



ID 01

DOLOČITEV ZRAČILNIH PARAMETROV PO BAROMETRSKI METODI

mag. Zmagoslav ŽIBERT

Premogovnik Velenje d.d., Partizanska 78, VELENJE
zmagoslav.zibert@rlv.si

POVZETEK

Za zadostno prezračevanje vseh jamskih prostorov in primerne klimatske pogoje določimo ustrezno količino svežega zraka na osnovi normativov v rudarski zakonodaji. Pri tem si za določitev glavnih zračilnih parametrov v odvisnosti od namembnosti posameznih jamskih prostorov in načina prezračevanja pomagamo s sistemom enačb, ki ga imenujemo sistem kontrolnih enačb rudniškega zračilnega sistema oziroma model sistema analiz. Rudniška zračilna mreža je tako matematična predstavitev realnega rudniškega zračilnega sistema.

Za uspešno projektiranje in operativno delo moramo zato poznati vse glavne zračilne parametre. Te določimo v postopkih za izračun in izris parametrov zračilnega sistema tako, da analiziramo rudniški zračilni sistem in izračunamo zračilno mrežo. Matematični model barometrične zračilne mreže kot osnovo za sistemsko analizo rudniškega zračilnega sistema uporablja množico merskih podatkov, ki jih v ta namen pridobimo po barometrični metodi.

Osnova modela sistemske analize rudniškega zračilnega sistema so podatki, izmerjeni pri rednih meritvah jamskega zraka v realnem rudniškem zračilnem sistemu, ter zračilni parametri, ki so določeni s pomočjo modelov in postopkov preračuna zračenja. Med postopke preračuna zračenja z zanesljivostjo prištevamo tudi barometrično metodo, za katero so značilni kvalitetni merski podatki in izračuni v skladu z zakonitostmi zračilne mreže.

Ključne besede: realni rudniški zračilni sistem, spremenljivke in enačbe mreže, matematični model barometrične zračilne mreže, oprema za meritve po barometrični metodi, Hardy-Crossova metoda izračuna, zračilni parametri sistema, model sistemske analize barometrične metode.

UVOD

Meritve zračilnih parametrov po barometrski metodi izvajamo 1-krat ali 2-krat letno kot kontrolno meritev parametrov zračilnega sistema, dodatno pa tudi ob vsaki bistveni spremembi v zračilnem sistemu (zaključena sanacijska dela v jamskih prostorih vstopnega ali izstopnega zračilnega omrežja, vključitev novega odkopnega polja, ...).

Barometrsko metodo kot model sistemske analize kljub številnim merskim podatkom, ki so potrebni kot vhodni podatki za izračun upornostnih faktorjev zračilnih tokovodnikov, uporabljamo pogosto kot rešitev predvsem v projektni dokumentaciji.

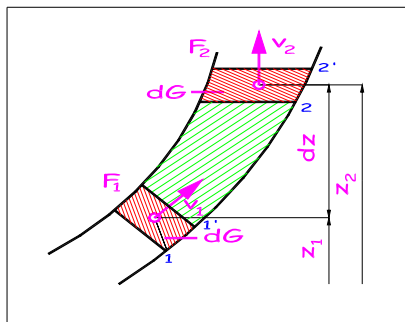
Izmerjeni podatki pri rednih meritvah jamskega zraka v realnem rudniškem zračilnem sistemu ter s pomočjo modelov in postopkov preračuna zračenja določeni zračilni parametri so osnova analize rudniškega zračilnega sistema, kamor s kvalitetnimi merskimi podatki in izračuni z zanesljivostjo prištevamo tudi barometrsko metodo.

Preračun zračenja barometrsko mreže predstavlja trenutno stanje zračilnega sistema, ki ga v sistemski analizi lahko primerjamo s projektnim stanjem ali predvidenim stanjem zračilnega sistema ob nastopu potencialne nevarnosti. Sistemska analiza v prvem primeru predstavlja optimizacijo zračilnih parametrov, v drugem primeru pa načrt obrambe in reševanja.

Rezultati izračuna glavnih zračilnih parametrov v omenjenih sistemskih analizah so potrjeni z večkratnimi meritvami zračilnih parametrov v jamskih prostorih Premogovnika Velenje.

OSNOVNE MATEMATIČNE ZAKONITOSTI

Pri barometrski (indirektni) metodi na osnovi merskih podatkov in izračunane gostote zraka najprej določimo padec pritiska v zračilnem tokovodniku. Za izračun uporabimo prirejeno Bernoullijevo enačbo za stacionarni tok nestisljivih fluidov z upoštevanjem tlačnih izgub zaradi trenja oziroma premagovanja uporov, kot to prikazuje *slika 1*.



Slika 1.: Gibanje masnih delcev v kontinuiranem toku.

Bernoullijeva enačba¹ za stacionarni tok realnega fluida torej upošteva izgube trenja (od prereza 1 do prereza 2), ki jih izražamo z izgubo tlaka Δp ali z izgubo tlačne višine Δh . Skupni padec pritiska h_{Lj} v zračilnem tokovodniku med dvema merilnima presekom izračunamo na osnovi zakona o konstantnem masnem toku in prirejene Bernoullijeve enačbe za stacionarni tok nestisljivih fluidov z upoštevanjem tlačnih izgub zaradi trenja oziroma premagovanja uporov:

$$dG = d\rho_1 \times F_1 \times v_1 = d\rho_2 \times F_2 \times v_2 = \text{konst.} \quad (1)$$

$$h_{Lj} = (p_1 - p_2) + \frac{g}{2} \times (z_1 - z_2) \times (\rho_1 + \rho_2) + \frac{1}{2} \times (v_1^2 \times \rho_1 - v_2^2 \times \rho_2). \quad (2)$$

za $j = 1, 2, \dots, n_b$

V enačbi pomeni:

- h_{Lj} razliko pritiskov med začetnim in končnim presekom tokovodnika zaradi trenja v Pa,
- p_1 absolutni pritisk v začetnem preseku zračilnega tokovodnika glede na smer zračilnega toka v Pa,
- p_2 absolutni pritisk v končnem preseku zračilnega tokovodnika glede na smer zračilnega toka v Pa,
- g zemeljski pospešek v ms^{-2} ,
- z_1 nadmorsko višino začetnega preseka zračilnega tokovodnika v m,
- z_2 nadmorsko višino končnega preseka zračilnega tokovodnika v m,
- ρ_1 gostoto zraka v začetnem preseku zračilnega tokovodnika v kgm^{-3} ,
- ρ_2 gostoto zraka v končnem preseku zračilnega tokovodnika v kgm^{-3} ,
- v_1 srednjo hitrost zraka v začetnem preseku zračilnega tokovodnika v ms^{-1} ,
- v_2 srednjo hitrost zraka v končnem preseku zračilnega tokovodnika v ms^{-1} .

Predpostavimo veljavnost Atkinsonove enačbe za vse veje mreže:

$$h_{Lj} = R_j |q_j| q_j \quad \text{za } j = 1, 2, \dots, n_b, \quad (3)$$

kjer je absolutna vrednost $|q_j|$ uporabljena zato, da zagotovimo pravilen predznak za padec pritiska v veji, če je $q_j < 0$. Iz zgornje enačbe na osnovi merjenih podatkov barometrične metode nato izračunamo upornostni faktor za vse veje mreže.

Tudi dogovorjena analiza rudniške zračilne mreže v splošnem temelji na predpostavki o nestisljivosti zraka in je vpletena v enakomeren, stalen tok fluida. Spremenljivke zračilne mreže (Hartman, Mutmanský in Wang, 1982) so naslednje:

- h_{Lj} padec pritiska veje j v Pa,
- h_{Rj} padec pritiska veje j , povzročen z regulatorjem v Pa,
- h_{Fj} padec pritiska veje j , povzročen z ventilatorjem v Pa,

¹ Daniel Bernoulli I., švicarski matematik in fizik, 1738

h_{Nj}	padec pritiska veje j , povzročen z razliko zračnih stolpcev v Pa,
R_j	upornostni faktor veje j v Ns^2m^{-8} ,
q_j	količina zraka v veji j v m^3s^{-1} .

Prve štiri spremenljivke zračilne mreže se dejansko spreminjajo s tlakom (energijo na enoto prostornine), v vsakdanji rabi v procesu projektiranja in pri operativnem delu na področju zračenja pa govorimo o pritisku² kot sili. Pri izračunu barometrične mreže na osnovi merjenih podatkov je za spremenljivke zračilne mreže pravilneje govoriti o spremembi potenciala oziroma potencialne energije.

Osnovo matematičnega zračilnega sistema za preračun zračenja predstavljajo upornostni zakon, krivulja karakteristike ventilatorja, regulacijski zakon in zakon tokovnega kroga:

$$\begin{aligned}
 h_{Lj} &= R_j |q_j| q_j && \text{za } j = 1, 2, \dots, n_b, \\
 h_{Fj} &= a_0 |q_j + a_1| \times (q_j + a_1) + a_2 && \text{za } j = 1, 2, \dots, n_b \\
 q_j &= \sum_{i=1}^m b_{ij} q_i && \text{za } j = m+1, m+2, \dots, n_b \\
 \sum_{j=1}^{n_b} b_{ij} (h_j - h_{Fj} - h_{Nj}) &= 0 && \text{za } i = 1, 2, \dots, m
 \end{aligned} \tag{4}$$

V teh pogojih so upornostni faktor, količina zraka, padec pritiska, pritisk ventilatorja in naravni pritisk zračnega stolpca veje j izraženi kot R_j , q_j , h_j , h_{Fj} in h_{Nj} , medtem ko so a_0 , a_1 in a_2 koeficienti enačb krivulje karakteristike ventilatorja in je $a_0 < 0$.

V sistemu enačb (4) so elementi $m = n_b - n_n + 1$ osnovne veje, b_{ij} ($i = 1, 2, \dots, m$; $j = 1, 2, \dots, n_b$) elementi osnovne matrike $B = [I, B_{12}]$, h_{Nj} , a_0 , a_1 , a_2 ($j = 1, 2, \dots, n_b$) so konstante, R_j , q_j , h_j ($j = 1, 2, \dots, n_b$) so parametri. Zračilni parametri R_j , q_j in h_j so lahko spremenljivke ali konstante v mrežah z naravno razdelitvijo zraka v vejah, v mrežah s fiksnimi količinami zraka v vejah ali v mrežah s kontrolirano razdelitvijo zraka v vejah. Omenjeni zračilni parametri so tako spremenljivke ali konstante v odvisnosti od mreže oziroma sistemske analize, ki jo uporabimo za preračun zračenja (neregulirana mreža, barometrična mreža, regulirana mreža).

Posamezna stanja zračilnega sistema nato prikažemo tudi v obliki linearnega grafa zračilne mreže $G = (V, E)$. Tu sta V in E množica vozlišč in vej, za katere velja, da je $(V) = n_n$ in $(E) = n_b$. Prikazi v obliki linearnega grafa so veliko primernejši kot prikazi izračunanih podatkov zračilne mreže v preglednicah.

² Uporaba takšnega izrazoslovja je sprejemljiva, saj tudi v medicini govorimo o krvnem pritisku in ne o tlaku. Podobno govorimo tudi o depresiji/kompresiji in ne o totalnem tlaku na primer ventilatorja.

MERITVE IN OBDELAVA PODATKOV BAROMETRSKE METODE

Za določanje upornostnega faktorja (R , R_{100}) zračilnih tokovodnikov oziroma skupnega padca pritiska $h_{i,j}$ zračilne veje uporabljamo predvsem barometrično metodo, ki se izkaže za tovrstno določitev primernejša kot sondažna metoda, saj z njo lahko hitro in z zadovoljivo natančnostjo izračunamo padce pritiskov v zračilnih tokovodnikih razširjene jame na osnovi izmerjenih parametrov (Žibert, 1997).

Pri tem si pomagamo z že omenjeno prirejeno Bernoullijevo enačbo za stacionarni tok nestisljivih fluidov z upoštevanjem tlačnih izgub zaradi trenja oziroma premagovanja uporov:

$$h_{i,j} = (p_1 - p_2) + \frac{g}{2} (z_1 - z_2) \times (\rho_1 + \rho_2) + \frac{1}{2} (v_1^2 \times \rho_1 - v_2^2 \times \rho_2). \quad (5)$$

za $j = 1, 2, \dots, n_b$

Za potrebe izračuna upornostnega faktorja zračilnega tokovodnika po barometrični metodi izvedemo naslednje meritve:

- a) barometričnega pritiska na površini in v jami z Baroluxom,
- b) temperature suhega in vlažnega zraka z aspiracijskim psihrometrom,
- c) hitrosti zračnega toka s krilnim anemometrom,
- d) površin presekov jamskih prostorov s polarno ali trigonometrično metodo,
- e) obratovalne točke glavnih ventilatorjev v zračilni postaji na površini.

Prvi trije parametri predstavljajo neposredne kazalce jamske klime, saj z njimi opredelimo stanje jamske klime v podzemnem jamskem prostoru (Hribar, 1998). Meritve obratovalne točke glavnega ventilatorja predstavljajo kontrolo izračunanih parametrov maksimalnega tokovnega kroga zračilne mreže (Hace, 1991).

Množico merskih podatkov barometrične metode za vsak posamezni zračilni tokovodnik ob upoštevanju določenih poenostavitev matematično ovrednotimo po znanih enačbah, ki predstavljajo osnovo matematičnega modela. Pri izdelavi modela tako upoštevamo v predhodnem poglavju opisane osnovne matematične zakonitosti in teorijo linearnega grafa zračilne mreže (Žibert, 2006).

REZULTATI

Dokončen izračun upornostnega faktorja zračilnega tokovodnika je tako napravljen na osnovi merskih podatkov barometrične metode po posebnem programu, ki nam omogoča izravnavo razdelitve količin zraka za vse veje zračilne mreže in popravljanje skupnega padca pritiska za zračilne veje v tokovnem krogu. Z izračunom upornostnih faktorjev za vse veje zračilne mreže tudi pretvorimo neregulirano barometrično mrežo v regulirano mrežo.

Osnovo izračuna predstavljajo vhodni podatki barometrične metode za vozlišča in veje zračilne mreže, ki v času meritev predstavljajo trenutno stanje zračilnega sistema. Zračilni tokovodnik

je omejen z začetnim in končnim vozliščem, ki predstavljata tudi merski točki. Z meritvami zračilnih parametrov po barometrični metodi so tako za vsa vozlišča zračilne mreže določeni naslednji vhodni podatki za izračun zračilnih parametrov: kota vozlišča, hitrost zraka, pritisk zraka zunaj in v vozlišču, temperatura suhega in vlažnega zraka, prečni presek profila in pretočna količina zraka.

Tabela 1.: Podatki o vozliščih barometrične metode.

PODATKI O VOZLIŠČIH BAROMETRSKE METODE										
Vozlišče	Kota	Hitrost Zraka	Pritisk zraka				Temperatura		Vlažnost	Gostota
			zunaj	v vozlišču	zraka	zraka	suha	vlažna		
		$v_{i,j}$	p_z	$p_{Ni,j}$	Pred	Pred	T_s	T_v	φ	ρ
(l)	(m)	(m/s)	(mm Hg)	(mm Hg)	(mm Hg)	(Pa)	(°C)	(°C)	(%)	(kg/m ³)
210808	-108.0	3.18	743.40	779.60	761.20	101485.77	19.5	12.0	39.835	1,2026
211206	-108.1	14.35	743.40	772.60	754.20	100552.51	21.0	20.0	91.364	1,1793
209901	-93.4	2.10	745.40	774.80	754.40	100579.17	14.0	11.0	69.730	1,2137
211201	-110.7	6.90	745.40	768.95	748.55	99799.23	17.0	15.0	81.246	1,1898
211254	-111.3	4.60	745.20	781.95	761.75	101559.10	15.0	12.0	70.520	1,2209
209906	-99.5	1.50	745.40	775.40	755.00	100659.17	14.0	12.0	79.472	1,2140
206282	-68.4	6.10	744.90	777.75	757.85	101039.14	15.0	11.0	61.424	1,2154
202000	-23.6	14.40	745.20	752.60	732.40	97646.06	19.0	15.0	65.939	1,1567
108000	+81.8	10.10	745.15	741.70	721.55	96199.50	16.0	15.0	90.316	1,1506
205530	-59.6	3.68	745.40	778.10	757.70	101019.14	19.5	14.5	58.214	1,1952
206270	-61.0	1.00	745.35	774.60	754.35	100572.51	18.5	13.5	57.161	1,1945
205002	-49.1	7.40	743.30	763.35	745.05	99332.60	19.0	16.0	73.844	1,1759
202000	-23.6	14.40	745.20	752.60	732.40	97646.06	19.0	15.0	65.939	1,1567

V **tabeli 1** so kot primer prikazani merski in izračunani podatki za vozlišča zračilnih vej mreže, ki predstavljajo osnovo za barometrično metodo³.

Zračilna mreža je matematična predstavitev realnega rudniškega sistema. Mreža kot takšna je skupek poti za rudniški zrak in pripadajočih podatkov. Te poti, ki jih imenujemo tudi zračilni tokovodniki, so predstavljene kot linije, ki izhajajo in se končujejo v vozliščih. Zračilna veja je tako določena z začetnim in končnim vozliščem. Posamezne zračilne veje z merskimi in izračunanimi podatki barometrične metode so prikazane v **tabeli 2**.

Za proces izenačevanja barometra potrebujemo še obratovalne točke glavnih ventilatorjev v zračilnih postajah na površini, ki jo pri barometrični metodi določimo z meritvami in je opredeljena s številko veje z ventilatorjem, skupnim padcem pritiska in številko ventila-torja.

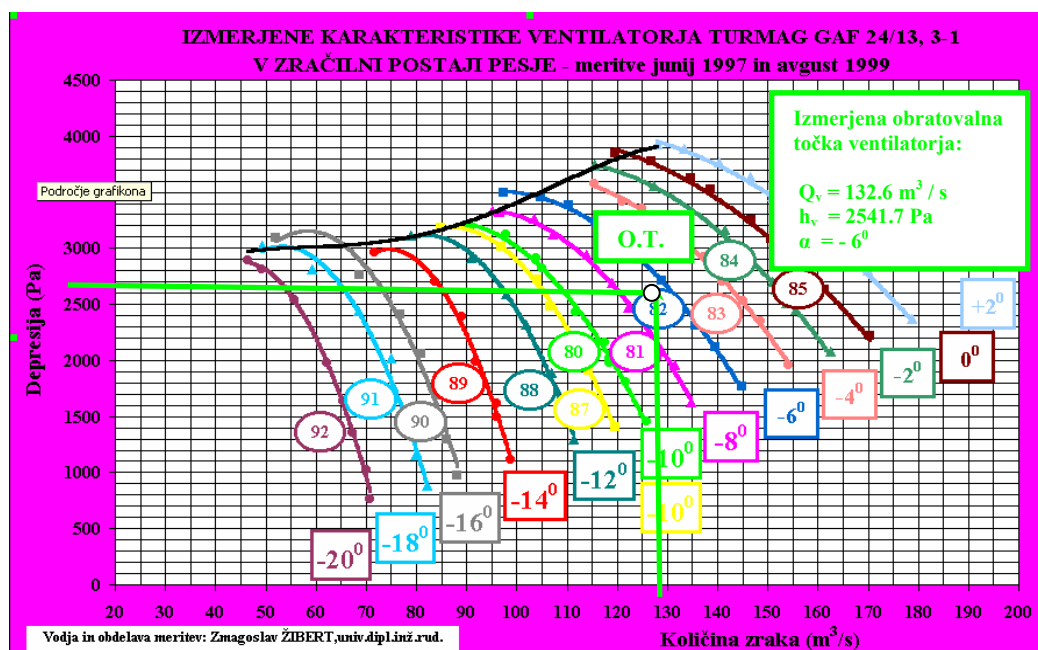
Posamezne karakteristike ventilatorjev, ki jih uporabljamo za prezračevanje jamskih prostorov, so na osnovi meritev že računalniško obdelane tako, da ima vsaka obratovalna stopnja točno določene parametre. To velja tako za glavne ventilatorje v zračilnih postajah na površini kot tudi za dopolnilne ventilatorje, ki so lahko postavljeni tako na površini kot v jami.

³ Meritve parametrov po barometrični metodi so v mesecu aprilu 2004 izvedli delavci obrata Zračenje in izobraževanje, meritve obratovalne točke glavnih ventilatorjev v zračilni postaji pa delavci Projektive zračenja. (Arhiv Projektive zračenja)

Tabela 2.: Podatki o zračilnih vejah barometrične metode.

PODATKI O ZRAČILNIH VEJAH BAROMETRSKE METODE												
Oznaka zračilne veje	Vozlišče od	Kota od	Presek proge	Hitrost zraka	Pretok zraka	Razlika pritiskov	Naravni pritisk	Dinamični pritisk	Padec pritiska	Korigiran pritisk	Upornostni faktor	
(enota)	Vozlišče do	Kota do	F	$v_{i,j}$	Q_j	$(p_1 - p_2)$	h_N	h_{din}	h_L	h	R	
	(/)	(m)	(m^2)	(m/s)	(m^3/min)	(Pa)	(Pa)	(Pa)	(Pa)	(Pa)	(Ns^2/m^8)	
227	202011	-20.0	11,0	3.2	2.100	386,638	1,152	-3,416	384,374	382,512	0,31225	
228	202015	-20.1	102540	9,0	0.4	200	413,303	178,080	-17,260	574,122	570,951	51,38559
229	100750	+6.5	102538	11,0	0.1	80	1033,256	-303,229	-1,164	728,863	714,217	401,74737
230	102540	+21.9	105802	12,0	0.2	150	413,303	178,080	-17,260	574,122	570,951	91,35214
232	100750	+6.5	202023	12,0	1.6	1.140	73,328	-57,615	-2,396	13,317	13,253	0,03671
233	202014	-21.1	204237	9,0	0.6	300	619,954	-84,524	8,010	543,440	0,000	0,00000
	203700	-37.5										

Na *sliki 2* so prikazane karakteristike ventilatorja TURMAG GAF 24/13, 3-1 za posamezne izmerjene obratovalne stopnje.



Slika 2.: Izmerjena obratovalna točka glavnega ventilatorja v zračilni postaji.

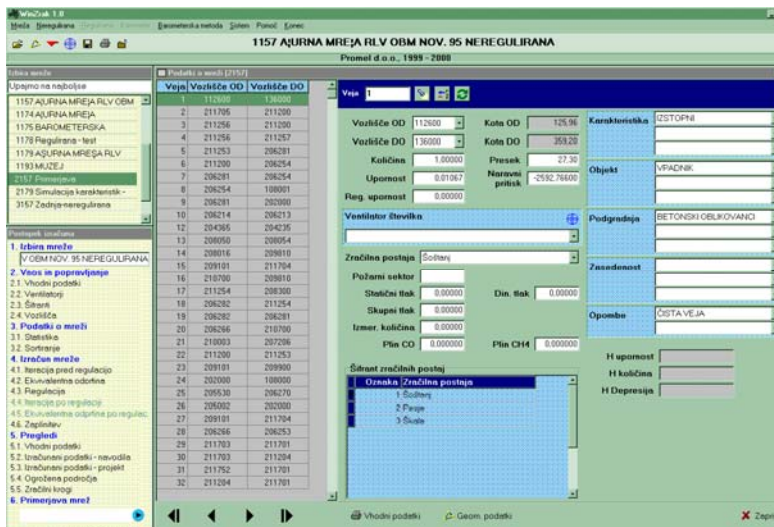
V procesu iteracije nato z upoštevanjem obeh Kirchhoffovih zakonov po enačbi Hardy-Crossa z namenom izenačitve napak meritev opravimo dokončen preračun zračenja oziroma izračunamo glavne zračilne parametre.

To je iteracijska metoda reševanja linearnih enačb, ki jo uporabljamo tako v mrežah z naravno razdelitvijo zraka v vejah, v mrežah s fiksnimi količinami zraka v vejah kot tudi v mrežah s kontrolirano razdelitvijo zraka v vejah. V teoriji zračilnih mrež (Cross, 1936; Scott in Hinsley, 1951) je približna rešitev uspešno podana, ko je napaka sprejemljivo majhna.

Postopek za vnos, popravljanje in pregled podatkov barometrične metode ter izračun upornostnih faktorjev in iskanih količin zraka za rešitev kompleksnih mrež prezračevanja jam je opredeljen z računalniškim programom⁴, v katerem so določeni naslednji procesi:

- vnos podatkov o vozliščih,
- vnos podatkov o vejah,
- kontrola količin zraka,
- izračun upornostnega faktorja,
- brisanje količin zraka,
- vnos ventilatorjev,
- izenačevanje barometra,
- iteracija,
- parametri zračilnega sistema.

Postopek izračuna zračilne mreže z vnosom merskih podatkov, opisnih podatkov in podatkov za izračun glavnih parametrov zračilne mreže je razviden s *slike 3*.



⁴ Računalniški program "ZRAK" so v letih 1986–1990 na Premogovniku Velenje izdelali člani projektne skupine, v kateri so bili: vodja razvojnega projekta Ciril KEMPERLE in programerja matematičnega modela Stane GOŠNIK in grafičnega modela Branko IVANEK. Del tega računalniškega programa predstavlja tudi postopek izračuna barometrične mreže, ki je z opravljenimi meritvami in analizami zračilnih parametrov doživel svojo potrditev v letih 1992–1998. (Arhiv Projektive zračenja)

Slika 3.: Postopek izračuna zračilne mreže.

Zračilna mreža z meritvami zračilnih parametrov po barometrični metodi je realna predstavitev rudniškega zračilnega sistema. Za sistem prezračevanja jamskih prostorov pa je v skladu z rudarsko zakonodajo potrebno določiti še upornostni faktor jam, ekvivalentno odprtino jam in koeficient regulacije.

V rudarski zakonodaji⁵ so predpisane najmanjše in največje hitrosti zračnega pretoka na delovnih mestih in v profilih jamskih prostorov, najmanjše dovoljene vrednosti ekvivalentne odprtine jame ($A_r \geq 1.0 \text{ m}^2$), skupnega padca pritiska ($h_i \geq 500 \text{ Pa}$) jame in potenciala med odcepiščem vstopnega in izstopnega zračilnega toka zračilnega oddelka ($h_{Rj} \geq 70 \text{ Pa}$).

S predpisi je prav tako določen koeficient regulacije K . Pri zračenju jame z več glavnimi ventilatorji koeficient regulacije njihovega delovanja ne sme biti večji od $K \leq 1.08$.

V **tabeli 3** so za meritve po barometrični metodi in preračun zračenja, prikazane številčne vrednosti rezultirajočega upornostnega faktorja jame R_r , ekvivalentne odprtine jame A_r , skupne ekvivalentne odprtine jam A_{sk} in koeficienta regulacije K .

Na osnovi modela sistemske analize barometrične metode so nato izračunani še preostali zračilni parametri. Za vse veje zračilne mreže lahko nato v obliki končnega izpisa prikažemo še vse vhodne in izračunane podatke, kot so: številka veje, vozlišče od, vozlišče do, pretok zraka, presek objekta, hitrost zraka, padec pritiska zračnega stolpca, upornostni faktor, upornostni faktor regulatorja, skupni padec pritiska, številka ventilatorske karakteristike, karakteristika zračilnega toka, vrsta, podgradnja in zasedenost jamskega objekta ter opomba.

Tabela 3.: Obratovalne točke glavnih ventilatorjev, izračunana skupna ekvivalentna odprtina in koeficient regulacije v času meritev po barometrični metodi.

ZRAČILNA POSTAJA parameter (enota)	PESJE		ŠOŠTANJ	
	baromet	preračun	barometer	preračun
<i>Meritve po barometrični metodi april 2004</i>				
Stolpec naravnega pritiska h_{T1} v Pa	167.551	167.551	221.209	221.209
skupni padec pritiska v Pa	2709.25	2708.552	3799.609	3799.209
padec pritiska h_i v Pa	2541.70	2541.001	3578.400	3577.999
količina zraka Q_i v m^3s^{-1}	132.60	132.50	234.30	249.17
Številka karakteristike ventilatorja		83 ($\alpha = -4^0$)		65 ($\alpha = 0^0$)
upornostni faktor jame R_r v Ns^2m^{-8}	0.15408	0.154279	0.069214	0.061195
Ekvivalentna odprtina A_r v m^2	3.03155	3.029662	4.523241	4.810501
skupna ekvivalentna odprtina A_{sk} v m^2	7.48171	7.765719	7.481716	7.765719
Koeficient regulacije K	1.00976	1.009586	1.009768	1.009586

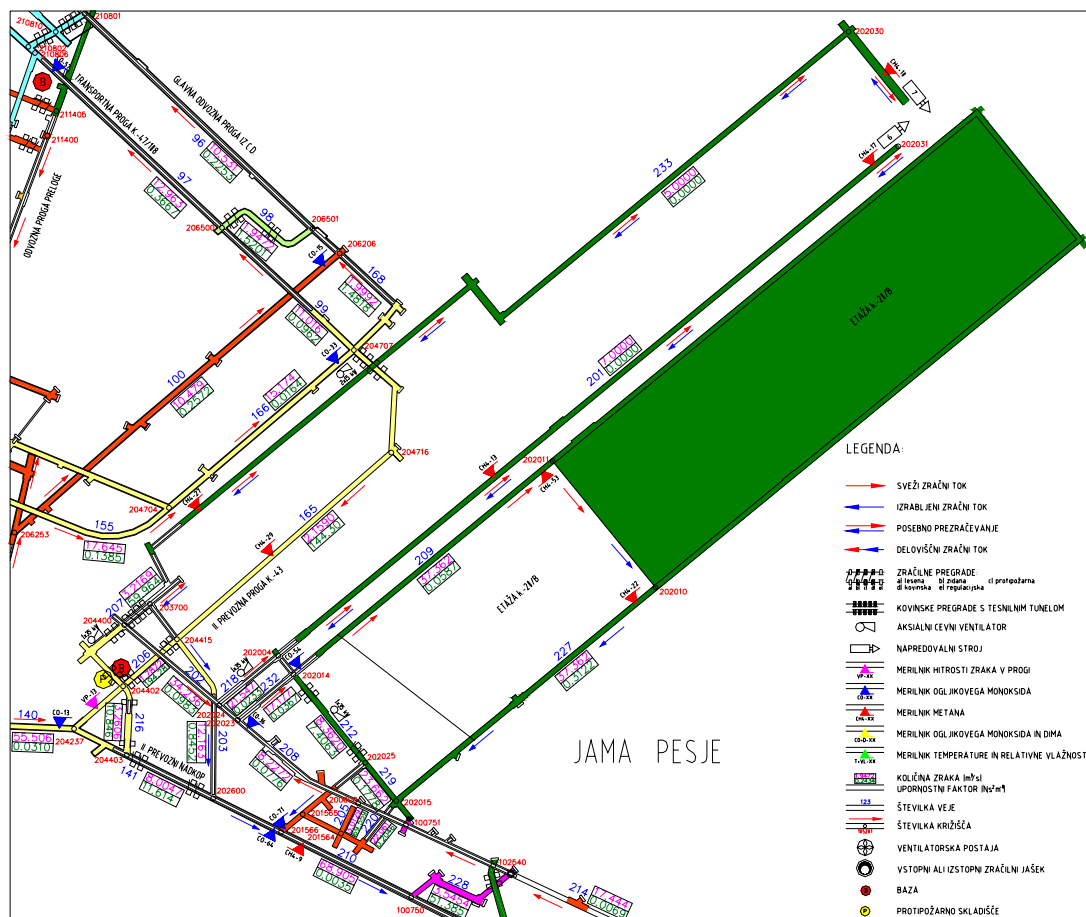
⁵ 291., 318. in 319. člen Pravilnika o zahtevah za zagotavljanje varnosti in zdravja pri delu ter o tehničnih ukrepih za dela pri raziskovanju in izkoriščanju mineralnih surovin pod zemljo (Ur. list RS, št. 68/03)

Na karti zračenja ali linearnem grafu s pomočjo programov za izris tako lahko prikažemo številne zračilne parametre za posamezne zračilne tokovodnike oziroma zračilne veje: količina zraka/padec pritiska, količina zraka/hitrost, količina zraka/relativna vlažnost, količina zraka/upornostni faktor, padec pritiska/upornostni faktor, količina zraka pred ukrepi/količina zraka po ukrepih, količina zraka/zaplinjenost itd.

Preračun zračenja barometrične mreže predstavlja trenutno stanje zračilnega sistema, ki ga v sistemski analizi lahko primerjamo s projektnim stanjem ali predvidenim stanjem zračilnega sistema ob nastopu potencialne nevarnosti. Sistemska analiza v prvem primeru predstavlja optimizacijo zračilnih parametrov (Žibert, 1999), v drugem primeru pa načrt obrambe in reševanja (Žibert, 2001).

Rezultati izračuna glavnih zračilnih parametrov v omenjenih sistemskih analizah so potrjeni z večkratnimi meritvami zračilnih parametrov v jamskih prostorih Premogovnika Velenje. Model sistemske analize barometrične metode pa uspešno uporabljamo tudi pri raznih simulacijah sprememb v zračilnem sistemu (Žibert, 2006).

Na *sliki 4* so prikazani izračunani upornostni faktorji zadnje barometrične metode (stanje april 2004) za odkopno polje v jami Pesje.



Slika 12.: Izračunani upornostni faktorji za odkopno polje v jami Pesje.

ZAKLJUČKI

Barometrski metoda omogoča:

- opredeliti rudniški zračilni sistem kot zračilno barometrsko mrežo;
- uporabiti nova spoznanja in postopke za izračun zračilne mreže ter sodobne grafične rešitve;
- opraviti preračun zračenja rudniškega zračilnega sistema s pomočjo kvalitetnih merskih podatkov, ki jih v ta namen pridobimo po barometrski metodi;
- primerjati v realnem rudniškem zračilnem sistemu izmerjene podatke in s pomočjo modelov in postopkov preračuna zračenja določene zračilne parametre, ki nam omogočajo kvalitetno delo, optimalno obliko, kontrolo in zanesljivost analiz rudniškega zračilnega sistema;
- izvesti sistemsko analizo zračilnega sistema z novimi operacijskimi sistemi za izvajanje tako matematičnih kot tudi geometrijskih zakonitosti na osnovi postopkov za izračun in izris parametrov zračilnega sistema;
- opredeliti pogoje za realizacijo optimizacije in avtomatizacije rudniškega zračilnega sistema.

Izmerjeni podatki pri rednih meritvah jamskega zraka v realnem rudniškem zračilnem sistemu ter s pomočjo modelov in postopkov preračuna zračenja določeni zračilni parametri so osnova analize rudniškega zračilnega sistema, kamor s kvalitetnimi merskimi podatki in izračuni z zanesljivostjo prištevamo tudi barometrsko metodo.

VIRI

1. Arhiv Projektive zračenja Premogovnika Velenje.
2. CROSS, H. 1936. Engineering Experiment Station. *Analysis of Flow in Networks of Conduits or Conductors*. University of Illinois: Bull. 286.
3. HACE, Marjan. 1991. *Jamsko zračenje*, Velenje: Rudnik lignita Velenje, str. 86–88, str. 216–264.
4. HARTMAN, H. L., MUTMANSKY, J. M., in WANG, Y. J. 1982. *Mine Ventilation and Air Conditioning*. New York, Chichester, Brisbane, Toronto, Singapore: A Wiley-Interscience Publication (Second Edition), John Wiley & Sons. str. 483–516.
5. HRIBAR, Jože. 1998. *Jamska klima*. Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Naravoslovno-tehniška fakulteta, oddelek za geotehnologijo in rudarstvo, 28 str.
6. MINIEKA, E. 1978. *Optimization Algorithms for Networks and Graphs*. New York: Marcel Dekker.
7. Rudarski zakon in predpisi.
8. SCOTT, D. R., in HINSLEY, F. B. 1951. *Ventilation Network Theory*. London: Colliery Eng., Vol 28, No. 324, 326, 328, 334. str. 67–71, str. 159–166, str. 229–235, str. 497–500.
9. WANG, Y. J., in PANA, M. T. 1971. *Solving Mine Ventilation Network Problems by Linear Programming*. New York: AIME annual meeting, SME preprint No. 71AU132.

10. ŽIBERT, Zmagoslav. 1992. *Ustreznost vgrajenih glavnih ventilatorjev VOD 21 v zračilni postaji Hrastovec za način prezračevanja jame Škale v obdobju od leta 1992 do zaključka odkopavanja, strokovna naloga*. Velenje: Rudnik lignita Velenje, Projektiva zračenja.
11. ŽIBERT, Zmagoslav. 1997. *Določitev upornosti zračilnih tokovodnikov v jamah Rudnika lignita Velenje, tehnična dokumentacija*. Velenje: Rudnik lignita Velenje, Tehnične službe.
12. ŽIBERT, Zmagoslav. 1999. *Optimiranje zračilnega sistema in racionalizacija prezračevanja jame, raziskovalno–razvojni projekt*. Velenje: Premogovnik Velenje, Tehnične službe.
13. ŽIBERT, Zmagoslav. 2001. *Verifikacija prezračevalnih ukrepov v primeru požara v jaški Škale, tehnična dokumentacija*. Velenje: Premogovnik Velenje, Tehnične službe.
14. ŽIBERT, Zmagoslav. 2006. *Določitev zračilnih parametrov po barometriški metodi; magistrsko delo*. Ljubljana: Naravoslovnotehniška fakulteta, Oddelek za geotehnologijo in rudarstvo.