poznáme dĺžku časových intervalov, riziko prašnosti vypočítame (medicínsky je overené, že výsledné riziko prašnosti je superpozíciou rizík za  $n$  časových intervalov):

$$R = \sum_{i=1}^n C \cdot (P_f + B \cdot Q_{r,i}^2) \cdot D_i \cdot k_{c,i} \cdot t_i, \quad (7)$$

kde  $Q_{r,i}$ ,  $D_i$  a  $k_{c,i}$  sú hodnoty pre časový interval  $t_i$ .

Ak pracovník pracoval postupne na k pracoviskách ( $k > 1$ ), jeho celkové osobné riziko pracovni bude:

$$R = \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^{n_j} C \cdot (P_f + B Q_{r,i}^2)_j D_{i,j} (k_{c,i})_j t_{i,j}, \quad (8)$$

kde  $n_j$  – počet meraní (odberov) na  $j$  – tom pracovisku,  
 $(P_f + B \cdot Q_{r,i}^2)_j$  – faktor fibrogénneho účinku prachu pri  $i$  – tom meraní na  $j$  – tom pracovisku,  
 $D_{i,j}$  – respirabilný podiel prachu pri  $i$  – tom meraní na  $j$  – tom pracovisku,  
 $(k_{c,i})_j$  – priemerná koncentrácia prachu pri  $i$  – tom meraní na  $j$  – tom pracovisku,  
 $t_{i,j}$  –  $i$  – tá doba expozície pracovníka na  $j$  – tom pracovisku.

### Praktický výpočet rizika prašnosti

Prezentovaný výpočet rizika prašnosti  $R$ , resp. kumulatívnej dávky celkového prachu  $KD_c$ , je vypracovaný pre pracovníka pracujúceho za určité časové obdobie na jednej banskej lokalite, resp. za rovnaký časový interval na dvoch rôznych lokalitách.

Tab.2. Výpočet rizika prašnosti  $R$ , kumulatívnej dávky prachu  $KD_c$  a mernej škodlivosti prachu  $\xi_a$   
 Tab.2. Calculation of dustiness risk "R", cumulative dust dose "KD<sub>c</sub>", and specific harmfulness of dust "ξ<sub>a</sub>"

Obdobie (roky)	Lokalita TALKUM Hnúšťa, úsek Samo							
	t [hod.]	k <sub>c</sub> [mgm <sup>-3</sup> ]	Q <sub>r</sub> [%]	D [%]	KD <sub>c</sub> [kg]	M <sub>f</sub> [%]	ξ <sub>a</sub> [kg <sup>-1</sup> ]	R [%]
5	7700	2,70	24,0	23,1	0,025	134,4	0,310	0,774
5	7700	2,59	26,4	23,4	0,024	141	0,330	0,790
5	7700	2,81	25,2	25,4	0,026	137,6	0,349	0,907
6	9240	2,87	25,8	28,0	0,032	139,3	0,390	1,241
21	32340	$\sum_{i=1}^4 KD_{c,i}$			0,107	$\sum_{i=1}^4 R_i$		3,712

Tab.3. Výpočet rizika prašnosti  $R$ , kumulatívnej dávky prachu  $KD_c$  a mernej škodlivosti prachu  $\xi_a$   
 Tab.3. Calculation of dustiness risk "R", cumulative dust dose "KD<sub>c</sub>", and specific harmfulness of dust "ξ<sub>a</sub>"

Obdobie (roky)	Lokalita Liptovská Dúbrava RB							
	t [hod.]	k <sub>c</sub> [mgm <sup>-3</sup> ]	Q <sub>r</sub> [%]	D [%]	KD <sub>c</sub> [kg]	M <sub>f</sub> [%]	ξ <sub>a</sub> [kg <sup>-1</sup> ]	R [%]
5	7700	1,90	30	20,3	0,017 6	238,6	0,484	0,850
5	7700	1,82	27,4	21,2	0,016 8	229,2	0,486	0,817
5	7700	1,85	31,2	19,9	0,017 1	243,2	0,484	0,827
6	9240	1,92	29,5	20,9	0,021 2	236,7	0,495	1,053
21	32340	$\sum_{i=1}^4 KD_{c,i}$			0,0727	$\sum_{i=1}^4 R_i$		3,547

V tab.2,3 sú uvedené hodnoty rizika prašnosti pre banské lokality TALKUM Hnúšťa (úsek Samo) a lokalitu Liptovská Dúbrava RB pre 3 päť-ročné a 1 šesť-ročné. Do ročnej doby expozície pracovníka je započítaná denná pracovná doba 7 hod., čo pri 220 smenách za rok predstavuje 1540 hod., za 5 rokov 7700 hod. a za 6 rokov 9240 hod.

### Geologicko – mineralogická charakteristika lokalít

#### Ložisko Samo

Magnezitovo-mastencová poloha sa nachádza v granatických svoroch a chloriticko-sericitických bridliciach, ktoré sú v tesnom okolí ložiska prekremenené a v nadloží grafitizované. Ložiskové teleso má tvar plochej pretiahnutej šošovky. Mastenec lemuje magnezitové teleso v podloží aj v nadloží a postupne prechádza do sivého mastenca s vysokým obsahom klinochlóru, až do chloriticko-mastencovej bridlice, ktorá obsahuje

zhluky pyritu. Šošovky mastenca sú časté aj v magnezitovom telese. Kremeň vytvára zrnité agregáty a hlavne spolu so sulfidmi v podobe žiliek preniká magnezitovým a mastencovým telesom (Kupka et al., 1988).

Lokalita je zaradená do 4. geologicko-petrografickej skupiny (tab.1).

### Lokalita Liptovská Dúbrava RB

Ložisková oblasť Dúbrava predstavuje mohutný 700 – 800 m široký a 4 km dlhý žilný ťah s antimonitovým zrudnením. Celá žilná oblasť sa nachádza v žilách prašivského a d'umbierskeho typu. Tieto sú zložené z kremeňa, živcov, plagioklasov, biotitov, chloritov a ďalších. Odlišnosť je v podiele draselných živcov. Výplň žíl tvorí kremeň, antimonit, pyrit a železito-vápenaté karbonáty. Štruktúra žíl je masívna, pásikovaná, niekedy až impregnačná, brekciovitá až kokardovitá. Banské práce sa robia prevažne v žulách a v žilnikových systémoch.

Lokalitu zaraďujeme do 2. geologicko-petrografickej skupiny (tab.1).

V tab.4 je vypočítané riziko prašnosti pre pracovníka pracujúceho prvých 10 rokov na lokalite Samo (tab.2) a zostávajúcich 11 rokov na banskej lokalite Liptovská Dúbrava (tab.3).

Tab.4. Výpočet rizika prašnosti pre dve rôzne pracoviská

Tab.4. Calculation of dustiness risk for two various working sites.

Lokalita TALKUM Hnúšť'a, úsek Samo									
j	i	t [hod]	$k_c$ [mgm <sup>-3</sup> ]	$Q_r$ [%]	D [%]	$KD_c$ [kg]	$M_f$ [%]	$\dot{\Sigma}_a$ [kg <sup>-1</sup> ]	R [%]
1	1	770 0	2,70	24,0	23,1	0,025	134,4	0,310	0,774
	2	770 0	2,59	26,4	23,4	0,024	141	0,330	0,790
Lokalita Liptovská Dúbrava RB									
2	1	770 0	1,85	31,2	19,9	0,017	246,3	0,484	0,827
	2	924 0	1,92	29,5	20,9	0,021	239,4	0,495	1,053
$\sum_{j=1}^2 \sum_{i=1}^2 (KD_{c,i})_j$						0,087	$\sum_{j=1}^2 \sum_{i=1}^2 R_{i,j}$		3,444

### Diskusia

Riziko prašnosti R na pracovisku za určité časové obdobie t, ovplyvňuje zmena hodnôt  $Q_r$ , D,  $k_c$ . Pri nezmenených pracovných podmienkach, počas expozičnej doby pracovníka t, možno rovnicu (5) zapísať v tvare

$$R = A \cdot t, \quad (9)$$

kde

$$A = C \cdot (P_f + B \cdot Q_r^2) \cdot D \cdot k_c, \quad (10)$$

Teda  $A = f(Q_r, D, k_c)$  vždy pre konkrétnu geologicko-petrografickú skupinu (tab.1). Ak riziko prašnosti, pri počiatkových hodnotách  $Q_{r,0}$ ,  $D_0$ ,  $k_{c,0}$ , označíme ako  $R_0$  (základný alebo počiatkový stav), potom pri (malých) zmenách týchto troch premenných, za rovnaké časové obdobie t, bude hodnota rizika prašnosti (zmenený stav)

$$R_1 = R_0 + dR = R_0 + dA \cdot t, \quad (11)$$

$$dA = \frac{\partial A}{\partial Q_r} dQ_r + \frac{\partial A}{\partial D} dD + \frac{\partial A}{\partial k_c} dk_c, \quad (12)$$

pričom  $dA$  je úplný diferenciál funkcie A premenných  $Q_r$ , D,  $k_c$  v "bode"  $[Q_{r,0}, D_0, k_{c,0}]$ .

Ak použijeme rovnicu (10), úplný diferenciál funkcie A bude

$$dA = 2BCDK_c Q_r dQ_r + C(P_f + BQ_r^2) k_c dD + C(P_f + BQ_r^2) D dk_c. \quad (13)$$

Pri spomínaných malých zmenách premenných  $Q_r$ , D,  $k_c$  oproti základnému stavu, môžeme diferenciály týchto veličín nahradiť ich rozdielmi medzi zmeneným a základným stavom. Prírastok, resp. úbytok funkcie A môžeme potom vyjadriť

$$\Delta A = 2BCDk_c Q_r \Delta Q_r + C(P_f + BQ_r^2)k_c \Delta D + C(P_f + BQ_r^2)D\Delta k_c \quad (14)$$

Pomocou rovníc (10) a (14) a uvedeného predpokladu, zapíšeme relatívnu zmenu funkcie A v tvare

$$\frac{\Delta A}{A} = \frac{2BQ_r}{(P_f + BQ_r^2)} \Delta Q_r + \frac{\Delta D}{D} + \frac{\Delta k_c}{k_c}. \quad (15)$$

Zmenu rizika prašnosti  $\Delta R$  následkom zmeny premenných  $Q_r$ ,  $D$ , a  $k_c$  potom vyjadríme pomocou rovníc (9), (11) a (13)

$$\Delta R = R_1 - R_0 = \left[ 2BCDk_c Q_r \Delta Q_r + C(P_f + BQ_r^2)(k_c \Delta D + D \Delta k_c) \right] t. \quad (16)$$

Ak predpokladáme rovnaké relatívne zmeny premenných  $Q_r$ ,  $D$  a  $k_c$

$$\frac{\Delta Q_r}{Q_r} = \frac{\Delta D}{D} = \frac{\Delta k_c}{k_c} = K \quad (17)$$

potom môžeme na základe rovnice (15) zapísať relatívnu zmenu funkcie A v tvare

$$\frac{\Delta A}{A} = K \left( \frac{2BQ_r^2}{P_f + BQ_r^2} + 2 \right). \quad (18)$$

Z rovnice (18) a uvedeného predpokladu rovnakých relatívnych zmien  $K$  všetkých troch parametrov vyplýva, že relatívna zmena funkcie bude  $A$  bude závisieť od počiatočného stavu parametra  $Q_r$  a hodnôt veličín  $B$  a  $P_f$ , ktoré charakterizujú jednotlivé geologicko-petrografické skupiny uvedené v tab.1., teda od konkrétnej banskej lokality (pracoviska).

### Záver

Pri výpočte rizika prašnosti  $R$  predpokladáme, že hodnota fibrogénneho pozadia  $P_f$  v rovnici (3) sa počas prác na danej lokalite nemení. Korekciu hodnôt je potrebné urobiť na pracovisku aspoň raz ročne na obsah kremeňa  $Q_r$  a respirabilného podielu  $D$  v polietavom prachu. Analýza týchto veličín je úloha metodicky dosť náročná. Rovnako dôležité je aj určenie priemernej koncentrácie prachu  $k_c$  (pre určenie rizika prašnosti aj prírastku kumulatívnej dávky prachu  $KD_c$ ). Pre určenie priebehu prašnej expozície pracovníkov je potrebné poznať aj časový interval práce (počet smien, resp. odpracovaných hodín), v prípade, že sa pracovné zaradenie do výrobného procesu menilo, zohľadniť vo výpočte rizika prašnosti aj túto zmenu (rovnica (8), tab.4).

### Literatúra - References

- Bobro, M.: Funkcie minerálnych disperzoidov v pracovnom prostredí slovenských baní. *Acta Montanistica Slovaca*, 1, 2002, s. 74-78.
- Kupka, J. a kol.: Záverečný protokol o experimentálnych prácach a zhodnotení výsledkov meraní, o určení mernej škodlivosti prachu a rizika prašnosti pracovníkov závodov Rudných baní. *Banický ústav SAV, Košice*.
- Metodika stanovenia mernej škodlivosti minerálnych prachov. *Príloha č.2/1988 k Acta hygienica, epidemiologica et microbiologica, Praha, říjen 1987*.
- Smernica MZ Slovenskej socialistickej republiky č.18/1987.